

Opinnäytetyö (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

Autotekniikka

2013

Matti Kangas

# RIKKOUTUMISIEN ENNALTEHKÄISEMINEN TYÖKONEHYDRAULIIKASSA ÖLJYANALYYSIN AVULLA

– Vakuutusyhtiön tarkastajan toteuttamana



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma | Autotekniikka

2013 | 71 sivua

Ohjaaja: Jari Viitasalo

Matti Kangas

# RIKKOUTUMISIEN ENNALTAEHKÄISEMINEN TYÖKONEHYDRAULIIKASSA ÖLJYANALYYSIN AVULLA

Päättötyön tarkoitus oli selvittää, mitä kaikkea tulee ottaa huomioon öljynäytteitä otettaessa, opetella analysoimaan työkonehydrauliikasta otetuista näytteistä saatuja tuloksia ja pohtia öljyanalyysin käytettävyyttä vakuutusyhtiön tarkastustoiminnassa. Vakuutusyhtiö Ifissä toteutetussa rikkovahinkojen tutkimuksessa selvisi hydrauliiikan rikkosten olevan suurin yksittäinen menoerä rikkoutumismakuutuksen osalta ja kalleimpien vahinkojen liittyvän metsäkoneiden hydrauliiikkapumppujen rikkoutumisiin. Tutkimuksessa keskityttiin ottamaan näytteitä metsäkoneista ja analysoimaan tuloksia metsäkoneen hydraulijärjestelmän vaatimuksien mukaan.

Näytteenottoaikaan määrittämiseen perehdyttiin syvällisesti, ja ensimmäisestä koneesta otettiin näytteet jokaisesta mahdollisesta paikasta. Näiden analyysituloksien perusteella valittiin informatiivisin kohta, josta otettiin näyte muiden koneiden osalta. Näytteet lähetettiin analysoitavaksi Witraktorille. Öljystä analysoitiin viskositeetti 40 ja 100 asteessa, alkuainepitoisuudet, magneettiset partikkelit, ISO 4406:1987 mukainen öljyn puhtaus, erillinen hiukkaskajakauma, sulfaattipitoisuus, hapettumisen aste, vesipitoisuus ja kontaminantit.

Exeliin luotiin metsäkoneen tiukkoja puhtausvaatimuksia vastaavan analyysikoneisto, johon Witraktorilta numeromuodossa tulevat analyysitulokset voidaan syöttää. Exelissä arvoja pystyi havainnoimaan paremmin kokonaisuutena ja arvojen esittäminen helpottui. Öljynäytteitä otettaessa voitiin kerätä asiakkaasta ja koneesta tärkeää tietoa, jolla voidaan arvioida asiakkaan suhtautumista koneidensa huoltamiseen. Analysointituloksista saadaan tulkittua varmasti onko öljy sopivaa koneeseen. Näihin reagoimalla ja asiakasta tiedottamalla pystytään ennaltaehkäisevästi vähentämään rikkoutumisia. Kulumametalleista ei yhden näytteen perusteella voida sanoa, onko rikkoutuminen aluillaan, vaan se tarvitsisi säännöllisen näytteenoton ja trendiseurannan. Öljynäytteiden kerääminen on vakuutusyhtiölle hyvä tapa ennaltaehkäistä rikkoutumisia, lisätä asiakkaiden ymmärrystä öljyistä ja huollosta ja kerätä tietoa asiakkaista riskienhallintaa varten.

ASIASANAT:

työkone, metsäkone, öljyanalyysi, puhtausluokka, hydrauliiikka, öljy, ISO 4406

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering | Automotive engineering

2013 | 71 pages

Instructor: Jari Viitasalo

Matti Kangas

## PREVENTING BREAK DOWNS IN HEAVY EQUIPMENT HYDRAULICS WITH OIL ANALYSIS

The purpose of this degree work was to find out what have to be considered when samples are taken, to learn to analyse the results of samples taken from heavy equipments hydraulic system and think over about usefulness of oil analysis in insurance company accident inspection. Insurance company If studied old accidents concerned about heavy equipments break downs and found out that break downs in hydraulic system are biggest separate expense in break down insurance. Most expensive accidents were caused by forest harvesters when their work hydraulic pump broke. This research focused to take oil samples and analyse the results according to tight demands of forest harvester hydraulic systems.

To define a good place to take oil sample, this work gets acquainted with subject profoundly and samples were taken from every available spot on the first machine. From these results the best and the most informative spot was chosen. Oil samples were taken from that chosen spot from the other machines that were chosen as examination targets. Samples were sent to get analysed to Witraktor. Oil were analysed to get results of viscosity at 40 and 100 degrees of Celsius, Elements content, magnetic particles, ISO 4406:1987 cleanness, particle distribution, sulfate content, extent of oxidation, water content and contamination.

Analysis equipment was built in Exel to meet forest harvesters tight cleanness demands and where Witraktors numeric results could be fed. In Exel the results was easier to observe entirety and presenting the result became easier. When taking oil samples, information about customers attitude towards maintenance and about their machines could be collected. From the results of analyzing the oil, the oils suitability for the hydraulic system could be decided. By reacting to this information and by informing customer, break downs could be prevented. Anything sure cannot be said by analyzing the results of wear metals, because it demands regular sampling and follow-up study of results. Oil sampling is good method for insurance company to prevent break downs, enhance customer knowledge about oils and maintenance and collect information about customers for risk control.

### KEYWORDS:

heavy equipment, forest harvester, oil analysis, oil cleanness, hydraulics, oil, ISO 4406

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 KITKA</b>	<b>8</b>
<b>3 KULUMINEN</b>	<b>9</b>
<b>4 HYDRAULIIKKAÖLJY</b>	<b>10</b>
4.1 Yleistä	10
4.2 Öljyn ominaisuudet ja käsitteet	10
4.3 Öljyn ominaisuuksissa tapahtuvat muutokset ja niiden aiheuttajat	16
4.3.1 Vanheneminen	16
4.3.2 Lisäysoöljy ja -lisäaineet	18
<b>5 KULUMAMETALLIT JA LIKAPARTIKKELIT</b>	<b>20</b>
5.1 Kulumametallit	20
5.2 Likapartikkelit	21
5.3 Kulumametallien ja likapartikkeleiden muodostuminen	22
5.4 Muutoksista aiheutuvat ongelmat	24
5.4.1 Hapettuminen	24
5.4.2 Lisäaineiden kuluminen	24
5.4.3 Vesi	25
5.4.4 Ilma	25
5.4.5 Kulumametallit	26
5.4.6 Likapartikkelit	26
<b>ÖLJYANALYYSI</b>	<b>28</b>
5.5 Öljyanalyysi ja sen hyödyt	28
5.6 Tarvittavan analyysin valitseminen	28
5.7 Näytteenottoaikan määrittäminen	30
5.7.1 Yleisesti	30
5.7.2 Työhydrauliikka	31
5.7.3 Ajohydrauliikka	33
5.7.4 Toteutus	34

5.8 Näytteenotto	36
5.8.1 Puhtaus	36
5.8.2 Huuhteluaika	37
5.8.3 Talteenotto	37
5.8.4 Toteutus	38
5.9 Tulosten tulkinta	40
5.9.1 Viskositeetti	40
5.9.2 Likapartikkelit	44
5.9.3 Kulumametallit	46
5.9.4 Öljyn vanhentuma	47
5.9.5 Kontaminantit	49
<b>6 TULOKSIA</b>	<b>50</b>
6.1 Analysointi kokonaisuudessaan	51
6.1.1 Lämpimämpään viskositeetti	52
6.1.2 Kylmämpään viskositeetti	53
6.1.3 Likapartikkelit	54
6.1.4 Kulumametallit	56
6.1.5 Vanhentuma	57
6.1.6 Kontaminantit	58
6.1.7 Yhteenveto	58
6.2 Kulumametallien ja likapartikkelien arvot rikkoutumisen jälkeen	59
6.3 Kulumametallien ja likapartikkelien arvot koholla	62
6.4 Erittäin alhaiset kulumametallit	64
6.5 Väärän viskositeetin öljy	65
6.6 Koneyrittäjille	65
6.7 Muut kyselylomakkeen verrattavuudet	66
<b>7 SOVELTUVUUS VAKUUTUSYHTIÖN TARKASTUSTOIMINTAAN</b>	<b>67</b>
7.1 Rikkoutumisien ennaltaehkäiseminen	67
7.2 Järjestelmän puhtauden varmistus korjauksen jälkeen	68
7.3 Asiakasanalyysit	68
7.4 Rikkoutumisen syyn tutkiminen	68
<b>LÄHTEET</b>	<b>70</b>

## LIITTEET

Liite 1. Witraktorin analyysiraportit

Liite 2. Työhydrauliikan kaavio, jossa näytteenottokohtat merkittynä

Liite 3. Ajohydrauliikan kaavio, jossa näytteenottokohtat merkittynä

## KUVAT

Kuva 1. Lakka ja hartsit muodostumaa venttiilin luistissa.	24
Kuva 2. Ilman aiheuttaman kavitaation jälkiä (Nestepaine 2006).	26
Kuva 3. Näytteenottokalusto.	39
Kuva 4. Näytteenotto kohta.	40

## KUVIOT

Kuvio 1. EP-lisäaineen vaikutus ominaisuuksiin (Antila ym 2006).	19
Kuvio 2. Silican ja kulumametallin yhteys (ExxonMobil Finland Oy Ab 2008).	23
Kuvio 3. Puhtausluokan vaikutus käyttöikäen (Nestepaine 2006).	27
Kuvio 4. Lämpimämpään viskositeetin kuvaaja.	52
Kuvio 5. Kylmämpään viskositeetin kuvaaja.	53
Kuvio 6. ISO 4406:1987 likapartikkelit.	54
Kuvio 7. Suurikokoiset hiukkaset.	55
Kuvio 8. Kulumametallit.	56
Kuvio 9. Öljyn vanhentumaan viittaavat arvot.	57
Kuvio 10. Järjestelmän kontaminaatio.	58
Kuvio 11. Rikkoutuneen kulumametallit.	60
Kuvio 12. Rikkoutuneen likapartikkelit.	61
Kuvio 13. Kulumametallien arvot kohonneet.	62
Kuvio 14. Isot partikkelit koholla.	63
Kuvio 15. Erittäin alhaiset kulumametallien arvot.	64
Kuvio 16. Väärän viskositeetin öljy.	65

## TAULUKOT

Taulukko 1. ISO 4406:1999 hiukkasmäärät luokittain (Puhtaan öljyn opas 2003).	13
Taulukko 2. Yleisimpien kulumametallien lähteet.	21
Taulukko 3. Arvojen poikkeamat samassa koneessa.	35
Taulukko 4. Kriittisiä välyksiä eri komponenteista (Exner ym 1991).	44
Taulukko 5. Kulumametallien maksimiarvot (Sauer Danfoss 2010).	46

# 1 JOHDANTO

Vakuutusyhtiö Ifissä tehtiin työkoneiden rikkoutumisvahingoista tutkimus, ja siinä todettiin rikkotapahtumien lisääntyneen ja korvausmenon kasvaneen. Tutkimuksesta saatiin selville, että rikkoutumiset tapahtuvat yleisimmin hydraulikan komponenteissa. Sen avulla pystyttiin tutkimaan myös, minkä toimenkuvan koneet aiheuttavat eniten vahinkoja.

Projektin ideana oli tutkia, pystytäänkö vahinkotarkastajien keräämillä öljynäytteillä ja niiden analysoinnilla ennaltaehkäistä rikkoutumisia asiakkaiden koneissa. Ajatuksena oli molemminpuolinen hyöty asiakkaan ja vakuutusyhtiön välillä, missä asiakasta tiedotettaisiin koneen kunnosta ja ohjeistettaisiin toimenpiteisiin, jos näytteiden perusteella olisi todettavissa tuleva rikkoutuminen tai puutteita öljyn kunnossa. Näin asiakas välttäisi ylimääräisen seisakin ja sen kulut. Samalla vältettäisiin vahinkotapahtuma ja vähennettäisiin korvausmenoa. Öljynäytteiden kohteiksi valittiin metsäkoneet ja pääasialliseksi tutkimuskohteeksi Valmetin (Komatsu Forest) harvesterit, koska niitä oli Varsinais-Suomen alueella iso kanta ja Suomen maahantuonnin päätoimipiste oli lähellä, Pirkkalassa.

Opinnäytetyössä käydään läpi käsitteet kitkasta, kulumisesta ja öljyjen ominaisuuksista. Samalla selvitetään myös analyysimenetelmiä ja analyysin hyötyjä. Opinnäytetyössä keskitytään pohtimaan öljyn ominaisuuksissa tapahtuvien muutosten aiheuttajia, näytteenottoaikan määrittämistä ja tulosten tulkintaa. Teorian pohjalta luodaan oma tuloksien tarkastelu menetelmä. Toteutetun projektin tuloksia esitellään ja niiden pohjalta tehdään johtopäätöksiä. Tarkoituksena on, että tästä opinnäytetyöstä saa kaiken tarvittavan tiedon ja pohdinta-avun, kun samankaltaista projektia suunnitellaan eri kohteelle.

## 2 KITKA

Kitka on liikettä vastustava voima, jonka voidaan ajatella muodostuvan neljästä eri komponentista: Kitkasidosten murtaminen silloin, kun liikutaan aineen elastisella alueella, kappaleen muodonmuutos, materiaalin leikkautuminen ja rajakerrosten adhesiivisten ja kohesiivisten sidosten murtamiseen tarvittava voima. Kahden metallin kosketuksessa kitka syntyy, kun pinnankarheuden huiput taipuvat, muuttavat muotoaan, leikkautuvat tai muuttuvat paineen alla hetkellisesti viskoosisen nesteen kaltaiseksi, jolloin leikkautumiseen tarvittava voima on verrannollinen leikkausnopeuteen. (Horelli ym. 1969, 9-11)



### 3 KULUMINEN

Kuluminen on kitkan seurannaista. Kitkan seurauksesta materiaalin pinnalla tapahtuu jatkuvaa muodonmuutosta: elastista, plastista, leikkautumista, murtumista jne. Pohtiessa tarkemmin näitä kitkan aiheuttamia makroskooppisia kulumisia voidaan niitä luokitella erilaisiin tapoihin. (Horelli ym. 1969, 11-13.)

Abraasio, jossa kulumisen aiheuttaja on kahdesta liukupinnasta erillinen partikkeli, yleensä siis likapartikkeli ja kuoppautuminen, joka johtuu pintakerroksen väsymisestä toistuvan elastisen muodonmuutoksen johdosta. Kuoppautumista esiintyy pinnassa, mutta se voi ulottua myös syvemmälle, jolloin se on vaurioitettavaa. Naarmuuntuminen on kulumisen muoto, joka yleensä tapahtuu asennusvirheen tai suunnitteluvirheen seurauksena. Komponentissa voi tapahtua myös pinnan hilseilyä, joka on tavallaan laajamittaista kuoppautumista ja johtuu sekä elastisesta että plastisesta muodonmuutoksesta ja tarkemmin niiden edellä kulkevan aallon aikaansaamista leikkausjännityksistä, jotka ylittävät materiaalin leikkauslujuuden kovan pinnan alla. (Horelli ym. 1969, 11-13.)

Pinnan tarttumisessa liukukappaleiden metallipinnat hitsautuvat toisiinsa hetkellisesti ja repeytyvät sitten irti ja leikkautumisesta puhutaan silloin kun tarttumisilmiö kasvaa suurimittaiseksi ja leikkautuu jälleen kahdeksi kappaleeksi. Ainetta siirtyy kappaleesta toiseen näissä tapauksissa. (Horelli ym. 1969, 11-13.)

Edelliset kulumisen tavat olivat kaikki voimien ja kosketusten aiheuttamia mekaanisia kulumistapahtumia. Kaikkea paitsi hilseilyä voidaan estää käyttämällä tarkoituksen mukaista öljyä. Hydraulijärjestelmässä kulumista tapahtuu myös korroosion vaikutuksesta. Kitkaa ja kulumista vähentämään hydrauliiikkanesteeltä vaaditaan voitelukykyä ja korroosionesto-ominaisuuksia. (Horelli ym. 1969, 11-13.)

## 4 HYDRAULIIKKAÖLJY

### 4.1 Yleistä

Hydrauliikkanesteen ensisijainen tarkoitus on siirtää voimaa tai tehoa pumpulta toimilaitteelle. Tätä tarkoitusta varten nesteen tulisi olla mahdollisimman juoksevaa ja kokoonpuristumatonta. Hydraulijärjestelmän toimilaitteiden liikkuvat osat vaativat voitelun, ja käytäntö on osoittanut voitelun onnistuvan parhaiten käytämällä hydrauliikkanestettä voiteluaineena. Nesteen tulee täyttää mahdollisimman hyvin voiman ja tehon siirtoon ja voiteluun tarvittavat ominaisuudet. (Exner ym. 1991, 47; Horelli ym. 1970, 8-12; Vesterinen 2011a.)

Hydrauliikkanesteelle asetettavat vaatimukset vaihtelevat hydraulikäytön rakenteen ja sovelluksen mukaan. Hydrauliikkanestettä ei voida valmistaa täyttämään kaikkia vaatimuksia, joten on osattava valita oikea neste kohteen mukaan. Yleisin hydrauliikkaneste on lisäaineistettu mineraaliöljy, mutta markkinoilta löytyy myös paljon synteettisiä ja biohajoavia nesteitä. Jäljempänä hydrauliikkanesteestä puhuttaessa käytetään ilmaisua hydrauliikkaöljy. (Exner ym. 1991, 47; Horelli ym. 1970, 8-12; Vesterinen 2011a.)

### 4.2 Öljyn ominaisuudet ja käsitteet

#### **Viskositeetti**

Viskositeetti on nesteen tärkeimpiä ominaisuuksia, ja se kuvaa kahden vierekäisen nestekerroksen välistä kitkaa. Puhutaan nesteen sisäisestä kitkasta. Viskositeetti ei ole nesteen laadun mitta vaan sillä kerrotaan nesteen juoksevuus referenssilämpötilassa, joka on yleensä + 40 astetta. Viskositeetti muuttuu lämpötilan muuttuessa. Öljyn viskositeetin tulee olla järjestelmän vaatimissa oikeissa rajoissa niin käynnistys- kuin käyntilämpötilassa. Öljyjen viskositeettia kuvatessa käytetään suuretta senttistoki (cTs), joka voidaan johtaa SI-järjestelmästä kinemaattisen viskositeetin suureesta  $\text{m}^2/\text{s}$ .  $1 \text{ cTs} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} =$

1 mm<sup>2</sup>/s. Öljyjen viskositeettia voidaan tarkastella puolilogaritmisella viskositeetti-lämpötila-diagrammilla, jossa viskositeetin muutoksesta lämpötilan funktiona tulee suora tai normaalilla asteikolla, jossa siitä tulee laskeva käyrä. (Horelli ym 1969, 8-9; Exner ym. 1991, 18; Vesterinen K. 2011a.)

ISO-viskositeettiluokat teollisuusöljyille määrätään DIN 51519 -taulukossa. Tästä tulee öljyjen VG-luokat. VG-kirjaimen jälkeen tuleva numero ilmoittaa öljyn viskositeetin 40 lämpöasteessa ja tämä luku löytyy yleensä tuotenimikkeestä. (Horelli ym 1969, 8-9; Exner ym. 1991, 18; Vesterinen K. 2011a.)

### **Viskositeetti-indeksi**

Viskositeetti-indeksillä (jäljempänä VI) kuvataan viskositeetin muutosta lämpötilan muuttuessa. VI vaihtelee eri öljyillä paljon ja sitä voidaan parantaa lisäaineistuksella. Öljy on sitä parempi, mitä vähemmän viskositeetti muuttuu lämpötilan muuttuessa, ja tällöin VI on suuri ja viskositeetti-lämpötila-diagrammilla suora on laakea. VI:tä kuvataan numeroilla. Esimerkiksi Neste Oilin Neste Hydraulii 46 Basic öljyn VI on 142. Työkoneissa joudutaan käyttämään korkean VI:n öljyä, koska koneen tulee toimia ympäri vuoden, vaihtelevissa lämpötiloissa. Nesteen Hydraulii tuoteperheen viskositeetti-lämpötila-diagrammit saatiin Ari Saastamoiselta sähköpostitse 4.10.2012. (Exner ym 1991, 18-19.)

### **Paineen vaikutus viskositeettiin**

Nesteiden viskositeetti riippuu myös vallitsevasta paineesta. Tämä tulee ottaa huomioon, kun hydrauliiikkaöljyä käytetään yli 200 baarin paineessa. Noin 400 baarissa viskositeetti on kaksinkertaistunut. (Exner ym 1991, 18-19.)

## **Yhteensopivuus materiaalien kanssa**

Hydrauliöljy ei saa aiheuttaa ei toivottuja, kemiallisia reaktioita järjestelmän sellaisten materiaalien, kanssa mihin öljy on kosketuksissa. Tällaisia ovat esimerkiksi tiivisteet, putket, laakerit jne. (Exner ym 1991, 18-19.)

## **Hapettuminen**

Hapettumisessa öljymolekyyli reagoi hapen kanssa. Hapettuminen muuttaa öljyn hiiliketjua karboksyylihapoksi, ketoneiksi ja aldehydeiksi. Muutos on pysyvää ja on selvää, että nämä syntyneet aineet eivät käyttäydy öljylle ominaisella tavalla. Hydrauliöljy sisältää hapettumista hidastavia lisäaineita. (Barnes; Exner ym 1991, 18-19.)

## **Kokonaisemäsluku, TBN**

Antaa tiedon öljyn emäksisyydestä ja öljyn kyvystä neutralisoida siihen syntyviä happamia aineita. TBN-arvo laskee öljyn vanhetessa, ja öljyn vaihdon katsotaan olevan ajankohtainen, kun arvo on puolittunut käyttämättömän öljyn arvosta. (Viitasalo 2008.)

## **Kokonaishappoluku, TAN**

Ilmoittaa öljyssä olevien happamien aineiden määrän. Tämä luku, toisin kuin TBN kasvaa öljyn vanhetessa ja sille voidaan määrittää jokin arvo, jolloin öljy on vaihdettava. Tämä on käytössä lähinnä pitkän vaihtovälin kohteissa. (Viitasalo 2008.)

## Puhtausluokat

Hydrauliikkaöljylle on määritelty eri standardeissa puhtausluokkia. Uusin ISO 4406:1999 standardi määrittelee puhtausluokan kolmella numerolla esim. 19/17/14. Luvut kuvaavat partikkeleiden määrää 100 ml nestettä kohden. Ensimmäinen merkitsee yli 4 mikronin kokoisten hiukkasten määrää, toinen yli 6 mikronin ja kolmas yli 14 mikronin. Vanhempi 4406:1987 standardi määrittää puhtauden vain kahdella luvulla: yli 5 mikronin ja yli 15 mikronin hiukkaset. Määrät ovat kumulatiivisia tarkoittaen, että yli 4 mikronin luokassa on mukana myös kaikki yli 6 ja 14 mikronin hiukkaset ja yli 6 mikronin hiukkasiin lasketaan myös yli 14 mikronin hiukkaset. Taulukosta 1 on ISO 4406: 1999:n sallitut hiukkasmäärät kyseisen luokan kohdalta. (Viitasalo 2008; Vesterinen 2011b; Antila ym 2006, 120-130.)

Taulukko 1. ISO 4406:1999 hiukkasmäärät luokittain (Puhtaan öljyn opas 2003).

Yli	Asti	Luokka
8.000.000	16.000.000	24
4.000.000	8.000.000	23
2.000.000	4.000.000	22
1.000.000	2.000.000	21
500.000	1.000.000	20
250.000	500.000	19
130.000	250.000	18
64.000	130.000	17
32.000	64.000	16
16.000	32.000	15
8.000	16.000	14
4.000	8.000	13
2.000	4.000	12
1.000	2.000	11
500	1.000	10
250	500	9
130	250	8
64	130	7
32	64	6

## **Kokoonpuristuvuus**

Hydrauliöljyjen kokoonpuristuvuus on noin 0,7 — 0,8 % 100 baaria kohden. Arvo kasvaa paineen lämpötilan noustessa ja pienenee paineen kasvaessa. (Exner ym. 1991, 18-19.)

## **Vaahtoaminen**

Öljystä nousevat ilmakuplat voivat aiheuttaa vaahtoa nesteen pinnalle. Vaahto on seos, jossa nesteen sisälle on jäänyt kaasukuplia. Vaahtoamista vähennetään lisäainein ja oikealla säiliön suunnittelulla. (Exner ym. 1991, 18-19.)

## **Ilman liukeneminen ja vapautuminen**

Liuoksella tarkoitetaan seosta, jossa kaksi ainetta on sekoittunut toisiinsa, niin ettei niitä pysty havaitsemaan toisistaan. Hydrauliikkaöljyyn tulisi liueta mahdollisimman vähän ilmaa, ja ilman tulisi vapautua siitä nopeasti säiliössä. Näitä ominaisuuksia pystytään parantamaan lisäainein. (Exner ym. 1991, 18-19.)

## **Leikkaantuminen**

Leikkaantumisia tapahtuu järjestelmässä venttiilien sulkeutuessa ja öljyn virrassa ohjausreunojen ohitse. Öljyn leikkautuessa voi käydä niin, että öljymole-

kyyli katkeaa satunnaisesta kohdasta, silloin viskositeetti muuttuu pysyvästi. (Exner ym. 1991, 19-19.)

### **Lämmönjohtokyky**

Järjestelmässä kiertävän hydraulikkaöljyn pitää kuljettaa toimilaitteissa syntynyt lämpö mukanaan tankkiin tai jäähdyttimelle. Mitä paremmin öljy ottaa lämmön vastaan ja luovuttaa sen pois, sitä paremmin järjestelmän lämpötilat pysyvät normaalina. (Exner ym. 1991, 18-19.)

### **Veden sitoutuminen**

Mobilejärjestelmien ongelmana on varsinkin tankkiin kondensoituva vesi. Hydraulikkaöljy sitoo itseensä mahdollisimman pienen määrän vettä. Jo 0,1% vettä sekoittuneena öljyn joukkoon havaitaan sameutena. Kun vettä on öljyn joukossa 0,2%, se on käyttökelvotonta. 0,5% vettä tekee öljyn maitomaiseksi emulsioksi. Vesi on tiheydeltään suurempaa kuin öljy ja painuu pohjalle öljyn seisoessa. Vesi voidaan poistaa tankista avaamalla varovasti pohjatulppa. (Exner ym. 1991; Viitasalo 2008; Vesterinen 2011b.)

### **Korroosionsuoja**

Hydraulikkaöljyyn lisätään kemikaalia, mikä muodostaa vettähylkivän kalvon metallin pinnalle ja neutraloi vanhenevan öljyn korroosiota lisäävät yhdisteet. (Exner ym. 1991, 18-19.)

### 4.3 Öljyn ominaisuuksissa tapahtuvat muutokset ja niiden aiheuttajat

#### 4.3.1 Vanheneminen

Öljyn vanhenemisella tarkoitetaan sen ominaisuuksien muuttumista hapettumisen, lämpötilan, katalyyttisten metallien ja veden vaikutuksesta. Vanhenemisprosessiin liitetään myös lisäaineiden kuluminen. Öljyn vanhenemiskäyttäytymisen ja nopeuden määrää ensikädessä öljyalaatu eli perusöljy ja lisäaineet.

Öljyn hapettumisen voidaan ajatella tapahtuvan kolmivaiheisesti. Aloitustasossa hiilivedyt reagoivat hapen kanssa tuottaen reaktioihin vapaita hiilivetyjä. Etene- mistasossa nämä vapaat hiilivedyt reagoivat uudelleen hapen kanssa muodostaen lisää vapaita hiilivetyjä ja vetoperoksiedeja. Lopetustasossa vetyperoksiedeista muodostuu ketoneja, aldehydejä, vettä ja alkoholeja. Näiden jatkoreaktiona syntyy korroosiota aiheuttavia orgaanisia happoja ja polymereja, ja niiden edelleen reagoidessa, pitkäketjuisia yhdisteitä, jotka nostavat viskositeettiä. Nämä jatkoreaktioiden hartsimaiset, lakkamaiset ja asfalttimaiset yhdisteet erottuvat sakkana tai tarttuvat komponenttien pintaan, jos hapettuminen päästetään liian pitkälle. Hapettumisreaktion kiihdyttäjiä on monia. Huomattavinta on lämpötilan vaikutus. Kokeellisesti on havaittu jokaisen 10-12 asteen lämpötilan kohoamisen noin puolittavan öljyn käyttöiän hapettumisen kiihdyttyä. (Antila ym. 2006, 132-138; Horelli ym. 1969, 9-11; Horelli ym. 1970, 7; Puustelli 2006, 10-12.)

Hapettuminen on kemiallinen reaktio ja monissa kemiallisissa reaktioissa tapahtuu kiihtymistä sopivien aineiden läsnä ollessa. Tällaisia aineita kutsutaan katalyyteiksi. Katalyytteinä toimivat erinomaisen hyvin eri metallit. Rauta (Fe), kupari (Cu) ja vesi ovat mainittavimmat katalyytit joita hydraulijärjestelmässä tavataan. Metalleista pahin vaikutus on kuparilla. Hapettuminen kiihtyy radikaalisti kun öljy sisältää metalleja sekä vettä samaan aikaan. (Antila ym. 2006, 132-138; Horelli ym. 1969, 9-11.)

Vesi osallistuu öljyn hapettamiseen myös aiheuttamalla kavitaatiota. Höyrykuplan luhistuessa pumpussa paikallinen lämpötilapiikki voi olla jopa 1000 astetta.



Hapettumisen nopeus noin satakertaistuu hetkellisesti ja paikallisesti tapahtuu myös öljyn hiiltymistä, jonka seurauksena öljyyn syntyy sakkaa ja ominaisuudet huononevat pysyvästi. (Antila ym. 2006, 132-138.)

Hapettumisenestoaineita ovat erilaiset antioksidantiset lisäaineet. Antioksidantit reagoivat keskivaiheen hapettumistulosten kanssa keskeyttäen reaktion ja estäen lopetustason aineiden muodostumisen. Reagoidessaan hapetustuotteiden kanssa antioksidantti lisäaine kuluu. Lisäaineen kuluttua loppuun kiihtyy hapettuminen räjähdysmäisesti. Öljy tulisikin uusia ennen kuin tämä tilanne saavutetaan. (Puustelli 2006, 10-12)

Paineenkestolisäaine (EP) ja kulumisenestolisäaine (AW) ovat tärkeimpiä hydraulikkaöljyn lisäaineita antioksidanttien lisäksi. Nämä aineet suojaavat kulumiselta muodostaen metallipinnan kanssa kerroksen, joka vähentää kulumista ja pienentää kitkaa sekä kasvattaa voiteluöljyn kuormankantokykyä. Ne ovat erittäin tärkeitä lisäaineita nykyhydrauliikan korkeiden paineiden vuoksi. Rikki- ja fosfori yhdisteistä koostuva paineenkestolisäaine näkyy alkuaineanalyysissä rikki ja fosfori pitoisuutena. Yleisimmin AW-aineena on sinkkiditiofosfaatti ja se näkyy sinkki ja fosfori pitoisuutena. Käytön aikana nämä lisäaineet kuluvat. Vanhenemisen kannalta tulee siis tarkkailla, etteivät pitoisuudet ole liian pieniä. (Antila ym. 2006, 62-68; Viitasalo 2008.)

Mobilehydrauliikan öljyt ovat Suomen oloissa aina erikoisöljyjä, joissa käytetään vaadittavan kylmäkäynnistysviskositeetin ja käyntiviskositeetin saavuttamiseksi kaikissa oloissa VI:n parantaja lisäaineita. VI:n parantajat ovat polymeerejä jotka ovat kylmässä sykkyrällä aiheuttaen mahdollisimman vähän viskositeetin kohoamista. Lämmitessä ne avautuvat pitkäksi ketjuksi ja estävät öljymolekyylien vapaan liikkumisen. Pitkänä ollessaan polymeerit leikkaantuvat helposti venttiileissä ja siitä seuraa pysyvä VI-arvon lasku. Arvon laskua voidaan pitää yhtenä öljyn vanhuuden indikaattorina, koska arvon laskettua tarpeeksi ei öljyllä saavuteta komponenttivalmistajan määräämää toimintaviskositeettialuetta vallitsevissa lämpötiloissa. (Antila ym. 2006, 62-68; Horelli ym. 1969, 9-10.)

Merkkejä öljyn vanhenemisesta on paljon, ja sitä voidaan tarkkailla monen asian suhteen: Happamien aineiden määrä, lopputason tuotteiden määrä, viskositeetin nousu, viskositeetti-indeksin lasku, fosforin ja sinkin pitoisuus. Pelkästään yhden muutoksen tarkkailu ei riitä sanomaan varmasti vanhenemisen vaiheesta. On otettava huomioon kaikki tai tutkittava, mikä omassa järjestelmässä on ensimmäinen tekijä, joka vanhentaa öljyn vaihtokuntoon. Kun tiedetään öljyn vanhenemisen vaihe, on tarkistettava myös, onko järjestelmässä katalyyttisiä aineita niin paljon, että voidaan olettaa öljyn vanhenemisen kiihtyvän tavallisesta. Ilman erottumiskyvyn huononeminen ja vaahtoamisen lisääntyminen

Ilman täytyy erottua hydraulikkaöljystä nopeasti, sillä öljyn lähtiessä säiliöstä kiertoon siinä ei tulisi olla öljyilma seosta. Epäpuhtaudet huonontavat erottumista, koska happi voi jäädä niiden pinta-aktiivisiin komponentteihin eikä näin poistu öljystä. Öljyyn sekoittunut ilma lisää kokoonpuristuvuutta, ja tämän seurauksena paineiskujen voimat kasvavat. Se alentaa tiheyttä, viskositeettia ja huonontaa voitelukykyä. Pahimmassa tapauksessa syntyy kavitointia. Pumpulle joutuessaan ilma voi vatskaantua vaahtoksi jo painelinjassa. (Antila ym. 2006, 132-138.)

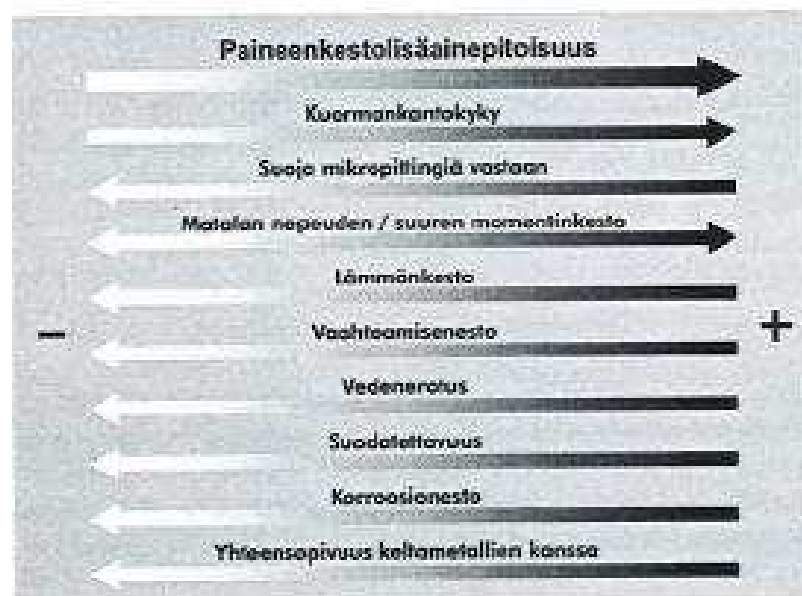
Ilman noustessa öljyn pinnalle syntyy vaahtoa. Hydraulikkaöljyt ovat lisääaineistettu vaahtoamista vastaan. Vaahtonestolisäaine on silikoniöljy, joka vähentää öljyn pintajännitystä ja helpottaa ilman poistumista. Veden on todettu tekevän lisääaineen toimintakyvyttömäksi. Silikoniöljyn pitoisuus vai muutamia ppm:ä ja vesimäärän kasvaessa vaahton määrä kasvaa nopeasti, lopulta ollen jopa kymmeniä kertoja suurempi kuin normaalisti. Vaahtoamista lisää myös hapettuminen ja likapartikkelit. Vaahtoamisestoaineen pitoisuus ja öljyn ilman erotuskyky tulee olla oikeassa suhteessa, sillä liiallinen vaahtonestoaine hidastaa ilman erottumista. (Antila ym. 2006, 83-84.)

#### 4.3.2 Lisäöljy ja -lisäaineet

Öljyyn tulisi lisätä vain saman valmistajan samaa öljyä, jota järjestelmässä on sillä hetkellä. Saman öljyalaadun lisääaineistuksen määrä ja käytetyt lisäaineet

vaihtelevat valmistajan mukaan, jolloin järjestelmässä olevan öljyn lisäaineet ja lisättävän öljyn lisäaineet voivat muodostaa arvaamattomia kemiallisia reaktioita. Reaktioiden seurauksena, jokin öljyn ominaisuus voi vähentyä, kadota kokonaan tai reaktiotuote voi erottua öljystä luoden sakkaa ja lietettä. Moottoriöljyllä on jo pieninäkin pitoisuuksina erittäin vaarallinen vaikutus epäpuhtauksien erotuskykyyn. Moottoriöljyn korkea dispersanttien pitoisuus estää ilman ja veden erottumista öljystä sen ollessa säiliössä. Tästä aiheutuu vesipitoisuuden kasvu, vaahtoaminen ja kavitaatio. Dispersantti eli jakauttaja-aine muodostaa epäpuhtauksien ympärille kerroksen ja estää niitä yhtymästä toisiinsa epäpuhtauksiin. Hydrauliikkaöljyä ei suositella edes käsiteltävän samoilla astioilla kuin moottoriöljyä. (Antila ym. 2006, 61-63; Rinkinen 2007,6-12.)

Öljyihin on myytävänä myös suoraan säiliöön lisättäviä lisäaineita. Näiden käyttöä tulee välttää aivan samoista syistä kuin öljyn sekoittamista. EP-lisäainetta lisättäessä huononee kuvion 1 esittämät ominaisuudet. Vaahdonestolisäainetta lisätessä on tiedettävä varmasti, kummasta vaahto johtuu: huonosta ilman erottuvuudesta vai vaahdoneston puutteesta. Tähän tarvitaan laboratorion apua. Ilman huono erottuvuus ollessa vaahton aiheuttajana on tuloksena vaahton lisääntyminen jos tätä tiedostamatta lisätään vaahdonestoa. (Antila ym. 2006, 61-63.)



Kuvio 1. EP lisäaineen vaikutus ominaisuuksiin (Antila ym 2006).

## 5 KULUMAMETALLIT JA LIKAPARTIKKELIT

### 5.1 Kulumametallit

Järjestelmän toimiessa syntyy kitkan ja kulumisen kautta järjestelmään metallihiukkasia, jotka ovat irronneet eri toimilaitteista. Kulumiskohteina ovat laakerit, erilaiset liukupinnat, venttiilien ohjausreunat jne. Keskitytään seuraavaksi hydraulijärjestelmän yleisimpiin kulumametalleihin ja niiden lähteisiin.

Kulumametalleja tarkkaillaan alkuainepitoisuuksilla ja taulukko 2 selvittää, missä hydraulijärjestelmän osassa kutakin metallia käytetään. Rauta (Fe) on perusaine kaikkien komponenttien rakenteessa: akselit, männät, varret ja kotelot. Laakerin pinnoitusmateriaaleja ovat lyijy, tina, hopea ja titaani. Pumpuissa ja moottoreissa käytetään paljon messinkiä liukupintojen rakenteissa. Messinki on kuparin ja sinkin seos. Kupari (Cu) on hyvä indikaattori tutkittaessa pumpun ja moottorin kuntoa. Sinkki (Zn) on myös monen lisäaineen osa, joten sen arvo ei ole tärkeä kulumametalleissa, ja sen merkitystä on esitelty edellä vanhenemisen yhteydessä. Kromi (Cr) esiintyy männänvarren pinnoitteessa, ruostumattomassa teräksessä ja venttiilien öljyjäähdytetyissä ohjauskeloissa. Kulumametalleja voidaan jaotella täten rakenne- ja laakerimateriaaleiksi. (ExxonMobil Finland Oy Ab 2008.)

Taulukko 2. Yleisimpien kulumametallien lähteet.

Fe	Kotelo, sylinteriryhmä, akseli, männänvarsi
Al	Pumpun kotelo, sylinterin tiivistysholkki
Cu	Pumpun painelevyt, pumpun männät, sylinteri tiivistysholkit, ohjaimet, holkki, öljynjäähdytin
Cr	Männänvarret, rulla/kartiolaakerit, keulat
Pb	Laakerinpinnoite
Sn	Laakerinpinnoite
Ag	Laakerinpinnoite
Ti	Laakerinpinnoite

## 5.2 Likapartikkelit

Likapartikkelit käsittävät kaikki järjestelmässä olevat kiinteät hiukkaset. Hiukkaset voivat olla kulumametalleja, hiekkaa, pölyä, hapettumisen lopputason tuotteita, tiivistemateriaalin palasia jne. Likapartikkeleiden määrä ja koko selviää hiukkaslaskennalla selvitetyn hiukkaskokojakauman avulla. Kokojakauman avulla määritetään myös öljyn puhtausluokka. Likapartikkeleista alkuaine testissä näkyy kulumametallien lisäksi myös silican (Si) eli piin pitoisuus. Hiekassa ja

täten myös hiekkapölyssä on iso määrä piitä, ja tästä pitoisuudesta tiedetään, onko järjestelmään joutunut hiekkaa. Likapartikkeleiden kokonaismäärä ja kokojakaumalla pystytään kertomaan paljon järjestelmän nykytilasta ja tulevasta kulumis- ja vauriokäyttäytymisestä.

### 5.3 Kulumametallien ja likapartikkeleiden muodostuminen

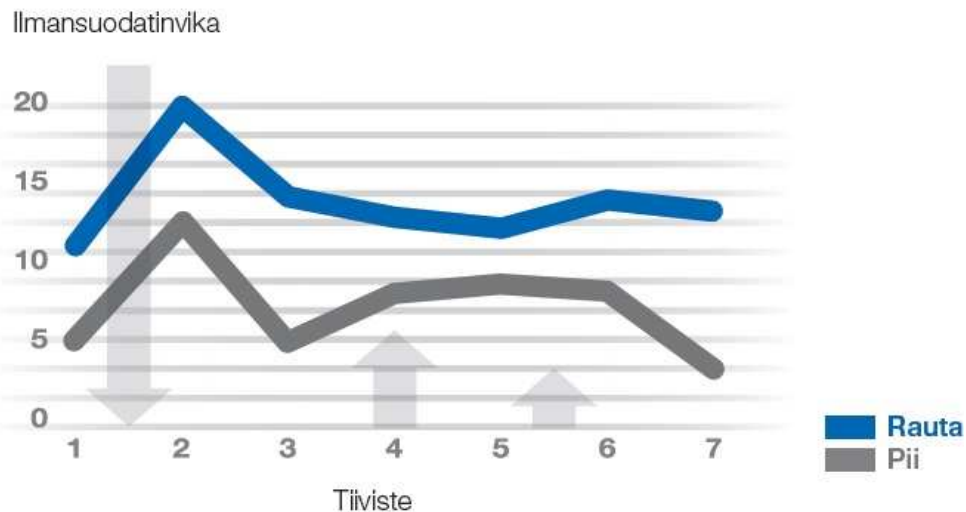
Valmistuksessa komponentteihin jää väkisin koneistus- ja hiontajäämiä ja jonkun verran pölyä. Samoja likapartikkeleita järjestelmään tulee asennusvaiheessa. Nämä partikkelit öljy ottaa mukaansa, kun konetta ensimmäistä kertaa käytetään, ja silloin puhtausluokat ovat hetken sallittua korkeammat ennen kuin lika ehtii kulkeutua suodattimeen. Tästä syystä myös ensimmäinen suodatin ja öljynvaihtoväli on noin neljäsosa, mitä siitä eteenpäin tarvitaan.

Ennen kuin konetta käynnistetäänkään se sisältää jo likapartikkeleita. Koneen käynnistyessä osat alkavat myös heti kulua ja tästä alkaa jatkuva kulumisen, öljyn vanhenemisen ja likapartikkeleiden syntymisen kiihtyvä silmukka. Silmukka alkaa epäpuhtauksista, jotka lisäävät kulumista. Epäpuhtaudet vaikuttavat huonontavasti öljyn suorituskykyyn. Öljyn huonontunut suorituskyky heikentää voitelukykyä, jonka seurauksena laitteen kulumisen lisääntyy. Lisääntyvä kulumisen ja öljyn vanhentuminen lisäävät jälleen epäpuhtauksia, ja näin silmukka alkaa alusta. (Antila ym. 2006, 170-171.)

Hiekkaa ja pölyä järjestelmässä on asennuksesta ja valmistuksesta johtuen. Niiden tulisi poistua ensimmäisen öljyvaihdon yhteydessä. Jos hiekkaa kuitenkin löytyy öljynäytteestä, on se merkki akseli- tai huulitiivisteiden huonosta kunnosta tai säiliön huohotusilmansuodattimen tehottomuudesta. On myös mietittävä, onko oman toiminnan seurauksena voinut päästä hiekkaa järjestelmään, esimerkiksi öljyä lisätessä. Nyrkkisääntönä voidaan pitää sitä, jos öljy pääsee ulos, lika ja hiekka pääsevät sisään. Hiekka on usein syy kulumametallien suuriin pitoisuuksiin. Jos alkuaineanalyysissä Silican arvo on koholla, mutta kulumista ei ole syntynyt, voidaan tulkita sen johtuvan näytteenottovälineiden epäpuhtaudesta tai lisäaineesta. Kuvio 2 esittää kulumametalliksi luokitellun raudan

(Fe) pitoisuutta riippuen silican (Si) pitoisuudesta. Kuviossa on myös selitetty kohoavia trendejä, ja siitä on nähtävissä, kuinka tärkeää on, että ilmansuodatin on kunnossa. (Antila ym. 2006, 167-181; ExxonMobil Finland Oy Ab 2008.)

## Piipitoisuuden merkityksen ymmärtäminen



Kuvio 2. Silican ja kulumametallin yhteys (ExxonMobil Finland Oy Ab 2008).

Pumpuissa paine nousee painelinjaan kytketyssä sylinterissä erittäin nopeasti ja suureksi. Kavitoinnin synnyttämä kupla luhistuu tällaisessa olosuhteessa nanosekunneissa ja ollessaan lähellä pintaa ne muotoutuvat ensin pisaramaisiksi kärjen suuntautuessa kohti pintaa. Luhistuessa niiden tilalle virtaa nestettä suurella nopeudella, ja teoreettisesti laskettuna pisaran kärjen kohdalle voi muodostua jopa 100000 baarin paine. Tämän seurauksena pinnasta irtoaa metallihiukkanen. Paikallinen korkea lämpötila voi aiheuttaa myös metallin sulamista. (Fonselius 1989, 35; Horelli ym. 1969, 10-14.)

Vesi aiheuttaa väsymistä ja kulumista. Vesi tiheydeltään suurempana laskeutuu aina pohjalle öljyn seisoessa. Näin voi käydä myös laakeripesässä, jolloin käynnistettäessä laitetta, ei liuku- tai vierintäpinnoilla ole ollenkaan voiteluainetta, ja silloin tapahtuu paljon kulumista lyhyessä hetkessä. (Antila ym. 2006, 130-135.)

## 5.4 Muutoksista aiheutuvat ongelmat

### 5.4.1 Hapettuminen

Hapettumisessa syntyy happoja, jotka aiheuttavat korroosiota ja kulumista komponenttien sisäpinnoilla. Korroosio vaikutusta kiihdyttää hapettumisen seurauksena syntynyt vesi. Viskositeetti kohoaa aiheuttaen kitkan lisääntymistä ja täten kulumista. Lopputason tuotteiden reagoidessa edelleen, syntyy lakka ja hartsimaisia aineita jotka tukkivat suodattimia ja tarttuvat pintoihin ja hidastavat esimerkiksi venttiileiden toimintaa. Kuvassa 2 näkyy lakka ja hartsikerrostumaa luistissa. Lika partikkelit tarttuvat tahmeaan hartsikalvoon ja kuluminen voi lisääntyä. Lakka- ja hartsikalvo eristävät lämpöä ja voivat nostattaa järjestelmän käyntilämpötilaa, jolloin hapettuminen kiihtyy edelleen. (Puustelli 2006, 10-12.)



Kuva 1. Lakka ja hartsikerrostumaa venttiilin luistissa.

### 5.4.2 Lisäaineiden kuluminen

VI-lisäaine kuluu leikkaantumalla, ja öljyn viskositeetti tulee paljon riippuvaisemmaksi lämpötilan muutoksista. Viskositeetin arvo koneen ollessa lämmin voi muodostua liian pieneksi ja voitelevuus kärsii, josta seuraa kulumista ja tehonhukkaa. VI:n laskulla on myös suuri vaikutus koneen kylmäkäynnistettävyyteen.



Kylmäkäynnistys viskositeetti voi muodostua niin suureksi, että käynnistettäessä pumppu alkaa kavitoimaan ja kuluu nopeasti tai vaurioituu heti voitelun puutteessa. Pumpun päästessä pumppaamaan liian jähmeää öljyä sen pesä voi haljeta. (Antila ym. 2006, 61-67; Horelli ym. 1969, 9-10.)

Kulumisenestolisäaineen kuluessa loppuun ei järjestelmää suojaa enää mikään metalli-metalli kosketuksissa. Tämä tietää komponenttien kiihtyvää kulumista ja pysyviä vaurioita, kuten kuoppautumista ja hilseilyä. EP-lisäaineen loputtua vaikutus on sama kun kulumisenestolisäaineen loputtua. Vaikutus voi näkyä tosin rajumpana, koska EP vaikuttaa eniten suuresti rasitetuissa kohdissa. (Antila ym. 2006, 61-67.)

#### 5.4.3 Vesi

Ellei hydraulikkaöljyyn joutunut vesi erkane säiliössä, se kulkeutuu pumppuun, jossa se pisaroituu ja vatkautuu emulsioksi. Vesi öljyn joukossa aiheuttaa voiteluvuuden alenemaa, kuumakäyntiä, synnyttää vaahtoa, jouduttaa hapettumista ja korroosiota. 0,1% vettä öljyn joukossa saa värin muuttumaan sameaksi. (Horelli ym. 1969, 12.)

#### 5.4.4 Ilma

Ilmakuplan joutuessa pumpulle, paineen vaikutuksesta sen lämpötila nousee hyvin korkeaksi. Öljy hiiltyy kuplan ympäriltä, joten öljyyn kertyy vähitellen piilaantuneita, hapettuneita öljyhiukkasia. Öljy lämpenee lämmittäen samalla pumppua, jolloin hydraulikkanesteen viskositeetti saattaa muodostua liian pieneksi, ja voitelu saattaa jäädä puutteelliseksi. Ilma öljyn joukossa lisää paineiskuja, jotka lisäävät vuotoa ja voivat rikkoa komponentteja, ja kavitaatiota, joka vaurioittaa pumppua. (Horelli ym. 1969, 10-11.)



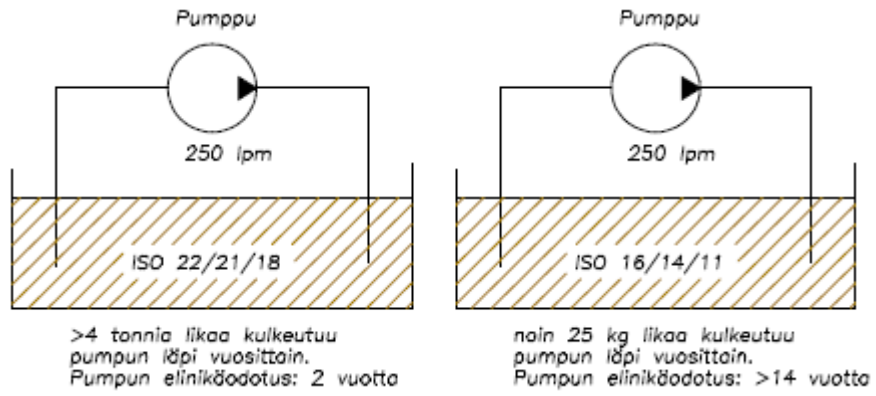
Kuva 2. Ilman aiheuttaman kavitaation jälkiä (Nestepaine 2006).

#### 5.4.5 Kulumametallit

Kulumametallit indikoivat vauriota, joten niiden esiintyminen on itsessään jo ongelma, joka tulisi tutkia. Niiden läsnäolo aiheuttaa kuitenkin myös öljyn hapettumisen kiihtymistä, eli ne lisäävät myös korroosiota ja kaikkea muuta mitä hapettuminen tuo tullessaan.

#### 5.4.6 Likapartikkelit

Likapartikkelit jumittavat venttiileitä, tukkivat suuttimia ja aiheuttavat erilaisia vaurioita komponentteihin: väsymistä, kulumista jne. Komponenttien käyttöikä vähenee. Suodattimien paine-ero kasvaa ja suodatusteho laskee, joka lisää likapartikkeleiden määrää entisestään.



Kuvio 3. Puhtausluokan vaikutus käyttöikään (Nestepaine 2006).

# ÖLJYANALYYSI

## 5.5 Öljyanalyysi ja sen hyödyt

Öljyanalyysi on usein tehokas ja edullinen työkalu laitteiden ennakoivaan kunnonvalvontaan ja koneiden yllättävien seisakkien torjumiseen. Öljyanalyysejä teettämällä pyritään saamaan vastauksia kysymyksiin:

- Ovatko voiteluominaisuudet säilyneet järjestelmän vaatimalla tasolla?
- Onko öljyn puhtaus vaaditulla tasolla, jota järjestelmä edellyttää?
- Onko öljyyn kerääntyneistä kulumahiukkasista tunnistettavissa kulumisen muutokset?
- Ovatko toimilaitteet huollon tai vaihdon tarpeessa?
- Onko öljy suodatettava paremmin tai vaihdettava?

Teettämällä analyysi säännöllisesti pystytään säästämään huomattavasti suuria summia huoltokuluista. Öljynvaihtoväli voidaan maksimoida ja turhat öljynvaihdot jäävät pois kokonaan. Öljyn ennenaikainen ikääntyminen huomataan ajoissa, eikä järjestelmään ehdi syntyä likaa, joka aiheuttaisi venttiileissä häiriöitä, ja mitä jouduttaisiin huuhtelemalla poistaa. Epänormaali vanhentuminen, likaantuminen ja kulumametallipitoisuus havaitaan ja siihen pystytään reagoimaan ennen katastrofaalista rikkoutumista. Oikeasti vaihdon tarpeessa olevat osat pystytään uusimaan. Järjestelmän elinikä pidentyy ja huollon suunnittelu helpottuu. (Nousinen & Vesala 2010, 24-16; Antila ym. 2006, 164-181.)

## 5.6 Tarvittavan analyysin valitseminen

Nykyaikaisessa laboratoriossa öljylle voidaan tehdä kattava määrä analyysejä, ja monenlaisia analyysipaketteja on tarjolla. Analyysejä jaotellaan tutkimiskohteen mukaan: perusominaisuuksien, hiukkasten ja kulumametallien.

Öljyn perusominaisuuksista voidaan tutkia

- ulkonäkö
- viskositeetti

- TAN-luku
- kiintoaine (paino %)
- öljyalaatu
- vesipitoisuus (ppm)
- viskositeetti-indeksi
- lisäaineet
- vieraat aineosat
- hapettuminen, identifiointi (IR)
- vaahtoaminen

Näistä saadaan tulokseksi jokin suure, jota voidaan verrata kyseisen ominaisuuden maksimi- tai minimisuureeseen ja päättää, onko öljy käyttökelpoinen. (Antila ym. 2006, 170-178.)

Hiukkanalyysissä pystytään määrittämään standardin mukainen puhtausluokka näyteöljystä. Nykyaikaisessa laboratorioissa laitteet listaavat myös hiukkasten kokojakauman, joka kertoo kulumisesta ja sen vakavuudesta paljon enemmän kuin pelkkä vallitseva puhtausluokka. Koko jakaumassa erotellaan hiukkasten koot vähintään kahdeksalla kokoluokalla ja tästä saadaan tietoa, kuinka suuria ovat yli 14 mikronin hiukkaset ja kuinka paljon niitä on. Kulumisvaurion alkaessa komponentista voi irtoilla yli sadan mikronin kokoisia hiukkasia ja nämä pystytään erittelemään kokojakauman avulla. Hiukkanalyysi on määrällinen analyysi eikä kerro laadusta mitään. Hiukkasten laadun tarkastelua varten voidaan kehittää mikroskooppinäytelevy, josta pystytään tarkastelemaan hiukkasten muotoa ja määrittelemään hiekan ja eriväristen metallien suhteellisia pitoisuuksia. (Antila ym. 2006, 170-178. Niiranen 2008, 28-31.)

Kulumametallianalyysissä saadaan selkeä tieto eri alkuaineiden pitoisuuksista, ja ne ilmoitetaan miljoonasosina eli ppm:inä. Analyysi perustuu AAS- tai ICP-säteilymittauksiin. Lisäksi kulumametalleja voidaan tutkia ferrograafilla. Tuloksena saadaan selville järjestelmän kulumisen kokonaismäärä tai kulumisindeksi. Myös kulumisen vakavuus saadaan selville, kun verrataan kookkaiden hiukkasten suhteellista määrää pienempiin. Tämä yhdistettynä mikroskooppitarkasteluun on hyvä menetelmä vauriodiagnostiikassa. (Antila ym. 2006, 170-178.)

Työkoneiden hydraulikkaöljyn tärkeimmät perusominaisuudet ovat, viskositeetti ja VI. Öljyyn kerääntyy helposti kondensioivettä, ja öljy on altis hapettumiselle. Perusominaisuuksista tulee ehdottomasti tutkia käytettävän öljyn viskositeetti ja VI, jotta saadaan tieto öljyn soveltuvuudesta käyttölämpötiloihin, hapettumisen aste, joko TAN-luvun avulla tai identifionnilla, ettei hapettuneen öljyn seurauksena järjestelmää jouduta huutelemaan tai komponentteja uusimaan, ja vesipitoisuus, sillä vesi aiheuttaa tai on osa-aiheuttaja erittäin monissa ongelmissa. Hiukkasanalyysi tulisi tehdä aina hydraulikkaöljylle ja verrata tuloksia valmistajan ilmoittamaan vaadittuun puhtausluokkaan. Edeltävien analyysien perusteella pystytään sanomaan, onko öljy käyttökelpoista. Rikkoutumisien ennaltaehkäisyyn kannalta tärkeitä analyysejä ovat hiukkaskokojakauma, alkuainepitoisuudet, mikroskooppikuvat ja ferrografia. Hydraulijärjestelmän osalta tutkitaan usein vain alkuainepitoisuudet. (Antila ym. 2006, 170-178.)

## 5.7 Näytteenottoaikan määrittäminen

### 5.7.1 Yleisesti

Kun tutkitaan käytössä olevan voiteluaineen kuntoa, on näytteenottoa valittava niin, että siitä otettu näyte antaa kuvan koko voiteluaine-erästä. Mikäli on tarkoitus myös tutkia epäpuhtauksien määrää ja/tai laatua on tutkittava pumppujen, suodattimien ja toimilaitteiden sijainnit. On pidettävä mielessä, että hiukkasmäärä ei ole järjestelmässä vakio vaan muuttuu paikan ja myös ajan suhteen. Seuraavat pohdinnat ottavat kantaa vain pullonäytteenottoa paikkaan sillä se on ainoa järkevä ja tarpeeksi kattava tarkkailumuoto, jonka vakuutusyhtiö pystyy toteuttamaan. (Antila ym. 2006, sivu; Niiranen 2008, 28-31.)

Öljynäyte on otettava paikasta, josta saadaan näyte yleisesti järjestelmässä kiertävästä öljystä, jotta sitä voidaan tarkastella kemiallisen kunnan kannalta. Varsinkin mobilehydraulijärjestelmässä, jossa on paljon työsylinteriä ja paluulinjat ovat pitkiä, sama öljy pyörii sylinterillä miinus ja plus liikkeen aikana. Öljy ei siis kierrä vaan menee edes takaisin. Tällaisessa paikassa öljy voi olla erilais-

ta kuin muualla järjestelmässä. Pelkästään kemiallisen kunnan tarkasteluun tarvittavan öljyn voi hyvin ottaa säiliöstä, pumpun imulinjasta, pumpun painepuolelta, paluu virtauksesta, vuotolinjasta tai muusta paikasta missä tiedetään öljyn kiertävän normaalisti. (Niiranen 2008, 28-31.)

Järkevää kuitenkin olisi suunnitella näytteenotto sellaisesta kohdasta, jossa saadaan myös mahdollisesti tietoa jonkun kriittisen tai kalliin komponentin tuotamasta kulumametalli ja likapartikkeli määrästä tai sille menevän öljyn puhtaudesta. Tarjolla oleviin analyysipaketteihin poikkeuksetta kuuluu kulumametallien tarkastelu ja likapartikkeleiden laskenta ja alkuaine testit. Näytteenottopaikkaa pohdittaessa on päätettävä, mitä tuloksilla halutaan tarkastella. Voidaan tarkastella suodattimien suodatustehoa, yksittäisen toimilaitteen kulumista, tiivisteiden kuntoa tai jotain toimilaitte ryhmää jne. Mahdollisuuksia on paljon, on vain valittava juuri omaan tarkoitukseen sopiva tai valittava paras mahdollinen tarjolla oleva paikka. Pitää muistaa, että suodattimen jälkeen ei saada luotettavaa tietoa hiukkasäärästä tai kulumametalleista, jotka ovat syntyneet edellisen suodattimen jälkeen. (Niiranen 2008, 28-31; Purhonen M. 2009, 18-21.)

Hiukkaslaskennan kannalta on tärkeää, että näyte otetaan virtauksesta ja mahdollisesti myös turbulenttisesta sellaisesta, jolloin hiukkaset ovat varmasti sekoittuneet tasaisesti öljyyn tasaisesti. Jos näyte otetaan hitaasti virtaavasta paluuvirtauksesta tai seisovasta öljystä, on näytteenotto syvyydellä tai liittimen asennolla vaikutusta partikkeleiden määrään. Hitaassa virtauksessa tai seisovassa öljyssä partikkelit laskeutuvat pohjalle ja tulosten oikeellisuuden arvioiminen on erittäin vaikeaa. Säiliöstä otettaessa tulisi näyte ottaa 5 — 10 cm säiliön alimman kohdan yläpuolelta. Lähteenä on käytetty Neste Oilin Ari Saastamoiselta 4.10.2012 saatua näytteenoton ohjetta. (Puhtaan öljyn opas 2003.)

### 5.7.2 Työhydrauliikka

Työhydrauliikalle on ominaista se, että piiri on avoin. Pumppu tai pumpput tuottavat monelle eri toimilaitteelle tilavuusvirran ja toimilaitteiden paluuvirtaukset yh-

distyvät viimeistään ennen paluusuodatinta. Öljyn kemiallisen kunnon tarkasteluun öljyn voi ottaa melko vapaasti, mutta jos likapartikkeli- ja kulumametallianalyseillä tahdotaan saada arvokasta tietoa, on paikka valittava tarkasti.

Pumpun imupuolella öljy on mennyt ainoastaan imusihdin lävitse. Imusihti estää säiliöön päässeiden roskien pääsyn kiertoön, mutta kaikki muu mitä paluusuodatin ei ole suodattanut, pääsee pumpun imupuolelle. Imupuolelta otettu näyte kertoo hyvin paluusuodattimen kunnon tai jos tiedetään suodattimen olevan hyvä, voidaan olettaa että järjestelmässä syntyy tai siihen pääsee niin paljon likapartikkeleita, ettei suodattimen tarkkuus tai  $\beta$ -luku ole enää riittävä. Imupuolen öljy on järjestelmän kiertoön lähtevää öljyä, jos järjestelmässä ei ole painesuodatinta, voidaan öljyn puhtausluokkien avulla päätellä öljyn vaikutus järjestelmän kulumiseen tai vikaantumiseen. (Niiranen 2008, 28-31; Purhonen M. 2009, 18-21.)

Pumpun jälkeen, painepuolelta otettaessa, öljy on kulkenut pumpppuelementin lävitse ja kerännyt mukaansa likapartikkeleita ja pumpputyypistä riippuen eri osien kulumametalleja. Näytteestä pystytään tarkkailemaan pumpun mekaanista kuntoa ja sitä, että pääseekö sen tiivisteiden kautta ulkopuolista likaa järjestelmään. Tämä öljy menee seuraavaksi toimilaitteille ja on imulinjaa parempi kohta näytteenotolle kun tutkitaan öljyn likaisuuden vaikutusta järjestelmään, koska pumpussa muodostuvat likapartikkelit otetaan myös huomioon. On tärkeää tuntea pumpun rakenne ja materiaalit tutkittaessa kulumametalleja. Joillakin pumpputyypeillä öljynäytteen ottaminen vuotolinjassa antaa hyvin tietoa lähes tyvästä laakerivauriosta. (Niiranen 2008, 28-31; Purhonen M. 2009, 18-21.)

Toimilaitteen kuten venttiilin tai moottorin painepuolelta otettaessa näyte antaa kuvan ennen tarkasteltavaa toimilaitetta edeltävien toimilaitteiden kulumametalleista ja likapartikkeleista. Tästä voidaan puhtauden avulla ennustaa tulevia vikaantumisia ja kulumisen nopeutta. (Niiranen 2008, 28-31; Purhonen M. 2009, 18-21.)

Toimilaitteiden paluuvirtauksista voidaan tutkia kyseisen toimilaitteen kierrossa syntyvää kulumametalli määrää. Siitä havaitaan nopeasti alkavat vauriot. Työ-



koneissa tätä haittaa kuitenkin järjestelmän monimutkaisuus. Öljy menee monen toimilaitteen läpi ennen kuin kytkeytyy tankkilinjaan. Paluulinjan kanssa tulee olla tarkkana miettiessä, mitä se kertoo. Riippuen työkierron vaiheesta, toimilaitteen jälkeen öljyssä on eri määrä likapartikkeleita ja pullonäytteellä toteutetun analyysin tulos riippuu täysin siitä. Öljyn puhtaustasoa ei voida tällaisesta kohdasta tarkastella ainakaan pulloanalyysillä. (Niiranen 2008, 28-31; Purhonen M. 2009, 18-21.)

Ennen paluusuodatinta yleensä paluut yhdistyvät ja tästä yhteisestä paluuvirtauksesta voidaan ottaa näyte jolla saadaan tietoa koko järjestelmän mekaanisen kulumisen tasosta kulumametallien avulla. Paluu virtauksen öljystä voidaan vetää hyviä johtopäätöksiä silloin, kun löytyy tarpeeksi vertailukohteita. (Niiranen 2008, 28-31; Purhonen M. 2009, 18-21.)

### 5.7.3 Ajohydrauliikka

Ajohydrauliikka on työkoneissa poikkeuksetta suljettu piiri, jota kutsutaan hydrostaatiksi. Suljetussa piirissä moottorin paluupuoli on kytketty pumpun imupuolelle. Öljyn vaihtuvuus hoidetaan huuhteluventtiilillä, joka päästää osan moottorin paluuvirtauksesta moottorin koteloon. Kotelon vuotolinja on kytketty edelleen pumpun koteloon ja vasta pumpun vuotolinjasta on yhteys säiliöön. Pumpun imupuolelle syötetään erillisellä syöttöpumpulla tasaisella noin 20-30 baarin paineella lisää öljyä. Syöttöpumppu on normaalisti hammasrataspumppu ja pääpumppu ja moottori toimivat aksiaalimäntä periaatteella. Molemmat voivat olla muuttuvatilavuuksisia tai halvemmissa ratkaisuissa vain pumppu on muuttuvatilavuuksinen. (Mäkinen 1984, 34.)

Pääpiirissä öljy kiertää pumpun ja moottorin lävitse. Pääpiiristä otetun öljynäytteen kulumametalleista ja likapartikkeleista voidaan tarkkailla moottorin ja pumpun kuntoa ja tulevaa kestoa. Laakereiden kulumista ei voida yleensä havaita, sillä pumppu ja moottori ovat mäntärakenteisia, joten laakerit voidellaan vuotoöljyllä. Vaikeuksia voi olla tulkitsemisessa – kummasta kulumametallit tulevat, moottorista vai pumpusta. (Mäkinen 1984, 34.)

Pumpun vuotolinja on erittäin informatiivinen paikka tarkastellessa hydrostaatin kuntoa, sillä sen kautta kulkee huuhteluöljy. Huuhteluöljy kiertää ensin pääpiirissä, sitten venttiilien ja molempien koteloiden kautta säiliöön. Matkallaan se kerää kaikki kulumametallit elementeiltä, laakereilta, vinolevyiltä, liuilta ja venttiileiltä. Kuntoa voidaan määritellä, kun on kerätty tarpeeksi tietokantaa, mihin tuloksia voidaan verrata. Jos näyte otetaan huuhteluöljyn paluulinjasta ennen suodatinta, se on sama kuin vuotolinjasta otettu näyte. (Mäkinen 1984, 34.)

Syöttöpumpun painepuolelta otettaessa näyte antaa tietoa hydrostaattiin menevästä öljystä. Voidaan tarkkailla täyttääkö tämä öljy puhtausvaatimuksen ja pysyttään ennustamaan, aiheuttaako öljy epätavallista kulumista tai korroosiota. Jos järjestelmässä on painesuodatin, on näyte otettava sen jälkeen. Jos suodatinta ei ole, voidaan tutkia myös syöttöpumpun kuntoa. (Mäkinen 1984, 34.)

#### 5.7.4 Toteutus

Omaa öljytutkimusta aloittaessani otin selvää ja pohdin eri lähteiden avulla mahdollisimman informatiivisia öljynäytteenottoa kohtia hydraulijärjestelmässä. Kun nämä jo aiemmin kappaleessa esitellyt kohdat olivat selvillä otin yhteyttä Komatsu Forestin Suomen päätoimipaikkaan Pirkkalaan, sopiakseni heidän kanssaan ajan, jolloin pääsisin keskustelemaan ja tutustumaan hydraulikka-kaavioihin ja itse koneisiin. Heillä oltiin hyvin myötämielisiä tutkimukselleni, ja he lupasivat antaa tarvitsemaani tietoa, pohdinta-apua ja opastusta koneiden kanssa. Tapaamisessa tutkimme yhdessä henkilökunnan kanssa hydraulikka-kaavioita, jotka ovat esillä liitteissä 2 ja 3, ja merkitsimme paikat, joista olisin kiinnostunut ottamaan näytteen. Sitten menimme tutkimaan itse koneesta, mitkä kohdat ovat mahdollisia, millä menetelmillä ja missä kohdat sijaitsevat.

Mahdollisia näytteenottoa kohtia olivat

- hydrostaatin pääpiiri
- hydrostaatin syöttölinja painesuodattimen jälkeen

- hydrostaatin huuhteluöljy ennen paluusuodatinta
- työhydrauliikan painelinja heti pumpun jälkeen
- työhydrauliikan paluuvirtaus ennen suodatinta

Työhydrauliikan paluuvirtaus ja hydrostaatin huuhteluöljy oli mahdollista ottaa imupumpulla. Muut kohdat olivat järjestelmän painepuolella ja näyte voitiin ottaa vianhakuun tarkoitetuista paineenmittausliittimistä. Pohdintojeni perusteella selvästi paras kohta ottaa näyte oli työhydrauliikan painepuolelta pumpun jälkeen, koska rikkotutkimus osoittaa metsäkoneissa rikkoutumisien johtuvan yleisimmin tästä pumpusta. Saadakseni tästä varman tiedon, päätin ottaa yhdestä koneesta näytteen jokaisesta viidestä kohdasta ja lähettää analysoitavaksi. Analyysiraportin perusteella keräsin arvoja taulukkoon 3 kohtien vertailua varten.

Taulukko 3. Arvojen poikkeamat samassa koneessa.

Näytteenotto kohta	ISO partikkelit	Kulumametallit	Hapettuma	Sinkki	Fosfori	PQI
Hydrostaatin painelinja	18/15	0-10 ppm	17	231	325	10
Hydrostaatin syöttölinja	18/14	0-10 ppm	17	238	340	7
Työhydrauliikan painelinja	19/15	0-10 ppm	17	275	362	17
Työhydrauliikan paluuöljy	16/12	0-10 ppm	17	237	336	4
Hydrostaatin huuhteluöljy	15/12	0-11 ppm	17	235	399	6

Taulukosta selviää, kuinka painepuolelta, virtauskohdasta otetun näytteen partikkelimäärät ovat huomattavasti suurempia kuin paluu ja huuhteluöljyistä otetut arvot. Paluu- ja huuhteluöljyt ottamista varten kone jouduttiin sammuttamaan ja

näyte otettiin seisovasta öljystä imupumpulla. Partikkelit olivat ehtineet laskeutua jo syvemmälle ja partikkeleja tuottavat komponentit ovat kaukana. Virtauspuolelta otetuissa arvoissa likaisuuden arvoa on myös voinut nostaa mittausletkun huuhtelun riittämättömyys, mutta myös se, että komponenteissa on juuri näytteenotto hetkellä tapahtunut kulumaa. Partikkeli mittauksen kannalta on järkevä ottaa näyte painepuolelta tulosten verrattavuuden kannalta. Kulumamettallien arvot eivät muuttuneet mittauspisteiden vaihtuessa. Magneettisia partikkeleita kuvaava PQI-arvo on kuitenkin erittäin korkea työhydrauliikan pumpun jälkeen, vaikka öljyn puhtausarvot ovat kutakuinkin samat hydrostaatin painelinjan kanssa, jolla PQI-arvo on paljon pienempi. Tästä saadaan selville, että työhydrauliikan pumppu tuottaa tai tuotti juuri näytteenottohetkellä suuria metallihiukkasia, jotka eivät näy alkuainetestissä. Hydrostaatin isot partikkelit ovat osin jotain muuta kuin magneettisia hiukkasia. Kaikki mittauspisteet toimivat yhtä hyvin öljyn vanhentumisen mittaamiseen, sillä hapettumisen arvo oli juuri sama ja tärkeimpien lisäaineiden pitoisuuksissa ei ollut suuria heittoja.

Ensimmäiset näytteet vahvistivat työhydrauliikan painepuolen parhaaksi näytteenottokohdaksi. Siinä on koneen ollessa paikallaan suurin paine ja virtaus, jolloin saadaan edustavin näyte likapartikkeleista ja samalla pystytään tarkkailemaan kulumametallipiikkejä. Tästä kohdasta myös öljyn kunnon tutkimus onnistuu erinomaisesti.

## 5.8 Näytteenotto

### 5.8.1 Puhtaus

Näytettä otettaessa on puhtaudella suuri merkitys tulosten luotettavuuteen. Näytepullon tulee olla kuiva ja hyvin puhdistettu. Liittimet, letkut, pumput ja hanat, joilla näyte otetaan pitää olla myös mahdollisimman puhtaita. Tämä voidaan varmistaa puhdistamalla liittimet ennen liittämistä ja huuhtelemalla näytteenottoputken läpi riittävä määrä öljyä. Kun näyte otetaan säiliöstä, on kansi ja sen ympäristö puhdistettava huolella. (Colly Company 2010.)

### 5.8.2 Huuhteluaika

Professori Jari Rinkinen on tutkinut mittausyhteen huuhtoutumisaikaa väitöskirjassaan: Öljyn kunnonvalvonta ja inline-kunnossapito sekä komponenttien online-diagnostiikka hydraulii- ja kiertovoitelujärjestelmissä. Mittausyhteen huuhtoutumisella tarkoitetaan sitä aikaa, joka kuluu ennen kuin likapartikkeleiden mittausulos on yhtä öljyjärjestelmän kanssa. Tuloksena hän on saanut: 15 minuutin huuhtelun jälkeen 90 % todennäköisyydellä tulee todellinen tulos. Tuloksissa kuitenkin näkyy, kuinka 57:ssä mittauksessa 344:stä mittauksesta oli tarvittu aikaa vain minuutti. Tutkimuksessa ei kerrota, minkälainen järjestelmä tai mittauskalusto on kyseessä, eikä myöskään tiedetä virtausnopeutta, jolla putkea on huuhdeltu. Tutkimus ottaa vain kantaa likapartikkeleiden mittaamiseen. Kulumametallien tutkintaan huuhtelun aika ei niinkään vaikuta, koska harvemmin putkiston sisälle on jäänyt suuria määriä metallia. Näytteenottokalustoa on kuitenkin huuhdeltava jonkin aikaa, että edelliseltä kerralta jääneet öljyjäämät huuhtoutuvat pois. (Rinkinen 2007, 6-13.)

Rinkisen tutkimus ja huuhtelukäytäntö soveltuu vain laitoksissa tapahtuviin näytteenottoihin ja isoihin järjestelmiin. Työkoneista ei voida valuttaa kovinkaan paljon öljyä, sillä koneen säiliöt eivät ole kovin suuria, ja näytteidenotto joudutaan usein suorittamaan maastossa, jolloin ei ole suuria astioita joihin voitaisiin kerätä talteen suuri määrä huuhteluöljyä. Neste Oilin Ari Saastamoiselta 4.10.2012 saamani ohjeet näytteenotosta kertovat 1 — 2 litran huuhteluöljyn riittävän. Tämä on selkeä ja virtausnopeudesta riippumaton käsite. Se on helposti toteutettavissa kenttäolosuhteissa, ja asiakkaan öljymäärä ei vähene merkittävästi eikä hänelle aiheudu siitä kuluja. Puhtaan öljyn oppaassa puhutaan vain ½ litran valuttamisesta ennen näytteenottoa. (Puhtaan öljyn opas 2003.)

### 5.8.3 Talteenotto

Näyte tulee ottaa lämpimästä öljystä koneen käydessä tai heti pysäyttämisen jälkeen. Tällöin epäpuhtaudet ovat sekoittuneet öljyyn tasaisesti. Näytteenotto-

letku ei saa koskea pullon sisäpintoihin. Pullosta täytetään kolme neljäsosaa ja korkki suljetaan välittömästi. Normaalialue analyysiä varten näytettä otetaan noin 200 ml. Näytteenoton yhteydessä kirjataan välittömästi analyysissä ja tulosten vertailussa tarvittavat tiedot lomakkeelle tai pulloon kiinnitettävään tarraan. Jos näyte joudutaan ottamaan tankista imupumpulla, tulee pumpun letkua myös huuhdella ensin imemällä sen läpi öljyä jäteastiaan. Sen jälkeen näyte tulee ottaa 5-10 senttimetrin etäisyydeltä pohjasta. Talteenoton ohjeita pohtiessa on apuna käytetty Neste Oilin Ari Saastamoisen 4.10.2012 lähettämää näytteenotto ohjetta. (Puhtaan öljyn opas 2003.)

#### 5.8.4 Toteutus

Tutkimusta tehdessä oli tärkeää, että kaikki näytteet otettiin samalla tavalla ja mahdollisimman puhtaasti. Rajoitteena olivat kenttäolosuhteet ja koneen tuli olla toimintakuntoinen heti näytteenoton jälkeen. Asiakkaalle ei myöskään saanut koitua kuluja.

Näytteenottokohdaksi valitsin työhydrauliikan painelinjan heti pumpun jälkeen. Kohta oli informatiivisin ja sopivasti myös näytteenoton kannalta helpoimmassa paikassa. Näytteet otettiin hydrauliikka liikkeessä teetetyllä letkulla, jonka toisessa päässä oli paineenmittausliittimeen sopiva vastaliitin ja toisessa päässä oli käsikäyttöinen palloventtiili, jolla virtauksen pystyi kuristamaan halutuksi.

Näytteenottokaluston huuhtelumääräksi valitsin 2 litraa, koska Nesteen ohjeen mukaan on huuhdeltava 1 — 2 litraa ja ensimmäisen koneen kohdalla litran huuhtelulla saatiin korkeat likapartikkelipitoisuudet. Liittimet puhdistettiin jarrupuhdistus spraylla. 2 litran huuhtelua toteutettiin tutkimuksen kaikissa ensimmäistä seuraavissa talteenotoissa. 2 litran öljyn menetys ei rasittanut asiakasta tai konetta. Kuvassa 2 on esillä käytössä ollut näytteenotto kalusto ja kuvassa 3 valittu näytteenotto kohdan sijainti.



Kuva 3. Näytteenottokalusto.



Kuva 4. Näytteenotto kohta.

## 5.9 Tulosten tulkinta

Öljyanalyysit lähetettiin Witraktorin SOS-palvelun analysoitavaksi. Heidän raporttinsa perustuu omiin, CAT työkoneisiin määritettyihin raja-arvoihin, ja he ovat erikoistuneet ennemminkin voimansiirto- ja moottoriöljyjen analysointiin. Heidän tulosten tulkinta perustuu konekohtaiseen trendiseurantaan, jollaista vakuutusyhtiö ei pysty toteuttamaan, joten kehitin itse metsäkoneelle sopivan kertanäytteen tulostentulkinnan.

### 5.9.1 Viskositeetti

Viskositeetti mittauksien avulla pystytään määrittämään, onko järjestelmässä sopivanlaatuinen öljy tai jos tiedetään öljyn olleen oikea, voidaan tulkita, onko öljyn ominaisuudet muuttuneet epäsopiviksi. Analyysissä tulisi selvittää viskosi-



teetit +40 ja +100 asteessa. +40 asteen mittauksella saadaan tutkittua suoraan öljyn VG-luokka. Pelkästään +40 asteen analyysillä voidaan myös tutkia, onko viskositeetti muuttunut hapettumisen johdosta, mutta hapettumisen tutkimiseen on parempiakin analyysejä. Valmistaja määrää laitteelleen sopivat öljyluokat ja toimintalämpötila-alueen. Vaikka öljyn viskositeetti osuukin oikeaan luokkaan, ei voida sanoa, onko laitteessa valmistajan vaatimuksen mukainen öljy, sillä ei tiedetä ollenkaan, miten viskositeetti muuttuu lämpötilan muuttuessa.

Öljystä pystytään määrittämään viskositeetti-indeksi viskositeetin +40 asteen arvon ja +100 asteen arvon avulla. Tämän jälkeen pystytään piirtämään viskositeetti-lämpötila-diagrammi, jonka avulla voidaan tarkkailla öljyn ominaisuuksia kaikissa lämpötiloissa. Laskentakaavoja on monia ja ne ovat monimutkaisia. Monet öljyvalmistajat kuitenkin tarjoavat nettipohjaisia ohjelmia, jotka laskevat viskositeetin arvot osoittamissa pisteissä. Tulosten analysoinnissa käytin Widman Internationalin nettisivuilta löytyvää viskositeettikäyrän laskuria. Se piirtää ja laskee arvot 5 asteen välein. Laskuriin voi käydä tutustumassa osoitteessa <http://www.widman.biz/English/Calculators/Graph.html>.

Kun diagrammi on piirretty, selvitetään laitteessa olevien komponenttien viskositeetin maksimiraja eli kylmäkäynnistys- ja minimiraja sekä viskositeetin optimialue. Nämä viskositeettien arvot löytyvät komponenttien tuoteselosteista, joita kutsutaan datasheeteiksi. Kuten edellä on mainittu, laitevalmistajat määrittävät hydraulijärjestelmälleen toimintalämpötilan ääripäät ja normaalin käytön lämpötila-alueen. Vielä on mietittävä, minkälaisissa oloissa laite toimii ja saavuttaako se koskaan ääripäitä. Yleensä Suomen talven takia kone joutuu toimimaan koko suunnitellulla lämpötila-alueella. Kun kaikki tämä on tiedossa, voidaan piirretystä diagrammista tarkastella, alittuuko kylmäkäynnistysviskositeetti toimintalueen kylmimmässä ääripäässä, onko käyntilämpötilan alueella viskositeetti mahdollisimman hyvin komponenttien optimialueella, ja pysyykö viskositeetin arvo vaaditun korkuisena järjestelmän ollessa lämpimimmillään.

Viskositeetin arvon ei tulisi alittaa komponenttien minimiviskositeetin arvoa missään kohdassa lämpötila aluetta, sillä hetkellinenkin alitus voi johtaa rikkoutumiseen. Mitä lähemmäs rajaa mennään, sitä enemmän kulumisen kiihtyy ja mo-

nesti minimiarvo on määritetty niin, että komponentti kestää sitäkin vain hetken. Maksimiarvoa ei tule ylittää, koska silloin jäykkä öljy ei kulje pienistä voitelukanavista ja pahimmassa tapauksessa pumppu alkaa vielä kavitoimaan. Tätä yhdistelmää pumppu ei kestä, rikkoutuminen on välitöntä tai se tapahtuu vähäisten käyttötuntien jälkeen.

Optimialueen kohtaaminen käyntilämpötila alueella on kulumisen ja toiminnan kulujen kannalta tärkeää. Jos optimialue tavataan vasta normaalin käyntilämpötilan lämpimässä päässä, on öljy perusominaisuuksiltaan liian paksua ja tästä seuraa virtaushäviötä, joka on sama asia kuin tehonhukka. Järjestelmään voiman tuottava moottori ja toimilaitteet joutuvat kovemmalle rasitukselle. Moottori kuluttaa enemmän energiaa tai työkoneen tapauksessa polttoainetta ja hydraulijärjestelmän komponentit voivat rikkoutua väsymisen seurauksena ennen aikaisesti. Kylmäkäynnistysrajaa ei myöskään tällaisella öljyllä aliteta. ja öljy ei ole käyttökelpoinen koko suunnitellulla toiminta-alueella. Jos taas optimialue alitetaan liian kylmässä lämpötilassa, on seurauksena kasvavat sisäiset vuodot toimilaitteissa. Kasvavien vuotojen takia pumppua tai moottoria joudutaan rasittamaan enemmän, jotta ne tuottaisivat saman tilavuusvirran ja tästä seuraa tietenkin polttoainekuluja. Mitä alemmas viskositeetti menee sitä enemmän järjestelmän kulumisen alkaa kiihtymään, sillä liian pienellä viskositeetin arvolla oleva voitelukalvo ei pysy kuormitettujen osien välissä vaan alkaa syntyä metalli-metalli kosketuksia yhä toistuvammin.

Jotta tulkitsisin tuloksia mahdollisimman helposti ja joka kerta samalla tavalla, loin Excelillä diagrammin, johon asetin raja-arvoja ja lyhyitä tulkintoja siitä, mitä merkitsee, jos analysoidusta öljystä piirretty kuvaaja leikkaa tai lähestyy raja-arvojen piirtämiä kuvaajia jossain kohdassa. Raja-arvojen määrittämiseen käytin Komatsu Forestin metsäkoneiden käyttöohjekirjaa, jonka sain käydessäni heidän päätoimipisteessä Pirkkalassa 9.10.2012 Jari Nurmiselta, ja komponenttivalmistajien komponenteistaan tarjoamia datasheetteja. Aloitin diagrammin raja-arvojen asettamisen määrittämällä metsäkoneen hydraulijärjestelmän käyttöalueen Suomen lämpötiloissa. Komatsun ohjekirjassa sanotaan käyttöalueen olevan VG-46 luokan öljyllä -20—+90 astetta. Toinen alue VG-32 luokan öljyllä

on -25—+75 astetta, mutta kesän takia VG-32 luokan öljyillä ei voida toimia ta-  
loudellisesti ja turvallisesti sillä lämpimällä säällä järjestelmän lämpötilat voivat  
nousta ja viskositeetin arvo pienentyy silloin liikaa. Valitsin siis öljyluokaksi VG-  
46, sillä käyttämällä tämän luokan laadukasta öljyä voidaan koneella ajaa ym-  
päri vuoden. Hydraulijärjestelmän normaaliksi käyntilämpötilaksi määrätään  
+40—+60 astetta. Edeltävistä arvoista saadaan lämpötilojen rajat optimialuetta,  
kuten myös käynnistys- ja minimiviskositeettia varten.

Seuraavaksi oli tutkittava komponenttien vaatimat viskositeetti rajat. Kom-  
ponentteja järjestelmässä on paljon, mutta rikkoutumisien kannalta katsottuna  
pumput ovat kriittisimmät, joten keskityin niiden arvoihin. Sauer Danfoss ja  
Rexroth valmistajat määräävät mäntäpumpuilleen samansuuntaisia viskosi-  
teettien arvoja. Kylmäkäynnistys 1600 cSt, optimialue 12—80 cSt ja minimi 5—  
7 cSt. Toiminta-alueen lämpötilan, järjestelmän lämpötilan ja pumpun viskosi-  
teettien arvojen avulla päätin seuraavat hyvän öljyn raja-arvot: Maksimi viskosi-  
teetti -20 asteessa saa olla enintään 1600 cSt. Nykyisillä metsäkoneilla on öl-  
jysäiliössä joko vesikierto lämmitys yhdistettynä lisälämmittimeen tai sähkövas-  
tuksilla toteutettu lämmitys. Tällöin voidaan tietenkin käyttää öljyä, jonka viskosi-  
teetti on -20 asteessa yli 1600 cSt, mutta ongelmana on, ettei kone voi tietää,  
mikä viskositeetti öljyllä on käynnistyshetkellä, joten lämmittämisen määrä jää  
kuljettajan huoleksi, eikä hänellä monesti ole tietämystä öljyn käyttäytymisestä.  
Optimialue alkaa +40 asteessa ja siinä viskositeetin yläraja on 50 cSt, koska  
järkevin öljy on VG-46, ja sen viskositeetti on +40 asteessa 46 cSt, joten jonkun  
verran myös viskositeetin kasvua sallitaan. Optimialue loppuu +60 asteessa, ja  
silloin alaraja viskositeetilla on 16 cSt. Alaraja on Rexrothin A11VO pumpun  
optimialueen alaraja. Tätä pumppua käytetään Komatsun (Valmet), Ponsen ja  
John Deeren metsäkoneissa työhydrauliikan pumppuna. Minimiviskositeetti ei  
saa alittua +90 asteessa, ja minimiviskositeetiksi valitsin 7 cSt. Viskositeetin  
arvot kylmässä ovat niin suuria, ettei arvoja voida tarkastella samassa dia-  
grammissa, joten jouduin tekemään kaksi eri kuvaajaa: Toinen kylmän pään  
viskositeettia tulkitsemaan ja toinen lämpimän pään viskositeettia tulkitsemaan.  
Molempiin piirsin referenssiksi kuvaajan Neste Hydraulii 46 Super-öljystä, koska  
se täyttää hyvin vaatimukset.

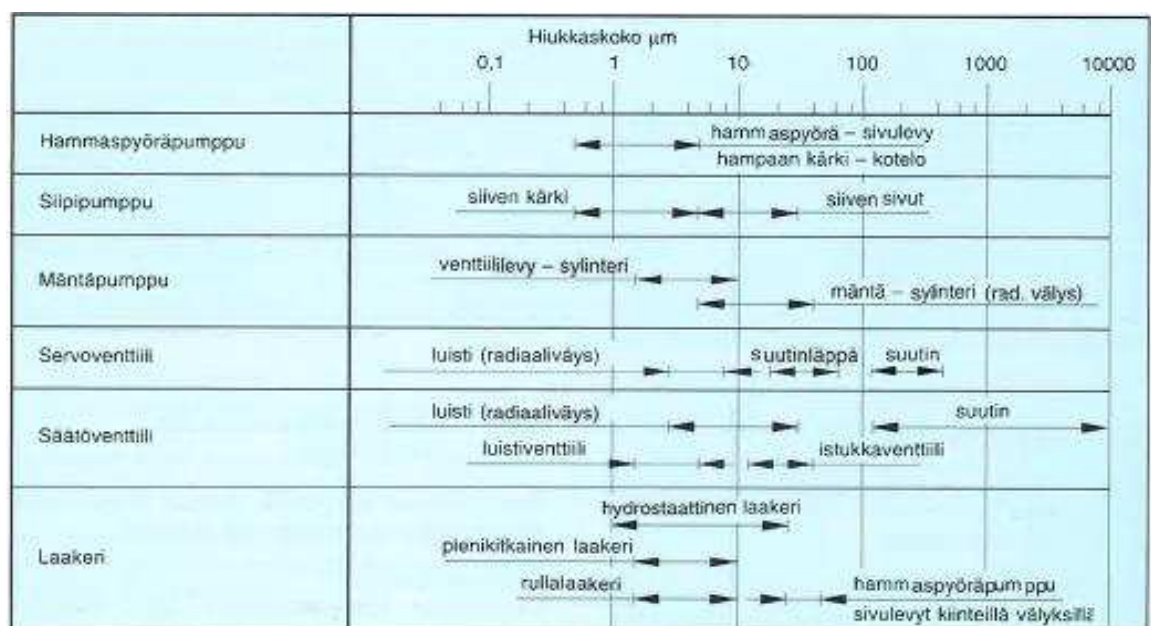
Öljy on vaihtokunnossa myös silloin, jos viskositeetin arvo on muuttunut yli 15 % alkuperäisestä, joten tämä on myös syytä tarkistaa, jos viskositeetti on jotain muuta kuin sen pitäisi olla.

### 5.9.2 Likapartikkelit

Likapartikkeleista pienet alle 15 mikronin hiukkaset aiheuttavat järjestelmässä kulumista, ja niiden määriä seuraamalla voidaan todeta onko kuluminen rauhallista ja normaalia vai kenties kiihtyvää. Isoja hiukkasia tulee tarkastella omassa kategoriassaan, erillään pienistä hiukkasista, jotta niiden määrä ei hukkuisi pienten hiukkasten suureen määrään. Isojen hiukkasten määristä saadaan paremmin tietoa mahdollisista alkavista vaurioista. (Niiranen 2008, 28-31; Exner ym. 1991, 262.)

Komponenttien välyksistä voidaan tarkastella, minkä kokoiset partikkelit vaikuttavat niiden toimintaan. Välystä pienemmät hiukkaset aiheuttavat enimmäkseen hiovaa vähittäistä kulumista. Välyksen kokoiset ja vähän suuremmat aiheuttavat jumittumisia, materiaalin väsymistä ja nopeaa kulumista. Taulukko 3 selvittää hydraulijärjestelmän yleisimpiä välyksiä ja niille kriittisten hiukkasten kokoja.

Taulukko 4. Kriittisiä välyksiä eri komponenteista (Exner ym 1991).



Taulukosta voidaan lukea, että pienten hiukkasten vaikutus kohdistuu erityisesti laakereihin ja luistiventtiileihin. Laakereissa öljykalvo ja toiminnan aikana oleva dynaaminen välitys ovat erittäin pienet, joten partikkelijakauman pienimmät hiukkaset aiheuttavat materiaalin väsymistä ja pinnoitteen irtoamista. Laakerin kes-toikään pystytään vaikuttamaan radikaalisti suodatustarkkuutta lisäämällä eli toisin sanoen vähentämällä pienten hiukkasten määrää. Mäntäpumpuissa isot hiukkaset pääsevät vinolevyn ja liikutassun väliin ja männän pallonivelen ja liikutassun väliin. Näihin osiin kohdistuu paineen vaikutuksesta suuria voimia ja välissä olevat hiukkaset aiheuttavat hiovaa kulumista ja metallin väsymistä.

Analyysissäni tarkastelen ISO 4406:1987 puhtausluokkaa, sillä CATin laboratorio ilmoittaa tuloksen vielä vanhalla koodilla ja yli 18 mikronin partikkeleja erikseen. Servo hydrauliiikan puhtaudeksi vaaditaan Neste Oilin Ari Saastamoiselta 4.10.2012 saamani raja-arvo taulukon mukaan 14/11, joten otin tämän tavoitearvoksi. Eri servoventtiileillä on erilaisia likaisuuden maksimi arvoja 15/12—18/15 välillä. Maksimi luokiksi otin 18/15, jonka ylittyessä voidaan sanoa varmasti öljyn olevan liian likaista komponenteille ja vaarantavan toiminnan. Kiihtyvän kulumisen arvon otin tästä väliltä 16/12. Öljyn ollessa kiihtyvän kulumisen alueella voi herkimmissä komponenteissa tapahtua jo vikaantumista. Jos partikkelimäärä ylittää maksimirajan, öljy on vaihdettava ja tutkittava ongelman aiheuttaja. Ongelmana voivat olla huonot tiivisteet, pian rikkoutuva komponentti, huohotusilman suodatus tai öljyn suodatus. Kiihtyvän partikkelimäärän alueella olisi hyvä vaihtaa suodattimet uusiin ja tarkistaa huohotusilman suodatin ja ottaa uusi näyte hetken kuluttua. Uudesta näytteestä tulisi tutkia, onko arvo jatkanut kohoamistaan, pysynyt samana vai palannut normaaliksi. (Bosch Rexroth Group 2007; Bosch Rexroth Group 2008.)

Isoista hiukkasista voidaan ryhmänä tarkastella kokoluokkaa 18 — 40 mikronia ja 50 — 100 mikronia. Witraktorin analyysissä tulee pienempään luokkaan 18, 21 ja 38 mikronin hiukkaset ja suurempaan yli 50 mikronin hiukkaset. Witraktorin Sami Salmelan 26.11.2012 kanssa käydyn puhelun mukaan pienempiä hiukkasia saa olla muutama sata ja suurempia muutama kymmenen. Nämä olivat suurpiirteisiä ohjeita vaihteistolle ja hydraulijärjestelmälle. Hälyttävänä arvo-

na voikin pitää pienemmän luokan isoissa hiukkasissa sataa ja suurissa ison luokan hiukkasissa kymmentä. Isojen hiukkasten esiintyessä pitää ottaa huomioon, onko jokin kulumametalliarvo koholla, sillä kulumametallien esiintymisestä voidaan olettaa isojen hiukkasten olevan samaa materiaalia. Voidaan tarkastaa vielä myös PQI-arvo, ja jos kaikki kolmen analyysin arvot ovat koholla, voidaan olla varmoja vaurion olevan tuloillaan ja arvoista voidaan päätellä kuinka pitkällä kyseinen vaurio on. Kulumametallien kautta voidaan määrittää kulumisen kohde.

### 5.9.3 Kulumametallit

Sauer Danfossin Hydraulic Fluids and Lubricants Technical Information internet julkaisussa on esitelty hydraulijärjestelmän kulumametallien maksimipitoisuuksia. Sauer Danfoss on tunnettu hydraulikomponenttien valmistaja, joten pohjaan oman analyysini maksimi-arvot heidän määrittämiin rajoihin, jotka ovat esitelty taulukossa 4. Myös Neste Oil toimitti minulle raja-arvoja kulumametalleista, mutta ne olivat jonkin verran suurempia kuin Sauer Danfossin.

Taulukko 5. Kulumametallien maksimi-arvot (Sauer Danfoss 2010).

<b>Fe</b>	30	<b>Sn</b>	10	<b>Ni</b>	2	<b>Pb</b>	15
<b>Cr</b>	10	<b>Al</b>	10	<b>Cu</b>	50	<b>Mo</b>	5

Kulumametallien tarkastelu diagrammiin otin mukaan myös SI eli silican pitoisuuden. Maksimi arvoksi valitsin 20 ppm, joka on Neste Oilin raja-arvoissa ilmoitettu. Tämä arvo ei ole absoluuttinen raja-arvo, koska lisäaineiden mukaan arvo voi vaihdella. Tärkeintä on tulkita esiintykö korkea silicaatti pitoisuus yhdessä kohonneiden kulumametallien kanssa. Silloin voidaan sanoa järjestelmässä olevan jokin ongelma jonka seurauksena pölyä pääsee sisään. Tulisi tarkistaa huohotusilman suodatus ja huuli- ja akselitiivisteet.

Laakereiden kulumisen alkuvaiheessa pinnoitteena oleva tina (Sn) ja lyijy (Pb) kuluvat, joten vaurio voidaan havaita näiden koholla olevasta arvosta. Pinnoitteen alla on teräs, kupari tai alumiini runko. Kuparia on ns. keltametalleissa,

joita on pumppujen ja moottoreiden vinolevyissä, liikutapeissa ja sylinterien holkeissa (sylinteriputki). Kohonnut kuparin arvo voidaan melko varmasti sanoa aiheutuva näistä. Rautaa (Fe), kromia (Cr) ja nikkeliä (Ni) on teräksessä. Teräs on yleisin rakennusmateriaali koneenelimissä. Näiden kohonneet arvot voivat johtua monesta komponentista, joten analyysin arvoista on vaikea sanoa varmaa lähdettä. Tiedetään kuitenkin että, jotain on pielessä ja voidaan tarkastaa kriittisimmät komponentit.

Pelkästään kulumametallien arvoilla ei voida määrittää kulumisen laatua, koska testi havaitsee vain pienemmät kuin 10 mikronin hiukkaset, sillä sen jälkeen laitteesta loppuu teho. Ferrografia korjaa tilanteen ilmoittamalla magneettisten hiukkasten määrän. Näiden kahden testin avulla nähdään koko kulumametallien määrä ja laatu kun ferrografian rinnalle otetaan alkuainetestin avulla selville saatu kulumametallien määrä ja metallin nimi.

Lopulta kun tuloksia tuli ja sain analyysin myös yhdestä juuri rikkoutuneesta koneesta, jouduin alentamaan kulumametallien hälytysrajoja, koska metsäkoneen järjestelmä näyttää olevan erittäin puhdas yleisesti, eikä sitä voi verrata teollisuushydrauliikan raja-arvoihin. Koneen ollessa kunnossa, ei laakerimateriaaleja ollut ollenkaan, joten sen kiihtyväksi rajaksi päätin 4 ppm. Pumppu oli hajonnut jo raudan kulumametalliarvolla 24 ppm, joten kiihtyvän kulumisen rauta-arvoksi valitsin 10 ppm ja samoin myös kuparille. Ylärajaksi raudalle ja kuparille valitsin 20 ppm ja laakerimateriaaleille 8 ppm. (Sauer Danfoss 2010; ExxonMobil Finland Oy Ab 2008.

#### 5.9.4 Öljyn vanhentuma

Öljyn vanhentumista tarkastellessa on tutkittava tärkeimpien lisäaineiden määrä, sulfaattipitoisuus ja hapettumisen aste. Witraktorin analyysissä annetaan hapettumisen aste OXI-arvolla ja sulfaattipitoisuus SUL. Witraktorin analyysijä hoitavalla työntekijältä Sami Salmelalta sain tietooni, että OXI arvon raja-arvo on hydrauliikkaöljylle 17, jonka jälkeen öljy tulee vaihtaa. ja SUL arvolle ei ole olemassa mitään rajaa. Analyysijä tarkastelemalla selvisi, että 2000 käyttötun-

nin jälkeen öljyn sulfaatin arvo on 17—25, joten otin ylärajaksi 25 ja OXI arvon ylärajaksi 20.

Alkuainetestissä saadaan selville sinkin (Zn) ja fosforin (P) määrä, joidenka määrällä voidaan tarkastella kulumisenesto ja EP lisäaineiden määrää. Tiedustelin Neste Oilin Ari Saastamoiselta 6.11.2012 näiden tavallista pitoisuutta uudessa öljyssä, ja hänen vastauksensa mukaan uutena molempia, sinkkiä ja fosforia on noin 450 ppm. Neste Oilin raja-arvotaulukossa sallitaan 25 % muutos näiden arvoille. Omaan analyysiin otin rajaksi 30 % vähentymän, koska aina ei käytetä Nesteen öljyä ja alkuarvot voivat vaihdella. Tämän jälkeen öljy on vaihtokunnossa. Exeliin tein diagrammin, jossa lisäainepitoisuus pitää olla raja-arvoa korkeampi ja OXI- ja SUL-arvo raja-arvoa pienempi. Jos jokin arvo menee raja-arvon piirtämän käyrän väärälle puolelle, on öljy vaihdettava välittömästi. Hapettumisarvoa tulkittaessa on myös tutkittava kulumametallien määrä sillä jos kuparia ja rautaa on pitoisuutena paljon se vaikuttaa kiihdyttävästi hapettumiseen ja öljy tulee vaihtokuntoon ehkä odotettua aiemmin.



### 5.9.5 Kontaminantit

Witraktorin öljyanalyysin perusteella voidaan päästä selville joistakin hydraulijärjestelmään pääsevistä kontaminanteista. Analyysissä ilmoitettiin natriumin (Na), kaliumin (K) ja vanadiinin (V) määrä. Natrium ja kalium ovat jäähdytysnesteen lisäaineen osia. Nämä indikoivat siis jäähdytinnesteen vuotoa hydraulijärjestelmään. Lähde on todennäköisesti lämmönvaihdin. Vanadiinia on raskaassa polttoaineessa, joten se voi indikoida polttonesteen pääsyä hydraulijärjestelmään. (ExxonMobil Finland Oy Ab 2008.)

Analyysituloksissa veden määrä on ilmoitettu kirjaimilla: N, T, P, E. Joista järjestyksessä N tarkoittaa 0 %, T tarkoittaa max 0,1 %, P tarkoittaa 0,1—0,5 % ja E tarkoittaa yli 0,5%. Neste Oilin raja-arvotaulukossa maksimina on 0,08 %, joten ainoa hyväksyttävä analyysituloks on N. Vesimäärä voi kuitenkin johtua näytteen otosta ja hetkestä, joten jos tuloksena saadaan T, tulisi analyysi uusiksi ensin ennen kuin päätetään öljyn kunnosta. P ja E tapauksissa vesi pitoisuus on niin korkea, että öljy on käyttökeltotonta ja vaihdettava välittömästi. (ExxonMobil Finland Oy Ab 2008.)

## 6 TULOKSIA

Opinnäytetyötä varten ehdittiin kerätä harmillisen vähän öljynäytteitä, vain kuu-  
desta koneesta, mutta mukaan mahtui mielenkiintoisia ja eri tavalla huollettuja  
kohteita. Tutkimuksesta selvisi, että suurimpana ongelmana ovat yrittäjien  
asenne tai tietämättömyys öljyn vaihdon tarpeellisuudesta. Öljyn uskottiin uusiu-  
tuvan, koska sitä kuluu hiljalleen ja he lisäävät lisäysöljyä. Todellisuudessa pie-  
nimäärä lisäysöljyä säännöllisin välein ei auta öljyn vanhentumiseen ja öljystä  
muodostuu hapanta, jolloin se aiheuttaa korroosio kulumista. Hapettunut öljy voi  
alkaa tuottamaan lakka- ja hartsimaisia aineita, jotka tarttuvat komponentteihin  
ja tämän seurauksena joudutaan komponentteja uusimaan.

Toinen ongelma oli öljylaatujen ja merkkien sekoittelu. Yrittäjät ostivat sitä öljyä  
mitä halvimmalla saivat ja käyttivät sitä lisäysöljynä. Sekoittaminen on aina ar-  
vaamatonta ja yhden tutkitun koneen öljyn viskositeetti olikin muuttunut hälyttä-  
västi. Jokaisesta koneesta, josta kerättiin näyte, täytettiin seuraavat tiedot kyse-  
lylomakkeeseen:

- Käyttötunnit
- Käyttötunnit viimeisestä öljynvaihdosta
- Öljyn merkki ja laatu ja myös lisäysöljyn merkki ja laatu
- Öljyn käyttölämpötila
- Suodattimien merkki
- Moottorin työkierrokset
- Hakkuupään koko
- Harvennus- vai päätehakkuuta
- Onko vaihdettu pumppuja/moottoreita ja koska?

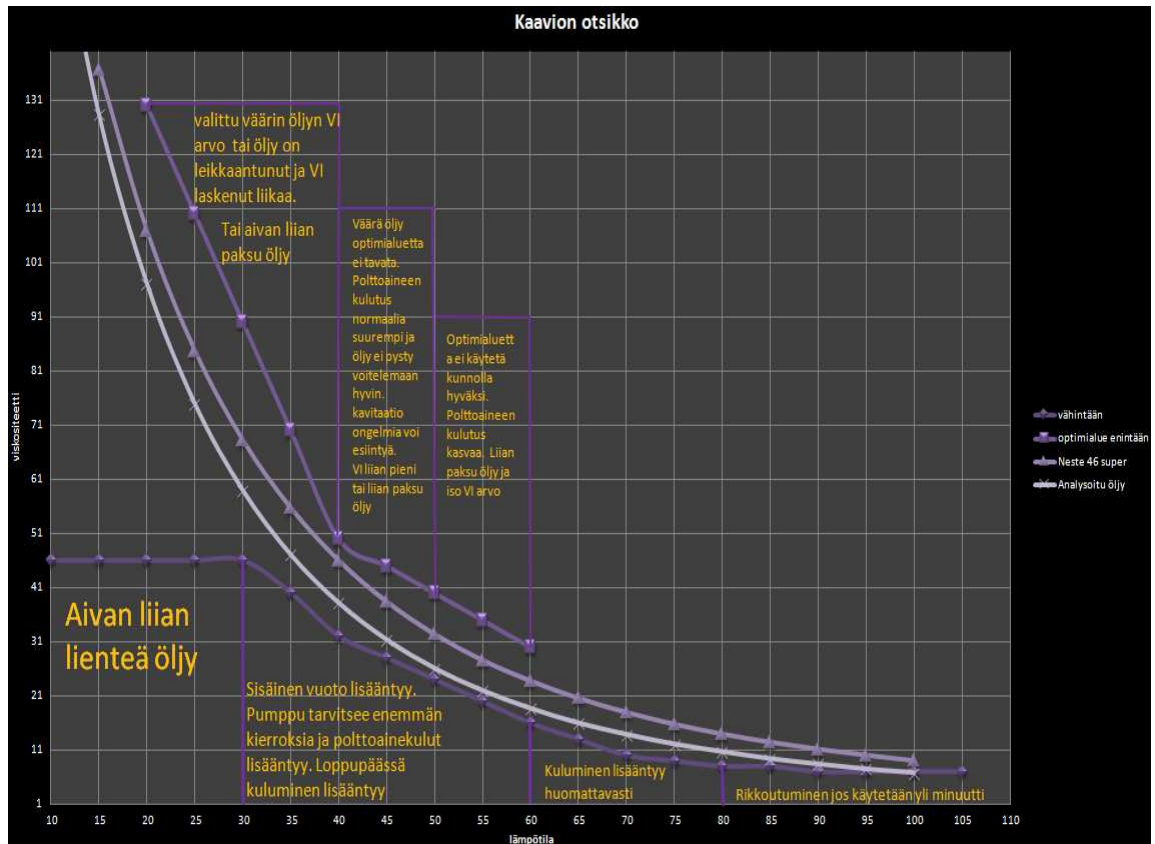
Seuraavaksi esiteltynä yhden metsäkoneen hydraulikkaöljyn analysointi kokonaisuudessaan ja erinäisiä tapauksia, joissa on jotain merkillepantavaa.

### 6.1 Analysointi kokonaisuudessaan

Kone:

- Valmet 911.3 vuosimalli 2007
- Käyttötunnit 11260h
- Öljyä käytetty 9760h
- Öljy John Deere Hy-Gard 46 Plus
- Lisäöljynä käytetty monia eri öljyjä
- 1500h kohdalla öljyt uusittu ja sen jälkeen vain lisätty öljyä

### 6.1.1 Lämpimämpään viskositeetti



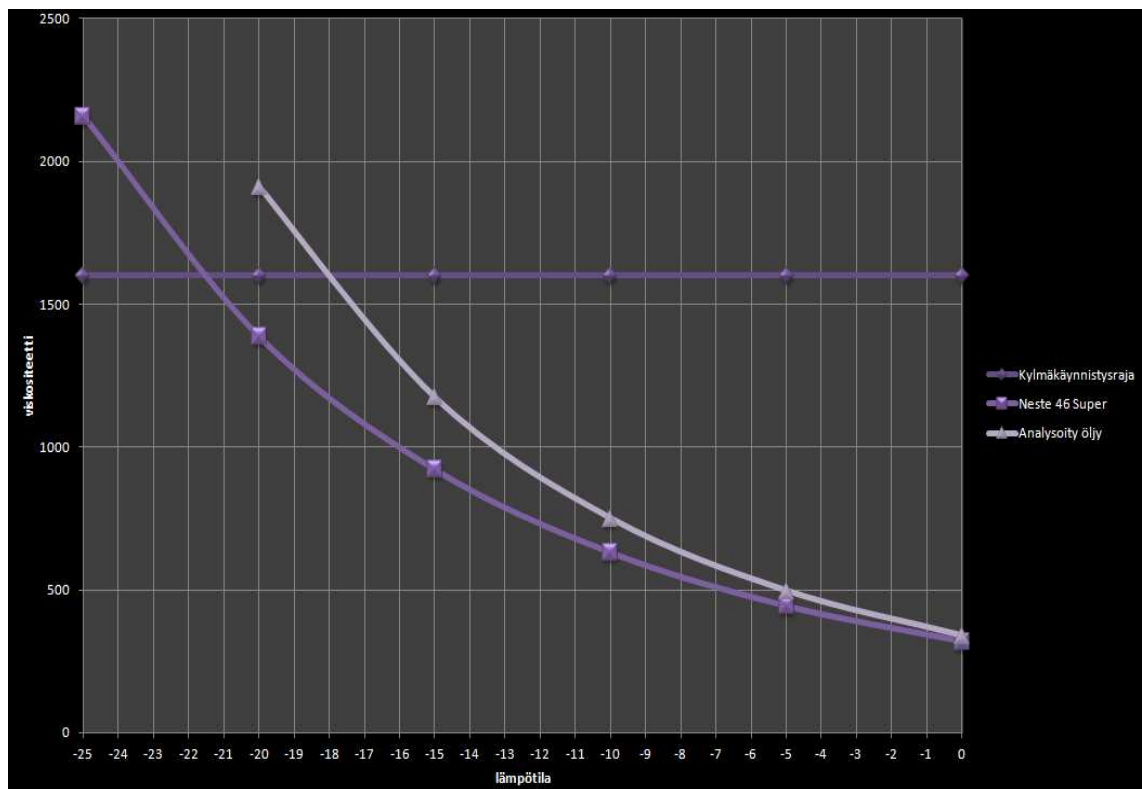
Kuvio 4. Lämpimämpään viskositeetin kuvaaja.

Kuviosta 4 selviää, kuinka öljyn perusviskositeetin arvo on muuttunut radikaalisti alkuperäisestä. Aluperäisen öljyn viskositeetti on ollut 46 cSt 40 asteessa, mutta nyt koneessa olevan öljyn viskositeetti on samassa lämpötilassa enää 39,5 cSt. Tämä on seurausta öljyn vahvasta leikkaantumisesta ja/tai öljyjen sekoittamisesta. Viimeisestä täydellisestä öljyn uusinnasta on aikaa melkein 10000h, joka on viisinkertainen aika Komatsu Forestin määrittämästä vaihtovälisestä, ja tämä puoltaa öljyn leikkaantumista. On myös mahdollista, että joukkoon on sekoitettu, jokin osa VG-32 luokan öljyä.

Öljyn viskositeetin arvo lähenee optimialueen alarajaa. Jos öljyä ei pian uusita ja trendi jatkaa samaan suuntaan, tulee polttoaineen kulutus kasvamaan sisäisten vuotojen takia ja kulumisen lisääntymään liian pienen viskositeetin vallitessa toiminta-alueella. Viskositeetin muutos alkuperäisestä on 14 % 40 asteessa,

joka on juuri hyväksyttävissä. 100 asteen viskositeetin muutosta ei voitu arvioida, koska John Deeren öljyn viitearvoja ei löytynyt.

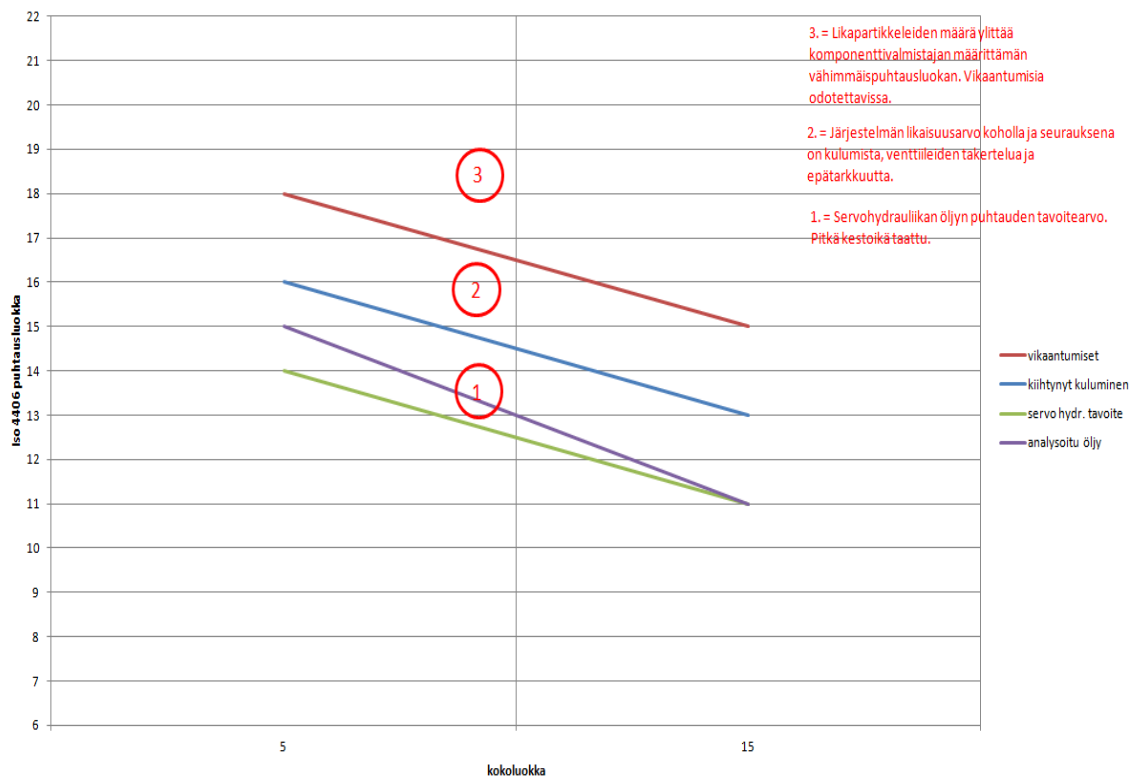
### 6.1.2 Kylmänpään viskositeetti



Kuvio 5. Kylmänpään viskositeetin kuvaaja.

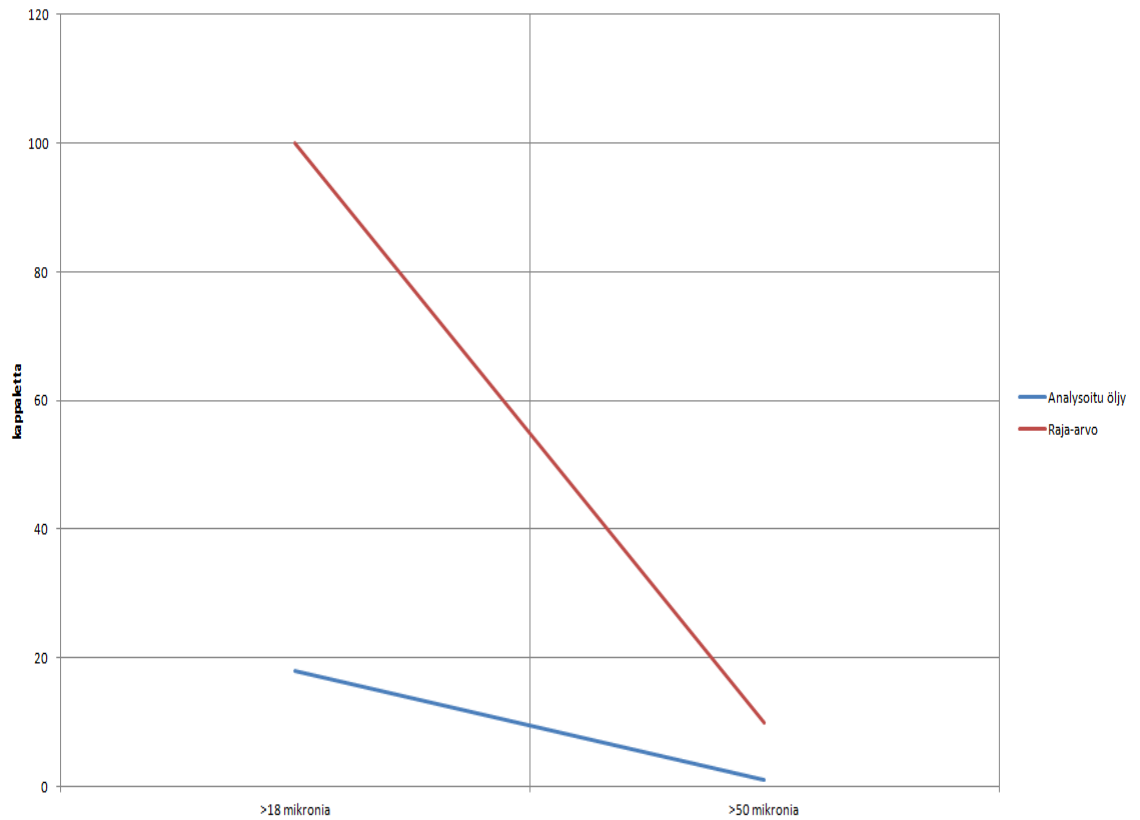
Kuviosta 5 nähdään, että analysoidun öljyn kylmänpään viskositeetti arvo on yllättävästi erinomainen, joka juontaa juurensa perusviskositeetin laskusta. Tuloksen oikeellisuus tulee kuitenkin kyseenalaistaa, sillä öljyyn on sekoiteltu paljon erilaisia öljyjä, joiden vaikutusta lisäaineisiin ei tiedetä ja viskositeettiindeksin parantaja-aineet ovat varmasti leikkautuneet käyttöiän myötä. Järjestelmä laskee kuvaajan viskositeetin kahta arvoa käyttäen logaritmisesti. Voidaan epäillä, että laskutapa ei tällaiselle sekoitellulle öljylle toimi. Epäilykseni vahvistaa Fluidlabin Mika Vesala 7.12.2012. Öljyn käyttäytymistä kylmässä ei voida todentaa saaduilla analyysi tuloksilla, joten suositeltavaa olisi vaihtaa öljy sillä pakkaset ovat kiristymässä.

### 6.1.3 Likapartikkelit



Kuvio 6. ISO 4406:1987 likapartikkelit.

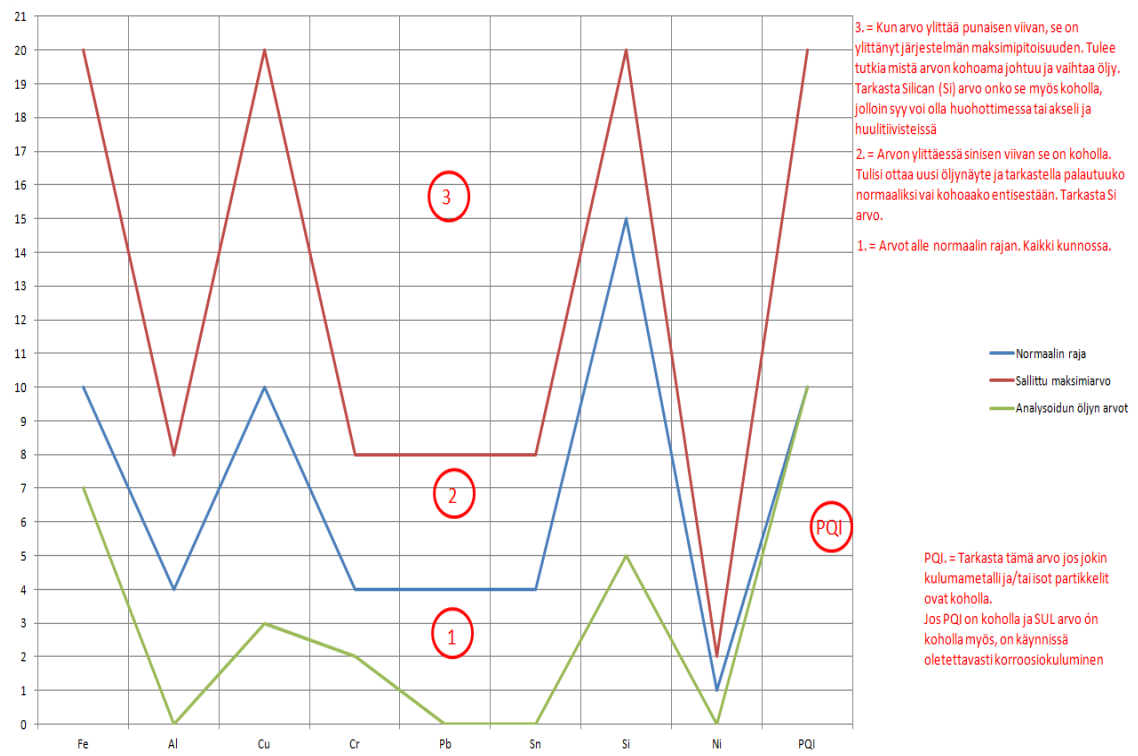
Kuviosta 6 nähdään, että öljyn puhtaus on erinomainen. Asiakkaan on täytynyt vaihtaa suodattimet säännöllisesti, vaikka onkin jättänyt öljyt vaihtamatta. Jos järjestelmä pysyy samoissa arvoissa ja öljy uusittaisiin säännöllisesti, olisi komponenteille odotettavissa pitkä elinkaari. Arvoista näkee myös, ettei järjestelmää pääse ulkoista likaa esimerkiksi huohotusilman suodattimen kautta.



Kuvio 7. Suurikokoiset hiukkaset.

Hiukkasjakauman suurien yli 18 mikronin hiukkasten määrässä ei ole hälyttäviä merkkejä alkavasta rikkoutumisesta, eikä myöskään erittäin suurissa yli 50 mikronin hiukkasissa. Tämä voidaan todeta kuviosta 7.

### 6.1.4 Kulumametallit

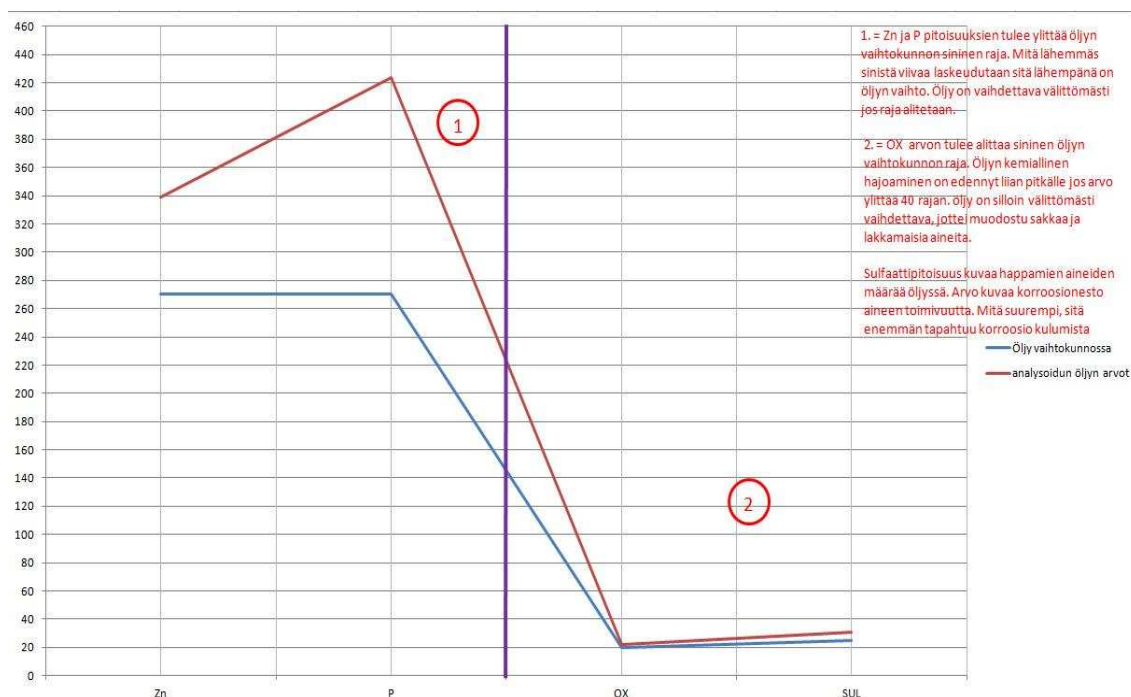


Kuvio 8. Kulumametallit.

Kuviosta 8 saadaan selville, että kulumametallien joukossa ei ollut laakeripinnoitteiden materiaaleja ollenkaan, joten laakerit ovat hyvässä kunnossa, eikä rajavoitelua ole päässyt tapahtumaan. Muidenkin kulumametallien arvot ovat alle tiukan kiihtyvän kulumisen rajan, ja partikkelimäärät olivat erittäin pieniä. PQI-arvo on hälyttävästi kuitenkin rajalla, joten öljyssä on jonkun verran magneettista materiaalia, mutta muut arvot eivät viittaa mekaaniseen kulumiseen.



## 6.1.5 Vanhentuma

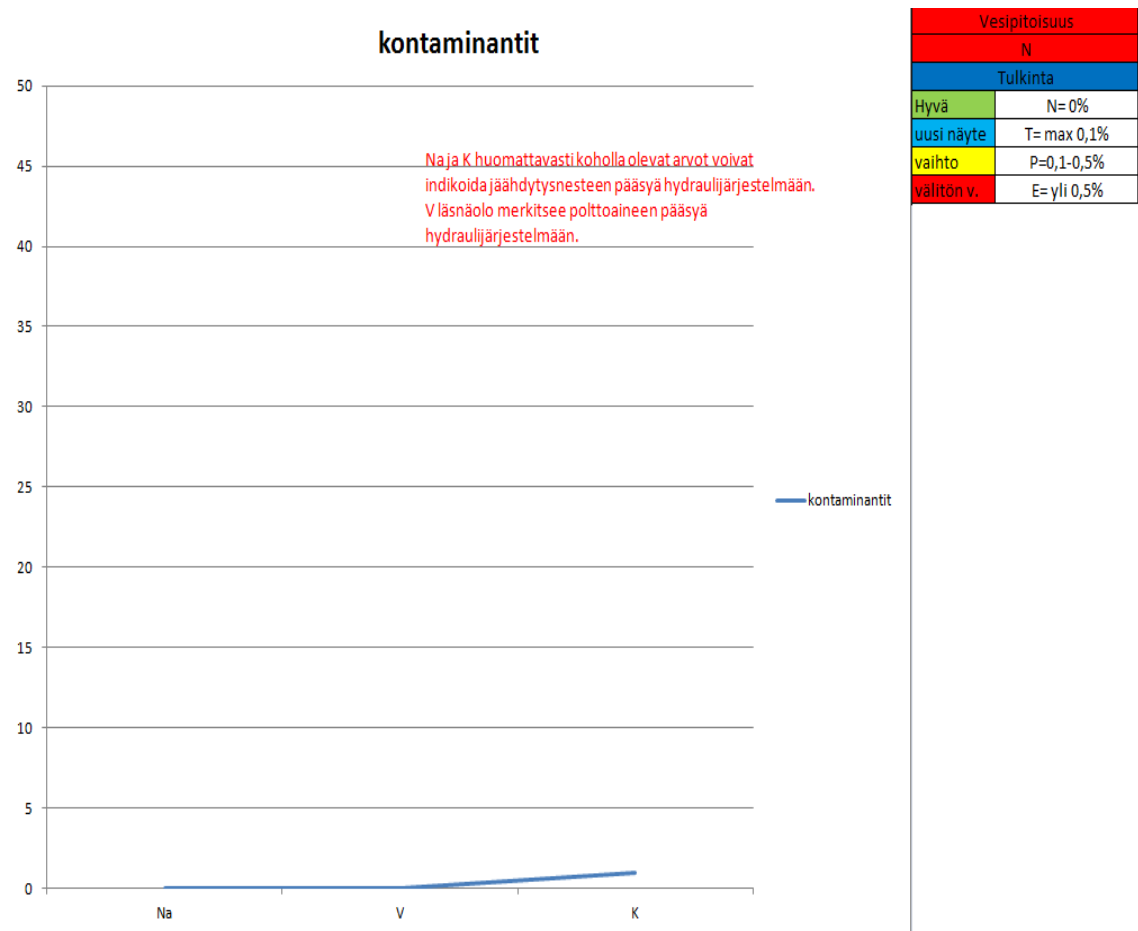


Kuvio 9. Öljyn vanhentumaan viittaavat arvot.

Tiesin jo keräämäni tiedon perusteella, että öljyä on käytetty paljon kauemman kuin maahantuojia sallii ja muistan kuinka öljy näytti näytepullossa ruskealta, kirkkaankeltaisen sijaan. Kuvio 9 selvittää öljyn vanhentumaa ja oletin, että öljy on erittäin hapettunutta, minkä tulokset myös osoittavat. Öljyn sulfaattipitoisuus on yli määrittämäni raja-arvon. Näiden perusteella oletan, että hapettumisenestoaineen antioksidantit ovat menettämässä tehonsa ja hapettuminen tulee pian kiihtymään räjähdysmäisesti. Vaarana on hartsimaisten ja lakkamaisten aineiden muodostuminen ja niiden kiinnittyminen komponenttien pintoihin. Öljy on jo niin hapanta, että se voi aiheuttaa korroosio kulumista komponenteissa.

Kulumisenesto ja paineenkestolisäaineen arvot näyttävät olevan vielä hyvät, mutta nekin ovat voineet vääristyä eri öljyjä sekoitettaessa. Teetettyjen analyysien tuloksilla ei voida sanoa mitään muista lisäaineista, joten esimerkiksi vaahtoamisesta ja ilman erottumisesta ei voida sanoa mitään.

### 6.1.6 Kontaminantit



Kuvio 10. Järjestelmän kontaminaatio.

Kuviosta 10 näkee heti, että järjestelmään ei pääse vuotamaan polttoaine- tai jäähdytysjärjestelmästä ylimääräisiä aineita. Ylimääräisiä aineita ei ole myöskään päässyt sisään öljynlisäyksessä tai huoltojen yhteydessä. Kaliumia on ollut jokaisessa öljyssä 1—2 ppm, joten se voi olla myös jokin lisäaineen osa. Vettä järjestelmässä ei ole.

### 6.1.7 Yhteenveto

Öljyn viskositeetti käyttölämpötilassa alkaa olla liian alhainen ja tiedossa on epänormaalia kulumista ja polttoainekulujen kasvua. Öljyn käyttäytymistä ei

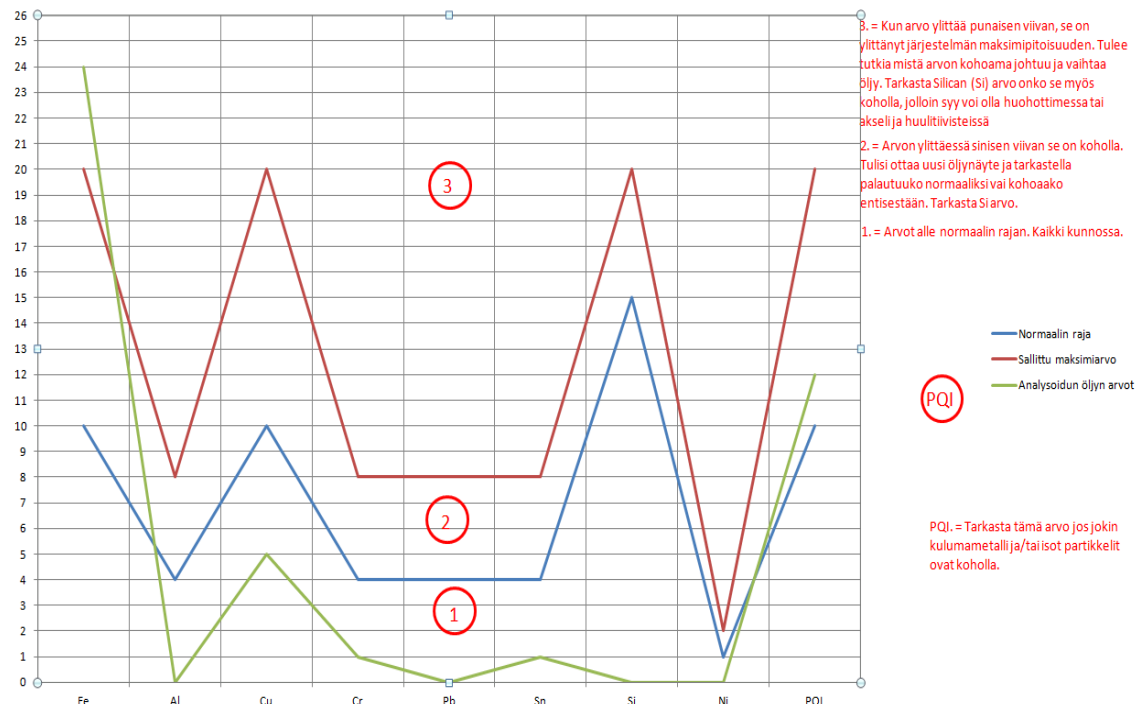
voida arvioida kylmässä ja tulisi tämän vuoksi ehdottomasti uusia. Järjestelmän tiivisteet ja suodatus ovat kunnossa, eikä epänormaalia mekaanista kulumista ole vielä tapahtunut, mutta korroosiokuluminen on aluillaan. Öljy on siinä pisteessä, että räjähdysmäinen hapettuminen on mahdollista koska vain, jonka seurauksena korroosiokuluminen lisääntyy ja järjestelmä saastuu. Öljyjen sekoittelun vuoksi ei ole mitään tietoa muiden lisäaineiden tilasta, joten öljy voi olla hyvinkin kavitaatioherkkää. Hydraulijärjestelmän ympäristöstä ei pääse sinne kuulumattomia aineita, eikä vettä. Öljy on ehdottomasti vaihtokunnossa.

Asiakkaalle kirjoitettiin raportti, jossa muistutettiin valmistajan määrittämästä 2000h öljyn vaihtovälistä ja siitä, että hänen öljynsä aiheuttaa mahdollisesti vahingollista korrosiivista kulumista järjestelmälle. Kerrottiin myös öljyjen sekoittamisen vaaroista ja siitä, että nykyisen koneessa olevan öljyn viskositeetti on melko alhainen ja voi aiheuttaa lisää polttoainekulutusta ja järjestelmän kulumista. Mainittiin myös, että viskositeetin arvo öljyn ollessa kylmänä voi olla liian suuri ja voi se aiheuttaa vahinkoa järjestelmälle käynnistettäessä.

Kaikkien koneiden analysointitulokset Witraktorin lähettämässä muodossa löytyvät liitteestä 1.

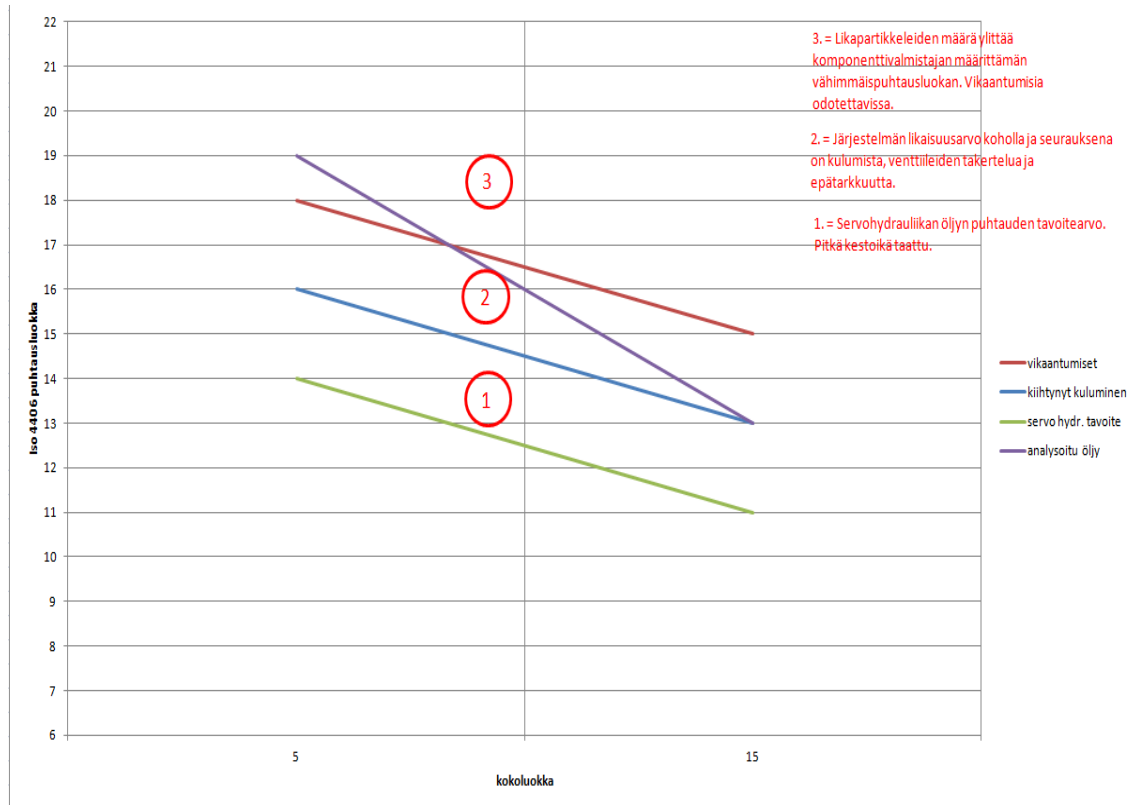
## 6.2 Kulumametallien ja likapartikkelien arvot rikkoutumisen jälkeen

Sain otettua näytteen juuri työhydrauliikan pumpun rikkoutumisen kärsineestä Ponsse Ergo 8W harvesterista. Pumpusta oli pettänyt vinolevyn säätölaakerointi. Näytteenottoaika oli tankista, läheltä pohjaa, koska painepuolelta näytettä ei voinut ottaa sillä kone ei ollut käyntikuntoinen.



Kuvio 11. Rikkoutuneen kulumametallit.

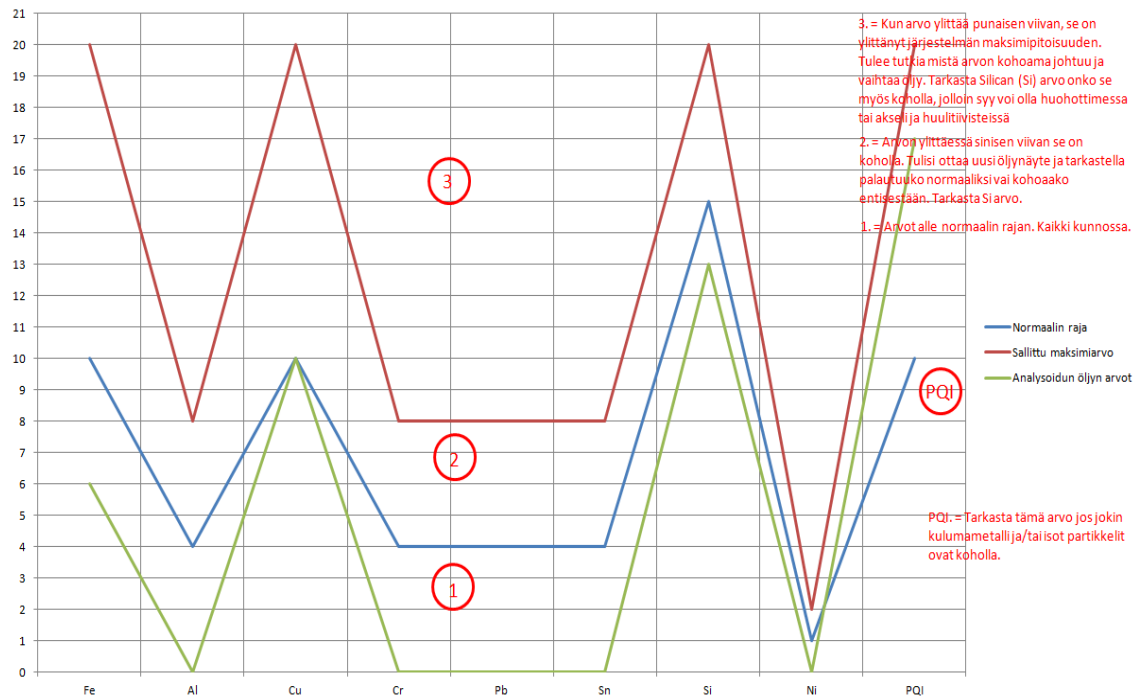
Kuviosta 11 voidaan tulkita seuraavaa: Rauta ja PQI-arvot ovat kriittisesti koholla ja myös kuparin pitoisuus on noussut vähän. Vaurio on tapahtunut laakerissa, eikä pumpun keltametalliosissa, joten tämän takia rauta-arvo on erittäin korkea. Kuparin arvo on oletettavasti seurausta rikkoutumisen jälkeisestä käynnistä ja normaalista kulumisesta. Laakerivaurioon viittaa vain 1 ppm tinaa. Kuten huomataan, yksittäisen laakerin vaurio on koko koneen lamauttama ja sitä on vaikea todeta, koska laakerinpinnoitusmateriaalia on laakerissa erittäin vähän ja järjestelmässä on öljyä paljon. Laakerinpinnoitusmateriaalien esiintymiseen pitää siis kiinnittää erityistä huomiota ja olla turvallisin mielin vain silloin kun niitä ei esiinny.



Kuvio 12. Rikkoutuneen likapartikkelit.

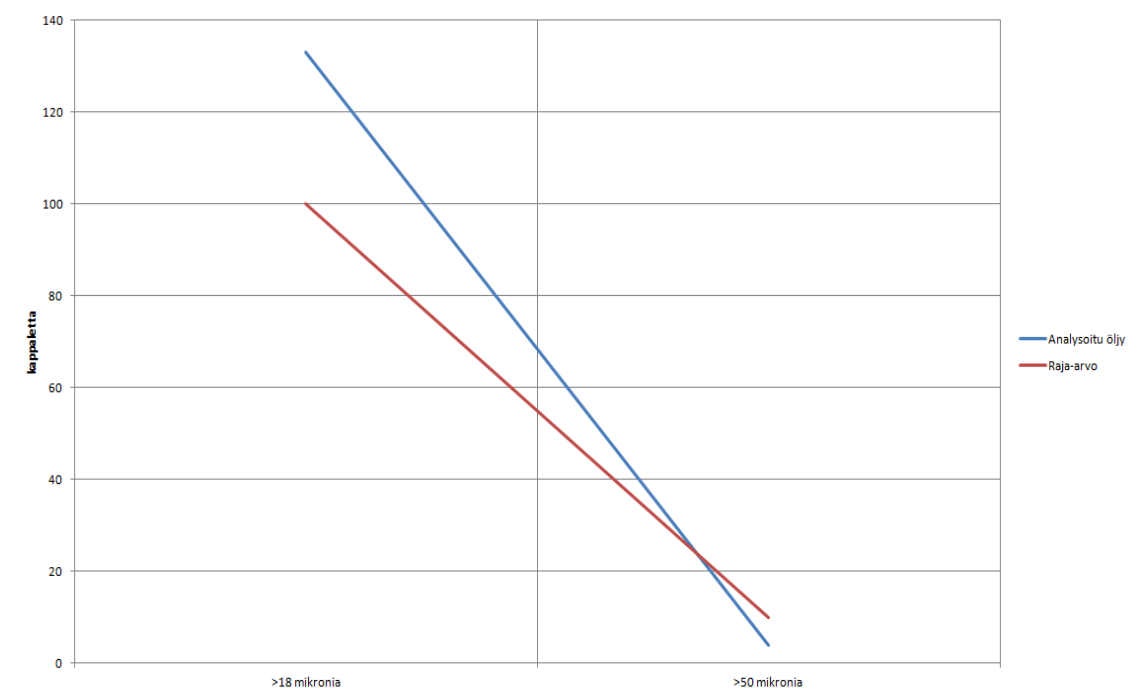
Kuvio 12 selvittää, että rikkoutumisen jälkeen pienten likapartikkelien määrä ylittää selvästi komponenttivalmistajan sallitun maksimiarvon. Tämä osoittaa että, pienten hiukkasten määrä tulee tarkkailla yhtä tarkasti kuin isojenkin. Isojen hiukkasten määrä jää normaalille tasolle, joka johtuu siitä, että näyte otettiin säiliöstä ja isot hiukkaset ovat jääneet suodattimeen. Tulos olisi varmasti ollut erilainen jos öljy olisi voitu ottaa painepuolelta juuri ennen rikkoutumista.

### 6.3 Kulumametallien ja likapartikkelien arvot koholla



Kuvio 13. Kulumametallien arvot kohonneet.

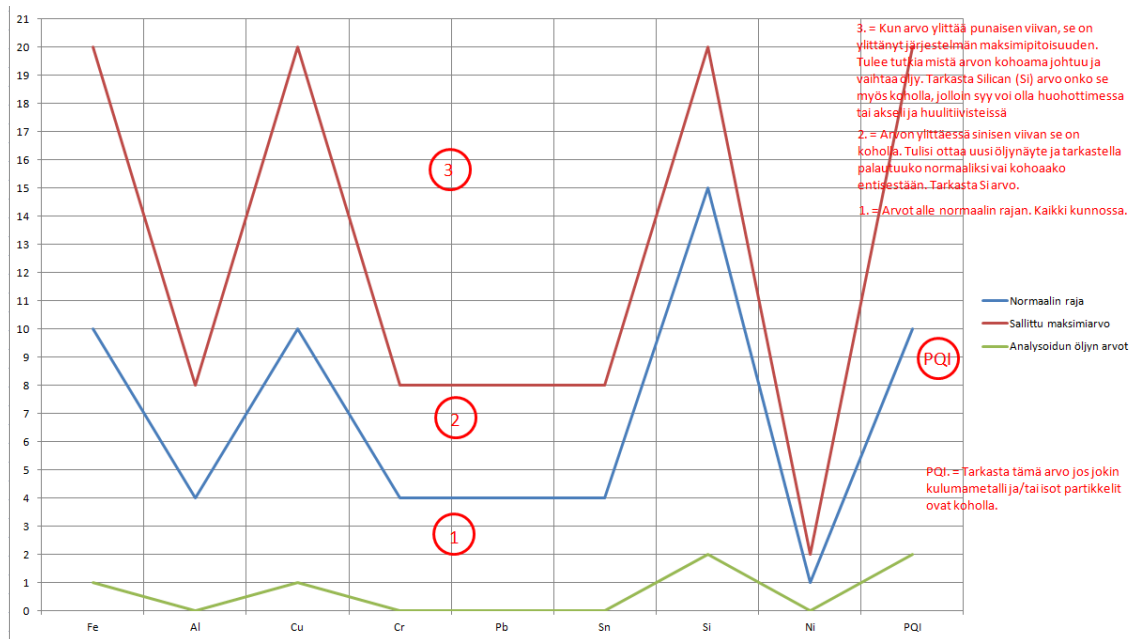
Kuviosta 13 on esillä kuinka kuparin arvo on noussut juuri normaalin rajalle ja myös raudan arvo on kiivennyt vähän ylös. Silikaatti pitoisuus on korkea, jonka aluksi arvioin johtuvan lisäaineistuksesta, mutta verrattuna muihin öljyihin se on erittäinkin korkea. PQL-arvo on hälyttävän korkea, joka kertoo, että isoja magneettisia partikkeleja esiintyy paljon. On tarkasteltava partikkelipitoisuuksia, jotta voidaan tehdä tulkintoja.



Kuvio 14. Isot partikkelit koholla.

Kuviosta 14 nähdään, että järjestelmän ISO 4406:1987 puhtausluokat olivat 19/15. Keskikoon suuret partikkelit ovat selvästi yli määrittämäni raja-arvon, joten jotain on vialla. Aivan suurimpia hiukkasia ei ole kovin paljon. Isot hiukkaset ovat PQI-luvusta pääteltävissä metallihiukkasiksi ja pienet hiukkaset silicaatti pitoisuuden puolesta järjestelmään päässeeksi hiekkapölyksi ja myös pienemmiksi kulumahiukkasiksi. Järjestelmässä on käynnissä näytteenotokohdalla kulumapiikki, joka johtuu ilmeisimmin huohotusilman mukana tulleesta pölystä. Jotta saataisiin tästä täysi varmuus, olisi otettava uusi näyte.

## 6.4 Erittäin alhaiset kulumametallit

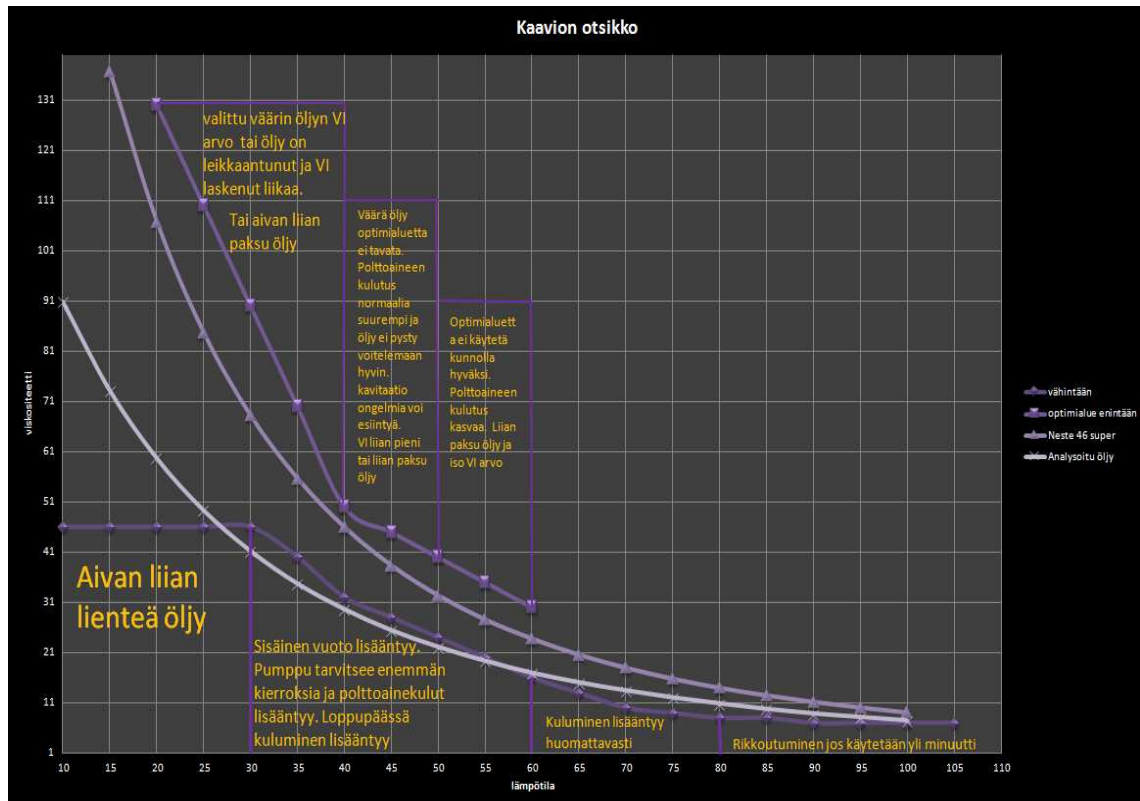


Kuvio 15. Erittäin alhaiset kulumametallien arvot.

Kuviossa 15 on esillä erittäin alhaiset kulumametallien arvot. Tämä analyysin tulos oli 2005 vuosimallin koneesta, jossa olisi voinut olettaa kulumisen olevan jo käynnissä. Öljykin oli vaihdettu viimeksi kaksi vuotta sitten, mutta kulumametalleja ei ole nimeksikään. Öljyn puhtausluokka oli 15/10, joka isojen hiukkasten puolesta alittaa servohydrauliikan tavoitteen. Uusimalla öljyt säännöllisesti voidaan tilanne pitää tällaisena.



## 6.5 Väärän viskositeetin öljy



Kuvio 16. Väärän viskositeetin öljy.

Öljyä oli käytetty 3900 tuntia ja lisätty erilaisia öljyjä. Alkuperäinen öljy on ollut asiakkaan mukaan VG-46 luokan öljyä, mutta kuten kuviosta 16 nähdään, sekoittamisen tuloksena on syntynyt öljy, jonka viskositeetti ei ole optimalueella ollenkaan. Seurauksena on lisääntynyt polttoaineenkulutus ja kuluminen. Kulumametalleista kupari ja rauta-arvot olivatkin lievästi koholla ja PQI-arvo hälyttävän korkealla. Likapartikkelijakauman isot hiukkaset olivat myös hiukan koholla.

## 6.6 Koneyrittäjille

Koneyrittäjiliittoa kiinnosti, vaikuttaako öljyn kuntoon se, tekeekö kone pääasiassa harvennus vai päätehakkuuta, joten se oli mukana kyselylomakkeessa, joka täytettiin jokaisesta analysoidusta koneesta. En saanut otettua näytteitä

kahdesta samalla lailla huolletusta koneesta, joista toisella olisi tehty päätehakkuuta ja toisella harvennusta, joten en päässyt vertaamaan arvoja.

## 6.7 Muut kyselylomakkeen verrattavuudet

Muita kysymyksiä olivat

- öljyn käyttölämpötila
- suodattimien merkki
- moottorin työkierrokset
- hakkuupään koko

Näytteitä otettiin liian vähän, jotta olisi voinut tilastollisesti tulkita pumpun pyörintänopeuden tai hakkuupään koon, mukaan eri arvoja. Kaikki tutkitut kohteet käyttivät merkkisuodattimia.

Öljyn käyttölämpötilan vaikutuksesta hapettumiseen voidaan löytää selvä yhteys analysoiduista tuloksista. Toisella koneella on öljyllä takana 3900 tuntia ja toisella melkein 6000 tuntia. Kuitenkin 6000 tunnin öljyllä on kahta yksikköä pienempi hapettumisen OXI arvo kuin 3900 tunnin öljyllä, jolla arvo on 22. 6000 käyttötunnin öljyillä lämpötila on pysytellyt välillä 40—60 astetta, ja 3900 käyttötunnin öljyjen lämmöt ovat alituisesti 60 asteessa.

## 7 SOVELTUVUUS VAKUUTUSYHTIÖN TARKASTUSTOIMINTAAN

### 7.1 Rikkoutumisien ennaltaehkäiseminen

Satunnaisilla koneista otetuilla öljynäytteillä ei voida kulumametallien avulla sanoa varmasti tulevasta rikkoutumisesta mitään, sillä yksittäinen analyysi kertoo vain juuri sen hetken tilanteen. Kuluminen juuri näytteenottohetkellä on voinut olla hetkellistä ja arvot voivat olla tämän takia hälyttäviä, tai kone on hajoamassa, mutta juuri näytettä ottaessa ei isoja hiukkasia irtoakaan. Kulumametallitarkastelu tarvitsee trendiseurannan, jossa samasta koneesta, samasta kohdasta otetaan säännöllisesti näyte. Tarkastaja voi kuitenkin puuttua korkeisiin arvoihin ja ehdottaa, että kone tarkastetaan joidenkin kriittisten osien kohdalta.

Öljyn kunnan tarkasteluun satunnainenkin näyte antaa luotettavan tuloksen ja sen kautta tarkastaja saa arvokasta tietoa. Puhtausluokka on luotettava indikaattori tulkittaessa, onko öljy sopivaa järjestelmälle vai aiheuttaako se epänormaalia kulumista ja vikaantumisia. Tai jos öljyssä on esimerkiksi vettä tai kontaminantteja, niistä pystytään informoimaan asiakasta ja ehdottamaan tarkastuksia, toimenpiteitä ja korjauksia. Näytteenoton ja analysoinnin avulla nähdään myös, miten asiakas tapaa huoltaa konetta ja pystytään puuttumaan epäkohtiin, kuten eri öljylaatujen ja merkkien sekoittelu ja öljynvaihdon väliin jättäminen. Asiakkaalla ei ole välttämättä edes tietoa siitä, että hänen toimintatapansa on hänen omaa konettaan vahingoittava ja tällaiset asiakkaat löydetään näytteitä ottamalla ja sen jälkeen heitä voidaan ohjeistaa parempaan toimintaan. Tutkimus antaa hälyttäviä tuloksia, sillä pienen otantani koneista ainoastaan kahdessa oli öljy vaihdettu valmistajan vaatiman käyttötuntimäärän jälkeen. Kaikki paitsi kaksi olivat käyttäneet lisäysoiljynä erilaista öljyä. Kun asiakas käyttää oikean viskositeetin ja viskositeetti-indeksin omaavaa öljyä ja öljy on vielä tarpeeksi puhdasta, rikkoutumiset tulevat vähenemään varmasti.

Öljyanalyysien avulla pystytään siis parhaiten ehkäisemään rikkoutumisia pitkällä aikavälillä. Analyysejä tehdessä kuitenkin tulee vastaan koneita, jotka tarvitsevat nopeita toimenpiteitä ja analyysien perusteella pystytään niihinkin reagoimaan, kunhan vain näyte satutaan ottamaan juuri sopivalla hetkellä.

## 7.2 Järjestelmän puhtauden varmistus korjauksen jälkeen

Kun hydraulijärjestelmässä on tapahtunut rikkoutuminen ja kone on korjattu, voidaan koneesta ottaa muutaman käyttötunnin jälkeen öljynäyte. Näytteen tuloksista voidaan todeta, kuinka korjauksen yhteydessä tehty huuhtelu on onnistunut ja että onko järjestelmän puhtaustaso ja metallipitoisuudet palanneet normaalille tasolle. Tällä tavalla estetään rikkoutumisen uusiutuminen ja asiakas saa mielenrauhan korjaamisen onnistumisesta.

## 7.3 Asiakasanalyysit

Jos näytteenotto toteutetaan sellaiselle asiakkaalle, jolla on monta konetta, voidaan tehdä asiakasanalyysi. Asiakasanalyysiä voidaan käyttää hyväksi vakuutusyhtiön riskienhallinta organisaatiossa. Näytteiden ja tiedonkeruun perusteella voidaan arvioida, kuinka asiakas huoltaa koneitaan ja kuinka paljon hän antaa arvoa huoltamiselle. Kun huomataan, että selvästi jotkut asiat jätetään tekemättä, esimerkiksi säästön vuoksi tai välinpitämättömyydestä, voidaan arvioida kyseisen asiakkaan koneilla olevan suurempi riski rikkoutua tulevaisuudessa. Riskienhallintayksikkö voi päättää suuremmista vakuutusmaksuista tai myös siitä, tarjotaanko asiakkaalle enää vakuutuksia ollenkaan seuraavalle vakuutuskaudelle.

## 7.4 Rikkoutumisen syyn tutkiminen

Rikkoutuminen itsessään tuottaa järjestelmään eri määrän erikokoisia hiukkasia, joten rikkoutumisen jälkeen ei voida sanoa, onko rikkoutuminen jonkun

äkillisen tapahtuman seurausta, kulumisen seurausta vai seurausta liian likaisesta öljystä. Kulumisen näkyisi erinomaisen hyvin trendiseurannasta. Rikkoutumisen jälkeen tulisi keskittyä pelkästään kontaminanttien määrään ja viskositeettiin, jos esimerkiksi öljy on hyvin vesipitoista ja rikkoutuneesta pumpusta löytyy kavitaatiojälkiä tai viskositeetti käyntilämpötilassa on vaarallisen alhainen, voidaan sanoa rikkoutumisen johtuneen ainakin osin öljyn kunnosta.

## LÄHTEET

### Kirjallisuus

Antila, K. ym. 2006. Kunnossapidon julkaisukirja, N:o 8, Teollisuusvoitelu, painos 4. KP-Media Oy: Helsinki.

Fonselius, J. 1989. Hydrauliiikka, Koneautomaatio. Valtion painatuskeskus: Helsinki 1989

Exner, H. ;Freitag, R.; DR. Ing Geis, H. & R.Lang 1991. The Hydraulics Trainer Osa 1. Manesman Rexroth GmbH Cgleunungdruck GmbH. Marktheidenfeld: Deutschland.

Horelli, A. ym. 1969. Voitelutekniikka, liikkuvan kaluston voitelu. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus: Helsinki.

Horelli, A. ym. 1970. Voitelutekniikka, teollisuusvoitelu. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus: Helsinki.

Mäkinen, R. 1984. Hydrauliiikka, Työkonehydrauliiikka. Kustannusosakeyhtiö Otavan painolaitokset: Keuruu.

Niiranen, E. 2008. Fluid Finland 3/2008: Öljynäytteiden hiukkaslaskenta mekaanisessa kunnonvalvonnassa ja koneenrakennuksen puhtausvalvonnassa. Suomen Lehtiyhtymä Oy: Vantaa.

Nousiainen, T.; Vesala, M. 2010. Fluid Finland 3-4/2010: Öljyanalyysien merkitys kunnossapidon säästöissä. SLY-Aikakauslehdet Oy: Tuusula

Purhonen, M. 2009. Fluid Finland 1/2009: Hydrauliiikkajärjestelmien ehkäisevä kunnossapito paperi- ja kartonkiteollisuudessa. Suomen Lehtiyhtymä Oy: Vantaa.

Puustelli, R. 2006. Fluid Finland 2/2006: Öljyjen hapettuminen ja hapettumistulosten poistaminen. Visido Ky: Rajamäki

Rinkinen, J. 2007. Fluid Finland 3/2007: Öljyn kunnonvalvonta ja inline-kunnossapito sekä komponenttien online-diagnostiikka hydraulii- ja kiertovoitelujärjestelmissä. Visido Ky: Hyvinkää.

### Elektroniset lähteet

Bosch Rexroth Group. 2007. 4/2 and 4/3 proportional directional 1/10control valve, directly operated, without electrical position feedback.

[http://www.boschrexroth.com/various/utilities/mediadirectory/index.jsp?publication=NET&ccat\\_id=20000&remindCcat=on&pagesize=50&search\\_action=submit&language=en-GB&search\\_query=29055&History=&DisplayType=pict](http://www.boschrexroth.com/various/utilities/mediadirectory/index.jsp?publication=NET&ccat_id=20000&remindCcat=on&pagesize=50&search_action=submit&language=en-GB&search_query=29055&History=&DisplayType=pict)

Bosch Rexroth Group. 2008. 4/3 proportional directional valve with integrated digital electronics and field bus interface (IFB-P).

[http://www.boschrexroth.com/various/utilities/mediadirectory/index.jsp?publication=NET&ccat\\_id=20000&remindCcat=on&pagesize=50&search\\_action=submit&language=en-GB&search\\_query=29048&History=&DisplayType=pict](http://www.boschrexroth.com/various/utilities/mediadirectory/index.jsp?publication=NET&ccat_id=20000&remindCcat=on&pagesize=50&search_action=submit&language=en-GB&search_query=29048&History=&DisplayType=pict)

Bosch Rexroth Group. 2010. Axial Piston Variable Pump A11VO.

[http://www.boschrexroth.com/various/utilities/mediadirectory/index.jsp?publication=NET&ccat\\_id=30050&remindCcat=on&search\\_action=submit&language=en-GB&search\\_query=92510](http://www.boschrexroth.com/various/utilities/mediadirectory/index.jsp?publication=NET&ccat_id=30050&remindCcat=on&search_action=submit&language=en-GB&search_query=92510)

Colly Company. 2010. Colly Uutiset 4/2010.

[http://www.colly.fi/files/colly/pdf/asiakaslehti/Colly\\_Uutiset\\_0410\\_Netti.pdf](http://www.colly.fi/files/colly/pdf/asiakaslehti/Colly_Uutiset_0410_Netti.pdf)

ExxonMobil Finland Oy Ab. 2008. Signum öljyanalyysi Kunnan valvonnan perusteet. <http://www.mytransflow.com/signum/items/brochurecmf/pdf/07.08.SIG.CMF.FIFI.pdf>

M. Barnes, What Is Oxidation In Lubricating Oil? <http://www.midtownoil.com/downloads/What%20Is%20Oxidation%20In%20Lubricating%20Oil.pdf>

Puhtaan öljyn opas. 2003. [http://www.teknoma.fi/dev/wp-content/uploads/Clean\\_Oil\\_-\\_Guide\\_FIN.pdf](http://www.teknoma.fi/dev/wp-content/uploads/Clean_Oil_-_Guide_FIN.pdf)

Sauer Danfoss. 2010. Hydraulic fluids and lubricants Technical information. [http://www.sauer-danfoss.com/stellent/groups/publications/documents/product\\_literature/52010463.pdf](http://www.sauer-danfoss.com/stellent/groups/publications/documents/product_literature/52010463.pdf)


Vesterinen, K. 2011a. Hydraulineesteet, Hydrauliiikan ja pneumatiikan kurssin oppimateriaali. Optima.

Vesterinen, K. 2011b. Hydrauliiikan komponentit säiliö ja suodattimet, Hydrauliiikan ja pneumatiikan kurssin oppimateriaali. Optima

Viitasajo, J. 2008. Poltto- ja voiteluainetekniikan kurssin oppimateriaali. Optima

# Liite 1: Witraktorin analyysiraportit

**IF VAHINKOVAKUUTUSYHTIÖ OY**  
**MATTI KANGAS**  
 PL 2012  
 20025 IF,  
 FAKSI:  
 PUHELIN: 010 515 8689  
 NESTETYYPPI: Öljy



**Kiitoradantie 4**  
**01511 Vantaa, -**  
**020 510 2440**  
<http://witraktor-wihuri.cat.com/>

LAB. TARKISTUSNUMERO	01EITU PVM	PROSESSI PVM	KÄYTTÖTUNNIT	NESTEEN KÄYTTÖTUNNIT	NESTE VAHDETTU	NESTIETÄ LISÄTTY	NESTEEN MITTAYKSIKKO	SUODATIN VAHDETTU
L390-42333-0043	23/11/12	28/11/12	11280 HR	9760 HR	No			

TESTITULOKSET NÄYTTÄVÄT NORMAALILTA. - KEHITYSUUNNAN MÄÄRITTÄMISEEN TARVITAAN VÄHINTÄÄN KOLME SÄÄNNÖLLISIN VÄLILÄIN OTETTUA NÄYTTÄÄ. OTA SEURAAVA NÄYTE NOIN 11750 TUNNIN MITTARILUKEMASSA TAI ÖLJYNVAIHDON YHTEYDESSÄ (KUMPI ENSIN TÄYTYY). - LISÄTIETOA TÄSTÄ RAPORTISTA ANTAA SAMI SALMELA, P. 020 510 2440.

Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	Mn	Ni	Ag	V	Ca	Mg	Zn	P	Ba
3	7	2	0	0	0	5	0	1	0	0	0	0	32	0	339	424	0

<b>Kulutusarvot (miljoonassa)</b>																	
L390-42333-0043																	

<b>Öljyn laatu</b>																	
L390-42333-0043																	
ST	OXI	NIT	SUL	W	A	V100	V40	PQI	ISO	4µ	6µ	10µ	14µ	18µ	21µ	39µ	50µ
0	22	4	31	N	N	7.4	39.5	10	1511	9172	232	37	17	10	7	1	1

As = Arseni, Al = Alumiini, B = Borin, Ca = Kalkki, Co = Kromi, Cu = Kupari, Fe = Rauta, P = Fosfori, K = Kalium, Mg = Magnesium, Mo = Molybdeeni, Na = Natrium, Ni = Nikkeli, Pb = Lyijy, Si = Silikaatti, Sn = Timmi, S = Sulfuri, Zn = Sinkki, A = Puhdistus, F = Polttoaine, N = Neliäinen, E = Laitteen, M = Metallinen, NT = Neliäinen, OXI = Happamuus, ST = Noki, SUL = Sulfaattimäinen, ISO = ISO hyötyosuus, PQI = Huokausarvoksi, NIT = Sulfaattimäinen, W = Sulfaattimäinen, V100 = Kokonaissäädös, V40 = Kokonaissäädös, TBN = Kokonaissäädös, TBN = Kokonaissäädös, V100 = Kokonaissäädös, V40 = Kokonaissäädös.

Huomautus: Tämä analyysi on tarkoitettu vain määrittämään kulumisen ennakkoinnin. Mitään tätä konetta tai sen komponenttia koskevaa taluu päätöstä ei tehdä näiden tulosten perusteella.





**IF VAHINKOKAUKUTUSYHTIÖ OY**  
**MATTI KANGAS**  
 PL 2012  
 20025 IF,

FAKSI:  
 PUHELIN 010 515 8689  
 NÄYTIETYYPI: Öljy

YHTIÖN NIMI: IF VAHINKOKAUKUTUSYHTIÖ OY YRITYS  
 KONETUNNUS: LASKU  
 NESTETILA: HYDRAULIJÄRJESTELMÄ  
 SARJANUMERO: 153-KAS  
 VALMISTAJA: OTHER  
 MALLI: PONSSE\_ERGO\_BW  
 TYÖPAIKKA:  
 PID-TAKUUNUMERO:

Käyttörajanne 4  
 01511 Vanhaa, - -  
 020 510 2440  
 http://witraktor-wihuri.cat.com/

LAB-TARKISTUSNUMERO: OTELTU PVM: PROSESSI PVM: KÄYTTÖTUNNI: NESTE VAHDETTU: NESTE KÄYTTÖTUNNI: NESTE VAHDETTU: NESTETTÄ LISÄTTY: NESTEEN MITTAYKSIKKÖ: SUODATTIN VAHDETTU

L390-42324-0044 13/11/12 19/11/12 5690 HR Uhterova 0.0

AIEMMÄT NÄYTIET PULUTTUAVAT LUOTETTAVAN KEHITYSSUUNNAN MÄÄRITYKSEEN TARVITTAAN VÄHENTÄÄN KOLME SÄÄNNÖLLISIN VÄLILUJON OTETTUA NÄYTETTÄ ÖLJYN KÄYTTÖTUNNIT.  
 HUUKKASTEN MÄÄRÄ HIUKKAN KORKEA, JOS PONSSEN HUUKKAMÄÄRÄN OIKEARVO ON VIELÄ CATERPILLARIN 18/15 ARVOKIN MÄÄLÄMPI. MUUTEN TESTITULOKSET NÄYTTÄVÄT NORMAALILTA. -OTA  
 SEURAAVA NÄYTE N. 6200 TUNNIN MITTARILUKEMASSA TAI ÖLJYNVAIPON TYHJETESSÄ (KUMPI ENSIN TÄYTY). -LISÄTIEDOT RAPORTISTA: SÄLMELA, P. 0285 02440

Normaali

Kilomietrimäärä (miljoonassa)	Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	Mo	Ni	Ag	V	Ca	Mg	Zn	P	Ba
L390-42324-0044	5	25	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	43	37	316	294	0

Öljyn laatu	ST	OXI	NIT	SUL	W	A	V100	W40	POI	ISO	4µ	9µ	10µ	14µ	19µ	21µ	38µ	50µ
L390-42324-0044	0	17	4	25	N	N	6.8	38.2	12	19/13	27962	3684	219	59	28	22	17	15

Ag = Hopea, Al = Alumiini, B = Bori, Ca = Kalkki, Cr = Kromi, Cu = Kupari, Fe = Rauta, P = Fosfori, K = Kalium, Mg = Magnesium, Mo = Molybdeeni, Na = Natrium, Ni = Nikkeli, Pb = Lyijy, Si = Pi, Sn = Tina, V = Vanadiini, Zn = Sinkki, A = Pakkasnestä, F = Polttoaine, W = Vesi, P = Positiivinen, N = Negatiivinen, E = Litiainen, NT = Nitraattuminen, OXI = Hapettuminen, ST = Noki, SUL = Sulfaattuminen, ISO = ISO ryöpyysluokkia, POI = Huukkamääräindeksi, NaW = Suodattimen vesi, FL Pt = Lemmikkulapsi, TAN = Kokonaishappopuu, TBN = Kokonaishappopuu, V100 = Viskositeetti@100C, W40 = Viskositeetti@40C

Huomautus: Tämä analyysi on tarkoitettu vain mekaanisen kulutuksen ennakkotietoon. Mitään tätä konetta tai sen komponenttia koskevaa takuuta ei voida ottaa huomioon tulosten perusteella.



**IF VAHINKOVAKUUTUSYHTIÖ OY**  
**MATTI KANGAS**  
 PL 2012  
 20025 IF,

FAKSI:  
 PUHELIN: 010 515 8689  
 NÄYTETYYPPI: Öljy

YHTIÖN NIMI: IF VAHINKOVAKUUTUSYHTIÖ OY/VIRITYS  
 KONEIDEN NIMI: LASKU  
 NESTETILA: HYDRAULIKAARJESTELMA  
 SARJANUMERO: 305-KAR  
 VALMISTAJA: KOMATSU  
 MALLI: KOMATSU  
 TYÖPAIKKA:  
 PID.TAKUUNUMERO:

TYÖNUMERO:  
 KOMP. SARJENO:  
 KOMPONENTIN MALLI:  
 OMPONENTIN VALMISTAJA  
 NÄYTTILIPURENO:  
 NESTEEN MERKITYSTYYS: NESTE#6  
 NESTETYYPI:  
 PID.TAKUUN PÄÄTT. PVM

**Kiitoradantie 4**  
 01511 Vantaa, - -  
 020 510 2440  
<http://witraktor-wihuri.cat.com/>

LAB TARKASTUSNUMERO: OTEITU PVM: 8/11/12 PROSESSIPVM: KÄYTTÖTUNNI: 11000 HR NESTE VAHDEITU: NESTETÄ LISÄTTY: NESTEEN MITTAUSKIRKKO: SUODATIN VAHDEITU: 6000 HR

L390-42327-0041  
 Normali  
 TESTITULOKSET NÄYTÄVÄT NORMAALILTA. - LUOTETTAVAN KEHITYSSUUNNAN MÄÄRITTÄMISEEN TARVITTAVAN VÄHINTÄÄN KOLME SÄÄNNÖLLISÄ VÄLILÄIN OTETTUA NÄYTTÄ OTTA SEURAAVANA YTE NOIN 11500 TUNNIN MITTARILUKEMASSA TAI ÖLJYVAHDON YHTIÖSSÄ (KUMPI ENSIN TÄYTY). - LISÄTIETOA TÄSTÄ RAPORTISTA ANTTAA SAMI SALMELA, P. 020 510 2440.

Kulutusaineet (ml/1000kwh)																	
Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	Mo	Ni	Ag	V	Ca	Mg	Zn	P	Ba
1	1	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	39	0	447	355	0

Öljyn laatu																	
ST	OKI	NIT	SUL	W	A	V100	V40	POI	ISO	4µ	6µ	10µ	14µ	18µ	21µ	38µ	50µ
0	21	3	30	N	N	7.7	39.2	2	15/10	249	231	20	6	2	2	0	0

Ag = Hopea, Al = Alumiini, B = Bori, Ca = Kalkki, Cr = Kromi, Cu = Kupari, Fe = Rauta, P = Fosfori, K = Kalium, Mg = Magnesium, Mo = Molybdeeni, Na = Natrium, Ni = Nikkeli, Pb = Lyijy, Si = Pi, Sn = Tim, V = Vanadiini, Zn = Sinkki, A = Palkaines, F = Polttoaine, W = Vesi, P = Positiivinen, N = Negatiivinen, E = Liiainen, NIT = Nitratuminen, OKI = Hapettuminen, ST = Noki, SUL = Sulfaattuminen, ISO = ISO hyvyysluokka, POI = Huuhtausnäidindeksi, NaW = Suolainen vesi, FL = Lämpöarvoaste, TAN = Kokonaisarvo, TBN = Kokonaisarvo, V100 = Viskositeetti@100C, V40 = Viskositeetti@40C  
 Huomautus: Tämä analyysi on tarkoitettu vain mekaanisten kulumisten ennakkotiloihin. Mitään tätä konetta tai sen komponenttia koskevaa aikua päätöksiä ei tehdä näiden tulosten perusteella.



**IF VAHINKOVAKUUTUSYHTIÖ OY**  
**MATTI KANGAS**  
 PL 2012  
 20025 IF,

FAKSI:  
 PUHELIN: 010 515 8689  
 NÄYTIETYYPI: Öljy

YHDISTÄMÄ: IF VAHINKOVAKUUTUSYHTIÖ OY YRITYS  
 KONEIDENNUMERO: LASKU  
 NESTEIDENNUMERO: HYDRAULIKA  
 SARJANUMERO: 440-MAL  
 VALLMISTAJA: UNKOWN  
 MALLI: VALMELUNKOWN  
 TYÖPAIKEA:  
 PÄIVÄKÄYTTÖNUMERO: 5794 HR

Kiitoradantie 4  
 01511 Vantaa, - -  
 020 510 2440  
<http://witraktor-wihuri.cat.com/>

LAB. TARKASTUSNUMERO: OIETTU PVM: PROSESSI PVM: KÄYTTÖTUNNI: NESTE VAIHDETTU: NESTETTÄ LISÄTTY: NESTEEN MITTAUSKOKKO: SUODATTU VAIHDETTU

L390-42333-0042 23/11/12 28/11/12 11291 HR 5794 HR No  
 TESTITULOKSET NÄYTÄVÄT NORMAALILTA. - KEHITYSSUUNNAN MÄÄRITTÄMISEEN TARVITAAN VÄHINTÄÄN KOLME SÄÄNNÖLLISIN VÄLILÄIN OTETTUA NÄYTTÄ. OTA SEURAAVA NÄYTE NOIN 11600 TUNNIN MITTARILUKEMASSA TAI ÖLJYNVAIHDON YHTEYDESSÄ (KUMPI ENSIN TÄTTY). - LISÄTIETOA TÄSTÄ RAPORTISTA ANTTA SAMI SALMELA, P. 020 510 2440.

Kulutusnäytteen (ml/koostosauna)		Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	Mo	Ni	Ag	V	Ca	Mg	Zn	P	Ba
L390-42333-0042	Normaal	4	6	0	0	0	0	6	0	1	0	0	0	0	51	0	286	458	0

Öljyn laatu / koostosauna		ST	OXI	NIT	SUL	W	A	V100	V40	POI	ISO	4μ	6μ	10μ	14μ	18μ	21μ	38μ	50μ
L390-42333-0042		0	20	4	28	N	N	7.5	41.2	6	16/12	10275	633	87	37	17	12	2	1

Ag = Hopea, Al = Alumiini, B = Bori, Ca = Kalkki, Cr = Kromi, Cu = Kupari, Fe = Rauta, P = Fosfori, K = Kalium, Mg = Magnesium, Mo = Molybdeeni, Na = Natrium, Ni = Nikkeli, Pb = Lyijy, S = Sulfiiri, Si = Sinkki, Sn = Timantti, Zn = Sinkki, A = Pakkaneste, F = Polttoaine, W = Vesi, P = Positiivinen, N = Negatiivinen, E = Litiinen, NT = Nitraattinen, OXI = Happu, SUL = Sulfaattinen, ISO = ISO-luokitus, POI = Huukamäärä, NAW = Sudanin vesi, PL = Lemmikuuspe, TAN = Kokonaisuus, TBN = Kokonaisuus, V100 = Viskositeetti, V40 = Viskositeetti, W = Viskositeetti.

Huomaus: Tämä analyysi on tarkoitettu vain mekaanisen kulutuksen määrittämiseen. Mitään tällaista korostusta tai sen komponenttien korostusta ei tehdä näiden tulosten perusteella.





**IF VAHINKOKVAKUUTUSYHTIÖ OY**  
**MATTI KANGAS**  
 PL 2012  
 20025 IF,  
 FAKSI: 010 515 8689  
 PUHELIN: 010 515 8689  
 NYTYTYYPPI: Öljy

YHTIÖN NIMI: IF VAHINKOKVAKUUTUSYHTIÖ OY / YRITYS  
 KONSERNIN NIMI: LASKU  
 NESTETILA: HYDRAULLIJÄRJESTELMÄ  
 SARJANUMERO: 696 AAR  
 VALMISTAJA: KOMATSU  
 MALLI: KOMATSU  
 TYÖPAIKKILA: --

TYÖNUMERO:  
 KOOMP. SRJ.NRO:  
 KOMPONENTIN MALLI:  
 OMPONENTIN VALMISTAJA  
 NÄYTTILIPUNENRO:  
 NESTEEN MERKKI/TIHEYS: KOMATSU46  
 NESTETYYPPI:  
 PIDTÄKULUN PÄÄTTI: PVM

Kiitoradantie 4  
 01511 Vantaa, --  
 020 510 2440  
<http://witraktor-wihuri.cat.com/>

LAB. TARKISTUSNUMERO	OTEITU PVM	PROSESSI PVM	KÄYTTÖTUNNI	NESTEEN KÄYTTÖTUNNI	NESTE VAHDETTU	NESTIETÄ LISÄTTY	NESTEEN MITTAYKSIKKÖ	SUODATTIN VAHDETTU
L390-42296-0008	18/10/12	22/10/12	3520 HR	3520 HR	No			
Normaali	NÄYTEPULLO 1. - TESTITULOKSET NÄYTTÄVÄT NORMAALIT. KULUMISMETALLIEN ARVOT OVAT MATALAT. HIUKKASLASKENNAN TULOKSET OVAT NORMAALIT. ÖLJYN SEASSA EI NÄYTÄ OLEVAN MUUTAKAAN EPÄPUHTAUKSIA (VETÄ, NOKEA TMS.). - LUOTETTAVAA KEHITYSSUUNNAN MAARITTIMISEEN TARVITAAN VÄHINTÄÄN KOLME SAANNOLLISIN VALUOJIN OTETTUA NÄYTETÄ. OTA SEURAAVA NÄYTE NOIN 4000 TUNNIN MITTARILUKEMASSA TAI ÖLJYNVAIHDON YHTEYDESSÄ (KUMPI ENSIN TÄYTYY). - LISÄTIEDOT RAPORTISTA: SALMELA, P. 0205102440							
L390-42296-0009	18/10/12	22/10/12	3520 HR	3520 HR	No			
Normaali	NÄYTEPULLO 2. - TESTITULOKSET NÄYTTÄVÄT NORMAALIT. KULUMISMETALLIEN ARVOT OVAT MATALAT. HIUKKASLASKENNAN TULOKSET OVAT NORMAALIT. ÖLJYN SEASSA EI NÄYTÄ OLEVAN MUUTAKAAN EPÄPUHTAUKSIA (VETÄ, NOKEA TMS.). - LUOTETTAVAA KEHITYSSUUNNAN MAARITTIMISEEN TARVITAAN VÄHINTÄÄN KOLME SAANNOLLISIN VALUOJIN OTETTUA NÄYTETÄ. OTA SEURAAVA NÄYTE NOIN 4000 TUNNIN MITTARILUKEMASSA TAI ÖLJYNVAIHDON YHTEYDESSÄ (KUMPI ENSIN TÄYTYY). - LISÄTIEDOT RAPORTISTA: SALMELA, P. 0205102440							

Kuluminen aine (miljoonaa)	Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	Mb	Ni	Ag	V	Ca	Mg	Zn	P	Ba
L390-42296-0008	10	6	0	0	0	0	13	0	2	0	0	0	0	159	0	275	362	0
L390-42296-0009	10	5	0	0	0	0	14	0	2	0	0	0	0	54	0	231	328	0

Öljyn laatu / testitulos (miljoonaa)	ST	OXI	NIT	SUL	W	A	V100	POI	ISO	10µ	50µ
L390-42296-0008	0	17	3	14	N	N	6.3	17	19/15	472	4
L390-42296-0009	0	17	3	14	N	N	6.4	10	19/15	390	4

Ag = Hopea, Al = Alumiini, B = Boridi, Ca = Kalkki, Cr = Kromi, Cu = Kupari, Fe = Rauta, P = Fosfori, K = Kalium, Mg = Magnesium, Mo = Molybdäni, Na = Natrium, Ni = Nikkeli, Pb = Lyijy, Si = Piik, Sn = Timmi, V = Vanadiini, Zn = Sinkki, A = Pakkasnestä, F = Polttoaine, W = Vesi, P = Positiivinen, N = Negatiivinen, E = Lullinen, NIT = Nitraattinen, OXI = Hapettuminen, ST = Naki, SUL = Sulfaattinen, ISO = ISO hyvyysluokka, POI = Hiukkasmääräindeksi, NAW = Suubainen wesi, FL Ph = Leimäpuuste, TAN = Kokonahapospito, TBN = Kokonahapospito, V100 = Viskositeetti@100C, V40 = Viskositeetti@40C.  
 Huomaus: Tämä analyysi on tarkoitettu vain mekaanisen kuluminen emakoinnin. Mitään tätä konetta tai sen komponenttia koskevaa takuuta, päätästä ei tehdä näiden tulosten perusteella.



**IF VAHINKOVAKUUTUSYHTIÖ OY**  
**MATTI KANGAS**  
 PL 2012  
 20025 IF,  
 FAKSI: 010 515 8689  
 PUHELIN: 010 515 8689  
 NÄYTTÄYTYPI: Öljy

YHTIÖN NIMI: IF VAHINKOVAKUUTUSYHTIÖ OY/YRITYS  
 KONE/TUNNUS: LASKU  
 NESTEETILA: HYDRAULIJÄRJESTELMÄ  
 SARJANUMERO: 696-44R  
 VALMISTAJA: KOMATSU  
 MALLI: KOMATSU  
 TYÖPAIKKA:  
 PIDTÄKUNNUSNRO:

TYÖNUMERO:  
 KOMP. SARJUNRO:  
 KOMPONENTIN MALLI:  
 OMPONENTIN VALMISTAJA:  
 NÄYTTÄYTYKSEN NRO:  
 NESTEEN NEROKUITEYKS  
 KOMATSUJ46  
 NESTETYPPI:  
 PIDTÄKUNNUSPÄÄTT. PVM

**WITRAKTOR**  
**01511 Vantaa, - -**  
**020 510 2440**  
<http://witraktor-wihuri.cat.com/>

**Kiitoradante 4**

LAB. TARKISTUSNUMERO	OTEITU PVM	PROSESSI PVM	KÄYTTÖTUNNI	NESTEEN KÄYTTÖTUNNI	NESTE VAHDEITU	NESTIETTÄ LISÄTTY	NESTEEN MITTAYKSIKKÖ	SUODAIN VAHDEITU
L390-4236-0009	18/10/12	22/10/12	3520 HR	3520 HR	No		No	
Normaali	NÄYTEPULLO 2. - TESTITULOKSET NÄYTTÄVÄT NORMAALIT. KULLUMISEMETALLIEN ARVOT OVAT MATALAT. HUKKASJASKENNAN TULOKSET OVAT NORMAALIT. ÖLJYN SEASSA EI NÄYTÄ OLEVAN MUUTAKAAN EPÄPUHTAUKSIA (VETÄ, NOKEA TMS.) - LUOTETTAVAN KEHITYSSUUNNAN MÄÄRITTÄMISEEN TARVITAAN VÄHINTÄÄN KOLME SÄÄNNÖLLISIN VÄLJÄJON OTETTUA NÄYTETTÄ. OTA SEURAAVA NÄYTE NOIN 4000 TUNNIN MITTARILUKEMASSA TAI ÖLJYNVAIHDON YHTEYDESSÄ (KUMPI ENSIN TÄYTTYY) - LISÄTIEDOT RAPORTISTA: SÄLMELA, P. 0205102440							
L390-4236-0012	18/10/12	22/10/12	3520 HR	3520 HR	No		No	
Normaali	NÄYTEPULLO 5. - TESTITULOKSET NÄYTTÄVÄT NORMAALIT. KULLUMISEMETALLIEN ARVOT OVAT MATALAT. HUKKASJASKENNAN TULOKSET OVAT NORMAALIT. ÖLJYN SEASSA EI NÄYTÄ OLEVAN MUUTAKAAN EPÄPUHTAUKSIA (VETÄ, NOKEA TMS.) - LUOTETTAVAN KEHITYSSUUNNAN MÄÄRITTÄMISEEN TARVITAAN VÄHINTÄÄN KOLME SÄÄNNÖLLISIN VÄLJÄJON OTETTUA NÄYTETTÄ. OTA SEURAAVA NÄYTE NOIN 4000 TUNNIN MITTARILUKEMASSA TAI ÖLJYNVAIHDON YHTEYDESSÄ (KUMPI ENSIN TÄYTTYY) - LISÄTIEDOT RAPORTISTA: SÄLMELA, P. 0205102440							
L390-4236-0011	18/10/12	22/10/12	3520 HR	3520 HR	No		No	
Normaali	NÄYTEPULLO 4. - TESTITULOKSET NÄYTTÄVÄT NORMAALIT. KULLUMISEMETALLIEN ARVOT OVAT MATALAT. HUKKASJASKENNAN TULOKSET OVAT NORMAALIT. ÖLJYN SEASSA EI NÄYTÄ OLEVAN MUUTAKAAN EPÄPUHTAUKSIA (VETÄ, NOKEA TMS.) - LUOTETTAVAN KEHITYSSUUNNAN MÄÄRITTÄMISEEN TARVITAAN VÄHINTÄÄN KOLME SÄÄNNÖLLISIN VÄLJÄJON OTETTUA NÄYTETTÄ. OTA SEURAAVA NÄYTE NOIN 4000 TUNNIN MITTARILUKEMASSA TAI ÖLJYNVAIHDON YHTEYDESSÄ (KUMPI ENSIN TÄYTTYY) - LISÄTIEDOT RAPORTISTA: SÄLMELA, P. 0205102440							
L390-4236-0010	18/10/12	22/10/12	3520 HR	3520 HR	No		No	
Normaali	NÄYTEPULLO 3. - TESTITULOKSET NÄYTTÄVÄT NORMAALIT. KULLUMISEMETALLIEN ARVOT OVAT MATALAT. HUKKASJASKENNAN TULOKSET OVAT NORMAALIT. ÖLJYN SEASSA EI NÄYTÄ OLEVAN MUUTAKAAN EPÄPUHTAUKSIA (VETÄ, NOKEA TMS.) - LUOTETTAVAN KEHITYSSUUNNAN MÄÄRITTÄMISEEN TARVITAAN VÄHINTÄÄN KOLME SÄÄNNÖLLISIN VÄLJÄJON OTETTUA NÄYTETTÄ. OTA SEURAAVA NÄYTE NOIN 4000 TUNNIN MITTARILUKEMASSA TAI ÖLJYNVAIHDON YHTEYDESSÄ (KUMPI ENSIN TÄYTTYY) - LISÄTIEDOT RAPORTISTA: SÄLMELA, P. 0205102440							

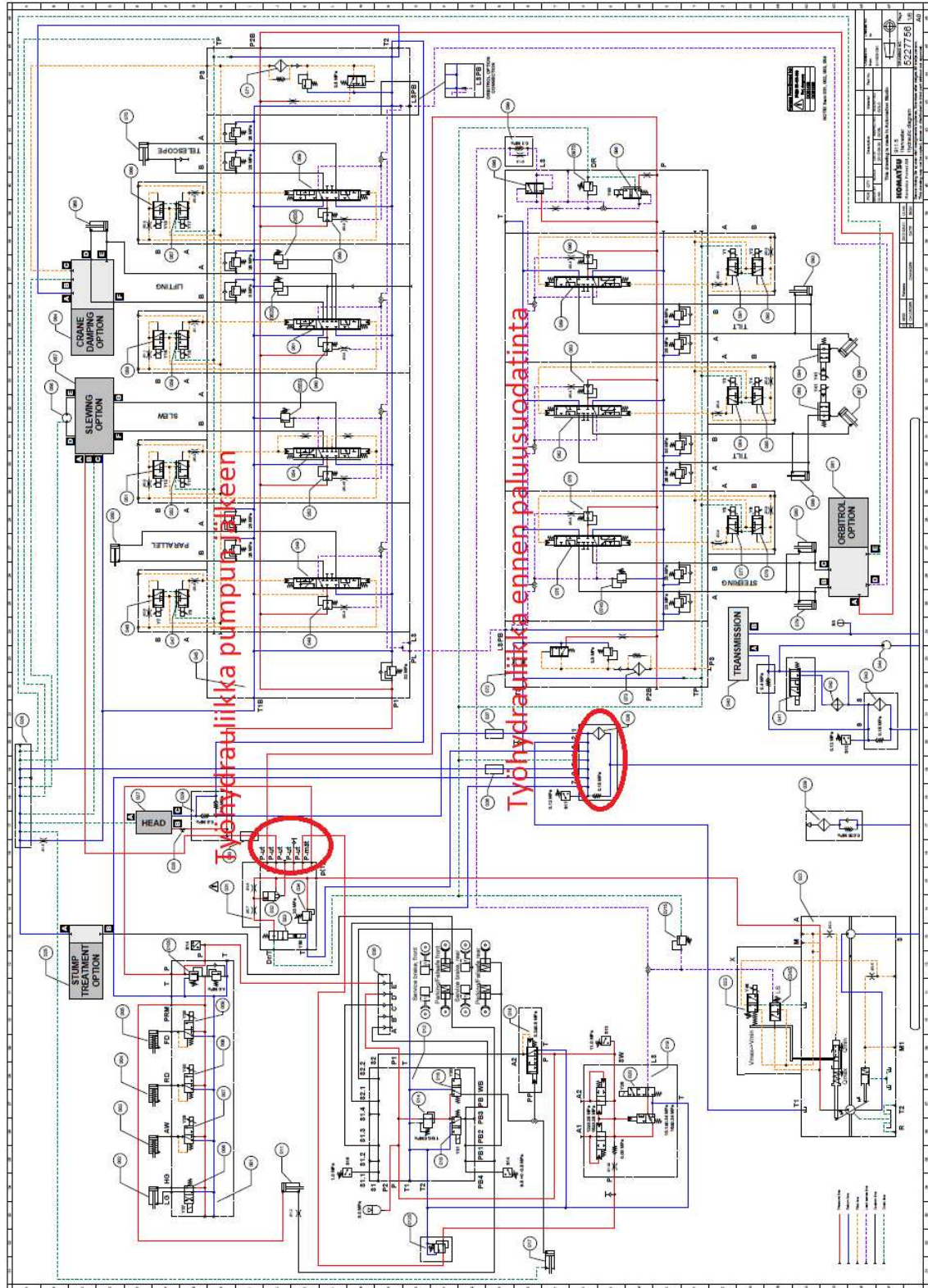
Kulutusarvot (mittoyksikössä)	Cu	Fa	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Nb	K	Mo	Ni	Ag	V	Ca	Mg	Zn	P	Ba	
L390-4236-0009	10	5	0	0	0	0	14	0	2	0	0	0	0	0	54	0	231	326	0
L390-4236-0012	11	5	0	0	0	0	14	0	3	0	0	0	0	222	1	295	399	0	0
L390-4236-0011	10	5	0	0	0	0	13	0	2	0	0	0	0	54	0	237	336	0	0
L390-4236-0010	10	5	0	0	0	0	14	0	2	0	0	0	0	51	0	238	340	0	0

Öljyn tyyppi	ST	Oxi	NIT	SUL	W	A	V100	POI	ISO	10j	50j
L390-4236-0009	0	17	3	14	N	N	6.4	10	18/15	390	4
L390-4236-0012	0	17	3	14	N	N	6.4	6	15/12	72	3
L390-4236-0011	0	17	3	14	N	N	6.3	4	16/12	82	3
L390-4236-0010	0	17	3	14	N	N	6.3	7	18/14	280	4

Ag = Hopea, Al = Alumiini, B = Boori, Ca = Kalkki, Cr = Kromi, Cu = Kupari, Fe = Rauta, P = Fosfori, K = Kalium, Mg = Magnesium, Mo = Molybdeeni, Na = Natrium, Ni = Nikkeli, Pb = Lyijy, Si = Piik, Sn = Timmi, V = Vanadiini, Zn = Sinkki, A = Pakkasnestä, F = Polttoaine, W = Vesi, P = Positiivinen, N = Negatiivinen, E = Lullinen, NT = Nitraattinen, OXI = Hapettuminen, ST = Noki, SUL = Sulfaattinen, ISO = ISO Hyötyaluokka, POI = Huukkasaindeksi, NAW = Suolainen vesi, FL, PI = Leimakuopiste, TAN = Kokonaisraportti, TBN = Kokonaisrasva, V100 = Viskositeetti @ 100C, V40 = Viskositeetti @ 40C

Huomautus: Tämä analyysi on tarkoitettu vain maksamisen tuloksen esittämiseen. Mitään tätä konetta tai sen komponenttia koskevaa takuuta ei voida näiden tulosten perusteella.

## Liite 2: Työhydrauliikan kaavio, jossa näytteenottokohdat merkittynä



# Liite 3: Ajohydrauliikan kaavio, jossa näytteenottokohdat merkittynä

