

Hiukkaslaskentamittaus liikkuvien kivenmurskauslaitteiden öljyn puhtauden tutkimusmenetelmänä

Antti Kurenniemi

Opinnäytetyö
Joulukuu 2014
Kone- ja tuotantotekniikka
Kone- ja laiteautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Kone- ja laiteautomaatio

Antti Kurenniemi:

Hiukkaslaskentamittaus liikkuvien kivenmurskauslaitteiden öljyn puhtauden tutkimusmenetelmänä

Opinnäytetyö 55 sivua, joista liitteitä 7 sivua
Joulukuu 2014

Tämä opinnäytetyö tehtiin Metso Minerals Oy:n Suomen huoltopalveluille. Työn tarkoituksena oli laatia käytössä olevan hiukkaslaskimen käyttöohjeen tueksi työohje öljynäytteen oikeanlaiseen ottamiseen ja käsittelemiseen, jotta saataisiin karsittua näistä työvaiheista aiheutuvia mittavirheitä ja näin parannettua mittaustulosten luotettavuutta. Lisäksi työohjeen laatimisen tarkoituksena oli yhtenäistää työtapoja ja näin parantaa tulosten vertailukelpoisuutta eri henkilöiden suorittamien mittausten välillä.

Työssä esitetään myös öljyn puhtauteen sekä sen tutkimiseen liittyvää teoriaa, sekä tutustutaan hiukkaslaskennan tuloksen ilmoittamistapoihin ja öljyn puhtausluokitusstandardeihin. Öljynäytteen ottamista ja itse hiukkaslaskennan suorittamista käsitellään sekä aiheeseen liittyvissä standardeissa ohjeistetun, että Metso Mineralsin Suomen huoltopalveluiden käytännön tapauksissa toimivaksi havaittujen ratkaisujen mukaisesti. Opinnäytetyön tarkoituksena olleet työohjeet on laadittu näiden yhdistelmästä lyhentäen, kuitenkin muistaen että mittaus pitää edelleen olla myös käytännössä mahdollista suorittaa olemassa olevilla resursseilla nyt laadittujen ohjeiden mukaisesti. Laaditut työohjeet ovat varsinaisen opinnäytetyön liitteenä, sillä niiden tekstirakenne ei ole varsinaiseen opinnäytetyöhön sopiva.

Työn tekemisen aikana havaittiin, että suurimmat puutteet nykyisissä työtavoissa ovat mittapisteen valitsemisella mittauksen tuloksesta saataviin tietoihin olevan merkityksen ymmärtämisessä. Tela-alustaisista kivenmurskaimista löytyvien mahdollisten mittapisteen määrä on kuitenkin hyvin rajallinen, joten mittapisteen vaihtelulla ei tässä tapauksessa muutenkaan ole kovin suuria mahdollisuuksia hankkia kunnossapitoa varten tietoja muista asioista kuin öljyn yleisestä puhtaustasosta.

Työn tekemisen aikana havaittiin myös, että suurimmat ongelmat mittauksien luotettavalle suorittamiselle eivät ole työtavoissa vaan haastavissa olosuhteissa ja osin puutteellisissa työvälineissä. Olosuhteista johtuviin ongelmiin on esitetty ratkaisuksi online-mittauksen suosimista pullonäytteiden ottamisen sijaan, jolloin mitattava öljy saadaan johdettua suoraan öljyjärjestelmästä mittalaitteeseen sen joutumatta kosketuksiin ympäristön kanssa. Työvälineisiin liittyvän tilanteen parantamiseksi on esitetty ultraäänipesurin hankintaa, jotta pullonäytteet voidaan jatkossa sekoittaa ennen mittausta, kun sekoittaessa syntyvät ilmakuplat pystytään poistamaan näytteestä. Lisäksi yritettiin tuloksetta löytää toimittajaa standardien ISO 4021 ja ISO 3722 vaatimukset täyttävien näytepullojen hankkimiseksi.

Asiasanat: öljyn puhtaus, hiukkaslaskenta

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Machine Automation

Antti Kurenniemi:

Particle counting as a research method in analysis of oil cleanliness levels of mobile stone crushing equipment

Bachelor's thesis 55 pages, appendices 7 pages
December 2014

This thesis was written for Metso Minerals Ltd. and more specifically for their service department of Finland. The purpose of this thesis was to create work instructions for correct procedures on extracting and handling an oil sample for particle counting measurement. The purpose of this thesis is not to instruct on how to use the existing particle counter, as the company already has an instruction manual for it, but rather to reduce errors made elsewhere in the measurement process by the user and thus to improve the reliability of results received from performed particle counting measurements. Furthermore, the purpose of this thesis is to unify the sample extraction and handling methods between different operators and thus to make the results more comparable in the future.

This thesis also includes a presentation on the general study regarding oil cleanliness and different methods of examining it. There is also a presentation on how to read the particle counting results and oil cleanliness level classes presented by different standards. Extracting and handling an oil sample and performing the particle counting measurement are covered in this thesis by both according to the related standards and by methods proven to work in practice in the applications of, and with the tools and means available for Metso Minerals Ltd. service department in the past. The ordered work instructions were made by combining these two views on the topic, while keeping in mind that it has to be possible to follow through every step of these instructions within the limitations created by available resources and in the given conditions. The created work instructions are attached as appendices, as due their text structure they are not suitable to be included in the main body of the thesis.

While working on this thesis, it was noticed that the biggest problems with current working methods in performing particle counting are with choosing the correct measuring point from which the sample is extracted from and in understanding how the information learned from the particle count results differs between measurements performed on samples extracted from different measuring points.

It was also noticed that the main issues in getting reliable results from particle count measurements are currently not in the used working methods, but in the extremely challenging working conditions and partly due to the lack of adequate tools. In order to fix these problems it is recommended to try to favor online –measurements over bottle samples when possible and to purchase missing and better tools for handling the bottle samples when needed.

Key words: oil cleanliness, particle counting

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	ÖLJYNPUHTAUDEN MERKITYS KONETEKNIKASSA	9
2.1	Yleisimmät epäpuhtaudet ja niiden vaikutukset	9
2.1.1	Kiinteät epäpuhtaudet	10
2.1.2	Nesteet ja kaasut	14
2.2	Öljyn hapettuminen	16
3	HIUKKASLASKENTA ÖLJYN KUNNONVALVONTAMENETELMÄNÄ	17
3.1	Optiset hiukkaslaskimet	18
3.2	Puhtausluokitusmonitorit	19
3.3	Mikroskooppinen hiukkaslaskenta	19
4	KÄYTETTÄVÄT LAITTEET	20
4.1	Pamas S40 -hiukkaslaskin	20
4.1.1	Esittely ja toimintaperiaate	20
4.1.2	Tekniset tiedot	23
4.2	Pamas CMDM -tietokoneohjelma	24
4.2.1	Esittely ja käyttömahdollisuudet	24
4.2.2	Laitevaatimukset	26
5	HIUKKASLASKENTAMITTAUKSEN SUORITTAMINEN	27
5.1	Mittauksen tavoitteet ja mittapisteen valinta	27
5.2	Pullonäytemittaus	30
5.2.1	Tarvittavat välineet	30
5.2.2	Näytteenotto	31
5.2.3	Hiukkaslaskentamittauksen suorittaminen pullonäytteestä	32
5.3	Online -mittaus	35
6	HIUKKASLASKENNAN TULOKSET	37
6.1	Kumulatiivinen ja differentiaalinen hiukkaslaskentatulokset	37
6.2	Öljyn puhtausluokat	39
6.2.1	ISO 4406 (1999)	39
6.2.2	ISO 4406 (1987)	41
6.2.3	NAS 1638	41
6.2.4	SAE AS4059 E	43
7	POHDINTA	45
7.1	Nykyiset mittaustavat ja kehitysehdotukset	45
	LÄHTEET	48
	LIITTEET	49
	Liite 1. Työohje pullonäytemittauksen suorittamiseen	49

Liite 2. Työohje online –mittaukseen 53

LYHENTEET JA TERMIT

öljy	Tässä työssä öljystä yleisesti puhuttaessa sillä tarkoitetaan hydraulikassa energian siirron väliaineena ja voiteluaineena käytettäviä mineraaliöljyjä ja synteettisiä öljyjä sekä kiertovoitelujärjestelmissä käytettäviä mineraaliöljyjä
hydraulineste	Kaikki hydraulikassa energian siirron väliaineena ja voiteluaineena tavallisesti käytettävät nesteet (sisältää myös mineraaliöljyt ja synteettiset öljyt)
minimess -liitin	Öljyjärjestelmien mittapisteissä käytetty liitinpari, jonka öljyjärjestelmään kiinteästi asennettavassa osassa on tavallisesti M16x2 ulkokierre ja mittaletkuun tai –laitteeseen kuuluvassa osassa vastaava sisäkierre. Minimess –liitinparin kiinteästi asennettavan puolen sisäänrakennettu venttiili aukeaa, kun liitinparin puoliskot liitetään kierrelitoksellaan toisiinsa.

1 JOHDANTO

Metso Minerals Oy on maailman johtavia kivenmurskainten ja maa-aineksien seulontalaitteiden valmistajia. Murskaimet ja seulat valmistetaan usein tela-alustaisina, jotta niitä voidaan helposti siirtää joko saman työmaan sisällä tai kokonaan toiseen työkohteeseen. Murskaimia ja seuloja käytetään mm. kaivoksissa, soramontuilla ja maanrakennusurakoissa. Useimmille murskainten ja seulontalaitteiden työkohteille on yhteistä, että koneet ovat alttiina sekä säätilan vaihteluille (lämpötilavaihtelut ja ilmakeuhkus) että poikkeuksellisen pölyiselle työympäristölle. Ympäristötekijät vaikuttavat muiden asioiden ohessa myös koneissa käytettävien öljyjen puhtauteen, ja ympäristöstä pääsee usein murskaimissa ja seuloissa käytettävien hydraulijärjestelmien öljyyn enemmän tai vähemmän epäpuhtauksia. Tavallisimmin ympäristöstä murskainten öljyihin pääsevät epäpuhtaudet ovat vesi ja kivihiili. Näistä erityisesti kivihiili on öljyjärjestelmään päästessään hyvin haitallista, koska se on usein materiaalina kovempaa kuin komponenttien pinnat joihin öljy on kosketuksissa. Tästä syystä kivihiili aiheuttaa usein järjestelmään päästessään joko välittömiä vaurioita tai nopeaa kulumista.

Öljynpuhtaus on yksi merkittävimmistä asioista hydraulijärjestelmien kunnossapidossa ja ennakkoivassa huollossa. Epäpuhtaudet ovat aina läsnä öljyjärjestelmissä ja ympäristöä suurempi epäpuhtauksien lähde on itseasiassa järjestelmä itse. Uudessa öljyssä sekä uusissa komponenteissa on aina epäpuhtauksia, jotka pääsevät niiden mukana järjestelmään. Lisäksi öljyjärjestelmän komponenteista irtoaa aina käytön aikana kulumisen myötä materiaaleja öljyn joukkoon. Yleisellä tasolla on arvioitu, että hydraulijärjestelmien osalta puolet (tai jopa hieman yli puolet) kaikista toimintahäiriöistä ja vaurioista johtuu hydraulineesteessä esiintyvistä kiinteistä epäpuhtauspartikkeleista. Kaikkiaan noin kolme neljäsosaa hydraulijärjestelmien toimintahäiriöistä aiheutuu hydraulineesteen epäpuhtauksista (sis. nesteeseen sekoittuneet kaasut ja vieraat nesteet). Laakereilla suoritetuissa rasituskokeissa taas on saatu tuloksia, joiden perusteella voiteluöljyn puhtauteella voi olla jopa miljoonien pyörähdykertojen vaikutus laakerin kestoikään. [1] [2]

Edellä mainituista syistä johtuen on tärkeää tarkkailla öljyjärjestelmissä käytettävän öljyn puhtautta sekä järjestelmän suodatuksen toimimista ja riittävyttä. Tähän

tarkkailuun käytetään usein hiukkaslaskinta, jolla saadaan mitattua öljystä otetusta näytteestä siinä esiintyvien kiinteiden epäpuhtauksien määrä hiukkaskoon mukaan jaoteltuna. Metso Minerals Oy:n Suomen huoltopalvelut (sis. huoltokorjaamo ja kenttähuolto) ovatkin jo pitkään käyttäneet hiukkaslaskinta öljynpuhtauden mittaamiseen. Hiukkaslaskennan yleisimmät mittavirheen aiheuttajat ovat virheellinen näytteenotto ja –käsittely. Tämän työn tarkoituksena on luoda Metso Minerals Oy:n Suomen huoltopalveluille näytteenottoa ja –käsittelyä sekä mittauksen suorittamista käsittelevä ohje, jolla näistä syistä johtuvat mittavirheet saadaan minimoitua. Lisäksi ohjeen tarkoituksena on yhtenäistää toimintatapoja ja näin parantaa vertailukelpoisuutta eri henkilöiden suorittamien mittausten välillä. Ohjeen tarkoituksena on myös ohjeistaa yritykseen hankitun tietokoneohjelman käyttöönottamisessa, jotta mittaustulokset saadaan jatkossa tallennettua sähköisesti ja niitä voidaan jatkossa käyttää myös pidemmän aikavälin kunnonvalvontaan, mikä lisää mittausten suorittamisesta saatua hyötyä.

2 ÖLJYNPUHTAUDEN MERKITYS KONETEKNIKASSA

2.1 Yleisimmät epäpuhtaudet ja niiden vaikutukset

Öljynpuhtaudella on yleisesti aina suuri merkitys öljyä käyttävän järjestelmän toimintavarmuuteen ja käyttöikään. Öljyn joukossa olevat epäpuhtaudet kuluttavat ja vahingoittavat järjestelmää sekä siihen kuuluvia toimilaitteita ja komponentteja. Osa näistä kulumista ja vaurioista syntyy suoraan epäpuhtauksien aiheuttamana myöhemmin selitettävien periaatteiden mukaisesti, osa taas välillisesti epäpuhtauksien huonontaa öljyn voiteluominaisuuksia, mikä taas lisää liikkuvien komponenttien välistä kitkaa ja näin nopeuttaa komponenttien kulumista. Kulumisen ja vaurioiden lisäksi epäpuhtaudet voivat aiheuttaa myös tukkeumia ja jumiutumisia, joista seuraa järjestelmän tilapäisiä toimintahäiriöitä, tai jopa pysyviä kiinnileikkaantumisia. Kaikki konetekniikassa käytettävät öljyt sisältävät aina jonkin verran epäpuhtauksia, mutta edellä mainittujen ongelmien estämiseksi tulee öljyn kuntoa valvoa ja pyrkiä pitämään öljy mahdollisimman hyväkuntoisena mm. suodattamalla kiinteät epäpuhtaudet mahdollisimman tarkasti pois öljyjärjestelmän kierrosta. Suodatustarkkuudelle asettaa kuitenkin usein rajoituksia järjestelmän tarvitsema öljyn virtausnopeus. Hydraulijärjestelmissä tarvitaan usein suuria virtauksia, joita liian pienet läpäisyominaisuudet omaava suodatin rajoittaisi liikaa. Voitelujärjestelmissä taas käytetään usein suuriviskositeettista öljyä ja suhteellisen matalaa painetta, joten öljy ei välttämättä jaksaisi läpäistä liian tarkkaa suodatinta ollenkaan. [1] [2]

Konetekniikassa käytettävistä öljyistä puhuttaessa, oli kyseessä sitten hydraulii- tai voiteluöljy, lasketaan epäpuhtauksiksi aina öljyn seassa olevien kiinteiden epäpuhtauksien lisäksi myös öljyyn sekoittuneet muut nesteet sekä kaasut, joista tavallisimpina esimerkkeinä ovat vesi sekä ilmakuplat. Nesteet ja kaasut voivat esiintyä öljyssä joko öljyyn liuenneena tai liukenemattomana. Hydraulijärjestelmien osalta on arvioitu, että 70-80 % kaikista toimintahäiriöistä aiheutuu käytetyn hydraulinesteen epäpuhtauksista, kiinteiden epäpuhtauksien osuuden ollessa 50-55 % ja ilman sekä veden osuuden 20-25 %. [2]

2.1.1 Kiinteät epäpuhtaudet

Kiinteitä epäpuhtauksia joutuu öljyn sekaan monin eri tavoin, mutta yleisimpiä öljyn epäpuhtautta aiheuttavia kiinteiden hiukkasten lähteitä ovat öljy itse, sekä sitä käyttävä järjestelmä. Uusi öljy on tavallisesti likaisempaa kuin hieman saastuneena pidetty öljy (kts. Taulukko 1). Tästä syystä täyttö- ja tankkaussuodattimien käyttö on erittäin tärkeää. Uudesta öljystä ei kuitenkaan saada poistettua edes suodattamalla kaikkia epäpuhtauksia, joten niitä joutuu järjestelmään joka kerran kun öljyä vaihdetaan tai lisätään. Uuteen öljyyn epäpuhtaudet ovat tulleet mm. putkistoista, joiden läpi öljy kulkee valmistus- ja jalostusprosessien aikana, sekä öljyn varastointisäiliöistä ja –ympäristöstä. [1] [2]

TAULUKKO 1. Öljyn saastuneisuusasteen määrittely standardin ISO 4406 mukaisten hiukkasmittausarvojen perusteella. (Taulukko: Eero Simola & Mikael Back, Teknoma Oy)

ISO koodi	Kuvaus	Sovelluskohde
ISO 14/12/10	Erittäin puhdas öljy	Kaikki öljyjärjestelmät
ISO 16/14/11	Puhdas öljy	Servo & korkeapainehydrauliikka
ISO 17/15/12	Hieman saastunut öljy	Vakio hydrauli- ja voiteluöljyjärjestelmät
ISO 19/17/14	Uusi öljy	Alhaisesta matalapaineisiin järjestelmiin
ISO 22/20/17	Erittäin saastunut öljy	Ei sovellu öljyjärjestelmiin

Uusissa öljyjärjestelmissä on aina jo ennen järjestelmän käyttöönottoa myös komponenttien valmistuksesta sekä järjestelmän asennuksesta johtuvia epäpuhtauksia. Kuten uusi öljy, myös uudet komponentit ovat usein hyvin likaisia. Niistä voi pian asennuksen jälkeen lähteä suuria määriä kiinteitä epäpuhtauksia öljyjärjestelmän kiertoon. Komponenttien asennuksen mukana järjestelmään usein päätyviä epäpuhtauksia ovat mm. metallilastut, hiomapöly, hitsausroiskeet, muottihiekka, vesi sekä maali. Erityisesti hydrauliikan uusien komponenttien puhtausasteen parantamiseen on viime vuosina alettu keskittymään teollisuudessa ja mm. Tampereen teknillisen yliopiston hydrauliikanlaitoksella on tehty laajaa tutkimusta hydrauliikan komponenttien esipuhdistusmenetelmien kehittämiseksi. [2]

Öljyjärjestelmiin pääse aina öljyn käyttöänsä aikana öljyssä ja järjestelmässä uutena olleiden epäpuhtauksien lisäksi kiinteitä hiukkasia myös ympäristöstä. Tiivistyksiä ei käytännössä koskaan saada niin pitäviksi, että pystyttäisiin estämään kaikkia

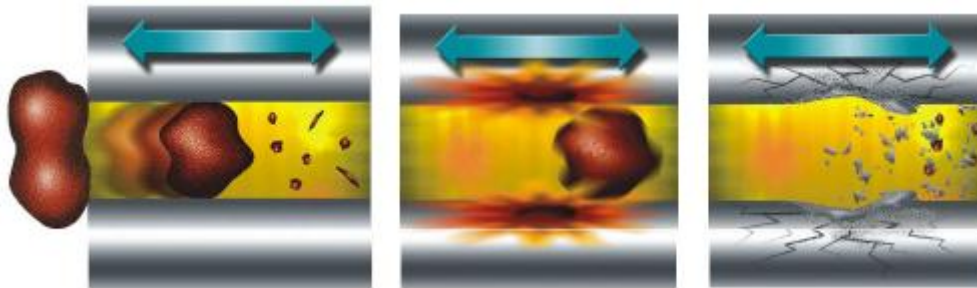
järjestelmää ympäröivässä ilmassa olevia mikrometrikokoluokan hiukkasia pääsemästä järjestelmän kiertoon. Hydraulijärjestelmissä tavallisimpia paikkoja, joista ympäristön epäpuhtaudet siirtyvät järjestelmään, ovat öljytankin huohotin sekä sylinterien ulos työntyneet männänvarret, joihin tarttuneet epäpuhtaudet pääsevät öljyyn varsien vetäytyessä takaisin sylinteriputken sisään. Erityisen paljon epäpuhtauksia pääsee ympäristöstä järjestelmän kiertoon huoltojen yhteydessä, kun liitoksia avataan ja suljetaan, pölysuojauksia siirretään pois tieltä, kansia auotaan ja tiivisteitä irrotetaan ja kiinnitetään. Kivenmurskaimissa käytettävistä öljyistä puhuttaessa nämä ympäristön epäpuhtaudet ovat merkittävässä roolissa, koska koneita käytetään poikkeuksellisen pölyisissä olosuhteissa, ja koska kivi- / hiekkapöly on ominaisuuksiltaan sellaista, että se alkaa usein öljyn joukkoon päästessään aiheuttamaan järjestelmässä nopeaa sisäistä kulumista. [2]

Öljyä käyttävien järjestelmien sisäisestä kulumisesta johtuen niiden komponenteista irtoaa lähes aina mm. metallihiukkasista ja tiivisteiden materiaaleja öljyyn. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että mitä enemmän öljyssä on ennestään kiinteitä hiukkasista johtuvia epäpuhtauksia, sitä enemmän niitä irtoaa sinne järjestelmän komponenteista lisää käytön aikana. Tähän ilmiöön viitataan joskus kulumisen noidankehänä, koska öljyjärjestelmissä epäpuhtaudet aiheuttavat kulumista ja kulumisen epäpuhtauksia. Kiinteiden epäpuhtauksien määrä ei kuitenkaan ole ainoa tekijä, joka määrittää miten suuria vaikutuksia epäpuhtauksilla on järjestelmän toimintaan ja millaisia vaurioita ne järjestelmässä aiheuttavat. *”Kiinteiden epäpuhtauksien vaikutus järjestelmään riippuu hiukkasten materiaalista, kovuudesta, koosta, muodosta ja määrästä. Näiden epäpuhtauksiin itseensä liittyvien ominaisuuksien lisäksi haittavaikutukset riippuvat myös nesteen virtausnopeudesta, järjestelmän painetasosta sekä siitä riippuvista komponenttien välyksistä.”* (Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 2013. Hydrauliteknikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy. s.379). [2]

Öljyyn päästyään kiinteät partikkelit aiheuttavat öljyjärjestelmän sisäisiä vaurioita ja sisäistä kulumista monella eri tavalla. Mitä suuremmista ja kovemmissa hiukkasista epäpuhtaudet muodostuvat, sitä suuremmalla varmuudella ne aiheuttavat äkillisiä vaurioita ja toimintahäiriöitä. Suuret hiukkaset voivat esimerkiksi estää välykseen juuttuessaan kahden toisiinsa nähden normaalisti liikkuvan osan liikkumisen ja aiheuttaa näin pysyvän kiinnileikkautumisen, tai ne voivat tukkia pienempiä

virtauskanavia (esim. vuoto- ja esiohjauskanavat) pysyvästi, saaden näin järjestelmän toimimaan pysyvästi väärin tai puuttellisesti. Kiinteiden epäpuhtauksien aiheuttamat toimintahäiriöt voivat olla myös tilapäisiä, mikäli epäpuhtaudet tukkivat jonkin komponentin hetkellisesti, mutta huuhtoutuvat pois esim. paineen kasvaessa tai virtauksen tai toimilaitteen toiminnon suunnan vaihtuessa. [2]

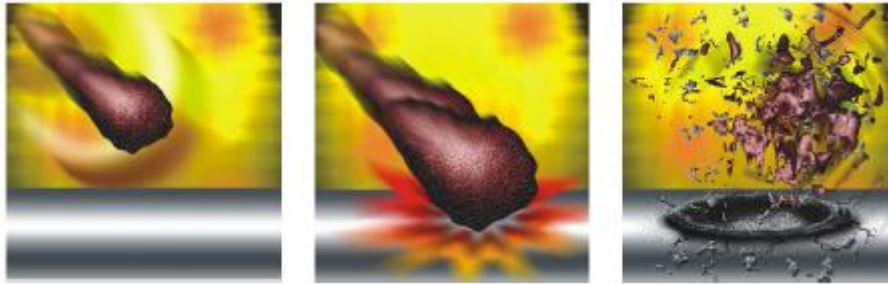
Äkillisten vaurioiden ja toimintahäiriöiden lisäksi öljyssä olevat kiinteät epäpuhtaudet aiheuttavat järjestelmän komponenteille pidemmällä aikavälillä syntyviä kulumisvaurioita. Öljyjärjestelmissä esiintyvien kiinteiden epäpuhtauksien aiheuttamista kulumisen tyypeistä tärkeimpiä ovat abrasiivinen eli hiova kuluminen, eroosiokuluminen ja pintaväsylimurtumista johtuva kuluminen. Hiovalla kulumisella tarkoitetaan tilannetta, jossa epäpuhtaushiukkanen on joutunut öljyjärjestelmässä puristuksiin noin oman läpimittansa kokoiseen, tai korkean paineen järjestelmissä jopa omaa läpimittansa ahtaampaan välykseen, mutta liikkuu kuitenkin kyseisessä välissä öljyn mukana hiertäen samalla pintoja, joihin on kosketuksissa (kts. Kuva 1). Tällaiselle kulumiselle yleisiä kohtia hydraulijärjestelmissä ovat mm. hydraulisynterin männän ja sylinteriputken väli sekä venttiililuistin ja –rungon väli. [1] [2]



KUVA 1. Kiinteiden epäpuhtaushiukkasten aiheuttama hiova kuluminen öljyjärjestelmissä. (Kuva: Eero Simola & Mikael Back, Teknoma Oy)

Toinen kiinteiden epäpuhtaushiukkasten aiheuttama kulumisen muoto, jota esiintyy öljyjärjestelmissä, on eroosiokuluminen. Eroosiokulumisella tarkoitetaan sitä, kun öljyn mukana kulkeutuvat hiukkaset törmäävät järjestelmän komponenttien ja toimilaitteiden öljyyn kosketuksissa oleviin pintoihin, luovuttaen liike-energiansa törmäyskohtaan ja aiheuttaen näin pintavaurioita (Kuva 2). Periaate on käytännössä sama kuin hiekkapuhalluksessa. Eroosiokulumisesta puhutaan, kun hiukkaset ovat niin pieniä, että yksittäisestä törmäyksestä aiheutuneilla vaurioilla ei ole välitöntä merkitystä kyseisen toimilaitteen tai komponentin toimivuudelle. Kuitenkin kun tällaisia törmäyksiä

tapautuu riittävän monta samalle alueelle, alkaa kyseiselle alueelle syntyä merkittävä pintavaurio. Eroosiokulumista esiintyy yleensä vain hydraulijärjestelmissä, koska voitelujärjestelmissä öljyn virtausnopeus on sen verran alhaisempi, että öljyssä olevat hiukkaset eivät saavuta riittävää törmäysnopeutta aiheuttaakseen merkittävää eroosiokulumista. [1] [2]



KUVA 2. Kiinteiden epäpuhtaushiukkasten aiheuttama eroosiokuluminen öljyjärjestelmissä. (Kuva: Eero Simola & Mikael Back, Teknoma Oy)

Kolmas kiinteiden epäpuhtauksien aiheuttama kulumisen muoto on pintaväsymismurtumista johtuva kuluminen. *”Pintaväsymismurtuma syntyy, kun kahden toisiinsa nähden vierivän ja toisiaan kuormittavan kappaleen välykseen tunkeutuu epäpuhtaushiukkanen, joka on suurempi kuin kappaleiden välisen voitelukalvon paksuus. Tällöin kappaleiden välisen kuormituksen kantaa voitelukalvon sijasta epäpuhtaushiukkanen, joka työstää vastapintoja, irrottaa pintamateriaalia ja aiheuttaa samalla pintojen säröytymisen. Pintaan kohdistuva jatkuva kuormitus alkaa tämän jälkeen kasvattaa säröjä, jolloin pinnasta irtoaa materiaalia.”* (Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 2013. Hydrauliteknikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy. s.381) Pintaväsymiskulumista esiintyy erityisesti voiteluöljyjärjestelmissä, sillä yleensä voitelua tarvitaan juuri sellaisissa kohteissa, missä toisiinsa nähden liikkuvat kappaleet kuormittavat toisiaan. Pintaväsymismurtumista johtuva kuluminen on näin ollen yleistä mm. laakeri- ja hammasratassovelluksissa. [2]

2.1.2 Nesteet ja kaasut

Kuten kappaleessa 2.1 on kerrottu, lasketaan kiinteiden epäpuhtauksien lisäksi myös öljyyn sekoittuneet nesteet ja kaasut öljyn epäpuhtauksiksi. Tavallisimmin öljyyn pääsevä neste ja kaasu ovat vesi ja ilma.

Öljyyn on jo uutena aina sekoittuneena jonkin verran vettä. Tämä johtuu pitkälti samoista syistä, kuin kappaleessa 2.1.1 selitetty kiinteiden epäpuhtauksienkin esiintyminen uudessa öljyssä. Lisäksi vettä pääsee yleensä aina sekoittumaan öljyyn lisää sen käyttöiän aikana. Hydraulijärjestelmissä vesi pääsee yleisimmin öljyyn tankin huohotinaukosta kulkeutuvan ilmankosteuden muodossa, joka tankin sisään päästyään tiivistyy tankin lämpötilanvaihteluiden seurauksena vedeksi. Tankissa on kuitenkin pakko olla huohotinaukko, koska jos tankki ei hengittäisi vapaasti (eli olisi yhteydessä tankin ulkopuolella vallitsevaan ilmanpaineeseen), aiheuttaisi työkierron aikana tapahtuva nesteen määrän vaihtelu tankissa samalla tankin sisäisiä painemuutoksia. Tankin sisäiset painemuutokset taas aiheuttaisivat järjestelmän toiminnassa epävakautta ja saattaisivat pahimmassa tapauksessa aiheuttaa vaaratilanteita tai vaurioittaa hydraulijärjestelmän muita komponentteja. Ilma taas pääsee hydraulijärjestelmään yleisimmin joko vuotavan imukanavan kautta tai sekoittumalla öljyyn tankissa, mikäli siellä esiintyy öljyn voimakasta pyörteilyä. [2]

Sekä vesi että ilma voivat esiintyä öljyssä joko liukenemattomana tai öljyyn liuenneena. Molempien haittavaikutukset järjestelmälle ovat huomattavasti suuremmat, mikäli niitä esiintyy öljyssä liukenemattomassa muodossa. Öljyssä vapaana esiintyvä vesi aiheuttaa järjestelmän metalliosien korroosiota ja ruostumista, nopeuttaen täten järjestelmän sisäistä kulumista. Tätä haittavaikutusta voidaan pienentää valitsemalla käytetäväksi öljy, jonka voiteluominaisuudet ovat mahdollisimman hyvät. Tällainen öljy muodostaa komponenttien metallipintojen päälle paksumman suojakerroksen ja estää vapaana esiintyvää vettä pääsemästä kosketuksiin metallipintojen kanssa. Hydraulijärjestelmissä tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista, koska hydraulioöljyltä vaaditaan usein myös monia muita ominaisuuksia (esim. viskositeetti, tiheys, puristuvuus), jotka saattavat olla hydraulioöljyn / -nesteen valinnan ja järjestelmän toiminnan kannalta vielä tärkeämpiä kuin voiteluominaisuudet. Vapaana esiintyvä ilma (tai muut kaasut) taas saattavat aiheuttaa hydraulijärjestelmissä toimilaitteiden toiminnan muuttumista epäsäännölliseksi ja nykiväksi. Lisäksi sekä vesi että ilma (missä tahansa muodossa

öljyn joukossa esiintyessään) kiihdyttävät nesteen vanhenemista (kts. kappale 2.2 Öljyn hapettuminen) ja lisäävät hydraulijärjestelmissä kavitaatioilmiön riskiä. [2]

Vettä ja ilmaa ei voida poistaa öljyn joukosta samoin menetelmin kuin kiinteitä epäpuhtauksia (suodattamalla), vaan yleisin menetelmä niiden poistamiseksi on luonnollinen erottuminen, mikä tapahtuu yleensä säiliössä / tankissa. Yleensä kuitenkin vain liukenemattomana esiintyvät kaasut ja nesteet poistuvat öljystä luonnollisen erottumisen kautta. Liukenemattomat kaasut nousevat kuplina öljyn pintaan ja vieraat nesteet taas painuvat säiliön pohjalle tai nousevat säiliön pinnalle, riippuen öljyn ja kyseessä olevan nesteen tiheyksien suhteesta. Öljyn tarkempi puhdistaminen siinä esiintyvistä kaasuista ja nesteistä (huom. myös liuenneena esiintyvät kaasut ja nesteet) vaatii monimutkaisempien menetelmien käyttämistä (esim. absorptio- ja tyhjiömenetelmät). Vettä voidaan lisäksi poistaa öljystä erillisellä sivuvirtasuodattimella tai erillisillä veden erottimilla. Sivuvirtasuodatinta käytettäessä tankissa olevaa öljyä kierrätetään työkierrosta erillään olevan suodatinjärjestelmän läpi, mikä mahdollistaa öljyn suodattamisen tavallisesta poikkeavalla suodattimella. Tämä johtuu siitä, että öljyä voidaan kierrättää suodattimen läpi tavallista pienemmällä virtausnopeudella ja paineella, ilman järjestelmän toimivuuden näille tekijöille asettamia vaatimuksia. Sivuvirtasuodattimella saadaan veden lisäksi poistettua öljystä myös sen vanhenemistuotteita (kts. kpl 2.2 Öljyn hapettuminen) ja päästään tavallista parempaan tarkkuuteen kiinteiden epäpuhtauksien suodatuksessa. [1] [2]

2.2 Öljyn hapettuminen

Epäpuhtauksien lisäksi öljyn laatua heikentää öljyn hapettuminen, joka tarkoittaa öljyn kemiallisen rakenteen hajoamista hapen vaikutuksesta öljyn vanhetessa. Vesi ja tietyt muut epäpuhtaudet (erit. kupari ja muut metallit) öljyssä sekä öljyn korkeat käyttölämpötilat nopeuttavat tätä reaktiota. Käyttölämpötilan vaikutukselle öljyn hapettumiseen voidaan yleistettynä sääntönä pitää, että öljyn käyttölämpötilan ylittäessä 65 °C tarkoittaa jokainen 7 °C lisänoosu käyttölämpötilassa öljyn hapettumisnopeuden tuplaantumista. Hapettuminen on kemiallinen reaktio, jonka lopputuotteina öljyn sekaan syntyy vettä, orgaanisia happoja ja kiinteitä sekä puolikiinteitä epäpuhtauksia (lietettä). Hapettunut öljy aiheuttaa sitä käyttävässä järjestelmässä monenlaisia vaurioita. Hapettumisreaktiossa syntyneet hapot aiheuttavat korroosiota, joka nopeuttaa järjestelmässä olevien metallipintaisten komponenttien kulumista, edelleen irroittaen niistä samalla metallihiukkasia öljyn joukkoon. Tämä taas kiihdyttää välitöntä mekaanista kulumista koko järjestelmässä. Öljyn joukkoon hapettumisen seurauksena syntyvä liete taas kasvattaa öljyn viskositeettia sekä tukkii ja jumiuttaa järjestelmän suodattimia ja komponentteja. Lisäksi lietteestä muodostuu lakka- ja hartsikerroksia komponenttien pintoihin, mikä huonontaa komponenttien toimivuutta (esim. laakereiden toimivuus). [1] [2]

3 HIUKKASLASKENTA ÖLJYN KUNNONVALVONTAMENETELMÄNÄ

Hiukkaslaskenta on yksi yleisimmin käytettyjä öljyn kunnonvalvonnan menetelmiä. Sen tarkoituksena on selvittää öljyssä esiintyvien kiinteiden epäpuhtauksien määrä eri hiukkaskokojen mukaan jaoteltuna. Hiukkaslaskennasta saadun tuloksen perusteella voidaan myös määrittää öljyn standardin mukainen puhtausluokitus. Öljyn puhtausluokitukselle on olemassa useita rinnakkain käytössä olevia standardeja. Hiukkaslaskennan tuloksista, niiden tulkinnasta sekä öljyn puhtausluokitusstandardeista kerrotaan enemmän kappaleessa 6 Hiukkaslaskennan tulokset. [1]

Suomessa on yleisesti käytössä kolme eri mittauslaitetyyppiä hiukkaslaskentamittauksen suorittamiseksi. Mittaus voidaan suorittaa automaattisena mittauksena joko optisella hiukkaslaskimella tai puhtausluokitusmonitorilla, tai mittaus voidaan suorittaa tutkimalla näytettä mikroskoopilla. Nämä kolme menetelmää esitellään tarkemmin myöhemmin tässä kappaleessa. [1]

Hiukkaslaskenta voidaan myös jaotella näytteen käsittelytavan mukaan kolmeen eri mittaustapaan, jotka ovat pullonäytemittaus sekä online- ja inline- mittaukset. Näytteen käsittelytavan valitseminen riippuu usein käytettävästä mittauslaitteesta. Pullonäytemittauksessa otetaan nimensä mukaisesti ensin öljyjärjestelmästä öljynäyte tarkoitukseen soveltuvaan näytepulloon ja itse mittaus suoritetaan vasta myöhemmin näytteenoton jälkeen. Online –mittauksessa öljynäytettä ei oteta pulloon, vaan öljynäyte johdetaan suoraan näyteletkua pitkin öljyjärjestelmästä hiukkaslaskimeen kuitenkin siten, että mitattava näyteöljy on johdettu varsinaisen öljyjärjestelmän sivuvirtaukseksi. Inline mittauksella taas tarkoitetaan mittaustapaa, jossa hiukkasmittausensori asennetaan suoraan öljyputkeen. Pullonäytemittauksen etuna on, että öljyssä esiintyvät ilma ja vesi voidaan näytteen oikeanlaisella esikäsittelyllä poistaa näytteestä ennen mittauksen suorittamista, eikä niistä näin ollen aiheudu yhtä suurta mittavirhettä kuin inline- ja online mittauksissa. Toisaalta pullonäytemittauksessa on useampia näytteen käsittelyvaiheita ja näyte kulkee useampien letkujen ja astioiden kautta kuin online- ja inline- mittauksissa, joten varsinaisen näytteen ulkopuolisia kiinteitä epäpuhtauksia pääsee näytteen sekaan väkisinkin enemmän kuin suoraan järjestelmästä suoritettavissa mittauksissa, mikä myös aiheuttaa saatavaan tulokseen mittavirhettä. [1]

3.1 Optiset hiukkaslaskimet

Optisella hiukkaslaskimella suoritettavan automaattisen hiukkaslaskennan etuina on, että se on mikroskooppitutkimukseen verrattuna helppo ja nopea tapa suorittaa hiukkaslaskentamittaus, mutta sillä saavutetaan kuitenkin puhtausluokitusmonitoria suurempi mittausalue sekä tarkemmin esitetyt tulokset. Sen puutteina taas on, että sillä ei pystytä selvittämään öljyssä esiintyvien kaasujen tai vieraiden nesteiden määrää, eikä öljyssä havaittujen kiinteiden epäpuhtauksien materiaalia. Öljyssä esiintyvät vieraat kaasut ja nesteet itseasiassa aiheuttavat mittavirhettä myös kiinteiden epäpuhtauksien määrälle saatavaan tulokseen, joten ne on mahdollisuuksien mukaan pyrittävä poistamaan näytteen seasta kappaleessa 5.2.3 selostettujen esikäsittelymenetelmien mukaisesti ennen mittauksen suorittamista. Eniten mittavirheitä hiukkaslaskennassa kuitenkin aiheutuu virheellisestä näytteenotosta ja –käsittelystä. Myös näytteenottoon ja –käsittelyyn on esitetty mittatarkkuden parantamiseen liittyviä ohjeita kappaleessa 5.

[1] [5]

Optisia hiukkaslaskureita on kolme eri tyyppiä, jotka ovat laboratoriomallinen hiukkaslaskin, kannettava hiukkaslaskin ja jatkuvatoiminen hiukkaslaskin. Mittaus voidaan suorittaa käytössä olevasta hiukkaslaskurista riippuen millä tahansa aiemmin tässä kappaleessa mainituista periaatteista (pullonäytemittaus, online- mittaus tai inline-mittaus). [1]

Laboratoriomalliset hiukkaslaskimet ovat yleensä hiukkaslaskureista kalleimpia ja niissä on myös tarkimmat sensorit. Niillä voidaan myös suorittaa mittauksia suurempi viskositeettisille öljyille kuin muilla hiukkaslaskimilla. Niiden käyttö rajoittuu kuitenkin ainoastaan pullonäytteille suoritettaviin mittauksiin. Kannettavat hiukkaslaskimet ovat riittävän kevyitä, jotta ne voidaan ilman suurempaa vaivaa siirtää mitattavaan kohteeseen online- mittauksen suorittamista varten. Lisäksi osalla kannettavista hiukkaslaskimista voidaan mitata myös pullonäytteitä. Jatkuvatoimiset hiukkaslaskimet on tarkoitettu asennettavaksi kiinteästi öljyjärjestelmään suorittamaan jatkuvaa online- tai inline- mittausta, jolloin niitä voidaan käyttää mitattavan öljyjärjestelmän jatkuvaan ja pidempiaikaiseen kunnonvalvontaan. Jatkuvatoimiset hiukkaslaskimet ovat yleensä teknisiltä ominaisuuksiltaan sen verran vaatimattomampia, että ne tarvitsevat ulkoisen (tietokoneella toteutettavan) ohjauksen. [1]

3.2 Puhtausluokitusmonitorit

Puhtausluokitusmonitorit eroavat hiukkaslaskimista siten, että ne ilmoittavat tuloksen suoraan muunnettuna öljyn puhtausluokitukseksi eikä niillä näin ollen saada tarkempaa tietoa eri kokoluokkien hiukkasten esiintymämääristä. Puhtausluokitusmonitoreilla voidaan suorittaa vain inline- ja online- mittauksia. Osa puhtausluokitusmonitoreistakin toimii optisella mittausperiaatteella, kun taas osa käyttää paine-eroon perustuvaa mittausmenetelmää, jossa mitataan mittalaitteen sisäisten suodatinverkkojen yli vallitsevaa paine-eroa. Sen lisäksi että puhtausluokitusmonitoreilla ei saada tietoon hiukkasjakaumaerottelua, niiden käyttöä rajoittaa myös niillä saavutettavan mittausalueen rajallisuus. Erityisesti hyvin puhtaan öljyn tarkkaa puhtausluokitusta niillä ei saada määritettyä luotettavasti. Optisilla puhtausluokitusmonitoreilla on hieman suurempi mittausalue kuin paine-eroa mittaavilla, mutta toisaalta paine-eromittauksen etuna on, että siinä öljyssä esiintyvät vesi ja ilma eivät aiheuta mittavirheitä, toisin kuin optisilla hiukkaslaskimilla ja puhtausluokitusmonitoreilla. [1] [6]

3.3 Mikroskooppinen hiukkaslaskenta

Mikroskooppista hiukkaslaskentaa varten tarvitaan pullonäyte, joka suodatetaan pienihuokoisen kalvosuodattimen (membraanin) läpi. Öljynäytteen sisältämät epäpuhtaudet jäävät membraanille, jonka pinnalta niitä voidaan muutamien lisäkäsittelyvaiheiden jälkeen tarkastella. Hiukkaslaskenta voidaan suorittaa tarkasti kokoluokkien mukaan mikroskoopin optiikkaan asennettavan asteikkolevyn avulla. Mikroskooppisen hiukkaslaskennan suorittaminen on hiukkaslaskentamenetelmistä hitain sekä esivalmisteluidensa että itse mittaustapahtuman osalta, mutta sillä saavutettu merkittävä etu on se, että hiukkaslaskentaa suoritettaessa voidaan samalla tunnistaa öljyssä esiintyvien epäpuhtauspartikkeleiden materiaalit, sekä järjestelmän kulumisesta irroneiden hiukkasten tapauksessa kulumistapa, jolla hiukkanen on irronnut. Tämä auttaa tunnistamaan hiukkasten alkuperän, mikä taas on arvokasta tietoa kunnossapidon kannalta. Kun hiukasten materiaali tunnetaan, voidaan arvioida onko partikkeli päässyt öljyyn esim. irtoamalla jostain järjestelmän komponentista alkavan kulumisvaurion takia tai järjestelmän ulkopuolelta puutteellisesta tai viallisesta tiivistyksestä johtuen. Mikroskooppisessa hiukkaslaskennassa vesi ja ilma eivät myöskään aiheuta mittavirheitä, toisin kuin optisella mittausperiaatteella toimivilla automaattilaskimilla suoritettavissa mittauksissa. [1]

4 KÄYTETTÄVÄT LAITTEET

4.1 Pamas S40 -hiukkaslaskin

Metso Minerals Oy:n Suomen huoltopalveluilla on öljyssä esiintyvien kiinteiden epäpuhtauksien määrän mittaamiseksi käytössä Pamas S40 –hiukkaslaskin. Tässä kappaleessa esitellään kyseinen hiukkaslaskin sekä sen kanssa käytettävä tietokoneohjelma (Pamas Conditioning Monitoring and Data Management program).

4.1.1 Esittely ja toimintaperiaate

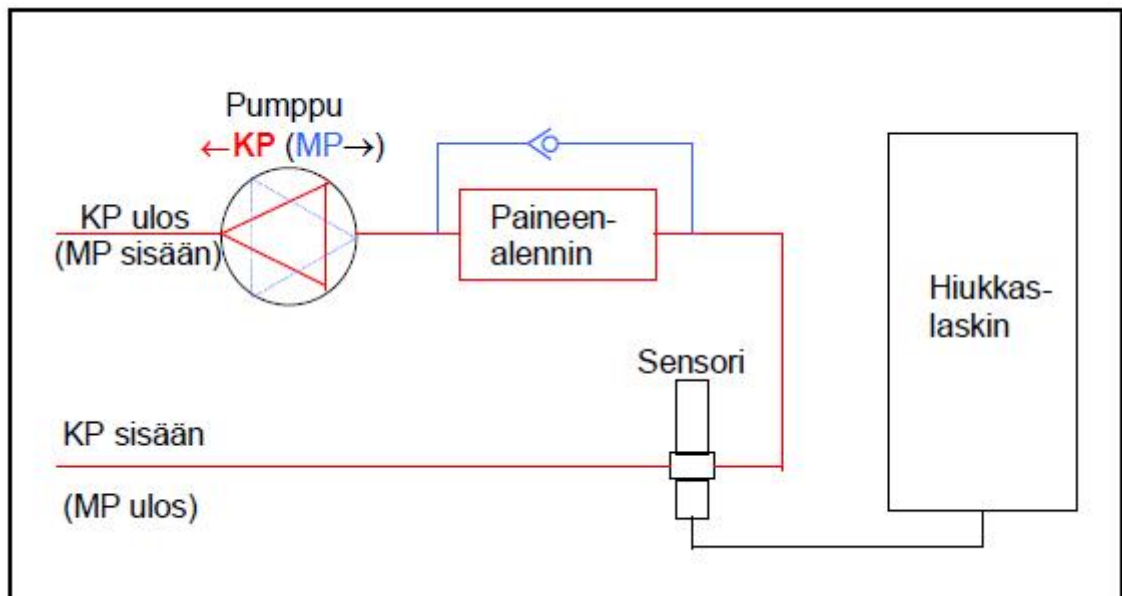
S40 –hiukkaslaskinta käytetään kosketusnäytön ja integroidun näppäimistön avulla (kuva 3), ja se on myös yhteensopiva Pamas CMDM –tietokoneohjelman kanssa (kts. kappale 4.2). S40 ilmoittaa nesteen hiukkaslaskentatuloksen 8:n eri kokoluokan hiukkasmäärinä sekä halutulla puhtausluokituksella. Riippuen kalibroinnista ja valituista asetuksista tulokset on mahdollista saada minkä tahansa yleisimmän puhtausluokituksen mukaisesti ilmoitettuna (mm. ISO 4406: 1999 tai 1987, SAE AS 4059 tai NAS 1638). Puhtausluokituksista lisää kappaleessa 6 Hiukkaslaskennan tulokset. Mittaustulokset näkyvät laitteen näytöllä ja ne saadaan myös tulostettua paperiselle kuitille (kuva 3). Pamas S40 hiukkaslaskin myös tallentaa tulokset sähköisesti. Sen muistiin mahtuu kerrallaan yli 4000 mittaustulosta, jotka on myös mahdollista siirtää mittauksen jälkeen tietokoneelle, jolloin tuloksia voidaan tarkastella erillisen tietokoneohjelman avulla (kts. kappale 4.2 Pamas CMDC –tietokoneohjelma).

[1]



KUVA 3. Pamas S40 hiukkaslaskin. (Kuva: <http://www.pamas.de/en/PARTICLE-COUNTERS/PORTABLE/PAMAS-S40>)

S40 on kannettava hiukkaslaskin, jolla voidaan suorittaa online-mittauksia eli suoraan öljyjärjestelmästä suoritettavia hiukkaslaskentamittauksia. S40:ssä on sisäinen pumppu, joka pitää mitattavan nesteen virtauksen tasaisena ja varmistaa näin hyvän mittaustarkkuuden online -mittauksissa myös sellaisissa tilanteissa, joissa järjestelmän paine vaihtelee merkittävästi. Online -mittauksien paineen tasaamisen lisäksi sisäinen pumppu mahdollistaa myös pullonäyttemittauksien suorittamisen samalla laitteella. Kuten kuvasta 4 nähdään, on pullonäytteen matalapainemittauksia suoritettaessa nesteen kiertosuunta hiukkaslaskimen läpi päinvastainen kuin suoraan öljyjärjestelmästä suoritettavissa korkeapainemittauksissa, joten käyttäjän tulee aina tiedostaa miten päin tulo- ja poistoletkut on kulloinkin kytkettävä hiukkaslaskimeen. [1]



KUVA 4. Nesteen kierto hiukkaslaskimessa. KP = korkeapainemittauksessa, MP = matalapainemittauksessa. (Kuva: Esko Niiranen, Pamas Oy)

Pamas S40 –hiukkaslaskimessa on öljynäytteen koko tilavuusvirran mittaava optinen hiukkaslaskentasensori, jonka suorittama mittaus perustuu valonpeittomenetelmään. Valonpeittomenetelmässä lasersäteen ja detektorin välistä kulkeneet hiukkaset aiheuttavat detektorille varjoja (kuva 5), mikä edelleen aiheuttaa detektorilta mitattavassa jännitteessä muutoksia. Jännitemuutoksen suuruus kertoo myös lasersäteen ja detektorin välistä kulkeneiden hiukkasten koon. Optisen hiukkaslaskennan suurimpia ongelmia on, että mikäli mitattavassa öljyssä on todella paljon epäpuhtauksia saattaa lasersäteen edestä kulkea useita hiukkasia yhtäaikaan, jolloin hiukkaslaskin mittaa usean pienemmän hiukkasen sijaan vain yhden suuremman hiukkasen. Tämä ongelma esiintyy kuitenkin vain, mikäli tutkittava öljy on hyvin likaista ja yleensä tällaisessa tapauksessa tarvitsee joka tapauksessa suorittaa lisätutkimuksia, kuten mikroskooppianalyysi, hiukkaslaskennan tueksi. [1]



KUVA 5. Valonpeittomenetelmään perustuva optinen hiukkaslaskentasensori (Kuva: Esko Niiranen, Pamas Oy)

4.1.2 Tekniset tiedot

Kuten aiemmin kerrottu, S40 on kannettava hiukkaslaskin, jolla on mahdollista suorittaa myös online –mittauksia kenttäolosuhteissa ja siinä on mitattavalle nesteelle eri kiertosuunnat matala- ja korkeapainemittauksissa. Matala- ja korkeapainemittauksilla on luonnollisesti myös eri painealueet sille, minkä paineisista järjestelmistä tai astioista mittaus on mahdollista suorittaa (taulukko 2). Painerajoista merkittävin on korkeapainemittauksen maksimipaine 420 bar, jonka ylittäminen aiheuttaa laitteen vaurioitumisen. Korkeapainemittauksessa on mahdollista mitata myös korkeampi viskositeettista öljyä kuin matalapainemittauksessa (taulukko 2). Koska S40:llä on useita eri käyttömahdollisuuksia, on siinä myös kaksi vaihtoehtoista virtalähdettä. S40:tä on mahdollista käyttää joko suoraan verkkovirralla tai sitten kenttäolosuhteissa sisään rakennetun akun avulla, jonka maksimi käyttöaika on täyteen ladattuna 3 h (taulukko 2). [1]

TAULUKKO 2. Pamas S40 hiukkaslaskimen tekniset tiedot.

Mitat	300 mm x 300 mm x 140 mm
Paino	9 kg
Painealue	0-7 bar (matalapainemittaus) 3-420 bar (korkeapainemittaus)
Mitattavan öljyn max. viskositeetti	200 cSt (vapaa imu) 350 cSt (painelinja)
Mittausalue	4-70 µm (vakio kalibrointi) 1-100 µm (lisätilauksesta)
Käyttöjännitte	90-230 VAC 50-60 Hz
Sisäinen virtalähde	12-30 VDC Käyttöaika 3 h Latausaika 6 h
Dataliitäntä	USB –väylä

4.2 Pamas CMDM -tietokoneohjelma

4.2.1 Esittely ja käyttömahdollisuudet

CMDM on lyhenne ohjelman englanninkielisestä nimestä ”Conditioning Monitoring and Data Management program”, mikä tarkoittaa vapaasti suomennettuna kunnonvalvonta- ja tiedonhallintaohjelmaa. Kyseistä tietokoneohjelmaa voidaan käyttää kahden eri hiukkaslaskinmallin kanssa, jotka ovat kappaleessa 4.1 esitelty Pamas S40 sekä Pamas SBSS, joka on laboratoriokäyttöön tarkoitettu hiukkaslaskin pullonäytteiden mittaamista varten. [1]

CMDM –ohjelmalla on mahdollista luoda ”mittapisteprofiileja”, jotka on tarkoitettu siirrettäväksi hiukkaslaskimen muistiin. Mittapisteprofiiliin suoritetaan esivalinnat kaikille säädettävissä oleville mittaasetuksille ja –parametreille, joita ovat mm. matala- / korkeapainemittauksen valinta, esihuuhteluaika, mitattava tilavuus, kuinka monta kertaa mittaus toistetaan ja mittauskertojen välillä oleva viiveaika. Kun hiukkaslaskimen muistiin on tallennettu tarvittavat mittapisteprofiilit mittaasetuksineen, tarvitsee itse mittaustilanteessa vain valita käytettävä profiili. Tämä vähentää vääristä mittaasetuksista johtuvien virheiden mahdollisuutta sekä parantaa mittausten vertailukelpoisuutta, koska tällöin tulee käytettyä aina samoja asetuksia samankaltaisten mittausten yhteydessä. Metson tapauksessa käytettäviä mittapisteprofiileja voisi olla esimerkiksi hydraulijärjestelmän online –mittaus, hydraulijärjestelmän pullonäytemittaus, voiteluöljyjärjestelmän online –mittaus ja voiteluöljyjärjestelmän pullonäytemittaus. Tarvittaessa on myös mahdollista määrittää vielä kaikille edellä mainituille omat asetuksensa esim. muutamia näissä kohteissa yleisimmin käytettyjä eri öljyjä varten, sillä hiukkaslaskimen muistiin mahtuu kaksikymmentä (20) eri profiilia. [1] [3]

Mittapisteprofiilien luomisen lisäksi CMDM –ohjelman muut tärkeät ominaisuudet liittyvät mittaustulosten tallentamiseen ja analysoimiseen. Pamas S40 hiukkaslaskin tulostaa jokaisen mittaustuloksen paperiselle kuitille, mutta sen lisäksi se tallentaa mittaustulokset muistiinsa, johon mahtuu kerralla yli 4000 mittaustulosta. Näin ollen mittaustulokset on mahdollista siirtää laitteen muistista PC:lle ja CMDM -ohjelmaan jälkikäteen ja vaikka useamman mittauksen erissä. Näin ollen PC:n ei tarvitse olla käytettävissä aina mittausta tehtäessä, jotta CMDM -ohjelmaa voidaan hyödyntää. Kun

mittaustulokset siirretään mittalaitteen muistista PC:lle, tallennetaan ne ohjelman sisällä omiin kansioihinsa. Metson kenttähuollon/huoltokorjaamon tapauksessa suositeltava tapa voisi olla, että tietokantaan luodaan yläkansiot joilla tehdään mittatuloksien jako ensin hydraulij- ja voiteluöljymittauksille, minkä jälkeen suoritetaan tulosten jako konetyypin mukaan (esim. LT300GP, LT125 jne.) ja konetyyppien alle luodaan alakansiot, joilla suoritetaan yksilöity jako koneiden sarjanumeroiden perusteella. Tallennuskansioita luotaessa määritetään ohjelmaan myös joka kansiolle ISO 4406 standardin mukainen puhtausluokitus vaatimus ja suurimmat pitoisuudet kolmelle eri hiukkaskoolle, jotka kyseiseen kansioon tallennetuilta mittaustuloksilta sallitaan. Mikäli mittaustulos ylittää sallitut rajat, jää tästä merkintänä tietokantaan kyseisen mittaustuloksen kohdalle punainen huutomerkki, jolloin tällaiset tulokset on helppo havaita ja löytää sekä tuloksia tallennettaessa että historiatietoja tutkittaessa. [1] [3]

Kun mittaustulokset on siirretty mittalaitteesta ohjelman muistiin ja jaoteltu järkevästi omiin kansioihinsa, voidaan mittaustuloksia tarkastella ohjelman avulla monipuolisemmin kuin paperiselta kuitilta. CMDM -ohjelma esittää tulokset taulukoina, kaavioina ja kuvaajina. Ohjelmasta voidaan helposti nähdä samalle koneelle aikaisemmin suoritettujen mittausten tulokset ja suorittaa vertailua niiden välillä. Esimerkiksi ohjelman trendiseurantatyökalun avulla voidaan helposti luoda kuvaaja, josta nähdään ISO 4406 standardin mukaisina puhtausluokkina esitetty käyrä kyseessä olevalle koneelle edellisten kahden vuoden aikana suoritetuista öljynpuhtausmittauksista. Kuvaaja myös vertaa tätä trendikäyrää koneelle määritettyyn huonoinpaan sallittuun puhtausluokkaan. Trendianalyysi on hyvä työkalu esim. pitkäaikaiseen ja ennaltaehkäisevään kunnonvalvontaan sekä esim. koneen hydraulijärjestelmään tehdyillä huolloilla/muutostöillä öljynpuhtauteen olevien pitkän aikavälin vaikutuksien seurantaan. Jos öljynäytteestä teetetään mikroskooppianalyysi, saa sen tulokset ja kuvat tallennettua CMDM -ohjelman mittaustuloskirjastoon samasta näytteestä suoritettun hiukkaslaskentatuloksen yhteyteen.

[1] [3]

4.2.2 Laitevaatimukset

Kuten taulukosta 3 nähdään, Pamas CMDM -tietokoneohjelmaa voidaan käyttää lähes millä tahansa uudenaikaisella Windows käyttöjärjestelmää käyttävällä PC - tietokoneella. Ohjelma ei kuitenkaan toimi muilla laitteilla (esim. Mac) kuin PC:llä, eikä muilla käyttöjärjestelmillä kuin Windows. Lisäksi ohjelmasta ei ainakaan vielä ole julkaistu uusimman Windowsin, eli 26.10.2012 julkaistun Windows 8:n, kanssa yhteensopivaa päivitysversiota. [3] [4]

TAULUKKO 3. Minimivaatimukset laitteelle, jolla Pamas CMDM tietokoneohjelmaa voidaan käyttää

Käyttöalusta	PC
Proessori	Pentium III mikroprosessori tai parempi
Käyttöjärjestelmä	Windows 95 - Windows 7
Vapaa kovalevytila	50 MB
Keskusmuisti (RAM)	64 MB
Näytönohjain	1024x768 pikseliä ja 256 väriä
Sarjaväyläliitäntä	USB tai RS232
Muut vaatimukset	CD-ROM - tai DVD -asema

5 HIUKKASLASKENTAMITTAUKSEN SUORITTAMINEN

Kuten kappaleessa 4 on kerrottu, on Metso Minerals Oy:n Suomen huoltopalveluiden käytössä optinen hiukkaslaskin (malli Pamas S40), jolla on mahdollista suorittaa mittaus joko online –mittauksena tai pullonäytteestä. Tässä kappaleessa käsitellään hiukkaslaskentamittauksen suorittamiseen liittyvät työvaiheet (sekä pullonäyte- että online -mittaus) kyseistä kappaleessa 4 esiteltyä hiukkaslaskinta käytettäessä. Useimmat työvaiheet ja niiden suorittamistavat ovat kuitenkin täysin samat myös käytettäessä muuta vastaavaa laitetta. Hiukkaslaskentamittauksen työvaiheista tässä kappaleessa kerrottua tiivistäen ja selkeyttäen on myös laadittu kaksi erillistä työohjetta Metso Minerals Oy:n Suomen huoltopalveluiden tarpeisiin. Kyseiset työohjeet ovat: Työohje pullonäytemittauksen suorittamiseen (Liite 1) ja Työohje online –mittaukseen (Liite 2).

5.1 Mittauksen tavoitteet ja mittapisteen valinta

Mittapisteellä tarkoitetaan öljyjärjestelmän kohtaa, josta öljy johdetaan mittaletkuun ja edelleen sitä pitkin joko näytepulloon tai suoraan hiukkalaskimeen.

Ennen hiukkaslaskentamittauksen suorittamista tulee aina olla mietittynä miksi mittaus suoritetaan, ja mitä asioita mittauksen tuloksella halutaan öljystä tai sitä käyttävästä järjestelmästä saada selville. Mittapiste tulee valita mittaustavoitteen perusteella siten, että valitusta mittapisteestä otettu näyte mittaamalla saadaan parhaalla mahdollisella tavalla selville mittaustavoitteeksi asetetut asiat. Mittaustavoitteena voi olla esimerkiksi saada tietoa järjestelmän yleispuhtaudesta, suodattimen toiminnasta, toimilaitteiden kulumisesta johtuen öljyyn irtoavista epäpuhtauksista tai ympäristöstä öljyjärjestelmän kiertoon pääsevistä epäpuhtauksista. Tarvittaessa mittapisteitä voidaan valita useita, jolloin järjestelmän eri pisteistä saatuja tuloksia voidaan verrata toisiinsa mittaustavoitteena olleen asian selvittämiseksi. Käyttämällä useampaa mittapistettä voidaan esimerkiksi tutkia yksittäisen toimilaitteen epäiltyä alkavaa kulumisvauriota suorittamalla mittaus kyseiselle toimilaitteelle menevästä ja kyseiseltä toimilaitteelta palaavasta öljystä ja vertaamalla näitä kahta tulosta toisiinsa, jotta nähdään paljonko epäpuhtauksia toimilaitteesta on irronnut öljyyn. Toki mittapisteen valinta tulee tehdä myös siten, että mittaus on käytännössä mahdollista suorittaa turvallisesti ja ilman kohtuutonta vaivaa. Tämä saattaa asettaa tutkittavasta järjestelmästä riippuen suuriakin

rajoituksia mittapisteen valinnalle, koska joissakin tapauksissa tutkittavassa öljyjärjestelmässä saattaa olla vain yksi mittapiste, josta öljynäyte saadaan tällä tavalla otettua. [1]

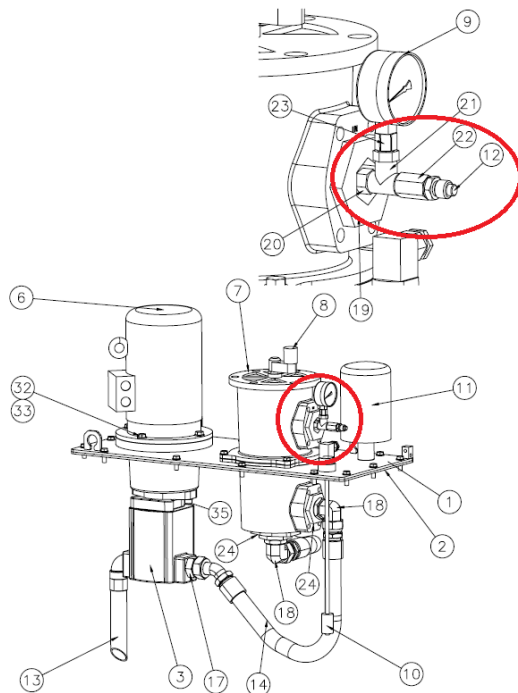
Nestenäytteiden ottamista toiminnassa olevasta hydraulijärjestelmästä on ohjeistettu standardeissa SFS 5136 sekä ISO 4021 (em. standardit ovat asiasisällöltään yhtäpitävät). Kyseisten standardien ohjeistuksen mukaan näytteenottoaika tulisi valita siten, että näyte saadaan nesteen turbulentista virtauksesta, jolloin näyte edustaa parhaiten mitattavan nesteen koko tilavuuden epäpuhtaustasoa. Hydraulijärjestelmissä tällaisia kohtia löytyy mm. putkien tai letkujen tekemien mutkien sekä liittimien jälkeen. [1] [7]

Metso Mineralsin valmistamien liikkuvien kivenmurskainten huoltotoiminnassa ja kunnossapidossa mahdollisia hiukkaslaskentamittauskohteita ovat hydrauliliikkajärjestelmien öljy, sekä harvemmin karamurskaimissa käytettävien kiertovoitelujärjestelmien voiteluöljy.

Useimpien Lokotrackien hydrauliliikassa on kaksi rinnakkaista linjaa, jotka käyttävät yhteistä tankkia. Molemmissa linjoissa on käytännössä kaksi mahdollista mittapistettä, joihin mittaletku on mahdollista liittää minimess-liittimellä. Ensimmäiset näistä mahdollisista mittapisteistä sijaitsevat painepuolella heti painesuodattimien jälkeen. Nämä näytteenottoaikat sijaitsevat fyysisesti koneen hydrauliliikkakeskuksessa, missä sijaitsevat myös hydraulijärjestelmän useimmat venttiililohkot. Suorittamalla mittaus näistä mittapisteistä saadaan tietoa järjestelmän kiertoa menevän öljyn puhtaudesta sekä painesuodattimen toiminnasta. Näistä mittapisteistä mitattu öljyn puhtaus on myös se, jota tulee tarvittaessa verrata hydraulijärjestelmän komponenteille ja toimilaitteille määritelyihin öljyn puhtauden vaatimustasoihin. Lokotrackien hydrauliliikain painesuodattimen suodatustarkkuus on yleisesti 10 µm, joten tuota pienempien hiukkasten määrästä tässä mittauspisteessä voidaan tehdä päätelmiä tankista tulevan öljyn puhtaudesta. Teoriassa yli 10 µm hiukkasia ei tässä mittapisteessä pitäisi esiintyä, ellei painesuodattimen toiminta ole puutteellista. Toinen mahdollinen näytteenottoaika kummassakin linjassa sijaitsee hydraulioöljyn paluupuolen jakotukilla, jolle öljy kerääntyy linjan eri haaroista ennen jäähdyttimelle menemistään. Jakotukki, jolla näytteenottoaika on, sijaitsee yleensä myös fyysisesti jäähdyttimen lähellä. Paluusuodatin on vasta jäähdyttimen jälkeen, joten tästä mittapisteestä otetusta

näytteestä suoritetusta mittauksesta nähdään öljyn mukana tankista painesuodattimen ohi järjestelmän kiertoon päässeiden sekä kyseisen linjan toimilaitteista ja komponenteista öljyyn tarttuneiden epäpuhtauksien yhteismäärä. Joissakin Lokotrack malleissa on vain yksi jäähdytin ja paluusuodatin, jolloin rinnakkaiset linjat yhtyvät siten, että paluupuolella on myös vain yksi mittapiste.

Karamurskaimien kiertovoitelujärjestelmissä on käytössä useita erimallisia voitelulaitteita. Yleisimmät voitelulaitemallit ovat vanhimmasta uusimpaan lueteltuna G –voitelulaite, Ranskalainen voitelulaite ja Nestepaineen voitelulaite. G –voitelulaitteessa tai sitä käyttävissä kiertovoitelujärjestelmissä ei ole suunniteltua näytteenottopaikkaa tai muutamaakaan kohtaa, josta näyte olisi helposti otettavissa. Ranskalaista voitelulaitetta käyttävien kiertovoitelujärjestelmien öljyä taas ei tule mitata hiukkaslaskimella, koska kyseisessä voitelulaitteessa on vain 60 mikronin suodatin, joten öljyssä saattaa esiintyä runsaasti isoja epäpuhtaushiukkasia, jotka saattavat tukkia hiukkaslaskimen. Jos tällaisen kiertovoitelujärjestelmän öljyä halutaan välttämättä tutkia, on hiukkaslaskenta suoritettava mikroskooppitutkimuksena (kts. kappale 3.3). Näin ollen vain Nestepaineen voitelulaitetta käyttävien kiertovoitelujärjestelmien voiteluöljylle voidaan tarvittaessa suorittaa hiukkaslaskentamittaus. Nestepaineen voitelulaitteeseen kuuluu vakiona mitta-adapteri, jonka sijainti on esitetty kuvassa 6. Näyteletku voidaan liittää kyseiseen mitta-adapteriin minimess -liittimellä.



KUVA 6 Mitta-adapterin sijainti Nestepaineen voitelulaitteessa.

5.2 Pullonäytemittaus

5.2.1 Tarvittavat välineet

Hiukkaslaskentaan kelpaavan pullonäytteen ottamiseen öljyjärjestelmästä tarvitaan näytepullo, mittaletku ja jäteöljyastia.

Hiukkaslaskentaa varten tarvittavalle öljynäytteen määrälle soveltuvin näytepullon koko on tilavuudeltaan 500 – 1000 ml. Pienin mahdollinen näytepullo, johon mittauksen suorittamiseen vaadittu määrä näyteöljyä saadaan, on 400 ml. Öljynäytteen ottamista käsittelevässä standardissa (SFS 5136 / ISO 4021) on ohjeistettu, että näytepullon suun tulisi olla sinetöity muovikalvolla, johon puhkaistaan näyteletkun halkaisijan suuruinen reikä näyteletkun päällä näytteenottoa aloitettaessa. Jos mahdollista, tulisi näytepulloksi olla hankittuna tällaisella muovikalvolla varustettu näytepullo, jonka valmistaja lisäksi vakuuttaa pullon olevan puhdistettu ja hyväksytysti tarkistettu täyttämään standardissa ISO 3722 hydraulinesteiden näyteastioille asetetut puhtausvaatimukset. Mikäli edellä mainittujen standardien mukaista näytepulloa ei ole käytettävissä, voidaan näytepullona käyttää myös muuta pulloa, joka on öljyn säilyttämiseen soveltuvaa materiaalia, suljettavissa korkilla ja esipuhdistettu mahdollisimman hiukkasvapaaksi. Näytepullon esipuhdistus tulee suorittaa huuhtelemalla pullo joko tarkoitukseen soveltuvalla liuottimella tai öljyllä, josta näytettä ollaan ottamassa. Huuhtelu tulee suorittaa täyttämällä näytepulloon huuhteluun käytettävää ainetta n. 1/4 näytepullon maksimitilavuudesta ja ravistamalla 30-60 sekuntia. Huuhtelu tulee toistaa 2-3 kertaa. Metso Mineralsin Suomen huoltopalveluilla on ainakin tällä hetkellä hankittuna tätä käyttötarkoitusta varten liuottimeksi erikoisbenssiini 80/110: tä. Mikäli huuhtelu suoritetaan mitattavalla öljyllä, tulee muistaa ensin suorittaa näyteletkun huuhtelu kappaleessa 5.2.2 esitetyllä tavalla, ja vasta tämän jälkeen näytepullon huuhtelu öljyllä, joka vastaa puhtaustasoltaan mahdollisimman hyvin mitattavaa öljyä. Huuhteluun käytetty öljy tulee huuhtelun suorittamisen jälkeen kaataa tarkoitukseen soveltuvaan jäteöljyastiaan ja hävittää asiaan kuuluvalla tavalla. [1] [7]

Kappaleessa 5.1 esitetyissä Lokotrackien tavallisimmissa näytteenottopaikoissa on mittaletkun liittämistä varten mittanipat, joissa on ulkokierteellinen minimess -liitin, joten mittaletkussa tulee öljyjärjestelmään liittämiseksi olla minimess -liitin

sisäkierteellä. Hydraulinesteen näytteenottoa käsittelevässä standardissa (SFS 5136 / ISO 4021) on mittaletkusta määritetty, että sen sisähalkaisija ei saa olla vähempää kuin 1,25 mm ja mikäli mittaletkussa käytetään muuta kuin pyöreää poikkileikkausta, ei pienin sisämitta saa olla alle 1 mm. Lisäksi standardin mukaisessa mittaletkussa tulee olla käsikäyttöinen palloventtiili, jolla mittaletkusta tulevaa öljyvirtausta voidaan säädellä. Kuten aiemmin todettua, Lokotrackien mittapisteissä on minimess -liittimet eikä pikaliittimiä, joten käsihanaa ei käytännössä tarvita, mikäli mittaus suoritetaan jostakin kappaleessa 5.1 esitetystä näytteenottoon tarkoitettua mittapisteestä. Virtauksen säätely onnistuu tällöin kiristämällä ja löysäämällä mittaletkun liittimen ja mittanipan välistä kierreliitosta. [1] [7]

Jäteöljyastiaksi kelpaa mikä tahansa vähintään 1,5 litran suuruinen öljyn säilyttämiseen soveltuva astia, joka voidaan tarvittaessa sulkea korkilla (esim kuljetuksen ajaksi). Suositeltu koko jäteöljyastialle on kuitenkin 2-5 litraa.

5.2.2 Näytteenotto

Ensimmäiset työvaiheet pullonäytteen ottamiseksi öljyjärjestelmästä hiukkaslaskentamittausta varten ovat mittapisteen valinta (kts. kappale 5.1), kappaleessa 5.2.1 esiteltyjen tarvittavien välineiden hankinta / mukaan ottaminen ja mitattavaan kohteeseen siirtyminen. Tässä kappaleessa esitellään pullonäytteen ottamiseen liittyvät työvaiheet näiden esivalmisteluiden suorittamisesta eteenpäin.

Ensimmäisenä työvaiheena mitattavassa kohteessa on valitun mittapisteen mittanipan puhdistus ulkoisesti, mikä tulee suorittaa ennen mittanipan suojatulpan avaamista ja voidaan tehdä esimerkiksi rätillä tai paineilmalla puhaltamalla. Tämän jälkeen voidaan suorittaa mittaletkun kiinnitys öljyjärjestelmään ja mittaletkun sekä liittimien huuhtelu. Mikäli käytettävässä mittapisteessä on pikaliitin, tulee käyttää standardin mukaista mittaletkua (kts. kappale 5.2.1), jossa on liittimen jälkeen vielä palloventtiili varmistamassa, ettei öljy ala virrata mittaletkusta heti pikaliittimen kiinnityksen jälkeen. Mikäli taas järjestelmässä on kierreliitoksella toimiva mittanippa, kierretään mittaletkun liitin ensin kierteilleen kuitenkin kiristämättä sitä niin tiukalle, että mittaletkusta alkaisi vielä tässä vaiheessa virrata öljyä. Kun mittaletku on asetettu paikalleen ja on varmistettu, että mittaletkusta tuleva öljy menee jäteöljyastiaan, voidaan aloittaa mittaletkun ja liittimien huuhtelu. Huuhtelu tehdään juoksuttamalla

riittävä määrä mitattavaa öljyä näytteenottolaitteiston läpi jäteöljyastiian, minkä jälkeen mittaletkun sisäpinnassa ja liittimissä oleva puhtaustaso vastaa mitattavaa öljyä. Tällöin niistä ei tartu näytteeseen sellaisia epäpuhtauksia, joita mitattavassa öljyssä ei kuulu olla, mikä taas parantaa mittaustarkkuutta. Standardin (SFS 5136 / ISO 4021) mukaan huuhteluun tulee käyttää vähintään 200 cm^3 (= 2 dl) nestettä, josta näytettä ollaan ottamassa. Isojen öljyjärjestelmien kyseessä ollessa huuhteluun on kuitenkin hyvä käyttää mieluummin useampi litra mitattavaa öljyä. [1] [7]

Kun mittaletku ja mittanippa on huuhdeltu, voidaan tässä vaiheessa vielä tarvittaessa suorittaa myös näytepullon huuhtelu käyttäen mitattavaa öljyä huuhteluun. Näytepullon huuhtelun tarpeellisuudesta ja suorittamisesta lisätietoa kappaleessa 5.2.1.

Kun kaikki näytteen kanssa kosketuksissa olevat pinnat on huuhdeltu edellä olevien ohjeiden mukaisesti, voidaan näyte laskea mittaletkua pitkin öljyjärjestelmästä näytepulloon. Standardin (SFS 5136 / ISO 4021) mukaan näytepullo tulee täyttää mitattavalla nesteellä siten, että näytteen määrä täyttää 50-75 % näytepullon tilavuudesta. Mittaustilanteessa näytettä tarvitaan vähintään 300 ml (= 3 dl), joten näytepulloksi on tällöin täytynyt valita kappaleessa 5.2.1 esitetyn mukaisesti pullo, jonka tilavuus on vähintään 400 ml. Kun riittävä määrä öljyä on saatu laskettua näytepulloon, tulee öljyvirtaus suunnata näytepullosta jäteöljyastiaan ennen virtauksen katkaisemista, koska venttiilin / kierrelitoksen asentoa muutettaessa irtoaa yleensä jonkin verran epäpuhtauksia mittaletkuun virtaavaan öljyyn. Tämän jälkeen näytepullon korkki tulee asettaa paikalleen mahdollisimman nopeasti, jotta näytepullon ei pääse ilmassa olevaa pölyä, ja vasta tämän jälkeen huolehditaan mittaletkuun tulevan öljyvirtauksen katkaisemisesta. [1] [7]

5.2.3 Hiukkaslaskentamittauksen suorittaminen pullonäytteestä

Ennen hiukkaslaskentamittauksen suorittamista pullonäytteestä on useita esivalmisteluvaiheita, jotka tulee suorittaa huolellisesti, jotta mittauksen tulosta voidaan pitää luotettavana. Ensimmäiseksi tulee silmämääräisellä tarkistelulla todeta, ettei näytepullossa ole vapaana esiintyvää vettä (huom! vesi painuu pullossa pohjalle) tai silmin havaittavan kokoisia hiukkasia. Mikäli näytteen silmämääräisessä tarkastelussa havaitaan jompaa kumpaa edellä mainituista, ei näytettä tule mitata optisella hiukkaslaskimella, sillä laite saattaa vaurioitua ja / tai mittauksesta ei saada oikeaa

tulosta. Tällöin näytteelle on parempi suorittaa mikroskooppinen hiukkaslaskenta. Metso Mineralsin huoltopalveluilla ei ole välineitä suorittaa mikroskooppista hiukkaslaskentaa itse, joten näyte täytyy lähettää tätä varten ulkopuolisen laboratorion tutkittavaksi. [8]

Normaalisti näytteen esikäsittelyn seuraavana vaiheena on lämmitys, jolla saavutetaan useita etuja. Osassa öljyistä käytetään lisäaineita, jotka saattavat jähmettyä jo huoneenlämmössä muodostaen öljyyn kiinteitä kasaumia, jotka hiukkaslaskin joko laskee epäpuhtaushiukkasiksi tai jotka huonoimmassa tapauksessa tukkivat laskurin. Lämmittämällä öljy normaaliin käyttölämpötilaansa ennen mittausta saadaan sulatettua sellaiset lisäaineiden jähmettymisestä johtuvat kasaumat, joita öljyssä ei normaalisti sen käytön aikana esiinny. Lämmittämistä voidaan käyttää myös korkeaviskositeettisten öljyjen viskositeetin pienentämiseen ennen mittausta. Tällöin öljy on suositeltavaa lämmittää n. 65 °C lämpötilaan. Tätä suositellaan öljyille joiden viskositeetti on ISO VG 150 tai sitä suurempi. Lämmittämistä voidaan lisäksi käyttää veden haihduttamiseksi näytteestä, mitä varten näytettä on suositeltu lämmitettäväksi yön yli n. 90 °C lämpötilassa. Metso Minerals Oy:n Suomen huoltopalveluiden tapauksessa on todettu että lämmittämistä ei tehdä, koska näytepullo on pidettävä auki lämmittämisen ajan, eikä yrityksen tiloissa ole mahdollista järjestää riittävän puhdasta tilaa, jossa näytteeseen ei tällöin pääsisi ulkopuolisia hiukkasia. [1] [8]

Seuraavina esikäsittelyvaiheina ovat näytteen sekoittaminen ja ilmakuplien poisto. Näyte täytyy sekoittaa huolellisesti, koska näytepullossa seisessä öljyssä kevyet hiukkaset (esim. tiivistekumeista murtuneet hiukkaset) ”kelluvat” ja raskaammat hiukkaset painuvat pohjalle. Öljynäytteen mittaamista optisella hiukkaslaskimella käsittelevässä standardissa ISO 11500 on ohjeistettu, että näytettä tulisi sekoittaa ravistamalla vähintään 60 sekunnin ajan. Näytettä ravisteltaessa öljyyn sekoittuu kuitenkin runsaasti ilmakuplia, jotka on saatava poistettua näytteestä ennen mittausta. Muuten ilmakuplat aiheuttavat saatuun hiukkaslaskentatulokseen niin suuria mittavirheitä, ettei mittaustulosta voida käytännössä hyväksyä. Näin ollen sekoittamista ei voida tehdä, ellei käytettävissä ole ilmakuplien poistoon soveltuvaa laitetta. Standardin ISO 11500 mukaan ilmakuplat tulisi poistaa joko käsittelemällä näytettä ultraäänipesurilla 30 sekunnin ajan tai kunnes näytteen pinnalle ei enää havaita nousevan ilmakuplia, tai laittamalla näytepullo alipaineastiaan kunnes näytteen pinnalle ei enää havaita nousevan ilmakuplia. Metso Minerals Oy:n Suomen huoltopalveluilla ei

tällä hetkellä ole käytössään laitetta, jolla ilmakuplat saadaan poistettua öljynäytteestä, mutta sellainen tulisi hankkia. Käyttötarkoitukseen soveltuu melko pienikin ultraäänipesuri ja esimerkiksi 2,5 litran altaalla varustettuja pesureita on saatavilla hyvin edullisesti, joten esitän sellaisen hankkimista. Kun öljynäytteen sekoituksessa syntyneiden ilmakuplien poistoon käytetään ultraäänipesuria, on näytepullon puhtauteen kiinnitettävä tavallistakin suurempaa huomiota. Jos näytepullon sisällä on pinttynyttä likaa, ultraäänikäsitteily irrottaa kaikki näytepullon sisäpinnassa kiinni olleet hiukkaset näytteen joukkoon. Ultraäänipesuria varten olisi hyvä myös hankkia sen seiniin kiinnitettävä teline, johon näytepullo voidaan asettaa käsittelyn ajaksi. Jos näytepullo on kosketuksissa ultraäänipesurin pohjaan, vaimenee ultraäänien ilmakuplia poistava vaikutus. [1] [8]

Sekoituksen ja ilmakuplien poiston jälkeen mittauksen suorittamista käsittelevässä standardissa ISO 11500 ohjeistetaan vielä kääntämään näytepullo hitaasti ja rauhallisesti 5 kertaa ympäri juuri ennen mittauksen aloittamista, kuitenkin varoen ilmakuplien sekoittumista näytteeseen enää tässä vaiheessa. Hiukkaslaskimen käytöstä on olemassa oma käyttöohjeensa, joten siihen ei keskitytä tässä työssä. Mittauksen suorittamisessa ja mittausasetusten valinnassa on kuitenkin muutamia huomioitavia asioita, jotka eivät niinkään liity laitteen käyttöön. Standardin ISO 11500 mukaan hiukkaslaskin tulisi aina eri mittauskertojen välissä huuhdella tarkoitukseen soveltuvalla liuottimella, minkä jälkeen samasta näytteestä tulisi suorittaa neljä peräkkäistä hiukkaslaskentamittausta. Näistä neljästä mittauksesta ensimmäinen tulisi hylätä ja varsinaiseksi lopputulokseksi huomioida kolmen jälkimmäisen mittauksen keskiarvo. Toinen mahdollinen suoritustapa (joka ei ole standardin mukainen) mittalaitteen huuhtelulle on käyttää mitattavaa öljyä (kuten esim. näytteenottoletkun ja liittimienkin huuhtelussa). Tällöin mittausasetuksista tulisi valita esihuuhteluajaksi vähintään 2 min (laitteen tilavuusvirta matalapainemittauksessa on 25 ml / min, joten tällöin huuhteluun käytettävän öljyn määrä on 50 ml). Tämän jälkeen voidaan suorittaa heti tarvittu kolme mittausta, joiden keskiarvosta saadaan lopullinen tulos. Kokenut mittaja voi myös ohittaa varsinaisen esihuuhteluohjelman ja laittaa hiukkaslaskimen suorittamaan mittausta näytteen syötön alusta asti, jolloin tuloksista on mahdollista nähdä koska tulokset peräkkäisten mittauskertojen välillä alkavat tasaantua lähelle toisiaan. Tästä tiedetään, että laitteessa edellisestä mittauskerrasta olleet hiukkasjämmät ovat huuhtoutuneet kokonaan pois eivätkä enää aiheuta mittavirhettä. Tätä tapaa käytettäessä tulee huomata, että mikäli tulokset siirretään myös tietokoneelle (kts. kappale 4.2 Pamas CMDM -

tietokoneohjelma), täytyy huuhtelujaksosta saadut mittaustulokset käydä siirron jälkeen manuaalisesti hylkäämässä, tai ne vaikuttavat tietokoneelta näkyvään mittauksien keskiarvotulokseen. [1] [8]

5.3 Online -mittaus

Online –mittauksessa näyte johdetaan suoraan öljyjärjestelmästä hiukkaslaskimeen, jolloin yhdistetään pullonäytemittauksen kaksi työvaihetta, eli näytteenotto ja mittauksen suorittaminen. Tällöin säästytään myös monilta sellaisilta näytteen käsittelyn työvaiheilta, joiden virheellisestä suorittamisesta saattaa aiheutua hiukkaslaskennan tulokseen mittavirheitä. Toisaalta online –mittauksessa ei ole mahdollista suorittaa tiettyjä, välillä tarpeen olevia, esikäsittelyitä näytteelle (mm. veden haihdutus öljynäytteestä kuumentamalla, hyvin likaisen näytteen laimennus mittausta varten). Metso Mineralsin Suomen huoltopalveluilla ei kuitenkaan ole resursseja näiden esikäsittelyiden suorittamiseen, joten käytännössä ainoastaan näytteen silmämääräinen tarkastelu näkyvän veden ja silmin havaittavan kokoisten hiukkasten varalta jää suorittamatta. Lisäksi näytettä ei jää säästöön mahdollista myöhempää mikroskooppianalyysia varten, ellei mitattavasta öljystä kuitenkin erikseen oteta näytettä myös näytepulloon. [1]

Mittauksen suorittamiseen tarvittaviin välineisiin kuuluu myös online -mittauksessa mittaletku ja jäteöljyastia, mutta näytepullon sijaan mitattavaan kohteeseen tarvitaan mukaan kannettava hiukkaslaskin sekä sen ulostuloletku poistovirtauksen ohjaamiseksi hiukkaslaskimelta jäteöljyastiaan. Mitattavalle öljyjärjestelmälle on muutamia rajoituksia. Online -mittausta ei saa suorittaa järjestelmästä, jonka paine ylittää 420 bar, koska tämä aiheuttaa hiukkaslaskurin vaurioitumisen (huom! laitekohtainen rajoitus, tämä raja koskee Pamas S40:llä suoritettavia mittauksia). Online -mittausta ei myöskään suositella suoritettavaksi öljyjärjestelmästä, jossa öljyn käyttölämpötila ylittää 90 °C, koska tämä aiheuttaa virheellisen mittaustuloksen. [1] [9]

Online –mittauksen suorittamisessa ensimmäisenä työvaiheena on mittanipan puhdistus ulkoisesti sekä mittaletkun ja liittimien huuhtelu, mikä suoritetaan juoksuttamalla öljyjärjestelmästä öljyä jäteöljyastiaan (kuten pullonäytemittauksessa). Tämän jälkeen öljyn virtaus mittaletkuun tulee katkaista (mittaletkun palloventtiilistä tai mittanipan ja mittaletkun liittimen välistä kierreltiosta löysäämällä) mittaletkun hiukkaslaskimeen

liittämisen ajaksi. Mittaletkun liittämisesä hiukkaslaskimeen tulee huomata, että nesteen kiertosuunta hiukkaslaskimessa on online –mittauksessa (= korkeapainemittaus) päinvastainen pullonäytemittaukseen (= matalapainemittaus) verrattuna, joten mittaletku ja poistoletku tulee kytkeä hiukkaslaskimeen päinvastoin kuin pullonäytemittauksessa (Kuva 4, s. 21). Ennen öljyvirtauksen päästämistä uudestaan mittaletkuun tulee varmistua, että hiukkaslaskimen ulostuloletkusta tuleva poistovirtaus menee jäteöljyastiaan. Seuraavana suoritetaan hiukkaslaskimen huuhtelu. Kuten pullonäytemittauksessa, mikäli hiukkaslaskin on pesty ennen käyttöä tarkoitukseen soveltuvalla liuottimella, hylätään ensimmäinen mittaustulos. Mikäli hiukkaslaskinta ei ole pesty liuottimella, huuhdellaan sitä mitattavalla öljyllä ajamalla huuhteluohjelmaa minimissään 2 minuuttia ennen varsinaisen mittauksen aloittamista tai suorittamalla peräkkäisiä mittauksia, kunnes tulokset alkavat tasaantua. Hiukkaslaskimen huuhtelun jälkeen suoritetaan kolme hyväksyttyä mittausta, joiden keskiarvo on hiukkaslaskennan lopullinen tulos. Mittausta lopetettaessa tulee huomioda, että öljyn virtaus mittaletkuun on katkaistava ja mittaletku on irrotettava ensin mitattavasta öljyjärjestelmästä, ja vasta tämän jälkeen mittaletku voidaan irrottaa hiukkaslaskimesta. [1] [9]

6 HIUKKASLASKENNAN TULOKSET

6.1 Kumulatiivinen ja differentiaalinen hiukkaslaskentatulos

Hiukkaslaskimella suoritettujen mittausten tulokset ilmoitetaan yleensä epäpuhtaushiukkasten kumulatiivisena ja / tai differentiaalisena määränä eri kokoluokissa sataa öljymillilitraa kohden (kpl / 100 ml). Useimmat nykyaikaiset kannettavat hiukkaslaskimet (esim. Pamas S40) mittaavat tuloksen 8:aan eri kokoluokkaan jaotelluille hiukkasille. Laboratoriomallisilla hiukkaslaskimilla tulos saadaan yleensä vielä tarkemmin jaoteltuna. Niillä voidaan saada mitattua hiukkaset esimerkiksi 16:ssa tai 32:ssa eri kokoluokassa. [1]

Kumulatiivisessa tuloksessa on tulostaulukon jokaisella rivillä esitetty tietyn kokoisten ja kaikkien sitä suurempien partikkelien määrä per 100 ml, kun taas differentiaalisessa tuloksessa esitetään yhdellä rivillä yhden kokovälin hiukkasten määrä per 100 ml (kts. Taulukko 4). Samalle mittaukselle sekä kumulatiivisena että differentiaalisena esitettynä tulos on suurimman kokoluokan hiukkasille siis sama, mutta mitä pienempään kokoluokkaan mennään, sitä suuremman luvun kumulatiivisesti ilmoitettu tulos antaa verrattuna differentiaalisena ilmoitettuun tulokseen. [1]

TAULUKKO 4. Esimerkki hiukkaslaskennan kumulatiivisella ja differentiaalisella mittaustavalla mahdollisesti mitattavista kokoluokista

Kumulat.	Different.
≥ 2 µm	2 - 5 µm
≥ 5 µm	5 - 10 µm
≥ 10 µm	10 - 15 µm
≥ 15 µm	15 - 20 µm
≥ 20 µm	20 - 25 µm
≥ 25 µm	25 - 50 µm
≥ 50 µm	50 - 100 µm
≥ 100 µm	> 100 µm

Öljynäytteessä esiintyvien erikokoisten hiukkasten kumulatiivisen ja / tai differentiaalisen laskentamäärän esittävän tulostaulukon eli hiukkaskokojakauman tarkastelu on öljynäytteen tulosta tarkastellessa vähintään yhtä tärkeää, kuin myöhemmin tässä kappaleessa esiteltyjen yksinkertaistettujen tulosten, öljyn

puhtausluokkien, tarkastelu. Itseasiassa puhtausluokkia ei ole pakko huomioida tulosten tarkastelussa ollenkaan, koska hiukkaskokojakaumasta selviävät kaikki samat asiat mitkä puhtausluokistakin. Usein hiukkaskokojakaumaa ja öljyn puhtausluokkaa on kuitenkin hyvä tarkastella rinnakkain, koska puhtausluokituksesta nähdään helpommin järjestelmän yleinen puhtaustaso, mutta hiukkaslaskentatuloksen yksinkertaistaminen saattaa samalla usein piilottaa järjestelmässä esiintyviä ongelmia. Jos käytetty puhtausluokitus ottaa kantaa myös hiukkaskokojakaumaan, on tärkeää tiedostaa suurin hiukkaskoko, jota puhtausluokituksessa tarkastellaan. Esimerkiksi yleisimmin käytetty puhtausluokitusjärjestelmä ISO 4406 ilmoittaa öljyn puhtausluokan kolmen numerokoodin sarjana, joista viimeinen luku kertoo kaikkien näytteestä laskettujen 14 μm ja sitä suurempien hiukkasten kokonaismäärästä. Tavallisesti hiukkasten lukumäärä muuttuu myös differentiaalisesti ilmoitetussa hiukkaslaskentatuloksessa sitä pienemmäksi, mitä suurempien hiukkasten lukumäärää tarkastellaan. Jos mitatusta näytteestä on kuitenkin laskettu poikkeuksellisen paljon reilusti yli 14 μm kokoisia hiukkasia, ei tämä välttämättä ilmene puhtausluokituksesta, koska erityisen suurien hiukkasten lukumäärä piiloittuu monen eri kokoluokan hiukkasten yhdistettyyn tarkastelujoukkoon. [1]

Mitattavan öljyjärjestelmän suodatustaso on myös tärkeää tiedostaa hiukkaskokojakaumaa tarkasteltaessa ja tulkittaessa. Esimerkiksi Metso Mineralsin valmistamien Lokotrack kivenmurskainten hydrauliiikkaöljyä suodatetaan yleisesti 10 μm suodatustasoon yltävällä painesuodattimella, joten hiukkaslaskentatuloksessa pitäisi näkyä selkeä pudotus tätä suurempien hiukkasten lukumäärissä.

Yleisesti ottaen isojen hiukkasten suuri määrä kertoo öljyjärjestelmässä olevista ongelmista, kuten alkavasta kulumisvauriosta tai suodatuksen toimimattomuudesta. Pääsääntöisesti näytteelle, josta on mitattu poikkeuksellisen paljon isoja hiukkasia, tulisi tehdä mikroskooppinen tutkimus hiukkaslaskentamittauksen tueksi. Tällöin saadaan selville näytteessä esiintyvien isojen hiukkasten materiaali ja mahdollinen alkuperä, sekä saadaan suljettua pois esim. vedestä tai ilmakuplista johtuvan mittavirheen mahdollisuus. Öljynäytteessä esiintyvät vesipisarot vaikuttavat yleensä eniten kokoluokkien 15 – 75 μm hiukkasten mittaustulokselle. Veden läsnäoloa näytteessä on siis syytä epäillä, jos hiukkaslaskennan tulos vaikuttaa epäilyttävän suurelta näissä kokoluokissa. [1]

6.2 Öljyn puhtausluokat

Hiukkaslaskennan tulos ilmoitetaan usein öljyn puhtausluokaksi muunnettuna, joka on useisiin eri kokoluokkiin jaoteltua taulukkoa helpommin luettavassa ja ymmärrettävässä muodossa. Öljyn puhtausluokan määrittämiseksi hiukkaslaskennan tuloksen perusteella on olemassa useita eri standardeja. Tässä kappaleessa esitellään yleisimmät käytössä olevat öljyn puhtausluokitusstandardit.

6.2.1 ISO 4406 (1999)

ISO 4406 (1999) standardin mukainen öljyn puhtausluokka ilmoitetaan kolmen eri kokoluokan kumulatiivisten hiukkaslaskentatulosten perusteella taulukon 5 mukaisesti määräytyvinä lukuina 0:sta 28:aan (0 tarkoittaa puhtainta ja 28 likaisinta puhtausluokkaa). Puhtausluokituksessa ilmaistaan tutkitun öljyn $\geq 4 \mu\text{m}$, $\geq 6 \mu\text{m}$ ja $\geq 14 \mu\text{m}$ kokoisten hiukkasten määrät ISO 1171:1999 standardin mukaisesti kalibroidulla hiukkaslaskimella mitattuna (ns. NIST –kalibrointi). Näin ollen ISO 4406 standardin mukaisesta puhtausluokituksesta saadaan öljyn yleispuhtauden lisäksi myös suuntaa antava käsitys öljyssä esiintyvien epäpuhtauksien hiukkaskokojakaumasta. [1]

TAULUKKO 5. Hiukkasten kumulatiiviset lukumäärät (/ 100 ml) ja niitä vastaavat ISO 4406 standardin mukaiset puhtausluokat

Hiukasmäärä / 100 ml		ISO-luokka
>	≤	
130.000.000	250.000.000	28
64.000.000	130.000.000	27
32.000.000	64.000.000	26
16.000.000	32.000.000	25
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

Hiukasmäärä / 100 ml		ISO-luokka
>	≤	
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
16	32	5
8	16	4
4	8	3
2	4	2
1	2	1
0	1	0

ISO 4406 mukaisessa puhtausluokitusmerkinnässä eri kokoalueiden hiukkaslaskentatuloksien tuottamat ISO -luokat ovat järjestyksessä pienimmän kokoluokan hiukkasten tuloksen mukaisesta puhtausluokituksesta suurimman kokoluokan hiukkasten mukaiseen puhtausluokitukseen, ja eri kokoalueiden hiukkasmäärien mukaiset puhtausluokitukset on eroteltu toisistaan kauttaviivoilla ($\geq 4 \mu\text{m}$ / $\geq 6 \mu\text{m}$ / $\geq 14 \mu\text{m}$). Koska ISO 4406 puhtausluokitukset määräytyvät eri kokoluokille saatujen kumulatiivisten hiukkaslaskentatuloksien perusteella, ei pienemmän kokoluokan hiukkasten mukainen ISO -luokitus voi olla parempi kuin suuremman kokoluokan mukainen ISO -luokitus. Eri kokoluokkien mukaisten ISO -luokitusten on kuitenkin mahdollista olla saman suuruiset (esim. 17 / 14 / 14). Yleensä eri kokoluokkien mukaisten tulosten välillä on eroa 2-3 puhtausluokan verran (esim. 19 / 17 / 14), jolloin tuloksen voidaan tulkita kuvaavan jokseenkin normaalia hiukkaskokojakaumaa. Jos eri hiukkaskokojen mukaisten puhtausluokkien välillä on eroa enemmän kuin 3 puhtausluokkaa, täytyy pohtia onko tutkitussa öljyjärjestelmässä jotain sellaista, mistä tällainen tulos voi aiheutua, vai onko hiukkaslaskentamittauksen suorittamisessa tapahtunut virheitä. Usein tällainen tulos saadaan mitattaessa sellaisen järjestelmän öljyä, jossa käytetään $10 \mu\text{m}$ suodatustarkkuutta. Tällöin suurimman tarkasteltavan kokoluokan ($\geq 14 \mu\text{m}$) hiukkaset suodattuvat pois öljystä, mutta kahden pienemmän kokoluokan hiukkaset eivät, jolloin öljyn puhtausluokitus saattaa olla esimerkiksi 20 / 18 / 11. [1]

6.2.2 ISO 4406 (1987)

Vanhan ISO 4406 standardin mukaan öljyn puhtausluokka ilmoitettiin vain kahdella eri numerokoodilla, jotka saatiin tutkitusta öljystä mitattujen 5 µm ja 15 µm kokoisten hiukkasten kumulatiivisista määristä hyvin samankaltaisesta taulukosta katsomalla kuin uudistetussakin ISO 4406 standardissa. Kun standardia alettiin uudistaa, oli siihen alunperin tarkoituksena vain lisätä hydrauliiikan sovellusten kiristyneistä öljynpuhtausvaatimuksista johtuen kolmas numerokoodi, joka ilmaisisi aiemmin käytettyjä koodeja pienempien (2 µm) hiukkasten määrän tutkitussa öljyssä, jolloin öljyn puhtausluokka olisi saatu hiukkaslaskennan tuloksista seuraavasti:

$\geq 2 \mu\text{m} / \geq 5 \mu\text{m} / \geq 15 \mu\text{m}$. [1]

ISO 4406 Standardin uudistamisen aikaan kuitenkin lopetettiin aiemmin hiukkaslaskimien kalibroinnissa käytetyn testipölyn valmistus, mistä johtuen hiukkaslaskimien kalibrointia käsittelevä standardi muuttui ja ISO 4406 standardin uudistus laitettiin usean vuoden ajaksi syrjään odottamaan hiukkaslaskimien kalibrointia koskevien epäselvyyksien ratkeamista. Tänä aikana (-90 luvulla) käytettiin yleisesti vanhan standardin mukaisten hiukkaskokojen perusteella johdettuja kolmekoodisia puhtausluokituksia (jossa kolmantena kokona oli siis 2 µm), vaikka tämä järjestelmä ei koskaan viralliseksi standardiksi tullutkaan. Kun ISO 4406 standardi lopulta uudistettiin, säädettiin puhtausluokkamäärityksissä käytettävät hiukkaskoot nykyiseen muotoonsa johtuen uudesta kalibrointisysteemistä, jonka mukaan hiukkasien koko alettiin mitata ja ilmoittaa niiden projisoitua pinta-alaa vastaavan ympyrän halkaisijana, kun vanhassa kalibrointijärjestelmässä hiukkaset mitattiin ja niiden koot ilmoitettiin niiden suurimman mitan mukaan. [1]

6.2.3 NAS 1638

NAS (American National Aerospace Standard) 1638 on vuonna 1964 julkaistu öljyn puhtausluokitusstandardi, joka on pääosin vanhentunut ja joka korvattiin lopullisesti vuonna 2001 nykyaikaistetulla standardilla SAE AS4059. NAS 1638 kehitettiin alunperin lentotekniikassa käytettyjen hydraulijärjestelmien tarkkailussa syntyneisiin tarpeisiin, mutta vaihtoehtoisten standardien puuttuessa se levisi -70 ja 80 -luvuilla useiden eri teollisuuden haarojen käyttöön. NAS 1638 standardin vanhentuminen on osin seurausta kappaleissa 6.2.1 ja 6.2.2 mainitusta hiukkaslaskimien

kalibrointisysteemin muutoksesta, sillä NAS 1638 luokitukset perustuvat vanhan kalibrointisysteemin mukaisella hiukkaslaskimella mitattuihin hiukkaskokoihin. Tarvittaessa öljylle voidaan yhä määrittää NAS 1638 mukainen puhtausluokitus mikroskooppisen hiukkaslaskennan avulla. Huolimatta vanhentumisestaan NAS 1638 standardia saattaa yhä tarvita vanhempien laitteiden kunnossapitotöissä, sillä se toimi 1980 –luvun loppupuolelle asti alan johtava standardina ja tuon aikaisten laitteiden ja komponenttien öljyn puhtaudelle asetetut vaatimukset ovat usein ilmoitettu NAS 1638 mukaisena puhtausluokkana. [1] [2] [10]

NAS 1638 standardin mukaisessa öljyn puhtausluokituksessa tarkastellaan viiden eri kokovälin hiukkasten differentiaalista hiukkaslaskentatulosta tutkittavalle öljylle. Kuten ISO 4406 standardissakin, muunnetaan mitatut hiukkasmäärät numerokodeiksi taulukon avulla (kts. Taulukko 6), mutta öljyn lopullinen NAS 1638 puhtausluokka ilmoitetaan vain yhden numerokoodin avulla. Ilmoitettavaksi puhtausluokaksi valitaan se luokka, joka saadaan huonoimman puhtausluokituksen antavan kokovälin hiukkasten määrästä. Eri puhtausluokkia on yhteensä 15 (00, 0-12 ja >12). Jos mitattavasta öljystä lasketaan enemmän jonkin kokoalueen hiukkasia kuin mihin taulukon arvot yltyvät, ilmoitetaan öljyn puhtausluokaksi kaikkein huonoin, eli >12. Koska puhtausluokka ilmoitetaan vain yhdellä numerolla ei siitä saada kuvaa öljyn epäpuhtauksien hiukkaskokojakaumasta ja puhtausluokka saattaa muutenkin antaa hyvin harhaanjohtavan kuvan öljyn todellisesta puhtaustasosta. [1] [2] [10]

TAULUKKO 6. NAS 1638 standardin mukaisen puhtausluokan määrittäminen öljylle hiukkaslaskentatuloksen (kpl / 100 ml) perusteella.

Luokka	5-15 µm	15-25 µm	25-50 µm	50-100 µm	>100 µm
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1
2	1000	178	32	6	1
3	2000	356	63	11	2
4	4000	712	126	22	4
5	8000	1425	253	45	8
6	16000	2850	506	90	16
7	32000	5700	1012	180	32
8	64000	11400	2025	360	64
9	128000	22800	4050	720	128
10	256000	45600	8100	1440	256
11	512000	91200	16200	2880	512
12	1024000	182400	32400	5760	1024

6.2.4 SAE AS4059 E

SAE AS4059 on NAS 1638 standardin pohjalta kehitetty uudenaikaisempi öljyn puhtausluokitusstandardi. SAE AS4059 E on tämän standardin uusin päivitysversio, joka on otettu käyttöön vuonna 2005. [1] [2]

SAE AS4059 E mukainen puhtausluokitus voidaan määrittää öljylle joko differentiaalisesti (Taulukko 7) tai kumulatiivisesti (Taulukko 8) ilmoitettujen hiukkaslaskentatulosten perusteella, ja kummassakin tapauksessa vielä sekä vanhan tai uuden kalibrointisysteemin mukaisesti suoritettun hiukkaslaskennan tuloksista. Määritettäessä öljyn puhtausluokitus vanhan kalibrointisysteemin mukaisesti mitatusta ja differentiaalisesti ilmoitetusta (Taulukko 7) hiukkaslaskentatuloksesta, on SAE AS4059 E yhtäpitävä vanhan standardin NAS 1638 kanssa. [1] [2]

SAE AS4059 E mukainen öljyn puhtausluokitus voidaan ilmoittaa kolmella eri tavalla. Ensimmäinen näistä tavoista on ilmoittaa vain huonoimman puhtausluokituksen antavan kokoluokan hiukkasten määrän perusteella määritetyn mukainen puhtausluokka, kuten NAS 1638 standardissa. Erona vanhan standardin mukaiseen tulosten ilmoitustapaan on tällöin kuitenkin se, että lisäksi ilmoitetaan puhtausluokan kertovan numeron perään lisättävällä kirjaimella, että minkä kokoisten hiukkasten määrän perusteella tuo luokka on määritetty (esim. 8C). Toinen tapa ilmoittaa öljyn puhtausluokitus SAE AS4059 E standardin mukaan on ilmoittaa yksi puhtausluokka, jonka useamman eri kokoalueen hiukkasille saatu hiukkaslaskentatulos vähintään täyttää. Tällöin ilmoitetaan myös puhtausluokan kertovan numeron perässä kirjainkoodilla kokoalueet, joilla kyseinen puhtausluokka on hiukkaslaskentatuloksessa toteutunut (esim. 8C-F). Kolmas vaihtoehto on ilmoittaa usean eri hiukkaskoon mukaiset puhtausluokat kauttaviivoilla toisistaan erotettuna, kuten ISO 4406 standardin mukaisessa öljyn puhtausluokan ilmoittamistavassa (esim. 8A/7B/8C, joka vastaa ISO 4406 mukaista luokitusta 19/16/15 tai 19/16/14, riippuen yli 14 µm hiukkasten tarkasta määrästä mitatussa näytteessä). [1] [2]

TAULUKKO 7. SAE AS4059 E standardin mukaisen puhtausluokituksen määrittäminen öljylle vanhan (1) tai uuden (2) kalibrointisysteemin mukaisesti mitatun differentiaalisen hiukkaslaskentatuloksen perusteella.

Classes	(1)	5-15 μm	15-25 μm	25-50 μm	50-100 μm	>100 μm
	(2)	6-14 $\mu\text{m(c)}$	14-21 $\mu\text{m(c)}$	21-38 $\mu\text{m(c)}$	38-70 $\mu\text{m(c)}$	>70 $\mu\text{m(c)}$
00		125	22	4	1	0
0		250	44	8	2	0
1		500	89	16	3	1
2		1000	178	32	6	1
3		2000	356	63	11	2
4		4000	712	126	22	4
5		8000	1425	253	45	8
6		16000	2850	506	90	16
7		32000	5700	1012	180	32
8		64000	11400	2025	360	64
9		128000	22800	4050	720	128
10		256000	45600	8100	1440	256
11		512000	91200	16200	2880	512
12		1024000	182400	32400	5760	1024

TAULUKKO 8. SAE AS4059 E standardin mukaisen puhtausluokituksen määrittäminen vanhan (1) tai uuden (2) kalibrointisysteemin mukaisesti mitatun kumulatiivisen hiukkaslaskentatuloksen perusteella.

Size code	(1)	>1 μm	>5 μm	>15 μm	>25 μm	>50 μm	>100 μm
	(2)	>4 $\mu\text{m(c)}$	>6 $\mu\text{m(c)}$	>14 $\mu\text{m(c)}$	>21 $\mu\text{m(c)}$	>38 $\mu\text{m(c)}$	>70 $\mu\text{m(c)}$
Classes	A	B	C	D	E	F	
000	195	76	14	3	1	0	
00	390	152	27	5	1	0	
0	780	304	54	10	2	0	
1	1560	609	109	20	4	1	
2	3120	1217	217	39	7	1	
3	6250	2432	432	76	13	2	
4	12500	4864	864	152	26	4	
5	25000	9731	1731	306	53	8	
6	50000	19462	3462	612	106	16	
7	100000	38924	6924	1224	212	32	
8	200000	77849	13849	2449	424	64	
9	400000	155698	27698	4898	848	128	
10	800000	311396	55396	9796	1696	256	
11	1600000	622792	110792	19592	3392	512	
12	3200000	1245584	221584	39184	6784	1024	

7 POHDINTA

7.1 Nykyiset mittaustavat ja kehitysehdotukset

Mittauksia suorittavien henkilöiden kanssa käymissäni keskusteluissa kävi ilmi, että näytteen ottamisen ja käsittelemisen aikana näytteeseen pääsevien ulkopuolisten epäpuhtauksien hiukkaslaskennan tulokseen aiheuttamat mittavirheet tiedostettiin pääasiassa hyvin. Näytteet osataan ottaa ja niitä osataan käsitellä siten, että mittauksesta aiheutuvat mittavirheet pysyvät mahdollisimman pieninä. Jonkin verran huonommin tunnuttiin tiedostavan mittapisteen valinnan merkitys (kts. kappale 5.1) ja mitä eri mittapisteistä otetuista näytteistä suoritettujen mittausten tuloksista saadaan selville. Murskaimissa käytettävissä kiertovoitelujärjestelmissä ei käytännössä ole mahdollisuutta suorittaa mittausta kuin yhdestä pisteestä (jos siitäkään). Voiteluöljyä huomattavasti useammin tutkitaan kuitenkin hydraulioöljyä ja Lokotrackien hydraulijärjestelmissä on yleensä sentään muutama mahdollinen näytteenottoaika, joista käytettävä mittapiste voidaan valita. Hydraulioöljyille suoritettavissa hiukkaslaskentamittauksissa pitäisi mielestäni pyrkiä jatkossa kiinnittämään aikaisempaa suurempaa huomiota mittapisteen valintaan ja pyrkiä paremmin ymmärtämään mitä eri asioita saadaan selville eri pisteistä otettujen näytteiden hiukkaslaskentatuloksista.

Kuten jo edellä todettua ainakin useimmat Metson Mineralsin Suomen huoltopalveluiden henkilöt, jotka mittauksia tavallisesti suorittavat, osaavat ottaa näytteen ja käsitellä sitä siten, että siihen pääsee mahdollisimman vähän ulkopuolisia epäpuhtauksia. Tästä huolimatta pullonäytteen ottaminen Lokotrackien tavallisissa käyttöympäristöissä siten, että näytteestä saadaan luotettava hiukkaslaskentatulokset, on usein lähes mahdotonta. Näytepullon korkin ollessa auki näytteen ottamisen kestävän ajan pääsee näytepulloon useimmiten ilmassa olevaa kivi- ja hiekkapölyä tai muita ulkopuolisia epäpuhtauksia. Tästä syystä mielestäni jatkossa tulisi suosia mahdollisimman paljon online -mittauksia, mikä vähentää tällaisia näytteen käsittelyvaiheita joissa näytteeseen pääsee ulkopuolisia epäpuhtauksia näytteen huolellisesta käsittelystä huolimatta. Online -mittauksien suosimista tukee myös se, että Metso Mineralsin Suomen huoltopalveluilla ei ole käytössään (eikä mahdollisuutta järkevästi järjestää käyttöönsä) laitteita pullonäytteiden sellaisien esikäsittelyvaiheiden

suorittamiseksi, joilla mittaustuloksen tarkkuutta voitaisiin parantaa (esim. näytteen kuumennus veden poistamiseksi, liian paljon hiukkasia sisältävän näytteen laimennus).

Koska Metso Mineralsin Suomen huoltopalveluiden käytössä on vain yksi hiukkaslaskin ja mittauksia suorittavat useat eri henkilöt, ei kukaan voi eikä saa pitää hiukkaslaskinta jatkuvasti mukanaan huoltoautossaan. Tästä syystä online –mittauksen suorittaminen on käytännössä mahdollista vain, jos öljyn puhtauden tutkimisesta on puhuttu asiakkaan kanssa jo ennen huoltokäyntiä ja hiukkaslaskin on näin ollen osattu erikseen ottaa mukaan kyseiselle huoltokäynnille. Usein tarve öljyn puhtauden tutkimiselle tulee kuitenkin ilmi muista syistä tehtävien huoltokäyntien yhteydessä, mistä syystä kaikilla näytteen ottamisen ja mittauksen suorittamisen hallitsevilla henkilöillä olisi hyvä olla pullonäytteen ottamiseen tarvittavat välineet (kts. kappale 5.2.1) huoltoautonsa varusteisiin kuuluvina esineinä. Koska useimmat Metso Mineralsin Suomen huoltopalveluiden suorittamat hiukkaslaskentamittaukset tullaan todennäköisesti jatkossakin olosuhteiden pakosta suorittamaan pullonäytteistä, tulisi pullonäytteiden mittausta varten ehdottomasti hankkia kappaleessa 5.2.3 esittämäni mukaisesti laite, jolla öljynäytteestä saadaan poistettua näytteen sekoittamisesta aiheutuvat ilmakuplat. Tällä hetkellä pullonäytteitä ei käytännössä voida sekoittaa ennen mittausta, joten niistä tehdyistä mittauksista ei näin ollen myöskään saada luotettavia tuloksia.

Metso Mineralsin Suomen huoltopalveluilla on jo hankittuna ja olemassa kappaleessa 4.2 esitelty tietokoneohjelma, jonka avulla käytössä olevan hiukkaslaskimen käyttömahdollisuuksia saataisiin laajennettua. Kyseistä tietokoneohjelmaa ei hyödynnetä tällä hetkellä, mutta sen käyttöönottamisella saataisiin mielestäni lisäarvoa hiukkaslaskenta mittauksien suorittamiseen. Kyseinen tietokoneohjelma tulisi ottaa käyttöön ja sen avulla tulisi luoda ja siirtää hiukkaslaskimen muistiin kiinteät esiasetukset yleisimpiä mittauskohteita varten, mikä tekisi hiukkaslaskimen käytön helpommaksi ja nopeammaksi sekä lisäisi hiukkaslaskenta tuloksien vertailukelpoisuutta, kun kaikki samankaltaisista öljynäytteistä suoritettut mittaukset olisi suoritettu samoja mittausasetuksia käyttäen. Edelleen, tietokoneohjelmaa tulisi mielestäni alkaa hyödyntää myös mittaustulosten tallentamiseen ja esim. tutkittujen koneiden sarjanumeroiden perusteella jaotellun sähköisen mittaustuloskirjaston luomisella mittauksien suorittamisesta saataisiin jatkossa aiempaa suurempi hyöty.

Koska hiukkaslaskentamittauksen tuloksesta nähdään kuitenkin vain öljyssä esiintyvien epäpuhtauksien koko ja määrä tarvitsee öljynäytteelle suorittaa mikroskooppinen tutkimus, mikäli halutaan saada selville myös epäpuhtauksien laatu. Joissakin tilanteissa öljyn puhtaustutkimukselle saadaan selkeää lisäarvoa, jos saadaan selvitettyä myös mitä ainetta epäpuhtaudet ovat ja minkä kulumismekanismien myötä järjestelmän kulumisesta tulleet epäpuhtaudet ovat irronneet öljyyn. Myös itse hiukkaslaskenta saatetaan joutua suorittamaan mikroskooppisesti, mikäli esimerkiksi pullonäytteessä on silmin havaittavan kokoisia hiukkasia ja pelätään optisen hiukkaslaskimen tukkeutumista tai mikäli näytteessä havaitaan tai epäillään olevan niin paljon vettä, että hiukkaslaskennalle ei saada optisella hiukkaslaskimella luotettavaa tulosta. Metso Mineralsin Suomen huoltopalvelut suorittavat öljyn puhtauden tutkimuksia ja hiukkaslaskentamittauksia kuitenkin sen verran harvoin, että mikroskooppisia tutkimuksia varten ei ole kannattavaa alkaa hankkia laitteita tai palkkaamaan siihen koulutettua henkilöä. Mikroskooppisen tutkimuksen hyödyntämistä öljynäytteen analysointimenetelmänä tulisi kuitenkin mielestäni alkaa hyödyntämään aina tarvittaessa, ja tätä varten olisi syytä kartoittaa ulkopuolinen toimija, jolle öljynäyte voitaisiin aina tarvittaessa lähettää mikroskooppista tutkimusta varten.

LÄHTEET

- [1] Rinkinen, J., Multanen, P., Elo, L. & Niiranen, E. 2014. Pamas 2014 käyttäjäpäivä. Nestenäytteiden hiukkaslaskentakoulutus. Tampereen teknillinen yliopisto: Hydrauliiikan ja automatiikan laitos.
- [2] Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 2013. Hydrauliteknikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- [3] CMDM Software User Manual (PAMAS Partikelmess- und Analysesysteme GmbH, 2010)
- [4] Pamas CMDM brochure (finnish). Ladattu 20.10.2014
<http://www.pamas.de/SOFTWARE/PAMAS-CMDM>
- [5] Stecki, J. 1998. Total Contamination Control. Australia: Fluid Power Net Pty Ltd.
- [6] Niiranen E. 2010. On Line –hiukkaslaskenta – Automaattinen valvonta suoraan öljyjärjestelmästä. Fluid –verkkolehti 1/2010, 24. Luettu 7.11.2014
http://issuu.com/sly_flash/docs/fluid_1_2010/25
- [7] SFS 5136. Hydrauliteknikka. Hiukkasepäpuhtausanalyysi. Nestenäytteiden otto toiminnassa olevan järjestelmän putkistosta. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 1985. 3 s.
- [8] ISO 11500. Hydraulic fluid power. Determination of the particulate contamination level of a liquid sample by automatic particle counting using the light-extinction principle. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 1985. 3 s.
- [9] Käyttöohje. Pamas S40. Kannettava hiukkaslaskin. (PAMAS Partikelmess- und Analysesysteme GmbH Suomen toimisto)
- [10] Day, M. 2002. What happened to NAS 1638?. Practicing Oil Analysis –lehti 11/2002. Luettu verkossa 26.11.2014.
<http://www.machinerylubrication.com/Read/409/nas-1638>

LIITTEET

Liite 1. Työohje pullonäytemittauksen suorittamiseen

1 (4)

Työohje

Pullonäytteen ottaminen öljyjärjestelmästä ja hiukkaskaskentamittauksen suorittaminen pullonäytteestä

- Näytteenotossa tarvittavat välineet
 - Näytepullo (min. 400 ml, mieluummin 500 ml – 1000 ml)
 - Huuhtelu liuottimella tai öljyllä, jota ollaan mittaamassa.
 - Täytä pullo huuhteluaineella n. ¼ maksimitilavuudestaan ja ravista 30–60 s.
 - Hävitä huuhteluun käytetty aine asianmukaisesti (esim. kaatamalla jäteöljyastiaan)
 - Toista huuhtelu 2 – 3 kertaa.
 - Jäteöljyastia (min. 1,5 l; mieluummin 2 – 5 l)
 - Mittaletku

- **Työturvallisuus**
 - Huomioi kaikki yleiset ja työmaakohtaiset turvamääräykset
 - Varo öljysuihkua ja tutkittavan koneen työliikkeitä sekä muita alueella työskenteleviä koneita
 - Jos näytettä ei voida ottaa turvallisesti, tulee näyte jättää ottamatta
- **Näytteenoton työvaiheet**
 1. Mittapisteen valinta
 - Mittaus tulee voida suorittaa vaivasta pistteestä turvallisesti ja ilman kohtuutonta vaivaa
 - Näyte otettava mahdollisuuksien mukaan turbulensstivirtaavasta öljystä, jolloin näyte edustaa paremmin tutkittavan öljyn koko tilavuuden epäpuhtausastoa
 - Pyrittävä ymmärtämään mistä kohtaa öljyjärjes telmän kiertoa näyte on otettu ja miten tämä vaikuttaa näytteelle suoritettun hiukkaslas kerran tuloksesta saataviin tietoihin

Huomi!

Pienimmät mitattavat hiukkas et ovat kooltaan 2 µm, eikä niitä näin ollen voi silmin havaita. Suorita siis kaikki seuraavalla sivulla ohjeistetut näytteen käsittelyyn liittyvien esineiden puhdistamiset ja huuhtelut huolellisesti, sillä vaikka kys eiset esineet näyttävät puhtailta niissä voi silti olla runsaasti hiukkasia, jotka aiheuttavat näytteen sekoituessaan mittavirheitä hiukkaslas kerran tulokseen

- **Näytteenoton työvaiheet (jatkoa)**

2. Mittanipen puhdistus ulkoisesti (esim. rätillä tai paineilmalla.)
3. Mittaletkun ja liittimien huhtelu
 - Varmista, että mittaletku on suunnattu jäteöljyasiaan
 - Juokseuta huhtelun riittävä määrä mitattavaa öljyä mittaletkun läpi jäteöljyasiaan. Standardin ISO 4406 mukaan vähintään 2 dl, mutta isojen öljyjärjestelmien kyseessä ollessa mieluummin useampi litra
4. Jos näytepullon ei ole huuhdeltu liuotimella valmiksi, se tulee huuhdella tietyssä vaiheessa (mittaletkun ja liittimien huhtelun jälkeen) jolloin näytepulorin huhteluun käytettävän öljyn puhtaustaso vastaa mahdollisimman hyvin mitattavan öljyn puhtaustasoa
5. Laske öljynäyte näytepulloon. Pyri olemaan katkaisematta öljyn virtausia mittaletkun huhtelun ja näytteenoton välillä tai kesken näytteenottamisen (öljyn virtauksen katkaiseminen ja uudelleen avaaminen irrottaa liuotusta mittaletkuun virtaavaan öljyyn näytteesseen kuuluville epäpuhtauksia)
 - Näytteen määrä 60 – 75% näytepulon tilavuudesta. Kuitenkin vähintään 300 ml
6. Kun näytettä on pullossa riittävästi, suuntaa öljyvirtaus näytepullosta jäteöljyasiaan ja sulje näytepulon korkki mahdollisimman nopeasti. Katkaise öljyn virtaus mittaletkuun vasta lämmän jälkeen

• Hiukkaslaskentamittauksen suorittaminen pullonäytteestä

1. Tarkastele silmämääräisesti ettei näytepullossa ole vapaana esillä olevaa vettä tai silmin havaittavan kokoisia hiukkasia
 - Jos näytteessä havaitaan jompaa kumpaa, jätä näyte mittaamatta hiukkaslaskimella ja lähetä näyte tarvittaessa mikroskooppiseen tutkimukseen
2. Jos mahdollista, lämmitä näyteöljyn käyttölämpötilaan. Näytepullon korkki pitää avata tai ainakin löysätä lämmittämisen ajaksi. Jos käytettävissä ei ole lämmittämiseen soveltuvaa laitetta, joka on sijoitettu riittävän puhtaaseen tilaan, jätä näyte lämmittämättä
3. Sekoita näyte ravistelemalla pulloa voimakkaasti vähintään 60 s. Varmista ennen ravistelua, että näytepullon korkki on kunnolla kiinni. Jos käytössä ei ole näyteeseen sekoittuvan ilmakuplien poistoon soveltuvaa laitetta, jätä näyte sekoittamatta.
4. Poista näytteen sekoittamisessa syntyneet ilmakuplat käsittelemällä näytettä ultraäänipesurilla tai alipaineastiasa, kunnes näytteen pinnalle ei enää nouse ilmakuplia
 - Ultraäänipesurilla käsiteltäessä näytepullon korkki on oltava kunnolla suljettuna ja pullo tulisi asettaa pesurin seimiin kiinnitettyyn telineeseen. Jos pullo on kosketuksissa pesurin pohjaan, ultraäänien ilmakuplia poistava vaikutus vaimenee.
5. Käännä näytepullo vielä hitaasti 5 kertaa ympäri juuri ennen mittauksen aloittamista
 - Varo ilmakuplien sekoittumista näyteeseen enää tässä vaiheessa
6. Mittausasetuksen valinta ja hiukkaslaskentamittauksen suorittaminen hiukkaslaskimen käyttöohjeen mukaisesti. Varmista ennen aloittamista että hiukkaslaskimen poistotekä on suunnattu jäteöljyastianant
 - Esihuuhdeltu 2 min tai suorittamalla ”mitauksia”, kunnes tulokset tasaantuvat
 - 3 peräkkäistä hyväksytyä mittausa, joiden keskiarvo lopullinen tulos
 - Pyri säästämään näytepullon sen verran (min. 50 ml) näyteöljyä, että tarvittaessa mahdollista tehdä vielä erikseen mikroskooppinen tutkimus samalle näytteelle
7. Tulosten siinäminen tietokonealle

Työohje

Hiukkaslaskentamittauksen suorittaminen online -mittauksena

- Mittauksessa tarvittavat välineet
 - Kannettava hiukkaslaskin
 - Jäteöljyastia (min. 1,5 l; mieluummin 2 – 5 l)
 - Mittaletku
 - Hiukkaslaskimen poistoletku
- Työturvallisuus
 - Huomioi kaikki yleiset ja työaikohtaiset turvamääräykset
 - Varo öljysuihkua ja tutkittavan koneen työliikkeitä sekä muita alueella työskenteleviä koneita
 - Jos mittausta ei voida suorittaa turvallisesti, tulee mittaus jättää tekemättä

- **Rajoitukset**
 - Älä suorita online -mittausta, jos
 - tutkittavan öljyn käyttölämpötila on yli 90 °C
 - öljyjärjestelmän paine on yli 420 bar (Laitte kohtainen rajoitus. Tämä raja Pamas S40 hiukkaslaskimelle. Tarkista raja laitteen käyttöohjeesta käyttäessä muuta hiukkaslaskinta)
 - on syytä epäillä että öljy on niin likaista tai että öljyssä on niin isoja hiukkasia että hiukkaslaskiin voi tukkeutua tai vaurioitua
 - em. tapauksissa ota tarvittaessa pullonäyte ja lähetä öljynäyte mikroskooppiseen tutkimukseen
- **Mittauksen suorittamisen työvaiheet**
 1. Mittapisteen valinta
 - Mittaus tulee voida suorittaa vainusta pisteestä turvallisesti ja ilman kohtuutonta vaivaa
 - Mittaus on suoritettava mahdollisuuksien mukaan turbulenssittain viiteavasta öljystä, jolloin mittauksen tulos edustaa paremmin tutkittavan öljyn koko tilavuuden epäpuhtausastoa
 - Pyrittävä ymmärtämään mistä kohtaa öljyjärjestelmän kiertoa mittausta on suoritettu ja miten tämä vaikuttaa mittauksen tuloksesta saataviin tietoihin

Huom!

Pienimmät mitattavat hiukkaset ovat kooltaan 2 µm, eikä niitä näin ollen voi silmin havaita. Suorita siis kaikki seuraavalla sivulla ohjeistetut mittauksen suorittamiseen liittyvien esineiden puhdistamiset ja huuhtelut huolellisesti, sillä vaikka kyseiset esineet näyttäisivät puhtailta niissä voi silti olla runsaasti hiukkasia, jotka aiheuttavat näytteeseen sekoittuessaan mittavirheitä hiukkaslaskennan tulokseen

- **Mittauksen työvaiheet (jatkoa)**

2. Mittanipain puhdistus ulkoisesti (esim. rätillä tai paineilmalla)
 3. Mittaletkun ja liittimien huuhtelu
 - Varmista, että mittaletku on suunnattu jäteöljyasiaan
 - Juokautu huuhteluun riittävä määrä mitattavaa öljyä mittaletkun läpi jätetoijysastiaan. Stencardin ISO 4406 mukaan vähintään 2 dl, mutta isoja öljyjärjestelmien kysymässä oikessa mieluummin useampi litra
 4. Katkaise öljyn virtaus mittaletkusta ja iläi mittaletku hiukkasleskimen
 - **Huom!** Korkeapainemittauksessa öljyn kiertosuunta hiukkasleskimessä päinvastainen kuin matalapainemittauksessa
5. Suuntaa hiukkasleskimen ulostuloletusta tuleva poistovirtaus jätetoijysastiaan ja laita hiukkasleskin päälle
 6. Mittausasetuksen valinta ja hiukkasleskento mittauksen suorittaminen hiukkasleskimen käyttöohjeen mukaisesti
 - esihuuhtelu vähintään 2 min tai suositellailla "mittauksis", kunnes tuloksettassantuvat
 - 3 peräkkäistä hyväksyttyä mittausta, joiden keskiarvo bpullinen tulos
 7. Katkaise öljyn virtaus mittaletkusta ja irrota mittaletku ensin öljyjärjestelmän mittanipainasta ja vasta tämän jälkeen hiukkasleskimestä
 8. Jos tuloksen perusteella näyttää tarpeellisella ulatöijyslä vielä pullonäytelimituskuoppisla ulkinnuulala valitei
 9. Tulosten siirtäminen tietokoneelle