HYDRAULIÖLJYN ESISUODATUKSEN JA PUHDISTAVAN SUODATUKSEN VAIKUTUS ÖLJYN PUHTAUTEEN

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Konetekniikan diplomityö

2023

Roni Rönkkönen

Tarkastajat: Dosentti Harri Eskelinen & TKT Katriina Mielonen

Ohjaaja: INS Marko Mella-Aho, Škoda Transtech Oy

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUTin energiajärjestelmien tiedekunta

Konetekniikka

Roni Rönkkönen

Hydrauliöljyn esisuodatuksen ja puhdistavan suodatuksen vaikutus öljyn puhtauteen

Konetekniikan diplomityö

2023

74 sivua, 33 kuvaa, 3 taulukkoa ja 1 liitettä

Tarkastajat: Dosentti Harri Eskelinen ja TKT Katriina Mielonen

Ohjaaja: INS Marko Mella-Aho, Škoda Transtech Oy

Avainsanat: Hydrauliikka, puhtausluokka, epäpuhtaudet, esisuodatus

Tässä diplomityössä tutkitaan hydrauliöljyn puhtautta laitteissa ja öljyn käsittelyn eri vaiheissa. Tässä työssä on tarkoitus saada toimeksiantajayrityksen Škoda Transtech Oy:n tuotantolaitteissa käytettävän öljyn puhtausluokka vastaamaan laitevalmistajien vaatimuksia. Diplomityön keskeinen kohderyhmä on tehdaskunnossapito, joka on työn tilaaja. Tämän työn tuloksien avulla on tarkoitus kehittää kunnossapitoprosessia ja siten maksimoida laitteiden elinikää ja käytettävyyttä.

Diplomityön kirjallisuuskatsaus käsittelee epäpuhtauksien vaikutusta hydrauliikassa. Kirjallisuuskatsauksessa käsiteltävät asiat toimivat kehitystyön perustana. Diplomityössä kartoitetaan öljyn puhtauden lähtötaso ja suoritetaan kehitystyö, jossa valmistetaan öljynjakelupiste riittävällä esisuodatuksella. Lisäksi otetaan käyttöön öljyä puhdistava sivuvirtaussuodatinyksikkö. Keskeinen tutkittava asia on ISO 6604 mukainen puhtausluokitus, joka tarkastelee epäpuhtauspartikkeleiden kokoa ja lukumäärää hydrauliöljyssä.

Tutkimustyössä saadut tulokset osoittavat, että kehitystoimenpiteet olivat tarpeellisia. Öljyjen puhtaus ei täyttänyt niille määriteltyjä vaatimuksia. Kehitystyön jälkeiset tutkimustulokset osoittivat, että tavoiteltu puhtausluokka saavutettiin öljyn esisuodatuksessa. Lisäksi sivuvirtaussuodatinyksiköllä saatiin puhdistettua pilottivaiheen laitteiden öljyt haluttuun puhtausluokkaan. Tutkimuksen yhteenvetona todettiin, että esisuodatuksessa ja laitteiden öljyjen puhdistuksessa molemmissa saatiin öljyn puhtausluokkaa nostettua kahdella ISO 6604 mukaisella puhtausluokalla, mikä tarkoittaa noin 60 % pidempää elinikää hydrauliikkakomponenteille.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Mechanical Engineering

Roni Rönkkönen

The effect of hydraulic oil pre-filtration and offline oil cleaning on oil cleanliness

Master's thesis

2023

74 pages, 33 figures, 3 tables and 1 appendices

Examiners: Adjunct professor Harri Eskelinen and D.Sc (Tech) Katriina Mielonen

Supervisor: B.Sc. (Tech.) Marko Mella-Aho

Keywords: Hydraulics, ISO code, contamination, pre-filtration

This master´s thesis research cleanliness of the hydraulic oil in devices and at different stages of oil processing. In this work the purpose is to make the cleanliness class of the used oil in client company Škoda Transtech Oy to meet the oil requirements of the production devices. The main target group of the master's thesis is factory maintenance group. With the help of the results of this work, the purpose is to develop the maintenance process and maximize the lifetime and usability of the devices.

The literature of the master's thesis deals with the effect of contamination in hydraulics and issues discussed in the literature serve as the basis of the development work. In this work the initial level of oil cleanliness is investigated and after this development work is carried out to bring the oil cleanliness to the required level at the oil bar with sufficient pre-filtration. Also an offline filter unit is taken into use. The key thing to be investigated is the cleanliness classification according to ISO 6604, which examines the size and number of impurity particles in hydraulic oil.

The results obtained in the research show that the development actions were necessary. The cleanliness of the oils didn't meet the requirements defined for them. The research results after the development work showed that the targeted cleanliness class was achieved in the pre-filtration of the oil. Also in the pilot phase with the offline filter unit the oils in the devices were brought to the desired cleanliness level. In the summary of the research work it was concluded that pre-filtering and cleaning the oils of the devices the cleanliness class of the oil was increased by two cleanliness classes according to ISO 6604 which means about 60 % longer lifetime for hydraulic components.

KIITOKSET

Haluan kiittää diplomityön toimeksiantajayritystä Škoda Transtech Oy:tä mahdollisuudesta saada tehdä diplomityö erittäin joustavasti omien töiden ohessa. Tämän mahdollisti diplomityön ohjaajana toiminut Marko Mella-Aho Škoda Transtech Oy:ltä. Lisäksi haluan kiittää LUT-yliopistolta tarkastajina toimineita Harri Eskelistä ja Katriina Mielosta erittäin asiantuntevasta ja kannustavasta ohjauksesta läpi tämän diplomityön.

Erityiskiitokset haluan antaa avopuolisolleni Minjalle, joka on jaksanut tsempata ja joustaa kiireisen lapsiarjen keskellä. Töiden ohessa opiskellessa on ollut myös tärkeää välillä unohtaa kouluasiat kokonaan, ja tässä on auttanut erityisesti Väinö-poikamme, joka on tuonut iloa ja positiivista mieltä läpi tämän projektin. Lisäksi haluan kiittää Väinön isovanhempia Jukkaa, Susannaa ja Pasia lapsenhoitoavusta, mikä on ollut ratkaisevan tärkeää mahdollistamaan nämä opinnot.

Roni Rönkkönen

Roni Rönkkönen

Kajaanissa 4.10.2023

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Kiitokset

1 Johdanto 7
1.1 Motivaatio 8
1.2 Tutkimusongelma ja -kysymykset 9
1.3 Rajaukset 9
1.4 Tutkimusmenetelmät 10
2 Hydraulinen järjestelmä 12
2.1 Hydrauliikan toimintaperiaate 12
2.2 Hydraulijärjestelmän osa-alueet 14
2.3 Hydraulineste 15
3 Hydrauliöljyn epäpuhtaudet 18
3.1 Epäpuhtauksien tyypit 18
3.2 Epäpuhtauksien lähteet 20
3.3 Epäpuhtauksien kulumismekanismit 23
3.4 Puhtausluokka 27
4 Käsittely- ja käyttöympäristö epäpuhtauksien lähteenä 31
4.1 Logistiikka 31
4.2 Varastointi 32
4.3 Esisuodatus 33
4.4 Jakelu ja käsittely 35
5 Hydraulisten laitteiden kunnossapito 37
5.1 Yleiset epäpuhtauksista johtuvat vikatyypit 37
5.2 Ehkäisevä kunnossapito 38
5.3 Öljyn kunnonvalvonta 40
5.4 Puhdistava suodatus 44
6 Teoriaosuuden yhteenveto 47
7 Kokeellinen osuus öljyn puhtauden kehittämiseksi 48

7.1 Tutkimuksen esittely 48
7.2 Kehitystyö 49
7.2.1 Öljyn puhtautta parantavat kehitystoimet esisuodatuksessa ja jakelussa 50
7.2.2 Laitteissa olevien öljyjen puhtauden ylläpito 53
8 Öljyanalyysien tulokset ja kehitystyön vaikutukset 55
8.1 Ensimmäisen vaiheen öljynäytteiden tulokset 56
8.2 Toisen vaiheen öljynäytteiden tulokset 58
8.3 Kehitystyön tuloksien vaikutus komponenttien elinikään 60
9 Pohdinta ja johtopäätökset 63
9.1 Vertailu ja yhtymäkohdat aikaisempiin tutkimuksiin 63
9.2 Objektiivisuus 64
9.3 Reliabiliteetti ja validiteetti 64
9.4 Virhe- ja herkkyystarkastelu 65
9.5 Avaintulokset 66
9.6 Tulosten uutuusarvo 67
9.7 Tulosten yleistettävyys ja hyödynnettävyys 67
9.8 Jatkotutkimusaiheet 68
10 Yhteenveto 69
Lähteet 70

Liitteet

Liite 1. Öljyanalyysiraportti

1 Johdanto

Tämä diplomityö tutkii hydrauliikkaöljyn epäpuhtauksia ja kuinka epäpuhtauksia voidaan vähentää öljyn käsittelyn eri vaiheissa. Lisäksi tässä työssä tutkitaan hydrauliikkaöljyn puhdistavan suodatuksen merkitystä laitteiden kunnossapidolle. Tämä sisältää öljyn oikeaoppisen varastoinnin, jakelun, esisuodatuksen, olosuhteisiin sopivat käsittelyvälineet ja -menetelmät. Myös laitteissa käytettävän hydrauliikkaöljyn puhtautta on tarkoitus kehittää käyttäen sivuvirtasuodatustekniikkaa hyödyntävää öljyn puhdistuslaitteistoa.

Tutkimus toteutetaan tekemällä öljyanalyysejä öljyn käsittely- ja käyttöprosessin erivaiheissa. Tämä tarkoittaa, että useita öljyanalyysejä tehdään vanhan prosessin eri vaiheista ja tuloksia verrataan uuteen, kehitettyyn prosessiin. Lisäksi hydraulisissa laitteissa käytettävien öljyjen puhtautta tutkitaan ennen öljyn puhdistavaa suodatusta ja sen jälkeen. Näin saadaan tutkittua säännöllisen öljyn puhdistavan suodatuksen merkitystä kunnossapidon työkaluna.

Tutkimuksen tarkoitus on kehittää kunnossapidon öljynkäsittelyprosessia ja toimintatapoja liittyen öljyjen puhtauteen. Lisäksi tutkimuksella on tarkoitus osoittaa öljyn kunnonvalvonnan ja puhdistavan suodatuksen merkitys työkaluna ennakoivassa kunnossapidossa. Tutkimuksen on tarkoitus olla pilottiprojekti, jonka tulosten perusteella kehitettyä käsittelyprosessia ja uutta öljyn puhdistuslaitteistoa on tarkoitus käyttää tulevaisuudessa myös muiden öljylaatujen käsittelyssä ja öljyn puhdistavasta suodatuksesta on tarkoitus tehdä ennakoivalle kunnossapidolle työkalu, jota käytetään tehtaan kaikissa hydraulisissa laitteissa säännöllisesti.

Tämä diplomityö osoittautui ajankohtaiseksi, koska jo öljyn jakelupisteen eli uuden öljyn puhtauden lähtötaso oli kaksi puhtausluokkaa pienempi, mitä tehtaan laitteissa käytettävien hydraulisten laitteiden komponenttivalmistajat määrittelevät puhtaustasoksi. Kehitystyöllä saavutettiin haluttuja tuloksia ja jakelupisteen öljyn puhtaus saatiin tavoitepuhtaustasoon. Myös laitteiden öljyjen puhdistuksessa pilotoitu öljyä puhdistava sivuvirtaussuodatinyksikkö osoittautui toimivaksi kunnossapidon työkaluksi ja sillä saatiin myös laitteista puhdistettua öljy halutulle puhtaustasolle.

1.1 Motivaatio

Tutkimus on erittäin ajankohtainen, koska hydraulisten laitteiden määrä on viimevuosina kasvanut paljon diplomityön toimeksiantajayrityksessä. Tämä on osaltaan luonut tarvetta kehittää ennakoivaa kunnossapitoa, jotta kunnossapidosta tulisi tehokkaampaa. Kunnossapito on tunnistanut tutkimustarpeen hydraulisten laitteiden jo olemassa olevasta kunnonvalvonnasta ja tarpeesta parantaa hydrauliöljyjen puhtautta oman datan perusteella, jossa seurataan laitteiden vikaantumista laiteryhmittäin ja vikojen laatua. Aikaisempien tutkimusten perusteella, jopa 70–90% hydraulisten laitteiden vioista johtuu öljyn epäpuhtaudesta (Ng, F., Harding, J. A., & Glass, J. 2017, s.178). Tutkimustulosten tarkoitus on kartoittaa tehtaan laitteiden hydrauliöljyjen puhtaustasoa ja uusien kehitettyjen prosessien kautta saada puhtausluokka vastaamaan hydraulisten laitteiden eri komponenttien vaatimaa puhtausluokkaa. Näiden puhtausvaatimusten mukaan luodaan uusia ennakkohuollon työkaluja, jotta vaadittavaan hydrauliöljyn puhtausluokkaan päästään. Tutkimustuloksia käytetään myös perusteluna tuleviin investointeihin liittyen öljyjen puhtauden parantamiseen.

Jatkuvasti tiukentunut kilpailu teknologiateollisuudessa tuo lisähaasteita tehostaa tuotantoa kokonaisvaltaisesti ja huolehtia käyttöomaisuudesta paremmin. Tässä työssä käyttöomaisuudella tarkoitetaan hydraulisia laitteita. Tuotantolaitteiden hyvä toimintakunto lisää tuotantotehokkuutta ja hyvin huolletut laitteet kestävät koko suunnitellun elinkaaren. Tutkimusten mukaan puolet hydraulisen laitteen käyttöiän menetyksestä johtuu mekaanisesta kulumisesta ja siitä 80% johtuu hydraulinesteen epäpuhtauksista (Des-Case 2021).

Hydrauliikan kehityksen seurauksena komponenteissa on entistä pienemmät välykset liikkuvissa osissa esimerkiksi servo- ja proportionaaliventtiileissä. Tämän tyyppisissä venttiileissä myös öljyn puhtausvaatimus on tiukempi verrattuna perinteisempiin venttiilityyppeihin. (Fluid Power Journal 2019.) Tämä on osaltaan luonut uusia vaatimuksia öljyn puhtaudelle. Lisäksi tämän tyyppiset venttiilit ovat harvinaisempia ja näillä venttiilityypeillä on ollut toimitusvaikeuksia viimeaikaisten kriisien seurauksena maailmalla.

Ympäristönäkulman merkitys on korostunut teollisuudessa viimevuosina paljon. Tuotteiden hiilijalanjälkeä seurataan monesta eri näkökulmasta, myös valmistuksessa käytettävien laitteiden käyttämien öljyjen hankinta otetaan huomioon. Tämän diplomityön tarkoitus on maksimoida laitteissa käytettävien hydrauliöljyjen käyttöikä, mikä osaltaan pienentää hiilijalanjälkeä.

1.2 Tutkimusongelma ja -kysymykset

Keskeinen tutkimusongelma on lisääntyneet viat hydraulisissa laitteissa, tunnistettu kehitystarve koko öljynhallintaprosessissa ja tarve tehostaa tuotantoa pienentämällä vikataajuutta, joiden juurisyy on hydrauliöljyn epäpuhtaudet. Korona-aikana on ilmennyt paljon saatavuusongelmia tietyissä hydrauliikkakomponenteissa, joka osaltaan motivoi pitämään laitteiden kunnosta parempaa huolta. Lisäksi hydraulisten laitteiden määrä on kasvanut huomattavasti viimevuosina, joten kunnossapidolla on tarve tehostaa myös omaa toimintaa kehittämällä prosesseja ja luomalla uusia ennakoivan kunnossapidon työkaluja ja toimintatapoja.

Keskeisimmät tutkimuskysymykset ovat:

- Miten voidaan kehittää nykyistä öljynkäsittelyprosessia siten, että se vähentää epäpuhtauksien määrää uudessa hydrauliöljyssä?
- Mikä on käytettävien hydrauliöljyjen nykyinen puhtaustaso?
- Mikä on tavoiteltava puhtaustaso ja millä toimenpiteillä siihen on mahdollista päästä?
- Päästiinkö tavoitteeseen ja miten tavoiteltua puhtaustasoa pystytään ylläpitämään ja laajentamaan tämän kehitystyön ulkopuolisiin laitteisiin?

1.3 Rajaukset

Diplomityö on rajattu käsittelemään pelkästään hydrauliikkaöljy Mobil DTE 10 Excel 32, joka on tehtaassa yleisimmin käytetty hydrauliöljylaatu. Tästä rajauksesta huolimatta tuloksia voidaan soveltaa myös muihin käytössä oleviin öljylaatuihin. Tämä rajaus mahdollistaa vertailukelpoisen tutkimuksen, koska tutkittavia öljylaatuja on vain yksi. Näin pystytään hyvin vertaamaan tuloksia ja näytteiden määrä pysyy kohtuullisena.

Tutkimus on rajattu käsittelemään ISO 4406 standardin mukaista puhtausluokkaa, jossa tutkitaan öljyn seassa olevia epäpuhtauspartikkeleita ja analyyseissä jätetään vähemmälle huomiolle öljyn muut epäpuhtaudet, kuten kemialliset epäpuhtaudet. ISO 4406 standardi on kan-

sainvälisesti yleisesti käytetty menetelmä ilmoittaa öljyn puhtautta ja sopii hyvin konepaja-olosuhteissa öljyn puhtauden arviointiin. Öljynäytteistä saadaan paljon muutakin tietoa, mutta ne jätetään vähemmälle huomiolle.

Tutkimuksessa ja kehitystyössä tutkitaan pelkästään kunnossapidon öljyn käsittelyprosesseja ja näitä tuloksia pystytään tutkimustyön jälkeen hyödyntämään myös muissa tehtaan öljynkäsittelyprosesseissa. Lisäksi näytteet otetaan tehtaan oman kunnossapidon piiriin kuuluvista laitteista, jotka on valikoitu edustamaan koko tehtaan laitekantaa ja näiden laitteiden käyttö- ja huoltohistoria on hyvin tiedossa, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia ja antavat vertailukelpoisia tuloksia koko tehtaan laitekannasta.

1.4 Tutkimusmenetelmät

Tässä työssä tutkimus toteutetaan kolmivaiheisesti. Ensin tutkitaan öljyn puhtauden lähtötaso, jonka jälkeen toteutetaan kehitystyö. Kehitystyön jälkeen öljyn puhtaudet tutkitaan jälleen, jolloin tutkimustulokset ovat vertailukelpoisia ja pystytään osoittamaan kvantitatiivisia tuloksia. Tutkimus toteutetaan öljyanalyysillä, jossa otetut öljynäytteet tutkitaan laboratoriossa ja öljyanalyysistä saadaan raportti, joka kattaa standardisoidut mittaukset viskositeetistä, öljyn väristä, öljyn hapettumisesta, lisäaineista, kulumametalleista, kontaminanteista, vesipitoisuudesta ja ISO 4406:1999 mukaisesta puhtausluokasta.

Diplomityön tutkimus koostuu kolmesta vaiheesta. Ensin selvitetään alkutilanne, jossa kartoitetaan tehtaan laitteissa olevien öljyjen puhtausluokat ja öljynkäsittelyprosessin puhtausluokat eri käsittelyn vaiheissa öljynäytteiden avulla. Tämä tarkoittaa, että alkutilanteessa otetaan useita öljynäytteitä, joiden perusteella pystytään toteamaan alkutilanne luotettavasti.

Seuraavassa vaiheessa tehdään kehitystyö, jossa kirjallisuuslähteiden avulla pyritään tunnistamaan öljynkäsittelyprosessin epäkohdat ja löytämään oikeat menetelmät kehittämään prosessia ja öljyn kunnossapitoa. Kehitystyössä parannetaan öljynkäsittelyprosessia, hankitaan vaatimukset täyttävä laitteisto öljyn esisuodatukseen ja hankitaan öljynpuhdistustyökaluja, joiden vaikutus öljyn puhtauteen voidaan kokeellisesti todistaa vertaamalla alku- ja lopputilanteen näytteitä. Kehitystyössä apuna käytetään kirjallisuuslähteiden lisäksi asiantuntijaläh-

teitä vahvistamaan alkutilanteen kokeellisia tuloksia, jonka lisäksi asiantuntijalähteitä käytetään vahvistamaan kirjallisuuslähteitä kehitystyöhön liittyvissä laite- ja komponenttihankinnoissa.

Kolmannessa vaiheessa tutkitaan kehitystyön jälkeisiä tuloksia öljynäytteiden avulla. Öljynäytteet otetaan kehitetystä prosessista siten, että ne ovat vertailukelpoisia alkunäytteiden kanssa. Näin pystytään luotettavasti vertaamaan kvantitatiivisesti alkutilanteen öljynäytteitä ja kehitystyön jälkeen otettavia öljynäytteitä keskenään. Tutkimuksessa hyödynnetään siis teoreettista ja empiiristä tietoa kehitystyötä varten ja lopuksi kvantitatiivisesti todistetaan tulokset.

Tässä diplomityössä mitataan useita öljyn epäpuhtauksia (taulukko 1), mutta pääpaino on ISO 4406 mukaisessa puhtausluokassa. Tässä työssä päämittausmenetelmä on ISO 11500 standardin mukainen optista mikroskooppia käyttävä menetelmä, jolla mitataan ISO 4406:1999 mukaista puhtausluokkaa eli kuinka paljon ≥4 µm, ≥6 µm ja ≥14 µm kokoisia epäpuhtauspartikkeleita on 100ml öljynäytteessä. ISO 11500 tarkoittaa menetelmänä automaattista optista mikroskooppia, joka tunnistaa öljystä partikkeleiden määrä ja koon. Lisäksi öljynäytteidenotto on standardisoitu ISO 4021 mukaisesti, mikä lisää näytteenoton reliabiliteettia. Myös muita öljyn mitattavia asioita käsitellään tässä diplomityössä, mikäli öljyanalyyseissä tulee esille jotakin normaalista poikkeavaa.

Taulukko 1. Tutkimuksessa mitattavat asiat.

Mitattava asia	**Menetelmän standardi**
Viskositeetti	ASTM D445
Väri	ASTM 1500
Öljyn hapettuminen	ASTM D664
Lisäaineet	ASTM D5185
Kulumametallit	ASTM D5185
Kontaminantit	ASTM D5185
Vesipitoisuus	ASTM D6304 C
Puhtausluokka ISO4406:1999	ISO 11500

Taulukossa on tämän diplomityön öljyanalyysillä mitattavat asiat, jotka löytyvät tämän diplomityön öljyanalyysin raportista (Liite 1).

2 Hydraulinen järjestelmä

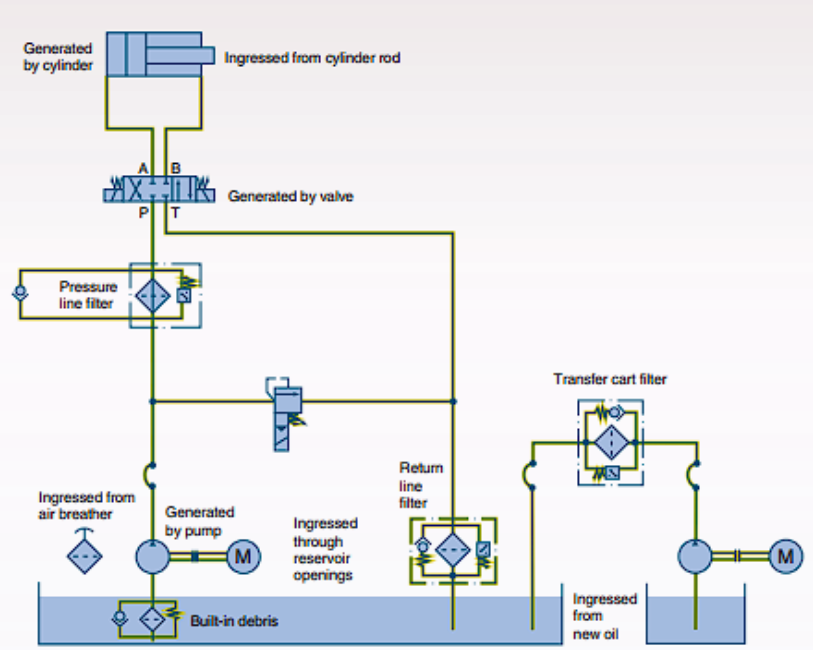
Tässä diplomityössä käydään läpi hydrauliikan perusteet, joka auttaa lukijaa ymmärtämään tutkimustuloksia paremmin ja niiden vaikutuksia koko hydraulijärjestelmään. Hydraulijärjestelmän häiriöttömän toiminnan perusteena on hydraulinesteen riittävä puhtaus. Suurin osa järjestelmän toimintahäiriöistä aiheutuu epäpuhtauksista. Tämän takia hydraulinesteen puhtaus on yksi keskeisimmistä asioista, joista tulee huolehtia, kun halutaan hydraulisten laitteiden toimivan halutulla tavalla ilman yllättäviä komponenttien rikkoutumisia tai toimintahäiriöitä. Hydrauliikassa epäpuhtauksilla tarkoitetaan nesteeseen kuulumattomia partikkeleita, nesteitä tai kemiallisia yhdisteitä, joita voi tulla eri lähteistä. Epäpuhtauksien kokoluokka voi vaihdella, mutta yleensä puhutaan mikro- ja nanokokoluokan partikkeleista. Hydrauliöljyn puhtautta voidaan mitata ja epäpuhtaudet ilmoitetaan erilaisilla standardisoiduilla mittareilla. Jokaisella hydrauliyksikön komponentilla on oma puhtausluokkavaatimus. Hydrauliöljyn tulisi olla vaaditun puhtausluokan mukaista, ettei se aiheuta ennenaikaista kulumista tai toimintahäiriöitä eri komponenteissa.

2.1 Hydrauliikan toimintaperiaate

Hydrauliikka kuuluu fluiditekniikkaan, jossa käytetään paineenalaisia nesteitä tehonsiirtoon. Tässä työssä keskeinen tutkimuskohde on juuri tehon siirtoon käytettävä hydraulineste, joka on tässä tutkimuksessa mineraaliöljypohjaista. Mineraaliöljyn keskeinen ominaisuus on sen tehonsiirrossa kokoonpuristumattomuus ja voiteluominaisuudet. Voiteluominaisuuksien tarkoitus on pienentää hydraulisten komponenttien välistä kitkaa luomalla liikkuvien osien väliin suojaava öljykalvo. Näiden ominaisuuksien ansiosta mineraaliöljy hydraulinesteenä on erittäin toimiva monellakin osa-alueella ja siksi se on yleisin teollisuudessa ja liikenteessä käytettävä hydraulineste. (Fluid Finland 2002, s.2.)

Hydraulijärjestelmä koostuu erilaisista tehonsiirtoketjuista, jossa mekaaninen teho siirretään pumpun välityksellä hydrauliseksi ja tehon välityksessä käytetään erilaisia venttiileitä, jotka ohjaavat paineenalaista nestettä erilaisille toimilaitteille, joita voi olla erilaiset sylinterit tai moottorit. (Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 2013, s.1–4.) Tässä työssä on keskeistä ymmärtää hydrauliikan perustoimintaperiaate ja keskisimmät komponentit. Kuvassa (kuva

1) on esitelty kaikki keskeisimmät komponentit ja niiden toiminta. Keskeisiä komponentteja ovat tankki, pumppu, moottori, putki- tai letkulinjat, suodattimet, ohjaus- ja toimilaitteet.



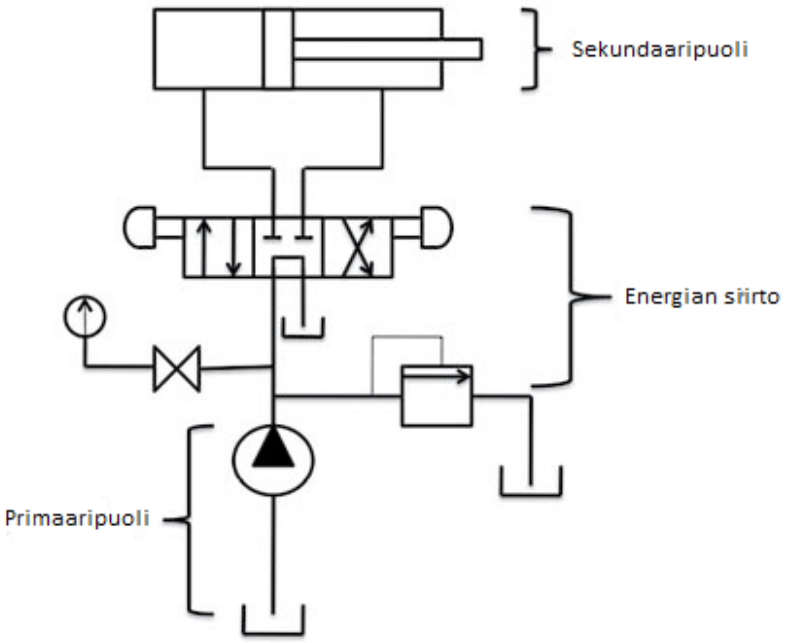
Kuva 1. Hydraulijärjestelmän toiminta (Eaton 2002, s.8).

Hydraulinen tehonsiirto voidaan toteuttaa kahdella tavalla, hydrostaattisesti tai hydrodynaamisesti. Erona näiden kahden tehonsiirtomenetelmän välillä on, että hydrostaattisessa tehonsiirrossa siirrettävä energia sidotaan paine- eli potentiaalienergiaksi, kun taas hydrodynaamisessa tehonsiirrossa käytetään hyväksi liike-energiaa. (Kauranne, H. et al. 2013, s.1–4.) Teollisuudessa suurin osa sovelluksista on hydrostaattisia laitteita, jossa nestepaineen avulla halutaan lineaarista liikettä kuten ohjataan sylintereitä. Hydrodynaamista tehonsiirtoa käytetään yleensä sovelluksissa, jossa muutetaan nestepaine pyörimisliikkeeksi tai vääntömomentiksi. Kun hydraulinen teho siirretään mekaaniseksi tehoksi, näitä laitteita kutsutaan toimilaitteiksi.

2.2 Hydraulijärjestelmän osa-alueet

Hydraulijärjestelmä voidaan jakaa kolmeen osaan; primaaripuoli, energian siirto ja sekundaaripuoli. Primaaripuoli sisältää hydraulipumpun, joka siirtää mekaanisen energian hydrauliseksi energiaksi. (Kauranne, H. et al. 2013, s.6.) Pumpun mekaanisen energian lähteenä teollisuuskäytössä on yleensä sähkömoottori. Liikkuvan kaluston puolella pumppua taas yleensä pyöritetään polttomoottorin avulla.

Energian siirto hydrauliikkajärjestelmässä tapahtuu putkia tai letkuja pitkin. Putkistoissa on yleensä suodattimet sekä paine- ja paluupuolella, jonka avulla järjestelmää pyritään pitämään puhtaana. Lisäksi putkistossa voi olla mittareita, antureita, paineakkuja, jäähdytyslaitteistoa tai muita järjestelmälle tarpeellisia osia. Järjestelmän säätö ja ohjaus kuuluvat myös järjestelmän energian siirto-osaan (kuva 2). Järjestelmän säätö ja ohjaus toteutetaan venttiilien ja antureiden avulla. Venttiileillä ohjataan hydraulisia suureita kuten painetta ja tilavuusvirtaa. Paineen ja tilavuusvirran hallinnalla vaikutetaan toimilaitteen haluttuun voimaan tai liikenopeuteen. Venttiileillä hallitaan myös tilavuusvirran suuntaa, jolloin toimilaitetta voidaan ohjata liikkumaan eri suuntaan tai vaihtaa pyörimisnopeutta. Venttiilien ohjaus tapahtuu hydraulisesti, mekaanisesti tai sähköisesti. (Kauranne, H. et al. 2013, s.6.)



Kuva 2. Hydrostaattinen tehonsiirto, muokattu lähteestä (Fluid Power World 2016).

Sekundaaripuolella hydraulinen teho siirretään takaisin mekaaniseksi tehoksi. Näitä toimilaitteita ovat usein hydrauliset sylinterit tai moottorit, jotka ovat laitteiden näkyviä osia ja niiden toimintaan tai toimimattomuuteen kiinnitetään ensin huomiota. Teollisuuskäytössä yleisin toimilaite on hydraulisylinteri. (Fluid Power World 2016.)

2.3 Hydraulineste

Hydraulinesteellä on useita tärkeitä tehtäviä toimivassa hydraulijärjestelmässä. Tunnetuin ja näkyvin tehtävä on energian siirtäminen hydraulijärjestelmässä. Sen avulla siirretään tehoa pumpulta toimilaitteeseen. Tämän lisäksi hydraulinesteellä on järjestelmässä myös muita tärkeitä tehtäviä kuten voitelu, lämmönsiirto, epäpuhtauksien kuljetus suodattimille ja välysten tiiveys. Hydraulineste voitelee järjestelmää, jonka tarkoitus on vähentää tribologista kulumista pienentämällä kitkaa ja luomalla suojaavan kalvon komponenttien liikkuviin osiin. Hydraulinesteen avulla saadaan myös siirrettyä lämpöä jäähdyttimelle, jonka avulla järjestelmän lämpötilaa saadaan hallittua. Öljyn kierron avulla järjestelmän epäpuhtaudet liikkuvat nesteen mukana ja ne saadaan suodatettua järjestelmästä paine- tai paluusuodattimien avulla. (MAC Hydraulics 2021.) Hydraulinesteissä käytetään lisäksi lisäaineita, joilla parannetaan sen ominaisuuksia. Hydraulinesteellä on useita tehtäviä järjestelmässä ja se kiertää järjestelmässä jokaisen komponentin läpi, joten sen kunnosta ja puhtaudesta on huolehdittava, jotta se pystyy täyttämään tehtävänsä. Huonokuntoinen hydraulineste kielii myös huonokuntoisesta järjestelmästä.

Hydraulineste kuvaa hydrauliikan tehoa siirtävää väliainetta ja siinä voidaan käyttää vettä, emulsiota, mineraaliöljyä, synteettistä öljyä tai kasviöljyä. Kaikille näille eri väliaineille löytyy omat sovelluskohteet, mutta ylivoimaisesti yleisin hydraulineste on mineraaliöljy, jota myös tässä diplomityössä tutkitaan tarkemmin. Jatkossa tässä diplomityössä keskitytään puhumaan vain mineraaliöljypohjaisesta hydraulinesteestä eli hydrauliöljystä. Hydrauliöljyn keskeinen ominaisuus on vähäinen kokoonpuristuvuus. Esimerkiksi mineraaliöljyn kokoonpuristuvuus on vain 0,7%. (Fluid Finland 2002, s.2.)

Muita tärkeitä ominaisuuksia ovat viskositeetti, jolla tarkoitetaan nesteen juoksevuutta. Viskositeettiin vaikuttaa käyttölämpötila ja tämän takia on tärkeää valita oikean tyyppinen hydrauliöljy, jotta se täyttää komponenttien vaatimukset sekä ympäristön vaatimukset. Hydrauliöljyn viskositeetistä puhuttaessa käytetään yleensä ISO VG -luokitusta, joka tulee ISO 3448 standardista. ISO VG -luokituksessa ilmoitetaan öljyn juoksevuus 40°C lämpötilassa. Viskositeeteistä puhuttaessa tulee usein myös vastaan yksikkö cSt (mg / KOH gr), jota sovelletaan usein SI-järjestelmän yksiköihin ja jolla tarkoitetaan juoksevuutta yksikössä mm2/s. (Teboil 2019, s.9.) Eli kun ISO VG -luokitus kasvaa niin juoksevuus vähenee ja toisin päin.

Taulukko 2. ISO VG -luokitukset (Teboil 2019, s.9).

ISO VG-luokka	**Keskiviskositeetti mm²/s/40°C lämpötilassa, jossa vaihtelurajat ± 10%**
ISO VG 2	2,2
ISO VG 3	3,2
ISO VG 5	4,6
ISO VG 7	6,8
ISO VG 10	10
ISO VG 15	15
ISO VG 22	22
ISO VG 32	32
ISO VG 46	46
ISO VG 68	68
ISO VG 100	100
ISO VG 150	150
ISO VG 220	220
ISO VG 320	320
ISO VG 460	460
ISO VG 680	680
ISO VG 1000	1000
ISO VG 1500	1500

Alle ISO VG 100 viskositeetin öljyistä puhutaan yleensä matalan viskositeetin öljyinä, joita myös tässä tutkimustyössä käytetään. Näistä yksi tyypillisin sisäolosuhteissa käytettävä on juuri tässäkin tutkimuksessa käytettävä ISO VG 32 viskositeetin öljy.

Hydrauliöljy koostuu perusöljystä ja lisäaineista. Lisäaineilla on iso merkitys, että hydrauliöljyn ominaisuudet saadaan optimaalisiksi sille tarkoitetulle käytölle ja olosuhteille. Erilaisilla lisäainetyypeillä voidaan parantaa seuraavia ominaisuuksia:

- Hapettumisen estoa
- Puhtaanapitoa
- Korroosion estoa
- Kulumisen estoa
- Paineen kestoa
- Vaahtoamisen estoa
- Jähmepisteen alentaminen
- Viskositeetti-indeksin parantamista

Näillä kaikilla ominaisuuksilla parannetaan suorituskykyä ja ominaisuuksia. (Teboil 2019, s.4.)

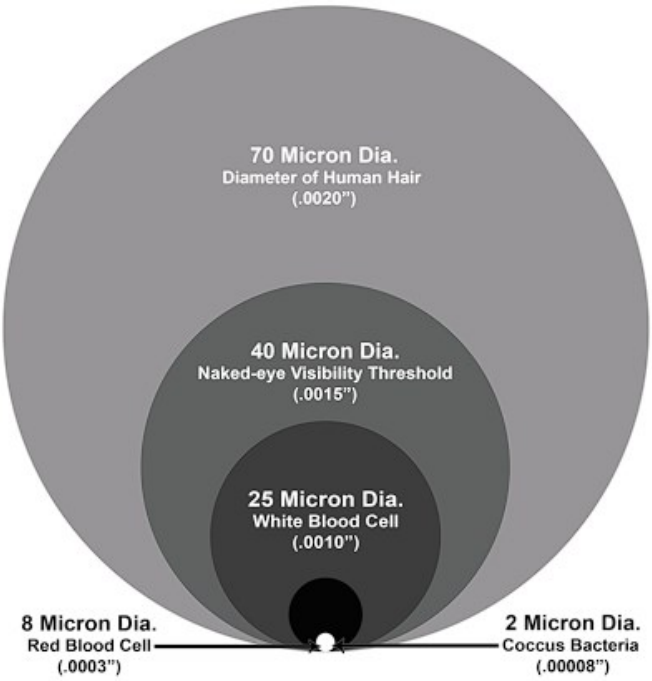
3 Hydrauliöljyn epäpuhtaudet

Suurin vikaantumisten aiheuttaja hydrauliikassa on epäpuhtaudet, jotka voivat aiheuttaa jopa 70–90% hydraulisten laitteiden vikaantumisista (Ng, F. et al. 2017, s.178). Tämän takia tässä työssä tutustutaan erityyppisiin epäpuhtauksiin ja epäpuhtauksien aiheuttamiin kulumismekanismeihin. Lisäksi on tärkeää tunnistaa epäpuhtauksien lähteet, jotta niiden pääsyä järjestelmään pystytään tietoisesti välttämään ja mahdollisesti jäljittämään. Kun puhutaan epäpuhtauksista, on niille olemassa erilaisia standardisoituja mittausmenetelmiä, joiden avulla pystytään luotettavasti mittaamaan hydrauliöljyn puhtautta. Yleisin käytössä oleva puhtausluokkien standardi on ISO 4406, joka määrittelee nesteen puhtautta eri kokoisten epäpuhtauspartikkelien määrän ja koon mukaan (Paavilainen, H 2009, s.26–27). Myös erilaisilla hydrauliikkakomponenteilla on omat puhtausluokkavaatimukset. Puhtausluokkavaatimukset voivat olla hyvinkin tiukat, koska nykyisin hydrauliikassa on yleistyneet paljon servo- ja proportionaaliventtiilit, joiden toimintaa voidaan säätää tarkasti ja välykset ovat hyvin pienet.

3.1 Epäpuhtauksien tyypit

Epäpuhtaudet voidaan jakaa kolmeen ryhmään, joita ovat järjestelmään kuulumattomat partikkelit, vesi ja ilma. Jokainen epäpuhtaustyyppi aiheuttaa omalla ominaisella tavalla haittaa järjestelmässä ja heikentää järjestelmältä vaadittavaa suorituskykyä. Epäpuhtaudet heikentävät myös voitelukykyä, lämmönsiirtoa ja aiheuttaa ongelmia liikkuvien komponenttien välillä. (Parker 2006, s.6–13.)

Epäpuhtauspartikkelit voidaan jakaa koon perusteella kahteen ryhmään, joita ovat siltti ja roskat. Siltillä tarkoitetaan alle 5 µm partikkeleita, kun taas roskat ovat suurempia kuin 5 µm. Partikkelit voidaan myös jaotella koviin ja pehmeisiin partikkeleihin. Kovia partikkeleita ovat pii, hiili ja metallit, kun taas pehmeitä partikkeleita ovat kumi, kuidut ja mikroorganismit. Kaikista haitallisimmat partikkelikoot ovat alle 14 µm, joita ei pysty näkemään paljain silmin. (Parker 2006, s.3–4.) Tämän takia tässä työssä käsiteltävien epäpuhtauspartikkeleiden kokoluokkaa on hankala hahmottaa (kuva 3).



Kuva 3. Havainnollistavaa mittakaavaa µm kokoluokasta (ISM 2023).

Vesi on yleisimpiä kemiallisia epäpuhtauksia hydraulinesteessä. Vesi heikentää hydraulinesteen fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia ja niiden vaikutukset voivat olla hyvin laajoja. Vesi aiheuttaa viskositeetin alennuksen, mikä heikentää etenkin hydraulinesteen voiteluominaisuuksia, mikä puolestaan aiheuttaa lisääntynyttä kitkaa ja kulumista. Lisäksi vesi aiheuttaa hydrauliikkakomponenteissa hapettumista, mikä voidaan helposti nähdä tankin pinnan korroosiona. Lisäksi vesi aiheuttaa hydraulinesteessä kokonaisvaltaista vahinkoa mikä voidaan havaita lisäaineiden ominaisuuksien heikkenemisenä, kemiallisena reaktiona, josta seuraa hydraulinesteen hapettumista, happojen, alkoholien tai lietteiden muodostumista nesteessä. Yleisin tunnusmerkki siitä, että vettä on päässyt sekoittumaan hydraulinesteeseen on se, että alun perin kirkas öljy muuttuu sameaksi. (Hydraulic Solutions 2016.) Konepajaolosuhteissa vesi on kuitenkin aika harvinainen epäpuhtaus, koska ympäristöolosuhteet ovat kuivat ja lämpötila on tasainen. Yleisimpiä veden lähteitä ovat kondensaatio ja ympäristöolosuhteet. Todennäköisin skenaario veden pääsylle järjestelmään tutkimuksessa vallitsevissa olosuhteissa on logistiikka tai vääränlainen öljyn varastointi. Öljyn vesipitoisuus ilmoitetaan yleensä yksikössä PPM eli 1 PPM = 0,0001 %. Vesipitoisuus ei saisi ylittää arvoa 300 PPM. (Triple, R 2023.)

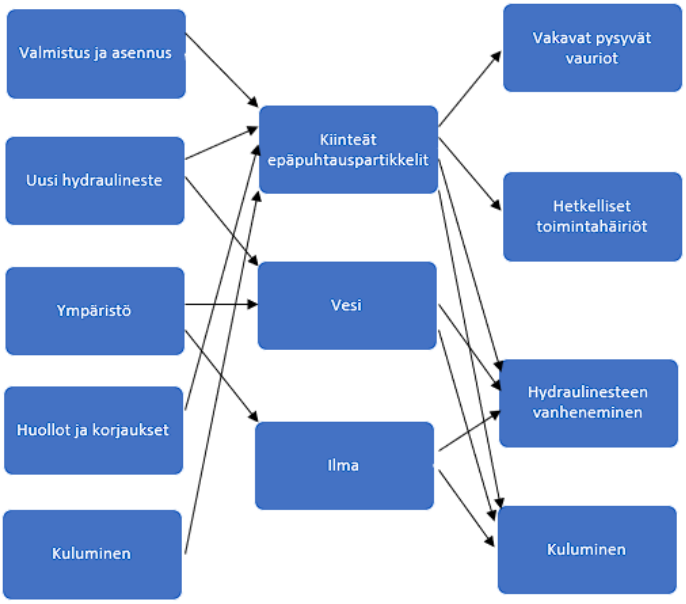
Ilma on yksi epäpuhtauslajeista, joka aiheuttaa varsinkin toiminnallisia häiriöitä hydraulijärjestelmässä. Ilma voi olla liuennut hydraulinesteeseen tai olla liukenemattomana. Varsinkin liukenematon ilma aiheuttaa paljon toiminnallisia häiriöitä kulkeutuessaan komponenttien läpi. Tämä voi aiheuttaa järjestelmässä hallitsematonta käyttäytymistä, kovia paineiskuja ja puristuessaan aiheuttaa nesteen ja koko järjestelmän kuumentumista. Myös liuennut ilma aiheuttaa vahinkoa, mutta sen vaikutukset ovat huomaamattomampia, eikä se välttämättä vaikuta järjestelmän toimintaan heti. Kokonaisvaltaisesti ilma aiheuttaa hapettumista ja lämpenemistä, mikä taas rikkoo järjestelmän komponentteja ja heikentää hydraulinesteen ominaisuuksia esimerkiksi tuhoamalla lisäaineet tai jopa perusnesteen. (Hydraulic Solutions 2016.)

Ilma on usein hapettumisen lähde, joka aiheuttaa hapettumistuotteita öljyn sekaan. Hapettumisen tyypillisimpiä ja helposti havaittavia sivutuotteita ovat öljyn seassa oleva liete ja lakka. Lietteen voi tunnistaa pahasta hajusta, tummasta väristä, kohonneesta TAN-arvosta tai kasvaneesta viskositeetistä. (C.C.Jensen 2023.) Tyypillisesti yläraja TAN-arvolle on 1,0 mg / KOH gr kun taas uuden öljyn TAN -arvo on luokkaa 0,2 mg / KOH gr (Triple R 2023). Lakkaantuminen on toinen öljyn hapettumisen lisätuote. Lakkaantumisessa eli varnissan muodostumisessa hapettunut öljy tuottaa pääasiassa orgaanista hajoamistuotetta, joka liukenee öljyn sekaan kyllästymispisteeseen saakka, jonka jälkeen sitä alkaa näkymään kerrostumina öljyssä tai jääminä järjestelmässä, useimmiten tankin pinnalla ruskeana tai keltaisena pinttymänä. Lakkaa olisi hyvä pyrkiä poistamaan jo ennen kuin neste on kylläistä ja nesteessä näkyy liukenemattomia lakkaantumisesta aiheutuneita partikkeleita. (IP-Produkter 2023.)

3.2 Epäpuhtauksien lähteet

Epäpuhtauksia voi päätyä järjestelmään ympäristöstä tai niitä syntyy järjestelmän sisällä. Järjestelmässä itsessään on suodattimia niin paluu-, kuin painepuolella, jolla pyritään jatkuvasti poistamaan epäpuhtauksia. Tämä ei aina kuitenkaan riitä. On olemassa paljon inhimillisiä tekijöitä, joiden kautta järjestelmään pääsee ulkopuolelta epäpuhtauksia ja näihin voidaan vaikuttaa oikeiden toimintatapojen ja käsittelyvälineiden käytöllä. Järjestelmän sisällä syntyviin epäpuhtauksiin on vaikeampi vaikuttaa, mutta tähänkin auttaa säännölliset huollot,

öljyn kunnon seuranta ja laitteen oikeaoppinen käyttäminen. Epäpuhtauslähteet voidaan jaotella kolmeen eri ryhmään. Nämä ovat alkuepäpuhtaudet, ympäristön epäpuhtaudet ja järjestelmän sisällä syntyneet epäpuhtaudet (kuva 4). (Kauranne, H. et al. 2013, s.377.) Myös yhtenä omana ryhmänä voidaan pitää uusien öljyjen epäpuhtauksia (Eaton 2002, s.6).



Kuva 4. Epäpuhtauksien lähteet ja niiden vaikutukset, muokattu lähteestä (Kauranne, H. et al. 2013, s.383).

Alkuepäpuhtaudet ovat jo järjestelmässä olevia epäpuhtauksia, joita on jäänyt eri komponenttien valmistuksesta tai kokoonpanovaiheesta. Näitä voivat olla erilaiset epäpuhtauspartikkelit kuten muotista jäänyt hiekka, komponenttien viimeistelystä jäänyt metallipöly tai purseet, erilaisia tiivisteiden jäämiä kokoonpanovaiheesta tai kumiset partikkelit letkujen teon yhteydessä. Lisäksi erilaiset kemialliset epäpuhtaudet ovat tyypillisiä alkuepäpuhtauksia, näiden jäämiä voi jäädä valmistuksen eri vaiheista. (Kauranne, H. et al. 2013, s.377.) Tyypillinen kemiallinen epäpuhtaus on vesi, jota voi päätyä uuden laitteen hydrauliyksikköön logistiikan eri vaiheissa kondensoitumalla. Esimerkiksi tilanteessa, jossa laite kuljetetaan kylmässä ja otetaan sisälle lämpimään varastoon. Myös sääolosuhteista voi päätyä vettä järjestelmään.

Ympäristön epäpuhtauksiksi luokitellaan kaikki epäpuhtaudet, jotka tulevat ympäristöstä järjestelmään. Näitä ovat esimerkiksi huohottimen kautta tulevat epäpuhtaudet kuten pöly ja

vesi, sylinterin männänvarrentiivisteen läpi tulevat partikkelit ja huoltotoimenpiteiden yhteydessä järjestelmään päätyvät epäpuhtaudet. (Kauranne, H. et al. 2013, s.377.) Huollon tai korjaustoimenpiteiden yhteydessä tuleviin epäpuhtauksiin voidaan erityisesti vaikuttaa oikeiden menetelmien ja puhtaiden käsittelyvälineiden avulla. Kenttäolosuhteissa tapahtuvat huolto- ja korjaustoimenpiteet ovat erittäin alttiita epäpuhtauksille ja siksi on suositeltavaa, että mahdollisuuksien mukaan työt toteutetaan puhtaissa ja mielellään korkeapaineistetussa tilassa, jotta työskentelyolosuhteet olisivat mahdollisimman puhtaita.

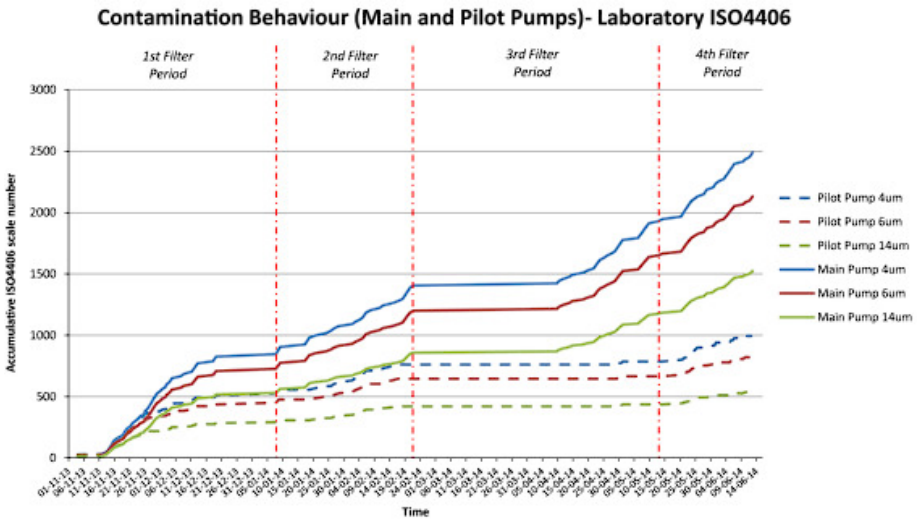
Järjestelmän sisällä syntyneet epäpuhtaudet ovat kulumisesta aiheutuneita partikkeleita, jotka jäävät kiertämään järjestelmään ja aiheuttavat lisää kulumista erilaisin kulumismekanismein, joita käsitellään seuraavassa alaluvussa. Järjestelmän sisällä syntyneet epäpuhtaudet ja muut epäpuhtausryhmät aiheuttavat järjestelmässä noidankehän, jossa epäpuhtauksien määrän lisääntyessä myös kuluminen lisääntyy ja tilanne pahenee. Järjestelmän sisällä syntyneet epäpuhtaudet ovat usein hankalia, koska ne havaitaan liian myöhään. On kuitenkin asioita, joista niitä voidaan huomata, kuten epänormaali lämpeneminen, laitteen toimintahäiriöt tai jopa suodattimen tukkeutuminen. Mekaanisten komponenttien kulumisen lisäksi, myös hydraulineste voi menettää ominaisuuksia ja alkaa muodostamaan kemiallisesti erilaisia epäpuhtauksia kuten lakkaa ja lietettä. (Kauranne, H. et al. 2013, s.378.) Varsinkin järjestelmän sisällä syntyneitä epäpuhtauksia vastaan paras lääke on ennakoiva kunnossapito.

Neljäs ja tuntemattomin epäpuhtauksien lähde on uusi öljy, mitä aina ei edes tunnisteta epäpuhtauksien lähteeksi. Lähteestä riippuen tätä pidetään epäpuhtauslähteenä. Esimerkiksi suuret hydrauliikkakomponenttien valmistajat kuten Eaton ja Parker pitävät uutta öljyä ihan omana epäpuhtauden lähteenä (Eaton 2002, s.6; Parker 2006, s.7). Uusia hydrauliöljyjä käsitellään valmistus- ja toimitusvaiheessa suurella volyymillä useissa isoissa säiliöissä. Tämän takia prosessista jää epäpuhtauksia öljyyn, eikä tämän kokoluokan käsittelyssä ole mahdollista ja kustannustehokasta tehdä öljylle hienosuodatusta, jotta öljyn puhtaus vastaisi sen käyttövaatimuksia. Tämän tiedon on vahvistanut myös tässä työssä tutkittavan hydrauliöljyn toimittaja. Esisuodatus jää käyttäjän vastuulle. Tämän työn keskeinen tarkoitus on tutkia toimittajalta tulevan öljyn puhtautta ja kehittää kustannustehokas esisuodatus hydrauliikkaöljyn jakeluun. Tässä lisäksi käytetään vertailukohtina laitevalmistajan puhtausvaatimuksia ja uusien hydrauliöljyjen puhtaustaso on tarkoitus viedä laitevalmistajien määrittelemälle vaatimustasolle.

3.3 Epäpuhtauksien kulumismekanismit

Hydrauliikassa epäpuhtaudet aiheuttavat kulumista eri kulumismekanismeilla. Kulumismekanismi riippuu epäpuhtauden tyypistä, materiaalista ja epäpuhtauspartikkeleiden koosta. Jokaiselle epäpuhtaudelle on olemassa sille tyypillinen kulumismekanismi. Yleisimmät kulumismekanismit ovat abrassiivinen kuluminen, eroosiokuluminen, adhessiivinen kuluminen ja pintaväsymismurtumisesta johtuva kuluminen. (Kauranne, H. et al. 2013, s.380.) Lisäksi muita kulumismekanismeja ovat korroosiokuluminen, hapettumiskuluminen ja kavitaatiokuluminen (Parker 2006, s.5). Kulumismekanismeista syntyneitä epäpuhtauksia kutsutaan järjestelmän sisällä syntyneiksi epäpuhtauksiksi. Tämä tarkoittaa, että oli epäpuhtauden lähde mikä tahansa kolmesta epäpuhtauslähteestä; alkuepäpuhtaudet, ympäristön epäpuhtaudet tai järjestelmän sisällä syntynyt epäpuhtaus niin se lisää entisestään kulumista järjestelmän sisällä syntyvistä uusista epäpuhtauksista. Tämän takia epäpuhtaudet aiheuttavat nopeutunutta kulumista ja lisää epäpuhtauspartikkeleiden määrää kulumisen seurauksena. (Kauranne, H. et al. 2013, s.380.)

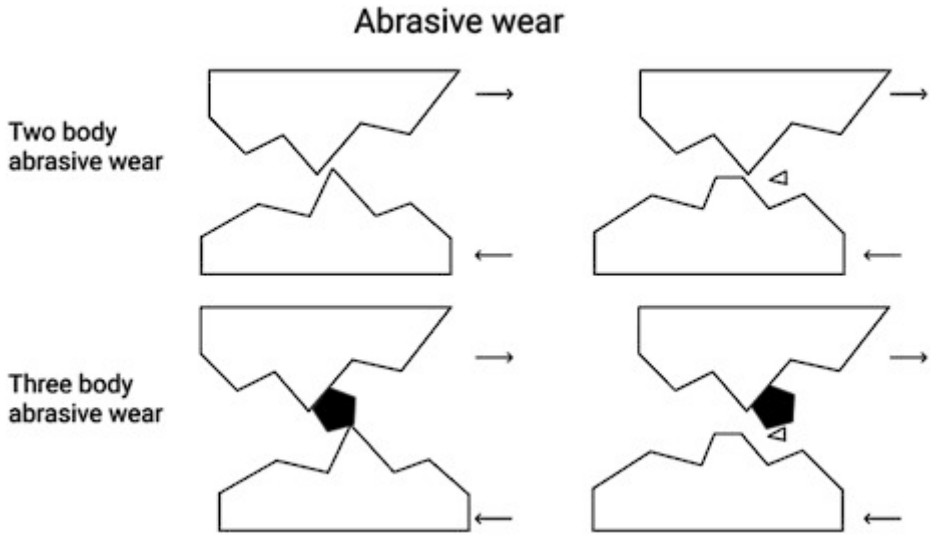
Tätä samaa ilmiötä havainnollistaa (kuva 5) eräästä tutkimuksesta, jossa epäpuhtauksien seuranta on toteutettu kiinteällä kunnonvalvontalaitteistolla osana tutkimusta, jolla pyritään parantamaan kaivinkoneen suorituskykyä epäpuhtauksien seurannan avulla. (Ng, F. et al. 2017, s.186).



Kuva 5. ISO 4406 standardin mukainen jatkuva kunnonvalvonta hydrauliikkaöljylle (Ng, F. et al. 2017, s.186).

Yksi hydrauliikkajärjestelmän yleisimmistä kulumismekanismeista on abrassiivinen kuluminen, jota voidaan myös sanoa hiontakulumiseksi. Tässä kulumismekanismissa kulumisen aiheuttaa epäpuhtauspartikkelit, joiden koko on lähellä järjestelmän liikkuvien komponenttien kuten venttiilien tai pumppujen välystä. Yleensä tässä kulumismekanismissa puhutaan 5–20 µm kokoisista epäpuhtauspartikkeleista. Nämä epäpuhtauspartikkelit osittain järjestelmän kovan paineen takia pääsevät liikkuvien komponenttien välysten väliin ja aiheuttavat siellä kulumista ja lisää epäpuhtauspartikkeleita. Lisäksi nämä epäpuhtauspartikkelit voivat murskaantua ja muuttua useammaksi pienemmäksi epäpuhtauspartikkeliksi. Vahingollista ilmiössä on myös se, että nämä välyspinnoista irtoavat hiukkaset karkaistuvat tässä kulumismuodossa ja muuttuvat entistä kovemmiksi materiaaleiksi. Tämä entisestään kiihdyttää kulumista. (Kauranne, H. et al. 2013, s.380–381.)

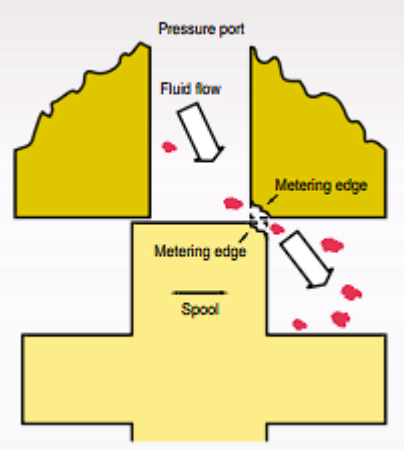
Abrassiivista kulumista on olemassa kahta eri tyyppiä. Kahden kappaleen välistä kulumista tai kolmen kappaleen välistä kulumista (kuva 6). Näille erityyppisille abrassiivisen kulumisen muodoille on kuitenkin yhteistä, että kovempi materiaali kuluttaa pehmeämpää. (Velling, A. 2019.) Molempia abrassiivisen kulumisen mekanismeja esiintyy hydrauliikassa, mutta kolmen kappaleen välinen abrassiivinen kuluminen on paljon yleisempää ja se liittyy aikaisemmin puhuttuun välysten välissä olevan epäpuhtauden aiheuttamaan hioutumiseen, mikä aiheuttaa entisestään lisää kovaksi karkaistuja partikkeleita ja näistä voidaan puhua jopa hioma-aineena.



Kuva 6. Havainnollistava kuva abrassiivisesta kulumisesta (Velling, A. 2019).

Eroosiokuluminen on myös yksi yleisimmistä kulumismekanismeista hydrauliikassa, joka tarkoittaa hydraulinesteen mukana kulkeutuvien epäpuhtauspartikkeleiden iskeytymistä virtauskanavan seinämiin. Tätä kulumista tehostaa kova paine ja virtausnopeudet. Kulumismekanismi perustuu epäpuhtauspartikkelin liike-energiaan, jossa se törmäyksen yhteydessä virtauskanavan seinämään joko aiheuttaa pintavaurion tai irrottaa seinämästä materiaalia. Tyypillinen epäpuhtauspartikkelin koko tässä kulumismekanismissa on alle 5 µm ja tämä kulumismekanismi on erityisen haitallinen pienille virtauskanaville, joita ovat usein venttiilin karat ja rungot. (Kauranne, H. et al. 2013, s. 381.)

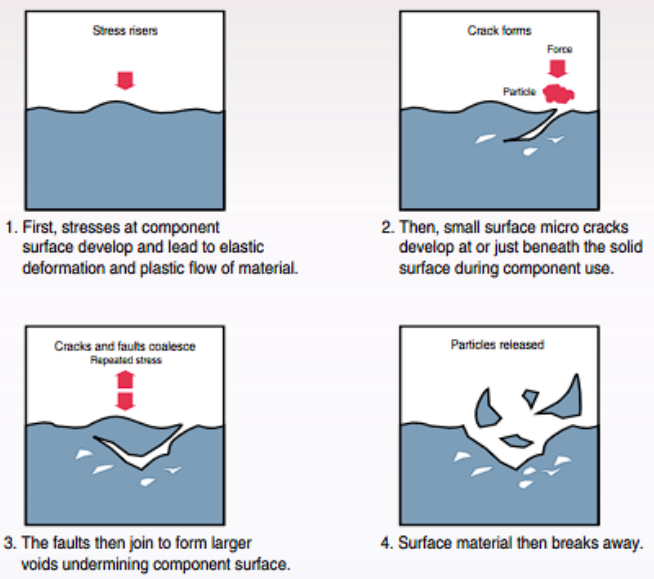
Kuvassa (kuva 7) on havainnollistava tilanne siitä, kun hydraulineste pyrkii menemään venttiilin ahtaasta virtauskanavasta ja hydraulinesteen mukana virtaavat epäpuhtauspartikkelit törmäilevät virtauskanavan ahtaimpien kohtien reunoihin kuluttaen samalla sitä. Tämä myös kasvattaa epäpuhtauspartikkeleiden määrää, joka entisestään kiihdyttää kulumista.



Kuva 7. Havainnollistava kuva eroosiokulumisesta venttiileissä (Eaton 2002, s.10).

Pintaväsymismurtuma on myös yleinen hydrauliikkakomponenteissa. Tämä johtuu kahden yleensä vierivän kappaleen väliin tunkeutuvasta epäpuhtauspartikkelista, jonka koko on suurempi kuin liikkuvien kappaleiden öljykalvo. Suuren voiman takia kova epäpuhtauspartikkeli tunkeutuu suojaavan öljykalvon läpi materiaalin pintaan aiheuttaen pinnan murtumista. Yleensä tätä kulumisilmiötä tapahtuu vierivien komponenttien välissä, joita voi hydrauliikassa olla hammaspyöräpumppu tai laakeri. (Kauranne, H. et al. 2013, s. 381.)

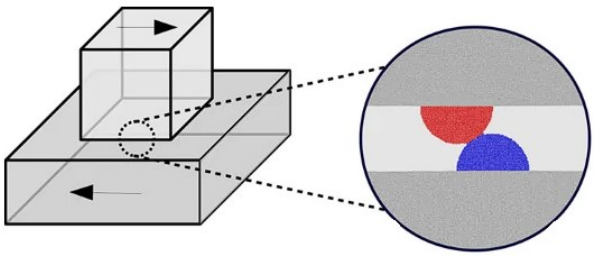
Pintaväsymismurtuma tapahtuu usein vaiheittain kuvan (kuva 8) mukaisesti. Alussa kappaleiden välinen paine, jonka välissä epäpuhtauspartikkeli on, väsyttää pintoja ja aiheuttaa pinnassa rakenteellista vahinkoa eli mikromurtuman. Seuraavassa vaiheessa murtunut pinta rikkoutuu ja tämä aiheuttaa lisää epäpuhtauksia järjestelmään. Lisäksi murtuneesta kohdasta lähtee materiaalia ja tämä aiheuttaa potentiaalisen kohdan abrassiiviselle kulumiselle. (Eaton 2002, s.8–10.)



Kuva 8. Havainnollistava kuva pintaväsymismurtuman eri vaiheista (Eaton 2002, s.10).

Adhessiivisessa kulumisessa hydraulinesteelle ominainen voiteluominaisuus pettää. Tämä tarkoittaa suojaavan öljykalvon puuttumista, mikä aiheuttaa liikkuvien kappaleiden välille kitkaa. Adhessiivinen kuluminen ei aiheudu partikkelimaisista epäpuhtauksista vaan hydraulinesteen kemiallisista epäpuhtauksista, joista pahin on vesi. Lisäksi ilma tai muut kemialliset epäpuhtaudet voivat saastuttaa hydraulinesteen, jolloin se menettää voiteluominaisuutensa. (Eaton 2002, s.8.)

Adhessiivisen kulumisen vaiheita ovat suojaavan öljykalvon pettäminen, jonka jälkeen liikkuvat pinnat ottavat yhteen aiheuttaen kovan kitkan ja paikallisen hitsaantumisen. Tämän jälkeen hitsaantunut alue irtoaa ja voi aiheuttaa irrotessaan abrassiivista kulumista tai eroosiokulumista kappaleiden välillä (kuva 9).



Kuva 9. Havainnollistava kuva adhessiivisesta kulumisesta (Aghababaei, R., Warner, D. & Molinari, JF. 2016, s.2).

Muita kulumismekanismeja ovat korroosiokuluminen, hapettumiskuluminen ja kavitaatiokuluminen, joiden aiheuttajina on yleensä kemiallisista epäpuhtauksista vesi tai ilma. Vesi aiheuttaa korroosiokulumista komponenttien, varsinkin tankin pintaan. Tämä tarkoittaa hapettumisen seurauksena ruosteen, lietteen ja lakan muodostumista, joka voi päätyä järjestelmään ja aiheuttaa varsinkin abrassiivista- ja eroosiokulumista. Hapettumiskuluminen ja kavitaatiokulumisen keskeinen epäpuhtaus on ilma, jota pääsee hydrauliikkaöljyn sekaan. Nämä voivat aiheuttaa monenlaisia kulumisia, kuten voitelun pettämistä sen seurauksena adhessiivista kulumista, mutta myös paineiskuja järjestelmään, joka voi aiheuttaa pintaväsymysmurtumia tai muita vaurioita järjestelmässä. (Eaton 2002, s.8.)

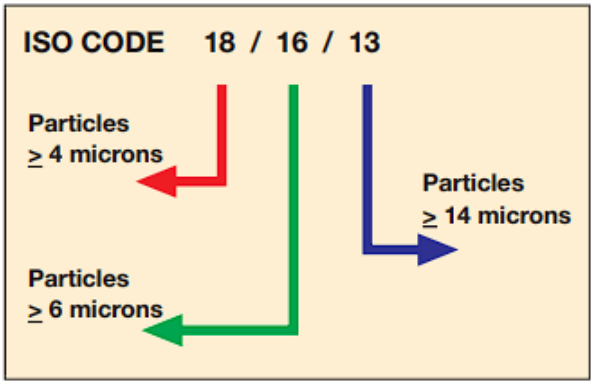
3.4 Puhtausluokka

Puhtausluokan tarkoitus on kuvata hydraulinesteen puhtautta. Tämä tarkoittaa, että puhtausluokka kuvaa hydraulinesteen puhtautta ilmaisemalla kuinka paljon hydraulinesteessä on siihen kuulumattomia partikkeleita ja minkä kokoisia ne ovat. Kun puhutaan hydraulinesteen puhtaudesta, on tärkeää, että sitä voidaan mitata luotettavasti ja että kansainvälisesti on olemassa yhteiset standardisoidut käytännöt hydraulinesteen puhtauden ilmoittamiseen. Kun hydraulikomponenttien valmistajilla ja käyttäjillä on olemassa yhteinen konsensus asiassa niin huolto, suunnittelu, käyttö ja osaaminen kohtaavat paljon paremmin. Komponenttivalmistajat määrittelevät komponenteille vaadittavan puhtausluokan, missä perusteena käytetään käytettäviä paineita, välyksiä ja virtauskanavien kokoa eli kuinka puhdasta hydrauli-

nesteen tulisi olla, että komponentti tai laitekokonaisuus toimisi halutusti ilman ennenaikaista vikaantumista. Käyttäjillä on vastuu huolehtia komponenttien ja laitteiden puhtausvaatimuksista säännöllisin huolloin, öljyanalyysein ja oikeiden käyttötapojen ja -ympäristön valinnoilla. Yleisimmin käytettyjä puhtausluokkien standardeja ovat ISO 4406, NAS 1638 ja SAE AS 4059. Kaikki nämä standardit perustuvat epäpuhtaushiukkaskokojakauman ja kokonaismäärän ilmaisemiseen. ISO 4406 on yleisin käytettävä standardi puhtausluokkien ilmaisemiseen ja tässä työssä ja tämän työn tutkimuksessa keskitytään käyttämään pelkästään ISO 4406 standardia. (Kauranne, H. et al. 2013, s. 384; Paavilainen, H 2009, s. 26.)

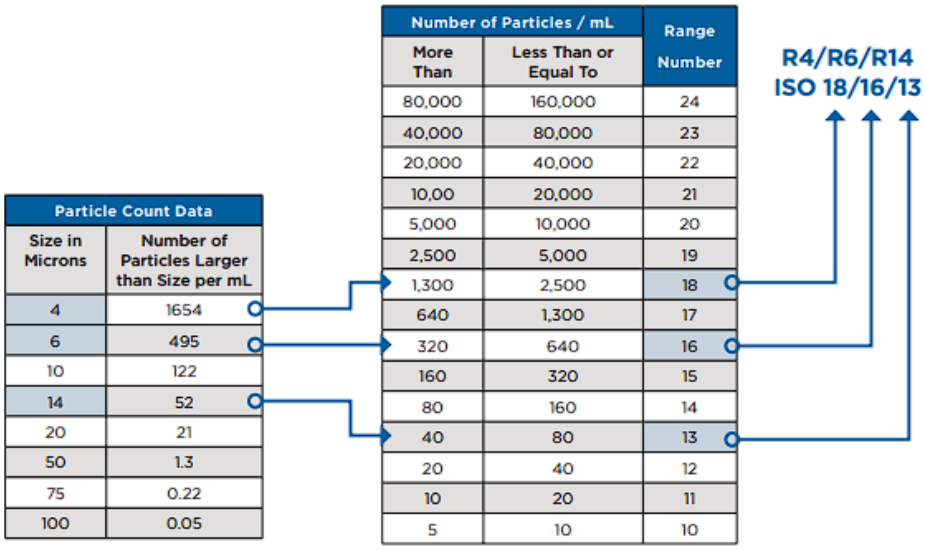
ISO 4406 standardista on olemassa useita päivitettyjä versioita, mutta tässä tutkimuksessa puhutaan ISO 4406:1999 versiosta, joka on vieläkin yleisesti käytetty. ISO 4406:1999 standardi perustuu kolmen eri kokoisten partikkeleiden mittaamiseen 100 ml tilavuudesta öljyä. Nämä kokoluokat ovat ≥4 µm, ≥6 µm ja ≥14 µm. Tällä tavalla saadaan selvitettyä epäpuhtauspartikkeleiden kokojakauma. Ennen ISO 4406:1999 versiota laskettavat hiukkaskoot olivat 5 µm ja 15 µm ja tämän laskentatavan heikkoutena on pidetty, että pienin tutkittava partikkelikoko on 5 µm, joka jättää paljon alle 5 µm epäpuhtauspartikkeleita huomioimatta ja tämä on ollut ongelmallista. Osa suurista hydrauliikkakomponenttien valmistajista on ottanut jo ennen tätä 1999 tullutta päivitystä käyttöön kolmen eri kokoluokan epäpuhtauspartikkeleiden laskennan ja sitä on toteutettu kokoluokissa 2 µm, 5 µm ja 15 µm. ISO 4406:1999 päivityksessä tuli myös uusi tarkastettu kalibrointimenetelmä, jossa vanhat ilmoitetut 2 µm, 5 µm ja 15 µm vastaavat nykyisin ilmoitettavia 4 µm, 6 µm ja 14 µm kokoluokkia. Joskus standardin perässä on (c) -merkintä, jolla tarkoitetaan juuri tätä uutta mittaustapaa, joka toteutetaan automaattisella optisella mikroskoopilla ISO 11500 mukaisesti, joka myös kalibroidaan standardin ISO 11171 mukaisesti. Uusi mittaustapa mittaa epäpuhtauspartikkelin pinta-alaa muuttaen sen vastaavan kokoisen ympyrän halkaisijaksi ja tällä menetelmällä ilmaisee partikkelin koon mikrometreissä. (Bensch, L & Pall Corporation 2000; Eaton 2002, s.4; Promaint 2011.) ISO 4406:1999 version jälkeen on julkaistu vielä päivityksiä 2017 ja 2021, mutta niissä ei ole merkittäviä muutoksia. Ainut mainittava muutos on, että ISO 4406:2021 versiossa epäpuhtauspartikkeleiden lukumäärää tarkastellaan 1 ml tilavuudelta. Tosin ISO 4406:1999 ja ISO 4406:2021 ovat silti täysin verrannollisia, koska verrattavien partikkeleiden määrä muuttuu samassa suhteessa ISO-koodin määrittävässä luokittelutaulukossa.

ISO 4406 -standardissa puhutaan ISO-koodista, jolla ilmaistaan öljyn puhtautta kolmen numeron avulla ja jolla viitataan standardissa käytettyjen 4 µm, 6 µm ja 14 µm kokoluokan partikkeleiden lukumäärään (kuva 10). Näitä numeroita voidaan kutsua luokitusnumeroiksi.



Kuva 10. ISO-koodi (Parker 2006, s.14).

Luokitusnumerot määräytyvät erillisestä standardin mukaisesta luokittelutaulukosta (kuva 11), jossa ensimmäinen luku määrittää partikkelimäärän ≥4 µm, toinen luku partikkelimäärän ≥6 µm ja kolmas luku partikkelimäärän ≥14 µm taulukosta. Taulukko, josta ISO-koodin numerot tulevat kutsutaan luokitustaulukoksi.



Kuva 11. ISO-koodin määräytyminen ja luokitustaulukko (Des-Case 2021).

Luokitustaulukossa luokitusnumeroa määrittelevät partikkelimäärien raja-arvot kasvavat kaksinkertaiseksi aina kun taulukossa noustaan seuraavaan luokkaan.

Puhtausluokkavaatimukset määräytyvät käytettävien komponenttien ja painetasojen mukaan. Lisäksi komponenttivalmistajilla voi olla hieman vaihtelevia vaatimuksia, mutta karkeasti puhtausluokkien vaatimukset eri komponenteille esiintyy hyvin kuvassa (kuva 12), jossa hyvänä referenssinä nähdään uuden tynnyrissä olevan öljyn puhtaus suhteessa vaadittuihin puhtausluokkiin. (Parker 2006, s.16.)

Fluid Cleanliness Required for Typical Hydraulic Components

Components	ISO Code
Servo control valves	16 / 14 / 11
Proportional valves	17 / 15 / 12
Valve & piston pumps / motors	18 / 16 / 13
Directional & pressure control valves	18 / 16 / 13
Gear pumps / motors	19 / 17 / 14
Flow control valves, cylinders	20 / 18 / 15
New unused fluid	20 / 18 / 15

Kuva 12. Puhtausluokkavaatimukset (Parker 2006, s.16).

Eri komponenttivalmistajien puhtausluokkavaatimukset ovat yleensä lähes saman suuntaisia. Puhtausluokkavaatimuksissa vaihtelua on yleensä vain yksi puhtausluokka.

4 Käsittely- ja käyttöympäristö epäpuhtauksien lähteenä

Tässä diplomityössä halutaan käsitellä myös hydrauliikkaöljyn käsittely- ja käyttöympäristön vaikutuksia epäpuhtauksien lähteenä, koska useimmiten tämä kokonaisuus jää vähemmälle huomiolle. Myös yrityksissä hydrauliikkaöljyjen varastointi ja käsittely eivät ole keskeisiä asioita, joihin panostetaan. Todellisuudessa hydrauliöljyn käsittely ennen kuin se päätyy käyttöön sisältää useita vaiheita, joissa on mahdollisuus päästää epäpuhtauksia öljyyn. Näitä käsittelyvaiheita on logistiikka, varastointi, jakelupisteet, esisuodatus ja itse öljyn käsittely käyttöön. Jokaisessa käsittelyvaiheessa on olemassa riskit ja näiden riskien minimointi on toteutettavissa erittäin kustannustehokkaasti, eikä vaadi isoja investointeja tai ylläpitokustannuksia.

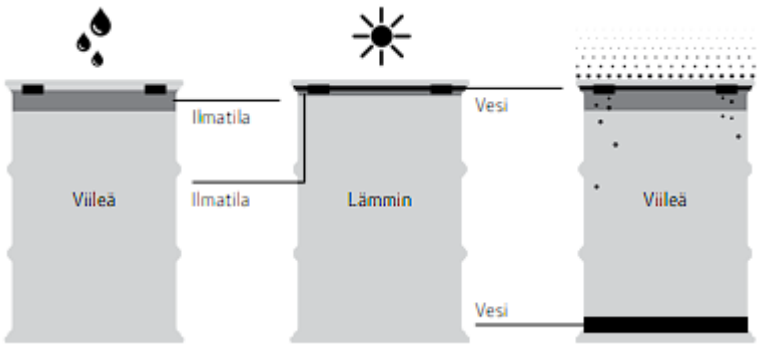
4.1 Logistiikka

Öljyä käsitellään valmistusvaiheessa erittäin suurissa erissä, josta sitä aletaan toimittamaan toimitusketjussa eteenpäin. Öljyn käsittelymäärät ovat suuria, joten on kannattamatonta suodattaa öljy vastaamaan kuluttajien haluamaa puhtaustasoa jo tuotantovaiheessa. Lisäksi öljyn käsittelyssä säiliöstä toiseen on aina riski epäpuhtauksien pääsylle nesteeseen. Tämän takia voi olla jopa järkevää jättää viimeinen suodatus aivan ketjun loppupäähän ennen käyttöönottoa, mutta toisaalta tämä voi olla vastuutonta myydä käyttövalmista tuotetta, mitä se ei varsinaisesti ole. Öljytoimittajien toimittaman öljyn ISO 4406 standardin mukainen puhtausluokka on lähteestä riippuen yleensä hyvin lähellä 20/19/17 puhtaustasoa, joka on mitattu tämän tutkimustyön yhteydessä avaamattomasta tynnyristä. Valmistuksessa ja logistiikassa on useita riskejä öljyn saastumiselle, kun öljyä siirretään. Jokainen säiliöiden välinen siirto altistaa öljyn ilmassa oleville epäpuhtauksille. Lisäksi logistiikassa sää- ja lämpötilaolosuhteet voivat vaihdella, mikä lisää myös mahdollisuutta altistua epäpuhtauksille ja kosteudelle. Logistiikkaketju voi olla hyvinkin pitkä ja se sisältää useita erilaisia välivarastoja ennen asiakkaalle saapumista. Bulkkina öljyä voidaan siirtää jopa kahdeksan kertaa uuteen astiaan ennen kuin se päätyy laitteeseen, tämän takia uusi öljy voi sisältää jopa 32-kertaisen määrän epäpuhtauspartikkeleita verrattuna öljyn puhtausvaatimukseen (Chevron 2020 s.13–19).

4.2 Varastointi

Teollisuusympäristössä öljyn varastointi tapahtuu yleensä 208 litran tynnyreissä. Varastointi on siinä mielessä mielenkiintoinen käsittelyvaihe, että se toimii usean eri prosessin ja toimijan risteyskohtana, jossa useimmiten toimittajan kuljetusliike luovuttaa tynnyrin asiakkaalle ja asiakas varastoi öljyn odottamaan käyttöä. Tämä asiakkaan varastointia hoitava organisaatio voi olla täysin eri mikä vastaa öljyn loppukäytöstä. Tässä välissä on mahdollisuus useaan virheeseen tai vahinkoon, joka voi johtaa öljyn saastumiseen. Näitä virheitä voi olla öljytynnyrin vahingoittuminen esimerkiksi trukilla tapahtuvien siirtojen yhteydessä tai vääränlainen säilytystapa.

Oikea varastointitapa tarkoittaa, että öljytynnyriä tulisi säilyttää puhtaassa, tasalämpöisessä paikassa ja vähimmäisvaatimuksena säältä suojassa. Öljytynnyri ei ole täysin tiivis ja lämpötilaerot aiheuttavat öljyssä lämpölaajentumista, minkä vaikutuksesta öljytynnyrin ilmataskun tilavuus saattaa vaihdella (kuva 13). (John Deere 2023, s.8.)



Kuva 13. Tynnyriin voi kondensoitua vettä johtuen lämpötilaerosta ja ilmankosteudesta (John Deere 2023, s.8).

Kun lämpimästä tuotu öljytynnyri varastoidaan viileään tilaan, tämä aiheuttaa lämpölaajentumisena tunnetun ilmiön, jossa aineen tilavuus pienenee jäähtyessä. Tämä aiheuttaa tynnyrin sisällä alipainetta. Uudetkaan tynnyrit eivät ole täysin tiiviitä, vaan alipaineen seurauksena tynnyriin voi päästä epäpuhtauksia. (Noria Corporation 2014.) Tämä ilmiö korostuu etenkin jo avattujen tynnyreiden osalta, joiden tiiveys ei ole samaa luokkaa kuin avaamattomien tynnyreiden. Tämän takia on tärkeää, että jo avatut tynnyrit säilytetään oikeaoppisesti.

Öljytynnyreiden säilytykseen on olemassa ohjeita, joita noudattamalla voidaan välttää epäpuhtaudet, näitä ovat tynnyreiden säilytys tasalämpöisessä tilassa, joka on kuitenkin viileä, mutta + °C puolella. Tilassa tulisi olla hyvä ilmanvaihto, jotta tilassa ei olisi kosteutta. Tila on puhdas ja sitä pidetään aktiivisesti puhtaana. Tynnyriä avatessa tulisi pyyhkiä korkin ympärys epäpuhtauksista. Jos tynnyri on jo avattu, paras säilytysasento on vaakatasossa siten, että tynnyrin korkit ovat kello 3 ja kello 9 asennoissa, jolloin öljyn pinta peittää korkkien aukot ja pitää ne tiiviinä, mikäli tynnyrissä on öljyä yli puolet sen nimellistilavuudesta. Jos tynnyreitä ei voida säilyttää sisätiloissa niin tynnyrit tulisi suojata säältä, ettei korkkien päälle tule vettä. Tähän ratkaisuna on säilytys vaaka-asennossa tai pystyssä siten, että tynnyri on kallistettu niin, ettei vettä ole korkkien päällä. Lisäksi säilytyksessä on ehdottoman tärkeää, riippumatta onko tynnyri sisällä vai ulkona, että korkit on kiristetty hyvin, jotta korkin tiiveys olisi mahdollisimman hyvä. (Allis, M. 2008; Godin, F.2021.)

4.3 Esisuodatus

Esisuodatuksella tarkoitetaan käytettävän uuden öljyn suodattamista ennen käyttöönottoa. Uusien öljyjen puhtausluokat eivät riitä hydrauliikkakomponenttivalmistajien puhtausluokkavaatimuksiin ja pienivälyksisissä komponenteissa vaadittava puhtausluokka on jopa hyvin kaukana uuden öljyn puhtaudesta. Tässä tutkimuksessa mitattiin juuri toimittajalta saapuneen Mobil DTE 10 Excel 32 öljytynnyrin puhtausluokaksi 20/19/17, mikä vastaa myös toimittajan itse ilmoittamaa puhtausluokkaa. Öljyvalmistajasta riippuen uuden öljyn puhtausluokka on lähellä luokkaa 20/19/17, yleensä välillä 17/16/14–20/18/15, lähteestä riippuen (Parker 2006, s.16; Eaton 2002, s.6). Puhtausvaatimukset taas ovat usein välillä 16/14/11–20/18/15 riippuen komponentin välyksistä ja järjestelmän käyttöpaineesta (Des-Case 2021). Esisuodatukselle on olemassa yleinen suositus, jossa uusi öljy tulisi suodattaa 3 µm suodattimen läpi, kun puhutaan alle ISO VG 100 eli alhaisen viskositeetin öljyistä, joka kattaa lähes kaikki sisäolosuhteissa käytettävät hydrauliöljyt ml. tässä tutkimustyössä käytettävän DTE 10 Excel 32 (Noria Corporation 2015). Tämän takia ennen öljyn käyttöönottoa tulee tehdä esisuodatus, jonka toteutukseen on useita menetelmiä, jotka riippuvat käyttökohteesta, käytettävistä välineistä ja puhtausvaatimuksista. Pelkistetysti esisuodatus toteutetaan niin, että uusi öljy pumpataan suodattimen läpi ja suodattimen tiheys määritellään halutun puhtauden mukaan. On helpompi ja kustannustehokkaampi menetelmä estää epäpuhtauksien pääsy järjestelmään kuin puhdistaa järjestelmää jälkikäteen.

Yleisin menetelmä esisuodatukselle on, että käytettävä öljy pumpataan suodattimilla varustetun pumppukärryn tai muun suodattavan erillisen yksikön läpi laitteeseen tai erilliseen säiliöön, josta jakelu tapahtuu. Tämä on käytännöllinen menetelmä, koska pumppuyksikköön on helppo lisätä suodatinyksikkö. Tämä menetelmä on myös kustannustehokas ja monikäyttöinen. (Cross 2023.)

Toinen yleinen esisuodatusmenetelmä on pumpata öljy laitteen tankkiin järjestelmän paluusuodattimen kautta. Tämä onnistuu helposti tekemällä T-yhde järjestelmän paluulinjaan, jossa pikaliittimen kautta öljy pumpataan järjestelmään paluusuodattimen läpi. (Cross 2023.) Tämä menetelmä vaatii kuitenkin osaamista, koska järjestelmää on muokattava ja näitä valmiuksia on harvoin järjestelmässä jo valmiina. Tämä menetelmä olisi hyvä ottaa huomioon jo järjestelmän suunnitteluvaiheessa, jolloin se on helppo toteuttaa järjestelmän valmistusvaiheessa. Tämän menetelmän etuja on, että ulkoisten epäpuhtauksien pääsy on epätodennäköistä öljyn lisäyksen tai täytön yhteydessä.

Yksi menetelmä, joka myös toteutetaan tämän tutkimus- ja kehitystyön yhteydessä, on rakentaa integroitu esisuodatus öljyn jakelun yhteyteen. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että öljyn jakelu toteutetaan pumppaamalla öljy tynnyreistä suoraan annosteltavaksi. Tällöin pumpun ja annostelulaitteen väliin tulee lisätä suodatin. Tässä kehitystyössä öljynjakelupisteessä on omat öljytynnyrivarastot. Tynnyreistä öljy pumpataan siirtolinjaa pitkin jakelupistoolille. Siirtolinjaan on lisätty suodatin, jonka läpi öljyä pumpataan jakelupistoolille. Tämä on kätevä ratkaisu, kun halutaan, että öljy on jo jakelupisteestä annosteltaessa puhdasta. Tämä on lisäksi halpa toteuttaa ja erittäin käytännöllinen ratkaisu.

Lisäksi on myös menetelmä, jossa uudet öljyt esisuodatetaan jo tynnyreissä tai isommissa astioissa ennen niiden käyttöä. Tämä toteutetaan erillisen öljynpuhdistusyksikön eli sivuvirtaussuodatinyksikön avulla, joka kierrättää uutta öljyä puhdistusyksikön läpi puhdistamalla sitä samalla. Tämän jälkeen alkuperäisessä astiassa oleva uusi öljy on puhdasta. Tämän menetelmän etuja on, jos astiaa halutaan liikutella tai esisuodatus on hankalasti toteutettavissa olosuhteista johtuen. Esimerkiksi kenttäolosuhteet saattavat olla haastavia tai käytettävissä ei ole tarvittavaa laitteistoa.

4.4 Jakelu ja käsittely

Erityisesti öljyn jakelussa ja sen käsittelyssä on iso riski öljyn saastumiselle. Käsittelyllä ja jakelulla tarkoitetaan toimenpiteitä, jossa öljyä siirretään astiasta toiseen tai loppuvaiheessa järjestelmään. Aina kun öljyä käsitellään, se on altis ympäristön epäpuhtauksille, joiden lähteenä voi olla epäpuhtaat käsittelyvälineet, likainen ympäristö, inhimilliset virheet ja väärät menettelytavat.

Epäpuhtailla käsittelyvälineillä tarkoitetaan saastuneita öljynkäsittelyvälineitä, joita voi olla jakeluastiat, öljybaarit, siirtopumput, annostelulaitteet tai muut välineet, jotka ovat kosketuksessa öljyyn. Näiden välineiden epäpuhtauksien lähteet ovat yleensä ympäristöstä tulevia epäpuhtauspartikkeleita. Toinen yleinen lähde on, että välineillä on käsitelty muita nesteitä kuten vettä, kemikaaleja tai muita öljylaatuja. (Allis, M. 2008.) Paras keino välttää epäpuhtauksien siirtyminen käsittelyvälineiden kautta järjestelmään on astioiden säilytys puhtaissa tiloissa, selkeät toimintatavat ja välineiden koodaus siten, että niillä käsitellään vain sille tarkoitettuja nesteitä tai öljylaatuja. Myös siirtoastioiden laatu ja sen sopivuus käyttötarkoitukseen on huomioitava, esimerkiksi galvanoidut astiat saattavat reagoida lisäaineiden kanssa tuottamalla epäpuhtautta öljyn sekaan. Lisäksi on kiinnitettävä huomiota käsittelyvälineiden tiiveyteen, joka suojaa sitä ympäristön epäpuhtauksilta. Esimerkiksi öljynjakelupisteinä voi olla säiliöitä, joista annostellaan öljy ja ne eivät välttämättä ole täysin tiiviitä. Tämän takia on hyvä miettiä jakelun osalta, kuinka voidaan toimia niin, ettei turhia ympäristön epäpuhtauksien altistumisia tule. (Godin, F. 2021.) Esimerkiksi voidaanko öljy pumpata ja suodattaa suoraan tynnyristä laitteeseen. Aina tämä ei ole mahdollista, mutta tilanteen tiedostaminen ja työtapojen optimointi auttaa tässä.

Epäpuhdas ympäristö on monesti juurisyy epäpuhtauksien pääsylle järjestelmään. Ympäristön epäpuhtauksiin ei voida aina vaikuttaa, mutta tilanteissa, jossa pystytään ympäristöä pitämään puhtaana esimerkiksi säännöllisellä siivoamisella, niin tämä kannattaa toteuttaa. Esimerkiksi öljyvarastoissa ja tiloissa, joissa säilytetään käsittelyvälineistöä. Ympäristön epäpuhtauksia voidaan myös välttää oikeilla menettelytavoilla käsittelyvaiheessa. Laitteiden ja tynnyreiden korkkien ympäristöt olisi hyvä pyyhkiä puhtaiksi ennen kuin korkit avataan ja ylimääräistä toimintaa olisi hyvä välttää lähistöllä, jos on riskinä, että likaa voi tippua muualta tai ilmavirran seurauksena.

Inhimillisiä virheitä on useita ja niiden todennäköisyyteen voidaan vaikuttaa, mutta niitä ei voi sulkea kokonaan pois. Esimerkiksi hyvä koulutus, työohjeet, menetelmät ja oikeat välineet pienentävät todennäköisyyttä inhimillisille virheille, joiden seurauksesta öljyn sekaan pääsee epäpuhtauksia.

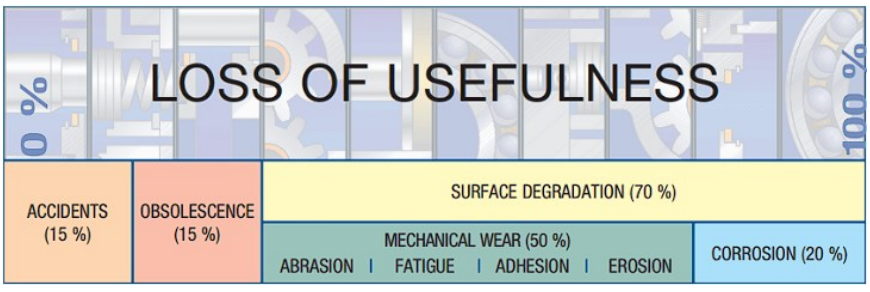
Väärät menettelytavat ovat yleisiä ja näihin myös vaikuttavat lähes samat asiat kuin inhimillisestä virheestä johtuviin öljyn saastumisiin. Yleisiä vääriä menettelytapoja on öljyjen esisuodatuksen laiminlyöminen kokonaan, käsiteltävillä astioilla käsitellään useita öljylaatuja tai pahimmassa tapauksessa muita kemikaaleja tai nesteitä. (Godin, F. 2021.) On myös hyvä tuntea käsiteltävät laitteet tai ainakin huoltokäsikirjat, jotta käytetään oikeita öljylaatuja, suodattimien vaihdot toteutetaan ajoissa ja sisäänajovaiheen jälkeen öljyt vaihdetaan tai suodatetaan puhtaiksi. Myös sopimattomien tilojen ja työkalujen käyttö hydrauliikan kunnossapidossa ovat yleisiä virheitä.

5 Hydraulisten laitteiden kunnossapito

Yksi keskeisin kokonaisuus tässä diplomityössä on hydrauliöljyjen kunnossapito, jossa hyödynnetään kaikkea aikaisemmin käsiteltyä teoriaa hydrauliikkajärjestelmistä ja epäpuhtauksista. Kunnossapito-osion tarkoitus on soveltaa tietoutta järjestelmistä ja epäpuhtauksista ja käydä läpi, kuinka näitä kokonaisuuksia pystytään hallitsemaan käytännön tasolla hallitusti ja järjestelmällisesti. Kunnossapidon määritelmä SFS-EN 13306 mukaisesti on: ’’kunnossapito koostuu kaikista kohteen eliniän aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnan’’ (Kunnossapitoyhdistys & Järviö, J. 2007, s.29). Tässä osiossa keskitytään erityisesti teknisiin ja hallinnollisiin toimenpiteisiin, jolla pystytään parantamaan laitteen käytettävyyttä ja lisäämään elinikää. Öljyn kunnossapitoon liittyy keskeisesti ehkäisevä kunnossapito ja sen muodot jaksotettu kunnossapito ja kuntoon perustuva kunnossapito.

5.1 Yleiset epäpuhtauksista johtuvat vikatyypit

Hydrauliikkajärjestelmän vikaantumisen aiheuttaa noin 70–80% tapauksessa öljyn epäpuhtaudet, lähteestä riippuen (YTM 2023; Ng, F. et al. 2017, s.178). Tästä osuudesta valtaosa aiheutuu mekaanisista kulumismekanismeista ja korroosiosta (kuva 14), jotka ovat vältettävissä säännöllisen ennakkohuollon avulla, johon kuuluu suodattimien vaihdot, öljyn kunnon säännöllinen seuraaminen ja öljyn puhdistava suodatus joko tarvittaessa tai säännöllisesti.



Kuva 14. Komponenttien kestoikään vaikuttavat tekijät (YTM 2023).

Öljyn epäpuhtauksista aiheutuva abrassiivinen kuluminen, väsymiskuluminen, adhessiivinen kuluminen, eroosiokuluminen ja korroosio voivat aiheuttaa vian, jotka voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: vakava vika, lievä vika tai piilevä vika (Kunnossapitoyhdistys & Järviö, J. 2007, s.56).

Vakava vika johtuu yleensä isosta epäpuhtauspartikkelista, joka aiheuttaa komponenttien välittömän rikkoutumisen ja pysäyttää laitteen toiminnan. Näitä ovat esimerkiksi iso epäpuhtauspartikkeli, joka menee hammaspyöräpumppuun ja pysäyttää toiminnan samalla aiheuttaen peruuttamatonta vahinkoa pumpussa. Toinen yleinen esimerkki on iso epäpuhtauspartikkeli jumittaa venttiilin karan, jolloin laitteen käyttö pysähtyy välittömästi. (Eaton 2002, s.9.)

Lievä vika on kyseessä, kun järjestelmässä on epäpuhtauksia, jotka välillä aiheuttavat toimintahäiriöitä, kuten epäpuhtauspartikkelit, jotka joskus aiheuttavat venttiilin toiminnassa häiriöitä, mutta venttiiliä käyttäessä huuhtoutuvat pois ja ongelma korjaantuu – ainakin hetkeksi. Tässä kohtaa pitäisi hälytyskellot jo soida ja olisi hyvä aloittaa toimenpiteitä. (Eaton 2002, s.9.)

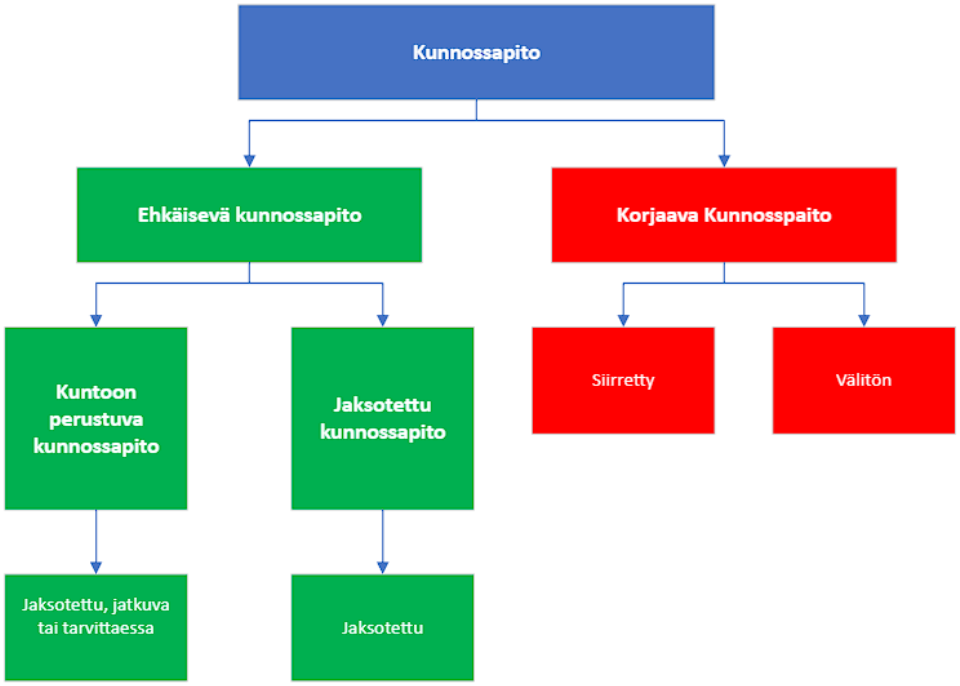
Piilevä vika on taas oire jo alkaneesta kulumisesta komponenteissa kuten liikkuvien osien välysten kasvu tai venttiilin karan naarmuuntuminen, mikä heikentää käytettävyyttä, tehokkuutta ja tarkkuutta. Tällainen vika pahenee koko ajan ja voi lopussa johtaa vakavaan vikaan, mikä johtaa komponentin rikkoutumiseen ja laitteen toimintahäiriöön. Näitä vikoja on vaikea havaita, koska ne pahenevat pikkuhiljaa ja oireet ovat vaikeasti havaittavissa. (Eaton 2002, s.9.)

5.2 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevä kunnossapito on kunnossapidon laji, joka sisältää kunnossapidolliset toimenpiteet, joiden tarkoitus on tehdä kunnossapidolliset toimenpiteet ennen kuin vika pysäyttää komponentin toiminnan (Järviö, J. & Lehtiö, T. 2017, s.46). Tämän tutkimustyön keskiössä on juuri ehkäisevä kunnossapito ja siihen liittyvä toiminta ja tietoisuus, joiden avulla voidaan etukäteisillä toimilla ja tietoisilla valinnoilla välttää kohteiden vikaantumisia. Tämän työn tarkoitus on todistaa kirjallisten lähteiden, aikaisempien tutkimusten ja tähän työhön liittyvällä tutkimuksella ehkäisevän kunnossapidon merkitys ja saada tuloksia, joilla pystytään

osoittamaan ehkäisevän kunnossapidon merkitystä kivijalkana hyvälle tuotanto-omaisuuden hoitamiselle ja tehokkaalle tuotannolle. Hydrauliöljyjen kunnossapitoon sovelletaan samantyylistä ehkäisevää kunnossapitoa kuin muille laitteille karkeasti. Näitä toimenpiteitä ovat kunnonvalvonta, jaksotettu kunnossapito ja tarvittavat huoltotoimet.

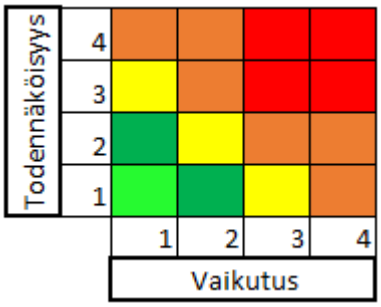
Hydrauliöljyjen osalta ehkäisevää kunnossapitoa toteutetaan usein SFS-EN 13306:2010 kunnossapitolajit -kaavion (kuva 15) kuvaamalla tavalla määrätyin väliajoin tai laitteelle suunniteltujen kriteereiden täytyttyä, kuten käyttötuntien mukaisesti (Järviö, J. & Lehtiö, T. 2017, s.50). SFS-EN 13306:2010 mukaisessa kunnossapitolajien jaottelussa (kuva 15) nähdään, kuinka ehkäisevä kunnossapito on jaoteltu vielä kuntoon perustuvaan kunnossapitoon ja jaksotettuun kunnossapitoon. Öljyjen kunnossapito on yleensä näiden yhdistelmä, jossa säännöllisin väliajoin jaksotetusti tehdään rutiininomaiset huoltotoimenpiteet hydraulijärjestelmään. Jaksotettuun kunnossapitoon voidaan yhdistää myös kuntoon perustuvan kunnossapidon toimia, kuten öljyn kunnon seurantaa, jonka avulla voidaan määritellä tarvittavia lisätoimenpiteitä.



Kuva 15. Kunnossapitolajit SFS-EN 13306:2010, muokattu lähteestä (Järviö, J. & Lehtiö, T. 2017, s.46).

Ehkäisevä kunnossapito on oikea kunnossapidon laji, kun laitteelta halutaan luotettavuutta ja tehokkuutta. Ehkäisevä kunnossapito vaatii organisaatiolta hallittuja ja systemaattisia toimia. Ehkäisevän kunnossapidon keskeisin filosofia on ennakointi ja vikojen edellä oleminen. Ennakkoituun ja suunniteltuun huoltotyöhön osataan varautua resurssien, materiaalien ja tuotannon näkökulmasta ja tämä tekee tästä kunnossapidon lajista kokonaisvaltaisesti tehokkaan. Kunnossapito-organisaation on arvioitava mikä on tavoiteltava varmuustaso, jotta toiminta olisi kustannustehokasta ja toimittava sen mukaisesti. (Järviö, J. & Lehtiö, T. 2017, s.101). Varmuustasoa määriteltäessä tulee ottaa huomioon resurssit, laitteiden määrä ja kriittisyys ja sen pohjalta arvioitava haluttu varmuustaso. Yrityksissä voi olla yksittäisiä laitteita, jotka ovat kalliita tai korvaamattomia tuotannolle, jolloin konekohtaisesti voidaan tehdä toimia, joiden avulla varmuustasoa voidaan nostaa.

Konekohtaisen varmuustason määrittelyssä tehokas työkalu on esimerkiksi riskimatriisi (taulukko 3), jonka avulla pystytään helposti arvioimaan koneen kriittisyyttä ja luomaan riskienhallinnan kannalta optimaalinen kunnossapito-ohjelma.

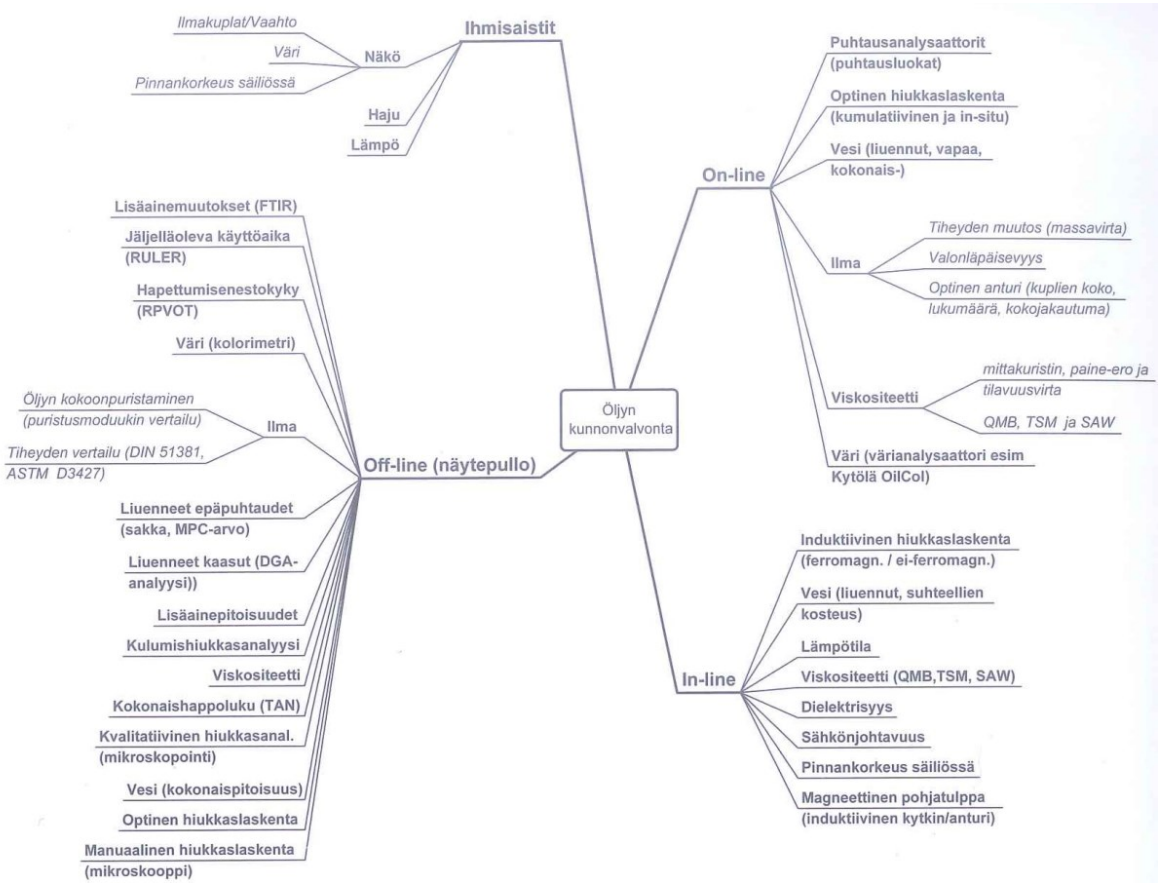


Kuva 16. Riskimatriisi.

5.3 Öljyn kunnonvalvonta

Öljyn kunnonvalvonta on tehokas ehkäisevän kunnossapidon työkalu, jota käytetään laitteen kunnon arvioinnissa ja tämän avulla voidaan tehdä ennakoivia toimenpiteitä ja kohdistaa ne oikein. Tätä voidaan rinnastaa karkeasti lääketieteelliseen verikokeeseen, jonka avulla pystytään tekemään diagnooseja ja toteamaan laitteen kunto. Öljyn kunnonvalvonnan tarkoitus on esittää ensisijaisesti järjestelmän ja öljyn kuntoa. Kunnonvalvontaa voidaan toteuttaa useilla eri menetelmillä, joita ovat on-line, in-line ja off-line öljyn analysointimenetelmät

sekä ihmisaistin varaiset menetelmät (kuva 17). Sopivan analysointimenetelmän valintaan vaikuttaa kohde ja minkälaista dataa halutaan. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, s.8–11.)



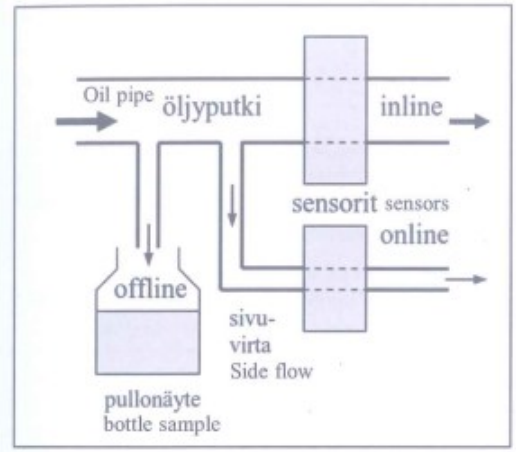
Kuva 17. Öljyn kunnonvalvontamenetelmät (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, s.10).

Öljyn kunnonvalvonnan avulla järjestelmän kuntoa selvitettäessä kiinnostaa erityisesti öljyssä olevien epäpuhtauspartikkeleiden määrä ja koko, jota mitataan apuna käyttäen ISO 6604 –standardia. Myös partikkeleiden muoto, väri ja materiaali ovat tärkeitä tiedon lähteitä, kun yritetään paikallistaa partikkeleiden alkuperäistä lähdettä ja siten pystytään arvioimaan komponenttitasolla mistä partikkelit ovat peräisin. Esimerkiksi jos kunnonvalvonnassa havaitaan pallomaisia kulumishiukkasia, niin lähde on todennäköisesti laakerista, messinkiset hiukkaset taas viittaavat laakerin rullapitimiin tai ruostepartikkelit öljyn hapettumiseen ja tankin sisäpinnan ruosteeseen. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, s.8.) Näiden havaintojen avulla pystytään paikallistamaan vikoja, mutta myös toteamaan ISO 6604 –standardin

mukainen puhtausluokka ja tarkastelemaan vastaako se järjestelmän vaatimuksia. Näiden tulosten perusteella tehdään tilanteen vaatimat kunnossapidolliset jatkotoimenpiteet.

Öljyn kemiallista kuntoa tarkastaessa keskitytään öljyn ominaisuuksiin ja rakenteeseen. Kemiallista kuntoa tarkastaessa tutkitaan öljyn lisäaineistusta, viskositeettiä ja hapettumisarvoja. Öljystä myös tutkitaan kulumametallipitoisuuksia, jotka voivat olla öljyyn liuenneita tai alle 3µm partikkeleita. Kulumametallit eivät välttämättä kerro järjestelmän kunnosta vaan pelkästään öljyn kunnosta. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, s.8.) Öljyn kemiallinen kunto vaikuttaa öljyn ominaisuuksiin ja aiheuttaa järjestelmän kulumista viiveellä, tämän takia on hyvä puuttua ennaltaehkäisevästi myös öljyn kemialliseen kuntoon.

Öljyn kunnonvalvonnan mittausmenetelmiä on useita ja menetelmän valintaan vaikuttavat mitä mitataan, mistä mitataan, mittaustaajuus, laitteen kriittisyys ja miten tuloksia halutaan monitoroida. Lisäksi menetelmänä käytettävät in-, on-, ja off-line –menetelmät ovat erilaisia ja toteutus voi olla rajoittava tekijä kunnonvalvontamenetelmää valittaessa (kuva 18).



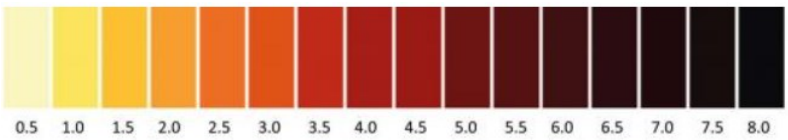
Kuva 18. Näytteenottomenetelmät (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, s.13).

On- ja in-line-näytteenottotavat tarkoittavat putken sisältä tapahtuvaa mittausta, jossa anturi mittaa öljyn kuntoa suoraan virtauksesta. In-line näytteenotto toteutetaan yleensä kiinteänä ratkaisuna järjestelmään, mutta on-line-mittaustapaa voidaan käyttää tarvittaessa ja sille voidaan rakentaa oma yhde mittausta varten. Nämä näytteenottomenetelmät hyödyntävät hiukkaslaskennassa optista ja induktiivista mittaustekniikkaa. In-line –mittaustekniikka hyödyntää induktiivisia, ferromagneettisia ja ei-ferromagneettisia hiukkasia tunnistavia antureita,

kun taas on-line-mittaustekniikka hyödyntää optista mittaustekniikkaa. Molemmilla mittaustekniikoilla lasketaan partikkeleiden lukumäärää ja kokoa. Näillä näytteenotto- ja mittausmenetelmillä voidaan analysoida myös perinteisten partikkeleiden lisäksi vettä, ilmaa, viskositeettiä ja väriä öljystä hyödyntämällä myös muita antureita. Tämän menetelmän haasteina ovat anturin likaantuminen, ympäristötekijät, kalibrointi, ilmakuplat ja väärät virtausparametrit. Lisäksi on- ja in-line –näytteenottomenetelmillä toteutettu kunnonvalvonta vaatii isompia alkuinvestointeja ja ylläpitoresursseja kuin pullonäytteellä otettu öljyanalyysi. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, s.8–16.)

Off-line eli pullonäyte –öljyanalyysimenetelmä on perinteisempi ja yleisimmin käytetty tapa öljyn kunnonvalvontaan. Tässä tutkimustyössä myös hyödynnetään juuri tätä öljyanalyysimenetelmää, jossa öljynäyte otetaan pulloon ja lähetetään laboratorioon tutkittavaksi. Laboratoriotutkimuksissa öljystä saadaan tutkittua kaikki haluttu tieto tutkimuslaajuuden mukaan. Öljynäytteen ottamiselle on olemassa oma ISO 4021 –standardi, joka määrittelee tarkasti, kuinka näyte tulee ottaa ja kuinka sitä pitää käsitellä. Öljynäytteen ja –analyysin kannalta on tärkeää, että prosessi on standardisoitu tulosten luotettavuuden ja vertailukelpoisuuden kannalta. Pullonäytteenotossa on useita inhimillisiä tekijöitä, kuinka näyte saadaan pilattua. Näitä ovat esimerkiksi epäpuhtaat välineet, epäpuhtauksien tulo yhteistä tai ympäristöstä, pullon liika täyttö tai näytteen väärä käsittely. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, s.13–37.)

Pullonäytteiden lisäksi öljyä voidaan analysoida karkealla tasolla ihmisaistein, kuten arvioimalla lämpötilaa, hajua tai öljyn väriä. Pelkästään värin perusteella osataan sanoa jo paljon öljyn kunnosta ja tähän on olemassa esimerkiksi ASTM D 1500 –väriasteikko (kuva 19), jonka avulla pystytään erittäin helposti arvioimaan öljyn kuntoa (Promaint 2014a).



Kuva 19. ASTM D 1500-väriasteikko (Promaint 2014a).

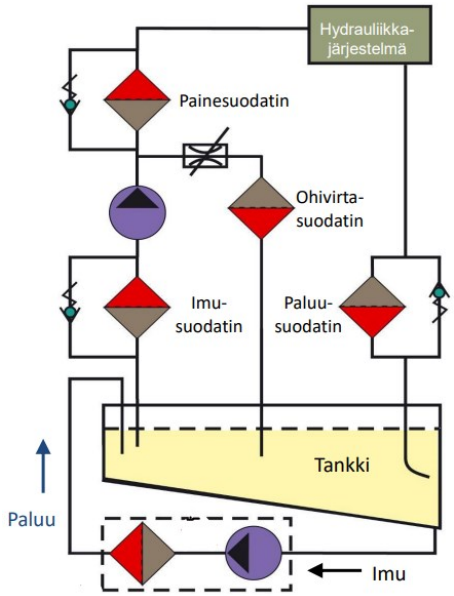
5.4 Puhdistava suodatus

Öljyn suodatus on keskeisessä osassa tämän diplomityön tutkimuksessa ja tähän liittyvässä kehitystyössä. Öljyn suodatuksella on merkittävä vaikutus öljyn puhtauteen ja sitä voidaan käyttää torjumaan epäpuhtaushiukkasia ja kemiallisia epäpuhtauksia. Hydrauliikassa yleisimmin käytettävät suodatintyypit ovat syväsuodatin ja pintasuodatin, joita molempia käytetään tutkimustyön kokeellisessa osassa. Lisäksi tässä luvussa tutustutaan öljyä puhdistavaan sivuvirtaussuodatustekniikkaan.

Syväsuodatin koostuu useista suodattavista kerroksista, josta öljy valutetaan läpi. Syväsuodatin on erityisen tehokas suodatintyyppi keräämään epäpuhtauksia johtuen useista suodattavista kerroksista, joissa on korkea kyky pidättää epäpuhtauksia. Syväsuodatuksella toteutetulla suodatinratkaisulla pystytään jopa keräämään vettä ja hapettumistuotteita. Tätä suodatintyyppiä käytetään yleensä sivuvirtauspiiriin, joka hyödyntää järjestelmän painetta. Tässä diplomityössä käytetään syväsuodatusmenetelmää sivuvirtaussuodattimessa. (C.C.Jensen A/S 2003, s.12–15.)

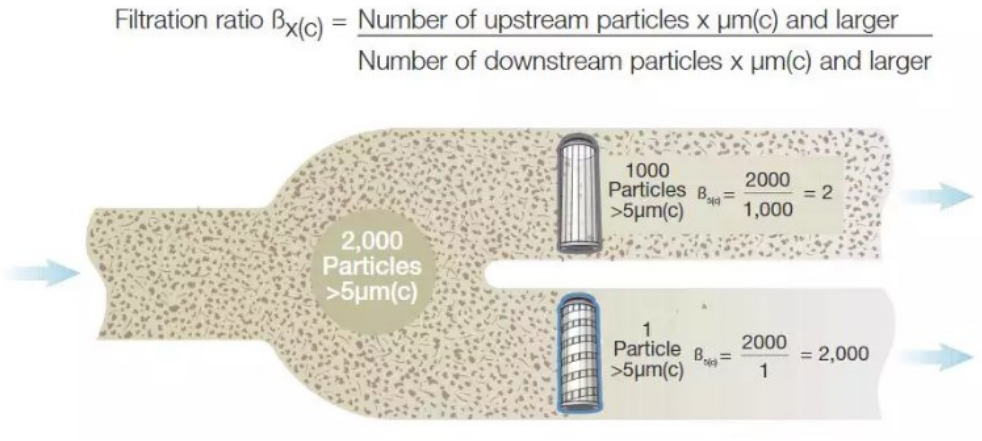
Pintasuodattimessa on ohut poimumainen pinta, jonka läpi öljy virtaa. Lamellimainen pinta maksimoi suodattavan pinnan pinta-alaa kuitenkin virtausvastuksen pysyessä pienenä. Pintasuodatusmenetelmällä pystytään poistamaan epäpuhtaushiukkasia, mutta ei vettä tai hapettumistuotteita kuten syväsuodattimella. Pintasuodatinta käytetään yleisesti linjasuodattimina, koska ne sallivat kovia virtauksia, eivätkä aiheuta isoja painehäviöitä. Tämän diplomityön kehitystyössä rakennetaan uusi öljynjakelupiste ja esisuodatus siihen toteutetaan käyttämällä pintasuodatusta. (C.C.Jensen A/S 2003, s.12–15.)

Tässä diplomityössä käytetään öljyä puhdistavaa sivuvirtaussuodatinyksikköä öljyn puhdistuksessa. Sivuvirtaussuodatinyksikkö toimii omana erillisenä puhdistuspiirinä ja yksikkö säätelee itse virtausta ja painetta omalla pumpulla (kuva 20). Sivuvirtaussuodatinyksikkö käyttää syväsuodatinta, jonka ansiosta tällä puhdistusyksiköllä pystytään puhdistamaan öljystä epäpuhtauspartikkelit ja kemialliset epäpuhtaudet. (C.C.Jensen A/S 2003, s.18–19.)



Kuva 20. Sivuvirtaussuodatinyksikkö toimintaperiaate osana hydrauliikkajärjestelmää (C.C.Jensen A/S 2023).

Erilaisten suodatusmenetelmien lisäksi keskeinen asia suodattimen valinnassa on sen ominaisuudet suhteessa järjestelmän puhtausvaatimuksiin. Hydraulijärjestelmältä vaaditun puhtausluokan määrittelee järjestelmän herkin komponentti, jonka mukainen öljyn suodatusaste tulisi olla. Öljyn suodatusasteita voidaan ilmoittaa nimellisenä suodatusasteena, joka tarkoittaa, että suodatin poistaa 50% nimellisen koon ylittävistä hiukkasista. Absoluuttinen suodatusaste taas tarkoittaa kuinka suuri pallomainen hiukkanen voi läpäistä suodattimen. (C.C.Jensen A/S 2003, s.16.) On siten iso ero, valitaanko suodatin sen nimellissuodatusasteen perusteella vai absoluuttisen suodatusasteen perusteella. Tämän takia suodatuksen tehokkuudessa ratkaisee eniten suodatussuhteen Beta-arvo, joka kertoo kuinka paljon suodattimen nimelliskoon kokoisia partikkeleita todellisuudessa läpäisee suodattimen (kuva 21). Mitä suurempi on Beta-arvo, sitä lähempänä suodatin on absoluuttista suodatusastetta.



Kuva 21. Beta-arvon merkitys suodattimen tehossa (Pall 2022).

Kahdella samalla nimellisellä suodatusasteella olevalla suodattimella voi olla jopa sata- tai tuhatkertaisia eroja, kuinka paljon ne läpäisevät tietyn kokoisia partikkeleita. (Promaint 2014b.)

6 Teoriaosuuden yhteenveto

Tässä pääluvussa tehdään yhteenveto päälukujen 3–6 teoriaosuudesta, jonka on tarkoitus olla diplomityön kokeellisen vaiheen perusta. Kokeellisessa vaiheessa hyödynnetään kirjallisuuskatsauksen antamaa tietoutta kehitystoimenpiteissä ja tulosten tulkinnassa sekä johtopäätöksissä.

Teoriaosuudessa käsiteltiin lyhyesti hydrauliikan perusteet, jotta hydraulinen järjestelmä olisi tuttu ja tiedetään mistä komponenteista puhutaan ja mitkä ovat niiden merkitykset hydraulisessa järjestelmässä. Tärkeimpänä päälukuna on tämän työn kannalta pääluku 3, joka käsittelee epäpuhtauksien tyyppiä, niiden lähteitä, kulumismekanismeja ja lopuksi puhtausluokkia, joista puhutaan paljon tämän työn kokeellisessa osuudessa ja tulosten yhteenvedossa. Tämän työn tärkein päämäärä on vähentää öljyssä olevien epäpuhtauksien määrää, joten ympäristön epäpuhtauksien tunnistaminen on tärkeässä roolissa. Lisäksi kulumismekanismien ymmärtäminen on keskeistä, koska tämän työn tärkein päämäärä on parantaa laitteiden kestävyyttä ja pidentää niiden elinikää. Kulumismekanismien hallinnan avulla pystytään saavuttamaan laitteen ja komponenttien suunniteltu käyttöikä.

Öljyn käsittely ja käyttöympäristön merkitys korostuu, kun puhutaan inhimillisistä tekijöistä öljyn saastumisessa. Kirjallisuuskatsauksessa käsitellään öljyjen säilytystä, logistiikkaa, esisuodatusta ja jakelua. Tässä työssä toinen keskeinen aihe on pääluku 4:n alaotsikko esisuodatus ja jakelu. Esisuodatus on toinen päätutkimuskohteista kehitystyössä ja kehitystyön tarkoitus on luoda jakelupiste, johon on integroitu esisuodatus. Koko kehitystyö perustuu tämän kappaleen kirjallisuuskatsauksen tietoon.

Lopuksi teoriaosuudessa käydään läpi kunnossapidon osuutta öljyn puhtauden hallinnassa ja kuinka kunnossapidossa tätä sovelletaan ennakkohuoltotyökaluna. Kehitystyön toisessa vaiheessa tutkitaan sivuvirtaussuodatinyksikköä kunnossapidon työkaluna ja etsitään vastauksia, kuinka tehokkaasti tällä menetelmällä pystytään puhdistamaan laitteissa olevaa öljyä ilman seisakkia tai öljyn vaihtamista.

7 Kokeellinen osuus öljyn puhtauden kehittämiseksi

Tämän diplomityön kokeellisessa osuudessa on tarkoitus kvantitatiivisin menetelmin tutkia öljyn puhtautta ennen kehitystyön alkamista ja kehitystyön jälkeen. Kokeellista osuutta on ollut tukemassa työn teoriaosuus, jota on hyödynnetty kokeellisen osuuden toteutuksissa ja kehitystyön kehitystoimenpiteissä. Lisäksi teoriaosuus antaa lukijalle riittävän pohjan ymmärtää kokeellisen osuuden tuloksia. Tämän luvun keskeisin sisältö on esitellä diplomityön kokeellinen osuus, tutkimusmenetelmät, kehitystyö ja lopuksi käydä läpi saatuja tutkimustuloksia.

7.1 Tutkimuksen esittely

Tutkimus aloitettiin 3.2.2023 toimeksiantajayrityksen tarpeesta parantaa öljynpuhtauksia. Ensimmäinen vaihe oli kartoittaa öljynkäsittelyprosessin öljyn puhtaudet eri vaiheessa prosessia, sekä ottaa laitteista öljynäytteitä, jotta pystytään kvantitatiivisin menetelmin toteamaan lähtötilanne. Lähtötilannetta lähdettiin kartoittamaan ottamalla 10 eri öljynäytettä. Kaksi näytettä otettiin öljyn käsittelyprosessista avaamattomasta tynnyristä ja toinen öljynjakelupisteestä, josta öljyn jakelu tapahtuu. Loput kahdeksan näytettä otettiin kolmen eri laiteryhmän laitteista, joihin kuuluivat särmäyspuristimet, kappaleenkääntölaitteet sekä työstökoneet. Näytteitä otettiin useista laitteista, jotta saadaan yleiskuva öljyjen puhtaudesta, vaikka kaikkien laitteiden näytteenottoa ei uusittu kehitystyön jälkeisessä vaiheessa. Lähtötilannetta lähdettiin kartoittamaan öljynäytteiden otolla, joista tehtiin laaja öljyanalyysi, jotta pystytään saamaan laaja näkemys öljyjen puhtaudesta ja kiinnittämään huomio tutkimuksessa ja kehitystyössä oikeisiin asioihin. Lähtötilanteen kartoituksessa on tarkoitus tuoda esille ongelmakohdat ja niiden avulla pystytään tarkentamaan tutkimuskysymyksiä; mitä tutkitaan, mihin kiinnitetään huomiota ja minkälaisia tuloksia kehitysprosessilta halutaan? Lähtötilanteen kartoituksen jälkeen saatiin öljyanalyysien tulokset, joista kävi hyvin ilmi jo tutkimuksen hypoteettisesti odotetut ongelmat eli tutkitun hydrauliöljyn ISO 4406 standardin mukainen puhtausluokka ei täytä laitteille asetettuja vaatimuksia öljyn jakelupisteessä sekä useissa laitteissa. Hydrauliöljyssä on liikaa ja liian isoja epäpuhtauspartikkeleita.

Lähtötilanteen kartoituksen jälkeen tässä tutkimustyössä suoritetaan kehitystyö. Kehitystyön onnistumisen kannalta on keskeistä ymmärtää lähtötilanne sekä tavoiteltava tilanne, joiden mukaisesti kehitystoimia on tehtävä. Kehitystyön onnistumisen perustana tässä tutkimustyössä on teoriaosuus, jonka avulla on perehdytty lähtötilanteen öljyanalyysien tuloksiin sekä haettu oikeita kehitystoimenpiteitä halutun lopputuloksen saamiseksi. Teoriaosuudessa on käytetty lähteinä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta, artikkeleita, aikaisempia tutkimuksia sekä asiantuntija-apua. Kehitystyön tarkoitus on parantaa käytettävän öljyn puhtautta hyödyntäen siihen sopivia menetelmiä ja laitteistoja. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kehitystyössä hankittiin uusi laitteisto öljyn käsittelyyn ja esisuodatukseen. Tähän kuului myös öljyn käyttöhenkilökunnan perehdytys ja heidän kanssa kokeellisten tulosten läpikäynti. Lisäksi kehitystyössä hankittiin öljyn sivuvirtaussuodatinyksikkö, jolla pystytään ylläpitämään vanhojen öljyjen puhtautta laitteissa.

Tutkimuksen viimeisenä vaiheena on analysoida kehitystyön jälkeiset tulokset toistamalla ensimmäisen vaiheen näytteenotto. Kehitystyön jälkeiset näytteet otetaan samoista kohteista tai samasta prosessin vaiheesta kuin ensimmäisellä näytteenottokerralla, kuitenkin vain niistä laitteista, joissa aikataulun puitteissa ehdittiin käyttämään sivuvirtaussuodatinta ja saatiin vertailukelpoisia tuloksia. Näiden kahden näytteen tuloksia analysoidaan ja verrataan keskenään. Näin pystytään tutkimaan kehitystyön tuloksia ja tekemään yhteenveto tutkimustuloksista. Kokeellisen tutkimuksen onnistumisen ja luotettavuuden kannalta keskeisessä roolissa on tutkimustulosten analysointi. Tähän kuuluu tutkimusdatan käsittely, jossa on keskeistä erottaa useasta mitattavasta suureesta keskeisimmät tulokset ja tulkita niitä oikein. Näin pystytään tekemään kokeellisen osuuden yhteenveto ja johtopäätökset.

7.2 Kehitystyö

Tämän diplomityön kehitystyö on kaksivaiheinen. Kehitystyön ensimmäisessä vaiheessa on tarkoitus parantaa öljynjakelupisteen öljyn puhtautta vastaamaan kaikkien tehtaan laitteiden puhtausvaatimuksia. Toisessa vaiheessa on tarkoitus ottaa käyttöön laitteissa jo olemassa olevan öljyn puhdistukseen ja puhtauden ylläpitoon tarkoitettu sivuvirtaussuodatinyksikkö.

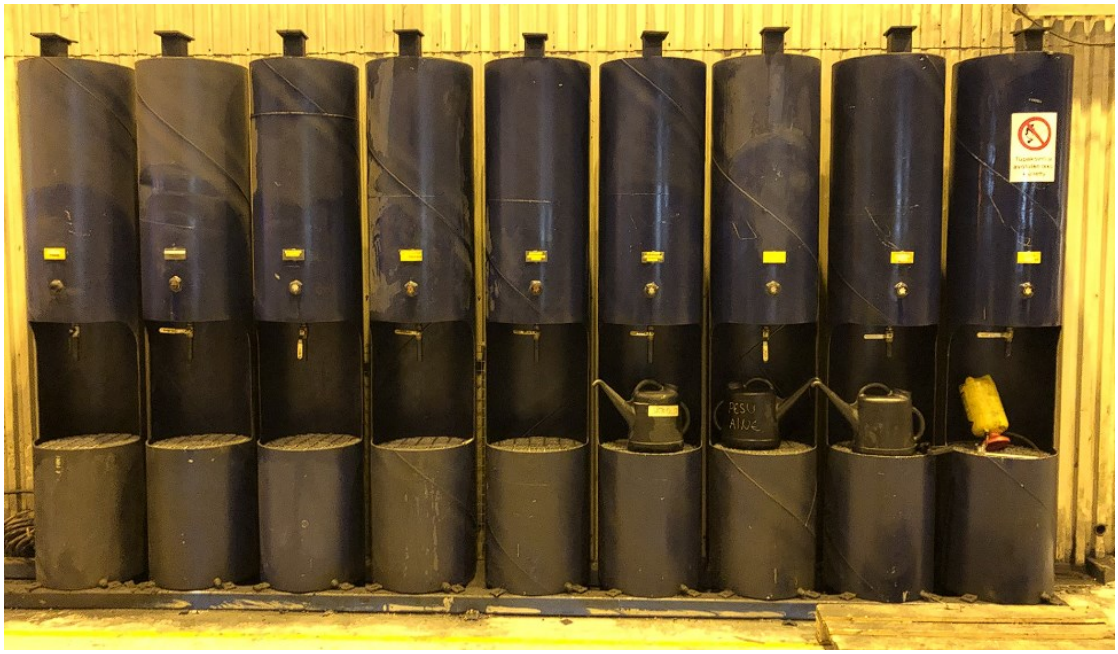
7.2.1 Öljyn puhtautta parantavat kehitystoimet esisuodatuksessa ja jakelussa

Kehitystyön ensimmäisessä vaiheessa todettiin vanhan öljynjakelupisteen ja esisuodatuksen olevan riittämätön tehtaan laitteiston öljyn puhtausvaatimuksiin. Vanhan jakelupisteen öljyn puhtaus oli ISO4406 puhtausluokassa 18/16/14, kun vähimmäisvaatimus olisi saada öljyn puhtaus tasolle 16/14/11, jotta öljyn puhtaus riittää herkimmille komponenteille, kuten proportionaaliventtiileille. Varsinkin proportionaaliventtiileitä on kymmenissä eri laitteissa ja niiden puhtausvaatimus on 17/13/12, kun taas servoventtiileiden puhtausvaatimus on sama kuin tavoiteltu puhtaustaso 16/14/11. (Parker 2006, s.16.)

Suurimpia ongelmia vanhassa öljynjakelupisteessä on riittämätön öljyn esisuodatus, epätiiviit jakelusäiliöt ja alttius ympäristön epäpuhtauksille, liian monta käsittelyvaihetta, epäpuhtaat käsittelyvälineet ja käsittelyn toimintamalli, jossa on useita inhimillisiä riskejä öljyn saastumiselle.

Esisuodatus tapahtui vanhan menetelmän mukaan suodattavalla imupumppukärry-yksiköllä, jossa öljy pumpattiin tynnyristä ja suodatettiin 10 µm syväsuodatinpatruunan läpi jakeluyksikön öljysäiliöihin. Vanhan menetelmän esisuodatustaso ei ole riittävä. Toinen merkittävä epäkohta on esisuodatusmenetelmä, jossa samaa suodatinyksikköä käytetään useille öljylaaduille ja huuhteluista huolimatta on erittäin suuri riski öljyjen saastumiselle. Lisäksi tässä menetelmässä on useita mahdollisuuksia saastuttaa öljy ympäristön epäpuhtauksilla. Öljyn saastumisen voi aiheuttaa tehdasolosuhteissa säilytettävä esisuodatuslaitteisto, joka kerää ympäristön epäpuhtauksia. Toinen merkittävä epäkohta entisessä esisuodatusmenetelmässä on öljyjen siirto. Öljy altistuu ympäristön epäpuhtauksille jokaisessa vaiheessa, kun avataan öljytynnyrin korkki tai öljynjakelupisteen tankin luukku.

Entinen öljynjakelupiste käsittelyvälineistöineen on erittäin altis ympäristön epäpuhtauksille, kuten kuvasta (kuva 22) voi nähdä kuinka paljon säiliöiden ja käsittelyastioiden pinnoilla on näkyviä epäpuhtauksia. Lisäksi jakelupisteen säiliöt eivät ole riittävän tiiviitä. Jakelupisteen säiliön katolla on täyttöluukku, jota pitelevät vain saranat.



Kuva 22. Vanha öljynjakelupiste.

Vanha öljyn käsittelyn toimintamalli on myös puutteellinen ja mahdollistaa useita riskejä öljyn saastumiselle. Öljyn käsittelyvälineitä ei ole koodattu tietylle laadulle, vaan on riski, että samoilla astioilla käsitellään eri öljylaatuja. Lisäksi käsittelyastioiden säilytys tulisi tapahtua tiiviissä kaapissa, jotta ne eivät saastuisi ympäristön epäpuhtauksista.

Uuden öljynjakelupisteen (kuva 23) suunnittelussa on otettua huomioon vanhan jakelupisteen epäkohdat esisuodatuksen toteutuksessa, ympäristön epäpuhtauksien torjumisessa, käsittelyvälineiden ja -menetelmien käytössä.

Kuva 23. Uusi öljyn jakelupiste.

Esisuodatus on toteutettu uudessa öljynjakelupisteessä siten, että 3 µm pintasuodatin on integroitu suoraan paineilmakäyttöisen tynnyripumpun ja jakelupistoolin väliin (kuva 24). Näin vältetään turhaa öljyn siirtämistä säiliöstä toiseen vaan öljy voidaan puhdistaa suoraan käytettäväksi tynnyristä. Kirjallisuuslähteiden perusteella valittiin 3 µm esisuodatus, jota suositellaan kaikille alle ISO VG 100 eli alhaisen viskositeetin öljyille. Tämän takia jakeluyksikköön piti mitoittaa hieman tehokkaampi 3:1 välityssuhteen pumppu, jonka tuotto on ainoastaan 20 l/min, lisäksi suodatinrunko tuli olla vahvistettu, että se kestää kovia paineiskuja. Paineilmatoiminen tynnyripumppu kierretään tiiviisti öljytynnyrin alkuperäisen korkin tilalle ja näin järjestelmä pysyy jatkuvasti tiiviinä ja ulkoisen saastumisen riski pystytään minimoimaan.

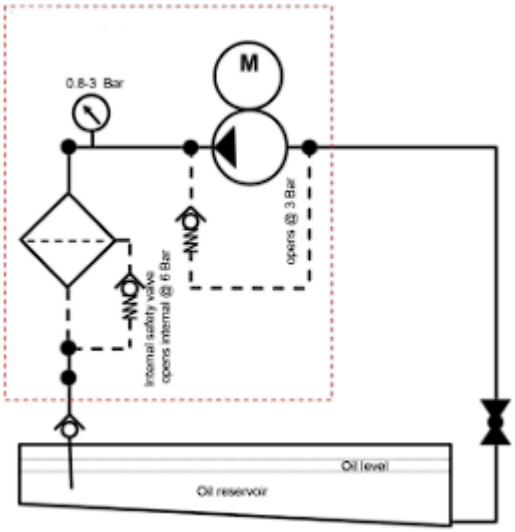
Kuva 24. Esisuodatuksen toteutus.

Lisäksi jakelupisteet ovat rakennettu valuma-altaallisten kaappien sisälle, jotka suojaavat laitteistoa ulkopuolisilta epäpuhtauksilta. Kaapin ovet ovat lukollisia, että ulkopuoliset henkilöt eivät pääse käsittelemään öljyjä tai lainaamaan käsittelyvälineitä. Myös käsittelyvälineistö on koodattu öljylaatukohtaisesti ja niitä säilytetään täysin tiiviissä kaapeissa, jotta ne pysyisivät puhtaina. Näillä toimenpiteillä pystytään minimoimaan öljyn saastuminen ympäristön epäpuhtauksilta, sekä vähentämään inhimillisten tekijöiden todennäköisyyttä öljyn saastumiseen.

7.2.2 Laitteissa olevien öljyjen puhtauden ylläpito

Kehitystyön toisessa vaiheessa on tarkoitus hyödyntää öljyanalyysien dataa ja kartoittaa tehtaan laitteissa olevien öljyjen puhtaustasoa ja ottaa käyttöön menetelmä, jonka avulla pystytään pitämään öljyn puhtaus halutulla tasolla. Alkuvaiheen öljyanalyyseissä analysoitiin kahdeksan laitteen öljyn puhtaudet ja suurin ongelma oli epäpuhtauspartikkelit, joiden määrää mitataan ISO 4406 standardin mukaisesti ja puhutaan öljyn puhtausluokista. Yleinen öljyn puhtaustaso laitteissa oli kahdeksan analyysin mukaan 17/15/12 ja haluttu puhtaustaso on vähintään 16/14/11 mikä on sama kuin esisuodatetun öljyn haluttu puhtaustaso. Puhtausluokka määräytyy laitteen herkimmän komponentin mukaisesti.

Tähän kehitystyöhön valittiin Europafilterin valmistama EF2115DMS sivuvirtaussuodatusmenetelmällä toimiva puhdistusyksikkö, jonka toimintaperiaate (kuva 25) on kierrättää laitteen tankissa olevaa öljyä oman pumpun avulla laitteen suodattimen läpi useita kertoja, puhdistaen öljystä epäpuhtauspartikkeleita, hapettumistuotteita ja vettä.



Kuva 25. Sivuvirtaussuodatus toimintaperiaate (Europafilter 2014).

Kehitystyön testivaiheen laitteiksi valittiin kaksi öljytilavuudeltaan isoa Pullmaxin valmistamaa särmäyspuristinta (taulukko 3).

Taulukko 3. Kehitystyön testilaitteiden keskeisimmät tekniset tiedot.

Valmistaja:	Pullmax
Tyyppi/malli:	EKP CNC 1000 10.0/8.8
Puristusvoima:	10000 kN
Paine:	320 bar
Öljytilavuus:	780 l
Valmistaja:	Pullmax
Tyyppi/malli:	EKP CNC 400 3.7/3.15
Puristusvoima:	4000 kN
Paine:	320 bar
Öljytilavuus:	240 l

Molempiin särmäyspuristimiin rakennettiin yhteet pikaliittimineen, jotta kuvan (kuva 25) mukainen sivuvirtauskierto saatiin toteutettua. Särmäyspuristin Pullmax EKP CNC 1000 10.0/8.8 öljyjä suodatettiin yhteensä 100m2 sivuvirtaussuodattimella ja Pullmax EKP CNC 400 3.7/3.15 öljyjä suodatettiin 30m2.

8 Öljyanalyysien tulokset ja kehitystyön vaikutukset

Tässä kappaleessa käsitellään öljyanalyysien tuloksia, jotka liittyvät kehitystyöhön. Ensin todetaan öljyjen yleinen kunto ja sitten käsitellään kehitystyön tuloksia ja huomioita. Keskeisimpänä tarkasteltavana asiana on ISO 4406 puhtausluokat, joka nousi keskeisimmäksi kehityskohteeksi tässä kehitystyössä. Muut öljyanalyyseissä tutkittavat asiat, kuten viskositeetti, väri, öljyn hapettuminen, lisäaineet, kulumametallit, kontaminantit ja vesipitoisuus jäävät tässä osuudessa huomioimatta, koska niistä ei löytynyt mitään hälyttävää. Tässä kappaleessa pyritään visuaalisesti taulukoilla osoittamaan tutkimustuloksia, joka helpottaa kokonaiskuvan hahmottamisessa. Lisäksi tässä luvussa peilataan saatuja tuloksia ja niiden vaikutuksia, apuna käyttäen aikaisempaa tutkimustietoa öljyn epäpuhtauksien vaikutuksesta laitteen komponenttien elinikään.

Öljyanalyysin tulokset käsiteltiin (liite 1) mukaisella raporttipohjalla, jossa identifioidaan jokainen näyte oman laboratorionumeron mukaan, lisäksi ensimmäisellä sivulla on lyhyt tiivistelmä öljyn kunnosta ja maininnat, jos näytteessä on ollut jotakin poikkeavaa. Tämän jälkeen raportilla on varsinaiset tulokset, jotka käsittelevät viskositeetin, öljyn värin, öljyn hapettumisen, lisäaineet, kulumametallit, kontaminantit ja vesipitoisuuden kunkin mitattavan asian standardin mukaisesti.

Tulosten läpikäynti aloitettiin koostamalla (kuva 26) mukainen taulukko ISO 4406 puhtausluokista, jonka pohjalta on helppo hallita käsiteltävää dataa. Tämän taulukon tarkoitus on toimia tietolähteenä, kun tarkemmin käsitellään näytteitä. Ensin käsitellään ensimmäisen vaiheen näytteet, jotka on otettu ennen kehitystyön aloittamista ja näiden näytteiden tulosten pohjalta on tehty kehitystyön toimenpiteet. Lisäksi taulukossa on toisen vaiheen näytteet, jotka käsittelevät kehitystyön tuloksia ja niiden perusteella pystytään tekemään yhteenveto tutkimuksen onnistumisen näkökulmasta.

	Näyte 1				ISO CODE Defination		
The name of the target and date	Cleanliness code	Particle count per 100 ml			Number of particles / 100 ml		
27.2.2023	>4µm/>6µm/>14µm	>4 microns	>6 microns	>14 microns	More Than	Less Than or Equal To	ISO CODE
Avaamaton Mobil DTE 10 Excel 32	20/19/17	787535	379445	80890	2000000	4000000	22
Jakelu Mobil DTE 10 Excel 32	18/16/14	225825	54490	8275	1000000	2000000	21
Särmäyspuristin Pullmax (241) 10m	16/14/11	32370	14540	1920	500000	1000000	20
Särmäyspuristin Pullmax (221) 3 m (alumiini)	17/16/13	127635	52495	6530	250000	500000	19
Pyörityslaite Pyla 144 Jucat JCP 6000	17/14/12	108825	14595	2500	130000	250000	18
Pyörityslaite Pyla 159 Jucat JCP 6000	17/15/12	70555	17335	3305	64000	130000	17
Pyörityslaite PYLA 120 Jucat JCP3000	16/14/11	61640	14755	1900	32000	64000	16
Pyörityslaite Pyla 125 Jucat JCP 3000	16/15/12	56230	18725	2810	16000	32000	15
Pitkäjyrsinkone Ronin (FPT)	19/16/12	250405	51120	3400	8000	16000	14
Telintestausasema APEX	17/15/13	67315	27985	4270	4000	8000	13
Tavoiteltu puhtaustaso	16/14/11				2000	4000	12
	Näyte 2				1000	2000	11
The name of the target and date	Cleanliness code	Particle count per 100 ml			500	1000	10
28.5.2023	>4µm/>6µm/>14µm	>4 microns	>6 microns	>14 microns	250	500	9
Avaamaton Mobil DTE 10 Excel 32	20/19/17	787535	379445	80890	130	250	8
Jakelu Mobil DTE 10 Excel 32	16/13/8	60000	5900	220			
Särmäyspuristin Pullmax (241) 10m	15/14/11	18360	8805	1865			
Särmäyspuristin Pullmax (221) 3 m (alumiini)	15/13/10	19905	5920	740			

Kuva 26. Öljyn puhtauksien yhteenveto ISO 4406:1999 standardin mukaisesti.

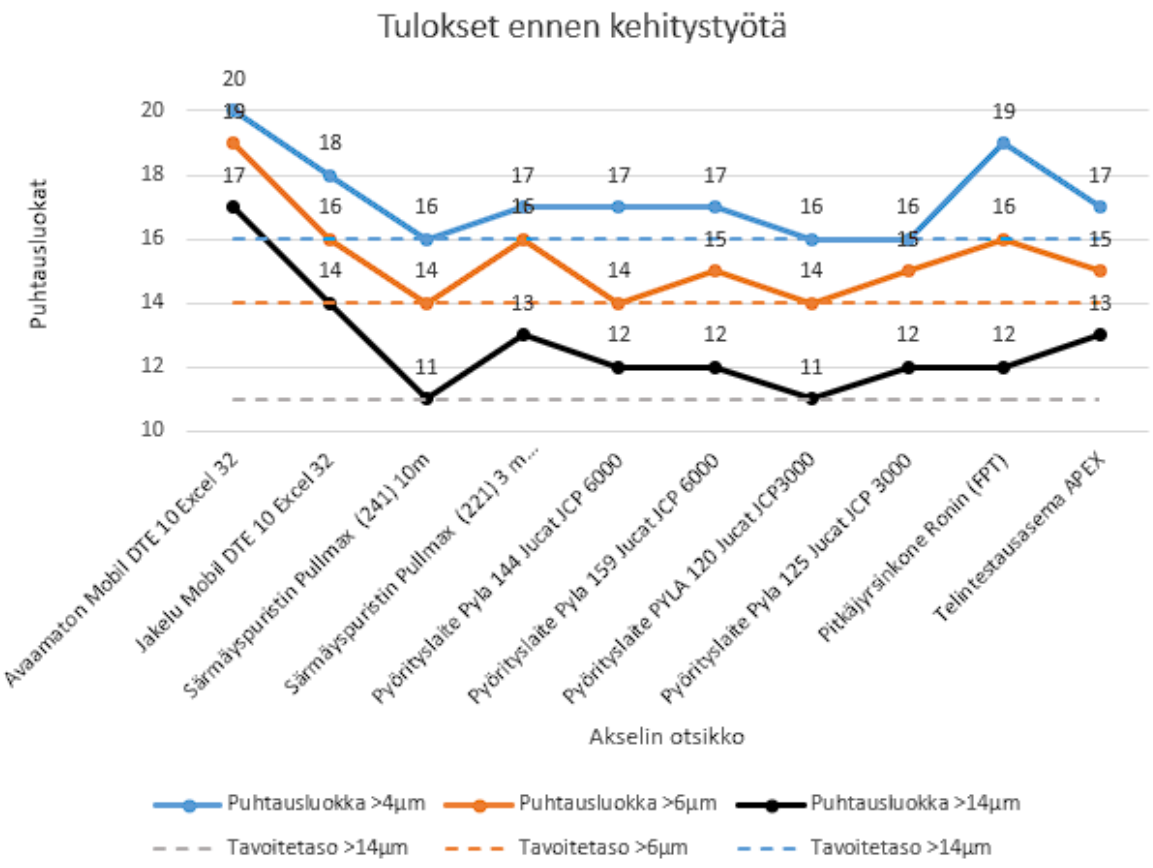
Kuvassa (kuva 26) on jaoteltu värikoodein ensimmäisen vaiheen näytteet, joita käytettiin kehitystyön perustana ja toisen vaiheen näytteet, jolla pystyttiin osoittamaan kehitystyön tuloksia. Lisäksi taulukossa on esitetty ISO-koodin määritelmä, koska tuloksia käsitellään pelkästään puhumalla ISO-koodin puhtausluokasta.

8.1 Ensimmäisen vaiheen öljynäytteiden tulokset

Ensimmäisen vaiheen näytteistä kävi ilmi, että oltiin kaukana tavoitellusta puhtaustasosta, joka oli määritelty ennen kehitystyön aloittamista olevan 16/14/11. Yleinen puhtaustaso oli 17/15/12. Keskeisimmät huomiot ensimmäisen vaiheen näytteistä oli, että laitteiden öljyt eivät täytä tavoiteltua puhtaustasoa. Toinen tähän liittyvä keskeinen huomio on, että öljyn jakelupisteen öljyn puhtaustaso on heikompi kuin laitteissa olevan öljyn tavoiteltu puhtaustaso, joten tavoiteltuun puhtaustasoon oli liki mahdoton päästä, jos lähtökohtaisesti uusi käytettävä öljy ei täytä laitteen vaatimuksia. Esisuodatuksen tarkoitus on, että öljyn jakelupisteen kautta laitteisiin laitettava öljy olisi lähtökohtaisesti riittävän puhdasta käytettäväksi ja täyttää vaaditut puhtausluokat. Laitteiden suodattimien tarkoitus ei ole esisuodattaa öljyä riittävälle puhtaustasolle vaan ylläpitää öljyn puhtautta ja suojella laitteen herkimpiä kom-

ponentteja, joiden mukaan suodatustaso on mitoitettu. Joissakin tilanteissa laitteeseen voidaan lisätä öljyä paluusuodattimen kautta, jolloin öljy saadaan esisuodatettua, mutta tässä kontekstissa se ei ole lähtökohta.

Ensimmäinen keskeinen huomio on, että kymmenestä näytteestä vain kahden laitteen öljyt täyttivät tavoitellun puhtausvaatimuksen (kuva 27). Kahdesta laitteesta Särmäyspuristin Pullmax (241) 10m ja Pyörityslaite PYLA 120 Jucat JCP3000 täyttivät juuri tavoitellun puhtaustason. Särmäyspuristin Pullmax (241) 10m on ollut aikaisemmin jo vuosittaisien öljyanalyysien oton piirissä ja tämän laitteen öljyjä on puhdistettu aikaisemmin elektrostaattisella sivuvirtaussuodatusmenetelmällä, mikä on eri menetelmä kuin tässä työssä käytettävä monikerroksinen syväsuodatusmenetelmä.



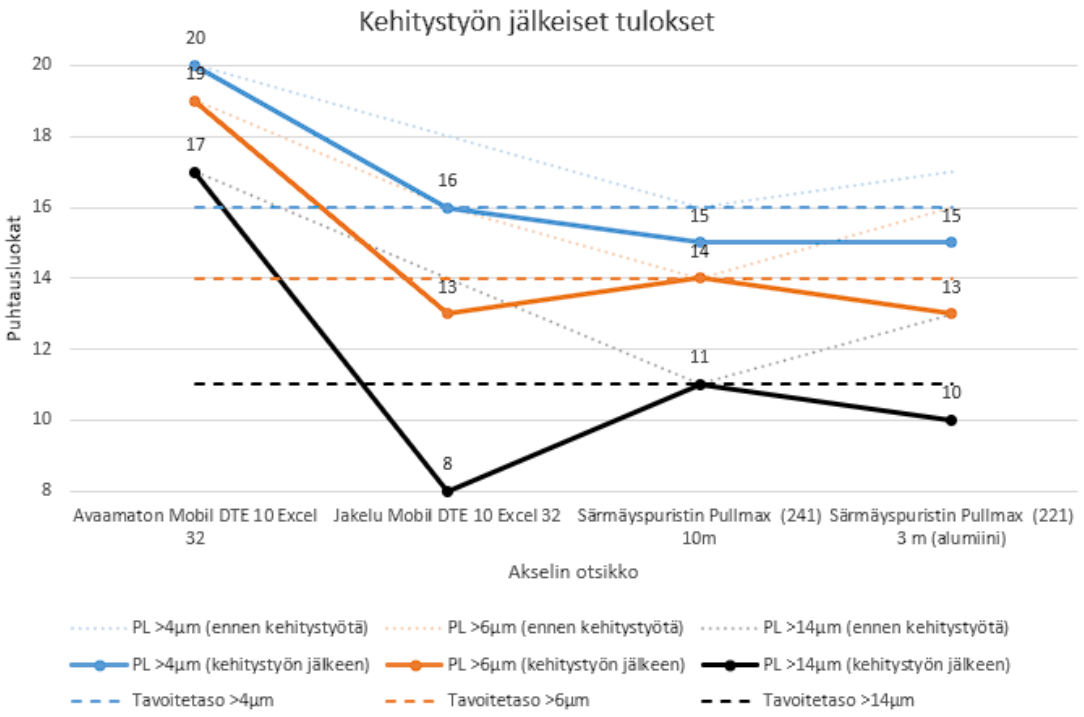
Kuva 27. Tulokset ennen kehitystyötä.

Toinen keskeinen huomio on öljyn heikko puhtausluokka jakelupisteessä, joka tarkoittaa riittämätöntä öljyn esisuodatusta. Uuden öljyn puhtausluokka öljyanalyysin mukaan on

20/19/17, öljytoimittaja myös vahvistaa tämän olevan heidän toimittaman tuotteen yleinen puhtaustaso. Vanhalla esisuodatusmenetelmällä puhtausluokka saadaan tiputettua vain 18/16/14 tasolle, mikä puhtaustasona ei riitä edes yleisimmille hydrauliikkakomponeteille kuten suuntaventtiileille ja paineensäätöventtiileille, joita on joka laitteessa. Öljyn riittämätön lähtöpuhtaus on ongelmallista, koska käsittelyn muissa vaiheissa öljyn puhtaus ei ainakaan parane — päinvastoin. Tämän takia jo lähtökohtaisesti laitteisiin laitettava uusi öljy ei täytä sille annettuja vaatimuksia.

8.2 Toisen vaiheen öljynäytteiden tulokset

Kehitystyön jälkeen toteutettiin toinen näytteenottokierros, jossa analysoitiin uuden jakelupisteen esisuodatetun öljyn puhtautta, sekä kahden särmäyspuristimen öljyn puhtautta, joiden öljyjä ehdittiin puhdistaa sivuvirtaussuodattimella. Molempien kehitystyön kohteiden tulokset olivat jopa odotettua parempia ja molemmissa kohteissa saavutettiin tavoitetaso (kuva 28).



Kuva 28. Kehitystyön jälkeiset tulokset.

Vanhan jakelupisteen esisuodatetun öljyn puhtausluokka oli ennen kehitystyötä 18/16/14 ja kehitystyön jälkeen päästiin puhtausluokkaan 16/13/8, joka täyttää kaikkien käytössä olevien laitteiden puhtausluokkavaatimukset. Esisuodatuksen osalta merkittävä havainto tuloksessa on >14 µm kokoluokan epäpuhtauspartikkeleiden määrän tippuminen lähes 38-kertaisesti. Tämän kokoluokan partikkelit ovat hydraulisissa komponenteissa kaikista haitallisin epäpuhtauksien kokoluokka. Vertailun vuoksi tässä tutkimustyössä uuden tynnyrissä olevan öljyn ja esisuodatetun öljyn ero epäpuhtauspartikkeleiden lukumäärässä on huomattava (kuva 29). Erityisesti >14 µm kokoluokan partikkeleiden lukumäärän putoaminen alkuperäisestä 99,7% on huomattava muutos.

	Näyte 2			
The name of the target	Cleanliness code	Particle count per 100 ml		
	>4µm/>6µm/>14µm	>4 microns	>6 microns	>14 microns
Avaamaton Mobil DTE 10 Excel 32	20/19/17	787535	379445	80890
Jakelu Mobil DTE 10 Excel 32	16/13/8	60000	5900	220
How many times less particles between new oil and pre-filtered oil:		13,1	64,3	367,7

Kuva 29. Uuden öljyn ja esisuodatetun öljyn epäpuhtauspartikkelimäärä >4 µm kokoluokassa tippuu 13,1-kertaisesti, >6 µm kokoluokassa 64,3 kertaisesti ja >14 µm kokoluokassa peräti 367,7-kertaisesti.

Öljyn puhdistavan sivuvirtaussuodatinyksikön kokeelliset tulokset olivat myös hyviä molempien testilaitteiden osalta. Särmäyspuristin Pullmax (241) 10m vanha puhtausluokka oli 16/14/11, sitä saatiin >4 µm kokoluokan partikkeleiden osalta parannettua yhdellä puhtausluokalla 15/14/11. Toisen särmäyspuristimen osalta saatiin hieman parempia tuloksia, kun vanha puhtausluokka oli 17/16/13 ja uusi puhtausluokka 15/13/10. Tuloksista voidaan todeta, että tällä öljyn puhdistusmenetelmällä päästään hyvin tavoiteltuun 16/14/11 puhtaustasoon. Tämän öljyn puhdistusmenetelmän käyttöä olisi syytä laajentaa käyttöön muihinkin laitteisiin, kun tiedetään yleinen puhtaustaso ja on todettu uusi puhdistusmenetelmä toimivaksi.

8.3 Kehitystyön tuloksien vaikutus komponenttien elinikään

Kehitystyön tuloksien keskeinen tarkoitus on hyödyttää toimeksiantajayritystä kartoittamaan hydrauliöljyjen kuntoa ja osoittamaan mitä vaikutuksia öljyn puhtaudella on laitteiden toimintaan ja sitä kautta kustannus- ja tuotantotehokkuuteen. Tämä pystytään osoittamaan hyödyntämällä tämän tutkimuksen tuloksia ja soveltamalla Noria Corporation nimisen tutkimus- ja koulutuslaitoksen luomaa Life Extension Table -työkalua hydraulijärjestelmille (kuva 30), jonka avulla pystytään arvioimaan öljyn puhtauden vaikutusta komponenttien elinikään. Noria Corporationin kehittämän Life Extension Table eli hydraulijärjestelmien elinikätaulukko on yleisesti öljy- ja voitelualan hyväksymä työkalu, jota hyödyntävät esimerkiksi seuraavat suuret toimijat: Donaldson ja Chevron (Business Wire 2023; Chevron 2020, s.11).

		Uusi puhtausluokka (ISO CODE)										
		22/20/17	21/19/16	20/18/15	19/17/14	18/16/13	17/15/12	16/14/11	15/13/10	14/12/9	13/11/8	12/10/7
Vanha puhtausluokka (ISO CODE)	28/26/23	5	7	9	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
	27/25/22	4	5	7	9	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
	26/24/21	3	4	6	7	9	>10	>10	>10	>10	>10	>10
	25/23/20	2	3	4	6	7	9	>10	>10	>10	>10	>10
	24/22/19	1,6	2	3	4	6	7	8	>10	>10	>10	>10
	23/21/18	1,3	1,5	2	3	4	6	7	9	>10	>10	>10
	22/20/17	x	1,3	1,6	2	3	4	6	7	9	>10	>10
	21/19/16	x	x	1,3	1,6	2	3	4	6	7	9	>10
	20/18/15	x	x	x	1,3	1,6	2	3	4	6	7	>10
	19/17/14	x	x	x	x	1,3	1,6	2	3	4	6	8
	18/16/13	x	x	x	x	x	1,3	1,6	2	3	4	6
	17/15/12	x	x	x	x	x	x	1,3	1,6	2	3	4
	16/14/11	x	x	x	x	x	x	x	1,3	1,6	2	3
	15/13/10	x	x	x	x	x	x	x	x	1,4	1,8	2,5

	Uuden öljynjakelupisteen puhtausluokan eliniän pidennyskerroin
	Laitteista puhdistettujen öljyjen eliniän pidennyskerroin

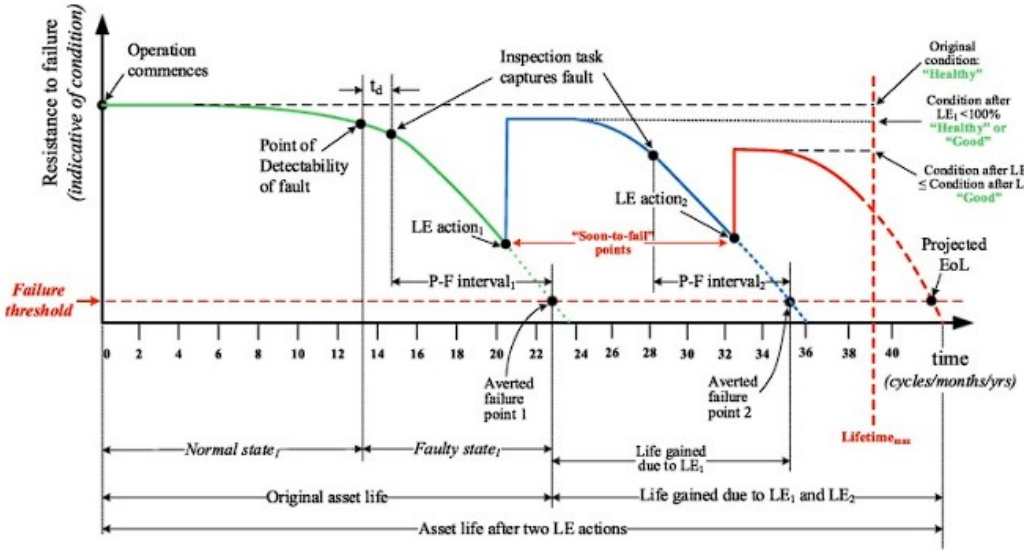
Kuva 30. Noria Corporationin luoma hydraulijärjestelmien elinikätaulukko, jota sovellettu (Chevron 2020, s.11).

Kuvan (kuva 30) hydraulijärjestelmien elinikätaulukossa pystyakselilla kuvataan öljyn alkuperäistä puhtausluokkaa ja vaaka-akselilla kuvataan tavoiteltua tai saavutettua puhtausluokkaa. Taulukon kohdassa, jossa pysty- ja vaaka-akseli kohtaavat on ilmoitettu eliniän pidennyskerroin. Yhden puhtausluokan parannus hydraulijärjestelmän öljyssä tarkoittaa 30% pidempää elinikää komponenteille, kahden puhtausluokan parannus 60% pidempää elinikää ja

kolmen puhtausluokan parannus jopa 100% pidempää elinikää, mitkä ovat yleensä realistisia puhtausluokkamuutoksia hyvin pienillä investoinneilla, kuten kehitystyö osoittaa. On kuitenkin mahdollista parantaa myös vielä useampaa puhtausluokkaa, mutta nämä tilanteet ovat harvinaisia ja kertovat laajemmista ongelmista, kuten laitteen erittäin huonosta kunnosta, vääristä suodatinvalinnoista tai järjestelmässä olevista vaurioista tai puutteista.

Tässä kehitystyössä saatiin parannettua öljyn jakelun puhtautta uudella välineistöllä ja uudella esisuodatusmenetelmällä puhtausluokasta 18/16/14 puhtausluokkaan 16/13/8, mikä tarkoittaa laskennallisesti 60% pidempää elinikää komponenteille, joissa jakelupisteen öljyä käytetään, olettaen että öljyn puhtautta pystytään pitämään yllä säännöllisillä huoltotoimenpiteillä ja öljyn puhtauden seurannalla. Kehitystyössä laitteista otettavien öljyjen yleinen puhtaustaso oli 17/15/12 ja kahden laitteen kokeessa, jossa öljyä puhdistettiin sivuvirtaussuodatinta käyttäen, saatiin puhtaustasoksi 15/13/10, mikä tarkoittaa, että myös tällä menetelmällä pystytään pidentämään komponenttien käyttöikää jopa 60%.

Kehitystyön tutkimuksen osoittama komponenttien 60% eliniän pidentäminen laitteissa vaatii kuitenkin jatkuvaa kunnonvalvontaa ja öljyjen puhtauden ylläpitoa. Saavutettua puhtaustasoa pitää ylläpitää ja näin voidaan saavuttaa tutkimustulosten mukaisia eliniän pidennyksiä hydraulisissa komponenteissa. Kuva (kuva 31) osoittaa kuinka myös tässä diplomityössä tutkittavien öljyjen puhtauden trendikäyrä käyttäytyy.



Kuva 31. Vaikutukset elinikään yhdellä ja jatkuvalla öljyn puhdistuksella (Ochella, S., Shafiee, M., & Sansom, C. 2022, s.2).

Komponenttivalmistajien komponenteille määritellyt eliniät saavutetaan vain jatkuvalla puhtaustason ylläpidolla. On siis tärkeää tunnistaa laitekohtaisesti oikea toimenpidetaajuus, jotta ei ylitetä vikaantumisen rajaa ennenaikaisesti. Kuvasta huomataan myös kirjallisuuskatsauksessa käsitelty ilmiö, että komponenttien kuluessa ja öljyjen menettäessä ominaisuuksia myös huoltotaajuus kasvaa. Tämä johtuu noidankehän kaltaisesta ilmiöstä, jossa kulumismekanismit aiheuttavat aina vain uusia epäpuhtauksia järjestelmään ja samalla kiihdyttävät kulumista. Laitteiden elinkaarikustannusten seurannassa huomataan usein sama ilmiö kun koneen ylläpitäminen elinkaaren loppuvaiheessa on paljon kalliimpaa kuin alussa.

9 Pohdinta ja johtopäätökset

Tämän pääluvun tarkoitus on pohtia ja tehdä johtopäätöksiä vertailuista ja yhtymäkohdista aikaisempiin tutkimuksiin, tutkimuksen objektiivisuuteen, käsitellä tutkimuksen reliabiliteettia ja validiteettia, tehdä virhe- ja herkkyystarkastelu, käydä läpi avaintulokset, pohtia tutkimuksen uutuusarvoa, käydä läpi tulosten yleistettävyyttä ja hyödynnettävyyttä sekä pohtia olisiko tälle tutkimukselle olemassa myös jatkotutkimusaiheita.

9.1 Vertailu ja yhtymäkohdat aikaisempiin tutkimuksiin

Tämän diplomityön keskeinen peruspilari oli kirjallisuuskatsaus, jossa hyödynnettiin aikaisemmin julkaistuja artikkeleita, tutkimuksia ja muita aiheeseen liittyviä julkaisuita. Myös kehitystyö tehtiin pitkälti näiden kirjallisuuskatsauksen lähteiden tietojen varassa ja tutkimuksen tulokset olivat odotettuja, aikaisempien tutkimusten mukaisia. Tämän vuoksi pidän myös tämän työn tutkimustuloksien olevan linjassa aikaisempien tutkimusten kanssa ja näin ollen voidaan uskoa tutkimustulokset myös luotettaviksi.

Kehitystyön kannalta merkittävänä lähteenä toimi tutkimus- ja koulutuskeskus Noria Corporationin julkaisema Machinery Lubrication tiedelehti, jonka artikkelit painottuvat öljy- ja voitelusektorille. Varsinkin Strategies for Controlling Contamination with Proper Filtration -julkaisu (Noria Corporation 2015) antoi kehitystyölle ja tutkimukselle oikean suunnan. Tässä artikkelissa puhutaan esisuodatuksen merkityksestä ja ohjeistetaan kaikissa alle ISO VG 100 öljyissä käyttämään 3 µm esisuodatusta, mikä tuntui ylimitoitetulta ja on erittäin harvinainen pintasuodatintyyppi, koska yleensä laitteissa käytettävät suodattimet ovat 10 µm ja 20 µm välillä. Tämän artikkelin perusteella kehitystyöhön valikoitui 3 µm pintasuodatinpatruuna toimimaan esisuodattimena ja tulokset vastasivat yleisesti uuden esisuodatetun öljyn puhtausvaatimuksia, mitä esimerkiksi suuri öljy-yhtiö Chevron suosittelee (Chevron 2020 s.18).

9.2 Objektiivisuus

Kirjallisuuskatsaus ja kehitystyö tehtiin käyttämällä useita toisistaan riippumattomia lähteitä. Lisäksi kehitystyön tutkimuksen öljyanalyysin ottamisen ja laboratoriossa tehtävän näytteiden analysoinnin toteutti kolmas riippumaton osapuoli käyttäen standardin velvoittamia tutkimusmenetelmiä. Näiden tietojen perusteella diplomityötä voidaan pitää objektiivisesti toteutettuna.

Tutkimuksen objektiivisuuden kannalta on myös keskeistä, että kehitystyön tavoitteet määriteltiin useista lähteistä. Tämä varmistaa, että kehitystyön toimenpiteet ovat varmasti oikeasuuntaisia ja tiedetään mitä tavoitellaan. Nämä vaatimukset määrittelivät kehitystyön toimenpiteet ja tavoiteltavat tulokset. Lähteet ovat pääsääntöisesti komponentti- tai öljyvalmistajien ilmoittamia. (Parker 2006, s.16; Eaton 2002, s.18; Donaldson 2014 s.24; Chevron 2020, s10; Des-Case 2021.)

9.3 Reliabiliteetti ja validiteetti

Tämän diplomityön tutkimuksissa on erittäin vahva reliabiliteetti, koska tutkimuksen näytteenotolle, laboratorioanalyyseille ja tulosten ilmaisuun on jokaiseen määritelty oma standardi. Näytteenotto tapahtuu ISO 4021 -standardin mukaisesti, joka määrittelee, kuinka näyte otetaan ja kuinka näytettä käsitellään. Näytteenoton suoritti henkilö, joka ottaa ammatikseen näytteitä, joten näytteen saastumisen inhimillinen riski oli minimoitu. Öljyn laboratoriossa suoritettavalle öljyanalyysille on myös olemassa oma ISO 11500 standardi, joka määrittelee öljyn analysointimenetelmän. Mittalaitteisto on myös kalibroitu ISO 11171 standardin mukaisesti. Öljyanalyysin tulokset taas ilmoitetaan ISO 4406:1999 standardin mukaisesti kolmessa kokoluokassa ISO-koodilla.

Tutkimuksen validiteettia kuvaa se, että tutkimuksessa on käytetty pelkästään standardin mukaisia mittausmenetelmiä ja termistöä, jotka kuvaavat öljyssä olevien epäpuhtauspartikkeleiden määrän ja kokojakauman tietyssä tilavuudessa öljyä eli puhtausluokan. Myös diplomityön aihe on rajattu koskemaan näitä mitattavia asioita. Tutkimustuloksissa puhutaan pelkästään ISO 4406 puhtausluokista ISO-koodein, joka on vakiintunut käytäntö öljyn puh-

tausluokan ilmaisemisessa. ISO-puhtausluokkia käyttävät öljyvalmistajat, komponenttivalmistajat sekä sitä käytetään yleisesti aiheeseen liittyvässä kirjallisuudessa ja artikkeleissa. Näistä voidaan todeta, että menetelmät ovat valideja tähän tutkimukseen.

9.4 Virhe- ja herkkyystarkastelu

Tutkimustulokset olivat hyvin loogisia ja linjassa kirjallisuuslähteiden sekä öljytoimittajan ilmoittamien tietojen kanssa. Alkutilanteesta otetut 10 öljynäytettä antavat hyvän yleiskuvan tehtaalla käytettävien laitteiden öljyn puhtaudesta, mutta kehitystyön jälkeen otetuissa tuloksissa on erittäin pieni otanta, koska näytteitä otettiin vain kolme kappaletta. Kehitystyön jälkeen otettiin vain yksi näyte esisuodatetusta öljystä, mutta se vastasi hyvin kirjallisuuskatsauksen perusteella oletettua tulosta. Lisäksi sivuvirtaussuodatinyksiköllä laitteesta puhdistetuista öljyistä otettiin vain kaksi näytettä aikataulusyistä. Näiden näytteiden tulokset olivat kuitenkin linjassa toistensa kanssa, joten tuloksia voidaan pitää luotettavina. Kokonaisuudessa näytteet olivat hyvin linjassa muiden näytteiden ja teorian kanssa, eikä näytteiden tulosten perusteella näytteenotossa ollut tapahtunut inhimillisiä virheitä.

Tutkimuksessa mahdollisten virheiden mahdollisuudet liittyvät öljyn saastumiseen näytteenoton yhteydessä, sekä näytteenottomenetelmään. Näytteet otti kuitenkin ammattihenkilö ja näytteenotto toteutettiin ISO 4021 standardin mukaisesti. Lisäksi vertailtavat näytteet ennen kehitystyötä ja kehitystyön jälkeen pyrittiin ottamaan mahdollisimman identtisissä olosuhteissa. Virhe tuloksissa voi tulla myös pienen näytteenotto määrän takia, koska dataa on vähän niin poikkeamat korostuvat. Tämä oli myös tämän tutkimuksen suurin riski.

Lisäksi tässä työssä paljon käytettävän ISO-koodin luokitusnumeron määritysmenetelmä toteutuu siten, että kun luokitusnumero kasvaa niin luokitusnumeroa määrittelevien partikkeleiden kokonaismäärä kaksinkertaistuu (kuva 32).

Kuva 32. ISO-koodin määrittävä partikkeleiden lukumäärä tuplaantuu aina kun ISO-koodi kasvaa yhdellä yksiköllä.

Tämä tarkoittaa sitä, että varsinkin pienien luokitusnumeroiden osalta partikkeleiden laskennan raja-arvot ovat lähellä toisiaan ja tämän takia ISO-koodin pienet luokitusnumerot ovat erityisen alttiita virheelliselle laskennalle tai näytteenottovirheelle.

9.5 Avaintulokset

Avaintuloksena tässä tutkimustyössä oli se, että kehitystyön toimenpiteillä päästiin haluttuun öljyn puhtausluokkaan ja jatkossa kehitystyön työkaluilla pystytään täyttämään laitteissa käytettävien komponenttien öljyn puhtausluokkavaatimukset.

Keskeisimpiä lukuja (kuva 33) avaintuloksista ovat kehitystyön ennen ja jälkeen -luvut, jotka kertovat kuinka paljon lukumäärällisesti epäpuhtauspartikkeleita saatiin poistettua öljystä. Tutkimustuloksissa puhutaan jopa yli satojen tuhansien partikkeleiden poistamisesta 100 ml öljynäytteestä. Parhaat tulokset lukujen perusteella saavutettiin esisuodatuksen kehitystyöllä, jossa saatiin puhtautta parannettua jokaisessa mitattavassa partikkelien kokoluo-

kassa. Myös laitteista puhdistetut öljyt antoivat erinomaisia tuloksia. Nämä kehitystyön tulokset eivät ole kuitenkaan vertailukelpoisia keskenään johtuen eri öljyn puhdistusmenetelmästä.

The name of the target	Cleanliness code	Particle count per 100 ml		
	>4µm/>6µm/>14µm	>4 microns	>6 microns	>14 microns
Jakelu Mobil DTE 10 Excel 32 (ennen kehitystyötä)	18/16/14	225825	54490	8275
Jakelu Mobil DTE 10 Excel 32 (jälkeen kehitystyön)	16/13/8	60000	5900	220
Muutos:	2 puhtausluokkaa	165825	48590	8055

The name of the target	Cleanliness code	Particle count per 100 ml		
	>4µm/>6µm/>14µm	>4 microns	>6 microns	>14 microns
Särmäyspuristin Pullmax (241) 10m (ennen)	16/14/11	32370	14540	1920
Särmäyspuristin Pullmax (241) 10m (jälkeen)	15/14/11	18360	8805	1865
Muutos:	1 puhtausluokkaa	14010	5735	55

The name of the target	Cleanliness code	Particle count per 100 ml		
	>4µm/>6µm/>14µm	>4 microns	>6 microns	>14 microns
Särmäyspuristin Pullmax (221) 3 m (alumiini) (ennen)	17/16/13	127635	52495	6530
Särmäyspuristin Pullmax (221) 3 m (alumiini) (jälkeen)	15/13/10	19905	5920	740
Muutos:	2 puhtausluokkaa	107730	46575	5790

Kuva 33. Avaintulokset lukuina.

9.6 Tulosten uutuusarvo

Tuloksilla ei varsinaisesti ole uutuusarvoa tiedeyhteisössä, mutta tuloksilla on uutuusarvoa diplomityön toimeksiantajayritykselle, jossa ei ole aikaisemmin tutkittu öljyn puhtauksia tällä laajuudella. Keskeisin uutuusarvo toimeksiantajayritykselle on vanhan menetelmän mukaisen öljyn jakelun ja esisuodatuksen toteaminen laadullisesti riittämättömäksi ja saattamalla se kehitystyön avulla vastaamaan vaatimuksia.

9.7 Tulosten yleistettävyys ja hyödynnettävyys

Tämän diplomityön tulokset voidaan yleistää myös muihin kohteisiin, joissa ympäristöolosuhteet vastaavat konepajaolosuhteita. Eli tulokset voidaan yleistää sisätiloissa toimiviin hydraulisiin laitteisiin yleisesti, sekä yleisesti sisätiloissa toimiviin öljynjakelupisteisiin.

Tässä työssä saadut tulokset ovat siis hyödynnettävissä lähes kaikilla teollisuuden sektoreilla pois lukien ulko-oloasuhteissa toimivat laitteet ja öljyn käsittely, joissa on mukana muita haasteita, joista keskeisin muuttuja on vesipitoisuudet.

9.8 Jatkotutkimusaiheet

Diplomityön tiukat rajaukset ja aikatauluraamit vaikuttivat tutkimuksen laajuuteen. Tästä syystä tutkimuksessa keskityttiin lähes pelkästään ISO 4406 mukaisiin puhtausluokkiin, jossa tarkastellaan epäpuhtauspartikkeleiden määrää ja kokojakaumaa hydrauliikkaöljyssä. Toimeksiantajayrityksen tarpeisiin muita hyödyllisiä jatkotutkimuskohteita olisi laajentaa tutkimus käsittelemään liikkuvan kaluston hydrauliikkaöljyjä, joissa olosuhteiden takia vesipitoisuuksien tutkiminen ja niiden vaikutus hydrauliikkakomponenttien käyttöikään olisi varteenotettava jatkotutkimuskohde.

10 Yhteenveto

Tämän diplomityön kehitystyö ja siihen liittyvä tutkimus antoi hyvän yleiskuvan käytettävien hydrauliöljyjen puhtaudesta ja todisti keskeisen ongelman, joka oli uuden öljyn riittämätön lähtöpuhtaus. Tämä on myös empiiristen havaintojen perusteella erittäin yleistä, että oletetaan uuden öljyn olevan lähtökohtaisesti riittävän puhdasta ja tämä johtuu suurelta osin tietämättömyydestä. Tämän kehitystyön yhteydessä toimeksiantajayrityksen öljyn lähtöpuhtaus jakelupisteeltä saatiin tasolle, joka täyttää jokaisen laitteen komponenttien vaatimustasot. Lisäksi öljyn puhtauden ylläpitoon saatiin tutkimuksen avulla todennettua toimiva työkalu, jonka hyödyntämiselle tulevaisuudessa on nyt olemassa perusteltua näyttöä. Tutkimuksen keskeinen tarkoitus oli toimia pilottiprojektina, jolla luodaan lähtökohdat ja näyttö uusien menetelmien ja laitteiden käytölle tulevaisuudessa osana kunnossapitoprosessia. Lisäksi tätä tutkimusta voidaan käyttää jatkossa toimeksiantajayrityksessä työkaluna perustella tulevia öljyn puhtauteen liittyviä investointeja, joille voidaan tämän tutkimuksen avulla osoittaa myös tuotannollisia ja taloudellisia vaikutuksia.

Keskeinen yhteiskunnallinen merkitys tällä diplomityöllä on jakaa yleistä tietoutta öljyn puhtaudesta ja sen merkityksestä laitteen elinkaareen. Erityisesti uuden öljyn puhtausluokan tietoisuus on vähäistä ja se yllättää monet, kuinka kaukana se on vaaditusta puhtaustasosta. Tähän keskeisiä syitä ovat öljyteollisuuden suuret volyymit, joka ei mahdollista sitä viimeistä hienosuodatusta käyttövalmiiseen puhtauteen. Tätä myöskään ei tuoda tarvittavasti esille, vaan on käyttäjän vastuulla tiedostaa asia. Keskeisin yksittäinen osoitus tässä kehitystyössä ja tutkimuksessa on osoittaa, kuinka yksinkertaisesti ja kustannustehokkaasti pystytään toteuttamaan jakelupisteeseen riittävä esisuodatus, jotta öljyn puhtaus vastaa myös laitevalmistajien puhtausvaatimuksia. Tällä menetelmällä pystytään pidentämään komponenttien käyttöikää kymmeniä, jopa satoja prosentteja. On kuitenkin tärkeää huomioida tutkimustulosten luotettavuuden kannalta, että saadut tulokset ja eliniän teoreettiset pidentymiset vaativat jatkuvaa öljyn puhtaustason ylläpitoa.

Tämän diplomityön tulokset ovat linjassa myös aikaisempien tutkimusten kanssa. Kehitystyön pohjana oli teoriaosuus, jonka perusteella erilaisia lähteitä apuna käyttäen kehitystoimet tehtiin ja saadut puhtausluokkatulokset olivat lähes juuri sitä mitä odotettiin. Oli jopa yllätys, kuinka hyvin saadut tulokset vastasivat odotettuja tuloksia.

Lähteet

Aghababaei, R., Warner, D. H., & Molinari, J. F. (2016). Critical length scale controls adhesive wear mechanisms. Nature communications, 7(1), 11816.

Akkaya, A. (2006). Effect of bulk modulus on performance of a hydrostatic transmission control system. Sadhana. 31. 543-556. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 7.3.2023]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/225921378_Effect_of_bulk_modulus_on_performance_of_a_hydrostatic_transmission_control_system

Allis, M. (2008) How to Avoid Particulate Contamination [Verkkoaineisto]. [Viitattu 4.4.2023]. Saatavissa: https://www.machinerylubrication.com/Read/1345/particlae%20contamination

Bensch, L & Pall Corporation (2000) How the New ISO Particle Count Standard Will Affect You [Verkkoaineisto]. [Viitattu 3.4.2023]. Saatavissa: https://www.machinerylubrication.com/Read/12/iso-particle-count

Business Wire (2023) New Donaldson Alpha-Web® Media Technology Provides Hydraulic Fluid That Is up to Four Times Cleaner [Verkkoaineisto]. [Viitattu 28.9.2023]. Saatavissa: https://www.sttinfo.fi/tiedote/69968676/new-donaldson-alpha-web-media-technology-provides-hydraulic-fluid-that-is-up-to-four-times-cleaner?publisherId=58763726

C.C.Jensen A/S (2003) Clean Oil Guide Second Edition 2003 Published by: C.C.Jensen A/S Svendborg, Denmark [Viitattu 1.6.2023]

C.C.Jensen (2023) Öljyn puhtauden merkitys komponenttien käyttöikään ja yritysesittely [Viitattu 23.4.2023]

Chevron (2020) ISOCLEAN 101 - What you can't see can hurt you [Verkkoaineisto]. [Viitattu 28.9.2023]. Saatavissa: https://www.chevronlubricants.com/content/dam/external/isoclean/en_us/sales-material/brochures/CHEVRON%20ISOCLEAN%20PPT%202019.pdf

Cross (2023) Guide to Selecting The Right Hydraulic Filter [Verkkoaineisto]. [Viitattu 11.4.2023]. Saatavissa: https://www.crossco.com/resources/technical/selecting-the-right-hydraulic-filter/

Cylinders (2022) Common Causes and Types of Hydraulic Fluid Contamination [Verkkoaineisto]. [Viitattu 5.4.2023]. Saatavissa: https://cylindersinc.com/blog/common-causes-and-types-of-hydraulic-fluid-contamination

Des-Case (2021) ISO Cleanliness Guidelines for Hydraulic & Lube Oils [Verkkoaineisto]. [Viitattu 31.3.2023]. Saatavissa: https://www.valin.com/sites/default/files/asset/document/des-case-iso-cleanliness-guidelines-for-hydraulic-and-lube-oils.pdf

Donaldson (2014) Hydraulic Filtration Capabilities and technical references [Verkkoaineisto]. [Viitattu 8.10.2023]. Saatavissa: https://www.donaldson.com/content/dam/donaldson/engine-hydraulics-bulk/literature/emea/hydraulic/f116091/eng/Hydraulic-Filtration-Overview.pdf

Eaton (2002) The Systemic Approach to Contamination Control . [Verkkoaineisto]. [Viitattu 29.3.2023]. Saatavissa: https://www.eaton.com/content/dam/eaton/hydraulics/services/ace/The_systematic_approach_to_contamination_control.pdf

Europafilter (2014) EF2115DMS offline oilcleaner [Verkkoaineisto]. [Viitattu 17.9.2023]. Saatavissa:https://subway-services.com/wp-content/uploads/2019/10/EF2115DP_ENG_Oil-Cleaner-Portable-Type.pdf

Fluid Finland (2002) Hydrauliikan perusteet [Verkkoaineisto]. [Viitattu 7.3.2023]. Saatavissa: https://docplayer.fi/18601470-Hydrauliikan-perusteet.html

Fluid Power Journal (2019) The Importance of Fluid Cleanliness in Today's Heavy Machinery [Verkkoaineisto]. [Viitattu 20.2.2023]. Saatavissa: https://fluidpowerjournal.com/importance-fluid-cleanliness-todays-heavy-machinery/

Fluid Power World (2016) The basics of hydraulic circuitry [Verkkoaineisto]. [Viitattu 4.10.2023]. Saatavissa: https://www.fluidpowerworld.com/basics-hydraulic-circuitry/

Godin, F. (2021) Best Practices for Lubricant Storage and Handling [Verkkoaineisto]. [Viitattu 16.10.2023]. Saatavissa: https://www.machinerylubrication.com/Read/52/lubricant-storage-handling

Gupta, B. R. (2023). Friction and wear mechanism of polymers, their composites and nanocomposites. In Tribology of Polymers, Polymer Composites, and Polymer Nanocomposites

(pp. 51-117). Elsevier. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 29.3.2023]. Saatavissa: https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/two-body-abrasive-wear

Hydraulic Solutions (2016) Part 2: Contamination in Hydraulic Systems [Verkkoaineisto]. [Viitattu 28.3.2023]. Saatavissa: https://www.hydraulicsolution.com/2016/11/14/part-2-contamination-hydraulic-systems/

IP-Produkter (2023) Lakkaantuminen hydrauliikka- tai voitelujärjestelmässä [Verkkoaineisto]. [Viitattu 23.4.2023]. Saatavissa: https://ip-produkter.fi/lakkaantuminen-hydrauliikka-tai-voitelujarjestelmassa/

ISM (2023) Mesh and Micron Sizes [Verkkoaineisto]. [Viitattu 26.3.2023]. Saatavissa: https://www.industrialspec.com/resources/mesh-and-micron-sizes/

John Deere (2023) - Metsäkoneiden voiteluopas [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2.3.2023]. Saatavissa: https://www.deere.fi/assets/pdfs/region-2/parts-and-service/forestry/oils/JD_Oljyesite_FIN_korj_net.pdf

Järviö, J. & Lehtiö, T. 2017. Kunnossapito: Tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 6. täydennetty painos. Helsinki: Promaint ry. [Viitattu 2.5.2023].

Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 2013. Hydraulitekniikka. 2. uud. p. Helsinki: Sanoma Pro. [Viitattu 7.3.2023]

Kunnossapitoyhdistys & Järviö, J. (2007). Kunnossapito. 4. uud. p. Helsinki: KP-Media. [Viitattu 20.4.2023].

Kunnossapitoyhdistys Promaint (2018) Öljyn kunnossapito: öljyn kunnossapidon uudet menetelmät ja haasteet sekä koneiden ja laitteiden ennakoiva kunnossapito öljyn avulla. 1. painos. Helsinki: Promaint ry.

MAC Hydraulics (2021) The Roles and Characteristics of Hydraulic Fluid [Verkkoaineisto]. [Viitattu 21.3.2023]. Saatavissa: https://mac-hyd.com/blog/the-roles-and-characteristics-of-hydraulic-fluid/

Ng, F., Harding, J. A., & Glass, J. (2017). Improving hydraulic excavator performance through in line hydraulic oil contamination monitoring. Mechanical Systems and Signal Processing, 83, 176-193. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 29.3.2023]. Saatavissa: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0888327016301881

Noria Corporation (2014) Best Practices for Storing and Handling Oil Drums [Verkkoaineisto]. [Viitattu 4.4.2023]. Saatavissa: https://www.machinerylubrication.com/Read/31621/storing-oil-drums

Noria Corporation (2015) Strategies for Controlling Contamination with Proper Filtration [Verkkoaineisto]. [Viitattu 15.4.2023]. Saatavissa: https://www.machinerylubrication.com/Read/30248/filtration-controlling-contamination

Ochella, S., Shafiee, M., & Sansom, C. (2022). An RUL-informed approach for life extension of high-value assets. Computers & Industrial Engineering, 171, 108332. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 4.10.2023]. Saatavissa: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835222003849#f0005

Paavilainen, H (2009) HYDRAULIIKKA 1 [Verkkoaineisto]. [Viitattu 21.3.2023]. Saatavissa: https://wiki.metropolia.fi/download/attachments/12158203/luentomoniste.pdf

Pall (2022) Filtration Fundamentals Part 1: Understanding contamination effects and filter performance ratings [Verkkoaineisto]. [Viitattu 28.5.2023]. Saatavissa: https://www.pall.com/en/oil-gas/blog/filtration-fundamentals1.html

Parker (2006) Parker Filtration's Handbook of Hydraulic Filtration [Verkkoaineisto]. [Viitattu 23.3.2023]. Saatavissa: https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/Hydraulic-Filter-Division-Europe/fdhb289uk.pdf

Promaint (2011) Öljynäytteiden hiukkaslaskenta [Verkkoaineisto]. [Viitattu 3.4.2023]. Saatavissa: https://www.pamas.de/fileadmin/user_upload/download/press/finnish_publications/2011-15_Finnish_Article_in_Promaint_5_2011.PDF

Promaint (2014a) Väri kertoo öljyn kunnon heikkenemisen [Verkkoaineisto]. [Viitattu 28.5.2023]. Saatavissa: https://promaintlehti.fi/Laite-ja-korjaustekniikat/Vari-kertoo-oljyn-kunnon-heikkenemisen

Promaint (2014b) Kuinka pidät voiteluöljyt puhtaina? [Verkkoaineisto]. [Viitattu 28.5.2023]. Saatavissa: https://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Kuinka-pidat-voiteluoljyt-puhtaina

Teboil (2019) Voiteluaineet tuoteluettelo [Verkkoaineisto]. [Viitattu 15.4.2023]. Saatavissa: https://www.teboil.fi/globalassets/tuotteet/voiteluaineet/teboil-tuoteluettelo_30042019.pdf

Triple, R (2023) Öljyanalyysin perusteella voidaan tehdä vertailuja ja öljyn saastumista voidaan tunnistaa nopeasti [Verkkoaineisto]. [Viitattu 23.4.2023]. Saatavissa: https://www.triple-r-europe.com/fi/oil-analysis

Velling, A. (2019) Material Wear – Mechanical, Corrosive and Adhesive [Verkkoaineisto]. [Viitattu 16.10.2023]. Saatavissa: https://fractory.com/mechanical-corrosive-adhesive-material-wear/

YTM (2023) Mitkä asiat vaikuttavat hydrauliikkaöljyn ja voiteluöljyn puhtauteen [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2.3.2023]. Saatavissa: https://www.ytm.fi/suodatus-erotus/hydrauliikka-kiertovoitelu-suodatus/hydrauliikkaoljy-voiteluoljy-puhtaus/

Liite 1. Öljyanalyysin raporttipohja

RAPORTTI 1(2)

7.6.2023 Laboratorionumero: H87682

ASIAKAS
Skoda Transtech Oy

YHTEYSHENKILÖ

NÄYTE
Osasto / Projekti:
Järjestelmä (kone/laite): Uusi öljybaari, 3 µm esisuodatus
Järjestelmän tunnus: Uusi öljybaari
Näytteenotto:
Näytteenottaja:
Öljy: Mobil DTE 10 Excel 32
Suodattimet:

Öljyn kunto
Kuluminen
Puhtaus

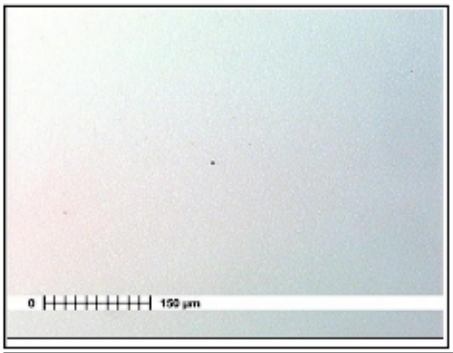
KOMMENTIT JA DIAGNOOSI

Öljyn kunto: Öljyn kemialliset arvot ovat normaalit käyttämättömälle Mobil DTE 10 Excel 32 öljylle.
Kuluminen: Kulumametallipitoisuudet ovat alhaiset alkuaineanalyysissä sekä mikroskooppitarkastelussa
Puhtaus: Öljy on kuivaa. Öljyn hiukkaspuhtaus on hyvällä tasolla. Automaattinen hiukkaslaskin vääristi tulosta. Hiukkaslaskimen antama tulos oli 19/17/11. Virhettä laskimen tulokseen voi aiheuttaa esim. jokin öljyn lisäaine, joka ei ole täysin liuenneessa muodossa (mutta joka liukenee öljyä sekoitettaessa/lämmössä).

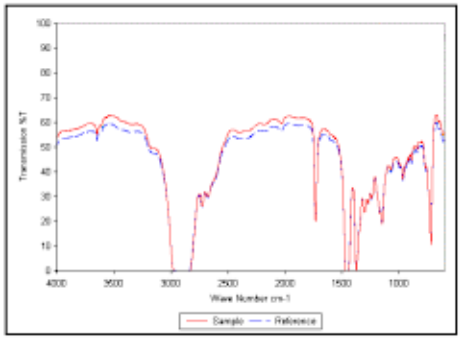
TULOKSET

Näytteenottopäivä				29.5.2023
Laboratorionumero				H87682
ÖLJYN KUNTO			**Menetelmä**	
Viskositeetti	+40 ° C	cSt	ASTM D445	31,07
	+100 ° C			6,36
Viskositeetti-indeksi		-		162
Väri		-	ASTM 1500	
Öljyn ulkonäkö				kirkas, v.kelt.
Öljyn hapettuminen	**-TAN**	mgKOH / g	ASTM D664	0,23
	-IR	A / cm		1
	-Memb. väri			valkoinen
Lisäaineet - ICP		ppm	ASTM D5185	
Kalsium				93
Magnesium				0
Boori				0
Sinkki				0
Fosfori				129
Barium				0
Rikki				763

Mikroskooppikuva: (suodatettu näytemäärä: 25 ml)



FT-IR-spektri



Fluidlab Oy | PL 407 | 20101 Turku | Puh. +358 (0)2 469 0025 | info@fluidlab.fi | www.fluidlab.fi

RAPORTTI 2(2)

7.6.2023 Laboratorionumero: H87682

TULOKSET

Näytteenottopäivä				29.5.2023
Laboratorionumero				H87682
JÄRJESTELMÄN KULUMINEN JA ÖLJYN KONTAMINAATIO			**Menetelmä**	
Kulumametallit - ICP		ppm	ASTM D5185	
Rauta				0
Kromi				0
Tina				0
Alumiini				0
Nikkeli				0
Kupari				0
Lyijy				0
Molybdeeni				0
PQ-indeksi		-		OK
Kontaminantit - ICP		ppm	ASTM D5185	
Pii				0
Kalium				0
Natrium				0
Vesipitoisuus		ppm	ASTM D6304 C	30
Puhtausluokka	**ISO4406**		ISO4407	16/13/8
Hiukkaslaskenta (A=autom., M=mikrosk.)				M
ISO4406:1999	**ISO4406**			
> 4 µm	(> 2 µm)	kpl / 100 ml		60000
> 6 µm	(> 5 µm)			5900
> 10 µm	(> 10 µm)			
> 14 µm	(> 15 µm)			220
> 21 µm	(> 20 µm)			
> 25 µm	(> 25 µm)			
> 38 µm	(> 50 µm)			
> 70 µm	(> 100 µm)			
Visuaalinen hiukkastunnistus (> 5 µm)		%	in-house	
Kirkas metalli				
Keltainen metalli				
Musta metalli				
Ruoste				
Silika ja muut pölym.				
Polymeerit				
Kuidut				
Muut				
Lisäanalyysit				