



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

OVENSULKIMEN VALMISTUSPROSESSIN PUHTAUDEN KEHITTÄMINEN

Diplomityö

Tarkastajat: professori Jari Rinkinen,
professori Kari Koskinen
Tarkastajat ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekunnan tiedekuntaneuvoston kokouksessa 13.
elokuuta 2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

VALTONEN, TUURE: Ovensulkimen valmistusprosessin puhtauden kehittämisen

Diplomityö, 98 sivua, 11 liitesivua

Maaliskuu 2015

Pääaine: Tuotekehitys

Tarkastaja: Professori Jari Rinkinen, Professori Kari Koskinen

Avainsanat: Ovensuljin, hydrauliiikan puhtaus, öljyn puhtaus, komponenttien puhtaus, valmistusprosessi

Ovensuljin on tuote, jota voidaan pitää rakenteensa sekä toimintansa perusteella eräänlaisena hydraulijärjestelmänä. Ovensulkimen tuotekehitystyössä on huomattu, että ovensulkimen sisällä kiertävä öljy on likaista sekä tuotteen toiminnassa on ongelmia. Hydraulijärjestelmien hyvän toiminnan kannalta on tärkeää että järjestelmä on mahdollisimman puhdasta eli kiertävässä öljyissä esiintyy mahdollisimman vähän epäpuhtauksia. Hydraulijärjestelmän puhtautta voidaan mitata öljystä sekä järjestelmän eri komponenteista. Ovensulkimen tapauksessa sen puhtauteen vaikuttaa koko valmistusprosessi, minkä takia tutkimus käsittelee valmistusprosessin puhtautta.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ovensulkimen nykyinen puhtaustaso sekä epäpuhtauksien lähteet. Lisäksi tavoitteena oli selvittää kuinka epäpuhtaudet vaikuttavat sulkimen toimintaan, miten epäpuhtauksia voidaan mitata ja löytää puhtaustaso, jolla suljin toimii täysin vaatimuksien mukaisesti.

Työssä esitellään aluksi ovensulkimen rakenne, toiminta sekä valmistusprosessi, joiden tarkoituksena on pohjustaa ja selventää tutkimustyötä. Tämän jälkeen esitellään hydraulijärjestelmien puhtauden eri tekijöitä sekä puhtauden mittaamenetelmiä. Tutkimustyössä ovensulkimelle suoritettiin toiminnallisia testauksia sekä puhtausmittauksia, joissa mitattavana olivat sulkimessa oleva sekä sulkimeen täytettävä öljy ja sulkimen eri komponentteja. Valmistusprosessin eri vaiheet tutkittiin myös puhtauden osalta, jotta saataisiin selville epäpuhtauslähteitä.

Yhdessä ovensulkimen toiminnan testausten, puhtausmittaustulosten sekä valmistusprosessin tutkimuksella saatiin merkittäviä tuloksia. Ovensuljin osoittautui sisältävän paljon epäpuhtauksia, joilla todettiin olevan yhteyttä toimintahäiriöihin. Merkittävimmiksi epäpuhtauslähteiksi ilmenivät ovensulkimen komponenttien koneistus, niiden pesun puutteellisuus sekä likainen käsittely ja sulkimen kokoonpano. Lisäksi ovensulkimen öljyntäyttökone ja sen karkea suodatus osoittautui vaikuttavan myös sulkimen lopulliseen puhtauteen.

Puhtauden kehittämiseksi merkittävimpiä toimenpiteitä ovat ovensulkimen komponenttien oikeanlainen pesu sekä näiden lialle arkojen komponenttien puhdas käsittely ja kokoonpano. Tämän lisäksi ovensulkimen öljyntäyttökoneen suodatuksen päivittämisellä voidaan saada merkittäviä parannuksia ovensulkimen puhtauteen.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical engineering

VALTONEN, TUURE: Development of the cleanliness of the manufacturing process of door closer

Master of Science Thesis, 98 pages, 11 Appendix pages

March 2015

Major: Product Development

Examiner: Professor Jari Rinkinen, Professor Kari Koskinen

Keywords: Door Closer, manufacturing process, oil cleanliness, component cleanliness

Door closer is a product which can be considered as some kind of a hydraulic system. During the product development of door closer it has been found that oil which circulates inside the closer is impure and there are some malfunctions of the product. It is important in the proper function of a hydraulic system that it is as clean as possible. In other words there are as a small amount of impurities as possible in the circulating oil. The cleanliness of a hydraulic system can be measured from oil and components of a system. In the case of a door closer the whole manufacturing process affects to the cleanliness of a closer. That is why this research is about the cleanliness of the manufacturing process.

The meaning of this research was to find out current cleanliness level and the sources of impurities of the door closer. In addition, the goal was to find out how the impurities affects to the function of the door closer, how these impurities can be measured and find out a cleanliness level in which the door closer works in full accordance with the requirements.

At the beginning of the work presents the structure, function and the manufacturing process of the door closer to prime and clarify the research work. After this the different factors of cleanliness and cleanliness measurement methods of a hydraulic system are presented. During the research work functional tests and cleanliness measurements were done for the door closer. Measurements were done for the oil inside the closer, the oil that is filled in the closer and different components of the closer. The steps of manufacturing process were also examines in case of cleanliness to find out information about sources of impurities.

Significant results were achieved together with functional tests, cleanliness measurements and examination of the manufacturing process. Impurities were found to be a lot inside the door closer and this was noted to have connection with malfunctions. The most significant sources of impurities turned out to be machining of the door closer components, the lack of their washing and their impure handling and assembly. In addition, oil filling machine of the door closer and its coarse filtering turned out to affect to the final cleanliness of the closer.

The most significant actions to develop the cleanliness are a right kind of washing process for the components of door closer and clean handling and assembly of these dirt-sensitive components. In addition, upgrading the filtering of the oil filling machine of a door closer can result to significant improvements in the cleanliness of door closer.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty toimeksiantona Abloy Oy:n Door Control -liiketoimintayksikölle helmikuun 2014 ja maaliskuun 2015 välisenä aikana. Työn rahoitti Tampereen teknillisen yliopiston tukisäätiö.

Kiitän työni tarkastajia professori Jari Rinkistä hydrauliiikan ja automaatiotekniikan laitokselta sekä professori Kari Koskista kone- ja automaatiotekniikan laitokselta. Haluan kiittää myös kumpaakin työhöni liittyvistä kommentteista sekä ohjauksesta. Lisäksi kiitän Jari Rinkistä vinkeistä ja erittäin tärkeän aineiston toimittamisesta, mikä oli olennainen osa työtä varten.

Abloyn puolelta kiitän työni ohjaajia Harri Saastamoista ja Vesa Kärkkäistä tärkeästä ohjeistuksesta ja opastuksesta. Lisäksi haluan kiittää muuta Door Controlin porukkaa avusta, vinkeistä ja hyvästä seurasta diplomityöprosessin aikana. Abloyta haluan vielä kiittää mielenkiintoisesta aiheesta ja upeasta mahdollisuudesta.

Lopuksi suuri kiitos perheelleni ja ystäväilleni tuesta diplomityöprosessin ja koko opintojen ajalta.

Joensuussa 13.3.2015

Tuure Valtonen

SISÄLLYS

Abstract	ii
Termit ja niiden määritelmät	vii
1 Johdanto	1
2 Ovensulkimen ja sen valmistusprosessin esittely	4
2.1 Ovensulkimen tehtävä	4
2.2 Ovensulkimen rakenne ja toimintaperiaate	5
2.3 Ovensulkimen valmistusprosessi	7
2.4 Tutkimuksen alkutilanne ja aiemmat puhtaustutkimukset	10
2.4.1 Aiemmat ovensulkimen puhtauteen liittyvät tutkimukset	10
3 Hydraulijärjestelmien puhtaus ja siihen liittyvät tekijät	12
3.1 Epäpuhtaudet, niiden haitat sekä koko hydraulijärjestelmässä	12
3.1.1 Kemialliset epäpuhtaudet	12
3.1.2 Kiinteät hiukkaset	12
3.1.3 Epäpuhtauksien aiheuttamat haitat ja seuraukset	13
3.1.4 Hiukkasten koko	15
3.2 Hydraulinesteen ominaisuudet	18
3.2.1 Viskositeetti	19
3.2.2 Hydraulinesteen puhtaus	20
3.3 Hydraulijärjestelmän ja -komponenttien puhtaus	22
3.3.1 Epäpuhtauslähteiden tarkastelu	23
3.3.2 Komponenttien pesu	24
3.4 Hydraulijärjestelmien suodatusmenetelmät	25
3.4.1 Suodattimien toimintaperiaate	26
3.4.2 Suodattimien ominaisuudet	28
3.4.3 Suodattimien sijoitus	30
3.4.4 Suodattimien valinta	33
3.4.5 Pesukoneiden suodattimet	36
4 Hydraulijärjestelmän puhtauden mittaamenetelmiä	37
4.1 Öljyn puhtauden mittaus	37
4.1.1 Pullonäyte	38
4.1.2 Online-mittaus	39
4.1.3 Inline-mittaus	39
4.1.4 Hiukkaslaskimet ja -laskennan periaatteet	39
4.2 Komponenttien puhtauden mittaus	42
4.2.1 Mittausmenetelmät	42
4.2.2 Mittaustulosten esitystapa	43
5 Ovensulkimen toiminnan testaukset, puhtausmittaukset ja -mittaustulokset	44
5.1 Ensimmäiset ovensulkimen toiminnan testaukset	44
5.1.1 Sulkimien toiminnan havainnot	45

5.1.2	Öljyn tilan ja säätöruuvien tarkastelu	45
5.1.3	Puhtausmittausten teettäminen	47
5.2	Ensimmäiset öljyn puhtausmittaukset	47
5.2.1	Näytteenotto öljytynnyristä	48
5.2.2	Näytteenotto öljysäiliöstä	49
5.2.3	Näytteenotto ovensulkimista	50
5.3	Ensimmäisten öljyn puhtausmittausten tulokset	52
5.3.1	Hiukkasjakaumat ja membraanikuvat	53
5.4	Ovensulkimen toiminnan jatkotestaukset	55
5.4.1	Testattavat ovensulkimet	55
5.5	Toiset puhtausmittaukset	57
5.5.1	Öljynäytteet	57
5.6	Toisten öljyn puhtausmittausten tulokset	59
5.6.1	Hiukkasjakaumat ja membraanikuvat	60
5.7	Öljyn puhtausmittaustulosten tarkastelu	61
5.7.1	Sulkimeen täytettävä öljy	62
5.7.2	Ovensuljinten öljynäytteet	62
5.8	Ovensulkimen komponenttien puhtausmittaukset	64
5.8.1	Ensimmäiset komponenttimittaukset	64
5.8.2	Toiset komponenttimittaukset	66
5.9	Komponenttien puhtausmittausten tulokset	66
5.9.1	Tuotannon mukainen etumäntä	66
5.9.2	Pesty etumäntä	67
5.9.3	Runko	68
5.9.4	Komponenttipuhtausmittausten tulosten tarkastelu	70
5.10	Mittaustulosten keskinäinen tarkastelu	71
5.10.1	Mittauksista yleisesti	72
6	Ovensulkimen testausten tulokset ja valmistusprosessin vaiheiden puhtaus	73
6.1	Ovensuljinten testauksen tulokset	73
6.1.1	Ensimmäiset ovensuljinten testausten tulokset	73
6.1.2	Ovensuljinten jatkotestausten tulokset	74
6.1.3	Testaustulosten tarkastelu	76
6.2	Öljyntäyttökoneen puhtaus ja suodatuksen tila	78
6.2.1	Täyttökoneen nykyiset suodattimet	79
6.2.2	Täyttökoneen ja sen suodattimien toiminta mittaustulosten perusteella	79
6.2.3	Täyttökoneen suodatuksen kehitysehdotukset	81
6.3	Valmistusprosessin vaikutus puhtauteen	83
6.3.1	Männän ja nokka-akselin koneistus ja osakokoonpano	83
6.3.2	Rungon koneistus ja pesu	85
6.3.3	Alihankittujen osien puhtaus	85
6.3.4	Kokoonpano	85

6.3.5 Kehitystoimenpiteet ja -ehdotukset.....	89
7 Johtopäätökset.....	93
7.1 Muita jatkotoimenpiteitä ja pohdintaa	97
Lähteet.....	99
Liitteet	103
Liite 1: Taulukko standardin ISO 4406 puhtausluokkien tulkitsemiseen	103
Liite 2: Taulukot komponentin puhtauskoodin selvittämiseen standardisarjan 16232 mukaisesti.....	104
Liite 3: Öljynäytteiden hiukkasjakaumat ja graafiset esitykset I	105
Liite 4: Öljynäytteiden hiukkasjakaumat ja graafiset esitykset II.....	109
Liite 5: Puhtausmittauslaitteistojen esimerkkihintoja	114

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Cam-suljin	Nokka-akselisen ovensuljinmallin kutsumanimi.
CCC	Component Cleanliness Code eli standardisarjan ISO 16232 mukaan ilmoitettu komponentin puhtauskoodi.
DC240DA	Hammasakselinen ovensuljinmalli, jossa kolme säädettävää sulkeutumisvaihetta.
DC700	Nokka-akselinen ovensuljinmalli, jossa kaksi säädettävää sulkeutumisvaihetta.
DC700DA	Nokka-akselinen ovensuljinmalli, jossa kolme säädettävää sulkeutumisvaihetta.
ISO	International Organization for Standardization eli kansainvälinen standardisointijärjestö.
Ovensuljin	Oveen erikseen asennettava laite, joka sulkee oven automaattisesti aukaisun jälkeen.
PSK	Suomalainen standardisointijärjestö.
SAE	Society of Automotive Engineers eli yhdysvaltalainen autoalan standardisointijärjestö.

β_x	Suodatussuhde hiukkaskoolle x .
μm	Hiukkaskokoyksikkö kalibrointistandardin ISO 4402 mukaan.
$\mu\text{m(c)}$	Hiukkaskokoyksikkö kalibrointistandardin ISO 11171 mukaan.
E_x	Suodattimen erotuskyky x -kokoisille hiukkasille.
N_1	Suodattimeen virtaavien x -kokoisten ja sitä suurempien hiukkasten lukumäärä.
N_2	Suodattimesta virtaavien x -kokoisten ja sitä suurempien hiukkasten lukumäärä.

1 JOHDANTO

Johdantoluvussa esitellään aluksi kohdeyritys, jolle diplomityö tehdään toimeksiantona. Tämän jälkeen esitellään tutkimuksen taustat ja tarkoitus, tutkimuskysymykset ja – tavoitteet sekä tutkimuksen rajaukset.

Abloy Oy ja sen Door Control –liiketoimintayksikkö

Tutkimuksen kohdeyrityksenä on Abloy Oy, joka tavalliselle suomalaiselle on tuttu avaimista ja lukoista. Abloy Oy on johtavia lukkojen, lukitusjärjestelmien sekä rakennusheloen valmistajia, maailmanjohtaja sähkölukkojen tuotekehityksessä sekä uranuurtaja lukoissa käytettävässä haittaleyvysylinteriteknologiassa. Turvallisuuden järjestelmällinen kehitystyö on jatkunut Abloy Oy:ssä jo yli 100 vuoden ajan. Suomen keksintösäätiö on noteerannut ABLOY-lukon Suomen parhaaksi keksinnöksi. (Abloy Oy 2014)

Abloy Oy kuuluu kansainväliseen ASSA ABLOY –konserniin, joka on maailman johtava oviympäristöratkaisujen toimittaja ja tarjoaa asiakkailleen turvallisia sekä helppokäyttöisiä sovelluksia ovien avaamiseen ja sulkemiseen. ASSA ABLOY on listattu Tukholman pörssissä. Abloy Oy toimii näin ollen kansainvälisesti ja heidän tuotteiden vienti on maailmanlaajuista. (Abloy Oy 2014)

Henkilöstöä Abloy Oy:ssä on 850, joista 700 työskentelee Suomessa ja 150 kansainvälisissä myyntiyksiköissä. Abloy Oy:n tehtaat sijaitsevat Joensuussa ja Björkbodassa. Toiminta Abloy oy:ssä on jaettu eri liiketoimintayksiköihin tuotteiden perusteella seuraavasti:

- Lukot
- Sähkölukot
- Network Solutions
- Door Control
- Rakennushelat
- Mekaaniset lukkorungot

Mekaanisten lukkorunkojen valmistus tapahtuu Björkbodan tehtaalla, mutta muut liiketoimintayksiköt toimivat Joensuussa. Tämä diplomityö tehdään toimeksiantona Door Control -liiketoimiyksikölle Joensuuhun. (Abloy Oy intranet 2014)

Door Control -liiketoimintayksikön tuotteet koostuvat ovensulkimista, oviautomaatiikasta ja palonsulkujärjestelmistä. Tuotteita viedään yli 60 vientimaahan ja viennin osuus mynnistä on 70 %. Vuosittain ovensulkimia valmistetaan noin 500 000 kappaletta ja kääntöovikoneistoja noin 5000 kappaletta. Työntekijöitä tällä hetkellä yksikössä on noin 70. (Abloy Oy intranet 2014)

Tuotevalikoima jakautuu tarkemmin pinta-asenteisiin ovensulkimiin, piilo-ovensulkimiin, palonsulkujärjestelmiin, liuku- ja kääntöoviautomaatiikkaan sekä veto-laitteisiin ja lisätarvikkeisiin. Tuotteet ovat yhteensopivia muiden ABLOY-tuotteiden kanssa. Diplomityön kohteena on mekaaninen, pinta-asenteinen ovensuljin. (Abloy Oy intranet 2014)

Toimeksiantajasta, eli Abloy Oy:n Door Control-liiketoimintayksiköstä käytetään jatkossa lyhyesti nimitystä Abloy.

Tutkimuskysymysten esittely sekä tutkimuksen rajaus

Kuten aiemmin mainittu, ovensuljin on mekaaninen laite, jonka toiminta perustuu jouvoimiin ja hydraulikomponenttien käyttöön. Toimintavalmis suljin täytetään sen valmistusprosessin loppuvaiheessa öljyllä, joka on olennainen osa laitteen toimintaa. Öljyn on todettu olevan likaista ja lian uskotaan aiheuttavan ovensulkimen toiminnassa häiriöitä. Diplomityön tarkoituksena on tutkia sekä selvittää tarkemmin lian eli epäpuhtauksien syntyä, olemassaoloa ja vaikutusta ovensulkimen toimintaan.

Ovensulkimessa on siis tiedostettu olevan epäpuhtauksia, mutta tätä ei ole tutkittu riittävästi. Jo tehtyjä tutkimuksia ovat Abloyn teettämät puhtausanalyysit ovensulkimen rungosta sekä Yhdysvaltalaisen tytäryhtiön suorittamat öljyn epäpuhtausmittaukset eräänlaisella suodatusmenetelmällä. Näiden tutkimusten pohjalta on todettu, että epäpuhtauksia ovensulkimessa esiintyy liikaa, jotka mahdollisesti vaikuttavat sulkimen toimintaan haitallisesti. Tämän pidemmälle asiaa ei ole selvitetty, jonka takia syvempi tutkimus on tarpeen.

Tuotekehityksessä tehdyssä suljinten jatkuvassa testauksessa on havaittu, että niiden toiminnassa esiintyy epävarmuutta suhteessa käyttöön eli oven sulkemisen toistokertoihin. Uudempien suljinmallien rakenne on hieman muuttunut, ja näissä malleissa on havaittu esiintyvän enemmän toiminnan epävarmuutta. Ovensulkijoille on olemassa standardi (SFS-EN 1158), joka määrittää tietyt toimintavaatimukset. Uusimpien suljinmallien kohdalla nämä vaatimukset ovat muuttuneet haasteellisiksi.

Edellä mainittujen asioiden perusteella tutkimuskysymykset sekä tutkimuksen tavoitteet ovat jaoteltu seuraavasti: Mistä ovensulkimen öljyssä esiintyvät epäpuhtaudet ovat peräisin? Kuinka paljon niitä valmiin tuotteen öljyn seassa esiintyy? Miten ne vaikuttavat

sulkimen toimintaan? Mikä on niiden mahdollinen sallittu maksimimäärä vaaditun toiminnan takaamiseksi? Tutkimuksessa on tarkoituksena on hyödyntää menetelmiä, joilla epäpuhtauksia voidaan mitata sekä öljystä että ovensulkimen osista. Tavoitteena on myös tutkia ja laatia toimenpiteitä, joilla epäpuhtauksia voidaan vähentää ja näin ollen kehittää ovensulkimen öljyn puhtautta paremmaksi. Tämä vaatii koko valmistusprosessin tutkimista ja kehittämistä puhtauden osalta.

Tutkittavat ovensuljinmallit ja niiden valmistusprosessi on rajoitettu tutkimuksen aikana Cam-ovensuljinmalleihin. Pääasiassa tutkimuksen kohteena on DC700DA-malli, mutta muitakin malleja tutkimuksessa käsitellään tarvittavilta osin. Tutkimuksen tuloksia voidaan rajoituksesta huolimatta käyttää hyödyksi muidenkin ovensuljinmallien kohdalla.

Tutkimuksen teoriaosuuden tarkoituksena on olla perustana tälle tutkimukselle ja kehitystyölle. Se on kuitenkin koottu myös tietopankiksi Abloyn tulevia mahdollisia yleiseen hydrauliiikan puhtauteen liittyviä kehitystoimenpiteitä varten, mitkä ei välttämättä liity suoraan ovensulkimen puhtauteen.

2 OVENSULKIMEN JA SEN VALMISTUSPROSESSIN ESITTELY

Tässä pääluvussa esitellään ovensuljin ja sen valmistusprosessi. Ovensulkimen esittely jakautuu yleiseen esittelyyn sulkimen tehtävästä ja tarkoituksesta, sulkimen rakenteesta sekä teknisestä toimintaperiaatteesta. Valmistusprosessi esitetään vaihe vaiheelta olennaisilta osilta. Luvun lopuksi käydään läpi ovensulkimessa olevat toiminnalliset ongelmat ja esitellään aiemmat tutkimukset epäpuhtauksiin liittyen, eli kuvataan tutkimuksen alkutilanne.

2.1 Ovensulkimen tehtävä

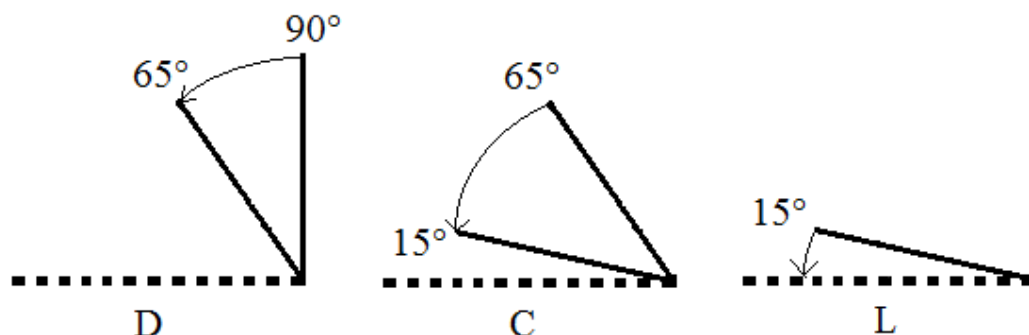
Mekaanisen ovensulkimen tehtävänä on sen nimensä mukaisesti sulkea ovi aukaisun jälkeen, jolloin ovesta kulkijan ei tätä tarvitse tehdä. Ovelle voidaan sulkimen avulla säätää käyttötarkoitukseen soveltuva sulkemisnopeus, joka mahdollistaa turvallisen kulkemisen oven läpi. Tämän lisäksi ovensulkimen avulla voidaan vaikuttaa oven avaamiseen tarvittavaan voimaan, millä huomioidaan ulkoisia tekijöitä, kuten oven paino sekä tuuli. Kuvassa 2.1 on esimerkki mekaanisesta ovensulkijasta, joka kiinnitetty oveen.



Kuva 2.1. Ovensuljin käyttötarkoituksessaan.

Ovensuljin kiinnitetään yleensä oveen, kuten kuva 2.1 esittää, ja se liitetään akselin kautta seinään tai oven karmiin asennettavaan kiskoon. Kiinnitys voi olla myös toisin päin. Akseli liikkuu kiskoa pitkin mahdollistaen oven liikkeen ja sulkimen toiminnan.

Ovensulkimella säädetään kahta tai kolmea eri sulkeutumisvaihetta ja niiden nopeutta. Abloyn ovensulkimissa DA-malleilla säädellään kolmea vaihetta ja muilla malleilla kahta vaihetta. Sulkeutumisvaiheet jaetaan D-, C- ja L-vaiheisiin (Kuva 2.2)

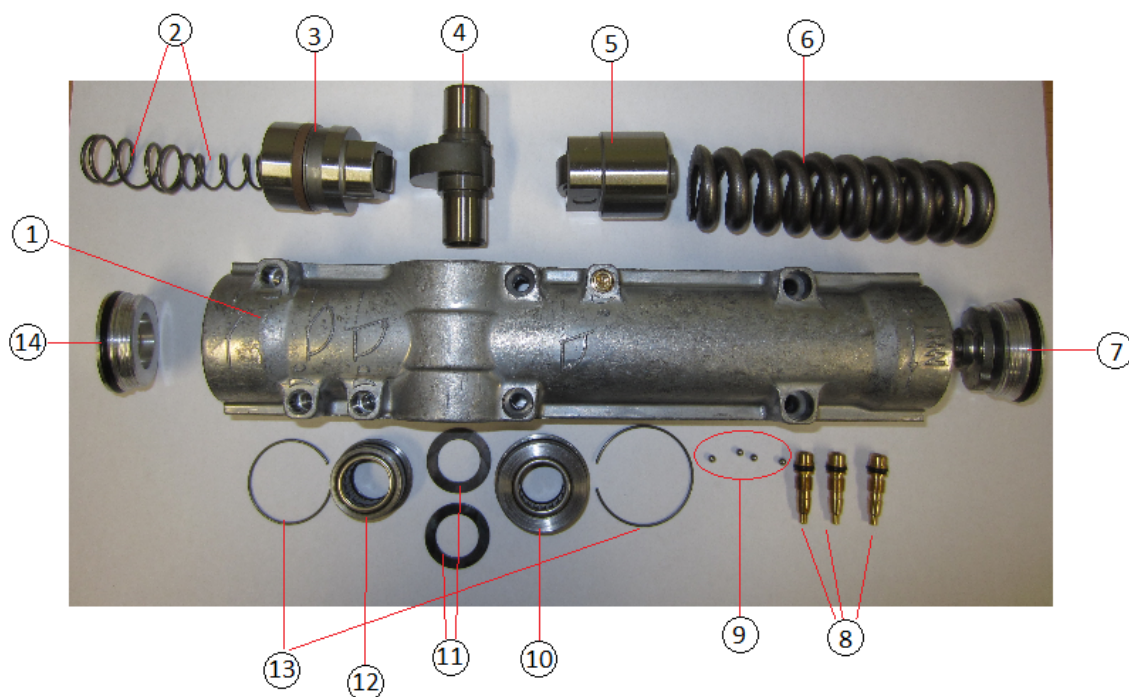


Kuva 2.2. Ovensulkimen sulkeutumisvaiheet (DA-mallit).

D-vaiheella säädetään sulkeutumisnopeutta oven ollessa auki 65-90 astetta. Tämän tarkoituksena on pitää ovea auki sen verran, että ihminen pääsee tarvittavien tavaroiden kanssa ovesta läpi ennen sen kiinnimenoa. D-vaiheen säätö on juuri DA-malleissa oleva ylimääräinen ominaisuus. C-vaiheella säädetään oven sulkeutumisnopeus astevälillä 65–15, kun D-vaiheen säätö on olemassa ja muussa tapauksessa astevälillä 15-90. L-vaiheen tarkoituksena on vetäistä ovi kiinni, ettei se jää raolleen lukon. Tällä voidaan myös jarruttaa oven kiinnimenoa ja estää oven pamahtamista kiinni, jos kiinnimeno-voima on liian suuri. L-vaihe määritellään 15 asteesta oven sulkeutumiseen. Abloyn ovensulkimet voivat sulkea oven jopa 180 asteen avautumiskulmasta, mutta D-, C-, ja L-vaiheiden standardointi ja toiminta määritetään yleisesti tässä esitetyillä astemäärillä. (SFS-EN 1154)

2.2 Ovensulkimen rakenne ja toimintaperiaate

Ovensuljin on useasta osasta kokoonpantu laite, joka täytetään öljyllä. Sen suurin osa on runko, joka toimii laitteen niin sanottuna kuorena. Ovensuljin kokoonpannaan siten, että muut kokoonpantavat osat ovat valmiissa tuotteessa rungon sisällä tai rungossa kiinni. Näin ovensuljin saadaan tiiviiksi ja öljy pysyy rungon sisällä. Kuvassa 2.3 on esitelty DC700DA-mallin ovensulkimen kaikki olennaiset osat, jotka ovat numeroitu.



Kuva 2.3. DC700DA-mallin ovensulkimen osat: 1. Runko, 2. Pienet jouset, 3. Etumäntä, 4. Nokka-akseli, 5. Takamäntä, 6. Iso jousi, 7. Voimansäädin, 8. Säättöruuvit, 9. Kuulat, 10. Iso laakeripesä, 11. Aluslevyt, 12. Pieni laakeripesä, 13. Lukkorenkaat, 14. Päätykansi.

Rungon (1) sisällä sen pituutta kohtisuorassa on akseli (4), joka pyörii oven liikkuessa. Abloyn ovensulkimissa on kahdenlaisia akselimalleja: hammasakselit tai kuvan 2.1 mukaiset nokka-akselit. Akseli liikuttaa pyöriessä mäntäosia, jotka liikkuvat sulkimen rungon pituussuunnan mukaisesti. Jos sulkimessa on nokka-akseli, mäntiä on kaksi kappaletta eli etu- ja takamäntä (3 ja 5). Nokka-akselin pyöriessä nokan muoto mahdollistaa mäntien liikkumisen. Hammasakselimallin sulkimissa mäntä on yksi kiinteä kokonaisuus. Hammasakselin hampaat liikuttavat hammaspyörämäisesti männässä olevia vastahampaita, joka mahdollistaa näin männän edestakaisen liikkeen. Akseli on kiinni laakeripesissä, jotka mahdollistavat pyörimisliikkeen sekä tiivistävät ja sulkevat ovensulkijan tästä kohdasta. Kuvassa 2.3 numero 10 on iso laakeripesä ja numero 12 on pieni laakeripesä. Laakeripesien ja nokka-akselin kiinnityksessä käytetään aluslevyjä (11) ja laakeripesät lukitaan runkoon lukkorenkailla (13).

Rungon päädyt tiivistetään ja suljetaan päätykannella (14) ja voimansäätimellä (7). Mäntien ja päätyjen väliin asennetaan jouset, joista toiseen päätyyn tulee iso jousi (6) ja toiseen sisäkkäin kaksi pientä jouta (2). Öljyn täyttö tapahtuu rungossa olevien reikien kautta, joihin lopuksi asennetaan säättöruuvit (8). Säättöruuvien avulla tapahtuu ovensulkimen sulkeutumisvaiheiden nopeuksien säätö, ja ne myös tiivistävät ja sulkevat niille tehdyt rungon reiät. Loput reiät rungossa suljetaan teräskuulilla (9). Kuvasta 2.3 puuttuu ovensulkimen merkittävä osa, eli siihen täytettävä öljy. Tämän öljyn viskositeetti luokka on VG 32.

Ovensulkimen toimintaperiaate kuvataan seuraavaksi nokka-akselirakenteisen ovensulkimen mukaan. Periaate on sama, kuin hammasakselisessa sulkimessa, mutta osarakenne eroaa hieman, kuten edellä mainittu. Oletetaan lähtötilanteeksi sulkimen lepotila eli tilanne, kun ovi on kiinni.

Ovea aukaistaessa ovensulkimen ja kiskon välinen akseli pyörittää sulkimessa olevaa nokka-akselia. Akselin avulla voima siirtyy ja sen pyörimisliike liikuttaa geometriansa vuoksi takamäntää, joka puristaa suurempaa kierrejousta kasaan. Samaan aikaan pienet kierrejouset pitävät jousivoimansa takia etumäntää kiinni nokka-akselissa, jotta osat pysyvät kasassa tarkoituksensa mukaisesti. Oven aukaisun jälkeen puristuksessa oleva jousi palautuu lepotilaan työntäen takamäntää, joka jousivoiman avulla pyörittää nokka-akselia. Tämä toiminta toteuttaa oven sulkeutumisen. Pyöriessään nokka-akseli työntää etumäntää takaisin lähtötilanteeseen.

Edellä mainittu selostus kertoo liikkuvien osien tekemän liikkeen sulkijan toiminnassa. Näiden osien lisäksi myös öljyllä on keskeinen rooli sulkijassa. Öljy voitelee osia ja estää liiallista kulumista, mutta sen virtauksen avulla säädetään oven sulkeutumisvaiheiden nopeuksia. Rungossa on erilliset virtauskanavat, joista öljy virtaa männän liikkeen puristusvoiman avulla. Säätoruuvit, jotka ovat ruuvattu runkoon, säätelevät näiden virtauskanavien kokoa kuristamalla virtausta. Kun ovi sulkeutuu ja etumäntä liikkuu kohti lähtötilannetta, etumännän ja päätykannen välissä oleva öljy virtaa pois virtauskanavan kautta männän toiselle puolelle. Säätoruuvilla voidaan pienentää virtauskanavassa olevaa rakoa, jolloin öljy virtaa tämän raon ohi hitaammin kuin normaalisti. Näin ollen mäntä liikkuu hitaammin, jolloin akseli pyörii hitaammin ja ovi sulkeutuu hitaammin.

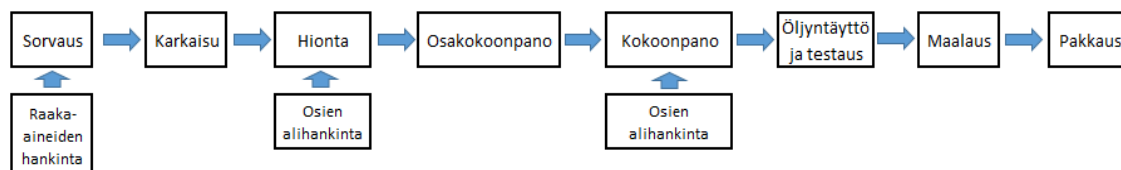
Säätoruuveja on suljinmallista riippuen sulkeutumissäätöä varten joko kaksi tai kolme kappaletta. Jokainen säätoruuvi säätelee tiettyä sulkeutumisvaihetta. Kolmas säätoruuvi on DA-mallin sulkimissa D-vaiheen säätöä varten. Sulkimissa on myös yksi säätoruuvi, joka on oven avautumisjarrun säätö.

Ovensulkimen toiminnassa oleviksi maksimipaineiksi sulkeutumisliikkeiden aikana on mitattu noin 70–90 baria. Säätoruuvilla kuristettujen öljyn virtauskanavien välysten kokoluokaksi on taas laskettu olevan vähimmillään vain noin 5 mikronia.

2.3 Ovensulkimen valmistusprosessi

Ovensulkimen valmistusprosessille suoritettiin puhtaustutkimus seuraavan pääluvun sisältämän teoretiedon pohjalta. Tutkimuksen kannalta on siis keskeistä tuntea ovensulkimen valmistusprosessi vaihe vaiheelta. Näin pystytään löytämään puhtauden kannalta olennaisimmat vaiheet, jotta mahdollisissa jatkotoimenpiteissä kehitetään oikeita asioi-

ta. Esitelty prosessi nokka-akselisten ovensuljinten valmistusprosessi, jota havainnollistaa kuvan 2.4 prosessikaavio.



Kuva 2.4. Ovensulkimen valmistusprosessi.

Ovensuljinten osat ja niiden raaka-aineet hankitaan alihankkijoilta, joista osa koneistetaan paikan päällä ja osa hankitaan valmiina kokoonpanoa varten. Prosessikaavio on yksinkertaistettu ja siinä esitellään olennaisimmat valmistusvaiheet. Siniset nuolet kuvaavat sulkimen ja sen osien virtaussuuntaa sekä samalla välivarastojen paikkaa. Seuraavaksi käydään läpi kuvan 2.4 mukainen valmistusprosessi vaiheineen ovensuljinten osia apuna käyttäen.

Rungon koneistus

Ovensulkimen runko hankitaan alihankkijoilta valmiiksi runkovalun muodossa. Abloyn tehtaalla tälle runkovalulle tehdään tarkempi koneistus ja tarvittavat reiät. Koneistuksen jälkeen runko pestään pesukoneella, jonka jälkeen runko on valmis kokoonpanoa varten. Pesusta tulleet rungot pakataan kauluslaatikoihin välivarastoon, josta ne siirtyvät seuraavaan kokoonpanopisteeseen.

Mäntien ja nokka-akseleiden koneistus

Ovensulkimissa käytettävät männät koneistetaan joko kokonaan itse hankitusta raaka-aineesta tai valmiiksi karkaistuista ja alihankituista kappaleista. Raaka-aineista koneistetut männät sorvataan terästangoista, jonka jälkeen ne toimitetaan karkaisuun. Karkaisusta tulevat sekä alihankitut männät hiotaan hiomakoneilla tarkkaan mittaan. Hionnan jälkeen osat pakataan muovilaatikoihin, joissa ne siirtyvät välivaraston kautta osakokoonpanopisteeseen.

Hiomakoneilla hiotaan myös alihankitut karkaistut nokka-akselit. Nokka-akselit pakataan mäntien tavalla muovilaatikoihin, mutta ne siirtyvät tästä vaiheesta suoraan välivaraston kautta ovensulkimen kokoonpanopisteeseen.

Osakokoonpano

Osakokoonpanopisteessä kokoonpannaan mäntäkomponentit sekä laakeripesät. Alihankitut laakeripesän osat kasataan yhteen, jonka jälkeen ne pakataan muovilaatikoihin välivarastoon odottamaan siirtymistä kokoonpanopisteeseen. Hiottuihin mäntiin taas

asennetaan venttiilipaketti sekä laakeri nokka-akselin liikettä varten. Valmiit männät pakataan myös muovilaatikoihin, joissa ne kulkevat välivaraston kautta kokoonpanoon.

Kokoonpano

Kokoonpanovaihe tapahtuu erillisessä kokoonpanopisteessä, jossa ovensuljinten osista kasataan valmiita ovensulkimia. Edellä mainittujen osien lisäksi ovensulkimeen tarvittavia osia ovat päätykansi, voimansäädin, iso ja pieni jousi, säätöruuvit sekä lukkorenkaat ja koneistusreiät tukkivat metallikuulat. Nämä osat tulevat suoraan valmiina alihankkijoilta. Ennen kokoonpanoa osakokoonpanosta tuleviin laakeripesiin asennetaan tiivistystä varten O-renkaat.

Itse kokoonpano tapahtuu apuvälineitä käyttäen käsivoimin. Kaikki osat asennetaan runkoon kiinni ja tietty kokoonpanovaihe tapahtuu omassa pisteessä työpöydällä. Rungot kokoonpannaan kahta säätöruuvia vaille valmiiksi, jonka jälkeen ne siirtyvät öljyntäyttöön.

Öljyntäyttö

Öljyntäyttö tapahtuu automaattisten öljyntäyttökoneiden avulla kahden säätöruuvireiän kautta. Öljyntäyttökoneisiin syötetään ohjelma suljinmallin mukaisesti ja sulkimet täyttyvät hydraulikan avulla. Kun öljyntäyttö on suoritettu, kaksi viimeistä säätöruuvia asennetaan paikalleen ja sulkimien oikeanlainen toiminta testataan testilaitteen avulla. Öljyntäyttökoneita on kaksi samanlaista, joista toisella täytetään tutkimuksessa käsiteltävä ovensuljinmalli DC700DA ja toisella malli DC700.

Öljyntäyttökoneen toiminta perustuu hydraulikkaan. Täyttökoneen säiliöstä imetään öljyä pneumaattisella sylinterillä luodulla alipaineella. Ovensuljin sijoitetaan sylinterin ja öljysäiliön väliin, jolloin se on osa koneen öljyn kiertoa. Sylinteri imee öljyä säiliöstä ja ovensuljin täyttyy tällöin öljystä, kun öljy virtaa sulkijan läpi. Kun täyttö on suoritettu, sylinteri työntää öljyn takaisin öljysäiliöön.

Maalaus ja pakkaus

Öljyntäytön ja testauksen jälkeen sulkimet pestään pesukoneella liasta ja siirretään maalauspiesteeseen. Maalaus tapahtuu oman robotin avulla, jonka jälkeen sulkimet siirretään välivarastoon odottamaan pakkausta. Sulkimet pakataan tuotekohtaisesti muiden tarvittavien apulaitteiden kanssa ja lähetetään lopuksi asiakkaalle.

2.4 Tutkimuksen alkutilanne ja aiemmat puhtaustutkimukset

Tutkimuksen alkutilanteena on mekaanisen ovensulkimen toiminta, joka ei täytä sille asetettuja vaatimuksia. Tuotannossa syntyvistä sulkijoista huomataan toistuvasti, että niiden toiminta on häiriöistä. Yleisimpiä ilmenneitä ongelmia ovat sulkimelle säädetyn sulkeutumisenopeuden ajan muutokset varsinkin D-vaiheessa sekä pahimmassa tapauksessa sulkimen jumiutuminen, eli oven jääminen auki. Esimerkiksi ovelle säädetty tietty sulkeutumisenopeus, joka kasvaa oven sulkemiskertojen kasvaessa yli vaadittujen rajojen. Alkueloituksena on, että häiriöt johtuvat ovensulkimen hydraulinesteenä olevan öljyn seassa esiintyvistä epäpuhtauksista.

Ovensuljin voidaan olettaa toimintaperiaatteensa takia hydraulijärjestelmän erityistapaukseksi. Tämän takia tutkimukseen lähestytään hydraulijärjestelmän puhtauden näkökulmasta.

2.4.1 Aiemmat ovensulkimen puhtauteen liittyvät tutkimukset

Abloylla ongelmasta on tehty muutamia aiempia pienempiä tutkimuksia. Vuonna 1997 öljyn puhtaudesta on teetetty mittauksia, joista on selvinnyt sen hetkisiä puhtaustasoja. Aluksi mitattuna on ollut öljynäyte ennen sen pumppausta sulkimeen. Tästä selvisi, että öljy on jo itsessään melko likaista. Seuraavat öljynäytteet olivat otettu sulkimista, joita oli käytetty tietty syklimäärä ja tyhjennetty tämän jälkeen. Näiden näytteiden mittauksista selvisi, että puhtaustaso huononi huomattavasti sulkimen käytön jälkeen eli epäpuhtauksia oli öljyssä paljon enemmän. Epäpuhtauksien määrän myös todettiin lisääntyvän, mitä useamman toiston verran suljinta on käytetty. Näillä mittauksilla voidaan huomata ongelma, mutta tuloksia ei voida hyödyntää tässä tutkimuksessa sen enempää, koska mittaukset ovat melkein 20 vuotta vanhoja ja tuotanto sekä tuotteet ovat muuttuneet tästä.

Näiden lisäksi Yhdysvaltalainen tytäryhtiö on tutkinut ovensulkimien öljyn puhtautta. Sulkimista tyhjennettiin öljyt sekä huuhdeltiin sisusta ja nämä suodatettiin kahden eritasoisen membraanin läpi. Membraaniin jääneet epäpuhtaudet punnittiin. Sulkimissa todettiin olevan epäpuhtauksia huomattava määrä ja samoin kyseisten suljinmallien kohdalla huomattiin poikkeavuuksia toiminnassa. Tämä tapauksen myötä epäpuhtauksien ja toimintahäiriöiden yhteys on myös huomattu.

Komponenttien puhtautta on tutkittu vuonna 2012, jolloin rungolle on teetetty puhtaustutkimukset. Ensimmäinen mittaus suoritettiin rungolle, joka oli normaalisti pesty koneistuksen jälkeen. Toinen mittaus suoritettiin rungolle, joka oli pesun jälkeen myös pai-

neilmapuhdistettu. Ensimmäisellä mittauksella kahden mitattavan rungon puhtausluokiksi saatiin standardin ISO-4406:1987 mukaisesti -/19/16 ja -/19/17. Toisen mittauksen kahden mitattavan rungon puhtausluokat olivat taas -/18/15 ja -/18/16. Taulukkoon 2.1 on koottu testien hiukkaslukumäärät 100 ml:ssa pesuliuotinta viiden hiukkasokoluokan mukaan. Sarakkeet $>5\mu\text{m}$ ja $>15\mu\text{m}$ ilmoittamat luvut vastaavat ISO-4406:1987 standardia.

Taulukko 2.1. Vuonna 2012 suoritettujen rungon puhtasmittausten tulokset.

Hiukkaskoko		Hiukkasmäärä/100 ml pesuliuotinta				
		$>5\mu\text{m}$	$>15\mu\text{m}$	$>25\mu\text{m}$	$>50\mu\text{m}$	$>100\mu\text{m}$
Testi 1	Runko 1	340 000	35 000	12 000	2 300	220
	Runko 2	460 000	74 000	15 000	2 800	460
Testi 2	Runko 1	180 000	22 000	5 500	480	100
	Runko 2	240 000	60 000	11 000	980	120

Tuloksista voidaan huomata, että suurempienkin kokoluokkien hiukkasia esiintyy paljon. Tulosten mukana tulleet mikroskooppikuvat paljastavat, että varsinkin suuremmat hiukkaset ovat metallilastuja sekä kuituja. Muut hiukkaset olivat muun muassa polymeereja, kuituja sekä ei-metallisia, pölymäisiä sekä vaaleita sakkamaisia hiukkasia, jotka olivat mahdollisia pesu- ja suoja-ainejäämiä.

3 HYDRAULIJÄRJESTELMIEN PUHTAUS JA SIIHEN LIITTYVÄT TEKIJÄT

Tässä pääluvussa käsitellään teoria hydraulijärjestelmien puhtaudesta ja siihen liittyvistä tekijöistä. Tämä teoria toimii pohjana tutkimuksen teolle. Luku jakautuu epäpuhtauksiin ja niiden ominaisuuksiin ja tulkitsemiseen, hydraulinesteen ominaisuuksiin, hydraulijärjestelmän ja komponenttien puhtauteen sekä hydraulijärjestelmän suodatukseen.

3.1 Epäpuhtaudet, niiden haitat sekä koko hydraulijärjestelmässä

Hydraulijärjestelmän nesteessä esiintyy aina jonkin verran erilaisia epäpuhtauksia. Ne lyhentävät hydraulinesteen käyttöikää sekä heikentävät sen ominaisuuksia mutta vaikuttavat myös koko järjestelmän toimintaan negatiivisesti. Epäpuhtaudet voidaan luokitella mekaanisiin epäpuhtauksiin eli kiinteisiin hiukkasiin sekä kemikaalisiin epäpuhtauksiin, joita ovat hydraulineesteeseen liuenneet tai liukenemattomat nesteet ja kaasut. Yleisesti ottaen kaikkia ainesosia, jotka eivät kuulu varsinaiseen hydraulineesteeseen, voidaan pitää epäpuhtauksina. Kokemusten perusteella on todettu, että jopa 80 % hydraulijärjestelmissä ilmenneistä toimintahäiriöistä aiheutuu näistä epäpuhtauksista. Jotta järjestelmälle saadaan mahdollisimman häiriötön toiminta ja pitkä käyttöikä, täytyy siinä käytettävän nesteen olla riittävän puhdasta. (Hodges 1996; Kauranne et al. 2008)

3.1.1 Kemialliset epäpuhtaudet

Kuten edellä mainittu, hydraulinesteessä esiintyvät kemialliset epäpuhtaudet ovat nesteitä ja kaasuja. Tarkemmin ottaen näihin kuuluvat vesi, ilma, kosteus, puhdistusaineet, leikkausöljyt, maalit sekä nesteen hajoamistuotteet. Näistä epäpuhtauksista on todettu aiheutuvan noin 20–25 % osuus kaikista hydraulijärjestelmän toimintahäiriöistä, ja niiden pääasialliset aiheuttajat ovat vesi ja ilma. Molemmat aiheuttajat ovat vaarallisempia järjestelmän kannalta, kun ne ovat liukenemattomassa eli vapaassa muodossa. Liuenneena varsinkin veden haittavaikutukset eivät ole suuret. (Hodges 1996; Kauranne et al. 2008)

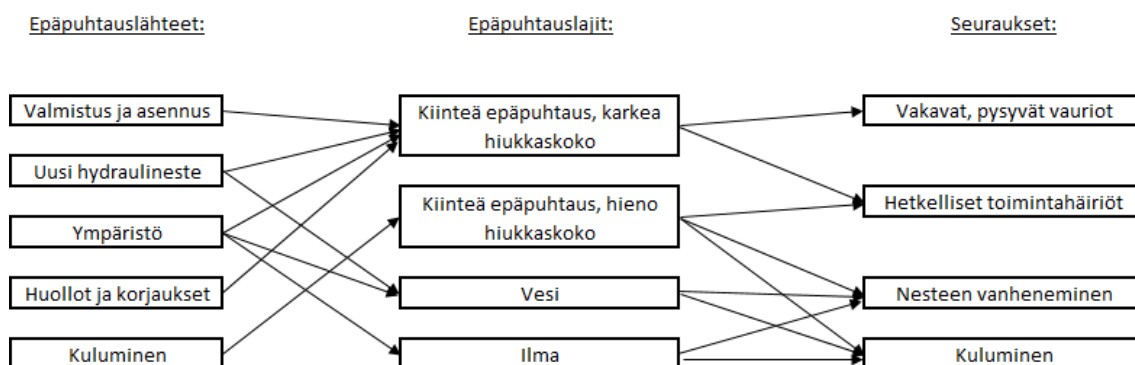
3.1.2 Kiinteät hiukkaset

Merkittävä osa eli noin 50–55 % hydraulijärjestelmien toimintahäiriöistä aiheutuu kiinteistä epäpuhtaushiukkasista. Nämä voidaan luokitella yleisesti lietteeksi tai lastuiksi,

jotka voidaan jakaa koviksi tai pehmeiksi hiukkasiksi. Kovia hiukkasia yleisesti ovat pioksidi eli silika, hiili sekä metallit. Kumi, kuidut ja mikro-organismit kuuluvat taas pehmeisiin hiukkasiin. Komponenttien valmistuksessa sekä järjestelmien kokoonpanossa valmiisiin tuotteisiin syntyy ja jää näitä epäpuhtauksia, jotka konkreettisesti sanottuna ovat muun muassa hiomapölyä, metallilastuja, hitsausroiskeita, muottihiekkaa sekä tiivistemateriaaleja. (Kauranne et al. 2008; Parker)

3.1.3 Epäpuhtauksien aiheuttamat haitat ja seuraukset

Edellä mainittujen epäpuhtauksien lähteet voidaan karkealla tasolla jakaa järjestelmän alkuepäpuhtauksiin, ympäristön epäpuhtauksiin ja hydraulijärjestelmän sisällä syntyviin epäpuhtauksiin. Niitä syntyy järjestelmässä ja pääsee järjestelmään jatkuvasti, jolloin ne sekoittuvat hydraulineesteeseen. Järjestelmässä ja sen nesteen seassa esiintyvistä epäpuhtauksista aiheutuu erilaisia seurauksia sekä haittoja. Näitä ovat esimerkiksi aukkojen ja välysten tukkeumat, osien kuluminen, ruostuminen tai muu hapettuminen, kemiallisten yhdisteiden muodostuminen, hydraulinesteen vanheneminen ja lisäaineiden ehtyminen sekä biologinen kasvu. Kuvasta 3.1 nähdään tiivistetysti hydraulijärjestelmän epäpuhtaudet, niiden lähteet ja niistä aiheutuvat seuraukset. (Kauranne et al. 2008; Parker)



Kuva 3.1. Hydraulijärjestelmän epäpuhtauksien lähteet, lajit ja seuraukset. (Kauranne et al. 2008)

Kuvan 3.1 mukaan myös uusi hydraulineeste on epäpuhtauden lähde. Neste itsessään ei ole täysin puhdasta, joten se tuo mukanaan tietyn verran epäpuhtauksia. Hydraulineesteestä sen ominaisuuksiinsa lisää luvussa 3.2. Kuvasta 3.1 käy myös ilmi, että pahimmassa tapauksessa epäpuhtaudet voivat aiheuttaa vakavia ja pysyviä vaurioita, mutta myös hetkellisiä toimintahäiriöitä. Esimerkkinä tapaus, jossa vällyksiin nähden suurikokoinen kiinteä hiukkanen tukkii ja estää hydraulinesteen kulkemisen virtauskanavassa tai jumittaa kahden toisiinsa nähden liikkuvan osan keskinäisen liikkeen. Tällaisia haittatapauksia voivat aiheuttaa myös pienikokoiset, hienot epäpuhtaushiukkaset. Vähäisenä määränä hienommat hiukkaset kulkeutuvat vällysten läpi aiheuttamatta haittoja, mutta suurempina määrinä voivat kasautua yhteen. Erikokoisten hiukkasten aiheuttamien hait-

tojen seurauksia ovat kiinnileikkautumiset, järjestelmän väärä toiminta tai hetkelliset toimintahäiriöt, jolloin järjestelmä toimii vaillinaisesti vain tietyn ajan epäpuhtauksien huuhtoutuessa takaisin nesteeseen virtaukseen. (Kauranne et al. 2008; Sutherland 2008)

Ilma ja vesi aiheuttavat myös tiettyjä haittoja järjestelmälle. Liukenematon ilma vaikuttaa hydraulinesteen kokoonpuristuvuuteen ja vaikuttaa esimerkiksi nopeudensäätöön, joka huomataan toimilaitteiden nykivänä ja epäsäännöllisenä liikkeenä. Nesteen seassa oleva kaasu voi aiheuttaa vaurioita myös kavitaation ansiosta. Vesi taas aiheuttaa metallipinnoissa ruostumista ja korroosiota, jos se pääsee kosketuksiin pintojen kanssa huonon voitelukyvyyn omaavan nesteen takia. Hydraulinesteessä voi aiheutua veden takia myös kemiallisia reaktioita, jotka vanhentavat nestettä. (Kauranne et al. 2008)

Hiukkasten aiheuttama kuluminen

Osien kulumisen hydraulijärjestelmässä synnyttää epäpuhtaushiukkasia, joista taas aiheutuu järjestelmän ja sen osien kulumisen, kuten kuva 3.1 esittää. Tätä kutsutaan kulumisen noidankehäksi. Kulumisen voi tapahtua useilla eri mekanismeilla, joista tärkeimpiä ovat abrasiivinen kulumisen, eroosiokulumisen, adhesiivinen kulumisen sekä pintaväsymismurtumisesta aiheutuva kulumisen. (Hodges 1996; Kauranne et al. 2008)

Abrasiivinen kulumisen on niin kutsuttua hiontakulumista. Siinä pinnan vaurioitumista aiheuttavat pintojen epätasaisuudet tai pintoja kovemmat hiukkaset, jotka työstävät eli kuluttavat pintaa. Järjestelmän komponenttien välyksiin tunkeutuu välyksen kokoisia tai paine-eron pakottamia välystä suurempia kiinteitä hiukkasia, joiden takia välyspinnoista irtoaa uusia hiukkasia. Ne karkenevat ja muokkautuvat kovemmiksi kuin pinta, minkä seurauksena on jatkuva ja toistuva kulumisen. Kulumisen on sitä voimakkaampaa, mitä enemmän hiukkasia nesteessä on. (Hodges 1996; Kauranne et al. 2008)

Adhesiivista kulumista, englanniksi scuffing, tapahtuu kahden pinnan epätasaisuuksien hitsautuessa kiinni toisiinsa. Pinnat liikkuvat toisiinsa nähden ja epätasaisuudet, jotka ovat toisissaan kiinni, irtoavat pinnasta. Tästä epätasaisuuksien irtoamisesta syntyy näin ollen epäpuhtaushiukkasia, jotka kulkevat nyt hydraulinesteen seassa aiheuttaen järjestelmän kulumista. (Hodges 1996)

Eroosiokulumista tapahtuu, kun nesteen virtauksen mukana liikkuvat epäpuhtaushiukkaset törmäävät virtauskanavan seinämiin irrottaen pintamateriaalia. Kulumisen voimakkuus on suoraan verrannollinen virtausnopeuden kanssa. Näin ollen voimakasta kulumista tapahtuu esimerkiksi kapeissa virtausaukoissa. Myös hiukkasmäärä vaikuttaa kulumiseen abrasiivisen kulumisen tavoin. (Kauranne et al. 2008)

Kun kahden toisiinsa nähden vierivän sekä toisiinsa kuormittavan kappaleen välykseen joutuu sitä suurempi epäpuhtaushiukkanen, syntyy pintaväsymismurtuma. Hiukkanen kantaa välysten välisen voitelukalvon sijaan kappaleiden välisen kuormituksen. Pintaan

kohdistuu jatkuva kuormitus, joka irrottaa pintamateriaalia ja synnyttää sekä kasvattaa säröjä. Yleisiä pintaväsymismurtuman kohteita ovat muun muassa hammaspyörrien hammas- sekä laakeripinnat. (Hodges 1996; Kauranne et al. 2008)

3.1.4 Hiukkasten koko

Epäpuhtaushiukkasia mitataan ja vertaillaan mikrometriasteikolla. Yksi mikrometri, 1 μm , on miljoonasosa metristä ja se voidaan ilmoittaa myös metrin kertoimena 10^{-6} m. Mikrometrinä voidaan käyttää myös nimitystä mikroni. Ihmisen silmä pystyy erottamaan noin 40 mikrometrin kokoluokkaa suuremmat hiukkaset. Hydraulijärjestelmässä kriittisimmät ja eniten vaurioita aiheuttavat epäpuhtaudet ovat yleensä tätä kokoluokkaa pienempiä, mikroskooppisen kokoisia hiukkasia, joiden tarkasteluun tarvitaan ihmissilmää avustavia laitteita. Hienot kiinteät hiukkaset, joita myös kutsutaan lietteeksi, ovat alle 5 μm kokoluokkaa. Nämä ovat aiemmin mainittujen kasautuvien tukkeumien sekä muun muassa eroosiokulumisen aiheuttajia. Suuremmat ja karkeat, lastuiksi kutsutut hiukkaset, taas ovat kokoluokaltaan yli 5 μm , joiden seurauksena ovat abrasiivinen kuluminen, pinta sekä kiinnileikkautumiset ja vakavat, välittömät vauriot. Nimitykset ovat tulkinnanvaraisia, koska toisen lähteen mukaan lietteitä ovat 3-25 μm kokoiset hiukkaset ja lastuhiukkaset suurempia kuin 25 μm (Sutherland 2008). (Kauranne et al. 2008; Parker)

Vällykset

Hiukkasten koosta johtuvat seuraukset hydraulijärjestelmissä riippuu järjestelmän komponenttien vällyksistä. Kun nämä vällysten sekä epäpuhtaushiukkasten koot tiedetään, voidaan tehdä johtopäätöksiä mahdollisten haittojen ja seurausten syistä. Taulukko 3.1 esittää yleisiä hydraulijärjestelmän komponenttien dynaamisia vällysmittoja. Kuten huomataan, mitat eivät ole suuria, minkä takia järjestelmiltä vaaditaan korkeaa puhtaustasoa. (Hodges 1996; Kauranne et al. 2008)

Taulukko 3.1. Hydraulikomponenttien dynaamisia vällyksiä. (Kauranne et al. 2008)

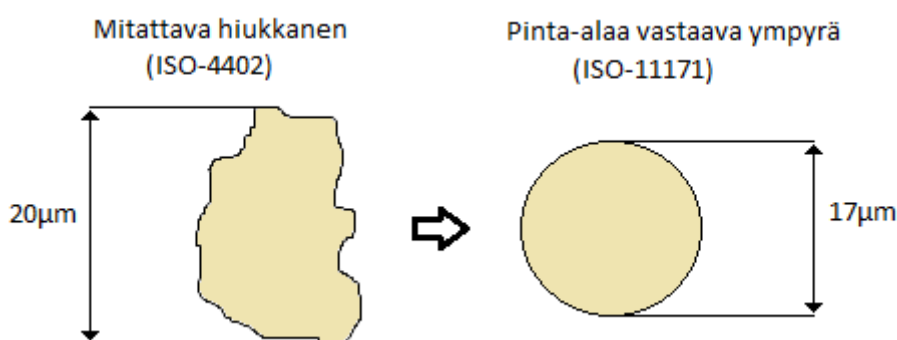
Komponentti	Vällys (μm)
<i>Hammaspyöräpumppu:</i> Hampaan kärki – kammion seinä	0,5 - 5
<i>Mäntäpumppu:</i> Mäntä - sylinteriseinä	5 - 40
<i>Luistiventtiili:</i> Luisti - Runko	5 - 25
<i>Servoventtiili:</i> Luisti - Runko	2 - 8

Taulukon 3.1 perusteella voidaan todeta, että esimerkiksi mäntäpumpun männän ja sylinteriseinän väliin ei tarvitse tapauskohtaisesti joutua suurtakaan epäpuhtaushiukkasta, joka aiheuttaa haittoja. Yli 5 mikrometrin kokoinen hiukkanen voi tässä tapauksessa aiheuttaa kulumista tai jopa kiinnileikkautumisen. Välyksen kokoiset tai pienemmät hiukkaset taas aiheuttavat järjestelmän hitaampaa vaurioitumista. (Kauranne et al. 2008)

Hiukkaskoon määrittäminen ja kalibrointistandardit

Vaikka hiukkaset ovat tietyn kokoisia ja muotoisia, voidaan niiden kokoa tulkita eri tavoin. Määrittäessä hydraulinesteen puhtausluokkia eli epäpuhtaushiukkasten lukumääriä ja kokojakaumaa hiukkasten koko määräytyy kalibrointistandardien mukaan. Standardit perustuvat tapaan suorittaa hiukkaslaskenta. (Multanen et al. 2014)

Automaattisille pullonäytehiukkaslaskimille on olemassa kalibrointistandardi ISO-11171. Standardi korvaa vanhemman ISO-4402 kalibrointistandardin ollessa tätä sisältöään huomattavasti laajempi. ISO-4402 standardi ei ole kuitenkaan kokonaan poistunut käytöstä, vaan sen periaatetta käytetään esimerkiksi öljynäytteiden mikroskopiointissa. Vanhempi standardi perustui kalibroitavaan hydraulinesteeseen, testiöljy MIL-H-5606:een, joka sisälsi ACFTD-testipölyä. ISO-11171 standardin kalibrointinesteenä on sama öljy, mutta siihen on lisätty ISO-MTD testipölyä. Tästä nesteestä käytetään nimitystä NIST SRM-2806. Kalibrointimenetelmiä kutsutaan lyhyesti nimillä ACFTD ja NIST ja ne eroavat toisistaan tavalla tulkita epäpuhtaushiukkasen koko. ACFTD-hiukkaskoko vastaa mitatun epäpuhtaushiukkasen ulointa pituutta, kun NIST-koko ilmoittaa hiukkasen pinta-alaa vastaavan ympyrän halkaisijan. Kuva 3.2 havainnollistaa saman hiukkasen koon tulkintaeroa näiden kalibrointimenetelmien kesken. (Multanen et al. 2014; Niiranen 2007)



Kuva 3.2. Hiukkaskoon määrittäminen kalibrointistandardien ISO-4402 ja ISO 11171 mukaan. (Niiranen 2007)

Uudemman kalibrointistandardin mukainen puhtausluokitus ja hiukkaskoko ilmoitetaan käyttäen hiukkaskokoyksikköä $\mu\text{m}(c)$. Vanhemman standardin merkintätavassa ei su-

luissa olevaa pientä c-kirjainta ole, vaan yksikkö on pelkästään μm . C-kirjain ilmaisee, että mittalaite on kalibroitu käyttäen ISO-MTD NIST kalibrointiöljyä. Taulukko 3.2 esittää uuden ja vanhan kalibroitistandardin määrittämän hiukkaskokoluokkien eron. Siitä huomataan, että esimerkiksi vanha kokoluokka 5 μm on uudemman standardin mukaan 4 m(c) sekä 15 μm :n luokka uudessa asteikossa 14 μm . Pienemmissä ja suuremmissä kokoluokissa ero on vielä suurempaa, kuten 4 μm (c):n kokoluokka on vanhemman standardin mukaan vajaa 1 μm . (Multanen et al. 2014)

Taulukko 3.2. ISO-4402 ja ISO-11171 –standardien kalibroinnin hiukkaskokoerot. (Bench 2000)

ISO-4402:1991 (ACFTD)->	ISO-11171:1999(NIST)	ISO-11171:1999(NIST)->	ISO-4402:1991 (ACFTD)
μm	$\mu\text{m(c)}$	$\mu\text{m(c)}$	μm
1	4,2	4	n. 0,9
2	4,6	5	2,7
3	5,1	6	4,3
5	6,4	7	5,9
7	7,7	8	7,4
10	9,8	9	8,9
12	11,3	10	10,2
15	13,6	14	15,5
20	17,5	15	16,9
25	21,2	20	23,4
30	24,9	25	30,1
40	31,7	30	37,3
50	n. 38	38	n. 50
100	n. 70	70	n. 100

Kokoluokkien muutokset asettavat hiukkaslaskimille suuria suorituskykyvaatimuksia, minkä takia monet laskimet ovat sopimattomia toimimaan uudemman standardin mukaan (Multanen et al. 2014). Standardien erot vaikuttavat myös hydraulineesteessä esiintyvien epäpuhtaushiukkasten määrän määrittämiseen. Taulukosta 3.3 huomataan, että siirryttäessä vanhemmasta standardista uudempaan tekemättä muutoksia tutkittaviin kokoluokkiin syntyy hiukkaspitoisuuksissa merkittäviä eroja. Hiukkaskoon pienetessä uudemman standardin hiukkasmäärien ilmoitus eroaa ja kasvaa vanhempaan verrattuna, kun hiukkaset ovat alle 10 μm :n kokoisia. Yli 10 μm :n kokoisissa hiukkasissa eroavaisuus risteää ja uudemman standardin hiukkasmäärät ovat näennäisesti pienemmät. Tämän eron huomioimatta jättäminen voi johtaa myöhemmin vääriin toimenpiteisiin. (Bench 2000)

Taulukko 3.3. Kalibrointien vaikutus hydraulinesteen epäpuhtaushiukkasten määriin. (Bench 2000)

Hiukkaskoko μm tai $\mu\text{m}(c)$	Vanhan standardin mukainen määrä (ACFTD), (hiukkasia/ml)	Uuden standardin mukainen määrä (NIST), (hiukkasia/ml)
2	4 170	24 900
5	1 870	3 400
15	179	105
25	40	14

Edellä mainitun kalibrointistandardiuudistuksen myötä on luotu myös kokonaan uusi ISO-11943 kalibrointistandardi koskemaan kaikkien online-hiukkaslaskimien kalibrointia. Sen tarkoituksena on verrata testattavan laskimen hiukkasmääriä ISO-11171:n mukaisesti kalibroituun laskimeen. ISO-11943 kalibrointi tehdään käyttäen samaa testiöljyä kuin ISO-11171 mukaisessa kalibroinnissa.

3.2 Hydraulinesteen ominaisuudet

Hydraulinesteellä on hydraulijärjestelmässä monta tehtävää, mutta ensisijainen tarkoitus on välittää tehoa pumpulta toimilaitteelle. Sen muita tehtäviä ovat järjestelmän tiiviyys ja jäähdytys, komponenttien liikkuvien osien voitelu, korroosion ja ruosteen esto sekä järjestelmästä irronneiden epäpuhtauksien kuljettaminen säiliöön ja/tai suodattimeen. Ihanteellista hydraulinestettä ei valitettavasti ole olemassa, sillä monet halutut ominaisuudet voivat keskenään aiheuttaa ristiriitaa nesteessä. Näitä ominaisuuksia edellä mainittuja tehtäviä tarkentaakseen ovat seuraavat (Kauranne et al. 2008; Hodges 1996):

- Sovellukseen ja komponentteihin sopiva viskositeetti
- Suuri viskositeetti-indeksi, eli mahdollisimman riippumaton lämpötilasta
- Hyvä voitelukyky kulumisen estämiseksi
- Suuri puristuskerroin vähentääkseen joustoja
- Pieni tiheys virtaushäviöiden minimoimiseksi
- Hyvä lämmönjohtavuus, eli järjestelmän jäähdytyskyky
- Hyvä ilmanerottamiskyky vähentääkseen esimerkiksi kavitaatiovaaraa
- Alhainen höyrypaine
- Paloturvallisuus, eli korkea syttymislämpötila
- Kemiallisesti stabiili, eli nesteen ominaisuudet muuttuvat mahdollisimman vähän käytössä
- Hyvä terminen kestävyys, eli ei muutu lämpötilavaihteluissa
- Sopiva järjestelmän materiaalien kanssa estääkseen kemialliset reaktiot

- Hyvä suodatettavuus
- Ympäristöystävällinen
- Edullinen hinta

Nesteelle asetetaan usein toisistaan poikkeavia tai vastakkaisia vaatimuksia. Sovelluksesta riippuen käytettäväksi nesteeksi valitaan kuitenkin siihen parhaiten soveltuva. Valinta ei aina tee nesteestä riittävän hyvää, jolloin nesteen ominaisuuksia voidaan parantaa erilaisilla lisäaineilla. (Kauranne et al. 2008; Hodges 1996)

Yleisimpiä hydraulijärjestelmissä käytettäviä nesteitä ovat mineraaliöljyt, jotka pohjautuvat raakaöljyihin. Mineraaliöljyjen laatu riippuu suurelta osin jalostusasteesta ja kemiallisesta rakenteesta. Ominaisuudet öljyillä ovat jo sellaisenaan hyvät normaalioloissa, mutta niitä voidaan parantaa parantaa käyttämällä lisäaineita. Perusöljyt eivät vahingoita hydraulijärjestelmissä käytettäviä metalleja ja tiivistemateriaaleja, minkä takia järjestelmän materiaalit voidaan valita melko vapaasti. (Kauranne et al. 2008; Hodges 1996)

3.2.1 Viskositeetti

Viskositeetti on hydraulinesteen tärkein tunnusluku. Se kuvastaa nesteen vastusta virrata ja yleiskielessä nimetty nesteen ”paksuudeksi”. Oikea viskositeetti pitää järjestelmän tehohäviöt pienenä ja voitelukyvyyn parhaana. Liian pieni viskositeetti heikentää voitelukalvoa ja lisää vuotohäviöitä, kun liian suuri viskositeetti lisää vastushäviöitä ja kavi-taation mahdollisuutta. Viskositeetti yksikkö on [cSt], joka tarkoittaa lukuarvoa kerrot-tuna $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$:lla. Hydraulinesteiden viskositeetti ilmoitetaan yleensä standardin ISO 3448 mukaisella viskositeettiluokalla. Luokat jaetaan nesteen kinemaattisen viskositeetin mukaan, joka on mitattu lämpötilassa 40 °C. Viskositeettiluokka määräytyy keski-viskositeetin arvon mukaan, jolle sallitaan $\pm 10 \%$ vaihtelu muodostaen näin ylä- sekä alarajat. Taulukko 3.4 havainnollistaa luokkien jakautumisen. (Kauranne et al. 2008; Hodges 1996)

Taulukko 3.4. ISO-3448 mukaiset viskositeettiluokat. (Kauranne et al. 2008)

ISO VG –luokka VG=Viscosity Grade	Keskiviskositeetti $*10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ [cSt]	Alaraja $*10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ [cSt]	Yläaraja $*10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ [cSt]
2	2,2	1,98	2,42
3	3,2	2,88	3,52
5	4,6	4,14	5,06
7	6,8	6,12	7,48
10	10	9	11
15	15	13,5	16,5
22	22	19,8	24,2
32	32	28,8	35,2
46	46	41,4	50,6

68	68	61,2	74,8
100	100	90	110
150	150	135	165
220	220	198	242
320	320	288	352
460	460	414	506
680	680	612	748
1000	1000	900	1100
1500	1500	1350	1650
2200	2200	1980	2420
3200	3200	2880	3520

Viskositeetin lisäksi käytetään hydraulinesteen ominaisuudesta kertovaa viskositeettiindeksiä, joka kuvaa viskositeetin muutosta lämpötilan muutoksen suhteen. Viskositeettiindeksin (VI) kasvaessa viskositeetin muutos lämpötilan funktiona pienenee. Suuremman VI:n omaavia hydraulinesteitä voidaan käyttää laajemmalla lämpötila-alueella säilyttäen nesteelle asetetut vaatimukset. Mineraaliöljyillä VI arvo on yleisesti noin 95-100. (Kauranne et al. 2008)

3.2.2 Hydraulinesteen puhtaus

Hydraulijärjestelmän puhtaustaso voidaan määrittää erilaisilla mittauksilla, jotka tehdään hydraulinesteestä. Neste sisältää itsessään epäpuhtauksia, mutta järjestelmässä siihen kertyy epäpuhtauksia monesta muusta lähteestä, kuten edellä on todettu. Nesteen puhtauden luokitukseen on olemassa erilaisia standardeja, joista seuraavaksi esitellään yleisesti käytetyt ja ilmoitustavaltaan toisistaan hieman poikkeavat ISO-4406 sekä SAE-AS4059. (Kauranne et al. 2008; Multanen et al. 2014)

Öljynäytteiden puhtausluokitusstandardi ISO-4406

Tästä standardista on olemassa ja käytössä kaksi versiota, jotka ovat vanhempi ISO-4406:1987 sekä uudempi ISO-4406:1999. Standardi määrittää hydraulinesteessä olevan hiukkasmäärän kumulatiivisesti kahdella tai kolmella kokoalueella ja ilmoittaa kunkin alueen tietyn puhtausluokan mukaisesti. Vanhemmassa standardissa hiukkasten kumulatiiviset kokoalueet ovat $\geq 5\mu\text{m}$ ja $\geq 15\mu\text{m}$, kun taas uudemmassa alueet ovat $\geq 4\mu\text{m(c)}$, $\geq 6\mu\text{m(c)}$ ja $\geq 14\mu\text{m(c)}$. Uudemman version kaksi viimeistä ja suurinta kokoaluetta vastaavat vanhemman version alueita. ISO-luokka määräytyy tietyssä nestemäärässä olevan hiukkasmäärän mukaan, jota liitteessä 1 oleva taulukko esittää. Puhtausluokka ilmoitetaan ISO-luokkina kokoalueiden mukaan. Esimerkkinä puhtausluokka 22/19/16 tarkoittaa, että $\geq 4\mu\text{m(c)}$ kokoisia hiukkasia on ISO-luokan 22 mukainen määrä, $\geq 6\mu\text{m(c)}$ kokoisia hiukkasia on taas luokan 19 mukainen määrä ja $\geq 14\mu\text{m(c)}$ kokoisia hiukkasia vastaavasti luokan 16 mukainen määrä. Puhtauden lisäksi standardin mukainen luokitus ilmoittaa karkealla tasolla hiukkasjakauman. Normaalisti ISO-luvut poikkeavat toisistaan 2-3 luokkaa, joka kuvastaa tyypillistä hiukkasjakaumaa. Lukujen eron ollessa yli 3 luokkaa, on syytä tarkastella mahdollista analyysivirhettä. Tämä ero voi olla myös seu-

raus todellisesta tilanteesta. Jos ISO-luokat ovat jokaisessa hiukkaskoossa samat, niin kyse on mittauksen häiriötilanteesta, mikä voi johtua esimerkiksi öljynäytteen ilmakuplista. (Multanen et al. 2014; ISO 4406:1999]

Öljynäytteiden puhtausluokitusstandardi SAE AS4059 E

Tämä standardi on laadittu perustuen vanhempaan NAS 1638 –standardiin, jossa käytettävät hiukkaskoot ovat ISO-11171 –standardin mukaisesti määritetyt. Puhtausluokat esitetään kumulatiivisiin hiukkasmääriin perustuen ja hiukkasten kokoluokkia on kuusi. Nämä ovat NIST-kalibroinnin mukaan $\geq 4 \mu\text{m(c)}$, $\geq 6 \mu\text{m(c)}$, $\geq 14 \mu\text{m(c)}$, $\geq 21 \mu\text{m(c)}$, $\geq 38 \mu\text{m(c)}$, $\geq 70 \mu\text{m(c)}$ kokoiset hiukkaset. Taulukosta 3.5 nähdään, kuinka hiukkaskokoluokkien hiukkasmäärien perusteella määräytyvät eri puhtausluokat. Hydraulinesteen puhtausluokka voidaan näytteen perusteella ilmoittaa tämän standardin mukaan eri tavoin: tiettyä hiukkaskokoa suurempien hiukkasten määrän perusteella ilmoittamalla esimerkiksi luokka 5 tai 5D, suurimmalla puhtausluokka-arvolla useammalta hiukkaskokoalueelta ilmoittamalla esimerkiksi luokka 2 A–D tai ilmoittamalla eri puhtausluokka-arvot eri hiukkaskokoluokille esimerkkinä luokka 5A/3B/2C/1D. (Multanen et al. 2014)

Taulukko 3.5. Standardin SAE AS4059 E puhtausluokat hiukkasmäärille (kpl/100ml). (Multanen et al. 2014)

SAE AS 4059		Hiukkasmäärien maksimi, kappaletta per 100 ml näytettä (kumulatiivinen määrä)					
		$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$	$\geq 15 \mu\text{m}$	$\geq 25 \mu\text{m}$	$\geq 50 \mu\text{m}$	$\geq 100 \mu\text{m}$
Hiukkaskoko ACFTD		$\geq 4 \mu\text{m(c)}$	$\geq 6 \mu\text{m(c)}$	$\geq 14 \mu\text{m(c)}$	$\geq 21 \mu\text{m(c)}$	$\geq 38 \mu\text{m(c)}$	$\geq 70 \mu\text{m(c)}$
Hiukkaskoko NIST		$\geq 4 \mu\text{m(c)}$	$\geq 6 \mu\text{m(c)}$	$\geq 14 \mu\text{m(c)}$	$\geq 21 \mu\text{m(c)}$	$\geq 38 \mu\text{m(c)}$	$\geq 70 \mu\text{m(c)}$
Kokoluokka		A	B	C	D	E	F
PUHTAUSLUOKAT	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	1220	217	39	7	1
	3	6250	2430	432	76	13	2
	4	12500	4860	864	152	26	4
	5	25000	9730	1730	306	53	8
	6	50000	19500	3460	612	106	16
	7	100000	38900	6920	1220	212	32
	8	200000	77900	13900	2450	424	64
	9	400000	156000	27700	4900	848	128
	10	800000	311000	55400	9800	1700	256
11	1600000	623000	111000	19600	3390	512	
12	3200000	1250000	222000	39200	6780	1020	

SAE AS4059 standardin E versiossa on kumulatiivisten hiukkasmäärien luokituksen lisäksi luokitus differentiaalisille hiukkasmäärille. Itse hiukkasanalyysin toistettavuudelle voidaan puhtausluokkien kohdalla asettaa tietty raja. Jos rinnakkaiset näytteet eroavat

toisistaan kahden tai useamman ISO-luokan verran, tulos ei ole hyväksyttävä. (Multanen et al. 2014)

3.3 Hydraulijärjestelmän ja -komponenttien puhtaus

Kuten aiemmissa luvuissa on esitelty, epäpuhtauksia pääsee hydraulijärjestelmään useasta eri lähteestä. Koko järjestelmän puhtaustasoon vaikuttavat käyttämättömässä hydraulinesteessä jo olemassa olevat epäpuhtaudet sekä komponenttien epäpuhtaudet. Hydraulineste voidaan myös olettaa hydraulijärjestelmän komponentiksi. Näiden komponenttien puhtauden ilmoittamista, huomioon ottamista ja kehittämistä kutsutaan termillä tekninen puhtaus, joka korvaa negatiivisemmän ”jäännösepuhtaus”-termin. Teknisen puhtauden kehittäminen kasvaa koko ajan tärkeämmäksi asiaksi teollisuudessa, varsinkin autoteollisuudessa, mobilehydrauliikassa ja tuotantojärjestelmissä. Nykyaikaisilta hydraulijärjestelmiltä vaaditaan tehokkaampaa suorituskykyä, pidempiä takuuajkoja sekä parempaa käytettävyyttä ja pidennettyjä huoltovälejä. Tämä vaikuttaa itse järjestelmän toiminnan vaatimusten ja herkkyyden nousuun, koska välyksiä täytyy pienentää ja paineita kasvattaa. Näin ollen puhtauden parantaminen on erittäin tärkeää epäpuhtauksista aiheutuvien seurausten takia. (Köhler 2011)

Hydraulijärjestelmän eri komponenteille voidaan määrittää järjestelmältä vaadittu minimi puhtaustaso, joka takaa komponentin oikeanlaisen toiminnan. Tämän puhtaustason määrittää yleensä komponentin valmistaja. Jos järjestelmän puhtaustaso on huonompi mitä vaaditaan, on seurauksena mahdollisesti paljon lyhempi komponentin käyttöikä. Yleisesti ottaen järjestelmän puhtaustason täytyy olla vähintään sama, kuin järjestelmässä olevan likaherkimmän komponentin puhtaustaso. Taulukossa 3.6 on esitetty tyypillisiä eri vaatimia puhtausluokkia ISO-4406 –luokituksen mukaan ja taulukossa 3.7 taas eri järjestelmille annetut puhtausluokkasuositukset. (Parker; PSK 6707)

Taulukko 3.6. Hydraulikomponenttien vaatimat öljyn puhtausluokat. (Parker)

Komponentti	ISO-4406 -luokitus
Servoventtiili	17/14/11
Proportionaaliventtiili	18/15/12
Siipi- ja mäntäpumput sekä -moottorit	19/16/13
Suunta- ja paineventtiilit	19/16/14
Hammaspyöräpumput- ja moottorit	20/17/14
Virtaventtiilit sekä sylinterit	21/18/15
Uusi käyttämätön hydraulineste	21/18/16

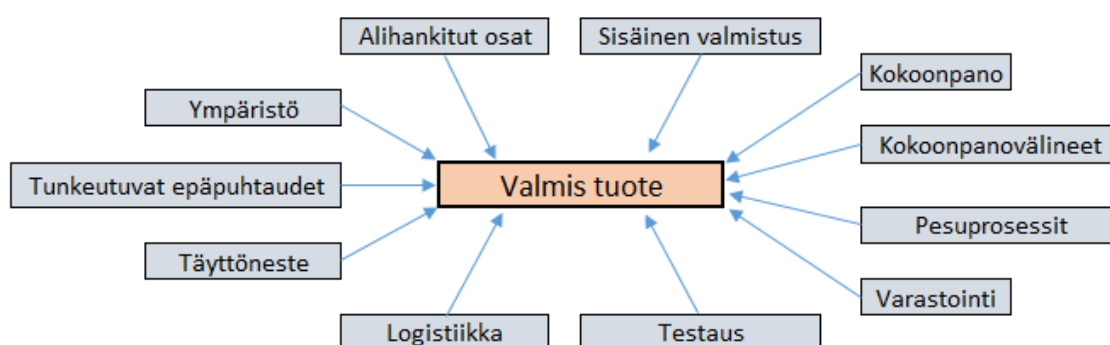
Taulukko 3.7. Hydraulijärjestelmien öljyjen puhtausluokkasuosituksia (Kauranne et al. 2008)

Järjestelmä	ISO-4406 -luokitus
Matalapainejärjestelmät perinteisin venttiilein	24/17/14
Korkeapainejärjestelmät perinteisin venttiilein	21/16/13
Proportionaaliventtiilijärjestelmät	20/15/12
Servoproportionaaliventtiilijärjestelmät	18/14/11
Servoventtiilijärjestelmät	18/13/10
Erittäin herkät suurtehojärjestelmät	16/11/9

Puhtaustason luokitukset ovat yleisiä esimerkkejä ja voivat vaihdella komponenttien valmistajan sekä erityisesti järjestelmän painetason mukaan kuten yllä mainituista taulukoista huomataan. Puhtausluokka voi olla heikompi, kun järjestelmän painetaso on pieni. Painetason ollessa suurempi, vaadittu puhtausluokka täytyy vuorostaan olla parempi. Komponenttien vaatimien puhtausluokkien perusteella voidaan laatia myös koko hydraulijärjestelmälle oma puhtausluokkasuositus. (Kauranne et al. 2008)

3.3.1 Epäpuhtauslähteiden tarkastelu

Epäpuhtauslähteitä käsiteltiin pintapuolisesti luvussa 3.1, mutta niitä on syytä tarkastella yksityiskohtaisemmin. Epäpuhtaudet tulevat hydraulijärjestelmän eri komponentteihin ja nesteeseen joko alihankkijan tai lopullisen valmistajan toimesta tuotteen eri elinkaarien vaiheista aina alusta lähtien. Lopullisen tuotteen epäpuhtauslähteet voidaan tarkasti jaotella kuvan 3.3 esittämällä tavalla. (Rinkinen & Elo 2013)



Kuva 3.3. Epäpuhtauslähteet hydraulijärjestelmän valmistuksessa Köhleriä mukaillen. (Köhler 2011)

Kuvan 3.3 mukaan voidaan jaotella 11 eri epäpuhtauslähdettä, jotka tarkasteltuna ovat seuraavanlaiset:

1. Tuotteen valmistamiseen käytettävät alihankkijan toimittamat osat ja komponentit sisältävät itsessään jo tietyn verran epäpuhtauksia. Alihankkijan toimittamat

- komponentit voivat olla esimerkiksi heidän valmistusprosessinsa takia valmiiksi likaisia.
2. Merkittävänä epäpuhtauslähteenä on sisäisen valmistus. Esimerkiksi koneistuksessa syntyy lastuja sekä hionnasta pölyä, mitkä jäävät komponenttien pinnoille ja kulkeutuvat näin lopulliseen tuotteeseen. Yleisesti koneistus, automaatio ja siihen käytettävät laitteet voivat tuottaa suuren määrän epäpuhtauksia (Welker 2012).
 3. Kokoonpanovaiheessa osat kiinnitetään toisiinsa, jolloin komponenteista voi toisiinsa osuessaan irrota hiukkasia, joka kulkeutuu lopulliseen tuotteeseen.
 4. Kokoonpanossa käytetyt välineet ja laitteet voivat tuottaa myös epäpuhtauksia. Työpisteiden siisteydellä, työntekijöiden vaatteiden ja hanskojen puhtaudella on merkitystä. Myös komponenttien likaisista kuljetinhihnoista voi irrota epäpuhtauksia.
 5. Komponentit saadaan puhtaaksi oikeanlaisella pesuprosessilla. Kuitenkin sen ollessa tehoton tai puuttuessa kokonaan komponentit säilyvät likaisina, joka näkyy lopputuotteen puhtaudessa. Komponenttien pesusta lisää luvussassa 3.3.2.
 6. Komponenttien epäpuhtaudet voivat olla myös vääränlaisen säilytyksen sekä varastoinnin tulosta. Esimerkiksi säilytysastioiden lika ja säilytyspisteiden sijainti likaisessa ympäristössä vaikuttaa puhtauteen.
 7. Komponenttien ja tuotteiden testauksessa testiympäristön ja –välineiden puhtaus vaikuttaa valmiin tuotteen puhtauteen.
 8. Kun komponentteja kuljetetaan ja toimitetaan, voi kappaleeseen huonon kuljetus- ja pakkaustavan takia kertyä epäpuhtauksia (Rinkinen & Elo 2013). Näin olleen logistiset ratkaisut vaikuttavat osaltaan puhtauteen.
 9. Hydraulineeste ennen tuotteeseen täyttämistä voi olla myös likaista.
 10. Tuotteeseen ja hydraulijärjestelmään voi tunkeutua epäpuhtauksia eri paikoista. Esimerkiksi liitoskohdat ja nestesäiliöiden huohotinaukot ovat kriittisiä paikkoja epäpuhtauksien tunkeutumiselle.
 11. Yleisesti valmistusprosessin, tuotannon ja tuotteen käyttötilanteessa vallitsevan ympäristön epäpuhtaudet vaikuttavat tuotteen puhtauteen. (Kauranne et al. 2008; Köhler 2011; Welker 2012)

3.3.2 Komponenttien pesu

Epäpuhtauslähteenä oleva pesuprosessi on keskeinen vaihe komponenttien puhtautta ajatellen. Mittausten avulla on osoitettu, että oikeanlaisella pesuprosessin kehittämisellä on saatu parannettua esimerkiksi hydrauliputken puhtautta keskimäärin 64-kertaiseksi (Rinkinen & Elo 2013). Kuitenkin väärällä tavalla toteutettu pesu voi olla oletettua huomattavasti tehottomampi. (Elo et al. 2013)

Komponenttien pesussa on oleellista kohdistaa pesu komponenttien märkäpinnoille, jotta tekninen puhtaus toteutuu parhaiten. Yleisesti käytetyt teollisuuspesukoneet koh-

distavat pesun vain kappaleiden pinnoille ja poistavat ulkoisia epäpuhtauksia ja rasvaa. Näille ei ole asetettu yleensä sen tarkempia vaatimuksia. Hydraulikomponenttien pesulle tyypillisiä koneita ovat suihkupesukoneet, jotka pesevät kappaleet hyvin juuri ulkopinnoilta. Komponentit kuitenkin useasti vaativat pesulta muutakin, kuin ulkopinnan pesua, jolloin tyypillisten pesukoneiden tulokset ovat heikot. Tästä hyvänä esimerkkinä sylinteriputki, jonka pestävä pinta on putken sisäpuoli. Oikeanlaisten pesukoneiden on näin ollen pystyttävä pesemään kappaleet hyvin juuri niistä kohdista, joiden täytyy olla puhtaita. (Elo et al. 2013)

Pesukoneiden pesutavan lisäksi on myös olennaista kiinnittää huomiota pesunesteen laatuun. Pesuneste vaikuttaa suoraan pestävän komponentin loppupuhtauteen ja sen täytyy olla aina puhtaampaa kuin komponentin haluttu puhtaustaso. Pesunesteen pitää myös olla soveltava irrottamaan epäpuhtaushiukkaset komponentin pinnalta, joten siltä vaaditaan tapauskohtaisesti oikeanlaista koostumusta. Jos pesuneste ei ole koko ajan uutta, vaan sitä kierrätetään pesukoneessa, täytyy nestettä suodattaa oikeanlaisilla suodattimilla. Suodatuksen avulla saadaan ylläpidettyä nesteen laatua ja kuntoa. Oikeanlaisen suodattimen valinnassa on otettava huomioon näin ollen komponentin vaadittu puhtaustaso ja sen mukaisesti nesteeltä vaadittu puhtaustaso. Yleisesti oikeanlaisen pesukoneen ja pesuaineen valinta täytyy tehdä niillä pestävän komponentin vaatimusten mukaisesti. (Elo et al. 2013)

Hydraulijärjestelmien vaatimusten tiukentaminen lisää vaatimuksia tekniselle puhtaudelle. Tämän takia nykyaikaisten pesukoneiden on täytettävä nämä vaatimukset. Edellä mainittujen yleisten vaatimusten lisäksi nykyaikaisille pesukoneille on olemassa monenlaisia haasteita. Teknisen puhtauden vaatimia kriittisiä arvoja täytyy pystyä ylläpitämään koko tuotantoprosessin aikana varsinkin lyhyillä puhdistussykleillä. Nestejäämien kiinnittymistä komponenttien pinnoille täytyy pyrkiä minimoimaan, kun samaan aikaan pesunesteen käyttöikä täytyy saada pidettyä maksimissa. Puhdistus, huuhtelu, jäysteenpoisto sekä kuivaus täytyy taas saada suoritettua mahdollisimman kompakteissa järjestelmissä hyvällä energiatehokkuudella. Pesunesteen suodatus pitäisi toteuttaa ilman kulutustavaroita ja/tai pidentämällä suodattimen käyttöikä, kun samalla haastetta lisää tiukemmat puhtausvaatimukset. Yleisesti ottaen koko puhdistusjärjestelmän vaatimusten mukainen käytettävyys pitää saada varmistettua ja säilytettyä käytön aikana. (Hydac International 2011)

3.4 Hydraulijärjestelmien suodatusmenetelmät

Aineita ja niiden eri olomuotoja voidaan erotella usealla eri menetelmällä, jotka voidaan jakaa neljään kategoriaan. Nämä kategoriat ovat kiinteän erotus kaasusta, nesteen erotus nesteestä, kiinteän aineen erotus toisesta kiinteästä sekä kiinteän aineen erotus nesteestä. Hydraulijärjestelmissä epäpuhtaushiukkasia voidaan viime kädessä erottaa suodatuksen avulla, joka on kiinteän aineen ja nesteen erotusmenetelmä. Suodatus tapahtuu järjestelmään sijoitettavilla suodattimilla, jotka erottavat epäpuhtaushiukkaset hydraulines-

teestä. Oikealla tavalla määritetty, asennettu ja huollettu suodatus on avaintekijä hydraulijärjestelmän ja nesteen kunnossapidon kannalta (Parker). Suodatus mahdollistaa järjestelmän pidemmän käyttöiän ja parantaa sen toimintavarmuutta (Fonselius et al. 2008). Näin ollen on oleellista suunnitella oikeanlainen suodatus, mikä vaatii tarkempaa tietoa suodattimista, niiden ominaisuuksista ja sijoituspaikoista. (Dickenson 1997; Kauranne et al. 2008)

3.4.1 Suodattimien toimintaperiaate

Yleisin hydraulijärjestelmään asennettava suodatin koostuu kiinteästä rungosta, johon asennetaan suodatinpatruuna. Hydraulineste virtaa suodattimen rungon läpi ja varsinaisen suodatus tapahtuu suodatinpatruunassa, joka erottaa epäpuhtaushiukkaset nesteestä. Suodatinpatruunoiden suodatustyyliä voidaan jakaa kahteen periaatteeseen: pintasuodatus ja syväsuodatus. (Kauranne et al. 2008; Sutherland 2008)

Pintasuodatus

Pintasuodatuksessa epäpuhtaudet jäävät suodatinpatruunan materiaalin pinnalle. Suodatin koostuu tietyn kokoisista rei'istä tai virtauskanavista, jonka läpi neste pääsee suoraan virtaamaan. Nämä aukot päästävät läpi tiettyä kokoa pienempiä hiukkasia ja estävät sitä suurempien hiukkasten kulkeutumisen. Kuitenkin aukkoa pidemmät, mutta kapeammat, esimerkiksi kuitumaiset hiukkaset, voivat kulkeutua suodattimen lävitse. Pintasuodattimet toimivat näin ollen suoraan hiukkasten ja aukkojen kokojen välillä. Patruuna valmistetaan yleensä kutomalla ohut kangas käyttäen metallilankoja tai kuituja. Toinen menetelmä on asettaa päällekkäin metallilevyjä tietyn etäisyyden välein toisiinsa nähdessä. Pintasuodatuspatruunat ovat yleensä puhdistettavia ja niitä voidaan käyttää useita kertoja. (Parker; Kauranne et al. 2008; Sutherland 2008)

Syväsuodatus

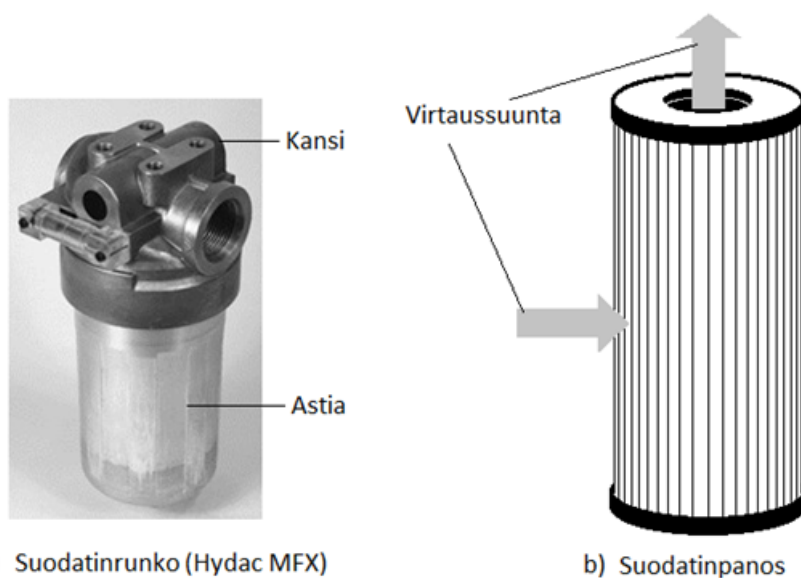
Toinen suodatusperiaate on niin sanottu syväsuodatus. Tätä menetelmää käyttävät suodatinpatruunat valmistetaan kuitumatosta tai metallirakeista, jotka on yhteensintrattu useiksi kerroksiksi. Kuitumatot valmistetaan eripaksuisista selluloosa-, muovi-, lasi-, kangas- tai metallikuiduista, jotka levitetään useiksi kerroksiksi ja kiinnitetään sopivan sideaineen avulla toisiinsa. (Kauranne et al. 2008)

Syväsuodatus eroaa pintasuodatuksesta suodatustavansa takia. Syväsuodatukseen perustuvan suodatinpatruunan materiaalin rakenne koostuu onkaloista ja sokkeloista, joita pitkin epäpuhtaushiukkaset kulkevat, kunnes eivät enää mahdu etenemään. Suodatinmateriaalin virtausaukot ovat kuitumaisen rakenteen takia erikokoisia, jonka takia hiukkaset eivät välttämättä jää suodattimen pinnalle, vaan kulkeutuvat ja takertuvat kiinni syvemmälle suodatinmattoon. Tämän ansiosta suodatin pystyy suodattamaan erikokoisia-

ja muototia epäpuhtaushiukkasia. Syväsuodatinpatruunoille ei voida asettaa näin ollen varsinaista suodatustarkkuutta, vaan se täytyy määrittää vertaamalla suodattimeen saapuvien ja suodattimen läpi suodattuneiden, toisiaan vastaavien, erikokoisten hiukkasten lukumääriä. Syväsuodattimet pystyvät rakenteensa takia keräämään ja suodattamaan itseensä enemmän epäpuhtauksia kuin saman suodatuspinta-alan omaavat pintasuodattimet. Tämän takia syväsuodatukseen perustuvien suodatinpatruunoiden käyttöikä on paljon suurempi kuin pintasuodatukseen perustuvat. (Parker; Kauranne et al. 2008; Sutherland 2008)

Suodattimien rakenne

Suodatinpatruuna/-panos sijoitetaan normaalisti suodatinrunkoon, joka koostuu kannesta sekä astiasta ja mahdollisesti muista osista. Runko (kuva 3.4a) toimii patruunan suojana, yhdistää suodattimen muuhun järjestelmään sisään- ja ulostulojen kautta ja mahdollistaa lisävarusteiden kiinnityksen. Suodatinpatruuna koostuu useista suojakankaista ja verkoista, jotka pyrkivät estämään suodatinmateriaalin vaurioitumisen olosuhteiden, kuten paine-eron ja virtausnopeuden, vaihteluista. Suodatinmateriaali tehdään yleensä tähtimäiseksi, jonka tarkoituksena on saada mahdollisimman suuri suodatuspinta-ala. Hydraulinesteen virtaussuunta on yleensä suodatinpatruunan ulkopinnan läpi sisäputkeen, josta neste jatkaa matkaa takaisin järjestelmään (Kuva 3.4b).



Kuva 3.4. Esimerkit suodatinpatruunasta ja suodattimen rungosta. (Womack)

Suodattimeen asennettavia yleisiä lisävarusteita ovat tukkeumanosoitin, ohivirtausventtiili sekä magneettitulppa. Tukkeumanosoittimen tehtävänä on ilmoittaa suodattimen tukkeutuminen mekaanisesti tai sähköisesti, kun tukkeutumisesta aiheutuva paine-ero kasvaa tarpeeksi suureksi. Ohivirtausventtiili taas estää liian suuren paine-eron aiheuttaman suodatinpatruunan rikkoutumisen ja mahdollistaa näin nesteen virtauksen suodat-

timen ohi tietyn paineen jälkeen. Magneettitulpan tehtävänä on tehostaa suodattimen toimintaa keräämällä ferromagneettisia epäpuhtauksia suodatettavasta nesteestä. (Kauranne et al. 2008)

3.4.2 Suodattimien ominaisuudet

Suodattimien ominaisuuksia ja suorituskykyä voidaan kuvata eri tavoin. Yleisimpiä ilmoitustapoja varsinkin valmistajien puolelta ovat nimellistilavuusvirta, painehäviö, suodatusaste ja suodatussuhde. Muita ilmoitettavia ominaisuuksia ovat epäpuhtauskapasiteetti, kokoonpuristumis- ja repeytymispaine sekä väsymiskestävyys. Suodattimien suodatustarkkuus pyritään määrittämään komponenttien pienimpien välysten mukaan ja tästä syystä on tärkeä huomioida valmistajien antamia ohjeita. (Fonselius et al. 2008; Kauranne et al. 2008)

Suodatusuhde ja -asteet

Suodattimen tehokkuus voidaan ilmoittaa suodatussuhteen ja absoluuttisen sekä nimellisen suodatusasteen avulla. Tärkein näistä on suodatussuhde, joka ilmoittaa suhdelukuina suodattimeen tulevien tietyn kokoisten hiukkasten lukumäärän suhteessa suodattimesta lähteviin samankokoisten hiukkasten lukumäärään. Suodatussuhde määritellään Multi-Pass-kokeella, jossa suodattimessa kierrätetään nestettä, johon sekoitetaan standardoitua ISO-MTD koepölyä. Koepölyä lisätään jatkuvasti, jotta nesteessä suodattimeen virtaavien epäpuhtauksien konsentraatio pysyy samana. Multi-Pass kokeella saadaan selville myös suodatussuhteen kanssa riippuvainen suodattimen yli vallitseva paine-ero sekä epäpuhtauskapasiteetti. Suodatussuhteesta käytetään yleisesti nimeä β -arvo, ja se ilmoitetaan muodossa

$$\beta_x = \frac{N_1}{N_2} \quad (1)$$

jossa β_x on dimensioton luku ja tarkoittaa suodatussuhdetta hiukkaskokoa x suuremmille hiukkasille [$\mu\text{m} / \mu\text{m}(c)$], N_1 on suodattimeen virtaavien x -kokoisten ja sitä suurempien hiukkasten lukumäärä ja N_2 on suodattimesta virtaavien x -kokoisten ja sitä suurempien hiukkasten lukumäärä. (Kauranne et al. 2008; Parker)

Suodatussuhde ei kerro itsessään vielä tarpeeksi, vaan tehokkuuden ilmoittamiseen käytetään sitä hyväksi käyttäen suodattimen erotuskykyä, toisin sanoen hiukkasten talteenotto- tai suodatustehokkuutta. Tämä erotuskyky saadaan laskettua seuraavanlaisella kaavalla:

$$E_x = \left(1 - \frac{1}{\beta_x}\right) * 100\% \quad (2)$$

Kaavassa E_x tarkoittaa prosentuaalista määrää x -kokoisia hiukkasia, jonka suodatin suodattaa sen läpi virtaavasta nesteestä. (Kauranne et al. 2008; Parker; Sutherland 2008)

Tarkastellusta hiukkaskokoluokasta suodattuu siis suhteessa sitä suurempi osa, mitä suurempia β_x ja E_x :n antamat arvot ovat. Käytännössä suodattimien suodatussuhde saa suurempia arvoja, jos se on määritetty suuremmalle hiukkaskoolle. Tämän takia pelkääntään β_x -arvo ei kerro kaikkea, vaan suodattimien välisen vertailun kannalta on tärkeää ilmoittaa myös määrittämissä lopussa vallinnut painehäviö. Vertailu on myös mahdollista, jos suodatussuhdetta ei ole määritetty samalla hiukkaskoolle. Tästä seurauksena suodattimista ilmoitetaan yleisesti se hiukkaskoko, jolla suodatussuhteen vähimmäisarvo on 75. Esimerkiksi, jos valmistaja ilmoittaa suodattimen ominaisuutena $\beta_3 > 75$, suodatin pystyy poistamaan vähintään 98,7 % yli 3 μm :n kokoisista hiukkasista. Kyseinen suodatin on näin ollen parempi, kuin esimerkiksi $\beta_5 > 75$ arvolla ilmoitettu suodatin. Taulukko 3.8 esittää x -kokoluokkaa olevien hiukkasten lukuja suodatussuhteelle, suodattimen erotuskyvylle ja suodattimen läpi virtaavien hiukkasten lukumäärille, kun nesteessä virtaavien hiukkasten esimerkkilukumäärä on 1000000 kappaletta. (Kauranne et al. 2008)

Taulukko 3.8. Suodatussuhteen ja erotuskyvyn arvot sekä läpivirtaavat kappaleet suodattimessa. (Sutherland 2008)

Miljoonaa kappaletta x -kokoluokkaa olevia hiukkasia		
β_x - arvo	E_x - arvo	Suodattimen läpi virtaavat kappaleet
1.0	0	1 000 000
1.5	33	670 000
2.0	50	500 000
10	90	100 000
20	95	50 000
50	98	20 000
75	98,7	13 000
100	99	10 000
200	99,5	5 000
1000	99,9	1 000
10 000	99,99	100

Suodattimen tehokkuutta voidaan ilmoittaa myös absoluuttisella ja nimellisellä suodatusteella. Absoluuttinen suodatinaste ilmoittaa suurimman koon pallomaiselle ja kovalle hiukkaselle, joka läpäisee suodattimen koeoloissa. Tämä on niin suodattimen suurin huokoskoko, joka ilmaistaan mikrometreinä. Suodatussuhde $\beta_x = 100$ vastaa x -kokoluokan absoluuttista suodatusastetta. Todellisuudessa epäpuhtaudet poikkeavat muotonsa puolesta koetilanteesta, ja suodatinten huokokset eivät ole samankokoisia, jo-

ten tämä suodatusaste ei ole itsessään riittävän tarkka kertomaan suodattimen tehokkuudesta. (Kauranne et al. 2008)

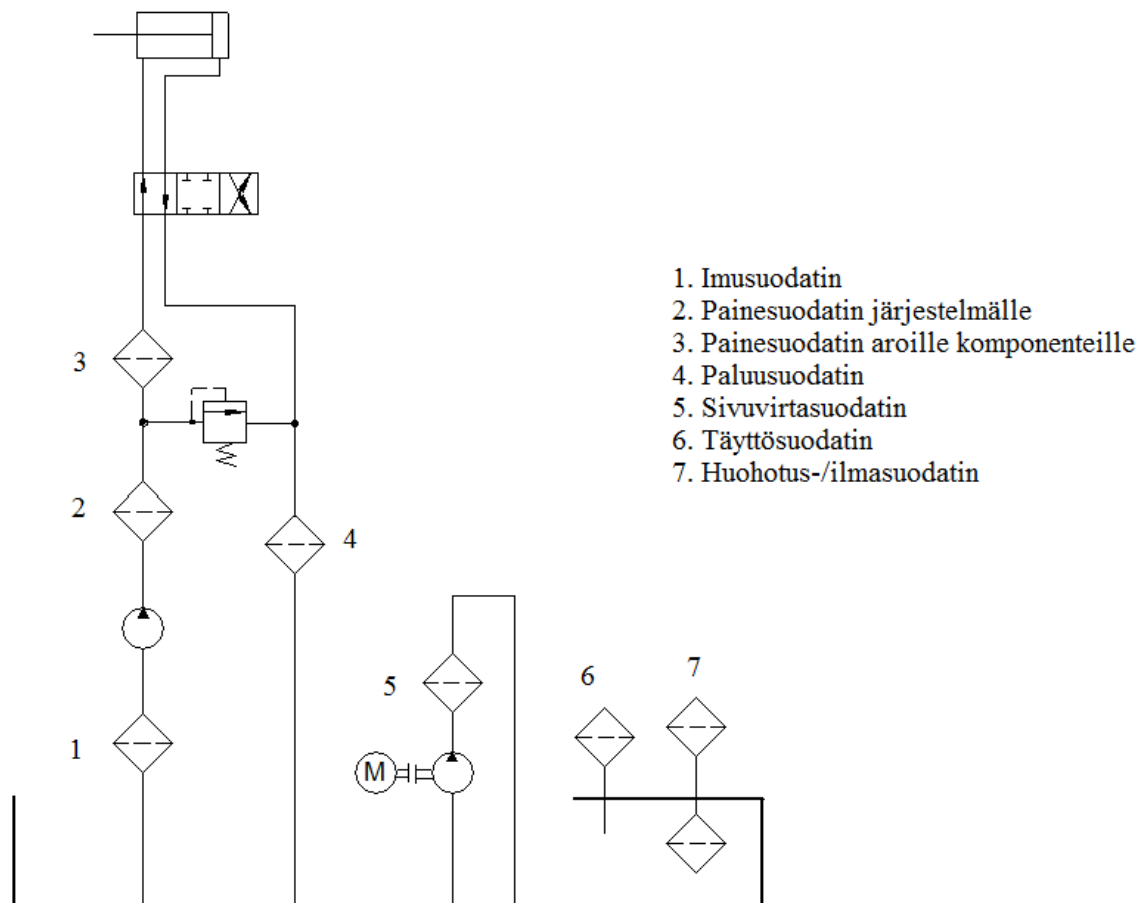
Nimellinen suodatusaste ei ole tarkasti määriteltävissä, vaan riippu suodatinvalmistajista. Yleisesti ottaen arvo perustuu siihen, että suodatin suodattaa noin 95–98 % tiettyä kokoluokkaa suuremmat hiukkaset hydraulineesteestä. Tätä vastaava suodatussuhteen arvo on $\beta_x = 20$. Nimellisen suodatusasteen määrittäminen voi poiketa paljon eri valmistajien kohdalla, joten tämä arvo ei kerro olennaisinta tietoa ja siihen on suhtauduttava varovaisesti. (Kauranne et al. 2008)

Suodatussuhteen määrittämiseen tehty koetilanne on pyritty vastaamaan todellista käyttötilannetta. Siihen ei ole kuitenkaan päästy täysin, sillä todellisessa tilanteessa tilavuusvirran ja paineen vaihtelut voivat olla suuret, kun taas koetilanteessa on koko ajan vakiotilavuusvirta ja suodattimen yli vallitseva paine-ero kasvaa vähitellen. Myös todellisessa järjestelmässä olevat epäpuhtaudet eroavat muodoltaan ja koostumukseltaan koetilanteessa käytettävästä koepölystä. Kuitenkin suodattimille tehdyt erilaiset testit kertovat yleisesti, että muutokset partikkelien ominaisuuksissa, kuten koko, kokojakauma ja muoto, sekä nesteen ominaisuuksissa, kuten viskositeetti ja lämpötila, vaikuttavat suoraan mitattuun suodatussuhteeseen ja erotuskykyyn. On siis harkittava tarkkaan, kuinka suodattimista ilmoitettuja teoreettisia arvoja tulisi soveltaa käytäntöön, varsinkin käyttötilanteen poiketessa paljon koeolosuhteista. (Kauranne et al. 2008; Peuchot et al. 2008)

3.4.3 Suodattimien sijoitus

Jotta voidaan saavuttaa haluttu puhtausluokka, täytyy hydraulijärjestelmään laatia siihen sopivat suodatusratkaisut. Yksi suodatin ei riitä takaamaan riittävää järjestelmän luotettavuutta sekä riittävää käyttöikää vaan hydraulijärjestelmään on rakennettava suodatusjärjestelmä. Suodattimia asennetaan tämän takia hydraulijärjestelmän eri paikkoihin ja tietty sijoituspaikka vaatii omanlaisensa suodattimen. Suodatinten tyypit riippuvat siis sijoituspaikasta ja niille suunnatusta tehtävästä. Suodattimien sijoituksen, määrän, suodatusasteen ja epäpuhtauskapasiteetin valinnassa vaikuttaa komponenttien epäpuhtausherkkyys, järjestelmän käyttöaste, paineet, lämpötilat, tilavuusvirrat ja käyttöympäristö. (Kauranne et al. 2008)

Suodattimet luokitellaan ja nimetään niiden sijoituspaikkansa mukaan. Hydraulijärjestelmän yleisimpiä suodattimia ovat paikkansa mukaisesti imusuodattimet, painesuodattimet, paluusuodattimet sekä sivuvirtasuodattimet. Öljysäiliön yhteydessä käytetään myös täyttö- sekä huohotinsuodattimia ja tehtävänsä mukaisesti edellä mainitut suodattimet voivat tarkennettuna olla työ- ja suojasuodattimia. Kuvan 3.5 hydraulikaaviossa on esimerkkejä suodatinten sijoituspaikoista avoimessa hydraulijärjestelmässä. (Kauranne et al. 2008; Parker)



Kuva 3.5. Suodattimien sijoituspaikkojen havainnollistus hydraulijärjestelmässä. (muokailtu Kauranne et al. 2008 ja Fonselius et al. 2008)

Imusuodatin sijoitetaan pumpun imukanavaan ennen pumppua. Sen tehtävänä on suojella pumppua epäpuhtauksilta, jotka tulevat öljysäiliöstä. Imusuodattimen suodatustarkkuus täytyy pitää karkeana tai suodatuspinta-ala suurena, sillä paine-eron ja imun takia syntyy helposti kavitaatiota. Näin ollen imusuodatinta ei voida normaalisti pitää pääsuodattimena järjestelmän puhtauden kannalta. Imusuodattimet eivät myöskään suodata sen jälkeisen pumpun tuottamia epäpuhtauksia, joten järjestelmään tarvitaan myös muita suodattimia. (Kauranne et al. 2008; Parker)

Painesuodatin asennetaan yleensä painelinjaan, jolloin se altistuu koko järjestelmän paineelle. Tarkoituksena on saada pumpun tuottama tilavuusvirta kulkemaan kokonaisuudessaan sen läpi, ja suodattimen takia tarkka sijaintipaikka on pumpun ja paineenrajoitusventtiilin välissä. Painesuodattimen tehtävänä on suojata koko hydraulijärjestelmää epäpuhtauksilta, jotka saapuvat suodattimeen etenkin pumpusta tai pumpun läpi. Painesuodattimet suojaavat myös herkkiä komponentteja kuten proportionaali- ja servoventtiilejä. Joissain ratkaisuissa voidaan asentaa tätä varten pumpun jälkeisen painesuodattimen lisäksi toinen karkeampi painesuodatin juuri ennen herkkiä komponentteja, jolloin turvataan järjestelmän äkillisten häiriöiden tuottama epäpuhtausmäärän kasvu. (Kauranne et al. 2008; Parker; Sutherland 2008)

Säiliöön palaavan nesteen virtauskanavaan sijoitettava suodatin on nimeltään paluusuodatin. Se sijoitetaan siten, että järjestelmästä kaikki säiliöön saapuva neste suodattuu ja kulkee suodattimen läpi. Paluusuodattimen tehtävänä on estää järjestelmästä irronneiden epäpuhtauksien pääseminen säiliöön ja sen kautta järjestelmän kierto. Paluuvirrassa tilavuusvirrat voivat vaihdella suuresti, jolloin paluusuodatin täytyy mitoittaa sen läpi kulkevan suurimman tilavuusvirran perusteella. Tällä tavoin voidaan estää vauriot mahdollisten paine-erojen seurauksena. Kuitenkaan paluuvirrassa ei ole niin suuret paineet kuin painelinjassa. Paluusuodattimet asennetaan normaalisti ohivirtausventtiilin kanssa. (Kauranne et al. 2008; Sutherland 2008)

Varsinkin suurissa hydraulijärjestelmissä käytetään kuvan 3.5 mukaista off-line eli sivuvirtasuodatusta. Sen tarkoitus on puhdistaa säiliössä olevan nestettä epäpuhtauksista, joka tapahtuu riippumatta muut järjestelmän toiminnasta. Sivuvirtasuodatus koostuu yleensä moottorilla toimivasta pumpusta ja suodattimesta, jotka muodostavat erillisen piirin. Tämä menetelmä soveltuu hyvin kokonaisvaltaisen puhtauden ylläpitoon, mutta huonosti tiettyjen hydraulikomponenttien suojaukseen. Pienemmissä hydraulijärjestelmissä sivuvirtasuodatusta käytetään, jos järjestelmään pääsee ympäristöstä epäpuhtauksia tai tilavuusvirrat vaihtelevat paljon. Suodatusaste voidaan tässä käytettävään suodatimeen valita jopa paremmaksi kuin komponentit vaativat. Suodattimen puhdistusteho saadaan paremmaksi kuin järjestelmään sijoitettavat suodattimet, koska virtaus suodattimen läpi on tasainen ja paine-erot eivät vaikuta itse hydraulijärjestelmän toimintaa. (Kauranne et al. 2008; Parker)

Hydraulinestesäiliön pinnalle voidaan sijoittaa huohotinsuodatin sekä täyttösuodatin. Huohotinsuodattimen tarkoituksena on estää huohotinaukon kautta virtaavan ilman joukossa kulkevien epäpuhtauksien pääsy hydraulinesteen sekaan. Suodatussuhde tulisi huohotinsuodattimella olla vähintään sama kuin järjestelmän tarkimmalla suodattimella. Täyttösuodatin taas on yleensä karkea suodatin, joka poistaa vain erittäin suuret epäpuhtaushiukkaset säiliötä täytettäessä. Tämän takia säiliöön täytettävä neste tulisi siirtää paremman suodatusasteen omaavan suodatusyksikön kautta. (Kauranne et al. 2008)

Työsuodattimia esimerkkien mukaisesti ovat kuvan 3.5 mukaiset suodatustavat 2 (riippuu järjestelmästä ja tarkkuudesta suhteessa paluusuodatimeen), 4 ja 5. Niiden tehtävänä on ylläpitää järjestelmältä vaadittua ja haluttua puhtausluokkaa. Suojasuodattimia ovat taas suodatustavat 1, 3, 6 ja 7, joilla estetään ulkopuolisten epäpuhtauksien pääsy hydraulijärjestelmään sekä suojataan järjestelmässä olevia herkkiä hydraulikomponentteja. Suojasuodattimia on tarkoituksena käyttää aina työsuodattimien ohella. (Kauranne et al. 2008)

3.4.4 Suodattimien valinta

Suodatinten valintaan vaikuttaa useita tekijöitä ja siihen annettavaa ohjeistusta saadaan esimerkiksi standardeista sekä suodatinvalmistajilta. Suodatinten ja suodatinjärjestelmän valintaan vaikuttaa ensisijaisesti hydraulijärjestelmältä haluttu puhtaustaso sekä hydraulikomponenttien asettamat puhtausvaatimukset. Hydraulijärjestelmän suodatusratkaisuksi voidaan valita joku edellä esitetyistä suodatustavoista, mutta parhaimmat puhtausluokat saadaan käyttämällä sekä yhdistelemällä erilaisia suodatustapoja. Jokainen hydraulijärjestelmä on omanlainen, joten suodatustapojen soveltuvuus täytyy arvioida järjestelmäkohtaisesti. (Parker; PSK 6705)

Taulukossa 3.9 on esitetty standardin PSK 6705 mukaiset suodatustavat mitoitusohjeineen, jossa suodatustavoissa on erikseen esitetty säiliökiertosuodatus ja sivuvirtasuodatus. Luvussa 3.4.3. esitetty sivuvirtasuodatus on esitetty juuri säiliöön tehtyyn sivuvirtaan, joten taulukkoa 3.9 täytyy tulkita ja hyödyntää tapauskohtaisesti. Tässä tapauksessa myös painesuodatus on tehtävältään suoja-suodatin.

Taulukko 3.9. Hydraulijärjestelmän suodatusohjeita PSK-standardin mukaan. (PSK 6705)

Suodatus	Suodatintyyppi	Suodatustarkkuus	Mitoitusarvo
Painesuodatus (Suoja-suodatin)	Korkeapainesuodatin, $\beta_x = 75-500$.	1-2 suodatusporras- ta harvempi kuin työsuodatin, esim. $x = 6-12 \mu\text{m}(c)$.	Pumppauslinjan tuot- taman virtausnopeu- den maksimi.
Paluusuodatus (Työsuodatin)	Matalapainesuodatin, suuri virtausnopeus. $\beta_x = 75-500$	Esim. $x = 5-7$ $\mu\text{m}(c)$	Suurin mahdollinen paluuvirtaus.
Säiliökiertosuodatus (Työsuodatin)	Matalapainesuodatin, a) suuri virtausnopeus $\beta_x = 75-500$ b) pieni virtausnopeus $\beta_x > 500$	a) esim. $x = 5-7 \mu\text{m}(c)$ b) esim. $x = 4-5 \mu\text{m}(c)$	a) vähintään 10% säiliön öljytilavuu- desta minuutissa b) alkaen 1 l/min.
Sivuvirtasuodatus (Työsuodatin)	Matalapainesuodatin, pieni virtausnopeus $\beta_x = 75-500$	4-5 $\mu\text{m}(c)$	Alkaen 1 l/min.
Huohotussuodatus (Suoja-suodatin)	Ilmansuodatin	3 μm	Paine-ero saa olla enin- tään 0,01 bar 5- kertaisella maksimipa- luuöljynvirtauksella.

Taulukon 3.9 antamien ohjeiden lisäksi suodattimia valittaessa täytyy ottaa huomioon hydraulinesteen viskositeetti. Viskositeetti ja suodattimen suodatustarkkuus vaikuttavat merkittävästi suodattimen yli aiheutuvaan paine-eroon, joka on olennainen tieto hyd-

raulijärjestelmissä. Myös epäpuhtaudenkeruukapasiteetti on huomioitava suodatinta valittaessa, koska valmistajien suodatinpatruunoissa voi olla suuriakin eroja. (PSK 6705)

Erilaisten suodatusratkaisujen ja suodatustapojen yhdistelmien valintaan löytyy ohjeistusta myös suodatinvalmistajien toimesta. Käytettävien komponenttien ja järjestelmässä käytettävien paineiden mukaan valmistajat voivat suositella puhtausluokkia. Näille tapauksille annetaan lisäksi tarvittavat suodatussuhteen ja -tarkkuuden arvot sekä suodattimien minimilukumäärä ja suodatustavat. Esimerkiksi matalapaineisessa (<68 bar) servoventtiilikomponentein varustellussa järjestelmässä suositeltu ISO 4406 puhtausluokka on 17/14/12, suodatussuhde β_5 suurempi kuin 200, suodattimia vähintään kaksi kappaletta ja suodatustapoina paine- ja paluusuodatus. (Parker)

Luvussa 3.4.4 kerrottiin eri suodatustavoista, niiden tehtävistä ja ominaisuuksista sijoituspaikkoineen. Niiden välistä vertailua ja soveltuvuuden arviointia käytettävään hydraulijärjestelmään voidaan käyttää oikeanlaisen suodatusratkaisun valinnassa. Taulukoon 3.10 on koottu vertailumielessä eri suodatustapojen ja -paikkojen hyötyjä sekä haittoja, joka on hyvä työkalu suodatinten valinnassa.

Taulukko 3.10. Suodatintyyppien ja sijoituspaikkojen vertailutaulukko. (Parker)

SUODATUSTAPA	HYÖDYT	HAITAT
Imusuodatin	<ul style="list-style-type: none"> - Viimeinen suoja pumpulle - Helppo huoltaa 	<ul style="list-style-type: none"> - Käytettävä suhteellisen korkeaa suodatustarkkuutta ja/tai suurta pinta-alaa, pitääkseen painehäviöt alhaisena - Kustannukset - Ei suojaa komponentteja, jotka altistuvat pumpusta lähteville epäpuhtauksille - Ei ehkä sovi monille vaihtelevan tilavuuden pumpuille - Suojaa koko järjestelmää huonosti
Painesuodatin	<ul style="list-style-type: none"> - Hyvä komponenttien suojaukseen - Parantaa järjestelmän yleistä puhtaustasoa - Voidaan käyttää korkeaa tehokkuutta ja tarkkaa suodatusta omaavia suodattimia - Suodattaa pumpusta lähteviä epäpuhtauksia 	<ul style="list-style-type: none"> - Suodatinrunko suhteellisen kallis, koska sen täytyy kestää järjestelmän koko paine - Ei suodata komponenteista lähteviä epäpuhtauksia
Paluusuodatin	<ul style="list-style-type: none"> - Poistaa epäpuhtaudet komponenttien jälkeen ennen kuin ne virtaavat säiliöön 	<ul style="list-style-type: none"> - Ei suojaa komponentteja niihin saapuvilta, pumpusta lähteviltä epäpuhtauksilta

	<ul style="list-style-type: none"> - Matalimmat paineet eli pienemmän kustannukset - Voi olla ”in-line” tai ”in-tank” helpottaakseen asennusta - Matalat hankintakustannukset 	<ul style="list-style-type: none"> -Paluulinjan virtauksen vaihtelu voi vähentää suodattimen tehokkuutta -Ei suoraa komponenttien suojaa
Sivuvirtasuodatin (Off-line)	<ul style="list-style-type: none"> - Puhdistaa jatkuvasti järjestelmän hydraulineestettä, vaikka järjestelmä pois käytöstä - Huolto mahdollinen ilman järjestelmän sammuttamista - Optimaalinen suodatustehokkuus ja suodatinpatruunan ikä, koska virtaus tasaista - Tarkat puhtaustasot ovat paremmin saavutettavissa ja ylläpidettäviä - Nesteen jäähdytys voidaan toteuttaa helpommin 	<ul style="list-style-type: none"> -Suhteelliset suuret hankintakustannukset -Tarvitsee lisätilaa -Ei suojaa suoraan komponentteja

Yksi keskeinen sääntö suodatusta valittaessa on käyttää niin hienoa suodatintarkkuutta paine- tai paluulinjan suodattimissa, jotta saadaan pidettyä epäpuhtaudet hyväksyttävällä tasolla. Näiden lisäksi imusuodatinta olisi syytä käyttää aina pumpun kanssa, jotta se saadaan pidettyä suojassa hydraulisäiliöstä tulevilta epäpuhtauksilta. (Pugh 1982)

Suodatusta suunniteltaessa ja valittaessa on tärkeää ottaa huomioon myös kustannuskulma. Taulukossa 3.10 on mainittu suodatintyyppien haitoissa ja hyödyissä suuret tai matalat hankintakustannukset. Kuitenkin suunnittelu- ja valintapäätöksessä on tärkeää miettiä myös koko elinkaaren aiheuttamia kustannuksia huomioiden aika suodattimen käyttöönoton jälkeen. Suodatinten hankinta-, toimitus- ja asennuskustannusten lisäksi elinkaari- ja kokonaiskustannuksia syntyy suodatinpatruunan vaihdosta ja sen aikana tulevasta jäteöljyistä sekä energiakustannusten noususta häviöiden vaikutuksesta laitteiston käynnin aikana. Nämä ominaisuudet voivat vaihdella paljon suodattimen käyttöajan aikana. Esimerkiksi samoilla mitatuilla painehärviöarvoilla varustetut erilaiset suodattimet ja suodatinmateriaalit voivat erota häviöiltään huomattavasti käytön aikana hiukkasten kertymisen johdosta. Toisissa vaihtoehtoissa voi siis esiintyä nopeammin häviöiden kasvua kuin toisessa, mikä johtaa aikaiseen suodatinpatruunan vaihtoon. Valintapäätösten vaikutuksesta elinkaarikustannuksiin kertoo myös toinen esimerkki, jossa kaksinkertaistamalla suodattimen suodatuspinta-alan koon voidaan energiahäviötä vähentää merkittävästi ja pidennettyä suodatinpatruunan elinikää kolminkertaisesti suuremman lian keruukapasiteetin mahdollistamana. Tässä tapauksessa alkupään kustannukset ovat tietysti korkeat, mutta voi tuoda pidemmällä tähtäimellä suuremmat säästöt. (Parker Hannifin 2010)

Oikeanlaisen suodatusjärjestelmän suunnitteluun ja valintaan vaikuttaa merkittävästi jatkuva vaatimusten kiristyminen ja lisääntyminen. Edellä esitettävien asioiden lisäksi on tärkeää toteuttaa tehokas ja asianmukainen kunnossapitostrategia asiantuntevalla henkilöstöllä. Näin voidaan myös minimoida odottamattomat ongelmatilanteet. (Parker Hannifin 2010)

3.4.5 Pesukoneiden suodattimet

Kuten luvussa 3.3.2 on käsitelty, täytyy pesukoneiden pesuveden kunnosta huolehtia oikeanlaisella suodatuksella. Suodattimia ja suodatinratkaisuja on markkinoilla tarjolla erilaisia. Perinteisiä pesukoneisiin asennettavia suodattimia ovat pussi- ja patruunasuodattimet, joista patruunasuodattimilla päästään parhaimpiin suodatintarkkuuksiin. (3M 2014; Nousiainen 2013)

Suodattimia valitessa täytyy pyrkiä hyvään suodatustarkkuuteen ja lian keruukapasiteettiin sekä mahdollisimman pitkään vaihtoväliin. Nämä voivat kuitenkin olla haasteellisia edellä mainituilla suodattimilla, jos likakuormitus on suuri. Tähän on olemassa ratkaisuna automaattisia vastahuuhtelusuodattimia sekä pyörrepuhdistimia, joiden suodattimia epäpuhtauksia huuhdellaan nesteen avulla. Kummankin ratkaisun huonona puolena ovat niiden suodatustarkkuudet verrattuna suodatinpatruunoihin. Vastahuuhtelunesteelle on mahdollista asentaa myös erillinen suodatinyksikkö, ja pyörrepuhdistimien suodatusta voidaan parantaa yhdistämällä se suodatinpatruunatekniikan kanssa. (Hydac 2011; Hydac 2012a; Luomala 2013)

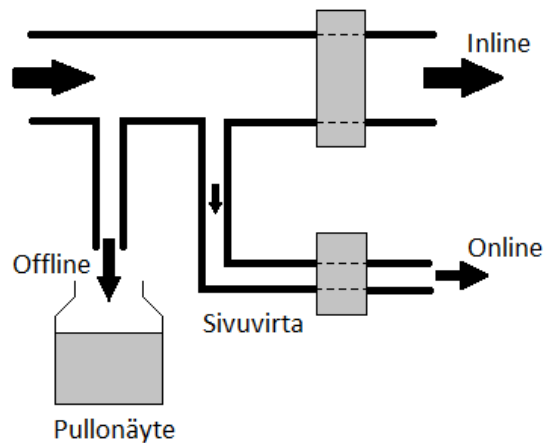
Perinteisissä suodatinmenetelmissä sekä automaattisissa suodattimissa on kummassakin omat hyvät ja huonot puolensa. Pesunesteen suodatuksen tarkoituksena on saada nestelle vaadittu puhtaustaso huomioiden myös taloudellinen puoli. Parhaimpaan ja taloudellisesti tehokkaimpaan suodatukseen päästäänkin todennäköisesti näiden kahden menetelmän yhdistämisellä. (Elo et al. 2013)

4 HYDRAULIJÄRJESTELMÄN PUHTAUDEN MITTAUSMENETELMIÄ

Kuten edellisessä luvussa todettiin, suurin osa hydraulijärjestelmien vaurioista ja häiriöistä aiheutuu epäpuhtaushiukkasista, jotka kokonsa puolesta on mahdotonta erottaa paljaalla silmällä. Suuret epäpuhtausmäärät voidaan erottaa hydraulinesteessä sameutena tai erottuvina partikkeleina, mutta tarkkaa arviointia on mahdoton tehdä visuaalisesti ilman apuvälineitä. Tämän seurauksena on kehitetty erilaisia mittausmenetelmiä puhtaustasojen selvittämiseen, joiden apuna ja ohjeena ovat useat standardit. Mittausmenetelmät voidaan jakaa karkeasti hydraulinesteen eli yleisesti öljyn puhtauden mittaamiseen sekä komponenttien puhtauden mittaamiseen. Seuraavaksi käsiteltävät mittausmenetelmät keskittyvät kiinteiden ja puolikiinteiden epäpuhtaushiukkasten mittaukseen. Tässä luvussa käsiteltävät asiat ovat edellisen luvun kanssa osa teoreettista tietoa. (Parker Hannifin 2010; Multanen et al. 2014)

4.1 Öljyn puhtauden mittaus

Öljyn puhtaustaso voidaan ilmoittaa eri standardien avulla, joista hyödyllisimmät ja tärkeimmät vaihtoehdot on esitetty luvussassa 3.2.2. Mittaukset voidaan suorittaa kolmen eri mittaustavan avulla, joita ovat offline- eli pullonäytemittaus sekä hydraulijärjestelmän virtauksesta suoraan mitattavat online- ja inlinemittaukset. Nämä mittaustavat eroavat toisistaan niiden hydraulijärjestelmässä olevan näytteenottoaikan perusteella, mitä kuva 4.1 esittää. Näytteenottoaika valitaan järjestelmästä yleensä sen perusteella, mitä tietoa halutaan. Yleisiä mitattavia asioita ovat muun muassa järjestelmän yleispuhtaus, suodattimen toiminta, toimilaitteiden kulumisesta aiheutuvat epäpuhtaudet, järjestelmän ulkopuolelta tulevat epäpuhtaudet sekä hydraulinestesäiliössä oleva öljyn puhtaus. (Multanen et al. 2014)



Kuva 4.1. Mittausmenetelmien sijoitus hydraulijärjestelmässä (Multanen et al. 2014)

Yleisesti käytetty mittauskohde on hydraulijärjestelmän paineen alainen linja. Tässä tapauksessa näytteen syöttöön tarvittava paine on jo olemassa ja epäpuhtaudet ovat jakautuneet tasaisesti nesteen sekaan. Jotkut epäpuhtaushiukkasten laskemiseen käytettävät laskurit pystyvät myös itse imemään öljyä, mikä mahdollistaa näytteenoton muualtakin kuin painelinjasta. (Multanen et al. 2014)

4.1.1 Pullonäyte

Pullonäytteenotossa (kuva 4.1) on tarkoituksena saada painelinjaan turbulenttinen virtaus ja erillisen näytteenottolaitteen avulla ohjata nestenäyte näytepulloon. Virtaus voi olla turbulenttista, kun Reynoldsin luku Re on enemmän kuin 2300, mutta käytännössä luvun täytyy olla yli 4000 olettaakseen virtauksen turbulenttisuus. Näytepullo tulee täyttää siten, että nestettä on pullon kokonaistilavuudesta enintään 75 % sekä mielellään vähintään 50 %. Ennen näytepullon täyttämistä on syytä laskea nestettä näytteenottolaitteen läpi vähintään 500 ml tai viisi kertaa näytepullon tilavuus. Jos näyte otetaan säiliöstä, tulisi edellä mainitun huuhdella näytteenottovälineet käyttäen 2000 ml puhdasta nestettä ennen näytteenottoa. Näytteenottoa säiliöstä ei suositella epävarmuuksien takia ja sitä pitäisi käyttää vain silloin, kun soveltuvaa mittauspistettä ei ole asennettu. (SFS 5136; Multanen et al. 2014)

Pullonäytteenoton huonoina puolina on hitaus sekä virhelähteet. Muihin menetelmiin verrattuna merkittävämpiä virhelähteitä ovat näytteenotto, näytteen käsittely sekä näytteenottovälineet. Virhelähteiden huomioiminen ja merkittävyys on suhteessa siihen, kuinka likainen näyte on. Mitä puhtaampi nestenäyte on, sitä suurempi on virhelähteiden merkitys näytteen varmuuden kannalta. Pullonäytteiden etuna taas ovat niiden analysointimahdollisuudet ja tarkemmat mittausvälineet, joista lisää luvussa 4.1.4. (Multanen et al. 2014)

4.1.2 Online-mittaus

Online-mittauksella voidaan suorittaa nesteen puhtauden mittaamista itse järjestelmästä, mutta myös pullosta. Järjestelmään sijoitettavilla mittalaitteilla pystytään myös suorittamaan nesteen jatkuvatoimista mittausta. Näytteenottoa paikkana tässä tapauksessa on päälinjasta viety erillinen linja mittalaitteelle (Kuva 4.1). Hydraulineeste virtaa siis suoraan mittalaitteen sensorin lävitse, joka analysoi näytteen välittömästi. Online-mittauksessa tulee pullonäytteen tapauksen lailla pyrkiä saamaan päälinjaan turbulenttinen virtaus ja sijoittamaan näytteenottoliitin virtaavaan nesteeseen. Jotta hiukkaslaskenta voidaan varmistaa luotettavaksi, se voidaan toteuttaa järjestelmän eri kohdista tehdyillä mittauksilla. Kuitenkin jatkuvan seurannan kannalta näytteenotto täytyy suorittaa aina samalla tavalla. (Multanen et al. 2014)

Näytteenotossa täytyy kiinnittää huomiota näytteenottolinjan eli mittausliittimen ja -letkujen huuhtoutumiseen. Tutkimustulokset (Rinkinen & Kiiso 1993; Elo et al. 2012) osoittavat, että puhtausluokka on mittauksen alussa heti analysaattorin kytkennän jälkeen likaisempi, mutta parani ja tasoittui hydraulijärjestelmän käynnin aikana muutama minuuttiin jälkeen. Mittauslaitteiden lika ja sen huuhtoutuminen vaikutti näin ollen puhtausluokkaan, mikä on huomioitava online-mittauksia suoritettaessa. (Multanen et al. 2014)

Online-mittauksen etuna on sen nopeus, helppous ja vähäiset virhelähteet pullonäytteen verrattuna. Mittauslaitteiden ominaisuudet ovat myös kehittyneet viime aikoina paljon, joka lisää hiukkasten laskennan luotettavuutta. Kuitenkin virheellisiä tuloksia voivat tuottaa hydraulinesteen seassa oleva vesi, ilma sekä suuri partikkelikonsentraatio, mitkä taas pullonäytteen esikäsitelyssä voidaan useimmiten poistaa. (Multanen et al. 2014)

4.1.3 Inline-mittaus

Inline-mittaus on online-mittauksen tavalla jatkuvatoimiseen hiukkasvalvontaan käytetty menetelmä. Erona tässä on se, että inline-sensori asennetaan suoraan öljylinjaan eikä erilliseen sivuvirtaan kuten kuva 4.1 esittää. Inline-mittauksessa on samat edut kuin online-mittauksessa, mutta haittana lisäksi sen hankala asennettavuus suoraan öljyvirtaan sekä öljyvirralla vaadittu pieni läpäisy mittalaitteen yhteensopivuuden takia. Tämän takia inline-mittaus ei ole niin yleisesti käytettävissä kuin muut mittaustavat. (Multanen et al. 2014)

4.1.4 Hiukkaslaskimet ja -laskennan periaatteet

Hydraulinesteen epäpuhtaushiukkasten laskenta voidaan suorittaa automaattisesti nykYTEKNOLOGIAA hyödyntäen joko laboratoriossa käytettävillä hiukkaslaskimilla tai suoraan järjestelmään sijoitettavilla kannettavilla tai kiinteästi asennettavilla laskimilla. Laskimet tarjoavat soveltuvuudeltaan ja asennettavuudeltaan erilaisia vaihtoehtoja, joilla hyd-

raulinesteen kuntoa pystytään mittaamaan ja valvomaan erilaisten hydraulijärjestelmien sekä toimintaympäristöjen rajoitteet huomioiden. Hiukkaslaskinten laskentatavat perustuvat pääsääntöisesti optiikkaan sekä mikroskopiointiin.

Jatkuvatoimiset hiukkaslaskimet

Kiinteästi hydraulijärjestelmään asennettavat automaattiset hiukkaslaskimet ovat niin sanottuja jatkuvatoimisia laskimia. Näiden laskinten avulla tehtävä puhtauden mittaus tapahtuu suoraan hydraulijärjestelmään asennettavista optisista sensoreista. Sensorit voidaan asentaa edellä mainittujen online- sekä inline-menetelmien mukaisesti. Laskimia ohjataan yleensä tietokoneen avulla ja ovat varustelultaan hieman vaatimattomampia kuin seuraavaksi esiteltävät kannettavat hiukkaslaskimet. Hydraulinsteessä esiintyvän ilman takia jatkuvatoimisessa mittauksessa on luotettavan tuloksen kannalta suositumpaa käyttää online-menetelmää, koska ilmanpoisto on helpompi toteuttaa sivuvirtauksesta. Jatkuvatoimisilla laskimilla voidaan ilmoittaa epäpuhtaushiukkasten määrät jopa kahdeksassa kokoluokassa. (Multanen et al. 2014)

Kannettavat hiukkaslaskimet

Kannettavilla optisilla hiukkaslaskimilla voidaan mitata hydraulinesteen puhtautta sekä järjestelmästä että erillisistä pullonäytteistä. Laskimien hyötynä on niiden siirreltävyys ja asennettavuus järjestelmän eri kohtiin. Järjestelmään tehtävä asennus tapahtuu online-menetelmää käyttäen ja mittaus voidaan tehdä hetkellisen tapahtuman lisäksi jatkuvatoimisesti. Jotkut laskimet ovat varustettu sisäisellä pumpulla, jolloin mitattavalta kohdalta ei vaadita omaa painetta tai virtausta. Tämä mahdollistaa myös nesteen mittauksen pullosta tai säiliöstä. (Multanen et al. 2014)

Kannettavissa hiukkaslaskimissa ei ole omaa ilmanpoistoautomaatiikkaa, mutta ilmanpoisto on mahdollista toteuttaa lisälaitteina. Laskimien mittaustarkkuus on kehittynyt aikaisemmasta ja nykyisillä laitteilla voidaan tarkkuuden osalta päästä laboratoriolaitteiden tasolle. Kuitenkin nestenäytteiden täytyy olla tilavuudelta suuremmat kuin laboratoriolaitteissa. (Multanen et al. 2014)

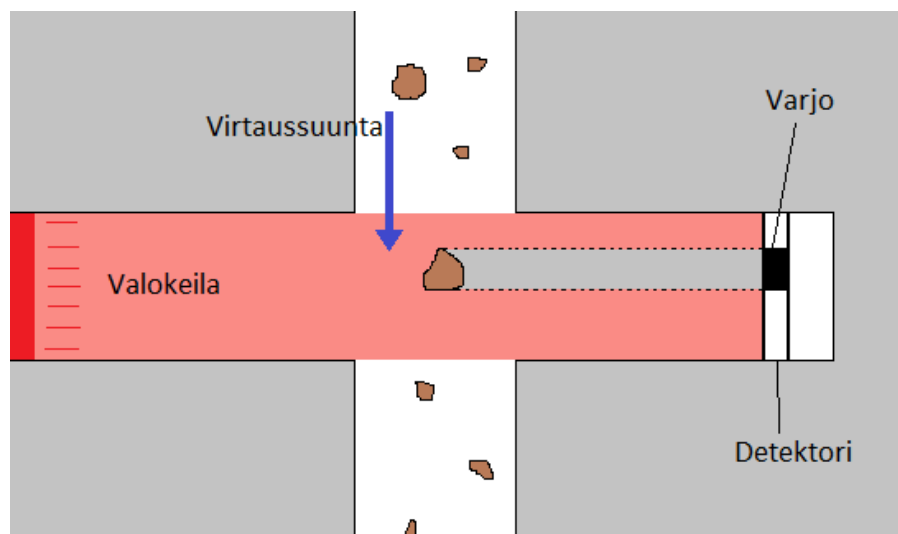
Laboratoriokäyttöön tarkoitetut hiukkaslaskimet

Laboratoriokäyttöiset optiset hiukkaslaskimet ovat esitellyistä laskimista tarkimpia. Niillä voidaan esittää hiukkasmäärät jopa 16 tai 32 eri hiukkaskoolle. Laskimet on tarkoitettu pullonäytteiden analysointiin ja niissä käytettävät sensorit ovat erittäin tarkkoja. Ne pystyvät analysoimaan erittäin likaisia sekä erittäin puhtaita näytteitä eikä näytteiden tarvitse olla tilavuudeltaan niin suuria kuin jatkuvatoimisten ja kannettavien laskureiden tapauksessa. Laboratoriokäyttöisiä laskimia ohjataan ja niiden mittaustuloksia luetaan tietokoneen kautta. Laitteisiin on olemassa erilaisia kaupallisia mittaus- sekä valvontaohjelmia. (Multanen et al. 2014)

Laskimien lisäksi laboratoriokäytössä hiukkaslaskenta voidaan suorittaa käyttämällä mikroskooppia. Tätä menetelmää suositellaan käytettäväksi optisten laskimien rinnalla. Menetelmä on huomattavasti hitaampi kuin optisilla laskimilla, mutta etuna on epäpuhtaushiukkasten tunnistamismahdollisuus kuten väri, muoto sekä materiaali. (Multanen et al. 2014)

Laskentamenetelmät

Epäpuhtaushiukkasten laskentamenetelmät perustuvat hiukkaslaskimien osalta optisten sensoreiden avulla tehtävään hiukkasten tunnistamiseen ja laskemiseen. Yli 3 $\mu\text{m(c)}$:n suuruisten hiukkasten mittaus perustuu niin sanottuun valonpeittomenetelmään. Analysoitava näyte virtaa sensorissa olevan mittauskennon lävitse. Mittauskennossa virtaava näyte hiukkasineen kulkeutuu valolla valaistun alueen läpi. Valonsäde heijastetaan toiselta puolelta mittauskennoa ja säde heijastuu taas toisella puolella olevalle valodetektorille. Kun hiukkanen osuu valonsäteeseen, muodostuu valodetektoriin varjo, jonka avulla tunnistetaan hiukkasen koko. Kuva 4.2 esittää sensorin mittauskennon toimintaa. (König-Pirk 2011)



Kuva 4.2. Valonpeittomenetelmään perustuvan sensorin toimintaperiaate. (König-Pirk 2011)

Sensorilla mittauksen huonona puolena on siinä tapahtuva mahdollinen koinsidenssivirhe, joka tapahtuu varsinkin suurten hiukkaspiteisyyksien eli erittäin likaisten näytteiden mittausten yhteydessä. Koinssidenssivirheessä mittauskennossa voi olla yhtä aikaa kaksi tai useampi hiukkanen. Valodetektori tunnistaa vain kappaleen varjon, jolloin esimerkiksi kaksi hiukkasta voi muodostaa vierekkäin isomman varjon tai toinen hiukkanen voi peittää pienemmän hiukkasen ja valodetektori tunnistaa vain suuremman hiukkasen. Näistä voi aiheutua mittaustuloksissa virhettä, joka on huomioitava tuloksia analysoitaessa. Virhettä voivat myös aiheuttaa näytteessä olevat ilmakuplat sekä vesi, jotka sensori tunnistaa toimintansa perusteella hiukkasiksi. Veden esiintyminen on kuitenkin haital-

lista öljyssä, jolloin sen havaitseminen on toisaalta hyödyksi. (König-Pirk 2011; Niiranen 2007)

Mikroskooppisessa hiukkaslaskentamenetelmässä öljynäyte täytyy valmistella ennen mikroskoopin avulla suoritettavaa laskentaa. Öljynäyte kaadetaan testisuppiloon ja imeetään tästä noin 1 µm:n kokoisilla huokosilla olevan membraanikalvon lävitse, jolloin epäpuhtaushiukkaset jäävät membraanin pinnalle. Membraani huuhdellaan liuottimella, kuivataan ja lopuksi asetetaan testikehykseen, josta se on valmis laitettavaksi tarkasteluun mikroskoopin alle. Mikroskoopin kautta voidaan näin ollen laskea membraanissa olevat epäpuhtaushiukkaset. Laskentaan on olemassa automaattimikroskooppeja, jotka yhdessä tietokoneohjelmistojen kanssa laskevat ja jakavat hiukkaset kokoluokan mukaan (Carl Zeiss MicroImaging 2014). (Multanen et al. 2014; Niiranen 2007).

4.2 Komponenttien puhtauden mittaus

Öljyn puhtauden lisäksi myös hydraulijärjestelmän eri komponenttien puhtautta voidaan mitata. Autoteollisuuden käyttämää autojen nestejärjestelmien komponenttien puhtauden mittausta on alettu hyödyntämään myös muussa hydraulikkateollisuudessa vasta viime aikoina. Tätä varten on vuonna 2007 julkaistu oma standardisarja ISO 16232, joka kertoo standardoidun menetelmän hydraulikomponenttien teknisen puhtauden selvittämiseen. Komponenttien puhtauden mittaus on siis erittäin uusi apumenetelmä hydraulikan puhtauden mittauksessa ja kehityksessä. (Rinkinen 2010)

4.2.1 Mittausmenetelmät

Komponenttien puhtauden mittaus aloitetaan epäpuhtauden irrottamisella mitattavasta komponentista. ISO 16232 esittää irrotusmenetelmiksi ravistamisen (agitation), painehuuhtelun (pressure rinsing), ultraäänitekniikan sekä tarkoituksenmukaisen testipenkin. Irrotusmenetelmän tarkoituksena on irrottaa mitattavan komponentin pinnalta suurin mahdollinen määrä siinä olevista epäpuhtaushiukkasista. (Rinkinen 2010)

Pääasiassa puhtausmittauksiin vaadittavassa epäpuhtaushiukkasten irrottamisessa käytetään tähän tarkoitukseen soveltuvaa puhtaustestikaappia. Mitattavalle komponentille tehdään kaapissa painehuuhtelu sopivalla erotusnesteellä, minkä tuloksena epäpuhtaushiukkaset siirretään membraanisuodattimelle. (Rinkinen 2010)

Irrotuksen jälkeen hiukkasia voidaan analysoida eri tavoin. Hiukkasten massa voidaan määrittää käyttäen gravimetrista analyysia, jossa tarkoituksena on selvittää hiukkasten massa ja ilmoittaa sen avulla tarvittavia tuloksia. Membraanisuodattimelle siirretyistä hiukkasista voidaan määrittää niiden koko sekä laskea lukumäärä käyttämällä automaattista mikroskooppia. Mikroskooppia käyttäen voidaan myös analysoida epäpuhtaushiukkasten ominaisuuksia. Hiukkaskoon määrittämiseen sekä lukumäärän laskentaan voi-

daan käyttää myös automaattista valonpeittoon perustuvaa hiukkaslaskinta. (Rinkinen 2010)

4.2.2 Mittaustulosten esitystapa

Standardisarja ISO 16232 esittää hiukkasmäärät kymmenen eri kokoluokan avulla, joista jokaisella kokoluokalla on oma tunnuskirjain B-K. Jokaisen kokoluokan puhtautta merkitään hiukkasmäärän mukaisesti numerolla 00-24. Näiden avulla saadaan komponentille oma puhtauskoodi Component Cleanliness Code, eli lyhyemmin CCC, jonka avulla voidaan esittää helposti usea eri hiukkaskokoluokka ja vertailla näin komponenttien välistä puhtautta. Varsinkin suurempia kokoluokkia voidaan CCC:n avulla esittää paremmin. Hydraulikomponenttivalmistaja Hydac on ilmoittanut hydraulikomponenteille suositeltavaksi puhtauskoodiksi A(D8/G7/H5/I4) ja suurimmaksi hiukkaskooksi 600 μm . Tämän mukaan esimerkiksi hiukkaskokoluokassa D ($25 \mu\text{m} \leq x < 50 \mu\text{m}$) saa olla hiukkasia 130–250 kappaletta. Koodin alussa oleva A tarkoittaa tulkintaa, että komponentin hiukkaslukumäärä on nomeerattu 1000 cm^2 referenssimärkäpinta-alaa kohti. Puhtauskoodin selvittämiseen olevat taulukot on esitetty liitteessä 2. (Rinkinen 2010)

5 OVENSULKIMEN TOIMINNAN TESTAUKSET, PUHTAUSMITTAUKSET JA -MITTAUSTULOKSET

Viidennessä pääluvussa esitellään tutkimusmenetelmät eli ovensulkimen toiminnan testaukset ja puhtausmittaukset. Tutkimus suoritettiin iteratiivisesti ja testaukset sekä mittaukset tehtiin tämän takia kahdessa osassa. Puhtausmittaustulokset ja niiden tarkastelu on esitetty mittausten menetelmien yhteydessä omissa aliluvuissaan.

5.1 Ensimmäiset ovensulkimen toiminnan testaukset

Abloyn aiempien tutkimusten ja selvitysten sekä tuotteille tehdyn jatkuvan testauksen perusteella ongelma on selkeä. Epäpuhtauksia on oletettu esiintyvän tuotteissa liikaa, mitkä voivat olla osasyynä tuotteen toimintahäiriöihin. Eniten ja toistuvasti toimintahäiriöitä on todettu esiintyvän Cam-sulkimissa sekä DA-malleissa, joissa on kolmas D-vaiheen säätöruuvi. Tutkimuksen aloituksen kannalta ensimmäiseksi oli tarkoitus havainnollistaa ongelmaa.

Testattaviksi ovensulkimiksi valittiin joukko sulkimia, jotka koostuivat DC700, DC700DA ja DC240DA –malleista. Testit suoritettiin kuvassa 5.1 olevassa testioivessa, joka vastaa ovensulkimen oikeanlaista käyttötarkoitusta. Kuvasta 5.1 käy ilmi myös ovensulkimen kiinnitystapa, joka oli kaikissa testeissä sama.



Kuva 5.1. Testiovi ja ovensulkimen kiinnitystapa.

Testissä kuvassa 5.1 olevassa testioivessa hydraulinen laite aukaisee oven aina uudestaan sulkeutumisen jälkeen. Suljinmalleille kullekin säädettiin mallikohtaisesti sama sulkeutumisaika. Jokaiselle DC 700DA- ja DC240DA-malleille säädettiin sama aika D-vaiheelle ja DC700-malleille säädettiin taas koko sulkeutumisvaiheen aika samaksi. Testissä tarkoituksena oli seurata, kuinka nämä säädetyt ajat muuttuvat ovensulkeutumiskertojen eli toistojen kasvaessa. Merkittävänä muutoksena pidettiin säädetyin sulkeutumisaikojen hidastuminen vähintään kaksinkertaiseksi tai oven jumiutuminen kokonaan. Näissä tapauksissa suljin todettiin huonoksi.

5.1.1 Sulkimien toiminnan havainnot

Testauksissa saatiin havainnollistettua toimintahäiriöt ja eroteltua hyvät ja huonot ovensulkimet toisistaan. Testattavista sulkimista kolme neljästä DC700-mallisista sulkimista toimi hyvin. DC240DA-mallin sulkimia testattiin viisi kappaletta, joista jokainen toimi hyvin tai välttävästi. DC700DA-mallin sulkimista kuudesta osoittautui huonoksi kaikki paitsi kaksi, jotka nekin olivat hyväksyttävän toiminnan rajoilla.

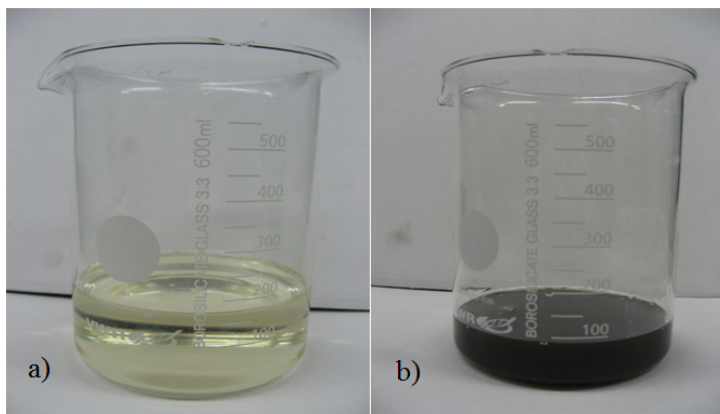
Ovensulkimien testausta vaikeuttaa hieman niiden käyttäytyminen käyttötilanteessa. Mitä enemmän suljin on ollut käytössä, sitä tasaisemmaksi sen säädetyin sulkeutumisaikojen keskihajonta muuttuu. Välillä myös joudutaan etsimään muutamien toistojen välein tehtävällä säätöruuvien säädöllä ovelta haluttu sulkemisaika. Jos halutaan säätää ovensulkeutumisenopeus esimerkiksi 10 sekuntiin, joudutaan säätöruuvia säätämään muutama kerran toistojen välillä. Tämä toiminta ei kuitenkaan ole toivottua ovensulkimelta ja se otettiin myös huomioon testauksissa.

Testauksissa havaittiin myös ilmiö, joka kertoo liasta seuranneesta mahdollisesta tukkeutumisesta. Ovensulkimen jumiuduttua sulkeutumisvaiheeseen eli tilanteeseen, jossa ovi jää raolleen tai hidastuttua merkittävästi, saatiin ovi liikkeelle kääntämällä säätöruuvia hieman auki. Tämä kertoo siitä, että lika tukkii säätöruuvin ja virtauskanavan välin eikä öljy mahdu virtaamaan säätöruuvin ohi. Säätöruuvia kiertäessä lika näin ollen ilmeisesti pyyhkiytyy pois ja avaa tukoksen, jolloin virtaus jatkuu normaaliin tapaan. Ilmiö tapahtui joissain tapauksissa myös kiertämällä säätöruuvia hieman kuristussuuntaan. Tässä tapauksessa lika myös pyyhkiytyy ja poistaa tukoksen, vaikka säätöruuvi kuristaisikin virtauskanavaa. Tukos on siis ollut sen verran suuri, että virtaus on vielä mahdollinen kuristuksen kasvaessa.

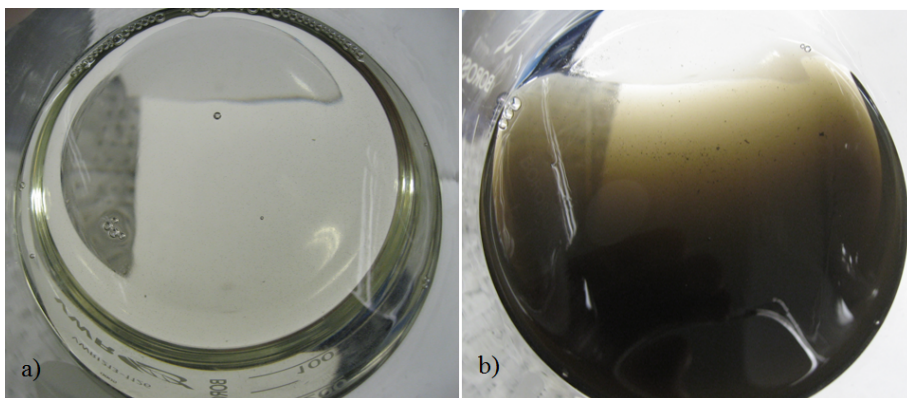
5.1.2 Öljyn tilan ja säätöruuvin tarkastelu

Ongelman havainnollistamista varten tutkittiin myös miten öljyn tila silmämääräisesti muuttuu sen jälkeen, kun se on ollut käytössä olevassa ovensulkimessa. Kuvassa 5.2 on vasemmalla öljy ennen sen täyttöä sulkimeen ja oikealla öljy, joka on tyhjennetty käy-

tössä olleesta sulkimesta. Kuvassa 5.3 on sama öljy, mutta kuvattuna ylhäältä päin mit-
talasia hieman kallistettuna.



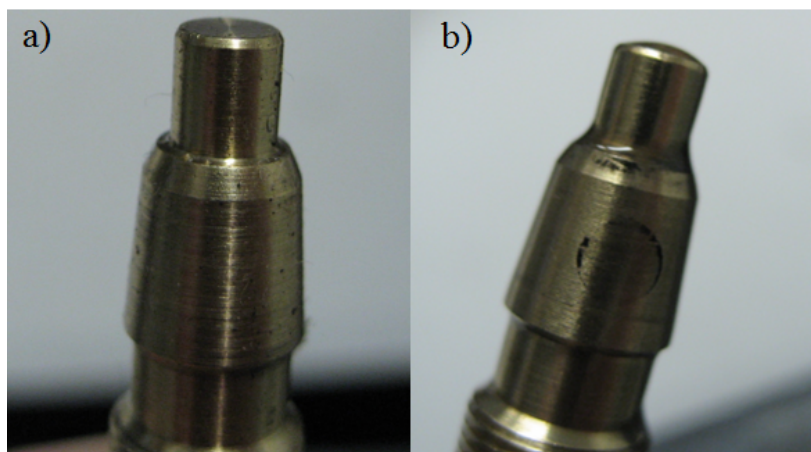
Kuva 5.2. Öljyn ulkonäkö a) ennen täyttöä ja b) käytössä olleen sulkimen tyhjennyksen jälkeen.



Kuva 5.3. Kuvan 5.2. tilanne ylhäältä kuvattuna.

Kuvasta 5.2 huomataan selvästi, kuinka öljy muuttuu sulkimen käytön aikana täysin eriväriseksi. Kuvasta 5.3 taas nähdään likaisemmassa öljyssä olevia paljaalla silmällä erottuvia epäpuhtaushiukkasia. Tällä tarkastelulla saatiin havainnollistettua hyvin on-
gelma öljyn epäpuhtaudesta.

Toinen havainto saatiin testissä olleen ovensulkimen säätöruuvista. Testin jälkeen sul-
kimesta irrotettiin säätöruuvi ja tutkittiin siinä ollutta likaa. Kuvassa 5.4 on vasemmalla
uusi säätöruuvi ja oikealla sulkimesta irrotettu säätöruuvi.



Kuva 5.4. Kartiosäätöruuvi a) ennen ja b) jälkeen sulkimen käytön.

Kuvasta 5.4 voidaan huomata, että säätöruuvissa on ovensulkimen virtauskanavan muotoinen kasauma epäpuhtauksia sekä likaa myös kartion juuressa. Tässä tapauksessa kävi tutkimuksen kannalta hyvin, koska suurimmassa osassa irrotetuissa säätöruuveissa ei ollut likaa, mikä johtuu luultavasti ruuvien kiertämisessä tapahtuvasta lian pyyhkiytymisestä.

5.1.3 Puhtausmittausten teettäminen

Testauksessa todettujen toimintahäiriöiden, öljyn tilan sekä säätöruuvien tarkastelun perusteella pystyi todeta, että öljyssä on epäpuhtauksia, jotka todennäköisesti vaikuttavat ovensulkimen toimintaan. Silmämääräiset havainnot eivät kuitenkaan riitä, vaan on tarpeellista saada standardoitua ja konkreettista tietoa liasta sekä lian määrästä öljyn seassa. Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli selvittää, mikä on öljyn nykyinen puhtaustaso. Öljyn puhtaustaso pystytään kuvaamaan erilaisten standardien avulla, jotka vaativat tietynlaiset mittaustoimenpiteet.

Öljyn puhtausmittausten paikkaansa pitävän tuloksen takia mittajaan täytyy olla kokenut ja koulutautunut, minkä takia mittaukset valittiin teetetäväksi Tampereen teknillisen yliopiston hydraulikan ja automaatiotekniikan laitoksen laboratorion tarjoamassa mittauspalvelussa. Mittaukset valittiin tehtävän pullonäytteistä, mikä oli ainoa mahdollinen tapa mitata ovensulkimien sisällä olevaa öljyä.

5.2 Ensimmäiset öljyn puhtausmittaukset

Luvun 5.1 testausten perusteella päädyttiin tekemään öljyn puhtausmittauksia selvittääkseen nykyinen puhtaustaso standardien ilmoittamana. Mitattaviksi kohteiksi valittiin testattavien sulkimien sisältämä öljy sekä lisäksi öljyntäyttökoneessa kiertävä ja täyttökoneeseen pumpattava tynnyriöljy. Jokaisen mitattavan kohteen öljyn näyte todettiin olevan eri rajoitteiden takia järkevin mitata pullonäytteestä, joka myös mahdollisti useamman hiukkaskoon mittaamisen.

Testattavista sulkimista valittiin sekä huonoja että hyviä yksilöitä puhtaustmittauksia varten. Tämän tarkoituksena oli selvittää, onko sulkimien puhtaustasoissa eroa ja näin yhteyttä toimintahäiriöihin. Toisin sanoen löytyykö suoraan puhtaustaso, jolla ovensuljin toimii hyvin. Mittauksiin valittiin myös aiemmin testattu 500 000 toistoa tehnyt ovensuljin, jonka öljyn puhtaus haluttiin myös tietää vertailun vuoksi.

Täytettävä öljy eroaa huomattavasti ovensulkimesta tyhjennetystä öljystä, kuten luvussa 5.2.2 käy ilmi. Tämän takia täyttökoneessa kiertävän öljyn puhtaus haluttiin myös tietää. Täyttökoneen öljysäiliöön pumpataan öljy alihankkijalta hankituista öljytynnyreistä jonka puhtaus oli myös tutkimuksen kannalta olennaista saada selville.

5.2.1 Näytteenotto öljytynnyristä

Ensimmäiset öljynäytteet otettiin alihankkijan toimittamasta öljytynnyristä, josta pumpataan öljyä ovensulkijan täyttökoneen öljysäiliöön. Näytteenottovälineenä toimi 100 ml kokoinen lääkeruiskutyypinen imupumppu, johon oli kiinnitetty letku. Imupumpua käytetään imemällä käsikäyttöisesti alipaineella nestettä letkun läpi, josta se puristetaan letkua pitkin pois.

Ennen varsinaista näytteenottoa pumppu huuhdeltiin pumppaamalla sen läpi 200 ml isopropanolia sekä pumpun letku pyyhittiin ulkopinnalta samalla liuottimella. Tämän jälkeen pumpun läpi pumpattiin myös 200 ml näytteeseen otettavaa öljyä. Näiden tarkoituksena oli saada näytteenottovälineestä mahdollisimman puhdas, jotta mittaustulos olisi paikkaansapitävä.

Itse näytteet otettiin kahteen näytepulloon, jotka olivat puhdistettu pesukoneen ja suodatetun liuottimen avulla Tampereen teknillisen yliopiston hydraulikan ja automaatiotekniikan laitoksen mittaustulolaboratoriossa. Näytteenotto tapahtui avaamalla pullo juuri ennen näytteenottoa, jonka jälkeen imupumpulla siirrettiin öljyä pulloon noin 50 – 75 % määrä pullon tilavuudesta. Pullon ollessa auki toinen näytteenotossa mukana olleista henkilöistä piti korkkia kädessä suuaukko alaspäin. Näytettä otettaessa imupumpun letkun pää pyrittiin sijoittamaan tynnyrissä mahdollisimman keskelle öljyn pinnan ja tynnyrin pohjan välille. Kun näytettä oli pullossa riittävästi, laitettiin korkki kiinni pulloon välittömästi. Näytepullot nimettiin ja merkittiin tarralla pullon kylkeen taulukon 5.1 esittämällä tavalla.

Taulukko 5.1. Öljytynnyristä otetut öljynäytteet ja nimeämistapa.

Näyte	Näytteen nimi	Tarkenne
1. Pullonäyte öljytynnyristä	Näyte 1	Tynnyri 1
2. Pullonäyte öljytynnyristä	Näyte 2	Tynnyri 2

Näytteenotto on suoritettu minimoiden mahdolliset virhelähteet olosuhteiden mahdollistamalla tavalla. Virhettä näytteen mittaustuloksiin voivat tuottaa näytteenottovälineen mahdolliset epäpuhtausjäämät, sillä isopropanolia ei ollut mahdollista suodattaa siihen tarvittavien välineiden puuttuessa. Letkun päätä ei myöskään näytettä otettaessa voitu tarkasti asettaa tiettyyn kohtaan öljytynnyriä letkun taipuisuuden takia, minkä takia näytteenottokohta ei ole tarkasti tynnyrin keskellä. Näytteenotto suoritettiin tehdastiloissa, jossa tynnyri sijaitti, joten ympäristön ilman epäpuhtauksia on voinut päästä hieman näytepulloon sen ollessa auki. Vaikka mahdollista virhettä voi mittauksiin tulla edellä mainituista lähteistä tulla, pitäisi sen olla kuitenkin suhteellisen pientä, joten näytteitä voidaan pitää tarpeeksi luotettavina tämän tutkimuksen puitteissa.

5.2.2 Näytteenotto öljysäiliöstä

Seuraavat näytteet (2 kpl) otettiin DC700-mallin ovensulkimen öljyntäyttökoneen öljysäiliöstä. Nämä näytteet pyrittiin aluksi ottamaan koneen virtauslinjasta ennen öljyn kulkemista ovensulkimeen, mutta soveltuvaa näytteenottopistettä ei mistään virtauslinjasta löytynyt. Näyte päätettiin siis ottaa öljysäiliöstä, jonka pohjassa oli soveltuva venttiili näytteenottoa varten.

Ennen näytteenottoa täyttökone oli ollut käytössä yli tunnin eli öljy oli ollut kierrossa eikä siis ollut seissyt paikallaan. Tämän takia epäpuhtaudet olivat päässeet liikkeelle öljyn mukana, mikä on suotuisaa näytteen paikkaansapitävyyden kannalta. Venttiilistä valutettiin öljyä erilliseen astiaan noin viisikertainen näytteenottopullon tilavuutta vastaava määrä. Näin venttiilissä ja sen ympärillä säiliön pohjalla seisseet mahdolliset mittausrvirhettä tuottavat epäpuhtaudet saatiin huuhdeltua pois.

Näytteenottoa varten venttiiliä ei huuhtelun jälkeen suljettu ollenkaan vaan annettiin öljyn valua. Huuhtelun aikana näytepurkki aukaistiin ja korkkia pidettiin kädessä suuaukko alaspäin aina purkin sulkemiseen asti. Näytepullo asetettiin välittömästi sen aukaisun jälkeen öljyä valuttavan venttiilin alle ja öljyä annettiin valua purkkiin 50 – 75 % purkin tilavuuden verran. Tämän jälkeen näytepullo suljettiin välittömästi ja suoritettiin toinen vastaavanlainen näytteenotto. Näytteet nimettiin samalla lailla kuin tynnyrinäytteiden kohdalla ja nimeäminen on kuvattu taulukossa 5.2.

Taulukko 5.2. Öljysäiliöstä otetut öljynäytteet ja nimeämistapa.

Näyte	Näytteen nimi	Tarkenne
1. Pullonäyte öljysäiliöstä	Näyte 3	Säiliö 1
2. Pullonäyte öljysäiliöstä	Näyte 4	Säiliö 2

Tässä näytteenotossa merkittävimmät virhelähteet ovat näytteenottopaikka ja ympäristö. Näytteet otettiin tuotantotiloissa koneen sijainnin takia. Ympäristön ilman epäpuhtaudet siis voivat päästä näytepulloon sen ollessa auki, mutta tämä on huomioitu näytettä otettaessa. Täyttökoneen säiliö ei ole varmin paikka, kun halutaan tietää järjestelmässä virtaavan öljyn puhtaus. Kuitenkaan muuta paikkaa ei ollut mahdollista valita. Näyte otettiin säiliön pohjasta, kuten edellä mainittu, joka ei myöskään ole parhain näyttöönottokohde säiliön tapauksessa. Säiliön pohjassa oli kuitenkin venttiili, josta näyte oli soveltuvin ottaa. Säiliön pohjassa voi olla hieman enemmän epäpuhtauksia kuin keskivaiheilla, joka juuri voi vaikuttaa näytteen tuloksiin verrattuna todelliseen tilaan tässä järjestelmässä. Kuitenkin näytteenoton valmistelussa nämä on otettu huomioon ja pyritty minimoimaan mahdolliset virheet. Näytteet ovat näin koitettu saada vastaamaan mahdollisimman todellista tilaa ja ovat päteviä niistä haluttuun mittaustietoon.

5.2.3 Näytteenotto ovensulkimista

Testatuista nykytilassa olevista ovensulkimista otettiin niiden sisältämän öljyn pullonäytteitä yhteensä 10 kappaletta 10 eri sulkimesta. Näytteenottomenetelmäksi valittiin ovensulkimen öljyn tyhjennys suoraan näytepulloon L-ruuvien reiän kautta. Toinen vaihtoehto oli avata päätykansi ja valuttaa öljy tätä kautta. Tämä menetelmä hylättiin, sillä päätykannen aukaisussa rungosta ja kannesta irtoaa liikaa partikkeleita, jotka haittaisivat näytteen paikkaansapitävyyttä.

Näytteenottomenetelmän testaus

Näytteenottoa varten testattiin erilliseen näytepulloa vastaavaan testipulloon näytteenottomenetelmää, jotta itse näytteenotto onnistuisi parhaimmalla mahdollisella tavalla. Saadakseen kaikki öljy ulos sulkimesta, ei riittänyt pelkästään ruuvien irroitus ja suljinta kallistamalla öljyn valutus reiästä näytepulloon, sillä öljyä ei valu sulkimesta L-ruuvien kautta sen ollessa lepoasennossa. Sulkimen akselia täytyi siis pyörittää edestakaisin erillisellä kammella, sillä vasta mäntien liikkuessa reiästä alkoi valua öljyä. Aluksi tarkoituksena oli laittaa suljin ruuvipenkkiin ja varren avulla pyörittää mekanismia pumpaten öljyä sulkimesta ulos, mutta tällöin öljy valui liikaa runkoa pitkin eikä kaikkea öljyä saatu valutettua ulos tässä asennossa. Näin ollen päädyttiin pumppaamaan öljyä käsin, jolloin suljinta saatiin pidettyä oikeassa kulmassa öljyn valuessa suoraan reiästä näytepulloon. Käsin varren avulla pumppaamalla sulkimen asentoa voitiin liikutella, minkä ansiosta öljy saatiin kokonaisuudessaan valutettua ulos. Haastetta tähän menetelmään toi sulkimen kampeamiseen tarvittava voiman käyttö ja tarkkuus valuttaa öljy suoraan näytepulloon. Vaihtoehtona oli käyttää erillistä rattia, jonka kautta öljy olisi valutettu

helpommin näytepulloon. Rattia ei olisi saatu tarpeeksi puhtaaksi ja se olisi näin ollen vääristänyt öljynäytettä liikaa, joten tämä vaihtoehto hylättiin.

Näytteenoton valmistelu

Ennen näytteenottoa sulkimia kammettiin muutaman kerran, jotta öljy ja epäpuhtaudet lähtisivät liikkeelle. Kampeamisen jälkeen sulkimet käännettiin pystyyn seisomaan vähäksi aikaa L-ruuvien pääty oli alaspäin, jotta öljy ja epäpuhtaudet valuisivat kohti näytteenottoreikää. Ennen näytteenottoa L-ruuvien reiän suuaukko ja sen ympäristö puhdistettiin mahdollisista epäpuhtauksista isopropanolilla tummanharmaata mikrokuituliinaa apuna käyttäen. Isopropanolin annettiin haihtua ennen näytteenottoa. Näytteenottotilaksi valittiin erillinen testihuone, joka on hieman tuotantotiloja puhtaampi vaihtoehto. Muita tehtaan puhtaampia laboratoriotiloja ei ollut mahdollista käyttää tähän toimenpiteeseen.

Näytteenotto

Näytteenottoa suoritti kaksi henkilöä, joista toinen kampesi suljinta ja toinen piti näytepulloa pöydän päällä oikeassa kohdassa. Henkilöillä oli päällään tummansiniset paidat, mikä voi olla huomioonottamisen arvoinen membraaninäytettä tarkastellessa. Sulkimesta avattiin L-ruuvi ja samalla aukaistiin näytepulloa korkki, joka asetettiin suuaukko ylöspäin näytteenottopisteen läheisyyteen. Suljin käännettiin oikeaan asentoon ja kammettiin näyte suoraan pulloon kuten edellä kuvattu. Yhteen näytteenottoon kului aikaa muutama minuutti, sillä öljy valui melko hitaasti sulkimesta ulos. Kun suljin oli mahdollisimman tyhjä, suljettiin näytepullo välittömästi. Näytteenotto toistettiin 10 kertaa ja näytteet nimettiin taulukon 5.3 osoittamalla tavalla.

Taulukko 5.3. Ovensuljinten öljyn pullonäytteet ja nimeämistapa.

Näyte	Näytteen nimi	Tarkenne
1. Pullonäyte ovensulkimesta	Näyte 5	Huono 700DA
2. Pullonäyte ovensulkimesta	Näyte 6	Huono 700DA
3. Pullonäyte ovensulkimesta	Näyte 7	Huono 700DA
4. Pullonäyte ovensulkimesta	Näyte 8	Heikko OK 700DA
5. Pullonäyte ovensulkimesta	Näyte 9	Hyvä 700
6. Pullonäyte ovensulkimesta	Näyte 10	Huono 700
7. Pullonäyte ovensulkimesta	Näyte 11	Hyvä 240DA
8. Pullonäyte ovensulkimesta	Näyte 12	Hyvä 240DA
9. Pullonäyte ovensulkimesta	Näyte 13	500k
10. Pullonäyte ovensulkimesta	Näyte 14	OK 700DA

Näytteen nimen tarkenne (taulukko 5.3) viittaa ovensuljinmalliin ja sen toimintaan perustuen suljinten toiminnan testaustuloksiin. Näyte 13 on aiemmista testeistä valittu 500 000 sykliä käynyt suljin, joka toimi vaaditusti testin ajan. Näytteitä tilattiin 13 kappaletta, mutta pulloja toimitettiin 15 kappaletta, joten näyte 14 on tässä tapauksessa varanäytteenä.

Virhelähteet

Näytteenottotilanne ei ollut täysin virheetön olosuhteiden pakosta, joten virhettä näytteisiin voi tulla seuraavaksi esitellyistä asioista. Tila, jossa näytteenotto suoritettiin ei ollut ilmaltaan ja ilmastoinniltaan puhtain, joten näytettä otettaessa pulloon on voinut päästä ilmassa olevia epäpuhtauksia. Liuottimena käytetty isopropanoli ei ollut suodatettua eikä puhdistusliina ollut erityisellä tavalla puhdistettu, joten näistä on voinut reiän ympärystä puhdistettaessa irrota epäpuhtauksia jotka ovat voineet kulkeutua näytteeseen öljyn valuessa. Ovensulkijaa kammettaessa on siitä aiheutuvan liikkeen ansiosta voinut irrota epäpuhtauksia itse sulkijan pinnalta sekä näytteenottajasta. Ovensulkijaa ei myöskään saa täysin tyhjennettyä, vaan sen sisäpinnoille voi jäädä hieman öljyä sekä epäpuhtauksia. Näitä ei siis näytteeseen saada, jonka takia aivan täydellistä puhtautta ei pystytä ilmoittamaan suoraan. Kuitenkin kaikki edellä mainitut virhelähteet on otettu huomioon sekä pyritty minimoimaan eikä niiden oleteta aiheuttavan liiallista vääristystä mittaustuloksiin hyödyllisyyden kannalta.

5.3 Ensimmäisten öljyn puhtausmittausten tulokset

Puhtausmittauksissa käytettiin laboratoriokäyttöön tarkoitettua optisella sensorilla varustettua automaattista hiukkaslaskuria. Laskurin antamat puhtausluokat jokaiselle öljynäytteelle on esitetty taulukossa 5.4. Standardien tulkitseminen on kerrottu luvussa 3 ja lukuun apuna käytettävä taulukko löytyy liitteestä 1.

Taulukko 5.4. Automaattisen hiukkaslaskennan mittaustulokset standardien ISO 4406:1999 ja SAE AS 4059 mukaisesti. Näytteet 1–14.

Näyte	Tarkenne	ISO 4406:1999	SAE AS 4059
Näyte 1	Tynnyri 1	16/14/11	7A(7,6,5,6,5,6)
Näyte 2	Tynnyri 2	16/14/10	6A(6,5,5,6,5,4)
Näyte 3	Säiliö 1	22/19/14	12A(12,11,8,8,6,5)
Näyte 4	Säiliö 2	22/19/14	12A(12,11,8,9,8,8)
Näyte 5	Huono 700DA	24/23/21	>12A(>12, >12, >12, >12, >12, >12)
Näyte 6	Huono 700DA	24/23/22	-''-
Näyte 7	Huono 700DA	23/23/20	-''-
Näyte 8	Heikko OK 700DA	24/23/21	-''-
Näyte 9	Hyvä 700	24/23/21	-''-
Näyte 10	Huono 700	24/23/20	-''-
Näyte 11	Hyvä 240DA	24/23/20	-''-
Näyte 12	Hyvä 240DA	24/23/20	-''-
Näyte 13	500k	23/23/21	-''-
Näyte 14	OK 700DA	-	-''-

Näytteet 1 ja 2 ovat mittausten puhtaimmat, jotka otettiin öljytynnyristä. Mittaustulokset ovat jopa puhtaampia, kuin tynnyriöljy yleisesti. Öljytynnyrissä epäpuhtaudet painuvat painovoiman takia tynnyrin pohjalle ja näytteenotto tapahtui liian ylhäältä tynnyriä, jossa öljy on puhtaampaa. Tämän takia mittaustulos on tässä tapauksessa hieman vääristynyt ja oikea tulos luultavasti saataisiin lisäämällä esimerkiksi standardin ISO 4406 ilmoittamaan jokaiseen kolmeen puhtausluokkanumeroon 2-3 numeroyksikköä lisää.

Ovensuljinten täyttökoneen öljysäiliöstä otetut öljynäytteet 3 ja 4 ovat huomattavasti tynnyriöljyä likaisemmat. Puhtausluokat näytteiden välillä ovat yhtenevät ja täyttökone ottaa öljyn kiertoon säiliön pohjasta, josta näytteetkin ovat otettu, joten näiden näytteiden tuloksia voidaan pitää luotettavana.

Testatuista ovensulkimista otetut öljynäytteet 5 – 13 ovat taas paljon likaisempia, kuin niihin täytettävä öljy. Näytteet ovat jopa niin likaisia, että uudemman standardin SAE AS 4059:n ilmoitusasteikko ei edes riitä ilmoittamaan tulosta. Lisäksi tuloksissa ei ole eroa hyvin ja huonosti toimineiden suljinten välillä, mikä tuolla hiukkasmäärällä on ymmärrettävää.

Hiukkaslaskurin käyttämä sensori pystyy mittaamaan tarkasti öljyä, jonka puhtaus on maksimissaan 24 000 hiukkasta yhtä millilitraa kohti. Tämä ylittyi näytteiden 5 – 13 osalta, jonka takia tuloksissa ilmenee koinsidenssivirhe. Virhe vaikuttaa siihen, että pienten hiukkasten määrä on todellisuudessa suurempi ja suurten hiukkasten määrä pienempi, kuin mittaustulokset osoittavat. Tämä ei kuitenkaan vaikuta tulosten analysointiin, koska näytteet kertovat joka tapauksessa öljyn olevan erittäin paljon likaisempaa, kuin sen pitäisi olla. (Elo 2014a)

5.3.1 Hiukkasjakaumat ja membraanikuvat

Hiukkaslaskuri laskee jokaisen näytteen hiukkasmäärät useassa eri kokoluokassa. Puhkausmittausten mittausraportissa (Elo 2014a) on esitetty jokaisesta näytteestä nämä hiukkasmäärät kumulatiivisesti ja differentiaalisesti graafisten kuvaajien kanssa. Jokaisen näytteen kohdalta ei ole olennaista käydä näitä tietoja läpi ja vain olennaisimmat tiedot esitellään. Näytteiden 1, 3, 7 ja 8 hiukkasjakaumat kertovat ensimmäisten mittausten olennaisimmat tiedot tarkemmin, joten ne on kerätty esille taulukkoon 5.5. Näytteiden graafiset kaaviot löytyvät liitteestä 3.

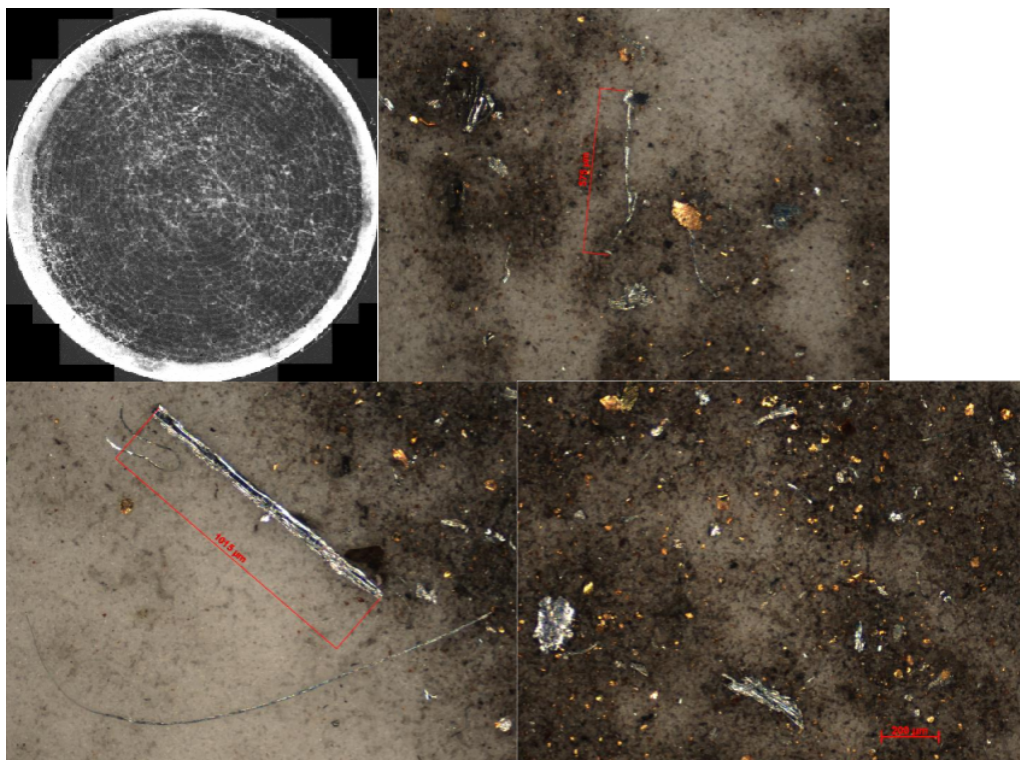
Taulukko 5.5. Näytteiden hiukkasjakaumat. (Liite 3)

Hiukkaskoko- luokat	Hiukkasten kappalemäärät 100 ml kohti			
	Näyte 1 (tynnyri)	Näyte 3 (täyttökoneen öljysäiliö)	Näyte 7 (huono 700DA)	Näyte 8 (heikko ok 700DA)
> 4 µm(c)	61 100	2 423 420	7 405 225	8 762 285
> 5 µm(c)	23 258	1 024 072	5 640 928	7 935 450
> 6 µm(c)	11 674	479 122	4 147 228	7 021 335
> 7 µm(c)	7 032	245 476	3 024 348	6 120 365
> 8 µm(c)	4 722	139 036	2 251 638	5 316 295
> 10 µm(c)	2 492	50 368	1 283 358	3 837 002
> 12 µm(c)	1 592	23 028	830 590	2 756 268
> 14 µm(c)	1 074	11 852	572 735	1 941 595
> 15 µm(c)	902	9 098	491 740	1 655 175
> 20 µm(c)	432	2 574	229 110	659 885
> 21 µm(c)	376	1 928	190 902	521 570
> 25 µm(c)	242	706	105 175	230 082
> 30 µm(c)	138	264	54 630	93 598
> 38 µm(c)	52	70	18 755	23 858
> 50 µm(c)	24	36	9 010	10 385
> 70 µm(c)	10	8	2 670	2 740

Mittaustuloksien ilmoittamat kumulatiiviset hiukkasmäärät on ilmoitettu 16 eri kokoluokan mukaan 100 ml:aa öljyä kohti, kuten taulukosta 5.5 käy ilmi. 700 ja 700DA – mallien ovensuljinten näytteissä öljynäytteen tilavuus oli hieman alle 100 ml, joka on kaikki öljy, mitä sulkimesta irtosi. Näin ollen taulukon 5.5 näytteiden 7 ja 8 hiukkasmäärät voidaan suhteuttaa lähes suoraan ovensulkimien öljyssä olevaan kokonaishiukkasmäärään.

Hiukkaskokoluokat ovat ilmoitetut ISO 11171 -standardin mukaisesti kalibroidulla laskurilla, jonka takia kokoluokan yksikkönä on µm(c). Ovensuljinten öljyn hiukkasmäärät (näytteet 7 ja 8) ovat useita miljoonia kappaleita, joka eroaa huomattavasti siihen täytetävän öljyn puhtauteen (näyte 3). Jokaisessa kokoluokassa on moninkertainen määrä hiukkasia ja verrattaiset määrät kasvavat mitä suuremmista hiukkasista on kyse. Öljytynnyrissä (näyte 1) olevat hiukkasmäärät taas ovat huomattavasti pienemmät kuin täyttökoneen öljysäiliön öljy.

Muutamasta öljynäytteestä otettiin myös mikroskooppikuvat membraanista, johon öljynäytteiden epäpuhtaushiukkaset on suodatettu. Membraanikuvat on yhdistetty kuvaan 5.5.



Kuva 5.5. Membraanisuodattimen mikroskooppikuvia ovensulkijinten öljynäytteiden epäpuhtaus-hiukkasista. (Elo 2014a)

Kuvan 5.5. kuvista huomataan, että membraani on mustunut epäpuhtauksien määrästä. Mustan, erittäin pienikokoisen sakan lisäksi epäpuhtaudet ovat pääasiassa kirkasta erimuotoista metallia. Kirkkaista hiukkasista suurimmat ovat hopean värisiä ja muut erottuvat hiukkaset sekä hopeita että kullan värisiä. Suurimmat hiukkasten koot ovat jopa 1000 μm :n kokoluokkaa.

5.4 Ovensulkimen toiminnan jatkotestaukset

Ensimmäisten testausten ja öljyn puhtausmittausten avulla saatujen tulosten perusteella haluttiin saada vielä lisää tarkentavia tuloksia. Tämän takia päätöksenä oli tehdä vielä uudet testaukset ovensulkimille ja tarkemmin tutkia niiden toimintaa. Jatkotestauksissa testimenetelmä tarkentui sekä ovensulkimia valmistettiin pelkästään testiä varten hie-man muokkaamalla valmistusmenetelmiä.

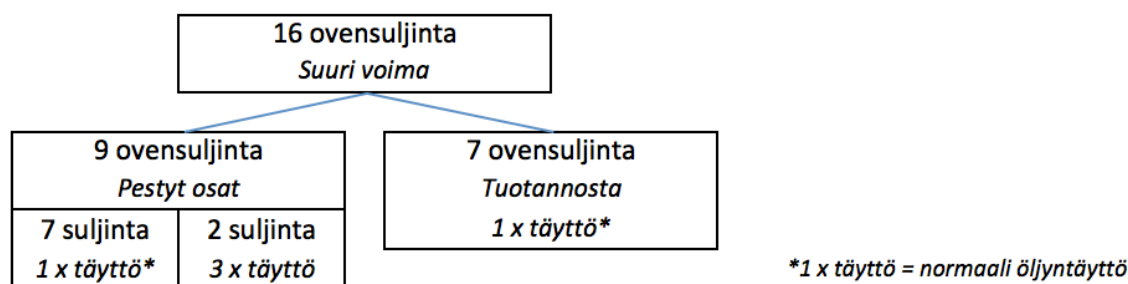
5.4.1 Testattavat ovensulkimet

Tuotannosta otettujen sulkimien lisäksi testiä varten valmistettiin sulkimia, joiden valmistus poikkesi normaalista. Testiovelle testattavat sulkimet rajattiin malliin DC700DA. Komponenttien puhtausmittauksista saatujen tulosten perusteella testiä varten kasattavien sulkimien pinta-alaltaan merkittävimmät komponentit pestiin aiemmin mainitulla tunnelipesukoneella. Nämä osat olivat nokka-akseli, männät sekä iso jousi. Osa testattavista sulkimista täytettiin täyttökoneella kolme kertaa toistaen normaali täyttöohjelma, minkä ajateltiin huuhtelevan suljinta epäpuhtauksista normaalia enemmän. Pestyillä

osilla kasattujen suljinten testauksella oli tarkoitus näillä testeillä löytää toiminnallista eroa verrattuna tuotannossa oleviin ovensulkimiin.

Testit suurella jousivoimalla

Ensimmäiseksi testattavaksi valittiin 16 ovensuljinta, joiden jousivoima asetettiin suureksi aiempien testien tapaan. Näistä seitsemän suljinta olivat pestyillä osilla ja kuusi suljinta tuotannosta satunnaisesti valittuja. Loput kaksi suljinta olivat pestyillä osilla kasattuja ja lisäksi kolminkertaisella täyttöohjelmalla täytettyjä. Kuvan 5.6 esittämä kaavio selventää testattavien suljinten jaottelua.



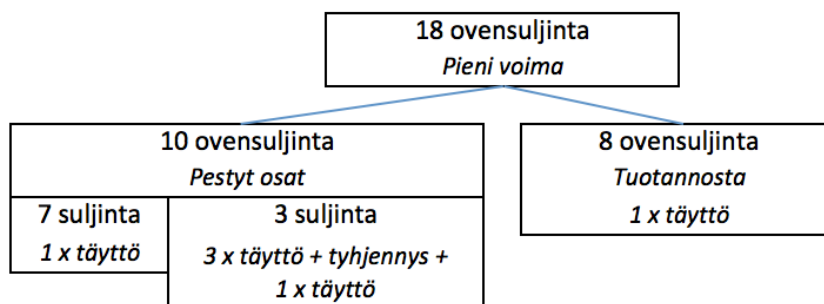
Kuva 5.6. *Suurella jousivoimalla testatus ovensulkimet.*

Testimenetelmä muuttui ja tarkentui hieman aiemmasta. Testattavana oli edelleen D-vaihe, mutta jokainen testi aloitettiin ruuvaamalla D-ruuvi täysin kiinni ja aukaisemalla ensiksi 90 astetta. Jos sulkimen toiminta toistojen kasvaessa hidastui merkittävästi tai jumiutui, aukaistiin ruuvi 45 astetta lisää eli 135 asteen verran auki. Jos suljin taas hidastui tai jumiutui, aukaistiin ruuvia 45 astetta lisää 180 asteeseen. Sulkimen C ja L vaiheiden yhteenlaskettu aika säädettiin noin 3 – 5 sekuntiin.

D-vaiheen aika otettiin ylös enintään kymmenen toiston välein tulosten tarkastelua ja vertailua varten. Suljinten aikoja otettiin ylös tällä tavoin vähintään 100 toiston verran, jonka jälkeen tapauskohtaisesti harvemmin, eli 10 – 50 toiston välein sulkemisajan pysyessä tasaisempana.

Testit pienellä jousivoimalla

Kun suurelle voimalle asetetut sulkimet olivat testattu, päätettiin testata myös joukko sulkimia pienimmällä jousivoiman säädöllä. Näihin testeihin valittiin 18 ovensuljinta, joista kahdeksan valittiin tuotannosta ja kymmenen kasattiin pestyistä osista edellisten tapaan. Pestyistä osista kasatuista sulkimista kolme täytettiin kolminkertaisesti normaalilla öljyntäyttöohjelmalla, jonka jälkeen sulkimet tyhjennettiin öljystä kokonaan ja täytettiin uudelleen normaalilla täyttöohjelmalla. Kuvan 5.7 kaaviossa on havainnollistettu nämä jaottelut.



Kuva 5.7. Pienellä jousivoimalla testatut ovensulkimet.

Pieni voima ja sen tuoma pienempi paine ovensulkimen vaikutti siihen, että tätä testiä ei voitu tehdä aivan samalla tavoin, kuin suureen voimaan säädettyjen suljinten testissä. Erona tähän oli se, että D-ruuvi ruuvattiin kiinni ja aukaistiin suoraan 135 astetta auki. Jos hidastumista tai jumiutumista havaittiin, niin ruuvia aukaistiin ensiksi 45 astetta 180 asteeseen ja tarvittaessa taas 45 astetta 225 asteeseen.

5.5 Toiset puhtausmittaukset

Ensimmäisten puhtausmittausten tulosten perusteella haluttiin saada vielä lisää selvyyttä suljinten puhtaudesta. Pieniä muutoksia oli tullut myös valmistusprosessin vaiheisiin, joten näiden aiheuttamat muutokset haluttiin myös selvillä. Tämän takia nähtiin tarpeelliseksi teettää vielä yhdet öljynäytteiden puhtausmittaukset sekä rungolle komponenttimittaukset.

5.5.1 Öljynäytteet

Öljystä laitettiin mitattavaksi 14 kappaletta pullonäytteitä. Näistä 11 näytettä oli ovensulkimista, kaksi öljyntäyttökoneen öljysäiliöstä ja yksi öljyntäyttökoneen kohdasta, josta ovensuljin täytetään. Näytteet esitellään seuraavaksi tarkemmin.

Ovensulkimien öljynäytteet

Ovensulkimien öljynäytteiden näytteenotto tapahtui samalla menetelmällä kuten ensimmäisten mittausten tapauksessa. DC700-mallin ovensulkimia täyttävään öljyntäyttökoneeseen asennettiin tutkimuksen aikana siitä riippumatta sivuvirtasuodatin koneiden huoltajien toimesta. Tämän muutoksen takia DC700-mallin ovensulkimiin täytetystä öljystä haluttiin saada uutta puhtaustietoa. Taulukkoon 5.6 on koottu öljynäytteet, niiden nimet ja lisätiedot.

Taulukko 5.6. *Ovensuljinten uudet pullonäytteet.*

Näyte	Näytteen nimi	Tarkenne
11. pullonäyte sulkimista	Näyte 15	DC700, 3x täyttö
12. pullonäyte sulkimista	Näyte 16	DC700, 3x täyttö
13. pullonäyte sulkimista	Näyte 17	DC700, pestyt osat
14. pullonäyte sulkimista	Näyte 18	DC700, pestyt osat
15. pullonäyte sulkimista	Näyte 19	DC700 tuotannosta
16. pullonäyte sulkimista	Näyte 20	DC700 tuotannosta
17. pullonäyte sulkimista	Näyte 21	DC700DA, pestyt osat, suuren voiman testi
18. pullonäyte sulkimista	Näyte 22	DC700DA, pestyt osat, suuren voiman testi
19. pullonäyte sulkimista	Näyte 23	DC700DA, 3x täyttö, pestyt osat
20. pullonäyte sulkimista	Näyte 24	DC700DA, 3x täyttö, pestyt osat
21. pullonäyte sulkimista	Näyte 25	Kilpailija

Näytteet 15 ja 16 otettiin DC700-mallin ovensulkimista, jotka täytettiin kolminkertaisella öljyntäyttöohjelmalla, mutta muuten tuotannon mukaisesti valmistettu. Näytteet 17 ja 18 myös otettiin DC700-mallin ovensulkimista, mutta kokoonpantiin pestyistä osista, joita olivat iso jousi, männät sekä nokka-akseli. Suoraan tuotannosta valituista DC700-mallin ovensulkimista taas otettiin näytteet 19 ja 20. DC700DA-mallin sulkimista otettiin näytteet 21 – 24. Näistä näytteet 21 ja 22 otettiin sulkimista, jotka olivat luvun 5.4.1 testeissä suurella jousivoimalla ja kokoonpantuna pestyillä osilla. Kummatkin sulkimet kävivät noin 200–300 toistoa testioverssa. Näytteet 23 ja 24 otettiin pestyillä osilla kokoonpannuista sulkimista, jotka täytettiin kolminkertaisella öljyntäyttöohjelmalla. Vertailun vuoksi näyte 25 otettiin kilpailijan ovensulkimesta, joka on heidän vastaava tuote DC700DA-mallille. Tätä ovensuljinta oli testattu joitain kertoja testioverssa.

Näytteet erosivat osittain ensimmäisistä öljynäytteistä valmistukseltaan. Kaikki näytteet pois lukien 21, 22 ja 23, otettiin suoraan öljyntäytön jälkeen ilman, että suljinta oli käytetty testioverssa. Ensimmäisissä ovensulkimen öljynäytteissä jokainen suljin oli testattu testioverssa, mikä myös erosi näistä näytteistä. Sulkimien, joista näytteet 15 – 24 otettiin, valmistus ja kokoonpano suoritettiin osien pesua ja tehostettua öljyntäyttöä lukuun ottamatta nykytuotannon mukaisesti. Myös nämä öljynäytteet otettiin luvun 5.2.3 mukaisella tavalla. Näin sulkimista ja niiden öljynäytteistä saatiin mahdollisimman vertailukelpoisia myös ensimmäisten puhtausmittausten näytteiden kanssa.

Täyttökoneen öljynäytteet

Kun DC700- mallin öljyntäyttökoneeseen asennettiin sivuvirtasuodatin, haluttiin selvittää kuinka se vaikuttaa koneessa olevan öljyn puhtauteen. Tämän takia öljyntäyttökoneen öljysäiliöstä otettiin uudestaan samanlaiset öljynäytteet, kuin ensimmäisissä puhtausmittauksissa. Lisäksi saatiin otettua yksi öljynäyte manuaaliohjauksella ovensulkimen täyttökohdasta. Näytteenotto tapahtui muuten samalla lailla kuin öljysäiliön näyt-

teiden kohdalla. Taulukkoon 5.7 on koottu nämä täyttökoneesta otetut uudet öljynäytteet.

Taulukko 5.7. Öljyntäyttökoneesta otetut öljynäytteet.

Näyte	Näytteen nimi	Tarkenne
3. Näyte öljysäiliöstä	Näyte 26	Öljyntäyttökoneen öljysäiliö
4. Näyte öljysäiliöstä	Näyte 27	Öljyntäyttökoneen öljysäiliö
1. Näyte täyttökohdasta	Näyte 28	Sulkimen täyttökohta täyttökoneessa

5.6 Toisten öljyn puhtausmittausten tulokset

Mittalaite toisissa öljyn puhtausmittauksissa oli sama automaattinen hiukkaslaskin, kuin ensimmäisissä mittauksissa. Mittausten tulokset standardien ISO 4406:1999 ja SAE AS 4059 mukaisesti on esitetty taulukossa 5.8, jonka tiedot on esitetty samalla lailla kuin taulukossa 5.4.

Taulukko 5.8. Automaattisen hiukkaslaskennan mittaustulokset standardien ISO 4406:1999 ja SAE AS 4059 mukaisesti. Näytteet 15 – 28. (Elo 2014b)

Näyte	Tarkenne	ISO 4406:1999	SAE AS 4059
Näyte 15	DC700, 3x täyttö	23/22/18	>12A
Näyte 16	DC700, 3x täyttö	24/23/20	-''-
Näyte 17	DC700, pestyt osat	23/21/17	-''-
Näyte 18	DC700, pestyt osat	-	-
Näyte 19	DC700 tuotannosta	23/21/17	-''-
Näyte 20	DC700 tuotannosta	24/23/21	-''-
Näyte 21	DC700DA, pestyt osat, suuren voiman testi	24/23/21	-''-
Näyte 22	DC700DA, pestyt osat, suuren voiman testi	24/23/21	-''-
Näyte 23	DC700DA, 3x täyttö, pestyt osat	23/22/17	-''-
Näyte 24	DC700DA, 3x täyttö, pestyt osat	23/22/18	-''-
Näyte 25	Kilpailija	23/23/20	-''-
Näyte 26	Öljyntäyttökoneen öljysäiliö	20/17/12	10A(10,9,6,5,4,5)
Näyte 27	Öljyntäyttökoneen öljysäiliö	20/17/12	10A(10,9,6,6,5,5)
Näyte 28	Sulkimen täyttökohta täyttökoneessa	20/17/11	10A(10,9,5,5,3,000)

Taulukon 5.8 näytteiden tuloksia tarkastellessa on huomioitava, että vain näytteet 21 ja 22 on otettu ovensulkimista, joita on testattu testioivessa. Muut näytteet ovat siis ovensulkimista, jotka on tyhjennetty öljyntäytön jälkeen eikä niitä ole testattu. Näytteestä 18

otettiin mittausten yhteydessä vain membraanikuvat, jonka takia öljynäytteestä ei riittänyt enää nestettä automaattiseen hiukkaslaskentaan.

Ovensulkijoiden öljynäytteiden puhtaustulokset ovat puhtausluokkien mukaan erittäin likaisia. Uudempi standardi SAE AS 4059 ei riitä suurimman osan kohdalla edes ilmoittamaan puhtausluokkaa. Kuitenkin suljinten näytteiden kesken puhtaudessa on pientä eroa. Tuloksia lukiessa on huomioitava näytteiden 15 – 25 kohdalla tapahtuva koinssidenssivirhe. Öljyntäyttökoneen öljysäiliöstä otetut öljynäytteet ovat jo huomattavasti puhtaammat sulkimiin verrattuna.

5.6.1 Hiukkasjakaumat ja membraanikuvat

Jotta näytteitä voidaan tarkastella kunnolla, on syytä katsoa olennaisten näytteiden hiukasmääriä kokoluokittain. Taulukkoon 5.9 on koottu olennaisimmista ja vertailukelpoisimmista näytteistä hiukkasjakaumat, joita myöhemmin tarkastellaan. Näytteiden kumulatiiviset ja differentiaaliset hiukkasjakaumat graafisten taulukoiden kanssa ovat liitteessä 4.

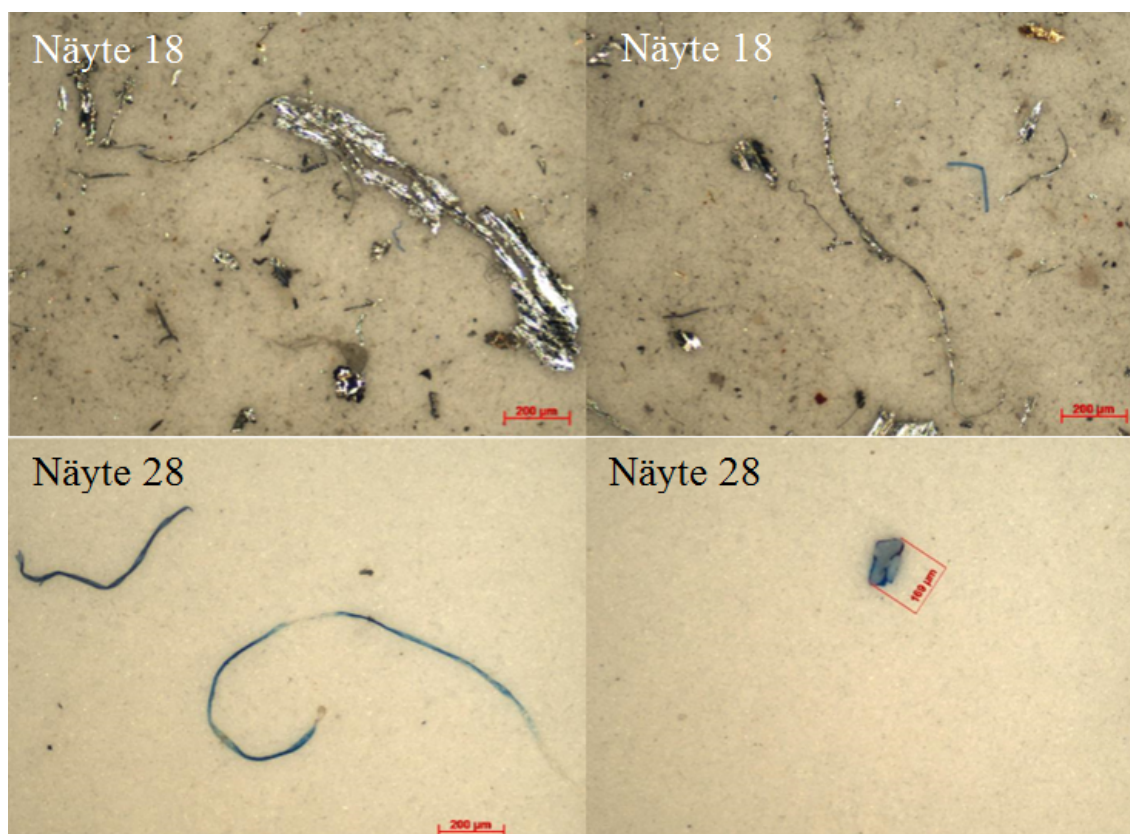
Taulukko 5.9. Näytteiden hiukkasjakaumat. (Liite 4)

Hiukkaskokoluokat	Hiukkasten kappalemäärät 100 ml kohti				
	Näyte 16 (tuotanto + 3x täyttö)	Näyte 17 (pestyt osat)	Näyte 20 (tuotanto)	Näyte 24 (pestyt osat + 3x täyttö)	Näyte 27 (täyttökone)
> 4 µm(c)	9 377 775	5 372 670	9 244 032	6 479 360	508 765
> 5 µm(c)	8 088 155	2 710 515	8 305 255	3 775 132	199 970
> 6 µm(c)	6 726 395	1 397 768	7 272 568	2 083 490	88 148
> 7 µm(c)	5 437 455	815 418	6 249 642	1 197 700	44 030
> 8 µm(c)	4 337 970	537 785	5 337 240	756 722	24 792
> 10 µm(c)	2 509 248	273 498	3 658 730	358 410	9 092
> 12 µm(c)	1 413 865	166 725	2 449 632	210 938	4 045
> 14 µm(c)	771 492	109 110	1 565 500	136 002	2 030
> 15 µm(c)	587 060	91 698	1 265 218	113 652	1 545
> 20 µm(c)	140 242	37 298	325 025	45 285	425
> 21 µm(c)	101 928	30 232	222 395	36 422	295
> 25 µm(c)	40 078	15 338	57 072	17 720	142
> 30 µm(c)	16 778	7 622	16 118	8 190	70
> 38 µm(c)	4 998	2 525	4 275	2 448	25
> 50 µm(c)	2 298	1 230	1 942	1 105	18
> 70 µm(c)	665	380	528	350	5

Taulukosta 5.9 nähdään tarkasti, kuinka paljon kunkin kokoluokan hiukkasia näytteissä on. Hiukkaslukumäärät ovat ilmoitettu samalla lailla, kuin taulukossa 5.5. Kaikki näiden mittausten ovensuljinten öljynäytteet ovat 700 ja 700DA –mallien ovensulkimista, joissa öljynäytteiden tilavuus oli noin 100 ml. Näin ollen näytteiden hiukkaslukumäärät

voidaan suhteuttaa suurin piirtein sulkimissa oleviin kokonaishiukkaslukumääriin, koska hiukkasten kappalemäärät on mittauksissa ilmoitettu 100 ml kohti.

Näytteen 18 lisäksi myös näytteen 28 hiukkasista otettiin membraanikuvat epäpuhtaushiukkasten tarkastelua varten. Näytteen 18 eli ovensulkimen öljyn hiukkasten kuvat ovat kuvassa 5.8 olevat ylärivin kuvat ja näytteen 28 eli täyttökoneesta otetun öljyn hiukkasten kuvat alarivin kuvat.



Kuva 5.8. Membraanisuodattimien mikroskooppikuvat näytteiden 18 (yläkuvat) ja 28 (alakuvat) epäpuhtaushiukkasista. (Elo 2014b)

Kuvan 5.8 kuvien perusteella nähdään, että ovensulkimen öljyssä on runsaasti erilaisia hiukkasia, joista suurin osa on kirkasta metallia. Joitain värikkäitä kuituja esiintyy myös. Täyttökoneen öljy on kuvistakin nähden paljon puhtaampaa. Erottuvimmat ja suurimmat hiukkaset ovat kuituja sekä kovempia muovin kaltaisia hiukkasia. Kuvien oikeassa alalaidassa oleva mitta on 200 µm, joka auttaa hiukkasten suuruusluokan hahmottamisessa.

5.7 Öljyn puhtausmittaustulosten tarkastelu

Öljylle suoritettiin kahdesti puhtausmittaukset usealle eri näytteille. Tuloksia tarkastellessa ja vertaillessa huomataan merkittäviä asioita puhtauden kannalta. Aloitetaan tarkastelu sulkimeen täytettävän öljyn puhtaus tuloksista.

5.7.1 Sulkimeen täytettävä öljy

Ovensulkimiin täytettävä öljy (näytteet 3,4, 26, 27, 28) on huomattavasti puhtaampaa kuin öljy, joka on tyhjennetty ovensulkimista. Kuitenkin se on huomattavasti likaisempaa kuin tynnyriöljy (näytteet 1 ja 2), josta täytetään täyttökoneen öljysäiliö, vaikka tynnyriöljyn puhtaustulos osoittaa sen olevan puhtaampi kuin se oikeasti on. Tämä puhtausero tynnyriöljyn ja täytettävän öljyn välillä voidaan olettaa johtuvan siitä, että täyttökoneessa kiertävä öljy likaantuu sulkimia täytettäessä, sillä täyttökone huuhtelee sulkimia samaan aikaan. Täytössä ja huuhtelussa epäpuhtaudet lähtevät täyttökoneen öljyn kiertoon, kulkeutuvat öljysäiliöön ja ovat öljyn seassa jatkuvasti siltä osin, mitä suodatimet eivät suodata tai sulkimiin ei täyty. Täyttökoneen suodatusta tarkastellaan puhtaustulosten avulla tarkemmin seuraavassa luvussa.

Täyttökoneen näytteistä otettujen membraanikuvien avulla ei epäpuhtauslähteistä voida suuria johtopäätöksiä tehdä, sillä hiukkaset ovat suurimmaksi osaksi niin pieniä, ettei niiden ominaisuuksia erota. Isoimmat hiukkaset ovat sinisiä kuituja ja muovipalanen, jotka todennäköisimmin ovat peräisin näytteenotosta. Abloyn työvaatteet ovat siniset, joten siniset kuidut voivat olla joutuneet öljyn sekaan myös öljytynnyrin vaihdosta, jolloin kuidut voivat päätyä öljyn sekaan.

Täyttökoneen näytteiden puhtaustaso ei ensimmäisissä mittauksissa yllä matalapaineisen hydraulijärjestelmän suositellulle puhtaustasolle, joka on standardin ISO 4406 mukaan ilmoitettuna 24/17/14. Toisissa mittauksissa täyttökoneiden puhtaus ylittää tämän tason yli, sekä riittää myös pienimpien ja suurimpien hiukkaskokoluokkien osalta proportionaalisuudella suositeltuun puhtaustasoon, joka on standardin ISO 4406 mukaan ilmoitettuna 20/15/12 (Kauranne et al. 2008). Venttiilivalmistajien asettamat suositukset ovat tätä tasoa hieman tiukemmat, esimerkiksi Hydacin ilmoittama ISO 4406 luokka 17/15/1 (Hydac USA), jolloin vain isoimpien hiukkaskokoluokat yltyvät sallitulle tasolle. Tämä puhtausero voidaan olettaa johtuvan täyttökoneen öljysäiliöön asennetusta sivuvirtasuodattimesta, mitä käsitellään lisää seuraavassa luvussa.

5.7.2 Ovensuljinten öljynäytteet

Ovensuljinten öljynäytteet olivat kummassakin mittauksessa niin likaisia, että niiden puhtaustaso ei riitä millekään tavallisille hydraulijärjestelmille annettuihin puhtaus-suosituksiin täysin. Ensimmäisissä ja toisissa mittauksissa oli kuitenkin eroa näytteiden puhtauden kannalta, jolle voidaan olettaa useita syitä.

Ensimmäisten mittausten näytteet olivat kaikki ovensulkimista, joita oli testattu testioivessa eli toisin sanoen ne olivat olleet käytössä. Myös toisten mittausten näytteet 21 ja 22 olivat kummatkin testatuista ovensulkimista. Toisten mittausten muut näytteet olivat ovensulkimista, joita ei ollut testattu ollenkaan. Testaamattomien ovensulkimien öljy oli mittaustulosten perusteella puhtaampaa kuin testattujen sulkijoiden. Tämä voi-

daan olettaa johtuvan siitä, että ovensulkimessa tapahtuu kulumista osien liikkeen ansiosta. Kulumista tapahtuu epäpuhtaushiukkasten sekä ovensulkimen osien keskinäisen liikkeen ansiosta todennäköisesti abrasiiivisen ja adhesiivisen kulumisen, eroosiokulumisen ja pintaväsymismurtumisen mukaisesti.

Membraanikuvien tulkinta

Ovensulkimen toiminnasta aiheutuva kuluminen huomataan myös vertaamalla molempien mittauskertojen suljinnäytteiden membraanikuvia (Kuvat 5.5 ja 5.8). Testattujen sulkimien membraanit ovat paljon tummempia, joka johtuu hienommasta, sakkamaisesta hiukkasesta. Sakka voi olla joko epäpuhtaushiukkasia, jotka ova hajonneet käytöstä johtuvassa kulutuksessa pienemmäksi tai ovensulkimen rungosta irronnutta piitä.

Sakan lisäksi membraanikuvista nähdään, että epäpuhtaudet koostuvat erikokoisista hopean ja kullan värisistä hiukkasista sekä kuiduista. Hiukkasten ulkonäöstä voidaan päätellä, että ne ovat materiaaliltaan terästä, alumiinia sekä messinkiä ja peräisin erilaisesta kulumisesta osien välillä ja ovensulkimen valmistusprosessista. Messinkiset hiukset oletettiin olevan peräisin öljyntäyttökoneen venttiilistä tai ovensulkimen säätöruuveista. Täyttökoneen öljynäytteen membraanikuvissa (Kuva 5.8 alarivi) ei messinkihiukkasia näy, joten niiden voidaan olettaa olevan peräisin säätöruuveista. Messinkihiukkasia irtoaa todennäköisesti eroosiokulumisella tai säätöruuvin säädöstä aiheutuvala kulumisella. Kuvan 5.8 ylärivin kuvissa erottuvat kuidut voidaan olettaa olevan peräisin valmistusprosessin aikana tulevasta epäpuhtaudesta tai näytteenoton yhteydessä irronneista vaatekuiduista.

Osien pesu ja kolminkertainen öljyntäyttö

Toisten mittausten tulosten avulla voidaan tarkastella, miten osien pesu sekä kolminkertainen öljyntäyttö, eli kolminkertainen huuhtelu vaikuttaa öljyn puhtauteen. Puhtain näyte (näyte 17) oli peräisin DC700 ovensulkimesta, jonka osat pestiin. Tätä lähimpänä puhtaudessa olivat näytteet 23 ja 24, jotka olivat myös pestyillä osilla varustetun sulkimen öljystä. Näyte 19 oli toiseksi puhtain näyte ja se oli peräisin tuotannon mukaisesta DC700-sulkimesta. Tämä voi johtua joko siitä, että näytettä ottaessa on kyseinen suljin ollutkin pestyillä osilla kasattu ja tämän takia huomioitu väärin tai osat ovat olleet jostain syystä puhtaampia. Tuotannon mukaiset ja kolminkertaisella öljyntäytöllä täytetyt DC700-sulkimet (näytteet 15 ja 16) ovat likaisempia kuin näyte 19 ja lähes yhtä likaisia toisen tuotannosta valitun sulkimen öljynäytteen (näyte 20) kanssa, mikä puoltaa pestyjen osien olevan puhtaampia tuotannon sulkimiin verrattuna. Taulukon 5.9 hiukkasjakauksia tutkiessa voidaan huomata, että pestyillä osilla olevat sulkimet (näytteet 17 ja 24) ovat hiukasmääriltään jokaisessa kokoluokassa huomattavasti puhtaampia kuin tuotannosta otetut sulkimet (näytteet 16 ja 20).

Kolminkertaisen öljyntäytön voidaan olettaa tulosten perusteella olla tuomatta puhtautteen merkittävää parannusta. Tuotannon mukaisen ja kolmikertaisella öljyntäytöllä valmistettujen sulkimien öljynäytteiden (näyteet 15 ja 16) puhtaudessa on pientä eroa, mutta näyte 16 on puhtaudeltaan sama kuin tuotannosta valitun sulkimen eli näytteen 20 puhtaus.

5.8 Ovensulkimen komponenttien puhtausmittaukset

Epäpuhtauksien tutkimisen kannalta on tärkeää öljyn puhtauden lisäksi tutkia ovensulkimen eri komponenttien puhtautta. Tätä varten komponenteille täytyy suorittaa omat puhtausmittaukset, joiden avulla saadaan selvitettyä niissä esiintyvät epäpuhtaudet. Abloylla tehtyjen aiempien havaintojen ja tutkimusten sekä tässä tutkimuksessa tehdyn silmämääräisen öljyn puhtauden vertailun ennen ja jälkeen sulkimen täyttämistä perusteella ovensulkimen komponentit mahdollisesti tuovat epäpuhtauksia öljyn sekaan.

Ovensuljin koostuu useasta eri komponentista, joista monet koneistetaan tehtaalla ennen kokoonpanoa eikä kaikille suoriteta tämän jälkeen pesua. Muut osat saadaan alihankkijoilta valmiina, jotka varastoinnin kautta menevät suoraan kokoonpanoon eikä näistäkään jokaiselle suoriteta pesua. Nopealla johtopäätöksellä komponentit ovat likaisia, minkä takia osille täytyy tehdä puhtausmittauksia puhtaustason todistamiseksi ja sen parantamisen mahdollistamiseksi.

Kriittisimpiä komponentteja puhtauden kannalta ovat koneistettavat komponentit. Näitä ovat akselit, männät sekä runko, joille puhtausmittaukset ovat etusijalla muita komponentteja kuitenkin unohtamatta. Komponenttien puhtauden mittaus on melko uusi asia eikä mittauspalveluiden tarjonta ole suuri. Itse mittaus on aikaa vievää, siihen vaadittu osaaminen on rajallista sekä mittauslaitteet ovat kalliita. Näin ollen mittauksen teettäminen maksaa eikä rajallisen budjetin takia mittauksia pysty teettämään jokaiselle komponentille. Kuitenkin tarkan ja kokonaisvaltaisen puhtaustason selvittämiseksi mittaukset olisi syytä tehdä jokaiselle komponentille. Tämän takia tässä tutkimuksessa teettävät komponenttien mittaukset täytyi suunnitella huolella budjetin rajoissa, jotta mitaustuloksista saataisiin suurin hyöty.

5.8.1 Ensimmäiset komponenttimittaukset

Ensimmäisiksi mitattavaviksi komponenteiksi valittiin DC700DA-mallin kokoonpantu etumäntäkomponentti ja runko. Mäntäkomponentti valittiin siksi, koska itse mäntärunko koneistetaan eikä sille suoriteta pesua, ja koska männän sisälle sijoitettava venttiilipaketti sekä laakeri asennetaan käsin. Näin ollen koneistus ja käsin suoritettava mäntäkomponentin kokoonpano ovat todennäköisiä merkittäviä epäpuhtauslähteitä, sillä komponenttia ei pestä ennen ovensulkimen kokoonpanoa. Tämä valmistusprosessin nykytilan mukainen mäntäkomponentti on siis ensimmäinen mitattava komponentti.

Abloylla on olemassa tunnelipesukone, jota mahdollisesti jatkossa aletaan käyttämään osien pesussa. Tunnelipesukone pesee pesuhäkissä olevat kappaleet ylä- ja alapuolella sekä sivussa olevilla suihkusuuttimilla. Tällä koneella suoritettiin pesu edellä mainituille mäntäkomponenteille tavalla, jolla ne pestäisiin, jos pesuprosessi olisi osana nykyistä valmistusprosessia. Pesty mäntäkomponentti valittiin toiseksi mitattavaksi komponentiksi, jolloin nähdään mahdollinen puhtausero nykytilaan verrattuna.

Runko on ovensulkimen suurin komponentti ja näin ollen sen sisäpinta-ala on suuri mahdollisille koneistuksesta jääneille epäpuhtauksille. Aiemmin rungolle on tehty puhtausmittauksia, mutta nykyinen puhtaustaso kuitenkin halutaan tietää. Rungolle suoritetaan tuotantoprosessissa pesu koneistusten jälkeen ja tässä tapauksessa pesukoneeseen on juuri vaihdettu vesi, joten mitattavat kappaleet ovat nykyprosessin mahdollistamassa puhtaimmassa mahdollisessa tilassa. Kolmanneksi mitattavaksi komponentiksi valittiin näin ollen runko, joka on pesty puhtaalla pesuvedellä.

Komponentit laitettiin mitattavaksi Fluidlab-nimiseen yritykseen, jossa mittausta varten tehtävässä hiukkasten irrotuksessa käytettävänä menetelmänä on painehuuhtelu, englanniksi pressure rinsing, joka tehdään hiukkasvapaalla teollisuusbensiinillä pestyillä työvälineillä. Painehuuhtelun irrottamat epäpuhtaushiukkaset kerätään membraanilevyille ja ne lasketaan mikroskoopin avulla. Mittausmenetelmä on pääosin ISO 16232 –standardin mukainen, vaikka tuloksia ei tämän mukaan ilmoiteta.

Kustakin komponentista laitettiin mitattavaksi kolme kappaletta, jotta kappaleiden mitaustuloksien erot voidaan huomioda tuloksia analysoitaessa. Mäntäkomponentit otettiin niiden kokoonpanon jälkeisestä säilytyslaatikosta ja pakattiin minigrip-pussiin. Pestyt mäntäkomponentit puhallettiin pesun jälkeen paineilmalla ja annettiin kuivua, jonka jälkeen ne myös pakattiin minigrip-pussiin. Rungot otettiin niiden pesun jälkeisestä säilytyslaatikosta ja pakattiin pakkausmuovikelmulla tiiviiksi. Pakkauksen jälkeen komponentit lähetettiin postitse mitattavaksi.

Mäntäkomponenttien pakkaus minigrip-pusseilla ei ole puhtain mahdollinen pakkausmuoto, joka täytyy ottaa huomioon mitaustuloksia analysoitaessa. Pussista voi esimerkiksi tarttua epäpuhtauksia komponenttiin ja toisin päin. Kuitenkin tällä estetään komponenttien kuljetuksesta aiheutuva liika saastuminen pussien tiiviiden vuoksi. Runkojen ulkopuolinen epäpuhtaus ei ole olennainen, joten niiden pakkaamiseen muovikelmuun on riittävä puhtauden kannalta, vaikka se ei puhtain mahdollinen pakkausmenetelmä olekaan.

5.8.2 Toiset komponenttimittaukset

Ovensulkimen rungon koneistuksen jälkeiseen pesukoneeseen oli tilattu pesunesteen suodatin, joka asennettiin sattumalta tutkimuksen aikana. Tämä tapahtui ensimmäisten rungon puhtausmittauksien jälkeen, jonka takia todettiin tarpeen teettää rungoille uudet komponenttien puhtausmittaukset vertailuna edelliseen ja selvityksenä suodattimen toimivuudelle. Kaksi kappaletta pestyjä runkoja laitettiin näin ollen mitattavaksi. Pesukoneen pesuvesi vaihdettiin seuraavalla viikolla, kuin mitattavat rungot oli pesty, eli pesuvesi oli näin ollen likaisinta mahdollista ja suodattimen toiminta pystyttäisiin huomamaan tämän takia parhaiten.

5.9 Komponenttien puhtausmittausten tulokset

Komponenttien mittauksessa tehtävä painehuuhtelu suoritettiin kahdesti käyttäen kummallakin kerralla 50 ml pesunestettä eli yhteensä 100 ml. Mittaustulokset on esitelty kokoluokittain kumulatiivisina hiukkaslukumäärinä, joten hiukkaslukumäärät vastaavat komponentissa olevaa kokonaishiukkaslukumäärää. Hiukkaslukumäärien lisäksi mitattavalle komponentille on ilmoitettu puhtaustaso standardin ISO 4406 mukaan. Mittausten tulokset esitellään seuraavaksi kukin omassa aliluvussa.

5.9.1 Tuotannon mukainen etumäntä

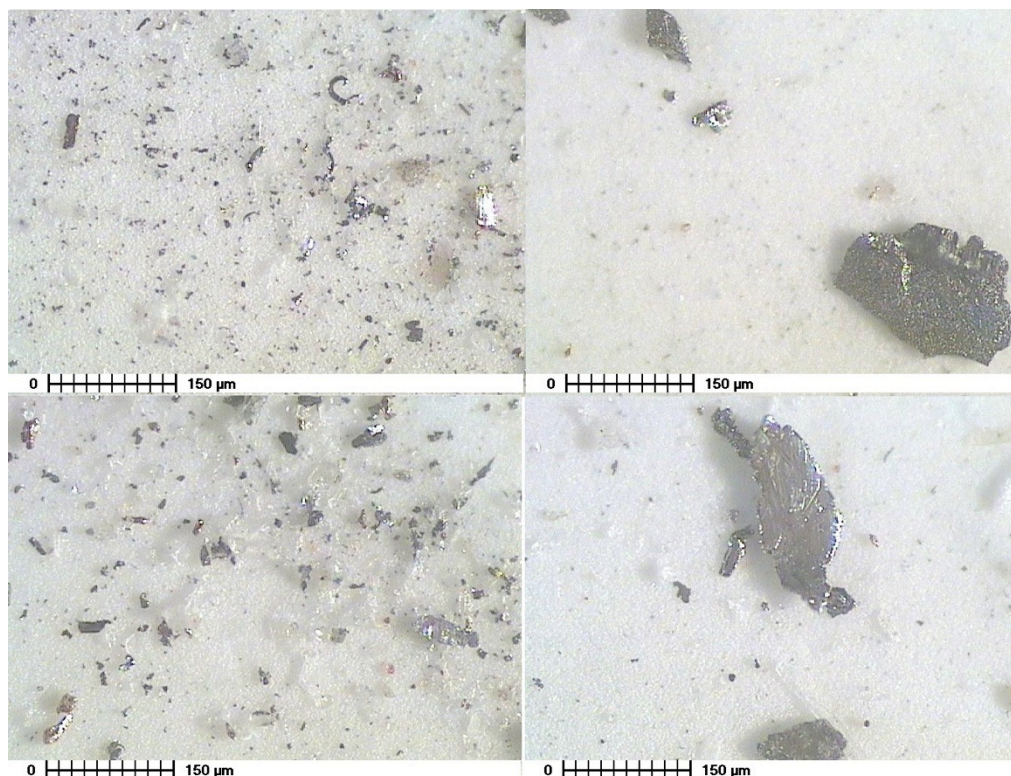
Etumäntä oli ensimmäinen mitattava komponentti. Mitatut kolme kappaletta valittiin satunnaisesti tuotannosta, joiden tulokset on esitetty taulukossa 5.10. Näistä männistä käytetään tulosten yhteydessä jatkossa myös termiä pesemättömät männät.

Taulukko 5.10. Tuotannon mukaisen etumännän puhtausmittaustulokset. (Vesala 2014a)

	Hiukkasmäärät per 100 ml pesuliuotinta		
Hiukkaskokoluokat	Mäntä 1	Mäntä 2	Mäntä 3
> 5 µm	460 000	650 000	1 200 000
> 15 µm	98 000	80 000	140 000
> 25 µm	32 000	22 000	36 000
> 50 µm	8 900	2 300	4200
> 100 µm	1 600	650	1 200
ISO 4406	-/19/17	-/20/17	-/21/18

Mäntien puhtaudessa eli epäpuhtauksien lukumäärässä on mittaustulosten mukaan hie- man eroa, mutta ne ovat keskenään kuitenkin yhtenevät. On erittäin selvää, että epäpuhtauksia on männässä yleisesti ottaen erittäin paljon. Esimerkiksi yhteensä mitattuja eli yli 5 µm:n kokoisia hiukkasia on mittausten perusteella männässä vaihtelevasti 460 000 kappaleesta 1 200 000 kappaleeseen. Yli 100 µm:n kokoisia hiukkasia taas voi männässä olla mitattujen näytteiden mukaan jopa yli 1000 kappaletta.

Membraanisuodattimista otettiin myös mikroskooppikuvia, jotka toimitettiin mittaustulosten yhteydessä. Kuvassa 5.9 on koottu neljä kuvaa näistä mikroskooppikuvista.



Kuva 5.9. Membraanisuodattimien mikroskooppikuvat pesemättömien etumäntien epäpuhtaushiukkasista. (Vesala 2014a)

Kuvan 5.9 mikroskooppikuvista huomataan konkreettisesti epäpuhtaushiukkasten lukumäärä. Kuvat ovat otettu erikohdista membraanisuodatinta suurennuksen takia ja niissä on 150 µm:n kokoinen asteikko. Männissä esiintyvät hiukkaset ovat kuvien perusteella pääosin metallia, todennäköisesti terästä.

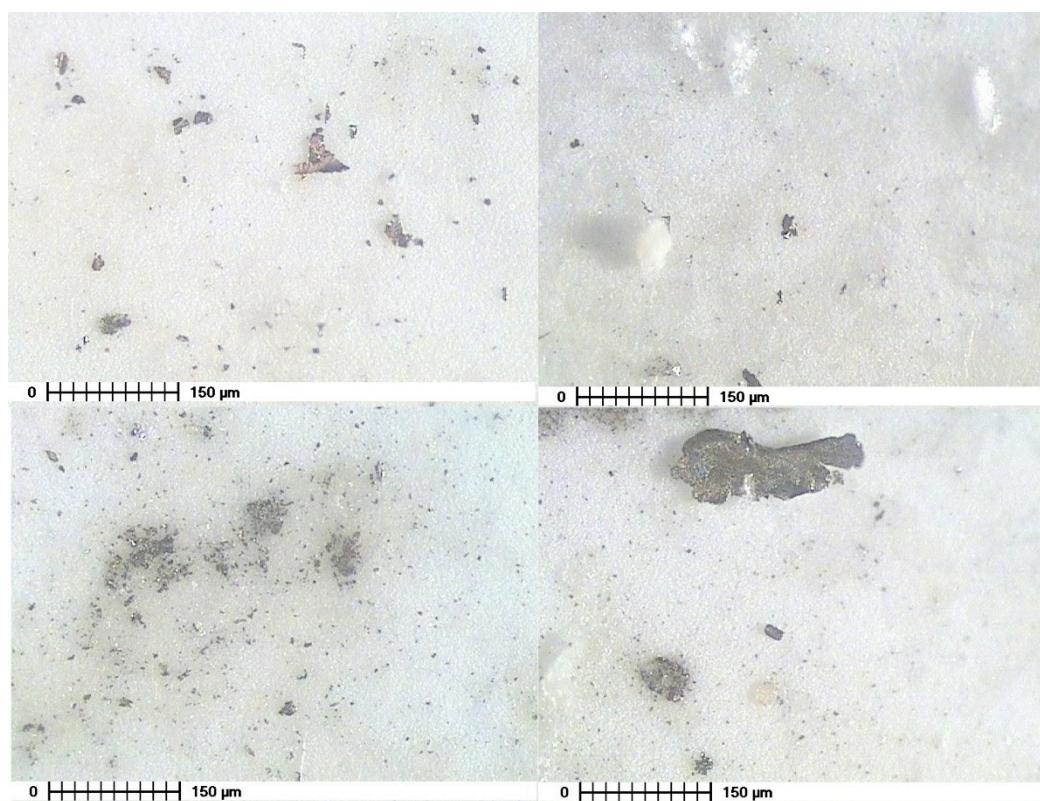
5.9.2 Pesty etumäntä

Pestysten etumäntien joukosta valittiin satunnaisesti mitattavat kappaleet, joille seuraavaksi tehtiin komponenttipuhtausmittaukset. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 5.11.

Taulukko 5.11. Pestyn männän puhtauden mittaustulokset. (Vesala 2014b)

Hiukkaskokoluokat	Hiukkasmäärät per 100 ml pesuliuotinta			
	Mäntä 4	Mäntä 5	Mäntä 6	Keskiarvot
> 5 µm	140 000	220 000	120 000	160 000
> 15 µm	17 000	40 000	13 000	23 000
> 25 µm	4 200	6 400	2 100	4 200
> 50 µm	390	320	240	320
> 100 µm	120	120	60	100
ISO 4406	-/18/15	-/18/16	-/17/14	-/18/15

Pestyjen mäntien puhtaustulokset ovat yhtenevät, vaikka eroja niiden hiukkaslukumäärien välillä löytyy. Pienempien hiukkaskokoluokkien, 5 – 25 µm, lukumäärissä on vaihtelevuutta (120 000 – 220 000 kappaletta), mutta suurempien kokoluokkien, yli 50 µm, hiukkasmäärä on lähes sama mitattujen mäntien perusteella. Kuvaan 6.4. on koottu näiden mittausten membraanilevyistä otetut kuvat, joista havainnollistuu epäpuhtaushiukkasten koko, ulkonäkö ja lukumäärä.



Kuva 5.10. Membraanilevyjen mikroskooppikuvat pestyjen etumäntien epäpuhtaushiukkasista. (Vesala 2014b)

Kuten pesemättömien mäntien tapauksessa, myös tässäkin hiukkaset ovat pääosin metallia. Kuvissa esiintyy myös valkoisia ja kirkkaita hiukkasia, jota ei pesemättömien mäntien kohdalla ollut. Nämä ovat todennäköisesti pesuainejäämiä ja siinä olevaa korroosionestoainetta. Hiukkaslukumääriä laskettaessa nämä ovat jätetyt laskennan ulkopuolelle.

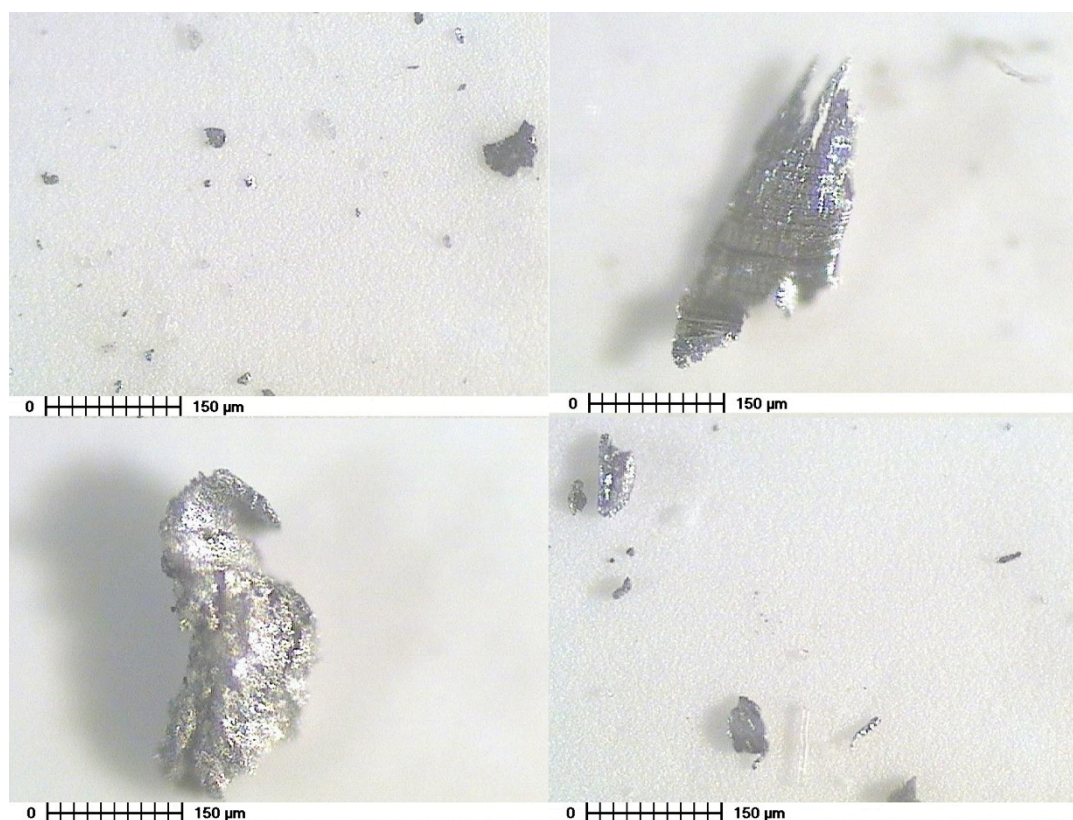
5.9.3 Runko

Rungotkin valittiin mäntien tapaan satunnaisesti puhtaustmittausta varten. Taulukko 5.12 esittää näille kolmelle rungolle tehdyt komponenttipuhtaustmittauksen tulokset.

Taulukko 5.12. Rungon puhtauden mittaustulokset. (Vesala 2014c)

Hiukkaskokoluokat	Hiukkasmäärät per 100 ml pesuliuotinta			
	Runko 1	Runko 2	Runko 3	Keskiarvot
> 5 µm	190 000	120 000	100 000	137 000
> 15 µm	33 000	24 000	15 000	24 000
> 25 µm	7 200	5 300	3 900	5 500
> 50 µm	920	680	620	740
> 100 µm	190	140	70	134
ISO 4406	-/18/16	-/17/15	-/17/14	-/18/15

Mittaustuloksista voidaan tulkita, että mitattujen runkojen puhtaustulos on yhtenevä, vaikka pientä eroa hiukkasmäärissä on. Kolmen kappaleen perusteella rungon numero 2 puhtaustulos on lähimpänä keskimääräistä puhtaustulosta. Hiukkaslukumäärien keskiarvot on koottu omaan sarakkeeseen taulukossa 5.12. Hiukkasten lukumäärää ja ominaisuuksia voidaan konkreettisesti tarkastella membraanisuodattimen mikroskooppikuvien avulla, joita on koottu kuvaan 5.11.



Kuva 5.11. Membraanilevyjen mikroskooppikuvat runkojen epäpuhtaushiukkasista. (Vesala 2014c)

Membraanilevyn mikroskooppikuvista nähdään, että epäpuhtaushiukkaset ovat pääsääntöisesti metallia. Näistä suurimmat hiukkaset ovat huomattavasti suurempia kuin kuvien 150 µm:n mitta-asteikko. Kuvissa esiintyvät vaaleat hiukkaset ovat todennäköisesti pesuainejäämiä.

Rungolle tehdyssä toisissa puhtausmittauksissa mittaustulokset antoivat likimain samantyyppiset hiukkaslukumäärät näille rungoille kuin taulukossa 5.12 oleville rungoille, joten nämä tulokset eivät tarvitse enempää esittelyä. Tuloksista voidaan päätellä, että pesuveiden ollessa tässä tapauksessa likaisimmassa mahdollisessa muodossa pesukoneeseen asennettu suodatin toimii ja ylläpitää puhtautta.

5.9.4 Komponenttipuhtausmittausten tulosten tarkastelu

Mittaustuloksien likaisin komponentti oli tuotannon mukainen pesemätön mäntä. Pesty mäntä sekä runko olivat epäpuhtauksien hiukkaslukumäärien suuruusluokaltaan lähes samat ja huomattavasti pesemätöntä mäntää puhtaammat. Mittaustuloksia tarkastellessa pitää huomioida kuitenkin komponenttien pinta-ala, jolta epäpuhtaudet on irrotettu. Runko on pinta-alaltaan huomattavasti suurempi kuin mäntä, joten se on paljon puhtaampi kuin pesty mäntä, vaikka hiukkasia onkin saman verran.

Epäpuhtaushiukkaset mitatuissa komponenteissa ovat membraanikuvien perusteella pääosin metallia. Mäntien mittaustuloksissa metalli näyttää olevan niistä koneistuksessa lähtenyttä lastua eli hiukkaset ovat terästä. Rungon lastu on myös kirkasta metallia, joka näyttää olevan peräisin myös koneistuksesta. Tässä tapauksessa metalli on rungon materiaalina käytettävää alumiinia.

Mittaustulosten perusteella voidaan todeta, että männille suoritettu pesu toimii. Pesemättömissä männissä hiukkasten lukumäärä on parhaimmillaan yli kymmenkertainen pesemättömien mäntien hiukkasten lukumäärään verrattuna. Kuitenkin hiukkasia pesytyissä männissä vielä on, joten täysin puhtaita ne eivät vielä ole. Suurempiakin yli 100 µm:n kokoisia hiukkasia on vähimmillään yli 100 kappaletta.

Mitattujen kappaleiden puhtaus tulokset vaihtelevat, kuten pestyjen mäntien kohdalla esimerkiksi huomataan. Taulukon 5.11 mukaan mitatun männän numero 5 hiukkaslukumäärä yli 5 µm:n kokoisissa hiukkasissa on parhaimmillaan kaksinkertainen mäntään numero 6 verrattuna. Ero on kuitenkin suhteessa paljon pienempi, kun vertaa taulukon 5.10 mäntien hiukkaslukumäärien eroihin.

Pestyille männille voidaan laskea kokonaishiukkaslukumääristä standardin ISO 16232 mukainen puhtauskoodi. Puhtauskoodi CCC on B18/C14/D12/E8, ja se on laskettu keskiarvosta ja esitetty männän kokonaispinta-alaa kohti, joka on karkeasti alle 50 cm². Hydraulikomponenttivalmistaja ilmoittaa komponenteillensa suositelluksi puhtauskoodiksi CCC D8/G7/H5/I4 (Rinkinen 2010), joka on ilmoitettu 1000 cm² märkäpinta-alaa kohti. Vertailua selventääkseen männän puhtauskoodi CCC ilmoitettuna 1000 cm² märkäpinta-alaa kohti on B22/C19/D17/E13/F11. Näin ollen pesty mäntä on suositeltua puhtausluokkaa huomattavasti likaisempi. Rungon märkäpinta-ala on pestyä mäntää suurempi, mutta on myös suositeltua komponenttivalmistajan puhtaustasoa likaisempi.

5.10 Mittaustulosten keskinäinen tarkastelu

Öljynäytteiden ja komponenttien puhtausmittausten keskinäisessä tarkastelussa voidaan huomata useita olennaisia asioita. Komponenttipuhtausmittausten hiukkaslukumäärien voidaan olettaa olevan komponenttien kokonaisuudessaan sisältämä lika. Myös DC700- ja DC700DA-mallin suljinten öljynäytteiden hiukkasten voidaan olettaa sulkimien kokonaisliaksi, kuten aiemmin perusteltiin. Tämä helpottaa epäpuhtauslähteiden tarkastelua. Tarkastelussa pitää huomioida myös, että komponenttien mittaustulokset on esitetty vanhemman hiukkaskalibrointistandardin ja öljyn mittaustulokset uudemman standardin mukaan. Komponenttien hiukkasten kokoluokka $>5 \mu\text{m}$ on näin ollen sama kuin öljyn hiukkasten kokoluokka $>6 \mu\text{m(c)}$ jne. (kts. taulukko 3.2.).

Pesemättömissä männissä yli $5 \mu\text{m:n}$ kokoisia hiukkasia on tulosten mukaan 460 000 – 1 200 000 kappaletta. Cam-ovensulkimessa mäntäkomponentteja on kaksi, jotka tulevat samasta koneistusprosessista. Ovensulkimeen tulee myös samalla hiomakoneella hiottu nokka-akseli, joka on kokoluokaltaan sama kuin mäntä, mutta hieman pienemmällä pinta-alalla. Rungosta yli $5 \mu\text{m:n}$ kokoisia hiukkasia on tulosten perusteella taas 100 000–190 000 kappaletta. Tuotannosta valitun ovensulkimen öljynäytteessä (näyte 20) samankokoisia, yli $6 \mu\text{m(c):n}$ hiukkasia on laskettu olevan noin 7 200 000 (otettava huomioon koinsidenssivirhe, jolloin hiukkaslukumäärä todellisuudessa pienempi). Näitä lukuja tarkastelemassa huomataan, että jo näiden osien hiukkaslukumäärät tuovat merkittävän osan ovensulkimen öljyssä esiintyvään hiukkasmäärään. Ovensulkimen osien voidaan todeta olevan yksi merkittävä tekijä puhtauden kannalta.

Pestyillä männillä, nokka-akselilla ja isolla jousella kokoonpantujen sulkimien puhtaus-taso huomattiin olevan parempi tuotannon sulkimiin verrattuna. Pestyjen mäntien kohdalla yli $5 \mu\text{m:n}$ hiukkasia oli mittaustulosten mukaan 120 000 – 220 000 kappaletta, joka on moninkertaisesti vähemmän pesemättömien mäntien vastaavaan luokkaan verrattuna. Pestyillä osilla olevan ovensulkimen puhtain öljynäyte (näyte 17) sisälsi samankokoisia yli $6 \mu\text{m(c):n}$ kokoisia hiukkasia noin 1 400 000, joka on taas moninkertaisesti pienempi verrattuna edellä mainittuun näytteeseen 20. Näitä lukuja vertailemalla voidaan taas todeta, että osien pesu vaikuttaa valmiin ovensulkimen öljyn puhtauteen hyvällä tavalla.

Komponenttipuhtausmittauksista huomataan, että ovensulkimen osien hiukkaslukumäärien välillä on vaihtelua varsinkin pesemättömien mäntien osalta, mutta myös pestyjen mäntien ja runkojen tapauksessa. Samanlaisten ovensulkimien välisten öljynäytteiden mittaustulosten kesken esiintyy vaihtelua, esimerkiksi näytteiden 15 ja 16 välillä, jolloin se voidaan osittain selittää osien välisen puhtauden vaihtelulla.

Membraanikuvien tutkimuksen perusteella voidaan taas todeta, että hopeanväriset hiukkaset ovat osittain peräisin osien mukana tulevista hiukkasista. Öljynäytteiden ja komponenttien hiukkasten membraanikuvissa nähdään myös värin lisäksi yhteys hiukkasten

muodon kanssa. Komponenttien epäpuhtauksien membraanikuviissa nähtävät pesu- sekä korroosionestoainejäämät on jätetty hiukkaslaskennassa huomiotta. Nämä voivat öljynpuhtauden hiukkaslaskennassa vaikuttaa jollain tavalla hiukkaslukumääriin, mutta kuitenkin pestyjen osien ja pestyistä osista kokoonpantujen sulkimien öljyn puhtaus on huomattavissa tästä huolimatta.

5.10.1 Mittauksista yleisesti

Näytteitä otettiin sulkimista, jotka valittiin tuotannosta tai valmistettiin näytteitä varten tuotannosta poikkeavalla tavalla. Nämä erikseen valmistetut sulkimet valmistettiin tavalla, joka myöhemmin olisi mahdollista olemassa olevilla laitteilla, varsinkin osien pesu tunnelipesukoneella. Sama koskee luvun 5.4. testattuja sulkimia sekä kaikkia komponenttien puhtausmittauksia.

Mittauksiin pyrittiin laittamaan samanlaisia näytteitä ja kappaleita vähintään kaksi kappaletta, jotta niiden samankaltaisuus tai eroavaisuudet eivät jäisi huomiotta tuloksissa. Esimerkkinä tästä ovat näytteet 23 ja 24. Mittausten teettämisessä piti huomioida myös käytettävissä oleva budjetti, joka rajoitti näytteiden määrää.

6 OVENSULKIMEN TESTAUSTEN TULOKSET JA VALMISTUSPROSESSIN VAIHEIDEN PUHTAUS

Tämä pääluku pitää sisällään ovensulkimien testausten tulokset ja tarkastelu. Näiden tulosten esittelyn apuna käytetään edellisessä pääluvussa esitettyjä mittaustuloksia kokonaisuuden muodostamiseksi. Testaustulosten lisäksi luvussa käydään läpi valmistusprosessin vaiheiden puhtaustutkimuksen tulokset sekä niiden tarkastelu.

6.1 Ovensuljinten testauksen tulokset

Ovensulkimia testattiin kahteen otteeseen testioivessa. Ensiksi esitellään lyhyesti ensimmäisten testien tulokset, jotka osittain on esitelty välituloksina luvussa 5.2, koska niiden perusteella tarvittiin jatkotutkimusta ja testausta. Testausten tulosten esittely ja tarkastelu keskittyy pääasiassa toisiin testauksiin.

6.1.1 Ensimmäiset ovensuljinten testausten tulokset

Ovensulkimia testattiin kahteen otteeseen testioivessa. Ensimmäisissä testeissä tarkoituksena oli selvittää kuinka sulkimet käyttäytyvät ja erottaa hyvät huonoista. Testi on käsitelty tarkemmin luvussa 5.2, jossa myös käydään läpi sulkimien toiminta mallikohteisesti. Ensimmäisten testien perusteella teetätettiin ensimmäiset puhtausmittaukset, minkä tarkoituksena taas oli selvittää, onko hyvien ja huonojen sulkijoiden öljyn puhtauden välillä eroa.

Mittaustulosten (taulukko 6.1) perusteella nähdään, että suljinten toiminnalla ja puhtaudella ei ole suoraa yhteyttä tässä tapauksessa, koska kaikkien sulkimien öljy on erittäin likaista. Esimerkkinä puhtain näyte numero 7 oli sulkimesta, joka toimi testattavista sulkimista huonoiten. Näyte on puhtaampi kuin muut, koska sen suljin kävi vain alle 30 toistoa testioivessa, eikä ole näin ollen sulkimen käytöstä aiheutuvalla kulumisella likaantunut, kuten öljynäytteiden mittaustulosten tarkastelussa todettiin.

Öljy on näin ollen niin likaista, että sulkimien toiminta ei ole varmaa. Varsinkin 700DA-mallin sulkimet eivät toimineet yksikään täysin hyväksyttäväksi. Tutkussa 700DA-mallissa on pienimmät öljyn virtausaukot, suurimmat paineet ja voimat kaikista suljinmalleista. Tämä selittää todennäköisesti tämän mallin kohdalla esiintyvät toimintahäiriöt sekä niiden syyn, joka aiheutuu suuresta öljyn lian eli epäpuhtaushiukkasten määrästä.

6.1.2 Ovensuljinten jatkotestausten tulokset

Ensimmäiset suljinten testausten tulokset yhdessä ensimmäisten mittaustulosten kanssa eivät antaneet tarpeeksi tietoa, minkä takia jatkotestauksia täytyi tehdä. Koska 700DA-mallin kohdalla toimintahäiriöt olivat vallitsevia, niin tämä malli otettiin jatkotestausten kohteeksi.

Testaukset suoritettiin pääasiassa kahdenlaisilla sulkimilla: tuotannosta satunnaisesti valitut ja erikseen kokoonpannut pestyistä osista (männät, nokka-akseli ja iso jousi). Pestyillä osilla kokoonpannuille muutamille sulkimille suoritettiin kolminkertainen öljyntäyttöohjelma. Lopuksi testattiin kolme pestyillä osilla kokoonpantua suljinta, jotka tyhjennettiin öljystä käsin ja täytettiin uudelleen. Ensimmäiset sulkimet testattiin suurimmalla ja loput sulkimet pienimmällä jousivoimalla. Suljinten testimenetelmä on kerrottu luvussa 5.4. Kuvan 6.1 taulukoihin on koottu suljinten testauksen tulokset.

Suuri voima				Pieni voima			
	90°	135°	180°		135°	180°	225°
1	x	x	o	1	x	o	o
2	x	x	o	2	x	o	o
3	o	o	o	3	xx	o	o
4	x	o	o	4	x	o	o
5	x	o	o	5	x	o	o
6	o	o	o	6	x	x	o
7	o	o	o	7	x	x	o
8	x	x	o	8	x	o	o
9	x	o	o	1	xx	o	o
1	x	o	o	2	x	x	x
2	x	o	o	3	x	o	o
3	x	o	o	4	o	o	o
4	x	o	o	5	xx	o	o
5	x	x	o	6	x	o	o
6	x	x	o	7	x	o	o
7	x	x	o	1	o	o	o
				2	x	o	o
				3	o	o	o

x = pysähtyi testissä	 = suljin pestyillä osilla
o = toimi hyvin testissä	 = suljin pestyillä osilla & 3x öljyntäytöllä
xx = ei pysähtynyt, mutta hidastui merkittävästi	 = tuotannon mukainen suljin
	 = suljin pestyillä osilla & 3x öljyntäytöllä & tyhjennys & uudelleentäyttö

Kuva 6.1. Ovensuljinten jatkotestausten tulokset.

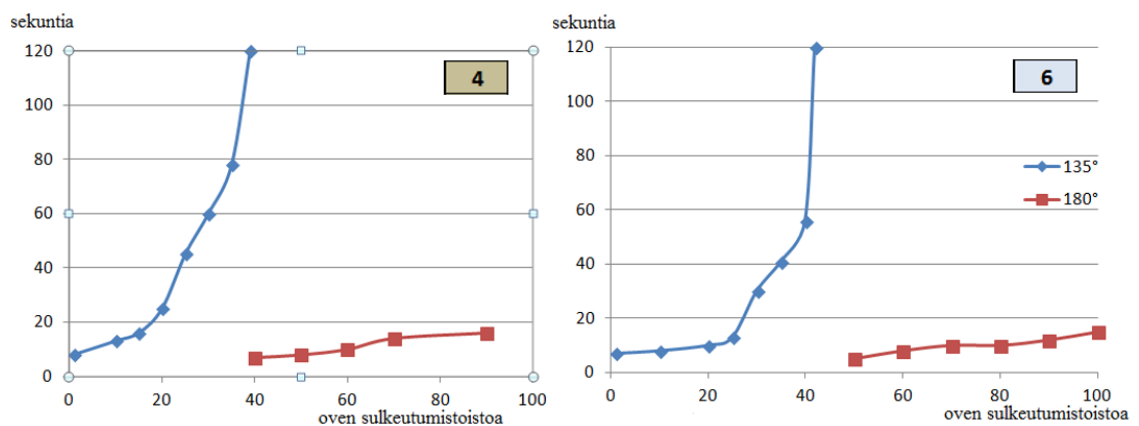
Testeissä on tutkittu 700DA-mallin D-vaiheen toimintaa. Kuvan 6.1 taulukoiden yläriivin asteluku kertoo, kuinka monta astetta D-ruuvia on aukaistu siitä asennosta, kun se oli ruuvattu kiinni. Näillä eri ruuvien säädöillä, eli aukioloasunnoilla sulkimen toimintaa

testattiin. Taulukoiden vasen sarake ilmoittaa, onko suljin ollu tuotannon mukainen, kokoonpantu pestyillä osilla tai muuten eroava muista. Sarakkeen laatikoiden värikoodi on selvennetty kuvassa. Astelukusarakkeisiin on koottu kunkin testattavan suljinten toiminta kullakin D-ruuvien aukaisun asteluvulla. Punainen laatikko kertoo, jos kyseisellä astemäärällä ovensuljin pysähtyi kesken D-vaiheen liikkeen. Vihreä laatikko kertoo, jos D-vaihe toimi kyseisellä asteluvulla. Oranssi laatikko taas kertoo, jos suljin toimi huonosti kyseisellä astemäärällä, mutta ei kuitenkaan pysähtynyt.

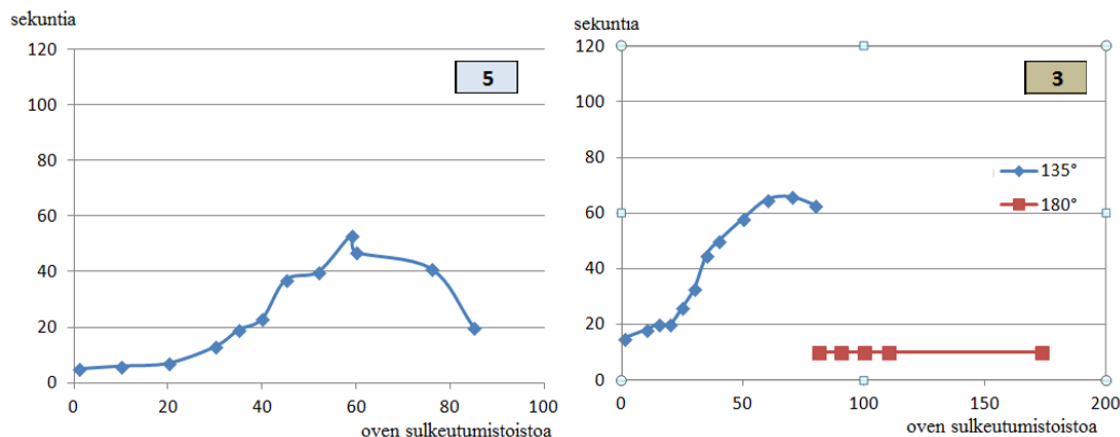
Pienen ja suuren voiman ensimmäinen asteluku määräytyi sen mukaan, että keskimäärin kyseisellä astemäärällä D-vaihe kesti noin 5 – 10 sekuntia. Vaihtelua tässä ajassa kuitenkin oli suljinten välillä. Testeissä todettiin, että testattavien astelukujen välillä ilmevän toiminnan eroja, joten tämän perusteella kunkin voiman kohdalla valittiin tietyt kolme astelukua.

Sulkimen toiminnan graafinen tulkinta

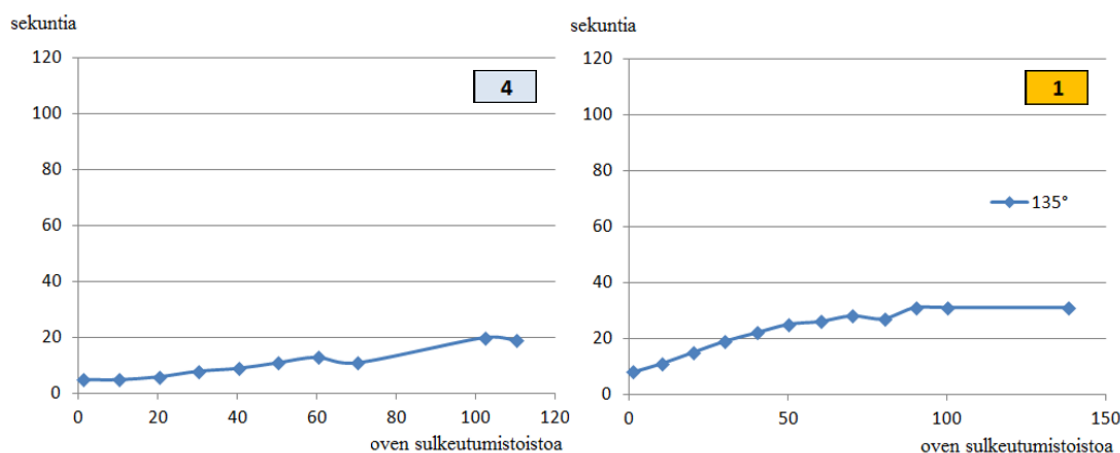
Sulkimen toimintaa testin aikana havainnollistavat seuraavaksi esitetyt graafiset kuvaajat. Kuvan 6.2 kuvaajat kertovat, kuinka suljin käyttäytyi tilanteessa, kun se jumiutui ensimmäisellä D-ruuvien säädöllä ja toimi seuraavilla säädöillä. Kuvaajat kuvassa 6.3 taas havainnollistavat, kuinka suljin toimi, kun se ei jumiutunut mutta toimi ensimmäisellä säädöllä huonosti eli hidastui merkittävästi. Kuvan 6.4 kuvaajat havainnollistavat, kuinka suljin toimi jo ensimmäisellä säädöllä hyvin. Kuvaajat ovat muodostettu pienen jousivoiman testin sulkimista, mutta samanlainen toiminnan käyttäytyminen tapahtui myös suuren voiman testin sulkijoiden kohdalla.



Kuva 6.2. Suljinten toiminnan havainnollistaminen tukkeutumistilanteessa.



Kuva 6.3. Suljinten toiminnan havainnollistaminen hidastumistilanteessa.



Kuva 6.4. Suljinten toiminnan havainnollistaminen hyvässä toimintatilanteessa.

Kuvien 6.2 – 6.4 kuvaajien vaaka-akseli kertoo testissä olevien sulkimien sulkeutumistoistot, eli monta kertaa suljin on sulkenut testioven. Pystyakseli kertoo jokaiseen mitattavaan toistoon kuluneen sekuntien lukumäärän. Sininen käyrä kuvaa sulkimen toimintaa ruuvin säädön ollessa 135 asteessa ja punainen käyrä toimintaa 180 asteen säädöllä. Kuvaajat on merkattu numerolla ja väritaustalla, jotta tiedetään mikä kuvan 6.1 pienen voiman taulukon suljin on kyseessä. Esimerkiksi kuvan 6.3. sulkimen numero 5 sulkeutumisaika 40 sulkeutumiskerran kohdalla oli noin 22 sekuntia. Kuvaajista huomataan, että hidastumis- sekä tukkeutumistilanteessa D-vaiheen aikamäärä kasvaa eksponentiaalisesti, mitä enemmän toistokertoja ovi sulkeutuu.

6.1.3 Testaustulosten tarkastelu

Kuvan 6.1 taulukoiden avulla voidaan tarkastella suljinten toimintaa eri jousivoimilla vertaillen pestyillä osilla kokoonpantuja sulkimia tuotannon mukaisiin sulkimiin. Tulokset osoittavat, että pestyjen osien sulkimien toiminta on keskimäärin hieman parempi kuin tuotannon mukaisilla sulkimilla, mutta ei merkittävästi. Kuitenkin testattavista sulkimista suurin osa on toiminnaltaan yhtä hyviä ja erot ovat pienet. Tuotannosta otetuista sulkimista yksikään ei toiminut täysin hyväksyttävästi ensimmäisellä säädöllä kumman-

kaan voiman testissä, kun taas pestyillä osilla kokoonpannuista sulkimista toimivia löytyi.

Parhaiten keskimääräisesti toimivat sulkimet, jotka oli kokoonpantu pestyistä osista, tyhjennetty öljystä käsin ja täytetty uudelleen öljyntäyttökoneessa. Näitä sulkimia ei tutkimuksen aikana ehditty testaamaan kuin kolme, mutta toiminnan ero oli merkittävä muihin testattaviin sulkimiin verrattuna. Kolmas suljin, joka ei ensimmäisellä säädöllä toiminut hyväksyttävästi, hidastui kuitenkin keskimääräisesti muita sulkimia hitaammin, mikä oli poikkeuksellista.

Kuvien 6.2 – 6.4 kuvaajista voidaan nähdä, kuinka suljin käyttäytyy hyväksyttävässä ja ei-hyväksyttävässä toiminnassa. Sulkimen jumiutuessa D-vaiheen aika kasvoi toistojen lisätessä paljon, mitä voidaan tulkita kuvan 6.2 kuvaajien eksponentiaalisesti kasvavalla käyrällä. Tämä jumiutuminen voidaan selittää mittaustuloksissa selvinneen sulkimien öljyn suuren likamäärän, kuvassa 5.4 olevan säätöruuvien likajäämien sekä kuristetun virtauskanavan koon perusteella. Sulkimen virtauskanavan kuristuskohdan testattavilla säätöruuvien säädöillä on Abloylla laskettu olevan DC700DA-mallissa pienimmillään noin 5 – 10 μm . Sulkimen toistaessa oven sulkeutumisluketta, virtauskanavassa kulkevan öljyn seassa olevat epäpuhtaudet kasaantuvat joka toistolla enemmän ja enemmän säätöruuviin kuristamaan kanavaan lopulta tukkien sen. Tästä suurempia epäpuhtaushiukkasia sulkimen öljyssä esiintyy mittaustulosten perusteella erittäin paljon, joten sulkimen jumiutuminen on selitettävissä lian aiheuttamalla tukkeutumisella. Selitystä puoltaa myös teoriatieto. Jumiutumistilanne yleensä purkautui kiertäen hieman säätöruuvia auki, jolloin kasautunut lika hiertyy pois avaten virtauskanavan. Sama ilmiö tapahtui joissain tapauksissa kiertäen ruuvia myös kiinni.

Kuvan 6.3 kuvaajissa esiintyy tilanne, jolloin sulkimen D-vaihe hidastuu, mutta suljin ei jumiudu paikalleen. Tämä on selitettävissä samalla epäpuhtaushiukkasten kasautumisesta aiheutuvalla tukkiutumisella, mutta tässä tilanteessa kuristettu virtauskanava ei tukkeudu kokonaan, vaan öljy pääsee säätöruuvien ohi virtaamaan edes jotenkin.

Kuvassa 6.4 olevissa kuvaajissa havainnollistetaan sulkimen hyväksyttävää toimintaa testeissä. D-vaiheen sulkeutumisaika hidastuu tässä tapauksessa hieman, mikä myös voidaan olettaa johtuvan epäpuhtauksien kasautumisesta, mutta suhteessa kahteen muuhun toimintahäiriöön tämä toiminta on siedettävä. Tukkeutuminen ei aiheuta liiallista hidastumista ja sulkimen D-vaiheen sulkeutumisaika tasautuu. Tämä ilmiö tapahtuu myös tukkeutumistilanteissa tehdyllä säädöllä, jolloin uuden säädön toiminta on hyväksyttävää. Öljyssä kiertävät epäpuhtaudet voivat myös toistojen lisätessä hajota tai kulua sulkimen osien liikkeiden ansiosta pienemmäksi, jolloin ne mahtuvat virtaamaan kuristetun virtauskanavan läpi eikä suljin tukkeudu.

Toiminnan ja puhtaustason yhteys

Luvun 5 mittaustulosten perusteella ovensulkimen osien puhtaus parantuu pesemällä, mikä vaikuttaa myös ovensulkimen öljyn puhtauteen. Ovensulkimien toiminnan testauksessa pestyillä osilla kokoonpannut sulkimet toimivat hieman paremmin kuin tuotannosta otetut sulkimet. Tämä pystytään selittämään mittaustuloksissa osoittautuneella osien pesun aiheuttamalla paremmalla puhtaustasolla. Kuitenkin erot ovat pienet ja toiminta lähes samaa, oli testattava suljin kokoonpantu pestyillä osilla tai tuotannosta otettu. Tämä voidaan selittää taas sillä, että epäpuhtauksia osien pesusta huolimatta esiintyy ovensulkimen öljyssä mittaustulosten perusteella vieläkin paljon, vaikka puhtaustaso on hieman parempi.

Mittaustuloksien mukaan osien pesun tuoma puhtausero huomataan ovensulkimien öljynäytteistä, jotka otettiin sulkimista, joita ei testattu ovesa eli käytetty ollenkaan. Ovensulkimen käytön aiheuttama kuluminen kuitenkin muuttaa öljyn puhtauden samaksi tuotannosta otettujen testattujen sulkimien kanssa, esimerkkinä näytteen 5 (taulukko 5.4) puhtausluokka 24/23/21 ja näytteen 21 (taulukko 5.8) puhtausluokka 24/23/21.

Ovensulkimet siis toimivat sitä paremmin, mitä puhtaampi niiden öljy on ennen käyttöä. Tätä puoltaa myös kolmen viimeisen testattavan, tyhjennetyn ja uudelleen täytetyn sulkimen toiminnan testaus. Kun suljin tyhjennetään käsin, sieltä poistuu öljyn mukana lähes kaikki epäpuhtaudet. Uudelleen täytettäessä sulkimessa on näin ollen valmiina vähemmän epäpuhtauksia ja öljy on lähempänä täyttökoneen öljyn puhtautta. Näissä kolmessa sulkimessa siis öljyn puhtaus oli ennen käyttöä muita testattavia sulkimia puhtaampi. Kyseisellä tavalla täytetyistä sulkimista ei enää tutkimuksen aikana ehditty tekemään puhtaustmittauksia, joten puhtaus voidaan vain olettaa olevan sama eikä tiettyä puhtausluokkaa voida sanoa. Tätä käsin tyhjennyksen ja uudelleen käytön tuomaa puhtauden sekä toiminnan parannusta tukee myös se, että Abloylla sama ilmiö on todettu aiemmin sulkimen toiminnassa eri asioiden yhteydessä.

Ovensulkimen öljynpuhtaudella ja toiminnalla voidaan olettaa olevan yhteys toimintahäiriöihin, mitä myös teoretieto tukee. Mitä puhtaampaa ovensulkimen öljy on, sitä paremmin suljin toimii hyväksyttävästi ja toimintahäiriöt häviävät. Sulkimen toiminta osoittautuu varmemmaksi, kun sen öljyn puhtaus on lähempänä täyttökoneen öljyn puhtautta.

6.2 Öljyntäyttökoneen puhtaus ja suodatuksen tila

Tutkimuksessa selvitettiin myös Cam-ovensuljinten öljyntäyttökoneen nykyisen suodatuksen tila sekä suunnitella tähän mahdollisia kehittämistoimenpiteitä. Öljyntäyttökone on omanlainen hydraulijärjestelmä ja hydraulijärjestelmän öljyn puhtauteen vaikuttaa suodatus sekä sen toteutus. Hydraulijärjestelmän öljyn puhtauden lähtökohtana ovat järjestelmän komponentit, paine ja näiden asettamat vaatimukset. Öljyntäyttökone on

matalapaineinen hydraulijärjestelmä, joka ei aseta itsessään puhtaudelle tiukkoja vaatimuksia. Kuitenkin täyttökoneen öljynkierron avulla täytetään ovensuljin, joka taas asettaa omat vaatimukset öljyn puhtaudelle. Ovensulkimessa olevat välykset ovat pienimmillään jopa 5 µm:n luokkaa, jolloin öljyn puhtaudelta vaaditaan paljon.

6.2.1 Täyttökoneen nykyiset suodattimet

Täyttökoneen öljysäiliön täytössä on karkea 125 µm täyttösuodatin, joka suodattaa tynnyristä täytettävän öljyn. Öljyntäyttökoneen öljynkierrossa eli toiminnassa, jossa suljinta täytetään, on useampi suodatin. Kun sylinteri imee öljyn öljysäiliöstä, ensimmäisenä suodattimena on ennen suljinta oleva suodatin. Tämän suodattimen suodatustarkkuudeksi on ilmoitettu myös 125 µm.

Seuraavan suodattimen sijoituspaikka on ovensulkimen jälkeen. Tämä suodatin on tarkin suodatin koko järjestelmässä ja sen suodatintarkkuudeksi on annettu 10 µm. Suodattimen öljyn läpivirtauskapasiteetti on 100 l/min ja siihen on asennettu lisävarusteeksi tukkeumanosoitin sekä ohivirtausventtiili. Tehtävänä tällä suodattimella on suodattaa ovensulkimen täytöstä ja sen läpivirtaavan öljyn tekemästä huuhtelusta tulevat epäpuhtaushiukkaset. Suodattimen malli on Hydac MFX 100. (Hydac 2012b)

Tämän suodattimen jälkeen öljy virtaa imulla sylinteriin ja sylinteri työntää paluuliikkeellä öljyn takaisin säiliöön. Sylinterin ja säiliön tässä välissä on myös yksi suodatin ennen öljysäiliötä, jonka suodatintarkkuudeksi on annettu 125 µm. Suodattimen tarkoituksena on suodattaa säiliöön palaava öljy suurimmista epäpuhtauksista.

Tutkimuksen aikana toiseen Cam-ovensuljinten täyttökoneeseen asennettiin öljysäiliöön moottorilla toimiva sivuvirtasuodatin. Tämä oli yllätyksenä tutkimuksesta riippumaton toimenpide, joka tehtiin koneen kunnossapito-yhtiön toimesta. Sivuvirtasuodattimen suodatustarkkuudeksi on suodatinvalmistaja antanut 0,5 µm ja suodattimen tarkoituksena on puhdistaa säiliössä olevaa öljyä.

6.2.2 Täyttökoneen ja sen suodattimien toiminta mittaustulosten perusteella

Täyttökoneen tehtävänä on suorittaa ovensulkimelle öljyntäyttö ja täytön yhteydessä huuhdella ovensuljinta epäpuhtauksista. Luvussa 6 esitetytjen puhtausmittausten avulla saadaan selville, kuinka tämän hetkinen suodatus toimii.

Ensimmäisissä öljyn puhtausmittauksissa täyttökoneen öljysäiliöstä otetun öljynäytteen perusteella öljyn puhtauteksi saatiin standardin ISO 4406 mukaan ilmoitetuksi puhtausluokaksi 22/19/14 (taulukko 5.4). Tämä puhtausluokka ei riitä matalapaineisen hydraulijärjestelmän suositelluksi puhtausluokaksi, joten öljy on liian likaista jo täyttökoneen

toiminnan vaatimuksille öljyn puhtauden osalta. Näin likainen öljy voi aiheuttaa vikoja ja häiriöitä itse täyttökoneessa lyhyellä tai pitkällä aikavälillä esimerkiksi lian aiheuttaman kulumisen takia. Öljynpuhtaus on myös huomattavasti huonompi kuin täyttökoneeseen täytettävä tynnyriöljy, joten ovensulkimen täytöstä ja huuhtelusta tulevien epäpuhtauksien voidaan olettaa likaavan säiliössä olevaa öljyä.

Toisissa öljyn puhtausmittauksissa öljynäytteet otettiin taas öljysäiliöstä, mutta myös ovensulkimen täyttökohdasta olevasta suuttimesta. Jälkimmäisen näytteenottoaikan tarkoituksena oli selvittää, likaantuuko öljy matkalla säiliöstä ovensulkimeen. Toisten mittausten tarkoituksena täyttökoneen kohdalla oli myös testata sivuvirtasuodattimen toiminta, joka oli asennettu kahdesta samanlaisesta täyttökoneesta juuri tutkittavaan täyttökoneeseen. Öljysäiliön öljyn puhtaudeksi saatiin toisissa puhtausmittauksissa 20/17/12 ja sulkimen täyttökohdan puhtaudeksi 20/17/11 (taulukko 5.8). Tulokset ovat keskenään lähes samat, joten öljyn kulkiessa säiliöstä sulkimeen ei likaantumista tapahtu. Kuitenkin ensimmäisiin mittauksiin verrattuna puhtaustulos parani huomattavasti ja öljyn puhtaustulos täyttää matalapaineiselle hydraulijärjestelmälle annetun suosituksen. Asennettu sivuvirtasuodatin näin ollen toimii ja vaikuttaa öljyn puhtauteen, vaikka se ei kuitenkaan suodatintarkkuutensa mukaisesti suodata lähellekään kaikkia yli 0,5 µm kokoisia hiukkasia öljystä.

Sivuvirtasuodattimen toiminta voidaan huomata myös vertailemalla pestyillä osilla kokoonpantujen sulkimien öljynäytteiden eroja. Pestyillä osilla kokoonpannut 700DA-mallin sulkimet olivat puhtausluokaltaan ja hiukkasjakaumiltaan (esim. näyte 24) hieman 700-mallin pestyillä osilla kokoonpantuja sulkimia (esim. näyte 15) likaisempia. Tämä voidaan selittää sillä, että 700DA-mallin sulkimet täytetään sillä täyttökoneella, johon sivuvirtasuodatinta ei ollut asennettu, joten täytettävä öljy on likaisempaa.

Tutkimalla tarkemmin mittaustuloksia näytteiden hiukkasjakaumien osalta, esimerkiksi näyteen 27 hiukkasten lukumääriä kokoluokittain taulukosta 5.9 ja differentiaalista hiukkasjakaumaa liitteen 4 graafisesta kaaviosta, voidaan tehdä havaintoja muiden suodatinten toiminnasta. Hiukkasjakaumien perusteella yli 10 µm(c) kokoisia hiukkasia on suhteessa vähemmän tätä pienempiin hiukkaskokoihin verrattuna. Tämä kertoo, että ovensulkimen jälkeinen 10 µm suodatustarkkuudella oleva suodatin toimii ja suodattaa tätä suuremmat hiukkaset.

Öljyssä esiintyvät kaikki mitatut hiukkaset jakaantuvat mittaustulosten perusteella pääsääntöisesti kokoluokkiin 4 – 70 µm(c). Edellä mainittu suodatin poislukien kaikki muut suodattimet öljyntäyttökoneessa ovat suodatustarkkuudeltaan 125 µm. Nämä suodattimet ovat öljyn puhtauden kannalta liian karkeita, eivätkä näin ollen suodata kuin suurimmat hiukkaset, joita esiintyy erittäin pieni osa suhteessa öljyssä esiintyviin muihin hiukkasiin.

Ovensulkimen rakenteen ja epäpuhtauksien vaikutus täyttökoneen öljyn puhtautteen

Ovensulkimeen täytetään öljyntäyttökoneessa kiertävä öljy. Ovensulkimen pienimpien rakojen ollessa jopa 5 µm:n kokoluokkaa, asettaa tämä öljyn puhtaudelle vielä tiukemmat vaatimukset kuin täyttökoneen järjestelmä. Teoriassa 5 µm suurempia hiukkasia ei sulkimessa saisi olla, mikä taas on käytännössä erittäin vaikea toteuttaa.

Mittaustulosten perusteella ovensulkimen osista tulee suurin osa ovensulkimessa olevan öljyn epäpuhtauksista. Ovensulkimista tyhjennettyjen öljyjen näytteet ovat likaisempia kuin täyttökoneen öljynäytteet. Ovensuljinta täytettäessä ja huuhdeltaessa osa näistä ovensulkimessa jo olevista hiukkasista lähtee öljyntäyttökoneen öljynkiertoon ja likaaivat sen puhtautta.

Ovensulkimen huuhtelun toiminta

Mittauksia varten ovensulkimia täytettiin kolme kertaa suoritettulla öljyntäyttöohjelmalla, jonka tarkoituksena oli verrata öljyntäytössä tapahtuvan huuhtelun lisäyksen vaikutusta ovensulkimen öljyn puhtauteen. Näytteiden perusteella kolminkertaisella öljyntäytöllä ei ollut puhtautteen merkittävää vaikutusta. Tämä tarkoittaa sitä, että ovensulkimen öljyntäytössä tapahtuva huuhtelu ja sen lisäys ei puhdistaa ovensuljinta merkittävästi, eli se ei ole tarpeeksi tehokasta. Kuitenkaan huuhtelu ei ole täysin tehotonta, koska öljyntäyttökoneen öljy on likaisempaa kuin siihen täytettävä tynnyriöljy.

Huuhtelun tehottomuuteen voidaan olettaa olevan tiettyjä syitä. Ovensuljin täytetään kahdesta säätöruuvien reiästä, jotka ovat lähekkäin ja samalla puolella sulkimen runkoa. Tämän takia ovensuljin kyllä täyttyy, mutta suuri osa täytön aikana ovensulkimen läpi virtaamasta öljystä virtaa lyhintä tietä säätöruuvien välissä. Näin ollen huuhtelun voidaan olettaa huuhtelevan vain pientä osaa ovensulkimesta. Toinen merkittävä syy on se, että huuhtelu tapahtuu samalla, kun ovensuljinta täytetään, eli huuhteluun käytettävä neste on ovensulkimessa käytettävää öljyä. Tämän öljyn viskositeetti luokka on normaalisti 32, joka on melko suuri epäpuhtaushiukkasten irroitustarkoitukseen, eli se ei huuhtelutarkoituksessa irroita hiukkasia tarpeeksi tehokkaasti. Esimerkiksi komponenttien puhtausmittauksissa hiukkasten irroitukseen käytettävä neste on erittäin pieniviskositeettista.

6.2.3 Täyttökoneen suodatuksen kehitysehdotukset

Suodatuksen kehittämistä varten lähtökohtana on ovensulkimen vaatima öljyn puhtaus. Lisäksi on otettava huomioon nykyinen öljyn puhtaus ja suodatuksen toiminta. Nämä huomioon ottaen öljyntäyttökoneen suodatukseen löytyy useita kehitystarpeita. Yleisesti täyttökoneessa jo olemassa olevat suodattimet sijaitsevat hyvissä paikoissa, mutta ne ovat tehokkuudeltaan heikot.

Ovensuljin vaatii erittäin hyvää öljynpuhtautta välystensä kokoluokkien takia. Tämän hetkinen tarkin suodatin täyttökoneessa suodattaa yli 10 μm :n kokoisia hiukkasia, kun mittaustulosten mukaan täyttökoneen ja ovensulkimen öljyssä esiintyy tätä pienempiä hiukkasia erittäin paljon. Tämä suodatin pitäisi vaihtaa tarkemmaksi, vähintään suodattamaan yli 4 $\mu\text{m(c)}$ kokoisia hiukkasia, joita ovensulkimesta virtaa säiliöön. Suodatussuhteen β_4 arvon pitäisi olla vähintään 75, mutta mielellään 500. Näin ollen ovensulkimesta huuhdeltavat hiukkaset suodattuisivat paremmin pois öljynkierrosta. Tämän suodattimen lianekerukapasiteetin pitäisi myös olla mahdollisimman suuri, sillä ovensulkimesta tulevat hiukkaset ovat ne, jotka likaavat öljyntäyttökoneen öljyn suurimmaksi osaksi.

Tärkeimmät suodattimet ovat ovensuljinta edeltävät suodattimet, joiden tehtävä on suojata epäpuhtauksien pääsy ovensulkimeen täytettävän öljyn seassa. Tällä hetkellä ole-massa oleva suodatin on erittäin karkea, eikä se suojaa ovensuljinta tarpeeksi. Suositeltava suojasuodatin tähän suodattaisi yli 5 $\mu\text{m(c)}$ hiukkaset suodatussuhteella $\beta_5 > 75 - 500$. Tämä suodatin ei voi olla liian tarkka, koska muuten siitä voi aiheutua liikaa painehäviöitä. Suojasuodatinta ennen järjestelmässä olisi näin ollen hyvä olla myös tarkempi työsuodatin, joka ylläpitää järjestelmän puhtautta ja suodattaa öljysäiliöstä lähtevän öljyn epäpuhtaushiukkaset. Tämän suodattimen suodatussuhte olisi suositeltavaa olla $\beta_3 > 75$. Näiden avulla ovensuljinta ennen saataisiin siihen täytettävä öljy mahdollisimman puhtaaksi myös pienimmistä epäpuhtauksista.

Järjestelmässä oleva sylinterin jälkeinen paluusuodatin suodattaa sylinterin työntämän öljyn takaisin öljysäiliöön. Tämäkin suodatin on aivan liian karkea tähän järjestelmään. Suositeltava paluusuodatin korvaamaan nykyinen suodatin pitäisi olla suodatussuhteeltaan $\beta_5 > 75$. Tämä suodatin auttaa suodattamaan sylinteristä lähteviä kulumishiukkasia sekä niitä hiukkasia, joita ovensulkimen jälkeinen suodatin ei onnistu suodattamaan.

Tynnyriöljyn suodattamisessa oleva täyttösuodatin on sekin karkea ajatellen öljyltä vaadittua puhtautta. Tynnyriöljy on kuitenkin puhtaampaa kuin täyttökoneen öljy, joten sen suodatus ei ole tärkein toimenpide. Kuitenkin täyttösuodatin olisi hyvä tulevaisuudessa vaihtaa tarkempaan suodattimeen, esimerkiksi 20–50 $\mu\text{m(c)}$:n suodatustarkkuudella olevaan. Näin tynnyriöljystäkin tulevat epäpuhtaudet saataisiin karsittua ja yksi epäpuhtauslähde poistettua.

Sivuvirtasuodattimen asentaminen olisi ollut yksi kehitystoimenpide, mutta se ehdittiin tutkimuksesta riippumatta jo asentaa toiseen täyttökoneeseen. Öljyn puhtausmittaustulosten perusteella todettiin tämän parantavan öljyn puhtautta, joten myös toiseenkin öljyntäyttökoneeseen tilattiin samanlainen sivuvirtasuodatin asennettavaksi.

Huomioitavaa suodatuksessa

Kaikkien suodattimien on suositeltava olla syväsuodattimia, joissa on erillinen vaihdettava suodatinpatruuna, jotta saataisiin hyvä liankeruukapasiteetti ja suodatustehokkuus. Liankeruukapasiteetin kannalta suodattimien on syytä olla mahdollisimman suuria, jotta suodatuspinta-ala on suuri. Tämä myös vaikuttaa pienempiin virtaushäviöihin ja paineroihin suodattimien yli. Nykyinen ovensulkimen jälkeinen tarkin suodatin on ominaisuuksiltaan hyvä ja tämänkaltaiset suodattimet ovat hyvä esimerkkivaihtoehto muiden suodattimien tilalle, mutta tarkemmilla suodatinpatruunoilla. Tästä Hydacin mallista on saatavissa myös suurempi versio, joka on liankeruukapasiteetiltaan nykyistä parempi vaihtoehto. Suurempi liankeruukapasiteetti vaikuttaa suodatinpatruunoiden vaihtoväliin ja pitkällä tähtäimellä vähentää tästä aiheutuvia kustannuksia.

Ovensulkimia täytettäessä haasteena on ovensulkimien vaaditun öljyntäyttöasteen saavuttaminen. Suodattimien tarkkuuden lisäys on todettu vaikuttavan täyttöasteeseen haittaavasti, joten tämä on jatkossa otettava huomioon parempia suodattimia hankittaessa. Voi siis olla, että parempi vaihtoehto on hankkia uusi öljyntäyttökone ottaen huomioon suodattimien kehitysehdotukset täyttökoneen toimintaa suunniteltaessa.

Suodatinten kehitysehdotukset vaikuttavat suoraan öljyntäyttökoneen öljyn puhtauteen. Öljynpuhtaus saadaan näillä toimenpiteillä paremmaksi ja ovensulkimeen täytettävä öljy on puhtaampaa. Näin ollen ovensulkimen öljyn puhtaus voidaan saada yhdeltä osaluueelta entistä paremmaksi.

6.3 Valmistusprosessin vaikutus puhtauteen

Valmistusprosessille suoritettiin puhtaustutkimus, jossa käytiin läpi ovensulkimen valmistuksen olennaisimmat työvaiheet puhtauden kannalta. Tarkoituksena oli selvittää merkittävimmät epäpuhtauslähteet ja laatia ehdotuksia puhtauden kehittämiseksi. Tulokset esitellään olennaisimpien osien kohdalla käyden läpi olennaisimmat työvaiheet järjestyksessä. Tulosten tukena käytetään luvun 5 mittauksia.

6.3.1 Männän ja nokka-akselin koneistus ja osakokoonpano

Mäntä ja nokka-akseli ovat likaisimpia ovensulkimen komponentteja kuten luvun 5 mittauksissa huomattiin. Tämän takia valmistusprosessissa näiden osien valmistus- ja käsittelyvaiheet ovat olennaisia puhtauden kannalta, jotka käydään läpi seuraavaksi.

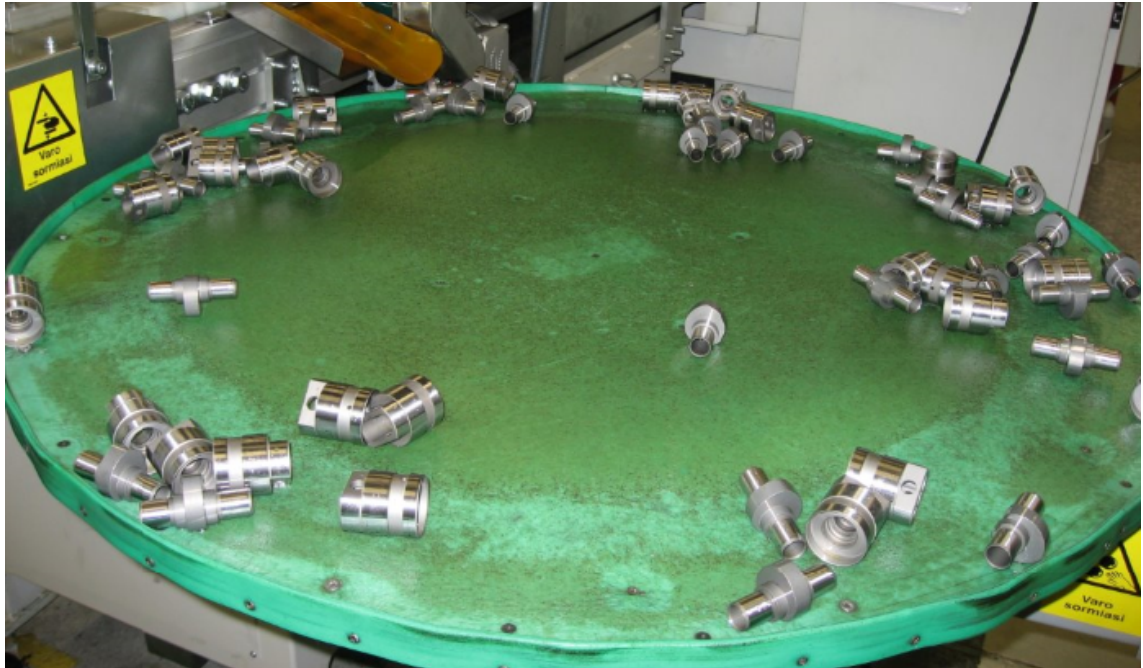
Hionta

Ensimmäinen ja ehkä olennaisin vaihe ovensulkimen valmistusprosessissa puhtauden kannalta on osien koneistus. Ovensulkimen nokka-akseli sekä männät osittain sorvataan itse, mutta alihankitut ja itse sorvatut osat hiotaan kaikki DC700 ja DC700DA –mallien kohdalla. Mittauksien perusteella nähdään, että kokoonpanoon menevät hiottu osat

ovat erittäin likaisia. Hionnasta jää näin ollen epäpuhtauksia männän pintaan. Hionnan jälkeen osille ei suoriteta minkäänlaista pesua, eli ne siirtyvät likaisina prosessissa eteenpäin.

Osien käsittely

Hiotut osat tulevat hiomakoneesta hionnan jälkeen kuvassa 6.5 olevaan kaukaloon. Kaukalo ei ole suojattu ulkopuoliselta lialta, ja sen pinnalle tarttuu myös epäpuhtauksia hiotuista osista. Osat pääsevät näin ollen likaantumaan lisää kaukalossa ollessaan.



Kuva 6.5. Kaukalo, johon hiotut osat tulevat.

Kaukalosta osat poimitaan käsin, käsineillä tai ilman, ja ne pakataan muovilaatikoihin, jotka peitetään kannella. Kansi suojaa osia ilmasta tulevilta epäpuhtauksilta. Työntekijät käyttävät hanskoja tai paljaita käsiä muissakin työtehtävissä, joten kädet tai käsineet eivät ole puhtaat, vaan niissä kulkeutuu mukana epäpuhtauksia. Osien pakkauksessa käsissä tai käsineissä olevat epäpuhtaudet voivat tarttua hiottujen osien pinnalle ja liata näin osia entisestään.

Osakokoonpano

Hionnasta männät siirtyvät osakokoonpanoon ja nokat kokoonpanoon. Osakokoonpanossa mäntiin asennetaan käsin ja puoliautomaattisin konein venttiilipaketti sekä laakeri. Myös laakeripesien kokoonpano suoritetaan osakokoonpanopisteessä. Osakokoonpanossa työntekijät käsittelevät osia käsin hionnan tavoin. Samat käsineet ovat käytössä muissa työtehtävissä ja kulkiessa ympäri tehdästä, joten tässäkin tapauksessa osia käsitellessä niihin voi tarttua lisää epäpuhtauksia. Osat pakataan osakokoonpanon jälkeen

käsin pienempiin muovilaatikoihin ja suojataan kannella, jonka jälkeen ne siirtyvät kokoonpanoon.

6.3.2 Rungon koneistus ja pesu

Runkovalulle suoritetaan koneistus, jonka jälkeen valmis runko pestään pesukoneella. Koneistus on tässäkin tapauksessa merkittävä epäpuhtauslähde. Runko on ainoa osa, joka pestään koneistuksen jälkeen. Pesu tapahtuu suuttimilla, jotka suihkuttavat pesuvettä pyörivään runkoon. Runko on pinta-alaltaan suurin ovensulkimen osa, jonka takia pesu on nähty tarpeelliseksi. Pesun avulla saadaan poistettua koneistuksesta tullutta epäpuhtautta, sillä mittaustulosten perusteella rungossa on pinta-alaa kohden huomattavasti epäpuhtauksia verrattuna mäntään.

Rungon pesu ei kuitenkaan ole täysin kohdistettua ja osa pesuvedestä puhdistaa runkoa myös päältä. Ovensulkimen puhtauden kannalta olennaisinta olisi pestä runko vain sisäpinnoilta. Pesukoneeseen asennettiin tutkimuksen aikana suodatin suodattamaan pesuvettä, joka puhtausmittausten avulla todistettiin ylläpitävän pesuveden puhtautta.

Rungon käsittely ja varastointi

Pesun jälkeen rungot pakataan uusiin kauluslaatikoihin useaan kerrokseen, josta ne siirtyvät kokoonpanoon. Runkoja käsitellään käsin ja käsineitä käytetään myös muissa tehtävissä. Käsineistä voi irrota epäpuhtauksia runkoon, joten ne ovat myös huomioon otettava epäpuhtauslähde. Rungot taas voivat kauluslaatikoon pakkauksen yhteydessä osua toisiinsa irrottaen näin epäpuhtauksia, jotka taas voivat päätyä rungon sisään. Runkojen kerroksia peitetään pahvilevyillä, mutta ylin kerros jää yleensä paljaaksi. Runkoihin voi siis joutua tehtaan ilmasta epäpuhtauksia.

6.3.3 Alihankittujen osien puhtaus

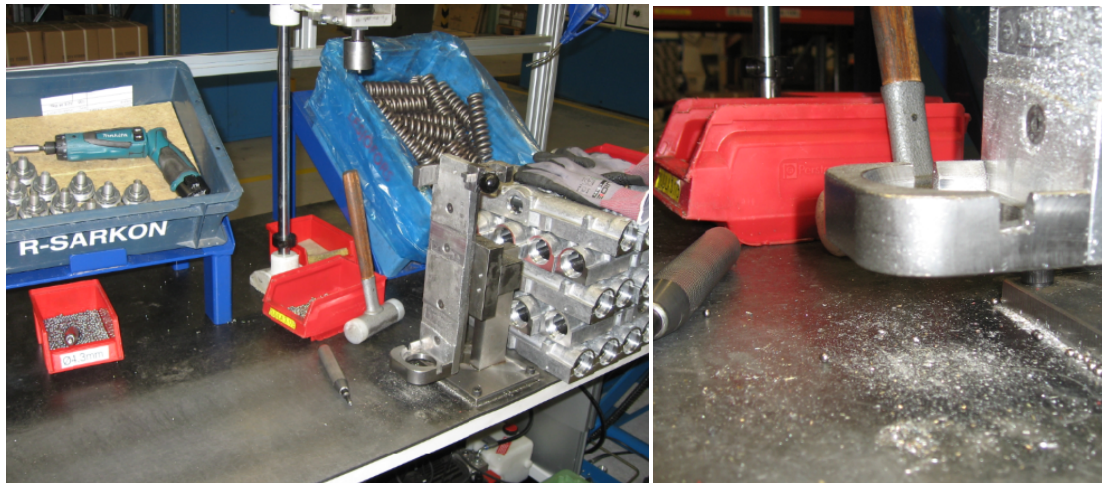
Jouset ja muut osat tulevat alihankkijoilta. Osalle näistä osista tehdään tarvittavat osakokoonpanot, kuten kumitukset, ja osa käytetään sellaisenaan. Mitään näistä osista ei pestä enää Abloyn toimesta. Yksi kriittisimmistä puhtauden kannalta olevista alihankituista osista on iso jousi, jolla on suurempi pinta-ala muihin verrattuna. Alihankkija pesee toimitetut jouset ja toimittaa ne muovilaatikoissa, joissa ovat peitetty muovikalvolla. Jousten puhtaudessa on huomattu silmämääräisesti vaikutusta puhtaudessa, mutta puhtausluokkia ei alihankkija ole antanut eikä niitä ole mitattu. Muut osat toimitetaan omisissa laatikoissa kappale-erittäin.

6.3.4 Kokoonpano

Kokoonpanovaihe on olennainen puhtauden kannalta. Tässä vaiheessa ovensuljin kokoonpannaan osista valmiiksi, eli kaikkia osia käsitellään vielä tavalla tai toisella. Ko-

koonpanon aikana voi ovensulkimeen joutua vielä epäpuhtauksia usealla tavalla, mutta tämän jälkeen se on tiivis ulkopuoliselta lialta.

Kokoonpanopistettä ja sen työvaiheita tutkiessa löytyi useita mahdollisia epäpuhtauslähteitä. Kuvassa 6.6 ovat kuvat ovensulkimen kokoonpanotyöpisteestä, josta voidaan huomata pöydällä silmällä erottuvia metallisia epäpuhtaushiukkasia. Tässä työpisteessä suoritettuja tehtäviä ovat muun muassa ovensulkimen rungon koneistusreikien kuulaus ja voimansäätimen kierto runkoon.



Kuva 6.6. Ovensulkimen kokoonpanotyöpiste.

Kuulaus tapahtuu lyömällä kuula kiinni runkoon. Voimansäädin taas kierretään käyttäen momenttiväännintä. Pöydällä esiintyvät hiukkaset ovat peräisin näistä tapahtumista, eli voimansäätimen kierrossa ja kuulan lyönnissä irroittaa metallipalasia, jotka päätyvät pöydälle. Osa näistä hiukkasista päätyy todennäköisesti ovensulkimen sisään, eli kokoonpanotyövaihe voidaan olettaa epäpuhtauslähteeksi. Ovensulkimeen puristetaan kiinni myös laakeripesä sekä kierretään päätykansi, joista yhtälailla irtoaa samanlaista metallihiukkasta. Mittaustulosten yhteydessä esitetyissä öljynäytteiden membraanikuvisa nähdään olevan isoja, yli 1000 μm :n kokoisia hopeanvärisiä metallihiukkasia, jotka voivat olla peräisin juurikin kokoonpanovaiheesta.

Kokoonpanoon tulleet osat siirretään työpöydälle laatikoissa, joihin ne ovat pakattu tai siirretään pienempiin laatikoihin. Laatikot ovat työpöydällä käden ulottuvissa, mistä osat otetaan kokoonpantavaksi. Kuvassa 6.7 on työpisteessä olevia osien laatikoita ja näiden reunoilla erottuvia epäpuhtaushiukkasia.



Kuva 6.7. Osien laatikot ja silmällä erottuvat epäpuhtaudet.

Kuvasta 6.7 huomataan, että kokoonpantavien osien säilytyslaatikoiden reunalla on silmällä erottuvia metallihiukkasia. Kun osien laatikoiden reunalta tällaisia hiukkasia löytyy, voidaan olettaa niitä löytyvän myös osien joukosta. Kokoonpanotyöpisteessä esiintyy näin ollen ylimääräistä hiukkasta, joka kulkeutuu osien, laatikoiden ja työntekijöiden mukana paikasta toiseen. Kuva 6.8 on otettu eri kohdasta kokoonpanopisteen työpöytä, jossa työpöydällä olevassa kumimatossa nähdään olevan erittäin paljon metallihiukkasia.



Kuva 6.8. Työpöydällä esiintyviä metallihiukkasia.

Kuvien 6.7 ja 6.8 perusteella voidaan olettaa metallihiukkasia irtoavan paljon ovensuljimen kokoonpanovaiheessa. Metallihiukkasia irtoaa kokoonpanon eri työvaiheista ja kulkeutuvat näin ympäri työpistettä. Kokoonpanopisteessä tehdään erään toisen Camovensuljinmallin laakeripisteen kuulaus poraamalla rungon pintaan kuoppa, johon kuula lyödään. Kuva 6.9 on otettu tästä työpisteestä.



Kuva 6.9. Poraus- ja kuulauspiste ja siinä esiintyvät epäpuhtaudet.

Kuvasta 6.9 huomataan, että työpisteessä esiintyy porauksen irrottamaa metallihiukkasta. Tästä työvaiheesta syntyy paljon epäpuhtauksia, mikä on merkittävä lähde kokoonpanopisteen työpöydillä esiintyvistä epäpuhtauksista.

Öljyntäyttö ja säätöruuvien kiinnitys

Valmiiksi kokoonpannut ovensulkimet menevät öljyntäyttöön. Öljyntäyttökoneen toiminnan merkitys on kuvattu tarkasti luvussa 6.2 Ennen öljyntäyttöä ovensulkimista puuttuvat säätöruuvit, koska näitten reikien kautta öljyntäyttö tapahtuu. Auki olevien säätöruuvien reikien kautta ovensulkimeen voi päästä vielä epäpuhtauksia, esimerkiksi öljyntäytön suutinten painautuessa näihin reikiin aiheuttaen kulumista ja hiukkasten irtoutumista. Öljyntäytön jälkeen säätöruuvit laitetaan käsin porakoneella kiinni. Kuvassa 6.10a on säätöruuvien ruuvauspöydällä olevat säätöruuvilaatikot ja kuvassa 6.10 on tyhjän säätöruuvilaatikon pohja ja siinä esiintyvät epäpuhtaudet.



Kuva 6.10. A) säätöruuvilaatikot ja b) tyhjän säätöruuvilaatikon pohjan epäpuhtaudet.

Kuvasta 6.10a nähdään säätöruuvien säilytystapa työpöydällä. Säätöruuvit altistuvat työpöydällä työpisteen epäpuhtauksille ja ruuvien kiinnityksen kautta epäpuhtaudet kulkeutuvat ovensulkimeen. Kuvasta 6.10b nähdään, että tyhjän säätöruuvilaatikon pohjalle on kertynyt öljy- ja epäpuhtausjäämiä, jotka ovat peräisin todennäköisesti säätöruuveista sekä niihin tulevasta ulkopuolisesta liasta. Näin ollen säätöruuvit eivät ole puhtaita ja niistä kulkeutuu epäpuhtauksia öljyn sekaan suoraan virtauskanaviin, joissa on pienimmät välykset ruuvien kuristuksen takia ja ovat kriittisimpiä kohtia epäpuhtauksien osalta. Toisaalta yhden ruuvien tuoma lika ovensulkimeen on suhteessa muuhun likamäärään erittäin pieni.

Osien käsittelyn ja työvaatetuksen merkitys puhtauden kannalta

Kuten huomataan, ovensulkimen kokoonpanopisteessä tapahtuvista eri työvaiheista syntyy paljon epäpuhtauksia, joita esiintyy kaikkialla ympäri työpistettä. Kokoonpanossa työskentely ja osien käsittely sekä siirtely tapahtuvat joko paljain käsin tai käyttäen käsineitä. Näillä työvaatteilla tehdään kaikki työ kokoonpanopisteessä, eikä niitä vaihdeta erikseen työtehtävien kesken. Työvaatteiden, varsinkin käsineiden sekä paljaiden käsien mukana epäpuhtaudet siirtyvät paikasta toiseen. Työntekijä esimerkiksi käyttää kuvan 6.9 porakonetta, jonka jälkeen hän siirtyy eri kokoonpanovaiheen työpöydälle. Käsineiden ja työvaatteiden kautta metallihiukkaset siirtyvät käsiteltäviin osiin, jotka kokoonpannan sulkimeen, minkä seurauksena valmiiseen ovensulkimeen pääsee epäpuhtauksia. Osien käsittely ja työvaatetus voidaan siis olettaa olevan kokoonpanovaiheessa merkittävä epäpuhtauslähde itse kokoonpanotyön lisäksi.

6.3.5 Kehitystoimenpiteet ja -ehdotukset

Kuten mittaustuloksista ja valmistusprosessin vaiheiden tutkimisesta huomataan, epäpuhtauslähteitä on valmistusprosessin aikana useita. Tätä tukee myös luvussa kolme esitetty teoria hydraulijärjestelmän epäpuhtauslähteistä. Mittaustulosten perusteella ovensulkimen epäpuhtaukset tulevat suurimmaksi osaksi ovensulkimen valmistuksesta osien mukana, sillä täytettävän öljyn epäpuhtaudet ovat vain pieni osa valmiista ovensulkimesta tyhjennetyn öljyn epäpuhtauksista. Valmistuksen, poislukien täytettävä öljy ja öljyntäyttö, merkittävimmät epäpuhtauslähteet voidaan olettaa olevan osien koneistus, osien käsittely ja käytettävät työvaatteet sekä kokoonpanotyö ja työpisteen puhtaus.

Osien pesu

Puhtauden kannalta tärkein kehitysaskel on osien pesu koneistuksen jälkeen. Rungon kohdalla pesu tehdään, joka on erittäin tärkeä toimenpide. Rungon pesussa voidaan kuitenkin tehdä vielä parannuksia. Muotonsa takia runko vaatisi nykyisen pesun muuttamista tarkemmaksi suoraan sen sisäpinnoille. Pesukoneen täytyisi olla sellainen, jossa suuttimet menevät jokaisesta reiästä. Näin jokainen rungon reikä, virtauskanava ja sisäpuoli olisivat pesun kohteena, eikä pesu kohdistuisi ollenkaan ulkopinnoille. Tällainen

pesukone on haasteellinen toteuttaa, mutta hankintaa ja toteutusta suunniteltaessa kyseinen pesutapa on oleellinen vaatimus.

Tutkimuksen aikaisessa tuotannossa koneistetuille männälle ja nokka-akselille ei hionnan jälkeen tehty ollenkaan pesua. Ovensulkimen puhtausmittauksia ja testauksia varten ovensulkimia kokoonpantiin pestyistä osista jo olemassa olevalla pesukoneella. Pesukonetta on harkittu käytettäväksi osana tuotantoa ja se soveltuu suurivolyymisten osien pesuun, minkä takia osat päätettiin pestä juuri tällä koneella. Mittaustulosten perusteella pesu paransi puhtautta ja pesukone otettiin testikäyttöön osaksi valmistusprosessia.

Kyseisellä pesutavalla osat puhdistuvat, mutta niihin jää vielä epäpuhtauksia. Tulevaisuudessa uudenlaisen pesukoneen hankinta voi olla tarpeellinen, jolloin täytyy vaatimuksena olla vielä paremmin kohdistettu pesu osien pinnoille, jotta osat puhdistusivat entistä paremmin. Myös osien kuivaus olisi syytä toteuttaa tehokkaasti, jotta suojaaineita ei tarvitsisi käyttää. Tämä on haasteellista, kun vaatimuksena ovat suuret volyymit ja hyvä tuottavuus. Pesukoneen vaatimuksissa täytyy myös huomioida sen kulutukset ja energiatehokkuus taloudellisten ja ympäristöön liittyvien tekijöiden rajoitteiden mukaisesti.

Pesukoneiden pesuaineen suodatus

Pesukoneiden pesutehoon vaikuttaa kohdistetun pesun lisäksi pesuaine. Pesuaine täytyy valita osien materiaalille sopivaksi. Tämä ei kuitenkaan riitä, vaan pesuaine täytyy suodattaa, jotta pesty lika ei kiertäisi pesukoneessa. Rungon pesukoneeseen on asennettu pussisuodatin ja pienempien osien pesukoneessa on olemassa suodatinkangas, jonka läpi pesuvesi valutetaan takaisin kierto. Pesutulos on maksimissaan yhtä puhdasta kuin pesuvesi, joten pesuveden suodatusta parantamalla saadaan puhtaampaa pesuvettä ja paremmat pesutulokset. Toisaalta pesuveden puhtaus täytyy olla vähintään sama, kuin osilta vaadittu puhtaus.

Ovensulkimen välysten ollessa minimissään 5 μm , täytyy osilta vaatia myös tämän mukaista puhtautta. Pesuveden suodatustarkkuuden täytyisi näin ollen olla vähintään 5 μm . Suodatuksessa täytyy myös huomioida lian keruukapasiteetti, jotta taloudelliset vaatimukset otetaan huomioon. Nykyisellään käytetty suodatinkangas ei suodatustarkkuudeltaan tähän riitä. Rungon pesukoneen suodatuksessa käytettävä suodatinpussi on myös lian keruukapasiteetiltaan hyvä, mutta tälläkään ei päästä tarpeeksi hyviin suodatustarkkuuksiin. Rungon puhtauden ollessa suhteessa muihin osiin parempi, ei sen pesuveden suodatuksen tehostaminen ole prioriteetiltaan tärkein toimenpide, mutta kuitenkin hyvä huomioida.

Pesuveden suodatuksen kannalta paras ratkaisu on teoriaan nojaten suunnitella suodatus yhdistelemällä automaattisia suodatinratkaisuja yhdessä perinteisten tarkkojen suodatinpatruunasuodattimien kanssa. Näin saadaan minimoitua suodattimien kulutustavara ja

ylläpidettyä pesuveden kuntoa, jolloin pesuveden vaihtoväli pienenee. Tällä tavoin tarkka suodatus ja taloudellisuus pidemmällä aika välillä toteutuvat.

Osien käsittely ja säilytys

Ovensulkimen osat vaativat erityistä puhtautta siihen asti, kunnes ovensuljin on kokoonpantu. Tämän hetkinen käsittely ja käsittelyyn käytettävä työvaatetus ei kuitenkaan puhtauden kannalta ole hyvä. Osien säilytys ja varastointi kokoonpanoa varten kannella varustetuissa laatikoissa taas on puhtauden kannalta hyvin hoidettu.

Olellaisena muutosehdotuksena osien käsittelyyn on työvälineiden huomioiminen puhtauden kannalta. Tällä hetkellä työvaatteiden mukana kulkeutuu epäpuhtauksia osiin ja sitä kautta valmiiseen ovensulkimeen. Osien pesun jälkeisessä osien käsittelyssä tulisi varsinkin käsineiden olla puhtaat ja niitä tulisi käyttää vain tietyssä tehtävässä. Osakokoonpano- ja kokoonpanopisteet ovat olennaisimmat käytettävien työvälineiden osalta.

Varsinkin kokoonpanopisteessä työvaatteiden käyttöä on puhtauden kannalta syytä kehittää jatkossa, koska työpisteissä esiintyy paljon epäpuhtauksia. Jokainen työvaihe tulisi suorittaa esimerkiksi omilla työhanskoilla ja työpisteiden siivous myös eri hanskoilla sekä vaatteilla. Työpisteiden siivouksen yhteydessä tulisi myös ottaa huomioon osien säilytyslaatikoiden puhdistus varsinkin silmällä erottuvista hiukkasista.

Kokoonpanopisteelle on Abloylla mietitty omaa puhdistilaa, joka olisi puhtaampi kuin normaali tehdasympäristö. Kokoonpanopisteen puhtauden perusteella tämän tilan toteutus olisi suotavaa ja samaan yhteyteen toteuttaa muut työvälineitä koskevat kehitysehdotukset.

Alihankittujen osien puhtauden vaatimukset

Alihankittujen osien puhtauden kehittämiseksi voidaan tehdä myös toimenpiteitä. Koska nykyisten alihankittujen osien puhtautta ei tiedetä ja säätöruuvien kohdalla on huomattu niissä esiintyvää likaa, on suositeltavaa asettaa näille osille tarvittavat puhtausvaatimukset, jotta haluttu puhtaustaso voidaan saavuttaa sekä ylläpitää.

Ison jousen tavoin muiden tuotteiden pesu voidaan sopia teetettävän alihankkijoiden kanssa. Alihankkijoille voidaan antaa myös tehtäväksi selvittää osien nykyinen puhtausluokka tai osien keskimääräinen kokonaishiukkaslukumäärä. Näitä voidaan verrata tämän tutkimuksen mittaustulosten kanssa männän ja rungon tavoin. Osille voidaan myös teetättää itse puhtausmittaukset, jotta saadaan viime käden varmuus puhtaudesta.

Alihankitut osat voi myös tulevaisuudessa olla hyvä pestä itse ennen kokoonpanoa. Tällä tavoin saadaan varmistettua osille tehtävä tarpeellinen pesu. Osat voivat myös liikaan-

tua toimituksen ja kuljetuksen aikana, jolloin itse tehdyllä pesulla saadaan mahdolliset epäpuhtauslähteet minimiin.

Puhtausmittaukset ja -mittalaitteet

Puhtausmittauksia tulisi jatkossa suorittaa säännöllisin väliajoin öljylle, ovensulkimen komponenteille ja myös valmiille ovensulkimelle. Suositeltavaa olisi suorittaa mittauksia esimerkiksi vuoden välein tai aina silloin, kun jonkinlainen puhtauteen vaikuttava muutos tehdään valmistusprosessissa. Näin saadaan selville mahdolliset puhtauteen positiivisesti tai negatiivisesti vaikuttavat muutokset ja seurattua pidemmällä aikavälillä puhtautta.

Jos puhtausmittauksia tehdään harvemmin, mittaukset kannattaa teettää asiantuntevalla taholla ulkopuolisesti. Tällä tavoin mittaukset suoritetaan oikein ja säästytään virheiltä. Myös kustannuksissa säästetään, sillä mittalaitteet ovat hintavia. Jos puhtausmittauksia halutaan tehdä useasti tai seurata jatkuvasti öljyn puhtautta esimerkiksi öljyntäyttökoneen kierrosta, on suositeltavaa investoida mittalaitteeseen. Yleiseen kenttäkäyttöön suositeltava laite on online-mittalaite, jolla pystytään mittaamaan öljyn puhtautta sekä öljyntäyttökoneen kierrosta että öljynäytteistä. Komponenttien puhtausmittaukset on suositeltavaa teettää aina ulkopuolisesti. Liitteestä 5 löytyy eri mittalaitteiden hintatietoja.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteina oli selvittää ovensulkimen öljyn nykyinen puhtaustaso, öljyn puhtaustason vaikutus ovensulkimen toimintaan, ovensulkimen toiminnan vaatima puhtaustaso, öljyssä esiintyvien epäpuhtauksien lähteet sekä kuinka öljyn ja ovensulkimen puhtautta saadaan paremmaksi. Lisäksi täytyi selvittää, millä menetelmillä ja laitteilla puhtautta voidaan mitata osana valmistusprosessia. Ovensulkimen öljyn puhtauteen vaikuttaa koko valmistusprosessi, jonka takia tutkimuksessa tutkittiin ja kehitettiin koko valmistusprosessin puhtautta koskien ovensulkimen lopullista puhtautta, joka ilmenee siinä olevan öljyn kautta. Puhtauden tutkinta rajoittui Cam-ovensuljinmalleihin DC700 ja DC700DA ja toiminnan testaus DC700DA-malliin. Tähän viimeiseen päälukuun on koottu tutkimuksen antamat vastaukset ja tulokset tavoitteiden kysymyksiin ja antaa ehdotuksia jatkotoimenpiteisiin.

Öljyn puhtaustaso

Tutkimuksessa öljyn puhtautta mitattiin laboratoriokäyttöön soveltuvalla hiukkaslaskurilla pullonäytteistä, joihin mitattavat öljynäytteet otettiin. Mittaustulosten perusteella ovensulkimen öljy on erittäin likaista. Ovensulkimet ovat puhtaimmillaan niille suoritettun öljyntäytön jälkeen, jolloin öljynäytteet ovat vertailukelpoisia. Kun ovensuljin on käytössä, se likaantuu osien liikkeen ja öljyssä esiintyvien epäpuhtauksien takia vielä enemmän. Käytössä olleen ovensulkimen öljy likaantuu niin paljon, että mittausten perusteella puhtauden eroja ei voida enää vertailla. Näin ollen ovensulkimen öljyn puhtaustason eroja on vertailtu öljynäytteiden avulla, jotka on otettu tyhjentämällä öljy käyttämättömästä ovensulkimesta.

Puhtautta tutkittiin tuotannosta otetuilla sulkimilla, tuotannosta poiketen pestyillä osilla kasatuilla sulkimilla sekä sulkimilla, joille suoritettiin kolminkertainen öljyntäyttö- ja huuhtelu ohjelma. Tehostetulla öljyntäytöllä ja huuhtelulla ei puhtaustulosten perusteella ollut merkittävää vaikutusta puhtauteen, mutta osien pesulla oli. Mittaustuloksissa oli puhtauden osalta pientä hajontaa, mutta tuotannon mukaiselle ja pestyillä osille kokoonpanuille sulkimille voidaan esittää taulukon 7.1 mukaiset puhtaustuokat.

Taulukko 7.1. Ovensulkimen öljyn puhtausluokat.

Suljin	Standardin ISO 4406:1999 mukaiset puhtausluokat sulkimien öljynäytteille
Tuotannosta otettu suljin	24/23/21
Pestyillä osilla kokoonpantu suljin	23/21/17

Taulukon 7.1 puhtausluokat ovat tuotannon sulkimille likaisin mitattu luokka ja pestyillä osilla kokoonpannulle sulkimelle puhtain mitattu luokka. Ovensulkimen öljyn puhtautta saatiin näin ollen paremmaksi pesemällä ovensulkimen osia. Öljy on kuitenkin edelleen likaista, eikä täytä esimerkiksi matalapaineisen hydraulijärjestelmälle annettuja suosituksia.

Ovensulkimeen täytettävän öljyn puhtaus mitattiin myös täyttökoneesta otetuilla öljynäytteillä. Täyttökoneeseen asennettiin tutkimuksen aikana sivuvirtasuodatin, joka paransi öljyn puhtautta. Ovensulkimeen täytettävän öljyn puhtausluokat ennen ja jälkeen suodattimen asennuksen on taulukossa 7.2.

Taulukko 7.2. Täyttökoneen öljyn puhtausluokat.

Täyttökone	Standardin ISO 4406:1999 mukaiset puhtausluokat öljynäytteille
Täyttökoneen öljy ilman sivuvirtasuodatinta	22/19/14
Täyttökoneen öljy sivuvirtasuodattimella	20/17/12

Täyttökoneen öljy ennen sivuvirtasuodatinta ei täyttänyt matalapaineiselle hydraulijärjestelmälle annettua suositusta. Sivuvirtasuodatuksella öljy taas on puhtaampaa kuin annettu suositus, ja tämä puhtausluokka on tämän hetkinen täytettävän öljyn taso.

Osien puhtaus

Ovensulkimien osien pesulla saatiin parannettua ovensulkimen öljyn puhtausluokkaa. Pestyistä osista mäntäkomponentille suoritettiin puhtausmittaukset, mitkä osoittivat pesun toimivan ja antoivat tuloksen osien puhtaudesta ennen ja jälkeen pesun. Puhtaus parani merkittävästi, mutta pestyihin osiin jäi edelleen epäpuhtauksia. Puhtaustuloksien perusteella pestyn männän puhtaudelle laskettiin standardin ISO 16232 mukaisesti komponentin puhtauskoodi CCC, joka oli 1000 cm² märkäpinta-alaa kohti B22/C19/D17/E13/F11. Hydraulikomponenttivalmistaja antaa heidän valmistamilleen hydraulikomponenteille 1000 cm² märkäpinta-alaa kohti suositelluksi puhtauskoodiksi D8/G7/H5/I4 (Rinkinen 2010), joten männät ovat huomattavasti suositeltua likaisempia. Myös rungot todettiin olevan tätä vertailuarvoa likaisempia. Johtopäätöksenä pestyjen osien tavoiteltavaksi puhtaudeksi voidaan määrätä Hydacin ilmoittama vertailutaso.

Puhtauden vaikutus ovensulkimen toimintaan

Ovensulkimien toiminnan testauksessa ei löydetty tiettyä puhtausluokkaa, jolla ovensuljin toimii täysin hyväksyttävästi. Toiminnan testaus kuitenkin osoitti, että pestyillä osilla kokoonpannut sulkimet toimivat tuotannon sulkimia keskimääräistä hieman paremmin testattujen yksilöiden osalta. Parhaiten toimivat sulkimet, jotka tyhjennettiin käsin öljystä ja täytettiin uudelleen täyttökoneella. Tämän takia valmiin ovensulkimen öljyn täytyisi olla mahdollisimman lähellä täytettävän öljyn puhtautta. Johtopäätöksenä tavoiteltavalle valmiin ovensulkimen öljyn puhtausluokalle voidaan asettaa näin ollen täyttökoneen öljyn puhtausluokka, eli 20/17/12 standardin ISO 4406:1999 mukaan.

Toiminnan testauksessa ja tutkimuksessa selvisi, että ovensulkimessa olevat epäpuhtaudet tukkivat säätöruuvilla kuristettua virtauskanavaa, jolloin ovensulkimen toiminta hidastuu tai suljin jumiutuu paikalleen. Kuristettu virtauskanava on pienimmillään noin 5 mikronia ja 100 ml:ssa valmiin ovensulkimen öljyä yli 5 mikronin hiukkasia esiintyy jopa 7 000 000 kappaletta jo ennen ovensulkimen käyttöä. Mitattu arvo on todellisuudessa vielä suurempi mittauksessa olevan koinssidenssivirheen takia. Johtopäätöksenä tästä kaikki yli 5 mikronin kokoiset epäpuhtaushiukkaset täytyisi saada pois ovensulkimesta, mikä on käytännössä miltei mahdotonta.

Ovensulkimen toiminnan testaus on diplomityön laajuudella liian suppea. Parempiin ja selkeämpiin tuloksiin tarvittaisiin testata isompi otos sulkimia, esimerkiksi 100 tuotannon suljinta ja 100 pestyillä osilla testattua suljinta.

Epäpuhtauslähteet ja puhtauden kehittäminen

Tutkimuksen perusteella epäpuhtauksia tulee koko valmistusprosessin ajalta valmiiseen ovensulkimeen. Merkittävimmät epäpuhtauslähteet ovat osien koneistus, osien käsittely nykyisillä työvälineillä ja ovensulkimen kokoonpanotyö, joiden osalta epäpuhtauksien synty ja pääsy ovensulkimeen täytyy saada minimiin. Tämä voidaan toteuttaa eri toimenpiteillä.

Merkittävin toimenpide koneistetuille osille on niiden pesu. Ovensulkimen rungolle pesu tehdään, mutta muille osille sitä ei tehdä. Tutkimuksessa testattiin epäpuhtauksiltaan merkittävimpien osien pesua, joka vaikutti todistettusti puhtauteen. Tämän perusteella osien pesu on otettu testikäyttöön osana valmistusprosessia.

Jatkossa puhtauden kehittämisessä on suositeltavaa suorittaa osien pesu kaikille ovensulkimen osille jossain vaiheessa valmistusprosessia, mieluiten juuri ennen kokoonpanoa. Olemassa olevien pesumenetelmien tehoa voidaan kehittää muun muassa pesukoneiden tehokkaammalla suodatuksella sekä ohjaamalla pesu paremmin osien puhdistusta vaativille pinnoille.

Osat voidaan myös liata ennen kokoonpanoa ja sen aikana esimerkiksi pesun jälkeen niiden väärällä käsittelyllä. Puhtaudeltaan herkimpien osien käsittely tulisi jatkossa tapahtua aina puhtailla työvälineillä ja -vaatteilla työtehtäväkohtaisesti. Alue tai solu, jossa osilta vaaditaan puhtautta, tulisi olla eristettynä kaikelta ulkoiselta epäpuhtaudelta sekä muuten puhdas. Näillä toimenpiteillä osien likaantumisen saadaan vähentymään.

Viimeinen vaihe, jossa ovensulkimen puhtauteen voidaan vielä vaikuttaa, on itse öljyntäyttö. Öljyntäyttökone täyttää ja huuhtelee ovensuljinta, joten tässä vaiheessa ovensulkimeen voi päästä vielä epäpuhtauksia, mutta niitä voidaan myös poistaa. Täytettävän öljyn täytyy olla mahdollisimman puhdasta, joka voidaan totetuttaa tehokkaalla suodatuksella. Tämä on todistettu jo sivuvirtasuodattimen asennuksen tuomalla hyödyllä. Tulosten yhteydessä on annettu tarvittavat ehdotukset suodatuksen parantamiseen. Öljyntäytön yhteydessä tapahtuvaan huuhteluun on syytä jatkossa tehdä kehitystoimenpiteitä, sillä se mahdollistaa viimeistään epäpuhtauksien poiston ovensulkimesta. Nykyisellään huuhtelu ei ole tarpeeksi tehokasta, koska se ei huuhtelee ovensuljinta kunnolla. Huuhtelu voidaan miettiä toteutettavan erillisellä laitteella ennen öljyntäyttöä, jossa suljin huuhdellaan esimerkiksi puhdistetulla pieniviskositeettisellä öljyllä.

Hydraulijärjestelmien valmistusprosessista yleisesti

Valmistettaessa hydraulijärjestelmiä ja niiden komponentteja on prosessin puhtauden kannalta yleisesti ottaen tärkeä nostaa esille muutama tärkeä asia. Komponenteille on oleellista määrittää niiden toiminnalle vaadittu hydraulijärjestelmän puhtaustaso sekä varmistaa, että valmistetut komponentit ovat valmistuessaan tarpeeksi puhtaita eli täytävät niille määritetyn vähimmäispuhtaustason standardien mukaisesti ilmoitettuna. Komponenttien valmistumisen jälkeen niille on näin ollen ehdotonta suorittaa tarvittava pesuvaihe.

Tarkkaa puhtautta vaativien komponenttien käsittely ja varastointi täytyy myös tehdä asianmukaisilla varusteilla ja välttää komponenttien altistumista epäpuhtauksille. Varsinkin hydraulijärjestelmien kokoonpanossa puhtauteen on syytä kiinnittää huomiota. Kokoonpano olisikin syytä suorittaa vaaditun puhtaustason puitteissa mahdollisimman puhtaassa tilassa erikseen tähän vaiheeseen tarkoitetuilla varusteilla ja laitteilla. Kokoonpanon ollessa viimeinen vaihe, jossa epäpuhtauksia voi joutua järjestelmään, täytyy siitä näin ollen minimoida kaikki mahdolliset epäpuhtauksia järjestelmälle altistavat tekijät. Jos epäpuhtauksia valmiiseen järjestelmään jää enemmän kuin on tarkoitus, täytyy kokoonpanon jälkeen suorittaa vielä vaihe, jossa järjestelmästä saadaan esimerkiksi huuhtelun ja suodatuksen avulla poistettua liiat epäpuhtaudet. Haluttu puhtaustaso ja sen ylläpidon seuranta saadaan selville sopivin aikavälein tehdyillä puhtausmittauksilla, joita voidaan tehdä valmiille järjestelmälle, sen komponenteille sekä hydraulinesteelle.

7.1 Muita jatkotoimenpiteitä ja pohdintaa

Puhtauden kehittämisen jatkotoimenpiteet on syytä aloittaa osien pesun toteutuksella. Tämän jälkeen voidaan aloittaa muita toimenpiteitä. Varsinkin öljyntäyttökoneen suodattusta on syytä tehostaa, koska ovensuljin vaatii puhtaudelta paljon. Jatkossa puhtautta on syytä seurata säännöllisin väliajoin sekä jokaisen muutoksen jälkeen puhtausmittauksilla. Suositeltavaa on suorittaa jatkossa olevat mittaukset samalla lailla, kuin tässä tutkimuksessa.

Jatkotutkimusta varten sulkimia on syytä testata lisää, jotta toiminnasta vielä saadaan tarkempaa tietoa. Esimerkikkinä tehdä 100 kappaleen erä, joka täytetään öljyllä normaalisti, mutta tyhjennetään käsin ja täytetään uudelleen. Tämän jälkeen sulkimet testataan tämän tutkimuksen testimenetelmällä ja verrataan tämän tutkimuksen tuloksiin. Näin saadaan todennäköisesti lisää varmuutta tämän tutkimuksen tuloksille. Jatkossa olisi myös syytä valmistaa tuotannosta poikkeavalla valmistustavalla täysin puhtaita ovensulkimia mahdollisimman puhtaalla öljyllä ja testata toimintaa näillä. Tämä ei ole helppoa, mutta voi antaa tarkentavaa tietoa epäpuhtauksien vaikutuksesta.

Aivan 100 % varmuudella ei voida vielä tällä tutkimuksella sanoa, ovatko epäpuhtaudet pelkästään syynä ovensulkimen toimintahäiriöille. Niitä kuitenkin esiintyy öljyssä liikaa suhteessa öljyn tilavuuteen ja sulkimen välyksiin, joten myös teoritietoon nojaten epäpuhtauksista aiheutuu varmasti haittaa ovensulkimen toiminnan kannalta. Jos epäpuhtauksia olisi erittäin vähän, muut mahdolliset syyt olisivat merkittävämpiä.

Sulkimen välykset ovat kuitenkin pienet ja suuren paineen sekä virtauksen takia osat voivat liikkua sulkimen käytön aikana, esimerkiksi säätöruuvi voi painautua kiinni tukkien virtauskanavan reikää entisestään. Myös säätöruuvien ja ovensulkimen rungon koneistuksen mittojen toleranssivaihtelut voivat aiheuttaa ongelmia näin pienten välysten tapauksessa. Näin ollen on syytä myös miettiä, voiko pelkällä puhtauden parantamisella korjata kaikkia toimintahäiriöitä, vai tarvitaanko jatkossa muuttaa myös ovensulkimen rakennetta. Rakenteen muutokset voivat esimerkiksi olla välysten koon suurentamista, jolloin varsinkin pienimpien epäpuhtaushiukkasten aiheuttamat tukkeumat virtauskanavissa voidaan minimoida ja öljy saadaan virtaamaan ovensulkimessa vapaammin.

Teoritietoon ja tutkimuksen tuloksiin nojaten ovensulkimen liialliset epäpuhtaudet eivät ole hydrauliselle järjestelmälle hyväksi. Vaikka testauksessa esiintyviä toimintahäiriöitä ei tutkimuksessa esitetyillä ja tehdyillä toimenpiteillä täysin saada poistettua, niin sillä voidaan estää ovensulkimen pidemmän käytön jälkeen esiintyviä toiminnallisia ongelmia.

Ovensulkimen valmistusprosessin ja lopullisen puhtauden kehittäminen vaatii usean eri osa-alueen tutkimista ja tarkastelua. Diplomityössä on tietyt laajuusrajoitteet eikä jokai-

seen osa-alueeseen voida perehtyä tarpeeksi syvästi. Jatkossa tämän tutkimuksen osa-alueisiin on syytä syventyä ehdotettujen menetelmien osalta ja myös mahdollisesti tehdä jokaisen kohdalla tarkentavat tutkimukset tarpeen vaatiessa.

LÄHTEET

3M. 2014. Industrial parts washing [verkkosivu]. [viitattu 20.10.2014]. Saatavissa: http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_EU/3M_Purification/FiltrationSolutions/Applications/IndustrialPartsWashing/

Abloy Oy. 2014. Yritys [verkkosivu]. [viitattu 24.10.2014]. Saatavissa: <http://www.abloy.fi/fi/abloy/abloyfi/Yritys/>

Abloy Oy intranet. 2014. Abloyn sisäinen tietoverkko.

Bench, L. How the New ISO Particle Count Standard Will Affect You. Practicing Oil Analysis. Magazine 3(2000).

Carl Zeiss MicroImaging GmbH. Axio Imager 2, A New Dimension in Performance [verkkosivu]. 26 p. [viitattu 19.10.2014]. Saatavissa: http://www.hitechinstruments.com/PDF/Upright/MAT/AxioImager2_Mat.pdf

Dickenson, C. 1997. Filters and Filtration Handbook. Fourth edition. Elsevier, Oxford, UK. 1079 p.

Elo, L., Kuosku, M., Rinkinen, J. 2013. Täältä pesee – Hydraulikomponenttien pesukoneet ja nesteet kuntoon. Promaint vol. 27(2013) num. 5. ss. 42 – 45.

Elo, L. 2014a. Mittausraportti öljynpuhtausmittaukset, Abloy Oy. 4/2014. 22 s.

Elo, L. 2014b. Mittausraportti öljynpuhtausmittaukset, Abloy Oy. 7/2014. 20 s.

Elo, L., Pekkonen, J., Rinkinen, J. 2012. Kokemuksia inline- ja online-mittauksista – ISO/SAE –standardit. KompuNW-verkostoseminaari. Tampereen teknillinen yliopisto. 13 s.

Fonselius, J., Rinkinen, J., Vilenius, M. 2008. Koneautomaatio: Hydrauliiikka II. 3. p. Tampereen yliopistopaino oy – Juvenes Print. 226 s.

Hodges, P. Hydraulic fluids. 1996. Butterworth & Heinemann. 167 s.

Hydac. 2012a. AutoFilt® RF3. Automatic Back-Flushing Filter for Process Technology. Brochure No. E 7.709.3/06.12. [verkkosivu]. [viitattu 8.11.2014]. Saatavissa: <http://www.hydac.com.au/MessageForceWebsite/Sites/279/Files/E.7.709.3.06.12.pdf>

Hydac. 2011. Autofilt® TwistFlow Strainer ATF for Process Technology. Brochure No. E 7.726.2/10.11. [verkkosivu]. [viitattu 8.11.2014]. Saatavissa: <http://www.hydac.com/de-en/products/filtration-and-fluid-conditioning/process-filter/show/Download/index.html>

Hydac. 2012b. MFX Inline Filter. Brochure No. E 7.123.0/03.12. [verkkosivu]. [viitattu 8.11.2014]. Saatavissa: <http://www.hydac.com/de-en/products/filtration-and-fluid-conditioning/hydraulic-and-lubrication-filter/filter-assemblies/inline-filters/mfx/show/Download/index.html>

Hydac International. 2011. Components, Systems and Fluid Engineering for Industrial Part Washers. Brochure no. E 10.131.1/10.11. 8 p. [verkkosivu]. [viitattu 8.11.2014]. Saatavissa: <http://www.hydac.com/uk-en/industries-systems/industries/automotive-industry/part-cleaning-systems/content/downloads.html>

Hydac USA. ISO Target Cleanliness Guidelines. [verkkosivu]. [viitattu 9.3.2015]. Saatavissa: http://www.hydacusa.com/literature/fluid_service/guidelines.pdf

ISO 4406:1999. Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles. 2nd ed. Geneva 1999, International Organization for Standardization. 7 p.

Kauranne, H., Kajaste, J., Vilenius, M. Hydrauliteknikka. 1. p. 2008. WSOY. 487 s.

Köhler, C., 2011. Technical cleanliness – from a clean component to a technically clean system. Proceedings of the Eighth International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies, 20-22 June 2011, Cardiff, UK. 7 p.

König-Pirk, J. 2011. Filter testing: Particle counters for hydraulic and lubricating oils. Filtration+Separation. May/June, pp. 33 – 36.

Luomala, V. 2013. Hydac oy:n automaattisuodatinratkaisut teollisuuspesukoneisiin. Promaint. Vol. 27, num. 5, pp. 44 – 45.

Multanen, P., Niiranen, E., Elo, L., Rinkinen, J.. Automaattinen öljyn epäpuhtauksien mittaaminen ja keskeiset standardit. In: Rinkinen, J.; Multanen, P.; Elo, L.; Niiranen, E. (toim.). PAMAS 2014 käyttäjäpäivä 4.2.2014, Nestejärjestelmien hiukkaslaskentakoulutus, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, Finland 2014. pp. 43 – 72.

Niiranen, E. Hiukkaslaskenta öljynäytteiden kunnonvalvonnassa. *Kunnossapito* 4(2007). pp. 52 – 57.

Nousiainen, T. 2013. Coll-Company oy:n ratkaisut teollisuuspesukoneiden suodatukseen. *Promaint*. Vol. 27, num. 5, pp. 43.

Parker. The Handbook of Hydraulic Filtration. Catalog HTM-4. Parker Hannifin Corporation, Hydraulic Filter Division. [verkkosivu]. 40 p. [viitattu 1.11.2014]. Saatavissa: <http://www.parker.com/literature/Hydraulic%20Filter/Hydraulic%20Filter%20-%20Images/HTM-4.pdf>

Parker Hannifin, 2010. Hydraulic fluids: Controlling contamination in hydraulic fluids. *Filtration & Separation*. Volume 47, Issue 3, pp. 28 – 30.

Peuchot, C., Petillon, N., Lynch, J. 2008. Filter efficiency and liquids: The advantages of cartridge filters. *Filtration & Separation*. Volume 45, Supplement 2, pp. 11 – 13.

PSK 6705. 2006. Teollisuushydraulijärjestelmän suunnittelu ja hankinta. Järjestelmän komponentit. PSK Standardointiyhdistys ry. 16 s.

PSK 6707. 2006. Teollisuushydraulijärjestelmän suunnittelu ja hankinta. Järjestelmän kunnossapidettävyys. PSK Standardointiyhdistys ry. 18 s.

Pugh, J. 1982. Modern hydraulic systems demand better filtration. *Machine design*. Vol 54, no. 19, pp. 102 – 106.

Rinkinen, J., Kiiso, T. 1993. Using Portable Particle Counter in Oil System Contamination Control. The 3rd Scandinavian International Conference on Fluid Power, Linköping, Sweden, May 23- 26 1993. Vol. 1. Linköping 1993. s. 309 – 328.

Rinkinen, J. 2010. Hydrauliiikan komponenttipuhtausstandardien hyödyntäminen suomalaisessa konepajateollisuudessa. *Fluid Finland*. Vol. 1/2010. 18 – 23 pp.

Rinkinen, J., Elo, L. 2013. Komponenttipuhtaus hydrauliteknikassa – mittaustuloksia ja –mahdollisuuksia. IHA-päivä, 14.11.2013. Tampere 2013, TTY / IHA. 27 s.

SFS-EN 1154. Building hardware. Controlled door closing devices. Requirements and test methods. Suomen standardoimisliitto. 26 s.

SFS-EN 1158. Building hardware. Door coordinator devices. Requirements and test methods. Suomen standardoimisliitto. 21 s.

SFS 5136. 1985. Hydrauliteknikka. Hiukkasepäpuhtausanalyysi. Nestenäytteidien otto toiminnassa olevan järjestelmän putkistoista. Suomen standardoimisliitto. 3 s.

Sutherland, K. Filters and Filtration Handbook. Section 5 – Oils and Hydraulic Systems. 2008. 295-367 pp.

Vesala, M. 2014a. Etumäntien (pesemättömät) puhtausanalyysi. Fluidlab Oy. 2 s. Vain Abloyn käyttöön.

Vesala, M. 2014b. Etumäntien (pestyt) puhtausanalyysi. Fluidlab Oy. 2 s. Vain Abloyn käyttöön.

Welker, R. 2012. Developments in Surface Contamination and Cleaning: Detection, Characterization, and Analysis of Contaminants. Volume four, Detection, Characterization, and Analysis of Contaminants. Chapter 1 – Basics and Sampling of Particles for Size Analysis and Identification. Elsevier, Oxford, UK. 80 p.

Womack machine supply co. Hydac MFX Series Low Pressure Filter [verkkosivu]. 1 p. [viitattu 11.4.2014]. Saatavissa: <http://www.womackmachine.com/products/hydraulics/filters-and-breathers/low-pressure-filters/hydac-low-pressure-filters/hydac-mfx-series-filter.aspx>

LIITTEET

Liite 1: Taulukko standardin ISO 4406 puhtausluokkien tulkitsemiseen

Hiukkasmäärä / ml		Hiukkasmäärä / 100 ml		ISO-luokka
>	≤	>	≤	
2 500 000		250 000 000		>28
1 300 000	2 500 000	130 000 000	250 000 000	28
640 000	1 300 000	64 000 000	130 000 000	27
320 000	640 000	32 000 000	64 000 000	26
160 000	320 000	16 000 000	32 000 000	25
80 000	160 000	8 000 000	16 000 000	24
40 000	80 000	4 000 000	8 000 000	23
20 000	40 000	2 000 000	4 000 000	22
10 000	20 000	1 000 000	2 000 000	21
5 000	10 000	500 000	1 000 000	20
2 500	5 000	250 000	500 000	19
1 300	2 500	130 000	250 000	18
640	1 300	64 000	130 000	17
320	640	32 000	64 000	16
160	320	16 000	32 000	15
80	160	8 000	16 000	14
40	80	4 000	8 000	13
20	40	2 000	4 000	12
10	20	1 000	2 000	11
5	10	500	1 000	10
2,5	5	250	500	9
1,3	2,5	130	250	8
0,64	1,3	64	130	7
0,32	0,64	32	64	6
0,16	0,32	16	32	5
0,08	0,16	8	16	4
0,04	0,08	4	8	3
0,02	0,04	2	4	2
0,01	0,02	1	2	1
0	0,01	0	1	0

**Liite 2: Taulukot komponentin puhtauskoodin selvittämi-
seen standardisarjan 16232 mukaisesti**

Hiukkasten lukumäärä		Puhtaustaso
per 100 cm ³ tai		
per 1000 cm ²		
Enemmän kuin	Enintään	
0	0	00
0	1	0
1	2	1
2	4	2
4	8	3
8	16	4
16	32	5
32	64	6
64	130	7
130	250	8
250	500	9
500	1000	10
1000	2000	11
2000	4000	12
4000	8000	13
8000	16000	14
16000	32000	15
32000	64000	16
64000	130000	17
130000	250000	18
250000	500000	19
500000	1000000	20
1000000	2000000	21
2000000	4000000	22
4000000	8000000	23
8000000	16000000	24

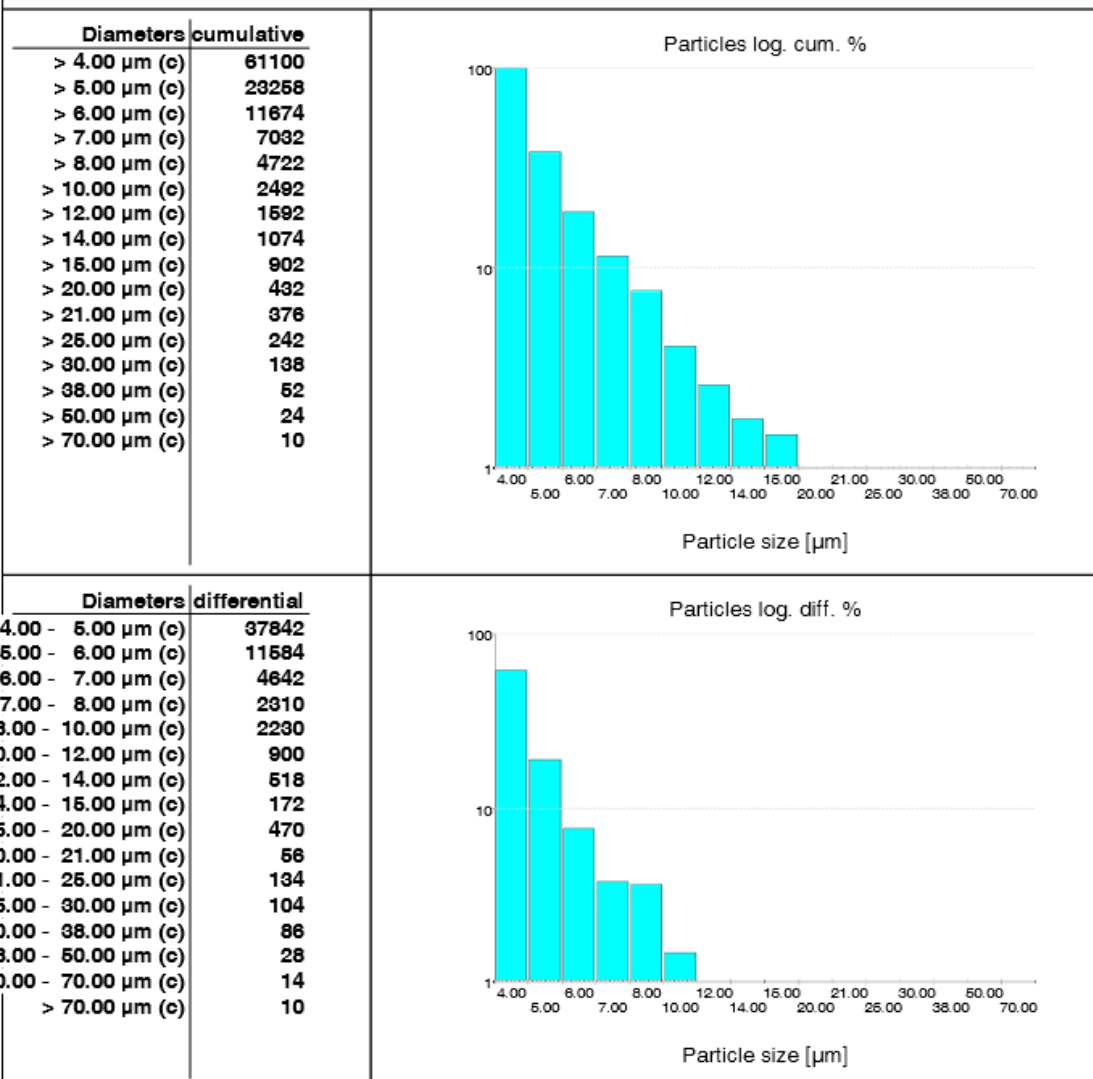
Kokoluokka	Koko (µm)	
	≤	>
B	5	15
C	15	25
D	25	50
E	50	100
F	100	150
G	150	200
H	200	400
I	400	600
J	600	100
K	1000	

Liite 3: Öljynäytteiden hiukkasjakaumat ja graafiset esitykset I

Näytteen 1 hiukkasjakaumat ja niiden graafinen esitys. (Elo 2014a)

Measured volume : 10.0 ml
 Analysed Volume : 100 ml
 Dilution Factor : -

ISO 4406 : 16/14/11
 SAE AS 4059 : 7A (7,6,5,6,5,6)

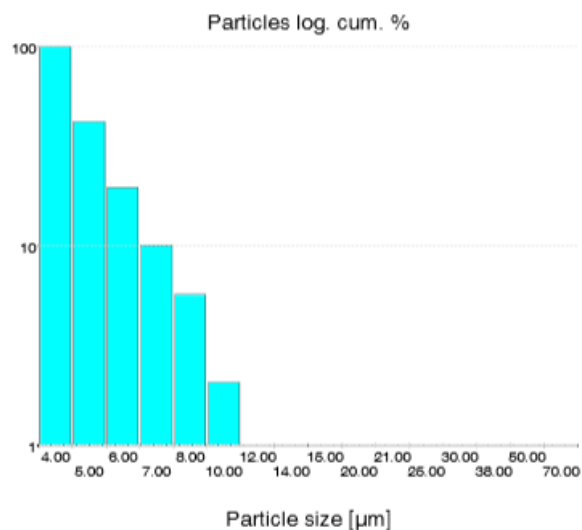


Näytteen 3 hiukkasjakaumat ja niiden graafinen esitys. (Elo 2014a)

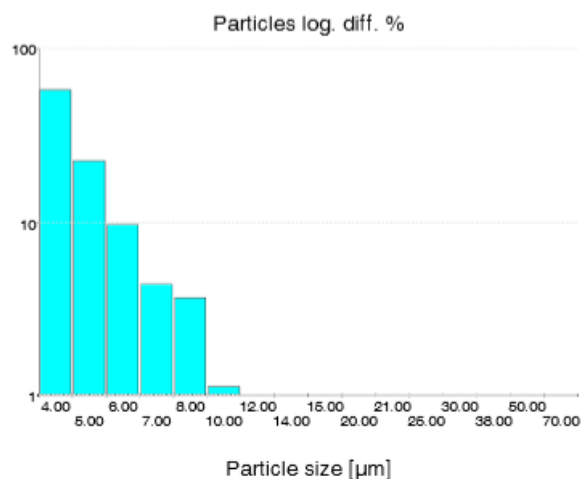
Measured volume : 10.0 ml
 Analysed Volume : 100 ml
 Dilution Factor : -

ISO 4406 : 22/19/14
 SAE AS 4059 : 12A (12,11,8,8,6,5)

Diameters	cumulative
> 4.00 µm (c)	2423420
> 5.00 µm (c)	1024072
> 6.00 µm (c)	479122
> 7.00 µm (c)	246476
> 8.00 µm (c)	139036
> 10.00 µm (c)	50368
> 12.00 µm (c)	23028
> 14.00 µm (c)	11852
> 15.00 µm (c)	9098
> 20.00 µm (c)	2574
> 21.00 µm (c)	1928
> 25.00 µm (c)	706
> 30.00 µm (c)	264
> 38.00 µm (c)	70
> 50.00 µm (c)	36
> 70.00 µm (c)	8



Diameters	differential
4.00 - 5.00 µm (c)	1399348
5.00 - 6.00 µm (c)	544950
6.00 - 7.00 µm (c)	233646
7.00 - 8.00 µm (c)	106440
8.00 - 10.00 µm (c)	88668
10.00 - 12.00 µm (c)	27340
12.00 - 14.00 µm (c)	11176
14.00 - 15.00 µm (c)	2754
15.00 - 20.00 µm (c)	6524
20.00 - 21.00 µm (c)	646
21.00 - 25.00 µm (c)	1222
25.00 - 30.00 µm (c)	442
30.00 - 38.00 µm (c)	194
38.00 - 50.00 µm (c)	34
50.00 - 70.00 µm (c)	28
> 70.00 µm (c)	8

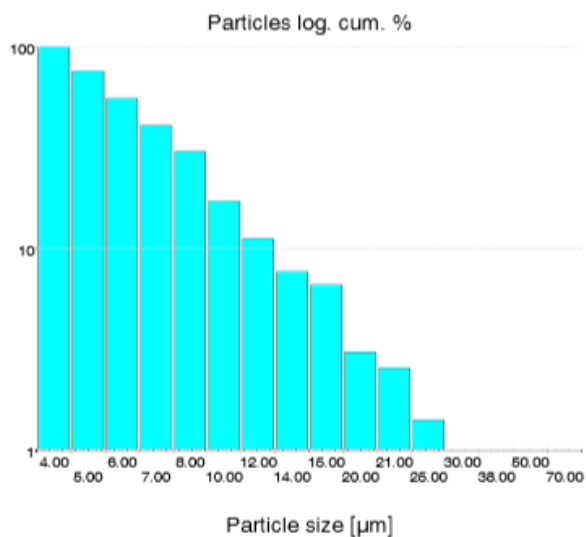


Näytteen 7 hiukkasjakaumat ja niiden graafinen esitys. (Elo 2014a)

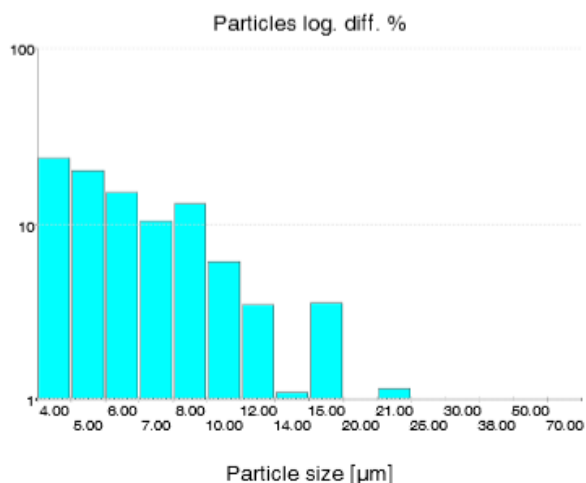
Measured volume : 10.0 ml
 Analysed Volume : 100 ml
 Dilution Factor : -

ISO 4406 : 23/23/20
 SAE AS 4059 : >12A (>12,>12,>12,>12,>12,>12)

Diameters	cumulative
▷ 4.00 µm (c)	7405225
▷ 5.00 µm (c)	5640928
▷ 6.00 µm (c)	4147228
▷ 7.00 µm (c)	3024348
▷ 8.00 µm (c)	2251638
▷ 10.00 µm (c)	1283358
▷ 12.00 µm (c)	830590
▷ 14.00 µm (c)	572735
▷ 15.00 µm (c)	491740
▷ 20.00 µm (c)	229110
▷ 21.00 µm (c)	190902
▷ 25.00 µm (c)	105175
▷ 30.00 µm (c)	54630
▷ 38.00 µm (c)	18755
▷ 50.00 µm (c)	9010
▷ 70.00 µm (c)	2670



Diameters	differential
4.00 - 5.00 µm (c)	1764298
5.00 - 6.00 µm (c)	1493700
6.00 - 7.00 µm (c)	1122880
7.00 - 8.00 µm (c)	772710
8.00 - 10.00 µm (c)	968280
10.00 - 12.00 µm (c)	452768
12.00 - 14.00 µm (c)	257855
14.00 - 15.00 µm (c)	80995
15.00 - 20.00 µm (c)	262630
20.00 - 21.00 µm (c)	38208
21.00 - 25.00 µm (c)	85728
25.00 - 30.00 µm (c)	50545
30.00 - 38.00 µm (c)	35875
38.00 - 50.00 µm (c)	9745
50.00 - 70.00 µm (c)	6340
> 70.00 µm (c)	2670

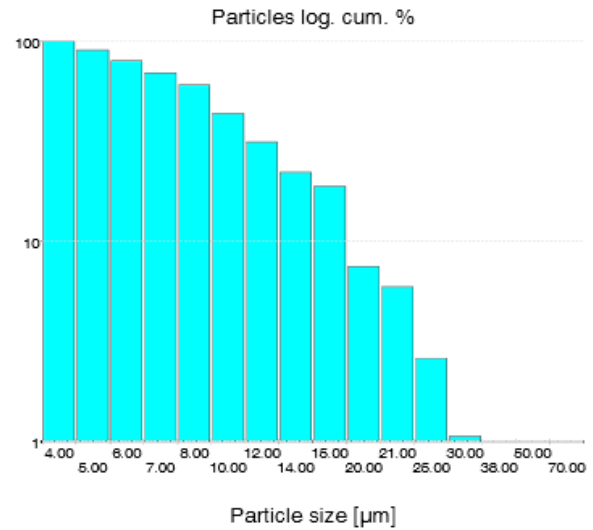


Näytteen 8 hiukkasjakaumat ja graafinen esitys. (Elo 2014a)

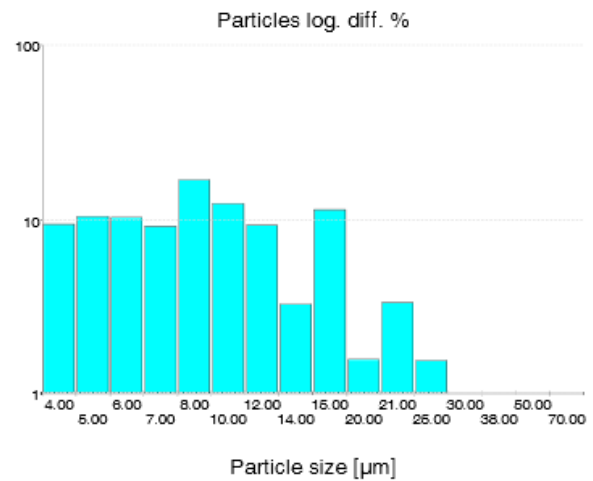
Measured volume : 10.0 ml
 Analysed Volume : 100 ml
 Dilution Factor : -

ISO 4406 : 24/23/21
 SAE AS 4059 : >12A (>12,>12,>12,>12,>12,>12)

Diameters	cumulative
> 4.00 µm (c)	8762285
> 5.00 µm (c)	7935450
> 6.00 µm (c)	7021335
> 7.00 µm (c)	6120365
> 8.00 µm (c)	5316295
> 10.00 µm (c)	3837002
> 12.00 µm (c)	2756268
> 14.00 µm (c)	1941595
> 15.00 µm (c)	1655175
> 20.00 µm (c)	659885
> 21.00 µm (c)	521570
> 25.00 µm (c)	230082
> 30.00 µm (c)	93598
> 38.00 µm (c)	23858
> 50.00 µm (c)	10385
> 70.00 µm (c)	2740



Diameters	differential
4.00 - 5.00 µm (c)	826835
5.00 - 6.00 µm (c)	914115
6.00 - 7.00 µm (c)	900970
7.00 - 8.00 µm (c)	804070
8.00 - 10.00 µm (c)	1479292
10.00 - 12.00 µm (c)	1080735
12.00 - 14.00 µm (c)	814672
14.00 - 15.00 µm (c)	286420
15.00 - 20.00 µm (c)	995290
20.00 - 21.00 µm (c)	138315
21.00 - 25.00 µm (c)	291488
25.00 - 30.00 µm (c)	136485
30.00 - 38.00 µm (c)	69740
38.00 - 50.00 µm (c)	13472
50.00 - 70.00 µm (c)	7645
> 70.00 µm (c)	2740



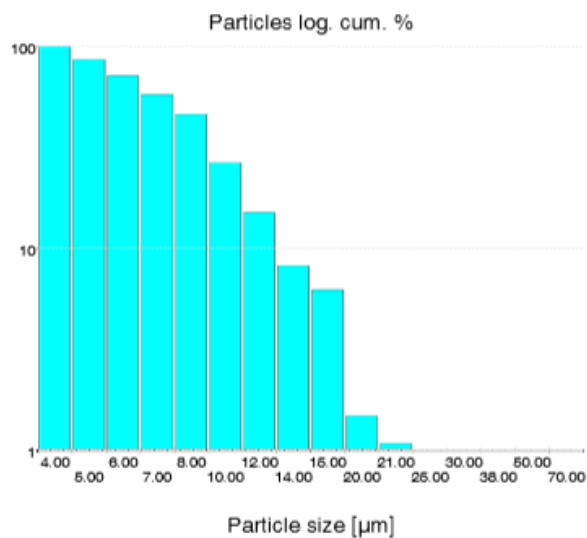
Liite 4: Öljynäytteiden hiukkasjakaumat ja graafiset esitykset II

Näytteen 16 hiukkasjakaumat ja graafinen esitys. (Elo 2014b)

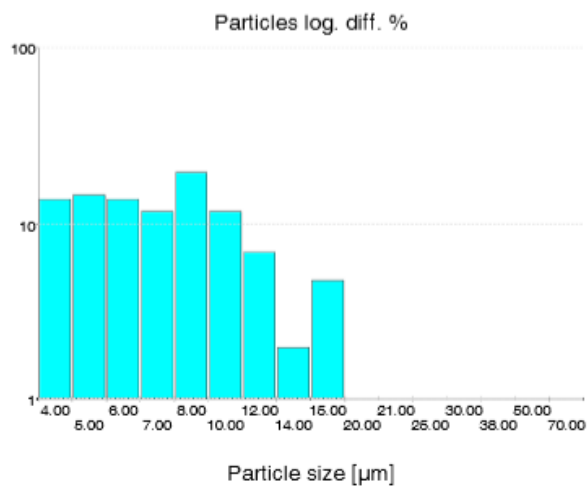
Measured volume : 10.0 ml
 Analysed Volume : 100 ml
 Dilution Factor : -

ISO 4406 : 24/23/20
 SAE AS 4059 : >12A (>12,>12,>12,>12,12,12)

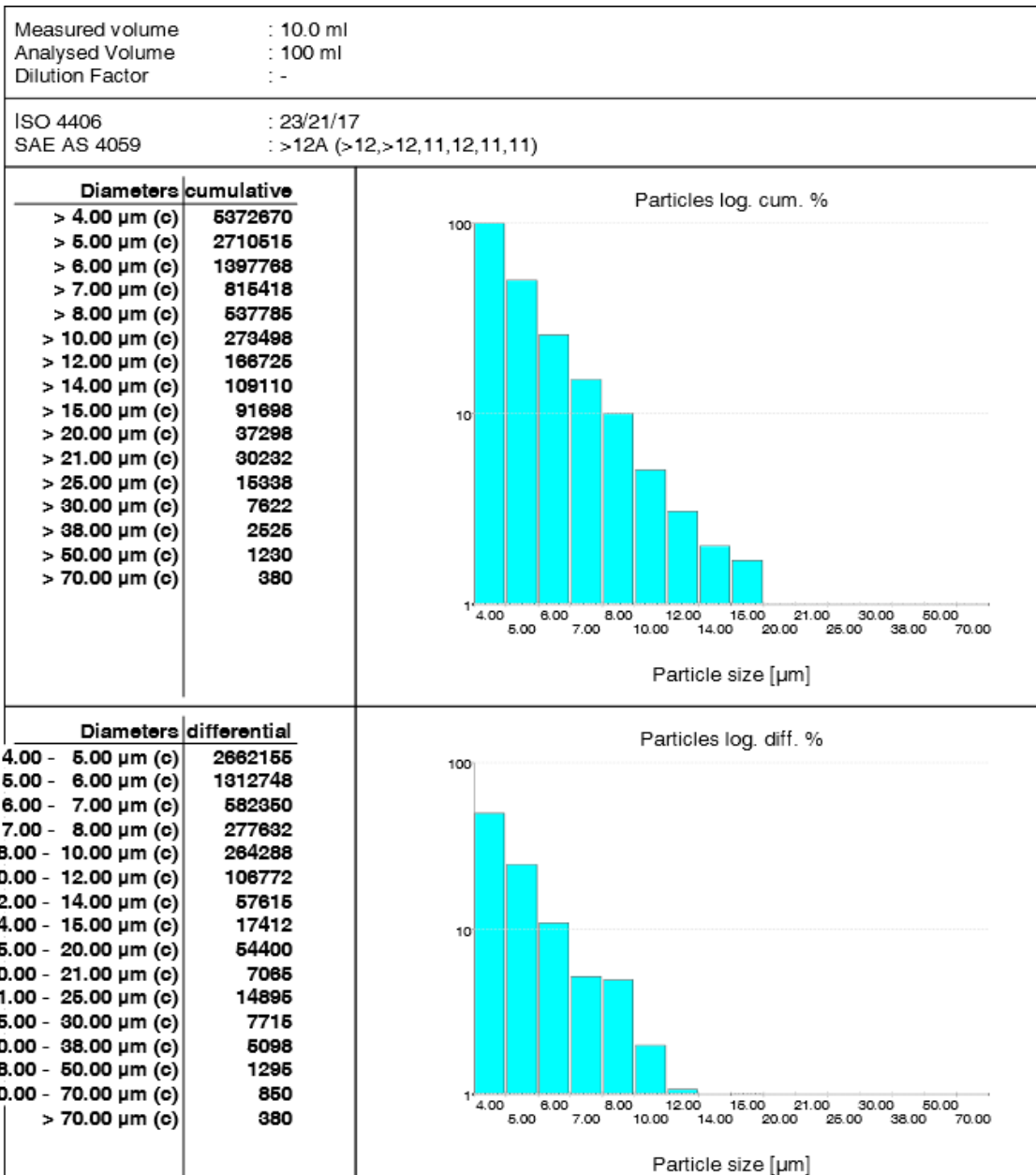
Diameters	cumulative
> 4.00 µm (c)	9377775
> 5.00 µm (c)	8088155
> 6.00 µm (c)	6726395
> 7.00 µm (c)	5437455
> 8.00 µm (c)	4337970
> 10.00 µm (c)	2509248
> 12.00 µm (c)	1413865
> 14.00 µm (c)	771492
> 15.00 µm (c)	587060
> 20.00 µm (c)	140242
> 21.00 µm (c)	101928
> 25.00 µm (c)	40078
> 30.00 µm (c)	16778
> 38.00 µm (c)	4998
> 50.00 µm (c)	2298
> 70.00 µm (c)	665



Diameters	differential
4.00 - 5.00 µm (c)	1289620
5.00 - 6.00 µm (c)	1361760
6.00 - 7.00 µm (c)	1288940
7.00 - 8.00 µm (c)	1099485
8.00 - 10.00 µm (c)	1828722
10.00 - 12.00 µm (c)	1095382
12.00 - 14.00 µm (c)	642372
14.00 - 15.00 µm (c)	184432
15.00 - 20.00 µm (c)	446818
20.00 - 21.00 µm (c)	38315
21.00 - 25.00 µm (c)	61850
25.00 - 30.00 µm (c)	23300
30.00 - 38.00 µm (c)	11780
38.00 - 50.00 µm (c)	2700
50.00 - 70.00 µm (c)	1632
> 70.00 µm (c)	665



Näytteen 17 hiukkasjakaumat ja graafinen esitys. (Elo 2014b)

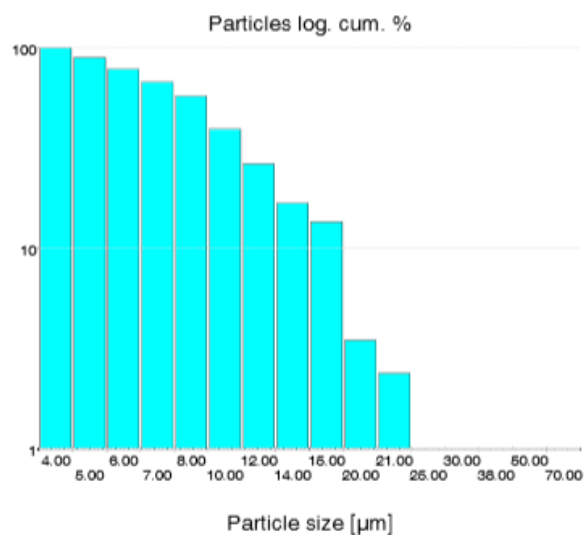


Näytteen 20 hiukkasjakaumat ja graafinen esitys. (Elo 2014b)

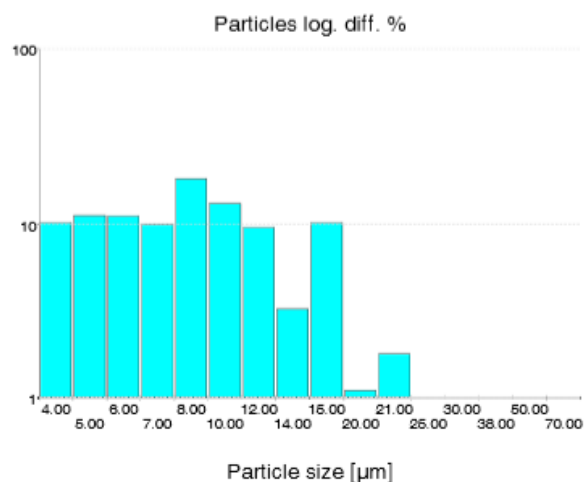
Measured volume : 10.0 ml
 Analysed Volume : 100 ml
 Dilution Factor : -

ISO 4406 : 24/23/21
 SAE AS 4059 : >12A (>12,>12,>12,>12,12,12)

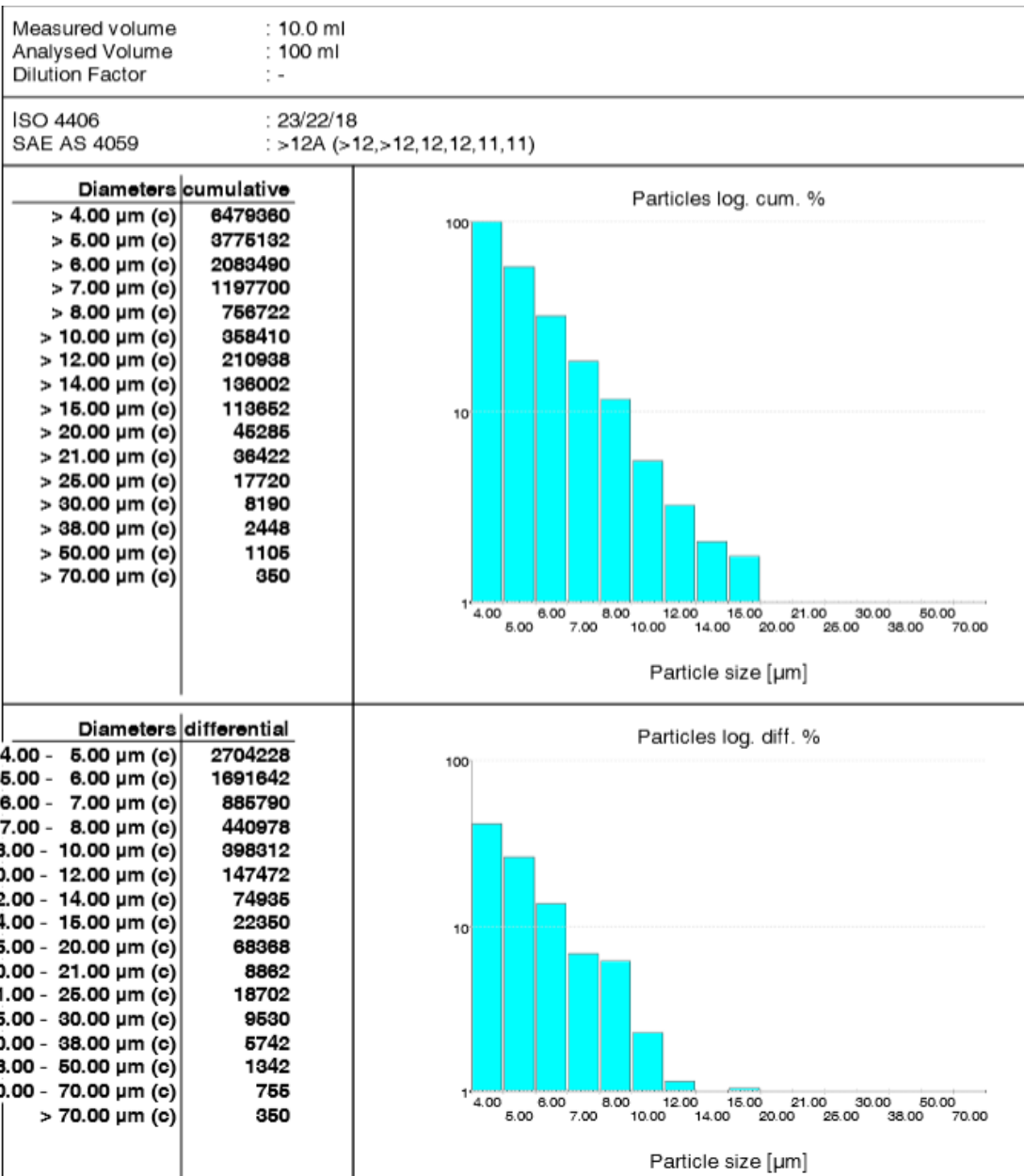
Diameters	cumulative
▼ 4.00 µm (c)	9244032
▼ 5.00 µm (c)	8905255
▼ 6.00 µm (c)	7272568
▼ 7.00 µm (c)	6249642
▼ 8.00 µm (c)	5937240
▼ 10.00 µm (c)	3658730
▼ 12.00 µm (c)	2449632
▼ 14.00 µm (c)	1565500
▼ 15.00 µm (c)	1285218
▼ 20.00 µm (c)	325025
▼ 21.00 µm (c)	222395
▼ 25.00 µm (c)	57072
▼ 30.00 µm (c)	16118
▼ 38.00 µm (c)	4275
▼ 50.00 µm (c)	1942
▼ 70.00 µm (c)	528



Diameters	differential
4.00 - 5.00 µm (c)	938777
5.00 - 6.00 µm (c)	1032688
6.00 - 7.00 µm (c)	1022925
7.00 - 8.00 µm (c)	912402
8.00 - 10.00 µm (c)	1678510
10.00 - 12.00 µm (c)	1209098
12.00 - 14.00 µm (c)	884132
14.00 - 15.00 µm (c)	300282
15.00 - 20.00 µm (c)	940192
20.00 - 21.00 µm (c)	102630
21.00 - 25.00 µm (c)	165322
25.00 - 30.00 µm (c)	40955
30.00 - 38.00 µm (c)	11842
38.00 - 50.00 µm (c)	2332
50.00 - 70.00 µm (c)	1415
> 70.00 µm (c)	528



Näytteen 24 hiukkasjakaumat ja graafinen esitys. (Elo 2014b)

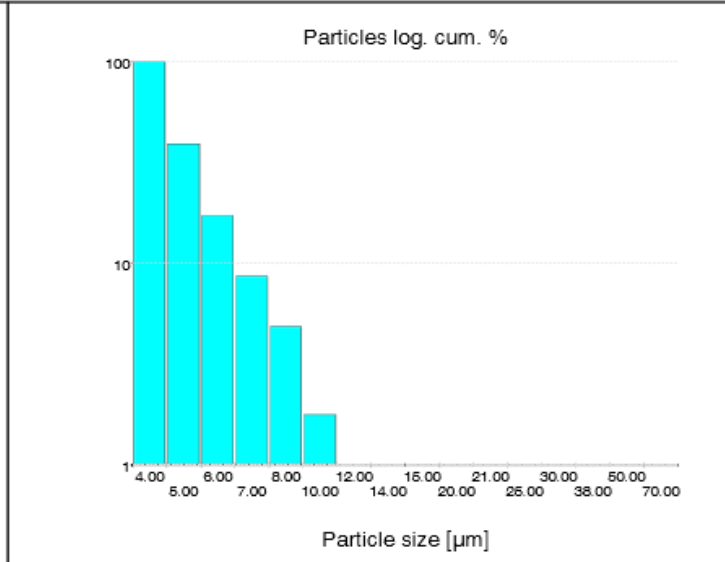


Näytteen 27 hiukkasjakaumat ja graafinen esitys. (Elo 2014b)

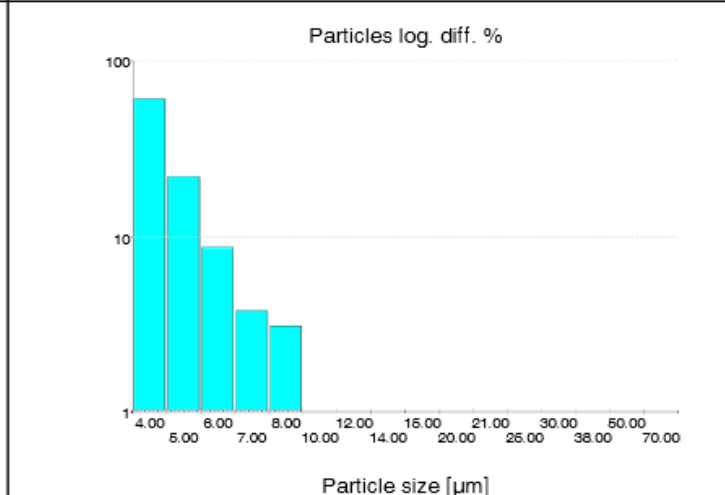
Measured volume : 10.0 ml
 Analysed Volume : 100 ml
 Dilution Factor : -

ISO 4406 : 20/17/12
 SAE AS 4059 : 10A (10,9,6,5,4,5)

Diameters	cumulative
> 4.00 µm (c)	508765
> 5.00 µm (c)	199970
> 6.00 µm (c)	88148
> 7.00 µm (c)	44030
> 8.00 µm (c)	24792
> 10.00 µm (c)	9092
> 12.00 µm (c)	4046
> 14.00 µm (c)	2030
> 15.00 µm (c)	1545
> 20.00 µm (c)	425
> 21.00 µm (c)	295
> 25.00 µm (c)	142
> 30.00 µm (c)	70
> 38.00 µm (c)	25
> 50.00 µm (c)	18
> 70.00 µm (c)	5



Diameters	differential
4.00 - 5.00 µm (c)	308795
5.00 - 6.00 µm (c)	111822
6.00 - 7.00 µm (c)	44118
7.00 - 8.00 µm (c)	19238
8.00 - 10.00 µm (c)	15700
10.00 - 12.00 µm (c)	5048
12.00 - 14.00 µm (c)	2015
14.00 - 15.00 µm (c)	485
15.00 - 20.00 µm (c)	1120
20.00 - 21.00 µm (c)	130
21.00 - 25.00 µm (c)	152
25.00 - 30.00 µm (c)	72
30.00 - 38.00 µm (c)	45
38.00 - 50.00 µm (c)	8
50.00 - 70.00 µm (c)	12
> 70.00 µm (c)	5



Liite 5: Puhtausmittauslaitteistojen esimerkkihintoja

Pamas:

 Esko Niiranen <esko.niiranen@pamas.fi>
VS: Hiukkaslaskimien hinnoista

To  Valtonen, Tuure

Terve,

Kiitoksia yhteydenotosta.

Laitteiden hintataso on varustelusta riippuen seuraava:

PAMAS SBSS EUR 30.000,- ... 35.000,- (ALV0%)
- Pöytämalli pullonäytteille

PAMAS S40 EUR 15.000,- ... 20.000,- (ALV0%)
- Kannettava laite pullonäyte- ja online-mittauksiin

PAMAS S50 EUR 6.000,- ... 12.000,- (ALV0%)
- Kiinteästi asennettava laite online-mittauksiin
- Pumpulla varustettu malli S50P sopii myös pullonäytteiden mittaukseen

Laitteiden esitteitä löytyy kotisivulta www.pamas.de

Kerron mielelläni lisätietoja.

T: Esko

Pamas Oy

Hydac:

000020 3063299 FCU2210-1-M

- Kannettava partikkelilaskin on-line mittauksiin
 - Puhtausluokat ISO ja SAE
 - Sisältää kirjoittimen
- 1 KPL 13.290,00 EUR
Toimitusaika: 6 - 8 viikkoa

000030 3083467 FCU2210-4-M

- Kannettava partikkelilaskin on-line mittauksiin
 - Puhtausluokat ISO ja SAE
 - Sisään-rakennettu imupumppu näytteenottoa varten
 - Sisältää kirjoittimen
- 1 KPL 14,700 EUR
Toimitusaika: 6 - 8 viikkoa

(Kithydro)