

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

PAMAS-hiukkaslaskimien hyödyllisyys kylmävalssaamon hydrauliikka- ja vaihteistovoitelujärjestelmien kunnonvalvonnassa

Jyrki Kela

Konetekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Konetekniikan suuntautumisvaihtoehto
Insinööri (AMK)

KEMI 2011

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Outokumpu Tornio Worksin kylmävalssaamon kunnossapidon ennakkohuolto-organisaatiolle.

Haluan kiittää Outokumpu Tornio Worksin kylmävalssaamon ennakkohuoltoinsinööri Tuomas Nikulaa työni ohjaamisesta.

Ammattikorkeakoulun ohjaajille Ari Pikkaraiselle ja Harri Pikkaraiselle myös kiitokset työn ohjaamisesta.

Kiitokset Outokumpu Tornio Worksin laboratoriolle sujuvasta ja kannustavasta yhteistyöstä.

Lopuksi vielä tahdon kiittää perhettäni heidän antamastaan tuesta ja kärsivällisyydestä opiskelussa ja opinnäytetyöni loppuunsaattamisessa.

TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan yksikkö	
Koulutusohjelma	Konetekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Jyrki Kela
Opinnäytetyön nimi	PAMAS-hiukkaslaskimien hyödyllisyys kylmävalssaamon hydrauliiikka- ja vaihteistovoitelujärjestelmien kunnonvalvonnassa
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	2.9.2011
sivumäärä	49 + 58 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	Ins (YAMK) Ari Pikkarainen ja Ins. (AMK) Harri Pikkarainen
Yritys	Outokumpu Stainless oy
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	Tuomas Nikula

Työn ensisijaisena tavoitteena on nähdä PAMAS hiukkaslaskimien hyödyllisyys kylmävalssaamon hydrauliiikka- ja vaihteistovoiteluainejärjestelmien kunnonvalvonnassa. Hiukkaslaskimia hyödyntämällä saadaan helppokäyttöinen ja luotettava seurantajärjestelmä ennakkohuollolle.

Kunnossapitoon otettiin vuokralle PAMAS Oy:ltä Online- ja pullohiukkasmittauslaitteet. Niitä käytettiin öljynäytteiden tutkimiseen kylmävalssaamon eri tuotantolinjojen voitelujärjestelmien öljyjen puhtauden tutkimiseen. Hiukkasmittaus osoittautui helpoksi tavaksi tutkia öljyjen puhtautta.

Hiukkasmittauksella on mahdollisuus tutkia öljynäytteet ja antaa lisätietoa kunnonvalvonnassa värähtelymittauksen ohella. Laitteen helppokäyttöisyys ja tarkkuus edesauttaa ennakkohuoltoa havaitsemaan mahdolliset viat aiemmin kuin pelkän värähtelymittauksen avulla.

Hiukkasmittauslaitteiden mukaan tuleminen kunnossapitoon antaa ennakkohuollolle mahdollisuuden reagoida nopeammin ja tehokkaammin tuleviin mahdollisiin laitevikoihin. Lisäksi on mahdollista säästää kustannuksia, sillä huollot voidaan priorisoida oikeanlaisiksi tapauskohtaisesti.

Opinnäytetyössä on käsitelty kunnossapidon teoriaa, öljyjen kunnonvalvontaa sekä öljyanalysilaitteiston toimintaa.

Asiasanat: kunnossapito, hiukkaslaskenta, vaihteistovoitelu, hydrauliiikka

ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Mechanical Engineering
Name	Jyrki Kela
Title	Usefulness of a Particle Counter in the condition Monitoring of the Hydraulics and Gearing Lubrication System at Cold-rolling Mill
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	2 September 2011
Pages	49 + 58 appendices
Instructor	Ari Pikkarainen MEng and Harri Pikkarainen B.Eng
Company	Outokumpu Stainless Oy
Contact Person/Supervisor from Company	Tuomas Nikula, MSc (Mech.Eng)

The aim of the study was to see the usefulness of PAMAS particle counter in the condition monitoring of the hydraulics and gearing lubrication system at cold-rolling mill. By utilizing the particle obtained easy to use and reliable monitoring system to maintenance.

To the maintenance the portable particle counter and syringe bottle sampling system device was hired from PAMAS LTD. They were used the purity testing of oil samples to study in different production lines at cold rolling mill. Particle measuring proved to be an easy way to examine the purity of the oils. Particle counting gives the opportunity to explore the oil samples, and provide further information about the condition monitoring in addition to vibration. The ease of use and accuracy of the device contribute to preventive maintenance to detect potential faults earlier than only by vibration measurement.

Using particle measuring equipment in the maintenance gives the preventive maintenance an opportunity to react faster and more effectively to possible failures. Furthermore, it is possible to save in the costs because the maintenance procedures can be prioritised right case by case.

In the thesis the theory of the maintenance, the condition monitoring of oils and the operation of the oil analysis equipment have been dealt with.

Keywords: maintenance, particle counter, gearing lubricants, hydraulics.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	I
TIIVISTELMÄ.....	II
ABSTRACT.....	III
SISÄLLYSLUETTELO	IV
1. JOHDANTO	1
2. KUNNOSSAPITO	3
2.1. Kunnossapitolajit	3
2.1.1. Ehkäisevä kunnossapito	4
2.1.2. Parantava kunnossapito	4
2.1.3. Huolto.....	5
2.1.4. Korjaava kunnossapito	6
2.1.5. Vikaantuminen ja vikaantumisen selvittäminen	6
3. ÖLJYJEN KUNNONVALVONTA.....	8
3.1. Öljyn kunnonvalvonnan tarpeet teollisuudessa.....	8
3.2. Öljyn kunnonvalvonnan menetelmät	9
3.3. Voitelu ja puhtaus	10
3.3.1. Puhtausluokat	11
3.4. Epäpuhtauksien esto ja poisto	15
3.5. Partikkelimittaus eli hiukkaslaskenta.....	16
4. ÖLJYANALYYSILAITTEISTO	18
4.1. Pamas S40 online -hiukkaslaskin.....	18
4.2. Pamas SBSS -hiukkaslaskin.....	19
4.3. Pamas CMDM -raportointiohjelmisto	20
4.4. Mittaushierarkian luonti ja päivitys.....	21
4.5. Luotettava näytteenotto ja näytteenottoaikan valinta	23
4.6. Mittaustulosten tarkastelu	26
4.7. Trendiseuranta.....	26
5. TUTKITTAVAT KOHTEET	28
5.1. Hydrauliikkajärjestelmä	28
5.2. Vaihteistovoitelu eli kiertovoitelujärjestelmä	29
6. TUTKIMUKSEN TULOKSET	31
6.1. HP4 yleishydrauliikka pumppu 8 painemittauspiste	31
6.2. HP4 yleishydrauliikka mittapiste ennen paluusuodatinta	32
6.3. HP4 yleishydrauliikka mittapiste ennen kierrätysuodatinta	33
6.4. VV 1 yleishydrauliikka pumppu 1 painemittauspiste	35
6.5. HP3 vaihteistovoitelu 2.....	36
6.6. HA6 päällekelaimen vaihteistovoitelu	40
7. LAITTEISTON SUOSITELTAVAT KÄYTTÖKOHTEET KYVALLA.....	42
7.1. PAMAS SBSS laitteenhankinnan hyöty	43
8. YHTEENVETO	45
9. LÄHDELUETTELO	47
10. LIITELUETTELO.....	49

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

KYVA	kylmävalssaamo
HA6	halkaisulinja 6
HP4	hehkutuspeittauslinja 4
VV1	viimeistelyvalssain 1
HP3	hehkutuspeittauslinja 3
KUPI	kunnossapito
KUTI	kunnossapidon tietojärjestelmä

1. JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee PAMAS-hiukkaslaskimien hyödyllisyyttä kylmävalssaamon hydraulikka- ja vaihteistovoiteluainejärjestelmien kunnonvalvonnassa.

Aiheen työhön antoi Outokumpu Oy:n kylmävalssaamon kunnossapitoinsinööri Tuomas Nikula. Työn lähtökohdaksi oli saada arvio laitteen hankinnan hyödyistä kunnonvalvonnassa verrattuna nykyiseen tilaan.

Vaihteistot ovat hitaasti pyöriviä ja haastavia mitattavia kohteita värähtelymittauslaitteistolla. Hiukkasmittauksen tarkoituksena on saada mahdolliset vaurioitumiset kiinni aikaisemmin kuin pelkästään värähtelymittauksella.

Vaihteistovoitelujärjestelmät eivät ole niin kriittisiä öljyjen puhtauden suhteen, koska mekaaniset väljyydet ovat suuremmat kuin hydraulikkajärjestelmässä. Hydraulikkajärjestelmissä puhtaus on puolestaan ensiarvoisen tärkeää toimivuuden kannalta.

Tuotantolinjojen kohdalla hydraulikkajärjestelmät ovat kriittisiä kohteita, sillä ongelmatilanteissa ne voivat pysäyttää tuotannon. Menetelmän soveltuvuutta testattiin hydraulikka- ja vaihteistovoitelujärjestelmissä.

Opinnäytetyössä öljynäytteiden mittaustulokset ovat noin kahdeksan kuukauden ajalta ja työ rajattiin käsittelemään kylmävalssaamon yksikössä olevia tuotantolinjojen öljyjärjestelmiä: HP3; vaihteistovoitelu 2, HP4; yleishydrauliikka, HA6; päällekelaimen kiertovoitelu, VV1; yleishydrauliikka.

Öljynäytteet on otettu eri mittauspisteistä edellä mainittujen tuotantolinjojen öljyjärjestelmistä. Öljynäytteet mitattiin PAMAS S40 -online ja PAMAS SBSS -pullonäyte hiukkaslaskimien avulla ja analysoitiin PAMAS CMDM -ohjelmalla. Saadut tulokset ovat nähtävillä trendikäyriä CMDM-ohjelmassa. (Liite 1)

Tavoitteena oli saada helppokäyttöinen ja luotettava seurantajärjestelmä ennakkohuollolle. Mahdolliset alkavat laitevikaantumiset saataisiin tällä tavoin aiemmin hallintaan, lisäksi nähtäisiin öljyn puhtauden mahdolliset muutokset trendiseurannan avulla.

Hiukkasmittauksen avulla pystytään muodostamaan selkeät ja luotettavat toimintatavat sekä keskitytään kriittisiin mitattaviin kohteisiin. Tällä tavoin turvataan tuotannon keskeytymättömyys voiteluhuollon osalta.

Materiaali työhön saatiin henkilöhaastatteluista, KUTI-ohjelmiston kunnossapitoon liittyvistä raporteista ja –työmääräyksistä, PAMAS CMDM -ohjelmasta sekä kunnanvalvontaan liittyvästä kirjallisuudesta; kirjoista ja internetistä.

Outokumpu Stainless Oy:n ensisijainen osaamisalue on ruostumattomien terästen valmistus ja jalostus. Sillä on merkittävää kromikaivostoimintaa ja ferrokromin tuotantoa, kuten myös laaja valikoima muita ruostumatonta terästä olevia tuotteita, kuten kuuma- ja kylmävalssatut levyt ja nauhat, tarkkuusnauhat sekä putket ja putken osat. Levytuotannon keskuksena toimii Tornion integroitu tuotantolaitos Suomessa.

2. KUNNOSSAPITO

”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana.” (PSK 6201-standardi) /2/

John Moubrayn mukaan tavoitteet tuotantovälineiden toiminnan varmistamiseksi niiden koko elinkaaren aikana ovat:

- varmistaa omistajien, käyttäjien ja yhteiskunnan tyytyväisyys
- valita ja käyttää kaikkein sopivimpia kunnossapidon menetelmiä, joilla hallitaan tuotantovälineiden vikaantumista ja vikaantumisen seurauksia
- saada kaikkien kunnossapitoon vaikuttavin ihmisten aktiivinen tuki kunnossapidon toimille. /2/

2.1. Kunnossapitolajit

Kunnossapidon päälajit voidaan jakaa viiteen osaan jotka ovat:

- 1) ehkäisevä kunnossapito
- 2) parantava kunnossapito
- 3) huolto
- 4) korjaava kunnossapito
- 5) vikojen ja vikaantumisen selvittäminen. /2/

2.1.1. Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevän kunnossapidon keinoin seurataan kohteen suorituskykyä tai sen parametrejä. Päämääränä on vähentää vikaantumisen todennäköisyyttä tai koneen/osan toimintakyvyn heikkenemistä.

Ehkäisevä kunnossapito on yleensä säännöllistä tai sitä tehdään vaadittaessa. Tulosten perusteella voidaan suunnitella ja aikatauluttaa kunnossapidon tehtäviä.

Kunnonvalvontaa voidaan tehdä kohteen toimiessa tai seisokin aikana. Kunnonvalvonnan avulla etsitään oireilevia vikoja tai todetaan havaintojen avulla kohteen olevan toimintakykyinen.

Ehkäisevään kunnossapitoon kuuluvat mm. seuraavat toimet:

- tarkastaminen (inspection, overhaul)
- kunnonvalvonta (condition monitoring)
- määräystenmukaisuuden toteaminen (compliance check)
- testaaminen/toimintakunnon toteaminen (visual and functional test)
- käynninvalvonta (monitoring)
- vikaantumistietojen analysointi (trend analysis, equipment history analysis)./2/

2.1.2. Parantava kunnossapito

Parantava kunnossapito voidaan jakaa kolmeen pääryhmään.

1. Kohteen rakennetta muutetaan käyttämällä uudempia osia tai komponentteja kuin alkuperäiset. Kohteen suorituskykyä ei varsinaisesti muuteta.

2. Uudelleensuunnittelulla ja korjauksilla parannetaan koneen epäluotettavuutta, minkä tarkoituksena on siis muuttaa koneen toimintaa luotettavammaksi, mutta ei niinkään muuttaa suorituskykyä.

3. Modernisoinnit, joissa kohteen suorituskykyä muutetaan. Yleensä modernisoinnilla uudistetaan koneen ohella myös valmistusprosessia. /2/

2.1.3. Huolto

Huoltamalla huolehditaan kohteen käyttöominaisuuksista tai palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen vian syntymistä tai estetään vaurion syntyminen. Jaksotettu huolto tehdään määrävälein. Huoltojen välit määräytyvät käyttöajan tai käyttömäärän mukaan, ottaen huomioon myös käytön rasittavuus huoltojen välissä.

Jaksotettuun huoltoon sisältyvät seuraavat toimenpiteet:

- toimintaedellytysten vaaliminen, käytön suorittama kunnossapito (autonomous maintenance)
- puhdistus (cleaning)
- voitelu (lubrication)
- huoltaminen, huolto (servicing)
- kalibrointi (calibration)
- kuluvien osien vaihtaminen (replacement of wear and tear items)
- toimintakyvyn palauttaminen (restoration of deterioration). /2/

2.1.4. Korjaava kunnossapito

Korjaantuvassa kunnossapidossa vikaantuvaksi todettu osa tai komponentti palautetaan käyttökuntoon. Suoritusaikojen avulla osalle tai komponentille voidaan laskea elinaika. Korjaava kunnossapito voi olla joko häiriökorjaus tai kunnostus, joko suunnittelematon tai suunniteltu.

Korjaavaan kunnossapitoon sisältyvät seuraavat toimet:

- vian määrittäminen (fault diagnosis, trouble shooting)
- vian tunnistaminen (fault recognition)
- korjaus (repair)
- väliaikainen korjaus (temporary repair)
- toimintakunnon palauttaminen (restoration)./2/

2.1.5. Vikaantuminen ja vikaantumisen selvittäminen

Vikojen ja vikaantumisen selvittämistä ei toistaiseksi ole mielletty kunnossapitoon kuuluviksi toiminnoiksi. Tämän vuoksi näitä asioita ei ole käsitelty kunnossapidon standardeissa.

Vikojen ja vikaantumisen selvittämisellä pyritään selvittämään vikaantumisen perussyyt sekä vikaantumisprosessi.

Tulosten perusteella voidaan suorittaa toimenpiteitä, joilla estetään vastaavan vahingon syntyminen tulevaisuudessa. Analyysien tekeminen vaatii erikoisosaamista, mutta aivan jokaista rikkoontumista ei kannata analysoida.

Tavanomaisia menetelmiä ovat:

- vika-analyysit (fault analysis)
- vikaantumisen selvittäminen
- mallintaminen (reconstruction)
- perussyyn selvittäminen (RCFA, root cause failure analysis)
- materiaalianalyysit (analysis of material)
- suunnittelun analyysit (design analysis)
- vikaantumispotentiaalin kartoitukset ja –riskinhallinta./2/

3. ÖLJYJEN KUNNONVALVONTA

Öljyjä voidaan pitää yhtenä koneenosana. Tämä edellyttää öljyn säännöllistä kunnonvalvontaa ja huoltotoimenpiteitä. Öljyssä käytön aikana tapahtuu fysikaalisia ja kemiallisia muutoksia. Laitteistosta tulee myös öljyyn kulumahiukkasia sekä muita epäpuhtauksia ja vettä. Seuranta tapahtuu laboratoriotutkimuksilla ja analyysilaitteilla. /5/

Toisin sanoen öljy voi olla kemiallisesti kunnossa, mutta epäpuhdasta. Tämä voi johtua esimerkiksi suodatuksen heikkoudesta tai koneen vikaantumista.

Voitelukyvyyn heiketessä analyysi saattaa antaa puhtaan tuloksen, mutta öljy on kemiallisesti huonossa kunnossa. Tämä voi johtua öljyn vanhenemisesta tai epäpuhtauksien pääsystä öljyjärjestelmään.

3.1. Öljyn kunnonvalvonnan tarpeet teollisuudessa

Teollisuudessa voiteluhuolto on tärkeässä osassa kulumisen ja kitkan aiheuttamien haittojen vähentämisessä sekä tuotantolaitteiden käynnissä pidossa. Voiteluaineet toimivat myös osana hydraulikkajärjestelmien ja vaihteistojen tehonsiirrossa.

Hyvin suoritettu voiteluaineiden tarkkailu ja huolto korvaavat moninkertaisesti siihen tarkoitetut kustannukset. Voiteluainehuolto on useissa yrityksissä osa yrityksen laatujärjestelmää.

Öljyn kunnonvalvontatarpeet teollisuudessa voidaan jakaa pääsääntöisesti viiteen pääkohtaan:

1. Tuotannon tarpeisiin eli käynnissäpidon varmistus ja laitteiden käyttöön optimointi.
2. Projektit/kone- ja laiteharkinnan tarpeisiin eli koekäytöt valmistajalla ja tilaajalla, käyntiinajo ja vastaanottotarkistukset.
3. Kone ja laitevaurioihin liittyviin tarpeisiin eli vaurioselvitykset.
4. Kokeilutoiminnan ja laadunvarmistuksen tarpeisiin eli öljyjen soveltavuustestit, uusien öljyjen varmistus sekä öljyjen huoltolaitteiden kenttätestit.
5. Tutkimuslaitoksen ja korkeakoulujen tarpeet eli tutkimusprojektit, vaurioanalyysit ja opinnäytetyöt. /5/

3.2. Öljyn kunnonvalvonnan menetelmät

Öljyjen kunnonvalvonta on muutosten seuranta ja siihen reagoimista. Seuranta tapahtuu tekemällä analyysijä online-laitteilla ja laboratoriotutkimusten avulla.

Analyysijä on kolmenlaisia: perusominaisuuksien analyysit, hiukkanalyysit ja kulumametallianalyysit.

Perusominaisuusanalyysihin kuuluvat yleisimmät perusanalyysit, kuten muun muassa ulkonäkö, viskositeetti ja happoluku sekä lisäanalyysihin muun muassa öljyn laatu, lisäaineet ja vaahtoaminen.

Hiukkanalyysihin epäpuhtaushiukkasten määrä ja kokojakauma, jonka puhtausluokitus perustuu nykyään pääosin joko ISO-4406 tai NAS-1638 standardiin.

Toiseksi hiukkasten laatu ja muoto mikroskoopilla, jossa yleensä hiukkasten muoto, väri ja koko antavat osviittaa niiden alkuperästä.

Kulumametallianalyysihin puolestaan kuuluvat koneenosien alkuainepitoisuudet, joissa lämmön avulla viritetään alkuaineiden energiatilaa. Atomiabsorptiospektrofotometrillä (AAS), eli alkuaineen lähettämää säteilyä, sekä plasmaemissiospektrofotometrillä (ICP), eli alkuaineen imemää säteilyä.

Lisäksi käytössä on Ferrografia-analyyttien (mikroskooppi), suoralukumenetelmä, jossa tuloksina ilmaistaan kulumisen kokonaismäärä tai kulumisindeksi ja kulumisen vakavuus. /5/

3.3. Voitelu ja puhtaus

Voiteluöljyjen käyttökunto, koneen kunto ja öljyn epäpuhtaudet muodostavat ketjureaktion, joka vaikuttaa toisiinsa. Epäpuhtaudet lisäävät kulumista ja huonontavat öljyn kuntoa. Öljyn huonontunut kunto heikentää voitelua ja laitteen kulumisen lisääntyy. Lisääntyvä kulumisen ja öljyn huonontuminen lisää siten myös epäpuhtauksia. /5/

Hydrauli- ja kiertovoitelujärjestelmässä voidaan painovoimaa käyttäen erottaa öljyjä raskaampia puhtauksia säiliössä. Muita keinoja ovat suodatus, tiivistys sekä yleinen siisteys ja puhtaus.

Epäpuhtaudet ovat jaettavissa kiinteisiin ja nestemäisiin.

Kiinteät:

- pöly ympäristöstä
- metallit laitteen valmistuksesta, asennuksesta ja kulumisesta
- raaka-aineet tuontantoprosessista
- karsta ylikuumenneesta tai epätäydellisesti palaneesta poltto- tai voiteluaineesta
- lika yleensäkin epäpuhtaasti käsitellystä voiteluaineesta.

Nestemäiset:

- vesi ja kemikaalit prosessista, pesusta tai kondenssista
- kemikaalit yleensä eri lähteistä.

Mikä tahansa voiteluun joutunut epäpuhtaus reagoi voitelukohteessa ja -aineessa. /4/

3.3.1. Puhtausluokat

Öljynäytteiden puhtausanalyysin alkuperäinen tarkoitus on useasti koneiden mekaaninen kunnonvalvonta.

Öljyanalyysien tulokset ilmoitetaan pääsääntöisesti ISO 4406 –puhtausluokituksen mukaisesti, mutta analyysituloksia tarkastellessa on havaittu, että pelkkien ISO 4406 -puhtausluokkien seuranta on epäherkkä menetelmä paljastamaan alkanut kulumisvaurio riittävän aikaisin.

Pahimmillaan ISO 4406 –puhtausluokitus voi antaa väärän kuvan mekaniikan kunnosta.

Hiukkaskokoerottelu paljastaa kulumisvaurion herkemmin kuin ISO 4406-puhtausluokitus.

Puhtausluokat esitellään tyypillisesti kansainvälisten standardien ISO-4406, NAS-1638 tai SAE AS4059 mukaisesti.

ISO 4406:1999 on kansainvälinen, virallinen puhtausluokitus, jolla määritellään kiinteiden hiukkasten määrä hydraulineesteessä. Toisin sanoen se on yksinkertaistettu tapa osoittaa öljynäytteen partikkelimäärät. Sitä käytetään yleisesti muidenkin öljyjen puhtauden määrittämiseen. /13/

ISO 4406:1999 määrittää kumulatiivisten hiukkasmäärien perusteella öljyn puhtausluokan kolmella hiukkaskokoalueella.

Kokoalueet uuden standardin mukaan ovat $\geq 4 \mu\text{m(c)}$, $\geq 6 \mu\text{m(c)}$, $\geq 14 \mu\text{m(c)}$.

Kumulatiivisuus tarkoittaa sitä, että tarkasteltaessa esimerkiksi hiukkasten lukumäärää kokoluokassa $\geq 6 \mu\text{m(c)}$, on saadussa lukumäärässä mukana myös kaikki hiukkaset kokoluokassa $\geq 14 \mu\text{m(c)}$ /1/ (taulukko 1).

Taulukko 1. ISO 4406:1999 -puhtausluokat

Hiukkasmäärä / 1 ml		Hiukkasmäärä / 10 ml		Hiukkasmäärä / 100 ml		ISO-4406 puhtausluokka
>	≤	>	≤	>	≤	
2.500.000		25.000.000		250 milj.		>28
1.300.000	2.500.000	13.000.000	25.000.000	130 milj.	250 milj.	28
640.000	1.300.000	6.400.000	13.000.000	64.000.000	130 milj.	27
320.000	640.000	3.200.000	6.400.000	32.000.000	64.000.000	26
160.000	320.000	1.600.000	3.200.000	16.000.000	32.000.000	25
80.000	160.000	800.000	1.600.000	8.000.000	16.000.000	24
40.000	80.000	400.000	800.000	4.000.000	8.000.000	23
20.000	40.000	200.000	400.000	2.000.000	4.000.000	22
10.000	20.000	100.000	200.000	1.000.000	2.000.000	21
5.000	10.000	50.000	100.000	500.000	1.000.000	20
2.500	5.000	25.000	50.000	250.000	500.000	19
1.300	2.500	13.000	25.000	130.000	250.000	18
640	1.300	6.400	13.000	64.000	130.000	17
320	640	3.200	6.400	32.000	64.000	16
160	320	1.600	3.200	16.000	32.000	15
80	160	800	1.600	8.000	16.000	14
40	80	400	800	4.000	8.000	13
20	40	200	400	2.000	4.000	12
10	20	100	200	1.000	2.000	11
5	10	50	100	500	1.000	10
2,5	5	25	50	250	500	9
1,3	2,5	13	25	130	250	8
0,64	1,3	6,4	13	64	130	7
0,32	0,64	3,2	6,4	32	64	6
0,16	0,32	1,6	3,2	16	32	5
0,08	0,16	0,8	1,6	8	16	4
0,04	0,08	0,4	0,8	4	8	3
0,02	0,04	0,2	0,4	2	4	2
0,01	0,02	0,1	0,2	1	2	1
0	0,01	0	0,1	0	1	0

Taulukko 1: ISO 4406:1999 puhtausluokitustaulukko

NAS-1638- standardi perustuu differentiaaliseen määrittelyyn (kpl/kokoluokka-alue) Käytössä on viisi hiukkaskokoaluetta ja 14 puhtausluokkaa 00...12 väliltä (taulukko 2). Jos halutaan ilmoittaa NAS-standardi ainoastaan yhdellä luvulla, puhtausluokaksi valitaan huonoin puhtausluokka tutkitulta viideltä hiukkaskokoalueelta.

Uutena ehdotuksena NAS-1638 -luokitukseen on lisätty kuudes, pienten $> 4 \mu\text{m(c)}$ hiukkasten kokoalue, joka vastaa vanhan kalibroinnin $> 1 \mu\text{m}$ hiukkasia. Tässä ehdotuksessa hiukkasten lukumäärän laskemisessa on luovuttu differentiaalisesta tavasta ja sen sijaan laskettaisiin kumulatiiviset arvot, kuten ISO-4406-standardissa. /5/

Taulukko 2. NAS 1638 –standardin puhtausluokitustaulukko

Puhtaus- luokka	Hiukkaskoko μm				
	5 - 15	15 - 25	25 - 50	50 - 100	> 100
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1
2	1 000	178	32	6	1
3	2 000	356	63	11	2
4	4 000	712	126	22	4
5	8 000	1 425	253	45	8
6	16 000	2 850	506	90	16
7	32 000	5 700	1 012	180	32
8	64 000	11 400	2 025	360	64
9	128 000	22 800	4 050	720	128
10	256 000	45 600	8 100	1 440	256
11	512 000	91 200	16 200	2 880	512
12	1 024 000	182 400	32 400	5 760	1 024

SAE AS4059D -standardi perustuu kumulatiivisten hiukkasmäärien vertailuun NAS-1638 –standardissa käytettyyn differentiaaliseen verrattuna (taulukko 3). Sen avulla puhtausluokka ilmoitetaan seuraavilla vaihtoehdoilla:

- tiettyä hiukkaskokoa ja sitä suurempien partikkeleiden määrän perusteella
- erillisellä luokka-arvolla usealle eri hiukkaskoolle
- suurimmalla luokka-arvolla laajemmalla kokoalueella /5/

Taulukko 3. SAE AS 4059D –puhtausluokat kumulatiivisille partikkelimäärille

SAE AS4059D		Maksimi hiukkasmäärät, kpl / 100 ml näytettä, (kumulatiivinen määrä)					
"Vanha" hiukkaskoko*		≥ 1µm	≥ 5µm	≥ 15 µm	≥ 25 µm	≥ 50 µm	≥ 100 µm
"Uusi" hiukkaskoko**		≥ 4 µm(c)	≥ 6 µm(c)	≥ 14 µm(c)	≥ 21 µm(c)	≥ 38 µm(c)	≥ 70µm(c)
Kokoluokka		A	B	C	D	E	F
P U H T A U S L U O K A T	000	195	76	14	3	1	0
	00	390	152	27	5	1	0
	0	780	304	54	10	2	0
	1	1 560	609	109	20	4	1
	2	3 120	1 220	217	39	7	1
	3	6 250	2 430	432	76	13	2
	4	12 500	4 860	864	152	26	4
	5	25 000	9 730	1 730	306	53	8
	6	50 000	19 500	3 460	612	106	16
	7	100 000	38 900	6 920	1 220	212	32
	8	200 000	77 900	13 900	2 450	424	64
	9	400 000	156 000	27 700	4 900	848	128
	10	800 000	311 000	55 400	9 800	1 700	256
11	1 600 000	623 000	111 000	19 600	3 390	512	
12	3 200 000	1 250 000	222 000	39 200	6 780	1 020	

3.4. Epäpuhtauksien esto ja poisto

Epäpuhtaudet voiteluaineissa ovat haitallisia voitelun toimivuudelle. Huolellinen voitelujärjestelmän ja voiteluaineen tarkkailu sekä voiteluaineen analyysitoiminta ehkäisee tehokkaasti voiteluhäiriöiden syntymistä ennen kuin häiriöt ehtivät muodostua tuotantoa rajoittaviksi tekijäksi./5/

3.4.1 Voiteluaineiden vaihto

Voiteluaineiden vaihto on hyvä keino voitelun puhtauden ylläpidossa, sillä vaihdon yhteydessä saadaan kiinteät ja liuenneet epäpuhtaudet pois öljyn mukana.

3.4.2 Rakenteelliset menetelmät

Rakenteellisiin menetelmiin vanhin ja yksinkertaisin laite epäpuhtauksien poistoon on `pohjaproppu`, joka voi olla magnetoitu. Pelkkä pohjatulppa toimii hyvin riittäväillä kaadoilla muotoilluissa pienehköissä säiliöissä.

Voitelukohteessa poistuva öljy tarvitsee kuitenkin laskevan putkiston öljysäiliöön. Tässä on ongelmia, mikäli putkistossa on kynnyksiä, joiden taakse voi kertyä öljyä raskaampia hiukkasten rikastumia tai paluuputkistoissa öljytaskuja esimerkiksi vaihteet ja laakeripesät.

3.4.3 Painovoimaan ja keskipakovoimaan perustuvat menetelmät

1. Epäpuhtauksien laskeuttamien

Epäpuhtauksien laskeuttaminen kiertovoimasäiliössä, jossa on yleensä paluu- ja imuosasto.

Säiliön paluuyhteessä on siiviläkori, jonka tarkoituksena on estää suurten hiukkasten ja kuitumaisten epäpuhtauksien pääsy säiliöön. Paluuyhteen alapuolella on rauhoituslevy, jonka tarkoituksena on rauhoittaa öljyn virtaus.

2. Öljyjen puhdistus keskipakoisesepraattorilla

Separaattorin tarkoitus on erottaa kiinteitä epäpuhtauksia sekä vapaata vettä ja siihen liuenneita kemikaaleja. Tätä menetelmää voidaan käyttää useimpien öljyjen puhdistukseen. Separaattoria käytetään sivuvirtakierrossa.

3.4.4 Mekaaninen suodatus

Käytetään laitteistoa ja menetelmää, jolla määritetään suodatinpatruunan suodatustarkkuutta ja lian keruukapasiteettiä esimerkiksi Multi-pass-testijärjestelmä.

Lian kertyessä patruunaan sen aiheuttama paine-ero vähitellen kasvaa. Suodattimen lianilmaisoin on säädetty ilmaisemaan patruunan tukkeutuminen määrättyllä paine-erolla./5/

3.5. Partikkelimitaus eli hiukkaslaskenta

Öljyjärjestelmän toimintalaitteita suoraan tai välillisesti vahingoittavia epäpuhtauksia on useita, esimerkiksi kiinteät tai puolikiinteät hiukkaset, vesi ja jopa kaasut.

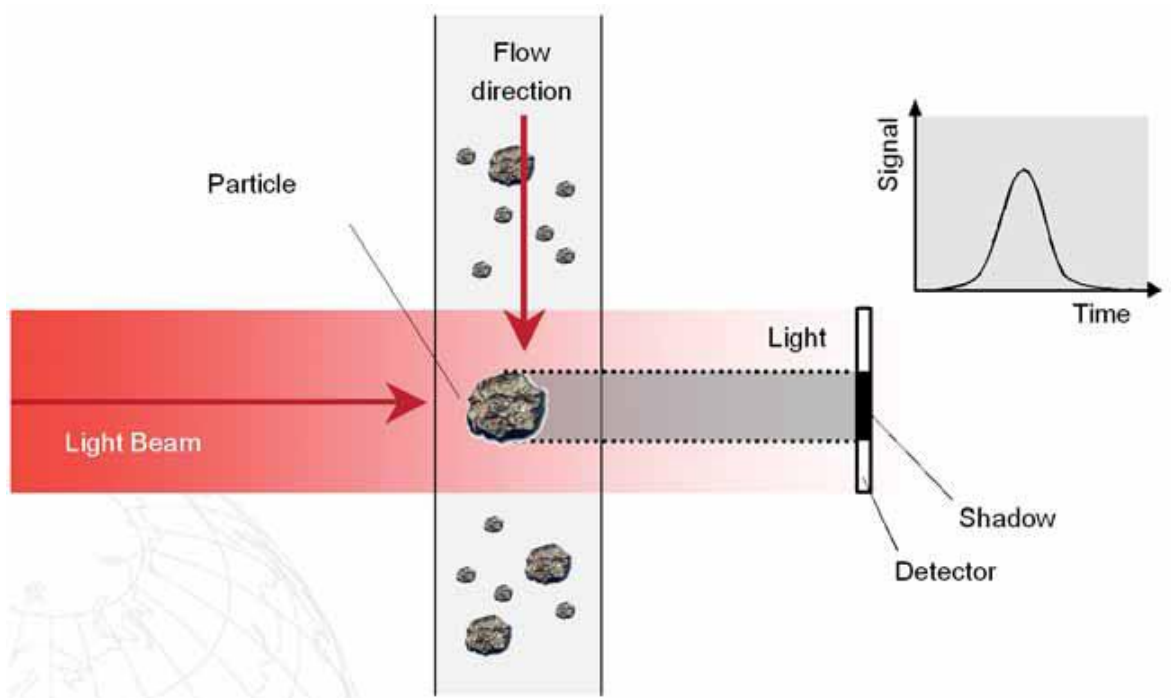
Osa niistä aiheuttaa mekaanisten osien kulumista heti. Osa huonontaa ensin öljyn voiteluominaisuuksia ja sen myötä vaurioittaa mekaanista järjestelmää.

Partikkelilaskin eli hiukkaslaskin on öljyjärjestelmän epäpuhtaushiukkasten mittaamiseen suunniteltu testilaitte. Hiukkaslaskimella mitataan öljynäyte, josta hiukkasmääriä ja niiden kokoja mittaamalla valvotaan öljyä sisältävän mekaanisen järjestelmän kuntoa.

Hiukkaslaskenta on ennakoivaa kunnonvalvontaa.

Hiukkaslaskentamenetelmiä ovat:

- Optinen hiukkaslaskin, joka mittaa öljyssä olevien partikkeleiden kappalemäärän ja hiukkaskoon. Laitteessa oleva sensori määrittää hiukkaskoon partikkelin varjopinta-alan perusteella. (Kuva 1)
- Puhtausluokitusmonitorit, joiden toiminta perustuu paine-eron mittaukseen laitteen sisäisten suodatinverkkojen yli, kiintopartikkelien kerääntyessä suodatinverkoille (15 μm ja 5 μm). Kyseiset monitorit eivät laske hiukkasmääriä eivätkä hiukkaskokoja, vaan tulostavat ainoastaan puhtausluokat.
- Mikroskoopilla öljynäyte imetään pienihuokoisen (1 μm) membraanin, eli kalvosuodattimen läpi ja kuivattu testimembraani asetetaan mikroskoopin alle tarkastettavaksi. Menetelmänä se on hidas, mutta sen huomattava etu on partikkeleiden ulkonäön tunnistusmahdollisuus, kuten muoto, väri tai materiaali./13/



Kuva 1 Optisen hiukkaslaskimen toimintaperiaate

4. ÖLJYANALYYSILAITTEISTO

Öljyn epäpuhtaus voidaan määrittää automaattisia mittalaitteita käyttäen sekä pullonäytettä online-näytemittauksella. Pullonäytteen analysointiin verrattuna online-laskennan etuina ovat mittauksen nopeus ja helppous. Online-laskennassa voidaan myös helpommin välttää pulloanalysoinnissa näytteenottoon, näytteen käsittelyyn sekä näytteenottovälineisiin liittyviä virhelähteitä./13/

4.1. Pamas S40 online -hiukkaslaskin

Kannettava online-partikkelilaskin Pamas-S40 on suunniteltu öljynäytteiden ja hydraulinesteiden hiukkaskoon ja hiukkasmäärien mittaamiseen (kuva 2).

Laitteen sisäinen pumppu pitää näytevirtauksen tasaisena ja varmistaa hyvän laskentatarkkuuden myös öljyjärjestelmän paineen vaihdellessa.

Pumpun ansiosta öljynäyte voidaan mitata sekä pullosta että säiliöstä. Laite soveltuu matala- ja korkeapainehydrauliikan partikkelilaskentaan. (Liite1/5-6.)



Kuva 2. Pamas S40 -hiukkaslaskin

4.2. Pamas SBSS -hiukkaslaskin

Pamas SBSS laboratorionkäyttöön soveltuva partikkelilaskin on pullonäytteiden mittauslaite (kuva 3). Tarkkuusannostelija huolehtii tasaisesta näytevirtauksesta ja oikeasta öljymäärästä sensorin läpi varmistaen tarkat mittaustulokset öljyn viskositeetista riippumatta, jopa 400cSt asti.

Laitteen vakuumointiautomatiikka poistaa mittausta häiritsevät ilmakuplat. (Liite 1/1-2.)



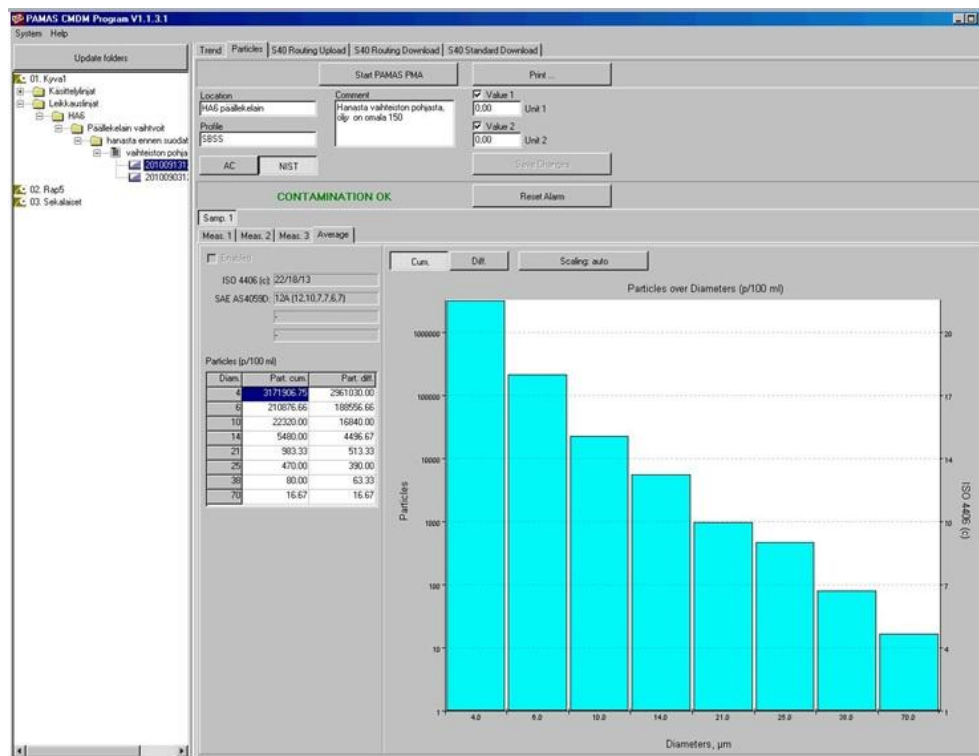
Kuva 3. Pamas SBSS-hiukkaslaskin

4.3. Pamas CMDM -raportointiohjelmisto

Ohjelmisto on tarkoitettu hydraulikka- ja voitelujärjestelmien puhtausvalvontaan ja mekaaniseen kunnonvalvontaan (kuva 4).

Ohjelma tallentaa ja analysoi PAMAS S40- ja PAMAS SBSS -hiukkaslaskimien mittaustulokset taulukkoina ja kaavioina. Ohjelma mahdollistaa myös trendiseurannan, jonka avulla edellä mainitut hiukkaslaskimet voidaan laajentaa pitkäaikaisen kunnonvalvonnan välineiksi.

Pamas CMDM mahdollistaa myös reititystilan PAMAS S40 -hiukkaslaskimen välillä. (Liite 1/3-4.)



Kuva 4. Pamas CMDM –ohjelma

4.4. Mittaushierarkian luonti ja päivitys

Mittaushierarkia luodaan Pamas CMDM -ohjelman mittauspistekansioiden, ohjelmaikkunan vasemmanpuoleisessa kentässä (kuva 5). Järjestely vastaa Windowsin Resurssinhallinnassa näkyvää puurakennetta.



Kuva 5. Pamas – ohjelman kansiopuurakenne

CMDM-ohjelman hiukkaslaskentatulosten tallennuskansioiden eli mittauspistekansioiden hakemistopolku sekä PMA-mittausohjelman hakemistopolku ja Internet Explorer -ohjelman hakemistopolku määritellään asetussivun näytössä. Myös sarjaportin määrittely tehdään asetussivulla. (Järjestelmä – Asetukset) Kun kaikki asetukset ovat asennettu, lopuksi vahvistetaan ja tallennetaan klikkaamalla `OK`.

Pääkansiot ovat puurakenteen ylin, näkyvä taso. Ne ovat nimetty pääjärjestelmän mukaisesti esimerkiksi KYVA 1 ja RAP 5 -kansioiksi ja sisältävät useita alikansioita sekä näytteenmittauspisteitä. Pääkansiot sijaitsevat Asetus-ikkunassa määritetyssä CMDM-ohjelman päähakemistossa.

Pääkansioden luonti:

- Hiiren osoitin ohjelmaikkunan vasemmalla puolella olevan valkoisen alueen päälle.
- Paina hiiren oikeanpuoleista painiketta.
- Näytölle ilmestyy teksti `Luo uusi pääkansio`.
- Kirjoita tekstikenttään kansiolle nimi ja vahvasta klikkaamalla `OK`.
- Vahvistuksen jälkeen uusi pääkansio näkyy CMDM-ohjelman vasemmanpuoleisessa ikkunassa.

Alikansioden luonti:

- Alikansiot luodaan pääkansioden alle, kuten mittauspiste tai yleiset välikansiot.
- Klikkaa pääkansion nimeä, jonne alikansio lisätään, maalaten nimi.
- Klikkaa hiiren kakkospainikkeella maalattua pääkansion nimeä.
- Klikkaa rivi `Luo uusi alikansio`.
- Avautuu ikkuna `Kansion Määrittely`.
- Valitset uuden kansion tyyppi klikkaamalla ikkunasta sopivaa vaihtoehtoa, joko `Välikansio` (koneikon nimi tms.) tai `Mittauspistekansio`.
- Kirjoita kansion nimi kenttään ja vahvasta painamalla `OK`.
- Vahvistuksen jälkeen uusi nimetty kansio näkyy pääkansion alla.

Mittauspistekansion mittausasetukset:

Kaikki mittausasetukset valitaan tietokoneen PMA-mittausohjelmasta.

Eri öljyalaaduille on laitteenvalmistajan edustajan (Esko Niiranen) antamat ohjeet viskositeetin mukaan:

Hydrauliikkaöljylle

- paineennousuaika 30 sekuntia
- ajopaine 4-5 bar
- vakumointiaika 60 sekuntia

Vaihteistovoiteluöljylle

- paineennousuaika 60 sekuntia
- ajopaine 7-8 bar
- vakumointiaika 180 sekuntia

PAMAS PMA -hiukkaslaskentaohjelma, jota käytetään PAMAS SBSS- ja S40-hiukkaslaskimen kanssa, voidaan käynnistää suoraan CMDM-ohjelmasta.

PMA-ohjelman mittaustulostiedostot tulee tallentaa suoraan CMDM-ohjelmassa luotuihin mittauspistekansioihin.

Päivitys tapahtuu luomalla uusia kohteita CMDM-ohjelman rakennepuukansioihin. Tarvittaessa mittauspistekansio voidaan poistaa tallennetulta hakemistopolulta. /10/

4.5. Luotettava näytteenotto ja näytteenottopaikan valinta

Näytteenotto on analysoinnin kriittisin vaihe. Näytteenotossa on muistettava, että näytteenottaja sisäistää näytteenoton merkityksen ja hänellä tulee olla tarvittava koulutus.

Oikean näytteenottotekniikan lisäksi näytteenottajan on huomioitava näytteenoton mahdolliset vaaratekijät, muun muassa paine, kuuma öljy, öljysuihku, liukkaus, öljysumu ja höyry. Jos näytteenottopiste on varustettu asianmukaisesti, öljynäytteenotossa ei pitäisi syntyä vaaratekijöitä./7/

Näytteenottoaikoja valitessa on syytä muistaa, että öljyjärjestelmän hiukkasmäärä ei ole vakio ajan tai paikan suhteen. Hiukkaslaskennan näytteenottoaikoja valitaan sen mukaan, mitä tietoa mittaustuloksella haetaan.

Kuvan 6 öljyjärjestelmän kaaviokuvan näytteenottoaikoja A-D antavat toisistaan poikkeavat hiukkasmäärät.

Näytteenottoaika A saadaan säiliöstä tuleva öljy ja samalla se kertoo pumpun kunnon.

Näytteenottoaika B kertoo pääsuodattimen kunnon eli kuinka puhdasta öljyä järjestelmään syötetään.

Näytteenottoaika C öljy sisältää mahdolliset koneikkoon päässeet ulkoiset epäpuhtaudet ja kulumispartikkelit. Mekaniikan kunnonvalvonnan ja hiukkaslaskennan kannalta tämä on paras mahdollinen öljynäytteen mittauspiste.

Näytteenottoaika D paljastaa paluusuodattimen kunnon.



Kuva 6 Öljyjärjestelmien eri kohdissa on erilainen hiukkasmäärä

Näytteenotossa näytepullon on oltava mahdollisimman hiukkasvapaa. Näytepulloille on suoritettava asianmukainen pesu, huuhtelu ja säilytys, eikä pullo saa sisältää pesuainejäämiä.

Lasinen pullo on näytteenotossa parempi vaihtoehto kuin muovinen, sillä staattinen sähkö voi ´sitoa´ hiukkasia muovipullon seinämiin. Lisäksi muovipulloissa olevat näytteet vaativat pikaista analysointia vesipitoisuuksien laskun vuoksi kosteuden imeytyessä muovipullon huokosiin ja kuiviin seinämiin.

Ennen pullonäytteenottoa tulee huuhdella näyteletkun läpi vähintään yksi litra öljyä. Näytettä otetaan pulloon vain $\frac{3}{4}$ sen tilavuudesta sekoitusvaran vuoksi.

Hiukkaspitoisuudet muuttuvat näytteen seistessä, joten näytteen analysointi on tehtävä mahdollisimman nopeasti. Esimerkkinä pitkään seisoneessa näytteessä voidaan havaita muun muassa hiukkaskasaumia, sedimentoitumista (kerrokseen jakautuminen), sakkautumista tai hajoamista.

Öljyn lämmittäminen suunnilleen samaan lämpötilaan kuin se on käynnissä olevassa järjestelmässä ja sekoittaa näytepulloa voimakkaasti ovat tärkeitä toimenpiteitä näytettä analysoitaessa.

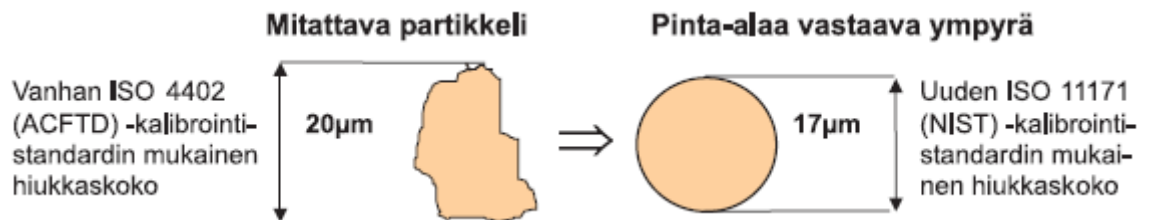
Näytteen analysoiminen pitäisi aloittaa hiukkaslaskennalla, mutta mikäli se ei ole mahdollista, näyte on jaettava kahteen eri näytepulloon, joista alkuperäisestä tehdään hiukkasanalyysit.

Koska tutkitaan hiukkasia, joita ei ihmissilmä erota, täytyy muistaa, että jokainen näytepullon avaaminen heikentää hieman tuloksen luotettavuutta.

4.6. Mittaustulosten tarkastelu

Öljyjärjestelmien kunnonvalvonnassa hiukkaslaskimella mitatut hiukkaskokojakaumat ovat vähintään yhtä tärkeä tieto kuin puhtausluokka.

ISO 4406 –puhtausluokka kertoo öljyjärjestelmän yleisen puhtaustason ja hyvällä hiukkasmääräerottelun omaavalla hiukkaslaskimella saadaan paljastettua järjestelmään syntyneet ongelmat. Selventääkseen tarkemmin sen, mitä mitatut isot hiukkaset ovat, käytetään visuaalista tarkastelua eli mikroskooppia. (Kuva 7)./13/



Kuva 7. Hiukkaslaskimien vanhan ja uuden ISO-kalibrointistandardin mukainen hiukkaskoon määrittäminen.

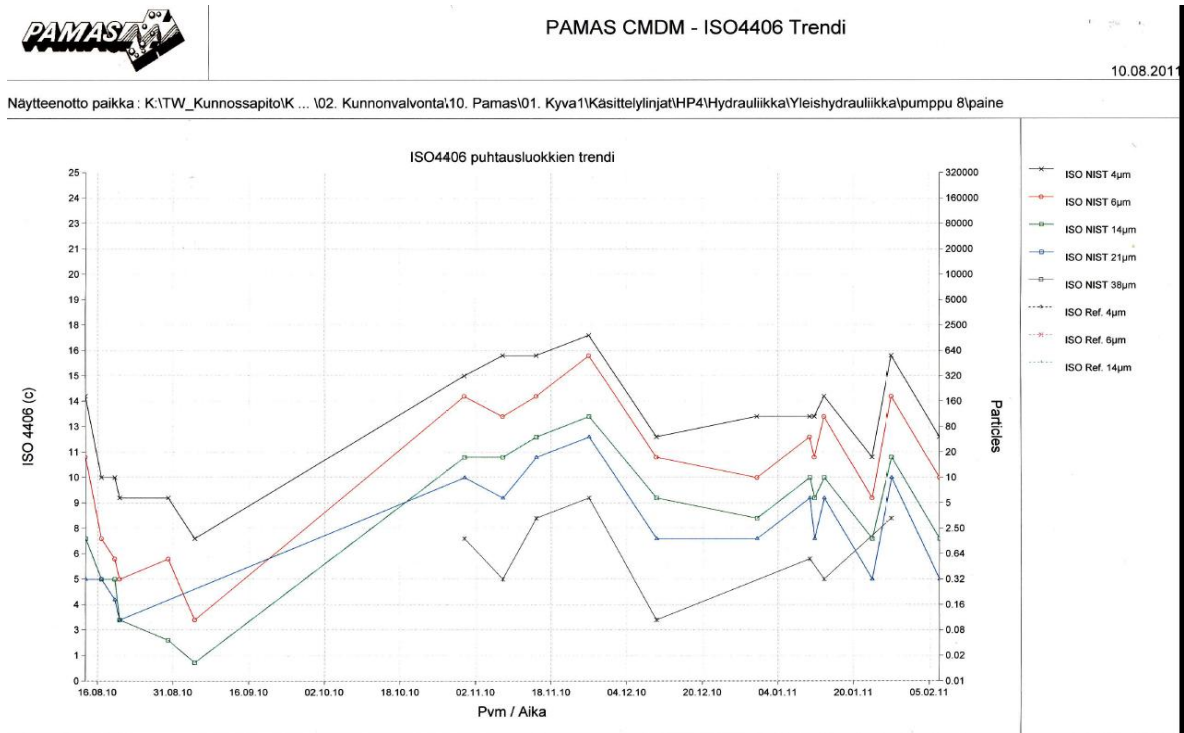
4.7. Trendiseuranta

Öljyn puhtausmittausten tulosten tarkastelussa on tärkeää tutkittavan kohteen seuranta. Trendiseuranta (kuva 8) paljastaa huomattavasti helpommin muutokset mitattavassa kohteessa kuin yksittäinen tulos, vaikka senkin perusteella pystytään antamaan arvio kohteen tilasta.

Öljyn puhtauden historiatietojen ja vastaavan ajan häiriötiedot yhdistämällä pystytään sekä asettamaan että vahvistamaan tavoitteet kohteen puhtaustasolle.

Kuvassa 8, trendiseurantakaaviossa hiukkaskoot ovat helposti seurattavissa eri väreillä, kuten alle 4 µm hiukkaset on merkattu mustalla värillä, 4µm-6µm hiukkaset punaisella ja sitä suuremmat aina uusin värein.

Vasemmassa laidassa ovat nähtävillä ISO 4406 -puhtausluokitus luvut. Ne ovat vastaavat kuin oikeassa laidassa näkyvät partikkelien määrät. Aikajanaa voi seurata alaosasta.



Kuva 8 Trendiseurantakaavio.

5. TUTKITTAVAT KOHTEET

Tutkittaviksi kohteiksi valittiin VV1-yleishydrauliikkajärjestelmä sekä vaihteistovoitelujärjestelmistä HA6-päällekelain ja HP3-vaihteistovoitelu 2, koska kyseisissä järjestelmissä on esiintynyt vaurioita. HP4-linja valittiin tutkimuskohteeksi, koska siellä on ainoastaan yksi suuri yleishydrauliikkajärjestelmä ja se on erityisen tärkeä tuotannolle.

5.1. Hydrauliikkajärjestelmä

Hydrauliikkajärjestelmässä on kyse energiansiirtoketjusta, jossa sähkömoottorilla tai polttomoottorilla tuotettu mekaaninen energia muutetaan hydrauliseksi energiaksi. Putkissa siirrettävä hydraulinen energia, yleensä öljy, muutetaan työkohteissa toimilaitteella takaisin mekaaniseksi energiaksi.

Hydrauliikalla saadaan aikaan suuria voimia ja momenteja suhteellisen pienillä ja keveillä laitteilla, joita ylikuormituskaan ei riko, koska niissä on aina paineenrajoitusventtiili.

1. HP4-linjan yleishydrauliikkajärjestelmä

Tekniset tiedot:

- hydrauliikkaöljy Shell Tellus S46
- öljysäiliön tilavuus 7000 litraa
- hydrauliikkapumppuja kahdeksan kappaletta
- hydrauliikkapumpun teho 235 l/min/pumppu, paine 150 bar

Suodatus:

- painesuodatin 10 μ m
- paluusuodatin 10 μ m
- kierrätysuodatin 10 μ m

HP4-linjan yleishydrauliikkajärjestelmä kolmesta eri mittauspisteestä (ennen paluusuodatinta, ennen kierrätysuodatinta sekä hydrauliikkapumppu 8 painemittauspiste). Mittapiste valittiin kohteeksi sen vuoksi, että päästäisiin seuraamaan pumpun kuntoa ja mahdollista vikaantumista.

2. VV1-linjan yleishydrauliikkajärjestelmä, yksi mittauspiste (hydrauliikkapumppu 1).

Tekniset tiedot:

- hydrauliikkaöljy Shell Tellus S46
- öljysäiliön tilavuus 2600 litraa
- hydrauliikkapumppuja kaksi kappaletta
- hydrauliikkapumpun teho 280 l/min/pumppu, paine 66 bar

Suodatus:

- painesuodatin 10 µm
- paluusuodatin pestävä
- kierrätysuodatin 10µm

5.2 Vaihteistovoitelu eli kiertovoitelujärjestelmä

Kiertovoitelua käytetään kohteissa, joissa öljy voitelun lisäksi jäähdyttää ja puhdistaa kohdetta. Järjestelmän on kyettävä tuottamaan aina oikea määrä hyväkuntoista öljyä kaikille voitelukohteille.

Tämän lisäksi sen on toimittava korkeissa lämpötiloissa sekä poistettava ulkoiset epäpuhtaudet, kuten kulumispartikkelit, hapettumistuotteet, vesi- ja ilmakuplat.

1. HA6-linjan päällekelaimen vaihteistovoitelu, yksi mittauspiste (hana vaihteiston pohjassa)

Tekniset tiedot:

- vaihteistoöljy Shell Omala 150
- vaihteiston tilavuus 150 litraa
- kiertovoitelupumppu
- kiertovoitelupumpun teho 15 l/min/pumppu, paine 5 bar

Suodatus:

- kierrätys-suodatin 60µm
- paluusuodatin 60µm

2. HP3-linjan vaihteistovoitelu 2, yksi mittauspiste (painemittauspiste ennen s-rulla 2.2 vaihteistoa)

Tekniset tiedot:

- vaihteistoöljy Shell Omala 150
- vaihteiston tilavuus 2600 litraa
- kiertovoitelupumppuja kaksi kappaletta
- kiertovoitelupumpun teho 260 l/min/pumppu, paine 7 bar

Suodatus:

- kierrätys-suodatin 25µm

6. TUTKIMUKSEN TULOKSET

Tutkimukset suoritettiin kahdeksan kuukauden aikajaksolla 08/10- 03/11. Mittaukset suoritettiin tuotantolinjojen ”pyöriessä”.

Joissain mittauskohteissa mittauksia suoritettiin jopa viikon välein, toisissa harvemmillä välillä riippuen kohteen kriittisyydestä.

Tulokset tallennettiin Outokummun tietojärjestelmään K-asemalle, josta voitiin käydä katsomassa eri öljyjärjestelmien trendikäyrät.

6.1. HP4 yleishydrauliikka pumppu 8 painemittauspiste

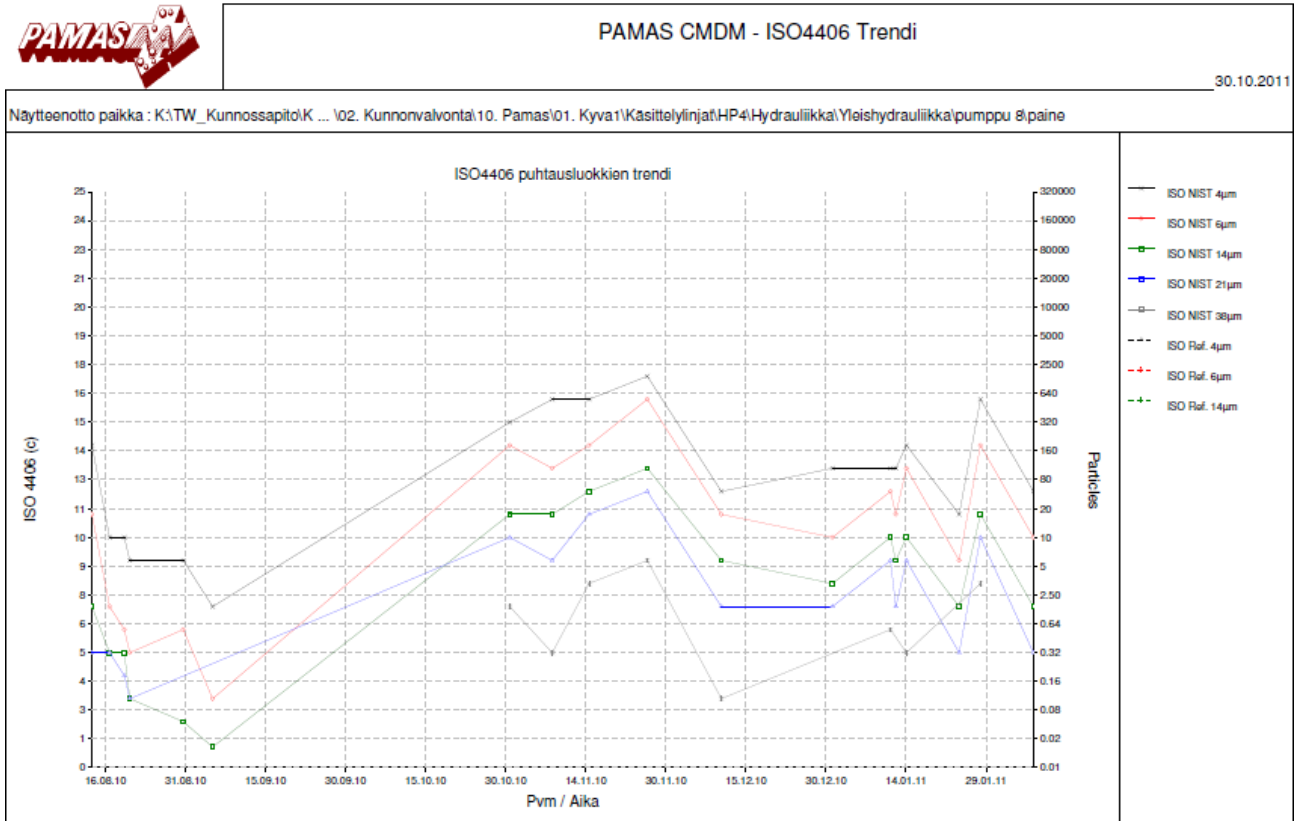
HP 4 -linjan yleishydrauliikka järjestelmästä yhtenä mittauspisteenä oli hydrauliikkapumppu 8 painemittauspiste.

Tuloksista kuvassa 9 voitiin havaita, että öljy on riittävän puhdasta hydrauliikkajärjestelmään. Partikkeleita on jonkin verran enemmän kuin muissa mitatuissa mittauspisteissä, mutta ei kuitenkaan huolestuttavalla tasolla.

Suoritettiin 5.9.2010 myös mittaus kannettavalla mittauslaitteella (PAMAS S40), joka näytti tulokseksi äärimmäisen puhdasta öljyä, ISO 4406 standardin mukaan 9/-/-.

Tulokseen suhteuduttiin kuitenkin epäilevästi, joten otettiin myös pullonäyte. Tulokseksi saatiin 13/11/9.

Kannettavan mittauslaitteen mittausvirheen vuoksi mittaustrendiin tuli huomattava poikkeama. Sen johdosta otettiin jatkossa pelkästään pullonäytteitä.



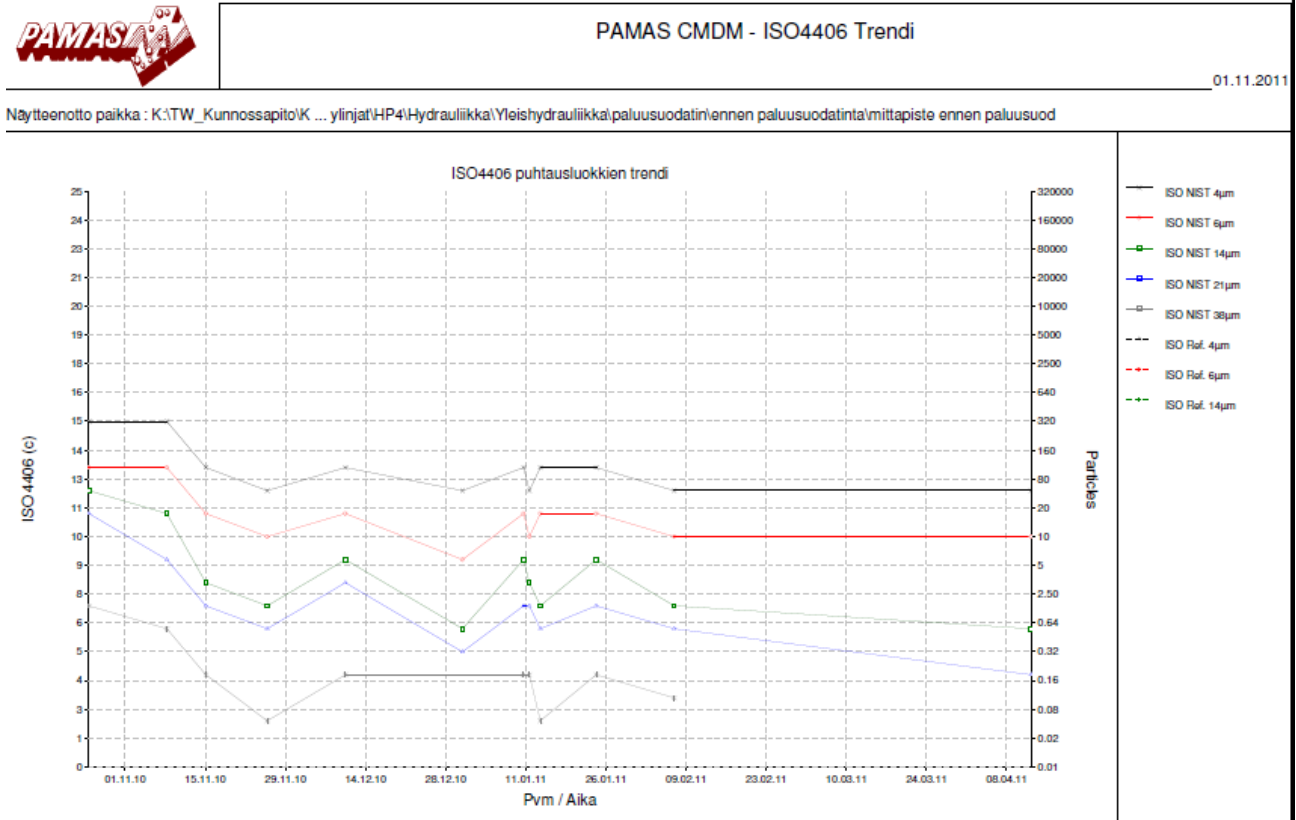
Kuva 9. HP4, pumppu 8, trendiseurantakaavio.

6.2. HP4 yleishydrauliikka mittapiste ennen paluusuodatinta

Mittapiste ennen paluusuodatinta valittiin sen vuoksi, että päästäisiin näkemään hydrauliikkaöljyn puhtaus, kun se on palannut takaisin toimilaitteilta. Se mahdollistaa tunnistamaan vikaantumiset esimerkiksi hydrauliikkasyntereillä ja venttiileillä.

Tuloksissa kuvassa 10 voitiin öljystä nähdä mittausten alussa vähäinen määrä suurempia partikkeleita. Mittausten jatkuessa partikkeleiden määrät laskivat ja suuremmat partikkelit katosivat kokonaan. Toisin sanoen voitiin havaita todella puhdas hydrauliikkaöljy, joka ei juuri muuttunut luokituksiltaan trendiseurannan aikana.

Öljynäytteet otettiin pelkästään pullonäytteinä, koska kohteeseen ei ollut mahdollista liittää online-mittauslaitetta.

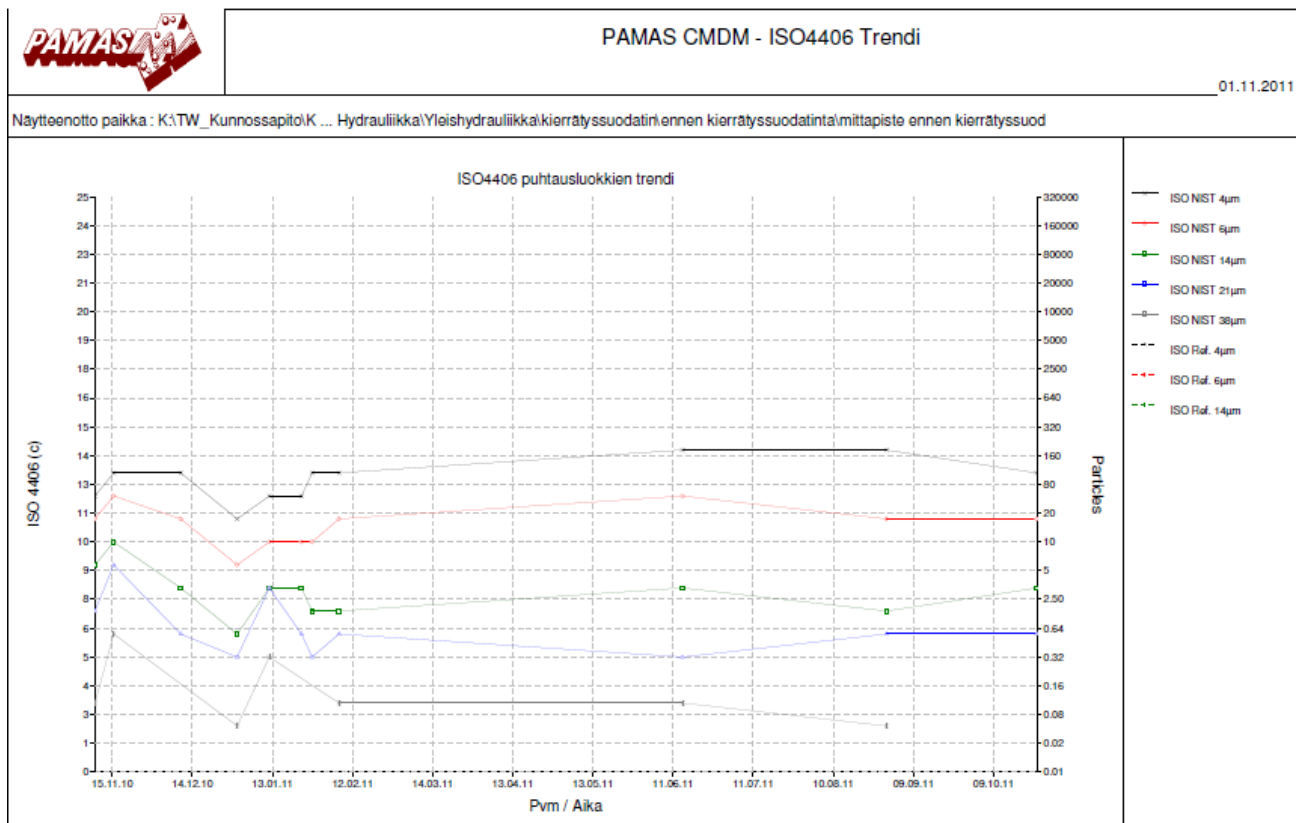


Kuva 10. HP4 hydraulikkajärjestelmästä mittapiste ennen paluusuodatinta trendiseurantakaavio.

6.3. HP4 yleishydrauliikka mittapiste ennen kierrätysuodatinta

Mittapiste ennen kierrätysuodatinta valittiin sen vuoksi, että nähdään kuinka puhdasta öljyä on hydrauliikkaöljysäiliössä ja kuinka puhdasta öljyä lähtee kiertoon. Toisin sanoen nähtiin, kuinka tehokkaasti suodatus toimii.

Trendiseurannassa kuvassa 11 mittausten aluksi nähtiin pientä heittoa suurempien partikkeleiden kohdalla. Mittausten edetessä tilanne tasaantui. Lopputuloksena havaittiin, että mittaustulokset olivat erittäin tasaiset ja poikkeamat erittäin pienet. Öljyn puhtaus on todella hyvä hydraulikkajärjestelmälle, mikä osoittaa sen, että suodatusjärjestelmä toimii hyvin ja on riittävä.



Kuva 11. HP4 hydraulikkajärjestelmästä mittapiste ennen kierrätysuodatinta, trendiseurantakaavio.

6.4. VV 1 yleishydrauliikka pumppu 1 painemittauspiste

VV1 yleishydrauliikan mittapisteeksi valittiin pumppu 1 painemittauspiste, koska se oli ainoa paikka, mistä pystyi ottamaan öljynäytteitä. Kohteeksi valittiin VV1 yleishydrauliikka, koska järjestelmässä oli havaittu jonkin verran hydrauliikkaventtiilien jumiutumista.

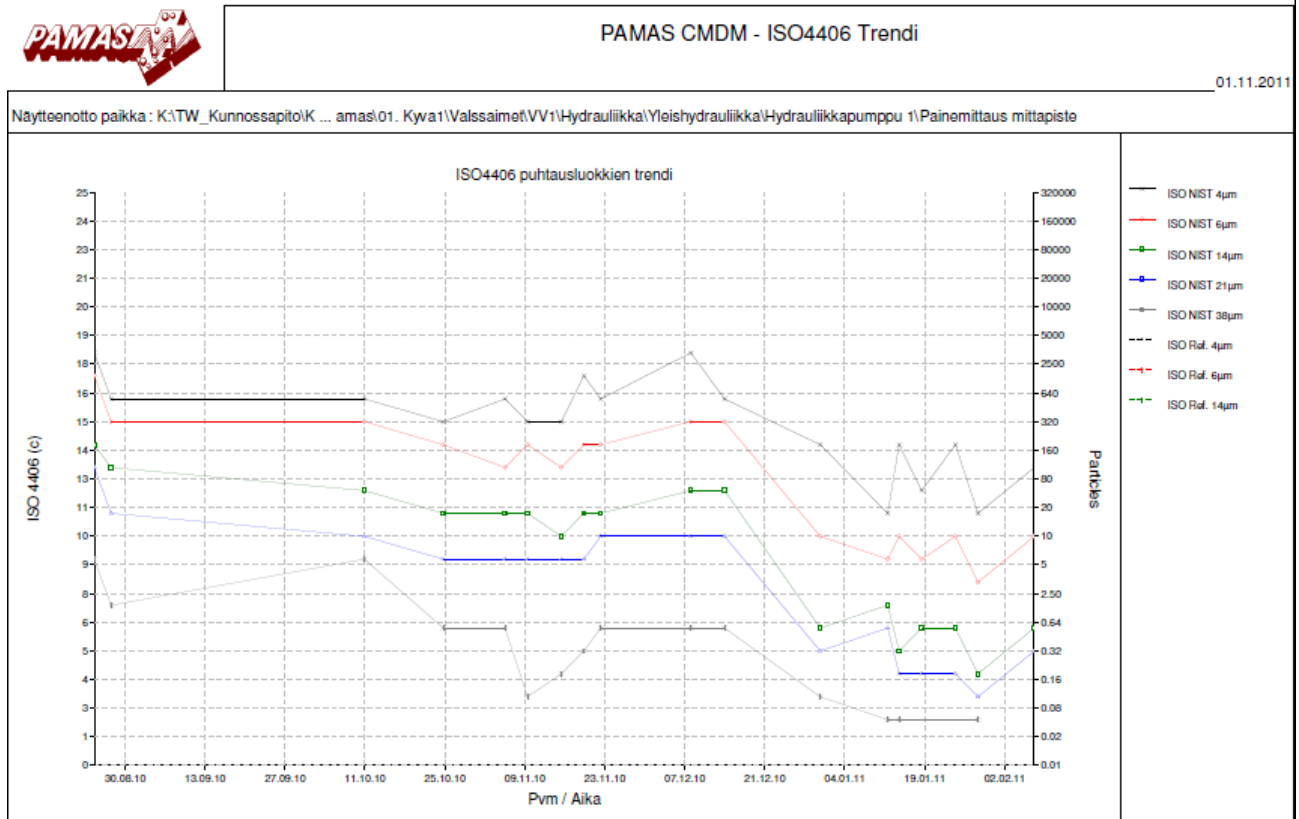
Ensimmäisellä mittauskerralla havaittiin öljyn olevan todella likaista hydrauliikkajärjestelmään (kuva 12). Näytteestä löytyi paljon suuria partikkeleita myös pienempien partikkeleiden määrä oli korkea. ISO 4406 luokituksella kerrottuna 18/17/14 ja suositeltava puhtausluokitus hydrauliikkajärjestelmään olisi 14/10/8.

Ensimmäisen mittauskerran jälkeen öljy oli hieman puhdistunut isompien partikkeleiden kohdalla, mutta ei tarpeeksi. Arveltiin, että järjestelmään oli jäänyt epäpuhtauksia venttiilivaurion jäljiltä.

Tilannetta seurattiin joulukuun alkuun ja huomattiin öljyn menevän entistä likaisemmaksi. Sen seurauksena järjestelmään asennettiin Hydacin OLF-15 sivukiertosuodatin yksikkö eli ”keinomunuainen”.

Keinomunuaisen tehtävänä oli suodattaa apuna epäpuhtaudet pois öljyjärjestelmästä. Vuoden vaihteessa otettiin uusi öljynäyte ja todettiin keinomunuaisen toimineen. Puhtausluokitus oli pienentynyt ISO 4406 mukaisesti 14/10/6 tasolle, mikä on tosi hyvä. Keinomunuaisen annettiin olla apuna vielä kuukauden. Sinä aikana öljy oli puhdistunut entisestään 11/8/4 tasoon.

Keinomunuaisen asentamisen ja poistamisen vaikutuksen näkee hyvin mittaustrendistä öljynlikaisuuden tason alenemisella ja nousemisella.



Kuva 12. VV1 yleishydrauliikkajärjestelmän trendiseurantakaavio.

6.5. HP3 vaihteistovoitelu 2

Vaihteistovoitelu 2 valittiin kohteeksi, koska s-rulla 2 vaihteisto on suurten voimien rasittama. Lisäksi haluttiin seurata mahdollisia muutoksia öljynpuhtaudessa, jos vaihdelaatikko vikaantuisi tutkimuksen aikana.

Mittapisteen sijainti ei ollut paras mahdollinen seuranta varten. Jouduttiin ottamaan näytteet säiliöltä vaihdelaatikkoon tulevalta putkelta, johon oli laitettu paineanturin mittapiste (kuva 14).

Paras paikka olisi ollut vaihdelaatikon pohjassa oleva hana (kuva 15), mutta siitä ei ollut mahdollista ottaa öljynäytettä, koska öljyn pinta vaihdelaatikossa ei ollut tarpeeksi korkea ja öljyn virtausta ei pystytty enää kasvattamaan.

Kuten mittaustuloksissa näkyy (kuva 13), öljynpuhtauden taso on pysynyt suhteellisen tasaisena tutkimuksen aikana. Trendiseurannassa nähtiin, että aluksi oli yli 38 μm partikkeleita jonkin verran ja pienempiä todella paljon. Mittausten edetessä suurempien partikkeleiden määrä putosi, mutta pienten partikkeleiden määrä pysyi suhteellisen vakiona.

Kiertovoitelujärjestelmä sijaitsee likaisessa ja olosuhteiltaan vaativassa paikassa, minkä vuoksi partikkeleita pääsee järjestelmään myös ulkoa päin.

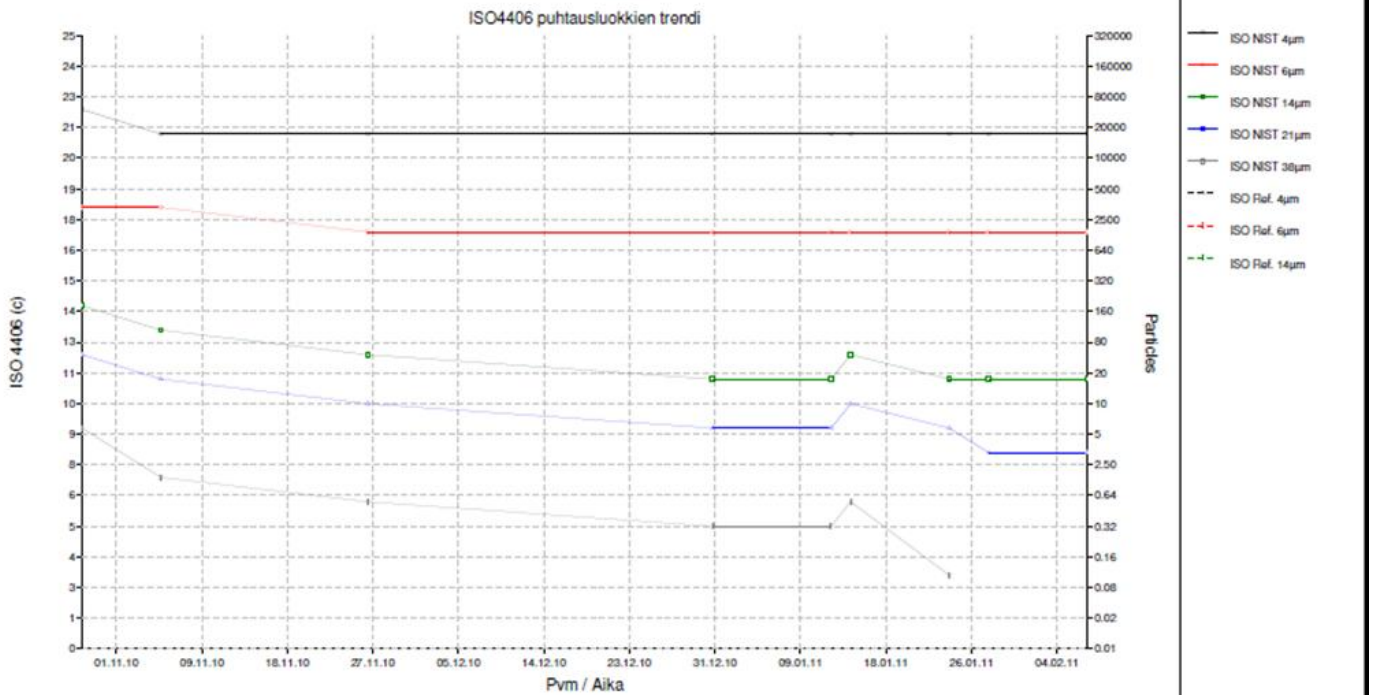
Tästä kyseisestä kiertovoitelujärjestelmästä oli todella hankala saada öljynäytteitä suositeltavista mittapisteistä millään laitteella. Sen vuoksi trendiseuranta on tasainen, koska vaihdelaatikkoon tulee suodatettu öljy kiertovoitelujärjestelmän öljysäiliöltä.



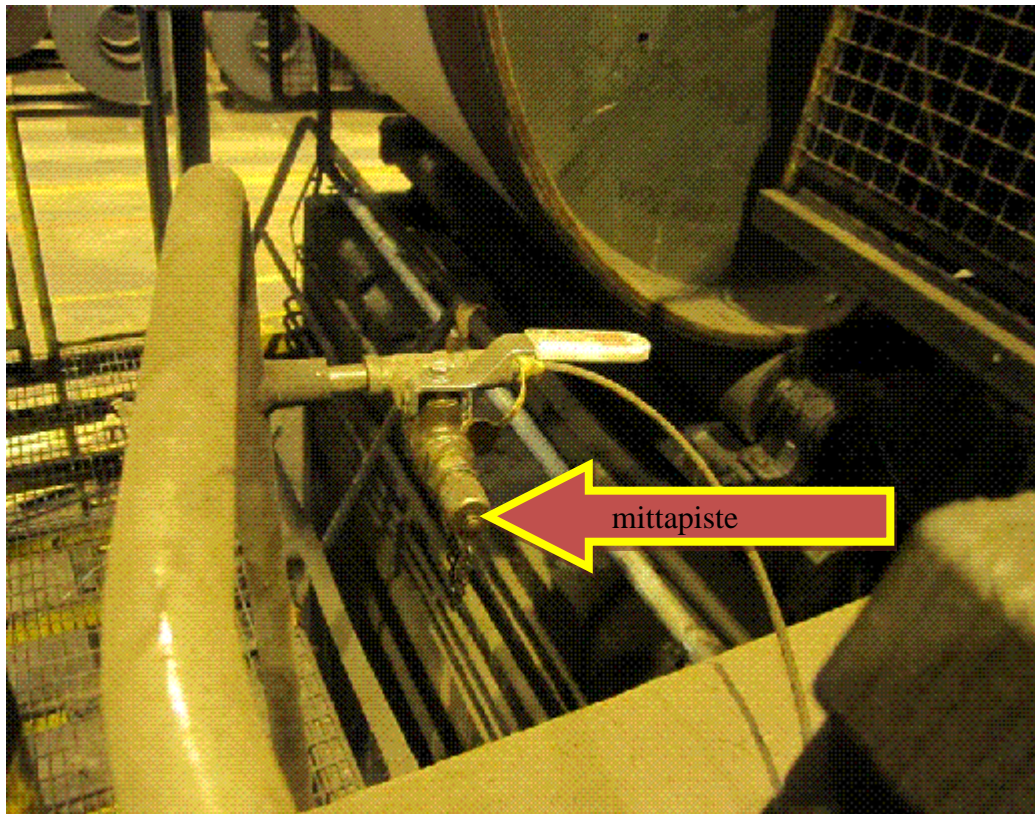
PAMAS CMDM - ISO4406 Trendi

01.11.2011

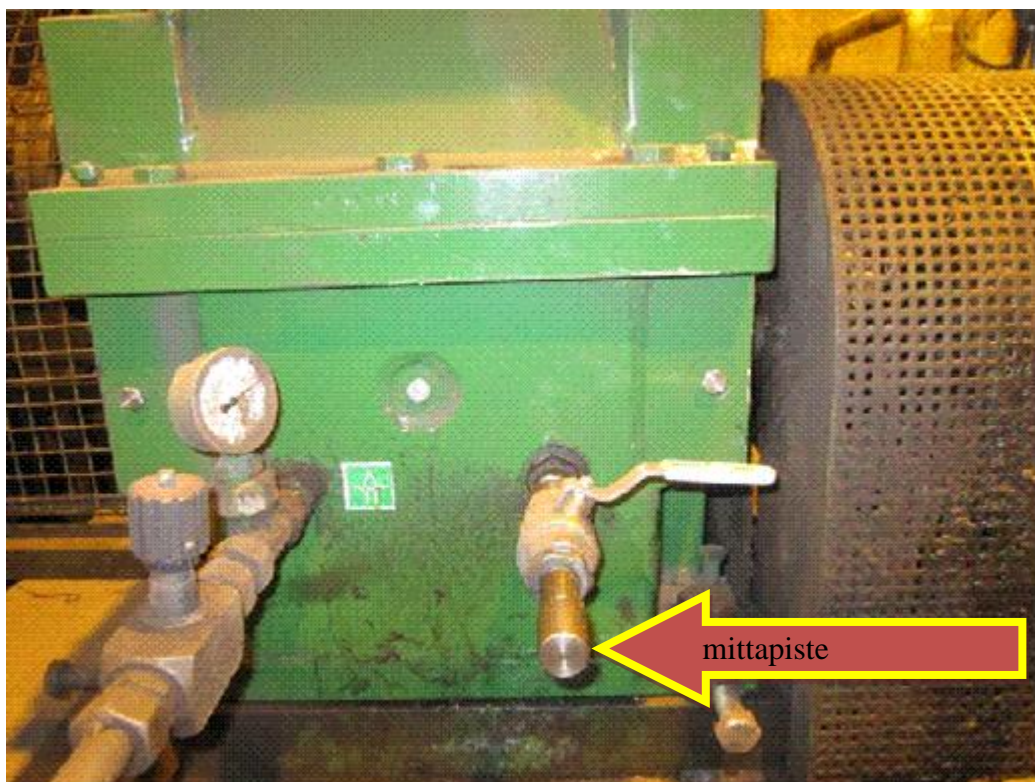
Näytteenotto paikka: K:\TW_Kunnossapito\K... ylinjat\HP3\Vaihteistovoitelu\Vaihteistovoitelu 2\painelinja suodatuksen jälkeen\paineanturin mittapiste



Kuva 13. HP3 vaihteistovoitelu 2, trendiseurantakaavio.



Kuva 14. HP3 mittauspiste.



Kuva 15. HP3 Alkuperäinen mittauspiste.

6.6. HA6 päällekelaimen vaihteistovoitelu

Päällekelaimen vaihteistovoitelu otettiin tutkimuksen kohteeksi leikkauslinjojen kunnossapitoinsinöörin toiveesta, sillä hänellä oli epäily lievästä vauriosta vaihteistossa. Ensimmäiset näytteet osoittivat öljyssä olevan jonkin verran normaalia enemmän yli 70 μ kokoisia partikkeleita. Silmämääräisesti tutkien pullonäytteessä oli havaittavissa metallikimallusta öljyssä.

Haluttiin selvittää, mitä kiintoaineita öljy sisältää, joten öljynäyte vietiin Outokummun omaan laboratorioon tutkittavaksi (Liite 4).

Vastauksessa kerrottiin öljyn sisältävän messinkiä. Messingin arveltiin olevan peräisin vaihteiston laakerinpitimestä.

Seuraavalla mittauskerralla tulokset muuttuivat oleellisesti ja epäiltiin vaihteiston olevan hajoamispisteessä. Kuvassa 16 trendikäyrässä nähdään selkeät huiput mittauskäyrissä. Eri linjoilta otettiin kuitenkin useampi öljynäyte ja tuloksia vertailtiin aikaisempiin.

Niillä linjoilla, joiden puhtaustaso oli muuttunut huomattavasti huonommaksi, tuloksiin suhtauduttiin epäilevästi. Sen vuoksi pullonäytekone testattiin kalibrointiöljyllä ja huomattiin koneen antavan virheellisen tuloksen.

Koneelle suoritettiin puhdistus Esko Niirasan antamilla ohjeilla ja testattiin uudelleen kalibrointi öljyllä. Se antoi oikeanlaisen tuloksen eli mittausrendissä suuret poikkeamat johtuivat pulloanalyysikoneen sensorin likaantumisesta.

Loppumittaustuloksessa havaittiin, että suuret partikkelit katosivat minimaaliseksi määräksi, mutta pienten partikkelien määrä kasvoi huomattavasti. Toisin sanoen öljy oli todella likaista vaihteistojärjestelmään.

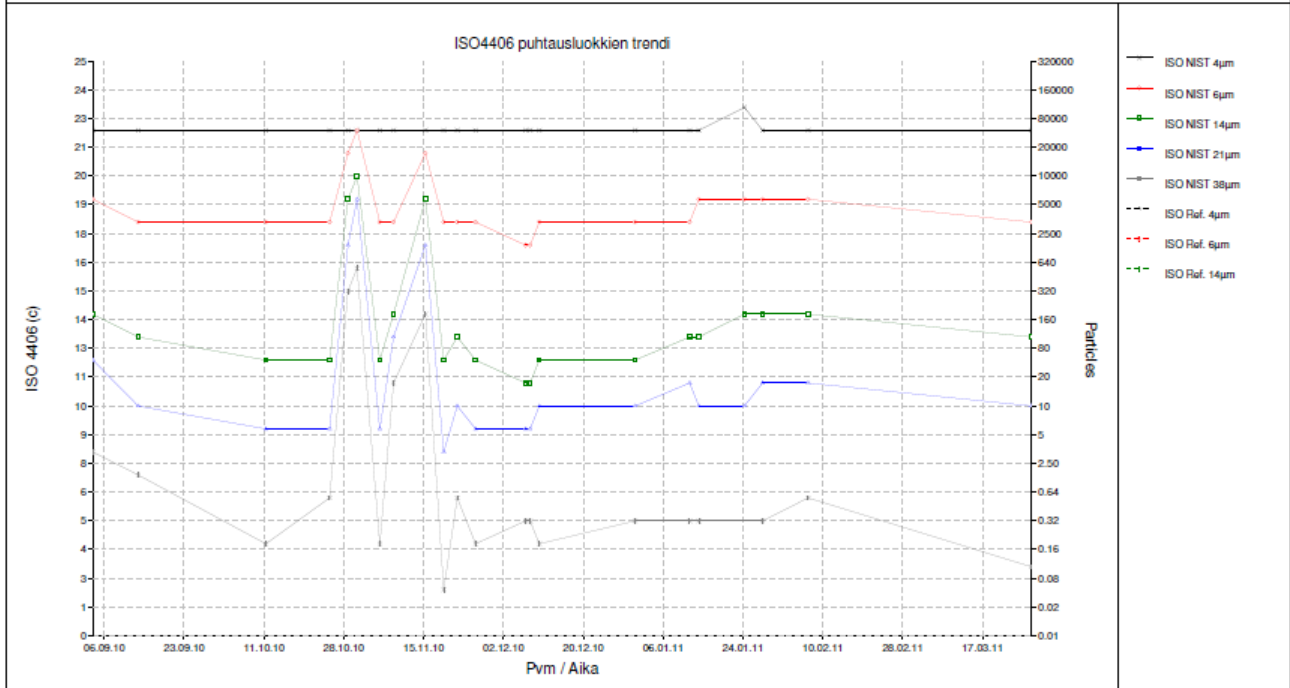
Epäiltiin, että suuret partikkelit jauhaantuivat pieniksi partikkeleiksi päällekelaimen hammasrattaiden välissä.



PAMAS CMDM - ISO4406 Trendi

01.11.2011

Näytteenotto paikka : K1TW_KunnossapitoK ... Kyva1\Leikkauslinjat\HA6\vaihtvoit\Paallekelain vaihtvoit\hanasta ennen suodatinta\vaihteiston pohjasta



Kuva 16. HA6 päällekelaimen trendiseurantakaavio.

7. LAITTEISTON SUOSITELTAVAT KÄYTTÖKOHTEET KYVALLA

Hiukkaslaskimien suositeltavia käyttökohteita kylmävalssaamalla ovat tuotantolinjojen hydrauliiikka- ja vaihteistojärjestelmät.

Ensisijaiseksi käyttökohteiksi käyvät hydrauliikkajärjestelmät, sillä ne ovat kriittisempiä öljyjen puhtaudessa. Poikkeuksena ovat hydrauliikkajärjestelmät, joiden tilavuus on alle 500 litraa. Näihin ei suositella mittausta, koska öljyjen vaihtokustannukset ovat pienet.

Eryteisesti hiukkasmittaus sopii valssainten sekä hehkutus- ja peittäuslinjojen hydrauliikkajärjestelmiin, koska ne ovat tärkeimpiä tuotantolinjoja. Sen jälkeen tärkeitä kohteita ovat muut kylmävalssaamon tuotantolinjojen hydrauliikkajärjestelmät, kuten leikkauslinjat.

Osalla linjoista on jo vanhempaa hydrauliikkatekniikkaa, joten se tekee hiukkasmittauksesta entistä tärkeämpää.

Tutkimuksen jälkeen kylmävalssaamalla pidettiin ennakkohuollon palaveri, jossa käytiin tutkimustulokset läpi. Todettiin, että kyseisestä mittauslaitteesta on ennakkohuollolle selvä hyöty voiteluhuollon toiminnassa. Kuitenkin työvoimaresurssit ovat rajalliset, joten joudutaan tekemään tilapäinen toimintasuunnitelma hiukkasmittausten osalta.

Hydrauliikkajärjestelmät mitataan kuukausittain vuoden ajan, jotta saadaan luotettava trendikäyrä öljyn puhtaudesta. Kun mittaushistoria on saatu, harvennetaan mittaukset kolmen kuukauden välein. Mikäli ongelmia ilmenee, suoritetaan mittaukset kuukauden välein.

Myös öljynäytteiden lähettämistä ulkopuoliselle laboratoriolle (Colly Company Oy) harvennetaan. Vaihteistovoitelujärjestelmät eivät ole niin kriittisiä mittauskohteita, joten niiden osalta mittaukset aloitetaan resurssien salliessa.

Vaihteistovoitelujärjestelmät mitataan kolmen kuukauden välein, vuoden ajan. Sen jälkeen mittausväli voi olla kuusi kuukautta, mikäli ongelmia ei ilmene. Ongelmien ilmetessä mittaukset suoritetaan kuukauden välein.

7.1. PAMAS SBSS laitteenhankinnan hyöty

Nykyisin kylmävalssaamon käytössä on Hydac FCU partikkelimittauslaite, joka mittaa vain kolmen partikkelikoon mukaan ja antaa vain ISO 4406 luokituksen mukaisen tuloksen ei partikkelijakaumaa kuten kahdeksalla koolla mitattaessa.

Laite on hankala liittää öljyjärjestelmiin, koska laitteella voi mitata öljyn puhtauden vain öljysäiliöltä, ei itse laitteesta. Pullonäytteitä laitteella ei voida analysoida.

Lisäksi laite ei kestä kovaa hydraulikkapainetta. Mittauslaitteella pitää öljyn virtaus olla vakio, joka puolestaan myös vaikeuttaa mittaamista. Muutenkin laite on teknisesti hankala käyttää.

PAMAS SBSS puolestaan on helppokäyttöinen. Pullonäytteitä voidaan ottaa matala- tai korkeapaine hydraulikkasta näyteletkun avulla. Laite määrittelee öljyn puhtauden kahdeksan eri partikkelikoon mukaan, eli se näyttää sekä isojen ja pienten partikkeleiden kokojakauman ja määrän. Täten voidaan nähdä öljyn kunto luotettavasti ja reagoida, mikäli öljyt pitää vaihtaa tai lisäsuodattaa.

Mikäli näytteestä löytyy isoja partikkeleita paljon, se voi olla merkki laitevauriosta. Tulokset on seurattavissa trendikäyrinä.

Ongelmien ilmetessä öljynäytteet voidaan ottaa nopeasti ja saada tarkat öljyn sisältämät partikkelijakaumat. Näin voidaan tehdä luotettavasti päätöksiä öljyn kunnosta. Laitteen muita hyötyjä on esimerkiksi se, että laitetta ei tarvitse kuljettaa mukana, vaan haetaan pelkästään öljynäyte.

Laite on tehokas apu hitaasti pyörivien vaihteistojen kunnonvalvonnassa verrattuna pelkkään värähtelymittaukseen. Sillä pystytään seuraamaan mahdollisen vian kehittyminen vaurioksi.

Lisäksi öljynäytteet voidaan analysoida itse, eikä niitä tarvitse lähettää analysoitavaksi öljylaboratorioon.

Tarpeen vaatiessa laitteen käyttöä voidaan laajentaa esimerkiksi kuumavalssaamon voiteluhuollolle.

8. YHTEENVETO

Tutkimustyö oli mielekäs, sillä se antoi aiheellista tietoa sekä tutkimusta, että työtä ajatellen.

Suurimpia ongelmia oli PAMAS S40 kannettavan mittauslaitteen liittäminen tutkittaviin kohteisiin, koska hydraulikkajärjestelmät ovat vanhoja, eikä niitä ole suunniteltu tämän kaltaiseen mittaustoimintaan.

Toisin sanoen mittapisteitä ei ollut oikeissa paikoissa, eikä niitä ollut riittävästi. Aikataulut eivät myöskään antaneet mahdollisuutta rakentaa mittapisteitä, sillä tuotantolinjojen täytyi olla tuotannossa.

Pullonäytelaite PAMAS SBSS antoi rohkaisevia tuloksia, joiden avulla pystytään myös jatkossa toimimaan ennakoivasti.

Laitteen käyttö on helppoa ja nopeaa, joskin tarkkuutta vaativaa. Sen vuoksi onkin hyvä, että laitteen käyttöä varten on koulutettu useita ennakkohuollon työntekijöitä.

Öljynäytetuloksiin täytyy kuitenkin suhtautua kriittisesti, sillä jos tuloksissa on poikkeamia edellisiin verrattuna, on syytä ottaa uusi näyte ennen kuin tekee kokonaisarvion.

Mikäli siltikin poikkeamatuloksia tulee, on mahdollista tutkituttaa öljynäyte Outokummun omassa laboratoriossa.

Lisäksi pystytään vertaamaan tuloksia Colly Company Oy:n näytetuloksiin, koska sinne lähetetään säännöllisesti öljynäytteitä. Kuten aiemmin tuli esille, öljynäytteiden lähettämistiheyttä harvennettiin tutkimuksen jälkeen.

Colly Company Oy käyttää samanlaista PAMAS SBSS pullonäytteiden hiukkaslaskinta, mutta partikkelilaskennan lisäksi yritys määrittelee myös muun muassa viskositeetin, lisäaineet, happoluvun ja vesipitoisuuden.

Suurimpia hyötyjä hiukkaslaskennasta tulee, kun voidaan välttyä turhilta öljynvaihdoilta. Tästä on myös suora hyöty kustannuksiin.

Esimerkkinä VV1:llä sivukiertosuodattimeen liitetty HYDAC:n OLF-15 (keinomuunainen), jolla saatiin puhdistettua hydraulikkaöljy optimaaliseksi. Tästä löytyy selkeä näyttö mittaustuloksissa, joka aiheellisesti toisen vastaavan ”keinomuunaisen” hankinnan ennakkohuoltoon. (Liite 2.)

HA6-linjalla pystytään seuraamaan päällekelaimen mahdollisen vaurion kehittymistä hallitusti ja linja pysyy tuotannossa vuosihuoltoon saakka. HP4-linjalla oli selkeästi nähtävissä, että suodatus yleishydrauliikassa on edelleen optimaalinen, vaikka kyseisessä järjestelmässä on alkuperäiset öljyt vuodelta 1998.

Jatkoa ajatellen olisi mielenkiintoista saada tutkimustietoa, kuinka öljyn lisäaineiden muutokset vaikuttavat hiukkaslaskentaan.

9. LÄHDELUETTELO

- /1/ Hydac international, Offline filter, www.hydac.com, 20.5.2011
- /2/ Järviö, Jorma, Kunnossapito, Kunnossapidon suunnittelu, Service Management Solutions SMS Oy, 2004
- /3/ Kara, Werner H, Voiteluaineet, 2.painos, Otakustantamo, 1989
- /4/ Kara, Werner H, Voitelun perusteet, 2. painos, Oy Shell Ab, 1990
- /5/ Kunnossapitoyhdistys ry, Teollisuusvoitelu, 1. painos, KP-Media Oy, 2003
- /6/ Määttä, Tapio, Kuumavalssaamon diagnostiikka- ja online hiukkaslaskentajärjestelmä, Rautaruukki Steel, 2004
- /7/ Niiranen, Esko, aluejohtajan puhelinhaastattelu, Pamas GmbH, mm. 15.2.2011, 1.3.2011
- /8/ Niiranen, Esko, Hiukkaslaskenta öljyjärjestelmien kunnonvalvonnassa, Kunnossapito 4, 2007, s. 52-57
- /9/ Niiranen, Esko, Öljynäytteiden hiukkaslaskenta mekaanisessa kunnonvalvonnassa ja konerakennuksen puhtausvalvonnassa, FLUID Finland 3, 2008, s.28-31
- /10/ Pamas, Pamas CMDM hiukkasanalyysi- ja trendiseurantaohjelma
- /11/ Pamas, Pamas SBSS hiukkaslaskin
- /12/ PSK 6201, Kunnossapito, Käsitteet ja määritelmät, PSK Standartointiyhdistys ry

/13/ Rinkinen, Jari, Multanen, Petteri, Elo Lauri ja Niiranen Esko, PAMAS 2009 Käyttäjäpäivät 10.-11.2.2009 Tampereen tekninen yliopisto, Hydrauliiikan ja automatiikan laitos, Tampere 2009

/14/ Vesala, Mika, Pieniä hiukkasia, joilla on suuri merkitys, FLUID Finland 1, 2005, s.22-27.

10. LIITELUETTELO

Liite 1/1-2 PAMAS SBSS hiukkaslaskin, esite

Liite 1/3-4 PAMAS CMDM, Ohjelmisto esite

Liite 1/5-6 PAMAS S40 hiukkaslaskin, esite

Liite 2 Hydac OLF-15 sivukiertosuodatin esite

Liite 3/1-6 HP3 vaihteistovoitelu 2 s-rulla2 vaihteisto mittaustulokset

Liite 3/6-15 HA6 Päällekelain mittaustulokset

Liite 3/15-26 VV1 pumppu 1 mittaustulokset

Liite 3/26-30 HP4 yleishydrauliikka ennen kierrätysuodatinta mittaustulokset

Liite 3/30-38 HP4 yleishydrauliikka ennen paluusuodatinta mittaustulokset

Liite 3/38-47 HP4 yleishydrauliikka pumppu 8 mittaustulokset

Liite 4 HA6 Päällekelain laboratoriotulokset