

Karamurskaimen kiertovoiteluöljyn seuranta

Juuso Ajanko

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2018
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma
Kunnossapito

Tekijä(t) Ajanko, Juuso	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2018
	Sivumäärä 59	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Karamurskaimen kiertovoiteluöljyn seuranta		
Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn ohjaaja(t) Tuukkanen, Harri & Luosma, Petri		
Toimeksiantaja(t) YIT Infra Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana oli YIT Infra Oy kiviainesdivisioona ja työn tavoitteena oli tehdä selvitys menetelmästä, jolla voitaisiin valvoa karamurskainten kiertovoitelujärjestelmän öljyn kuntoa reaaliaikaisesti. Tarkoituksena oli selvittää mahdollisia menetelmiä, jotka havaitsevat voiteluöljyn seasta kulumametallipartikkeleita ja tutkia niiden soveltuvuutta karamurskaimen öljyn kunnonvalvontaan. Oikealla kunnonvalvonnalla voidaan havaita karamurskaimen vauriotilanne ajoissa ja saavuttaa suurempi käyttöaste ja säästöjä korjauskustannuksissa.</p> <p>Opinnäytetyö oli luonteeltaan selvitystyö ja se toteutettiin case-tutkimuksena, jossa hyödynnettiin laadullisia- ja määrällisiä tutkimusmenetelmiä. Työssä perehdyttiin laajasti voiteluaineiden kunnonvalvontaan ja tribologian osa-alueisiin sekä haettiin tietoa öljykunnonvalvonnasta. Työssä etsittiin verkosta ja haastatteluin potentiaalisia vaihtoehtoja karamurskaimen kiertovoiteluöljyn kunnonvalvontaan ja haastateltiin kyseisten menetelmien tarjoajia.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksina löydettiin kolme eri menetelmä vaihtoehtoa, joilla karamurskaimen voiteluöljyn seuranta kulumametalli partikkeliä varalta olisi mahdollista. Laitteista selvitetiin hinnat työn tilaajalle. Lisäksi tuloksissa on pohdittu menetelmien soveltuvuutta karamurskaimen kiertovoiteluöljyn seurantaan ja niiden ominaisuuksia sekä etuuksia.</p> <p>Opinnäytetyössä tehdyn selvityksen pohjalta on mahdollista kehittää karamurskaimen kiertovoiteluöljylle kunnonvalvontaa. Työn tuloksista ja mahdollisesti jatkotoimenpiteinä tehtävistä mittaus- ja testituloksista on sovellettavissa toimiva kunnonvalvonta karamurskaimen kiertovoiteluöljyn seurantaan.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Karamurskain, kunnossapito, voiteluaine, kunnonvalvonta, tribologia		
Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet) Liitetiedostot 6 sivua		

Author(s) Ajanko, Juuso	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2018 Language of publication: Finnish
	Number of pages 59	Permission for web publication: x
Title of publication Monitoring the circulation oil system of a gyratory crusher		
Degree programme Degree Programme in Mechanical and Production Engineering		
Supervisor(s) Tuukkanen, Harri & Luosma, Petri		
Assigned by YIT Infra Ltd		
Abstract <p>The assignor of the bachelor's thesis was YIT Infra Ltd stone material division and the aim of the bachelor's thesis was to find out a method for monitor the condition of oil in gyratory crusher's circulation oil system in real time. The purpose was to find out possible methods for detecting wear metal particles in lubricating oil and to investigate their suitability for gyratory crusher oil condition monitoring. The right condition monitoring can detect the damage condition of the crusher in time and achieve a higher utilisation and savings in repair costs.</p> <p>The bachelor's thesis was a investigation and it was carried out as a case study using qualitative and quantitative research methods. In the thesis extensive knowledge of lubricant condition monitoring and tribology was studied and information on oil condition monitoring was sought. The network and interviews were explored with potential alternatives to condition monitoring of gyratory crusher circulation oil system. Method providers were interviewed.</p> <p>As a result of the bachelor's thesis, three different methods of finding the gyratory crusher lubrication oil for the wear metal particles would be possible. The prices of the equipment were determined for the assignor. In addition, the results have considered the suitability of the methods for monitoring the circulation oil system of gyratory crusher, their properties and benefits.</p> <p>Based on the investigation done in the bachelor's thesis, it is possible to develop condition monitoring for the crusher circulation oil system. Appropriate condition monitoring for the circulation oil system of the crusher is applicable to the results of the work and possibly the subsequent measurement and test results.</p>		
Keywords/tags (subjects) Gyratory crusher, maintenance, lubricant, condition monitoring, tribology		
Miscellaneous (Confidential information) Documents as annexes, 6 pages		

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja tehtävä.....	5
1.2	YIT Infra Oy	6
2	Kiviainestuotanto	6
2.1	Murskaustekniikka ja prosessi.....	7
2.2	Murskalaitokset ja murskauslaitteet.....	8
2.3	Murskalaitoksen käyttö ja kunnossapito	9
2.4	Karamurskain.....	11
3	Kunnossapito.....	12
3.1	Kunnossapitolajit	12
3.2	Kunnonvalvonta	14
4	Voiteluaineanalyysit ja voiteluaineen kunnonvalvonta.....	16
4.1	Voiteluaineen kunnonvalvonta	17
4.2	Voiteluaineanalyysit	18
4.2.1	Voiteluaineiden analyysimenetelmät.....	20
4.2.2	Kiinteät online tiedonkeruu- ja analysointilaitteet	20
4.2.3	Hiukkasanalyysit ja puhtausluokat	22
4.2.4	Kulumametallianalyysit	25
4.2.5	Näytteenotto ja sen merkitys tuloksiin	26
5	Tribologia	27
5.1	Kitka	27
5.2	Kuluminen ja kulumismekanismit	27
5.2.1	Adhesiivinen kuluminen	28
5.2.2	Abrasiivinen kuluminen	28

	2
5.2.3 Tribokemiallinen kuluminen.....	29
5.2.4 Väsymiskuluminen.....	29
5.3 Kulumistapahtumien ominaispiirteet	30
5.4 Voitelu ja voitelumekanismit.....	31
5.5 Voiteluaineiden puhtaus	33
5.6 Kiertovoitelujärjestelmä.....	33
6 Opinnäytetyön toteutus	35
6.1 Tutkimusstrategia.....	35
6.2 Työn tarkoitus ja tavoite.....	36
6.3 Kunnonvalvontamenetelmän vaatimukset	36
6.4 Kunnonvalvontamenetelmän selvitys.....	40
7 Tulokset	41
7.1 Työn tulokset.....	41
7.2 Kunnonvalvontamenetelmät.....	41
7.2.1 Metallipartikkelien tunnistimia	42
7.2.2 magneettisten sirujen ilmaisimet.....	46
7.3 Tulosten luotettavuus ja arviointi	48
7.4 Kehitysideat ja jatkotoimet	49
8 Pohdinta.....	49
Lähteet	51
Liitteet.....	54
Liite 1. Voiteluaineanalyysi, karamurskain 1.....	54
Liite 2. Voiteluaineanalyysi, karamurskain 2.....	55
Liite 3. Voiteluaineanalyysi, karamurskain 2.....	56
Liite 4. Voiteluaineanalyysi, karamurskain 3.....	57

Kuviot

Kuvio 1. Mobiili- eli liikkuva murskaamo. (Hakapää ym. 2015, 221)	8
Kuvio 2. Kiinteä murskaamo. (Hakapää ym. 2015, 220)	9
Kuvio 3. Karamurskaimen toimintaperiaate. (Metso minerals Oy 2013, 83)	11
Kuvio 4. Kunnossapitolajit standardin PSK 7501 mukaisesti. (PSK 7501, 2010, 32)	13
Kuvio 5. Öljyn kunnonvalvonnan ohjauksen mahdollisuudet laitteen kulumisen vähentämisessä ja käyttöiän pidentämisessä. (Korpi, Manninen, Rinkinen & Suontama 2006, 166)	17
Kuvio 6. Voiteluaineen kunnonvalvontaan liittyvät keskeiset riippuvuussuhteet. (Hakapää ym. 2015, 375, muokattu).....	19
Kuvio 7. Online -hiukkaslaskennan toimintaperiaate. (Niiranen 2010, 24)	21
Kuvio 8. Optisen hiukkaslaskimen toimintaperiaate. (Malinen ym. 2006, 118)	22
Kuvio 9. Eri kulumismekanismien tuottamia hiukkasia. (Korpi ym. 2006, 176).....	24
Kuvio 10. Öljyjärjestelmän näytteenottoaikaan vaikuttaa haluttu mittaustieto. (Niiranen & Vesala 2012, 54)	26
Kuvio 11. Voitelumekanismien jaottelu. (Kivioja 1997, 132)	31
Kuvio 12. Voitelu- ja säätölaite sekä karamurskain. (Metso minerals Oy 2013, 98.) ..	37
Kuvio 13. Vaurioituneen karamurskaimen kiertovoiteluöljysäiliön siivilä. (Kokko 2018.).....	39
Kuvio 14. Öljyn kunnonvalvonta tavat. (Gebarin 2003.)	42
Kuvio 15. Hydac MCS 1000 anturi mallit. (Laamanen 2018c.)	43
Kuvio 16. MPD kytkinkaavio. (Metal Particle Detector N.d, 2.)	44
Kuvio 17. MPD asennuskaavio. (Metal Particle Detector N.d, 2.).....	45
Kuvio 18. MPD - Metal Particle Detector. (Metal Particle Detector N.d, 1.)	46
Kuvio 19. 4212 Öljyn kuntoanturi ja LED -näyttö. (OIL CONDITION MONITORING SENSOR User Manual 2017, 49.)	47

Taulukot

Taulukko 1. Öljystä analysoitavat perusominaisuudet. (Mikkonen 2009, 430, muokattu).....	18
Taulukko 2. Hiukkanalyysitapojen vaihtoehdot. (Mikkonen 2009, 432, muokattu)	22
Taulukko 3. SAE AS4059 rev E -taulukko. (Opas kunnonvalvontaan 2011, 8)	23
Taulukko 4. Kvalitatiivisen analyysin esimerkki. (Mikkonen 2009, 434, muokattu)	24

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja tehtävä

Kunnonvalvonnasta on tullut yksi tärkeä tekijä teollisuuden kunnossapidossa ja yhä useammissa tuotantolaitoksissa on havaittu kunnonvalvonnan vaikutus koneiden käyttöasteeseen ja toiminnan kannattavuuteen. (Johdanto kunnonvalvontaan n.d.) Voiteluainetta voidaan pitää yhtenä osana konetta ja sen kunnonvalvonnalla saadaan arvokasta tietoa koneen- ja voiteluaineen kunnosta sekä voiteluaineen epäpuhtauksista. (Mikkonen 2009, 428.)

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi YIT Infra Oy kiviainesdivisioona, jossa karamurskaimien kiertovoiteluöljyn reaaliaikaista seuranta ei ole aiemmin hyödynnetty. Kiviainestuotannossa käytettäviä karamurskaimia käytetään vaativissa olosuhteissa, joissa murskaimen vaurioituminen voi tapahtua eri syistä johtuen vain joissakin minuuteissa. Karamurskaimille on aiemmin tehty voiteluaineanalyyskejä ja kulumametallianalyyskejä, mutta jatkuvatoiminen kunnonvalvonta, jolla voitaisiin havaita murskaimen alkavat vauriot on puutteellista.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää mahdollisia kunnonvalvonta menetelmiä, joilla havaitaan karamurskaimen kiertovoiteluöljyn seasta kulumametalli partikkeleita niiden ilmetessä voiteluöljyyn. Kulumisvauriosta syntyneiden metallipartikkeleiden havaitsemisella voidaan ennaltaehkäistä karamurskaimen suurempi tuhoutuminen, jolla saavutetaan suurempi käyttöaste ja säästöjä korjauskustannuksissa.

Opinnäytetyön tutkimuskysymykset olivat: mikä on tehokkain keino havaita karamurskaimen kulumametalli partikkelit kiertovoiteluöljyssä ja soveltuuko kyseinen menetelmä karamurskaimeen ja sen vaatimiin olosuhteisiin? Lisäksi opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään mahdollisten menetelmien hintoja ja saatavuutta. Löydetyistä menetelmistä vertailtiin niiden ominaisuuksia ja etuuksia, joilla haettiin vastauksia tutkimuskysymyksiin.

Opinnäytetyö toteutettiin case-tutkimuksena, eli kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tutkimusotteiden yhdistelmänä. Case-tutkimuksessa tutkitaan tämän hetkistä ilmiötä ja tutkimus kohdistuu tutkittavan kohteen luonnolliseen ympäristöön.

Tutkimuskohteita on yleensä yksi ja ilmiöstä halutaan saada syvälinen ja rikas kuvaus, joka tapahtuu yhdistelemällä monia aineistokeruumenetelmiä. (Kananen 2013, 54.) Opinnäytetyö keskittyi pelkästään selvittämään mahdollisia kunnonvalvonta menetelmiä karamurskaimen kiertovoiteluöljylle. Aineistoa kerättiin toimeksiantajalta, kunnonvalvonta menetelmien valmistajilta, kirjallisista teoksista ja artikkeleista. Lisäksi haastateltiin toimeksiantajan kunnossapitohenkilöstöä ja kunnonvalvonta menetelmien valmistajia.

1.2 YIT Infra Oy

Tämä opinnäytetyö aloitettiin tekemään Lemminkäinen Infra Oy:n tarpeisiin, mutta Lemminkäinen Oyj ja YIT Oyj yhdistyivät 1.2.2018, joten työ siirtyi fuusioitumisen myötä YIT:n tarpeisiin. Yhdistyneestä yhtiöstä löytyi opinnäytetyön tekemisen aikana rajallisesti tietoa sekä havainnollistavia alustavia karkeita arvioita. YIT:n ja Lemminkäisen yhdistyneen yhtiön vuotuinen liikevaihto vuonna 2017 oli yli 3,8 miljardia euroa ja oikaistu liikevoitto noin 152 miljoonaa euroa. Yhdistyneellä yhtiöllä on toimintaa 11 maassa, joihin kuuluu, Suomi, Venäjä, Ruotsi, Norja, Tanska, Viro, Latvia, Liettua, Tšekki, Slovakia ja Puola. (YIT Vuosikertomus 2017, 16.) Yhdistynyt YIT on suurin suomalainen ja merkittävä pohjoiseurooppalainen rakennusyhtiö. (YIT ja Lemminkäinen yhdistyivät 1.2.2018 N.d.)

2 Kiviainestuotanto

Kiviainestuotanto, eli murskaus on monivaiheinen prosessi, jolla tuotetaan kiviainek- sia eri käyttötarkoituksiin. Koko kiviaineksen tuotanto lähtee kalliosta, joka räjäytetään louheeksi. Kallioperään porataan reikiä sen louhintaa varten. Louhintaräjähdy- saine panostetaan lähes poikkeuksetta porareikään. (Hakapää, Lappalainen & Paalu- mäki 2015, 183.) Kalliosta räjäytetty louhe jatkojalostetaan murskausprosessin läpi eri lajikkeiksi, riippuen kiviaineksen lopullisesta käyttötarkoituksesta.

2.1 Murskaustekniikka ja prosessi

Kivet murskataan joko puristamalla tai iskemällä niitä. Puristumurskauksessa kivi murskataan kahden metallipinnan välissä, jotka puristavat kiveä, kunnes se murtuu. Iskumurskauksessa nopeasti pyörivä vasara hajottaa kiven isku voimalla. Kivityyppi ratkaisee yleensä sopivimman menetelmän. Murskausprosessin aikana louheen kappalekoko aloitetaan pienentämään noin 1 metrin kokoisista kappaleista. Tavallisesti murskaus tapahtuu 2-3 vaiheessa, ennen kuin haluttu kappalekoko on saavutettu. Murskaus vaiheita ovat esimurskaus, välimurskaus ja hienomurskaus. Eri vaiheet muodostavat murskausprosessin, johon kuuluu murskaimia, kuljettimia ja seuloja. Seulojen avulla hieno aines voidaan erottaa louheesta ennen murskainta tai karkea aines lähettää takaisin murskaimelle. Seulojen verkotuksen silmäkoolla vaikutetaan myös lopputuotteiden haluttuun raekokoon. (Hakapää ym. 2015, 218.)

Esimurskaus

Esimurskaus on murskausprosessin ensimmäinen mekaaninen murskaustoimenpide. Esimurskauksen tehtävänä on pienentää kiviaineksen kokoa niin, että sitä voidaan jatko käsitellä tai kuljettaa hihnakuljetinta pitkin. Esimurskaimena käytetään tyypillisesti leukamurskainta tai karamurskainta. Kaivoksissa esimurskain on maan alla tai matalissa kaivoksissa maan pinnalla. Maanalaisissa kaivoksissa esimurskain on yleensä kiinteä, mutta avolouhoksissa käytetään joko kiinteää tai liikkuvaa murskainta. Avolouhoksissa esimurskain on usein kaivoksen pohjalla. Liikkuva esimurskain on yleensä taloudellisesti järkevä ratkaisu, jos laitteistoa on siirrettävä louhoksella jatkuvasti. (Hakapää ym. 2015, 219.)

Välimurskaus

Välimurskauksen tarkoitus on valmistella materiaalia viimeistä murskausvaihetta varten tai tuottaa karkeita tuotteita, esimerkiksi tiepohjaan käytettävää kiviainesta. Välimurskauksella ei yleensä ole muita laatuvaatimuksia, kuin se, että tuote soveltuu hienomurskaukseen. Poikkeuksena on välimurskalla valmistettu rautatiesepeli, jonka täytyy olla hyvälaatuista. Yleensä välimurskauksen tavoitteena on saavuttaa paras

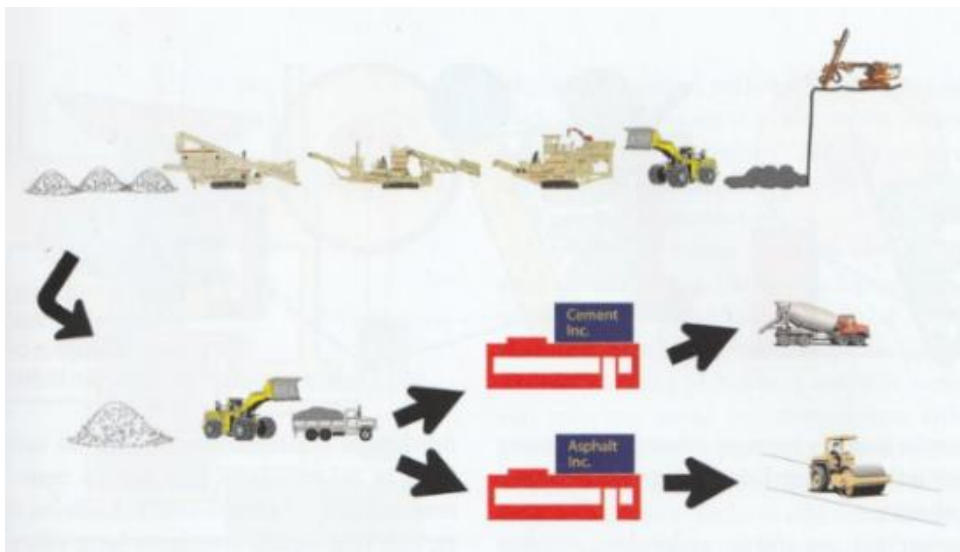
mahdollinen murskaussuhde mahdollisimman alhaisin kuluin. (Hakapää ym. 2015, 219.)

Hienomurskaus

Hienomurskauksella määritetään lopputuotteen laatu. Kiviainesteollisuudessa laatuvaatimukset voivat olla hyvinkin tarkat, riippuen lopputuotteesta ja sen käyttötarkoituksesta. Kiviainestuotannossa yleisimmät vaatimukset koskevat tuotantoa ja laatua, eli tuotettavan tuotteen raekokoa. (Hakapää ym. 2015, 219.)

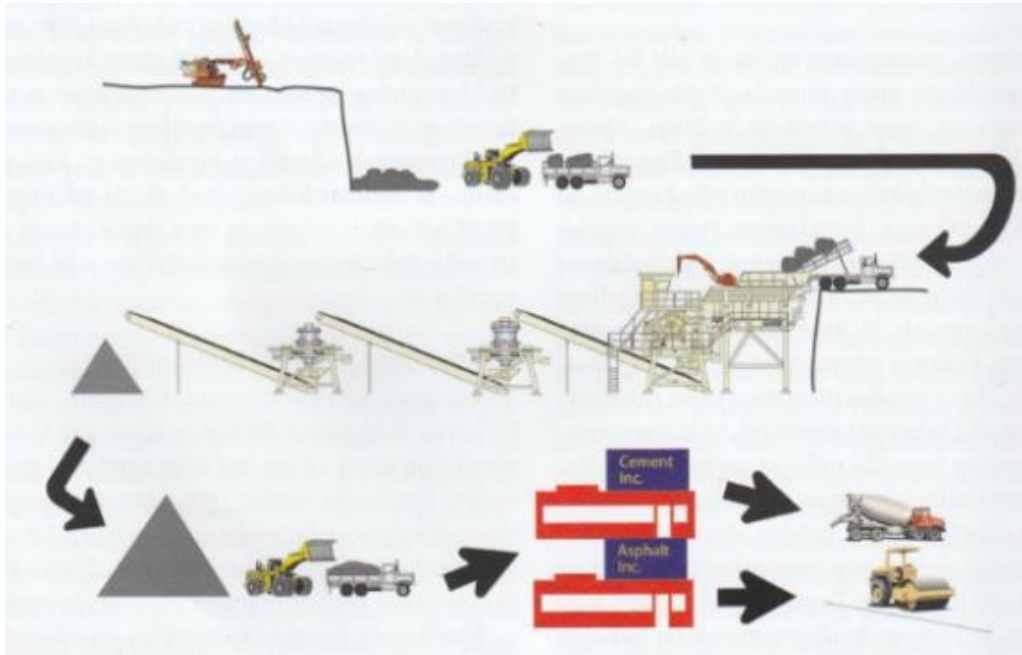
2.2 Murskalaitokset ja murskauslaitteet

Murskaamot jaotellaan karkeasti kiinteisiin, osittain liikkuviin ja kokonaan liikkuviin laitoksiin. Liikkuvista laitoksista on tullut vuosien varrella yhä suosittumia niiden joustavuuden vuoksi, etenkin työkohteissa, joiden kesto on rajallinen tai joissa voidaan saavuttaa säästöjä kuljetuskustannuksissa. Liikkuvat laitokset ovat myös joustavampia ahtaissa työkohteissa ja paikoissa, joissa murska-asemaa täytyy siirtää louhoksesta pois. Liikkuvia laitoksia syötetään pääsääntöisesti kaivinkoneella. Kuviossa 1 on esitelty liikkuva murska-asema. (Hakapää ym. 2015, 219.)



Kuvio 1. Mobiili- eli liikkuva murskaamo. (Hakapää ym. 2015, 221)

Pitkäikäisissä kaivoksissa ja työmailla kiinteät murskaamot ovat yleisempiä. Kiinteitä murska-asemia syötetään, joko pyöräkuormaajalla, kiviautolla tai dumperilla. Eri murskauslaitteista on useita tyyppisiä, ja murskalaitoksen laitteiden valinta perustuu murskattavan kiven laatuun, tuotevaatimukseen, materiaalin määrään ja murskausprosessiin. Kuviossa 2 on esitelty kiinteä murska-asema. (Hakapää, Lappalainen & Paalumäki 2015, 219-220)



Kuvio 2. Kiinteä murskaamo. (Hakapää ym. 2015, 220)

2.3 Murskalaitoksen käyttö ja kunnossapito

Murskaus on prosessituotanto ja yhdenkin yksittäisen vaiheen pysähtyminen aiheuttaa koko tuotannon katkoksen. Murskainten oikea käyttö ja säännöllinen huolto vähentävät laitteiden seisonta-aikoja, takaavat pitkän käyttöiän, lisäävät käytettävyyttä ja niillä saavutetaan korkeat tuotantomäärät, hyvä laatuinen tuote sekä pienet käyttökustannukset. Murskaimien varsinaiset huoltokustannukset ovat yleensä suhteellisen pienet, mutta tuotantokatkoksista koituvat välilliset kustannukset voivat nousta suuriksi. Murskausprosessin materiaalivirta on säädeltävä. Laitoksen laitteita ohja-

taan keskitetysti automaatiolla tai yksittäin käsikäyttöisesti. Laitoksen laitteet käynnistetään ja pysäytetään tietyssä järjestyksessä, sillä kiviainesta ei voi syöttää eteenpäin, jos seuraava laite ei ole käynnissä.

Automaattinen järjestelmä valvoo ja säätelee murskaamolaitteiden toimintaa ja suojaaa niitä ylikuormitukselta ja rikkoutumisilta. Myös laitteiden voitelu voi olla automatisoitu. Valvonta- ja hallintajärjestelmä on yhdistetty kiinteillä murskaamoilla yhteen keskusvalvomoon, jossa yksi henkilö hallitsee koko murskausprosessia. Prosessin tärkeimmissä pisteissä on yleensä myös kamerayhteys valvomoon.

Laitteiden ennakkohuollot vähentävät käyttökatkoksia. Laitteiden valmistajat antavat suosituksia säännöllisistä huolloista, jotka koostuvat erilaisista tarkistuksista ja huoltotoimenpiteistä. Ennakoiva huolto ja murskainten kunnonvalvonta ovat tehokkaita keinoja huomata alkavat viat varhaisessa vaiheessa. Ennakoiva huolto mahdollistaa huoltojen suunnittelun ja varaosien ennakkotilaukset, mikä taas lyhentää huoltoaikoja.

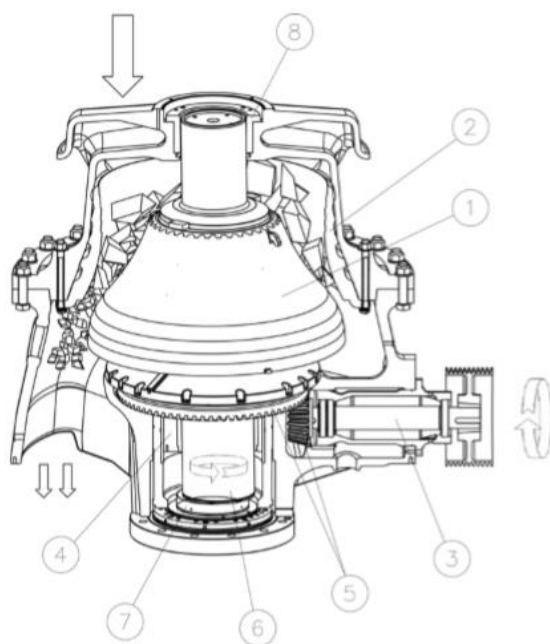
Kunnonvalvonta voi pitää sisällään voiteluöljyn paineen ja lämpötilan mittauksen, voiteluöljysuodatinten tilan ilmaisimet, voiteluöljyanalyysin ja moottorin virtamittarin. Reaktiivista huoltoa tarvitaan ennakoivan- ja tai ennalta ehkäisevän huollon epäonnistuttua ja murskain vikaantuu. Tämä huolto on kallista ja tehotonta, koska se lyhentää murskainten käyttöikää ja käytettävyyttä sekä aiheuttaa tuotantohäiriöitä. Murskaimet ja murska-aseman laitteet sisältävät paljon kulutusosia. Murskainten ja laitteiden kulutusosat vaativat säännöllistä seurantaa ja vaihtoa. Liian kuluneet murskaimen terät heikentävät tuotantoa ja voivat puhjetessaan vaurioittaa murskaimen runkoa ja lyhentää murskaimen käyttöikää. (Hakapää ym. 2015, 226.)

Murskainten terät kuluvat liian pienellä asetuksella ajettaessa. Etenkin hienomurskaimen uusilla terillä tulisi ajaa pari vuorokautta 2-3 mm suuremmalla asetuksella kuin vähimmäisasetus suositus on. Kartiomurskainten kiertovoiteluöljyyn pääsee epäpuhtauksia ja tummuu nopeasti, jos pölytiivisterenkaat ovat kuluneet. Pölyämistä esiintyy, kun pölynpoistoputki on kulunut puhki, pölypussi on puhjennut tai tukkeutunut tai pölyruuvi on kulunut loppuun. Jäätyminen talvella aiheuttaa myös pölyämistä. Varo- ja hälytyslaitteiden epäkunto voi aiheuttaa vaurioita, jos esimerkiksi voitelun loppuminen jää huomaamatta. (Hakapää ym. 2015, 382.)

2.4 Karamurskain

Karamurskaimessa kara-akseli on laakeroitu molemmista päistä. Karamurskaimen kammio on yleensä melko pystysuuntainen ja pystyy käsittelemään karkeaa syötettä. Karamurskaimella on suuri suorituskyky, mutta pieni murskaussuhde, joka johtuu siitä, että karamurskaimella suuri syöttöaukko ja vain lyhyt yhdensuuntainen alue murskauskammion sisällä. Karamurskaimia käytetään työmailla pääsääntöisesti väli- ja hienomurskaimina. Karamurskaimet on varustettu oskilloivalla akselilla. Kiviaines murskataan murskauskammiossa kiinteän ulkoisen kartion ja sisäisen liikkuvan akselikokoonpanon kiinnitetyn kartion välillä.

Karamurskain saa voimansa sähkömoottorista, jonka hihnavälitys pyörittää murskaimen käyttöakselia. Käyttöakseli taas pyörittää epäkeskoakselilla olevaa hammaspyörää, joka saa aikaan kara-akselin epäkeskeisen liikkeen. Tapahtumaa on havainnoitu kuviossa 3. Kiviainesmateriaalin rikkoutuminen aiheutuu toistuvasta puristuksesta kammioita ympäröivien kulutuskartioiden välillä. Murskaantumista tapahtuu myös puristuksissa olevien kiviaines partikkelien välillä, joka vaikuttaa tuotettavan murskeen muotoon ja vähentää terien kulutusta. Tuotteen raekoko säädetään, joko nostamalla tai laskemalla kara-akselia. Kara-akseli liikkuu hydraulisen säätöjärjestelmän avulla, joka säätelee suljetun puolen asetusta. (Hakapää ym. 2015, 221-223.)



Kuvio 3. Karamurskaimen toimintaperiaate. (Metso minerals Oy 2013, 83)

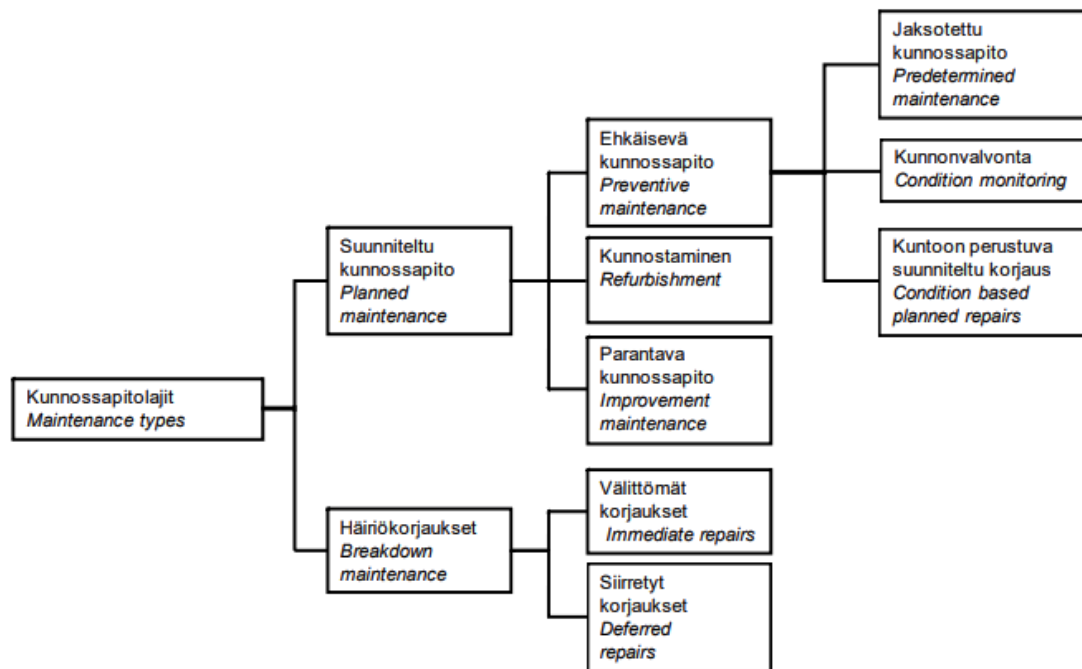
Murskaus tapahtuu epäkeskeisesti liikkuvan kartion (1) ja kiinteän maljan kulutusosan (2) välissä. Käyttöakseli (3) pyörittää hammaspyörävälityksellä (5) epäkeskoakselia (4). Epäkeskoakseli saa aikaan murskaimen iskut liikuttamalla kara-akselia (6). Kara-akseli on laakeroitu ala- (7) ja yläpäästä (8). Murskattava kiviaines syötetään murskaimeen yläkautta ja murskattu materiaali poistuu murskaimesta alakautta painovoiman avulla. (Metso minerals Oy 2013, 83.)

3 Kunnossapito

Nykykäsityksen mukaan kunnossapidon ensisijainen tehtävä on pitää koneet ja laitteet jatkuvasti käyttökunnossa. Kunnossapito sisältää myös rikkoutuneiden laitteiden tai komponenttien korjaukset, mutta korjaustoiminta ei ole kunnossapidon pääasiallinen tarkoitus. Nykykäsityksen mukaan kunnossapito ei ole kustannus vaan tärkeä tuotannontekijä, jonka avulla varmistetaan tuotantolaitoksen pysyminen kilpailukyisenä. (Mikkonen 2009, 25.)

3.1 Kunnossapitolajit

Kunnossapitolajit jaetaan kahteen osaan standardin PSK 7501 mukaan, joko suunniteltuun kunnossapitoon tai häiriökorjauksiin. Kunnossapitolajit jaetaan sen mukaan, tehdäänkö kunnossapitoa ennen vikaantumista vai sen jälkeen. Standardin 7501 (2010, 32) mukaiset kunnossapitolajit on esitetty kuviossa 4.



Kuvio 4. Kunnossapitolajit standardin PSK 7501 mukaisesti. (PSK 7501, 2010, 32)

Suunniteltu kunnossapito sisältää ehkäisevän kunnossapidon, kunnostamisen ja parantavan kunnossapidon (PSK 7501, 2010, 5). Suunnitellut kunnossapitotyöt tehdään ennen vikaantumista. Ehkäisevä kunnossapito pitää yllä kohteen käyttöominaisuuksia ja sillä palautetaan kohteen heikentynyt toimintakyky ennen vikaantumisen syntyä tai sillä estetään vaurion syntyminen. (Mikkonen 2009, 97.)

Ehkäisevä kunnossapito pitää sisällään jaksotetun kunnossapidon, kuntoon perustuvan suunnitellun korjauksen ja kunnonvalvonnan (PSK 7501, 2010, 5). Kunnostaminen käsittää kuluneen tai vaurioituneen kohteen palauttamisen käyttökuntoon ilman, että prosessin toiminta häiriintyy (Mikkonen 2009, 97). Kunnostaminen tapahtuu yleensä korjaamolla. (PSK 7501, 2010, 5.)

Parantava kunnossapito käsittää toimenpiteet, joiden tarkoituksena on muuttaa kohteen rakennetta, jotta sen toimintavarmuus ja kunnossapidettävyyys paranevat (PSK 7501, 2010, 5). Parantava kunnossapito ei kuitenkaan muuta kohteen toimintoa. (Mikkonen 2009, 97.)

Jaksotettua kunnossapitoa tehdään suunnitelluin jaksotuksin esimerkiksi tuotantomäärän, käyttötuntien, kalenteriajan tai energian käytön mukaisesti.

Kunnonvalvonta hankkii tietoa kohteen kunnostustarpeesta. Se määrittää kohteen toimintakunnon nykytilan ja arvioi sen kehittymisen mahdollisen vikaantumis-, huolto-, ja korjausajankohdan määrittämiseen.

Kuntoon perustuva suunniteltu korjaus on kunnonvalvonnalla, tarkastustoiminnalla ja aistinvaraisesti havaittujen kohteiden suunniteltu korjaus. (Mikkonen 2009, 97)

Häiriökorjaus jaetaan välittömiin korjauksiin ja siirrettyihin korjauksiin vian vaatimalla tavalla (PSK 7501, 2010, 5). Häiriökorjaus palauttaa vikaantuneen kohteen toimintakuntoon ja sen käyttöturvallisuuden alkuperäiseen tilaan. Välitön korjaus suoritetaan heti vian havaitsemisen jälkeen, jotta sen toimintakunto voidaan palauttaa ennalleen tai rajoittaa vikaantumisen aiheuttamat seuraukset hyväksyttävälle tasolle. Siirrettyä korjausta ei suoriteta heti vian havaitsemisen jälkeen, vaan se siirretään suoritettavaksi tuotannon, organisaation tai tilan niin salliessa. (Mikkonen 2009, 97.)

3.2 Kunnonvalvonta

Kunnonvalvonta täydentää laitteiden käyttöseuranta ja palvelee sitoutunutta kunnossapitotoimintaa. Käyttöseuranta sisältyy kunnonvalvontaan. Kunnonvalvonta perustuu laitteiden kunnon ja niiden tilaa osoittavien tunnusuuroiden tunnistamiseen. Näille määritetään tarkistusmenetelmät, mittaustavat ja -laitteet sekä tulkintajärjestelmät ja hälytysrajat. Lisäksi on oltava olemassa järjestelmä, jonka avulla reagoidaan hälytyksiin ja mittaustuloksiin. (Ansaharju 2009, 302.)

Kunnonvalvonnan tehtävä määritetään niin, että se tuottaa sellaista tietoa, että laitteita voidaan käyttää keskeytyksettä suunnitellun käyttöjakson ja suorittaa niille korjaukset, huollot ja parannukset oikea-aikaisesti. Mitä varhaisemmin kunnonvalvonta havaitsee koneissa ja laitteissa tapahtuneet muutokset, sen enemmän jää aikaa kunnossapitotöiden suunnitteluun. (Mikkonen 2009, 119.)

Ansaharjun (2009, 302) mukaan kunnonvalvonnalla saavutettuja etuja ovat muun muassa.

- Kustannussäästöt, joita saadaan optimoimalla kunnossapitoa.
- Turvallisuuden paraneminen, koska laitteen yllättävä rikkoutuminen aiheuttaa usein turvallisuusriskin.
- Tietojen kerääminen tuotekehitykselle ja todisteaineiston kertyminen esimerkiksi takuutapauksissa.
- Päästöjen väheneminen, koska oikealla tavalla toimiva laite minimoi päästöt.

Ansaharjun (2009, 303) mukaan kunnonvalvontamittaukset voidaan luokitella seuraavien alaotsikoiden mukaan ja niiden lisäksi käydään laajemmin läpi myös voiteluaineanalyysit.

Aistinvaraiset tarkastukset

Ihmisen aisteilla on paljon ominaisuuksia, joita hyödynnetään kunnonvalvonnassa. Lukumääräisesti suurinta osaa koneista valvotaan pelkästään aistinvaraisesti (Mikkonen 2009, 418). Aistinvaraisissa tarkastuksissa käytetään ihmisten omia aisteja, kuten kuulo-, haju-, tunto- ja näköaistia. Yleensä aistihavainnot antavat yleiskuvaavaa tietoa. Aistinvaraisissa tarkastuksissa eri henkilöiden eri ajankohtana suorittamat havainnot ja dokumentointien vertailukelpoisuus voivat olla ristiriidassa keskenään. (Ansaharju 2009, 303.)

Fysikaaliset perussuureet

Fysikaalisista perussuureista voidaan mitata jonkin kohteen arvoa, kuten painetta tai lämpötilaa. Paineenmuutosta voidaan mitata voitelujärjestelmissä sekä hydraulikka- ja pneumatiikkajärjestelmissä. Lämpötilan tarkkailua suoritetaan jäähdytys- ja voitelujärjestelmissä sekä laakeroinneissa. Mitattava kohde voi olla lämpövuoto tai lämpötilan muutos. (Ansaharju 2009, 303.)

Sähköiset perussuureet

Sähköisten perussuureiden mittauksilla voidaan todeta elektroniikka- ja sähkölaitteiden ja -komponenttien sekä sähkökäyttöjen kunto. Suureet joita mitataan ovat jännite, teho, virta ja resistanssi. (Ansaharju 2009, 303.)

Ainetta rikkomattomat mittaukset

Ainetta rikkomattomilla mittauksilla voidaan todeta ennen vaurion tapahtumista vuodot, väsymismurtumat, halkeamat ja korroosiovauriot. Mittausmenetelmiä ovat esimerkiksi röntgenkuvaus ja ultraääni. (Ansaharju 2009, 303.)

Värähtely- ja äänimittaukset

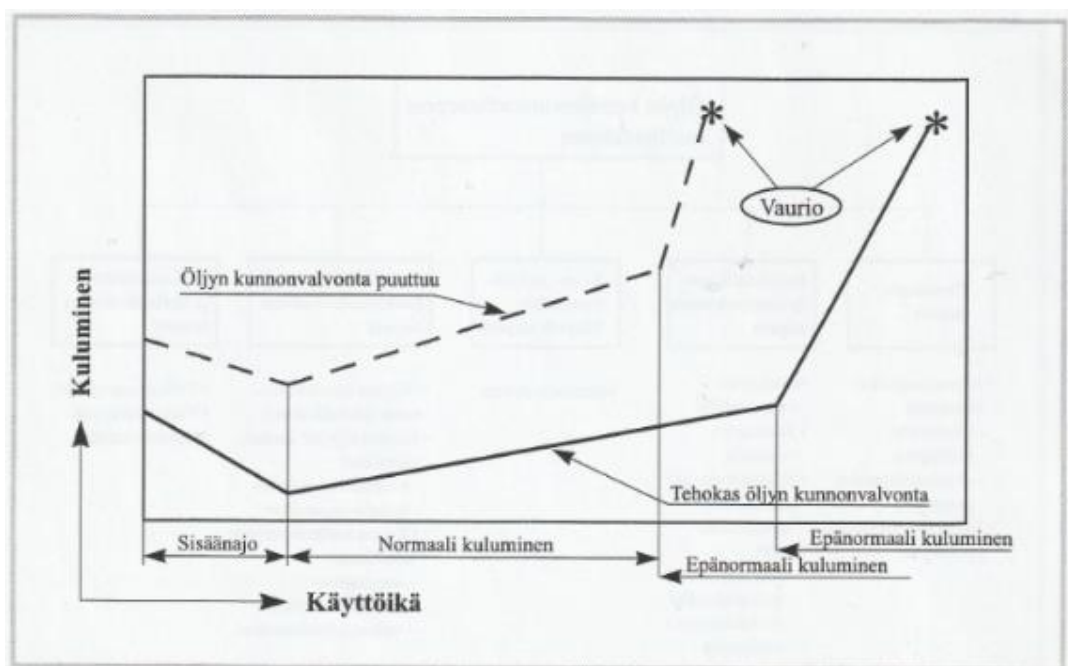
Värähtely- ja äänimittauksia ovat värähtelymittaus ja iskusysäys, joilla pystytään havaitsemaan alkavia vikoja pyörivien laitteiden laakereissa ja hammasvaihteissa. Äänimittauksella havaitaan laitteista lähinnä niiden yleiskunto. Kokenut koneenkäyttäjä tai asentaja tunnistaa kuluneen hammaspyörän tai laakerin pitämän äänen esimerkiksi asettamalla puukepin toisen pään laitteen runkoon ja toisen pään korvalleen. Menetelmiin on saatavilla monipuolisia mittareita, joiden avulla voi tulkita vaurioiden suuruuden ja tyyppin. (Ansaharju 2009, 303.)

4 Voiteluaineanalyysit ja voiteluaineen kunnonvalvonta

Voiteluaineanalyysien avulla saadaan tietoa koneiden osien kulumisesta, voitelun tehokkuudesta, itse voiteluaineen kunnosta sekä prosessin toiminnasta. Voiteluainetta voidaankin pitää koneen yhtenä osana, joten sen kuntoa tulisi valvoa ja analysoida. (Mikkonen 2009, 428-429.)

4.1 Voiteluaineen kunnonvalvonta

Voiteluaineen kunnonvalvonta on tärkeä osa koneen kunnonvalvontaa ja vikojen ehkäisyä. Oikeanlaisella voiteluaineen kunnonvalvonnalla saavutetaan laitteille korkeampi käyttöaste ja sillä voidaan pidentää laitteiden käyttöikää kuvion 5 mukaisesti. Öljyn käytön aikana öljyssä tapahtuu fysikaalisia ja kemiallisia muutoksia sekä öljyyn tulee myös laitteistosta kulumahiukkasia ja järjestelmästä tai sen ulkopuolelta voi tulla vettä ja epäpuhtauksia.



Kuvio 5. Öljyn kunnonvalvonnan ohjauksen mahdollisuudet laitteen kulumisen vähentämisessä ja käyttöiän pidentämisessä. (Korpi, Manninen, Rinkinen & Suontama 2006, 166)

Öljyn kunnonvalvonta on muutosten seuranta, joka tapahtuu tekemällä analyysejä online -laitteilla ja laboratoriotutkimusten avulla. Voiteluöljyä voidaan tarkastella myös näköhavainnoin. Öljystä voidaan tarkastella sen määrää, väriä, vaahtoamista, epäpuhtauksia ja virtausta. Öljystä voidaan havaita epäpuhtauksia käyttämällä valkoista paperia ja laittamalla sen päälle tarkkailtavaa öljyä (Mikkonen 2009, 423). Öljyn ulkonäöstä saa viitteitä onko käytön tai öljyn varastoinnin aikana tapahtunut jotain poikkeavaa. Huomiota kiinnitetään öljyn väriin, sameuteen, hiukkasten kokoon

ja kiinteiden epäpuhtauksien määrään. Öljyn hapettuminen näkyy yleensä sen tummentuneena värinä ja hapettuneessa öljyssä on myös tyypillinen haju, joka varmentaa silmin tehtyä havaintoa. (Korpi ym. 2006, 170-172.)

Yleisimmät analyysimääritykset, joita öljyn kunnonvalvonnassa käytetään käyttökohdeesta ja öljyalaadusta riippumatta ovat ulkonäkö, viskositeetti, happoluku (TAN), ja kiintoainepitoisuus. Näiden määritysten perusteella voidaan usein päätellä käyttökelpoisuus sekä tarvittavien lisäanalyysien tarve. Öljystä analysoitavat perusominaisuudet Mikkosen (2009, 430) mukaan on esitetty taulukossa 1. (Mikkonen 2009, 430.)

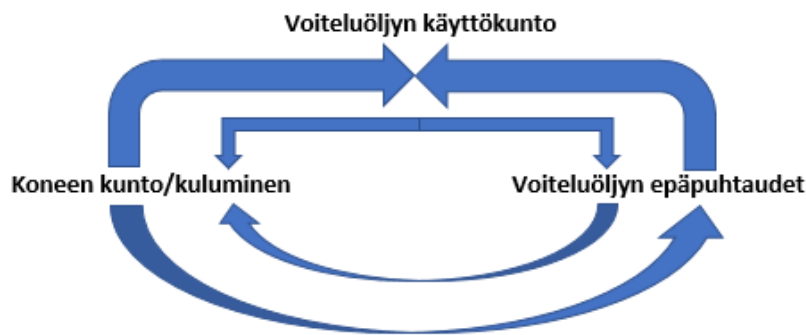
Taulukko 1. Öljystä analysoitavat perusominaisuudet. (Mikkonen 2009, 430, muokattu)

Tutkittavat ominaisuudet	Yleisimmät analyysit (A1)	Lisäanalyysit (A2)
Ulkonäkö	x	
Viskositeetti	x	
Happoluku (TAN)	x	
Kiintoaine (paino-%)	x	
Öljyalaatu		x
Vesipitoisuus (ppm, %)		x
Viskositeetti-indeksi		x
Lisäaineet		x
Vieraat ainesosat		x
Hapettuminen, identifiointi (IR)		x
Vaahtoaminen		x

4.2 Voiteluaineanalyysit

Hydrauli- ja voiteluöljystä sekä voitelurasvasta ottamalla näytteitä ja analysoimalla ne eri menetelmillä saadaan arvokasta tietoa voiteluaineen kunnosta, sen epäpuhtauk-

sista sekä tietoa itse koneen kunnosta. Voiteluaineanalyysit ovat merkittävä osa koneen kunnonvalvontaa ja vianmäärittystä, kun kyseessä on kulumistilanne ja siinä tapahtuvat muutokset. Koneen kunto, voiteluaineen epäpuhtaudet ja voiteluöljyn käyttökunto vaikuttavat toisiinsa kuvion 6 näyttämällä tavalla. (Mikkonen 2009, 428-429.)



Kuvio 6. Voiteluaineen kunnonvalvontaan liittyvät keskeiset riippuvuussuhteet. (Hakapää ym. 2015, 375, muokattu)

Epäpuhtaudet lisäävät kulumista ja huonontavat öljyn kuntoa. Öljyn huonontunut kunto heikentää sen voiteluominaisuuksia ja kulumisen lisääntyä. Lisääntyvä kulumisen ja öljyn huonontuminen lisäävät epäpuhtauksien määrää. Mikkosen (2009, 428) mukaan voiteluaineanalyysillä haetaan vastauksia esimerkiksi seuraaviin kysymyksiin.

- Onko voiteluaineen voiteluominaisuudet säilyneet riittävinä?
- Onko voiteluaineen puhtaus, sillä tasolla, jota voideltava kohde tai järjestelmä ja itse voiteluaine edellyttävät?
- Onko voiteluaineen joukkoon kertyneiden kulumishiukkasten määrästä, muodosta ja laadusta tunnistettavissa laitteen kulumismuutokset?
- Tarvitaanko analyysitulosten perusteella huoltotoimenpiteitä voiteluaineelle tai laitteelle?

Voiteluaineanalyysit ovat merkittävä osa koneiden kunnonvalvontaa ja vianmäärittystä ja siksi onkin tarkoituksenmukaista liittää voiteluaineanalyysi osaksi koneen kunnonvalvontaa. Voiteluaineanalyysit kehittyvät jatkuvasti online -tutkimusten

suuntaan ja paikan päällä suoritettaviin testauksiin. Näiden ansioista on entistä parempi mahdollisuus suorittaa kunnonvalvontaa voiteluaineanalyysien avulla yrityksen sisäisesti tai ulkoisena palveluna. Sähköinen tiedonsiirto ja analyysilaitteiden kehittyminen mahdollistavat analyysitulosten nopean saatavuuden, joka on perusedellytys kunnonvalvonnan toimivuudessa. Laite saattaa vaurioitua, vaikka vikaantuminen olisi ollut nähtävillä analyysituloksissa, jos analyysitulosten saaminen kestää liian kauan. (Mikkonen 2009, 428-429.)

4.2.1 Voiteluaineiden analyysimenetelmät

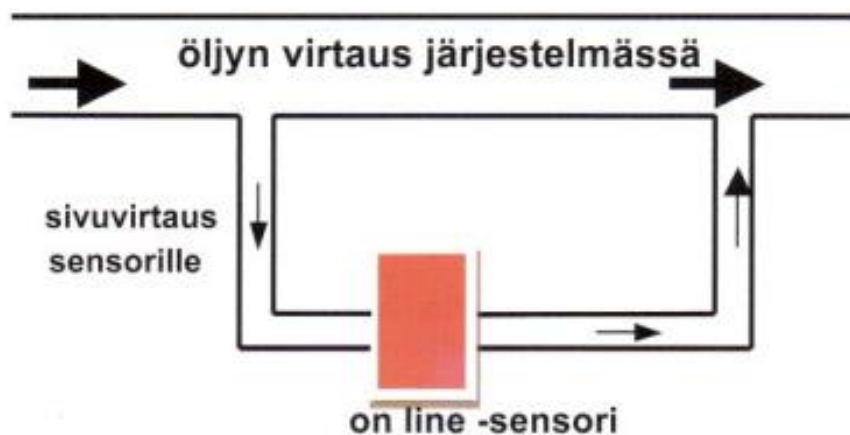
Voiteluaineanalyysit sisältävät sekä öljyjen että rasvojen analysoinnin ja molempien analysointiin käytetään pääsääntöisesti samoja menetelmiä. Mikkosen (2009, 429) mukaan voiteluaineanalyysit voidaan jaotella analyysityypeittäin.

- Perusanalyysit, joilla tutkitaan voiteluaineen kuntoa.
- Hiukkasanalyysi, joilla seurataan voiteluaineen puhtautta ja epäpuhtaushiukkasten kokojakaumaa sekä koneen kuntoa. Analyysi käsittää kiinteiden hiukkasten sekä kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen analysoinnin.
- Kulumametallianalyysit, joilla tutkitaan koneen kuntoa seuraamalla voiteluaineessa olevien metallipitoisuuksin muutoksia.
- Joissakin tapauksissa tehdään erikseen vesipitoisuusanalyysijä. (Mikkonen 2009, 429.)

4.2.2 Kiinteät online tiedonkeruu- ja analysointilaitteet

Kiinteitä kunnonvalvontalaitteita käytetään kohteissa, jossa mittatiheyden tarve on suuri tai jatkuva. Järjestelmä mittaa siihen asetetun mittajärjestelmän mukaan sekä generoi mitattavasta suureesta poikkeavat suuret muutokset hälytyksenä järjestelmään. Sellaiset laitteet, joiden vikaantuminen aiheuttaa huomattavia kustannuksia tai vaaran, käytetään automaattista suojausjärjestelmää, joka tekee reaaliaikaista mittausta. Automaattinen suojausjärjestelmä sulkee koko laitteen tietyn raja-arvon ylittyessä. Tällaisia suojausjärjestelmiä käytetään mm. höyryturbiineissa. (Mikkonen 2009, 261.)

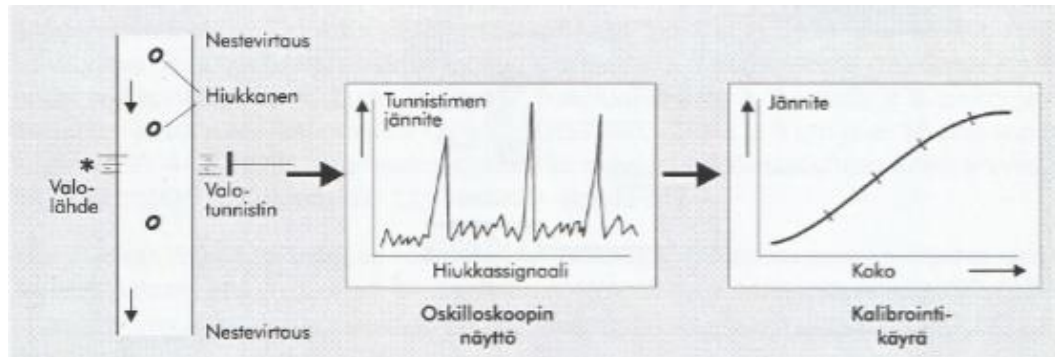
Online -laitteiden käyttö on myös yleistynyt öljynäytteiden puhtausvalvonnassa. Markkinoilla on saatavilla erilaisia hiukkaslaskimia ja partikkelitunnistimia. Lisäksi öljystä voidaan valvoa myös esimerkiksi vesipitoisuuksia. Hiukkaslaskimien tyypillisiä käyttökohteita ovat mm. suodatuksen jälkeinen öljyn puhtausvalvonta, tuotantolaitteiden mekaaninen kunnonvalvonta sekä koneenrakennuksen komponenttien puhtausvalvonta. Hiukkaslaskimia on kannettavia malleja ja kiinteästi järjestelmään asennettavia online malleja. Kiinteissä järjestelmän malleissa öljyjärjestelmästä johdetaan pieni sivuvirtaus hiukkaslaskimen sensorin läpi. Kuviossa 7 on esitetty online hiukkaslaskennan toimintaperiaate. (Niiranen 2010, 24-25.)



Kuvio 7. Online -hiukkaslaskennan toimintaperiaate. (Niiranen 2010, 24)

Hiukkaslaskimia on eri periaatteella toimivia, mutta yleisin toimintaperiaate on optiseen menetelmään perustuva. Öljy kulkee valolähteen ja valotunnistimen välistä, jossa jokainen hiukkanen aiheuttaa jännitemuutoksen. Suuremmat hiukkaset aiheuttavat suuremman jännitemuutoksen ja jännitemuutokset on kalibroitu vastaamaan

eri hiukkaskokoja. Optisen hiukkaslaskimen toimintaperiaate on esitetty kuviossa 8. (Malinen, Pulkkinen, Rätty, Suontama & Vuolle 2006, 118.)



Kuvio 8. Optisen hiukkaslaskimen toimintaperiaate. (Malinen ym. 2006, 118)

4.2.3 Hiukkanalyysit ja puhtausluokat

Hiukkanalyysin avulla tutkitaan järjestelmästä otettua öljynäytettä ja sen epäpuhtauksia Korven ym. (2006, 174) mukaan taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2. Hiukkanalyysitapojen vaihtoehdot. (Mikkonen 2009, 432, muokattu)

Hiukkanalyysitavat	Analyysitavan koodi
Hiukkasten kokojakauma	B1
Hiukkasten laatu ja muoto	B2

Näytteestä voidaan määrittää standardin mukainen puhtausluokka joko automaattisen hiukkaslaskimen avulla tai manuaalisen mikroskooppilaskennan perusteella. Puhdistasoa tutkittaessa nykyaikaisilla laitteilla saadaan myös listaus hiukkasten kokojakaumasta. Hiukkasten muodon tutkiminen edellyttää mikroskooppinäytelevyn valmistamista, joka mahdollistaa tutkittavan muodoltaan erityyppisten hiukkasten lisääntymistä (Korpi ym. 2006, 174). Mikkosen (2009, 432) mukaan hiukkasten puhtausluokitus perustuu pääosin joko kolmikoodiseen standardiin ISO 4406 tai standar-

diin NAS 1638. (Mikkonen 2009, 432.) NAS 1638 -puhtausstandardi kehitettiin ilmailukomponenteille Yhdysvalloissa. Sitä käytetään edelleen laajasti teollisuuden ja ilmailualan fluidijärjestelmäsovelluksissa. NAS-luokka ilmoitetaan yleensä yhtenä lukuna, joka edustaa suurinta sallittua partikkelimäärää, eli suurinta epäpuhtaustasoa tietyllä partikkelikokoalueella. (Opas kunnonvalvontaan 2011, 7.)

NAS 1638 standardia on sittemmin korvattu standardilla NAS AS 4059 (SAE AS4059), joka tarjoaa joitakin etuja verrattuna NAS 1638, kuten esimerkiksi laajemmat puhtausluokat. (Day, 2002.) SAE AS4059 standardi on teknisesti identtinen ISO 11218 -standardiin verrattuna ja se on esitetty taulukossa 3. (Opas kunnonvalvontaan 2011, 8.)

Taulukko 3. SAE AS4059 rev E -taulukko. (Opas kunnonvalvontaan 2011, 8)

MTD	Suurin sallittu kontaminaatiomäärä (partikkelia millilitrassa)					
	>4µm(c)	>6µm(c)	>14µm(c)	>21µm(c)	>38µm(c)	>70µm(c)
ACFTD	>2µm	>5µm	>15µm	>25µm	>50µm	>100µm
Kokokoodi	A	B	C	D	E	F
000	195	76	14	3	1	0
00	390	152	27	5	1	0
0	780	304	54	10	2	0
1	1 560	609	109	20	4	1
2	3 120	1220	217	39	7	1
3	6 250	2 430	432	76	13	2
4	12 500	4 860	864	152	26	4
5	25 000	9 730	1 730	306	53	8
6	50 000	19 500	3 460	612	106	18
7	100 000	38 900	6 920	1 220	212	32
8	200 000	77 900	13 900	2 450	424	64
9	400 000	15 6000	27 700	4 900	848	128
10	800 000	31 1000	55 400	9 800	1 700	256
11	16 0000	62 3000	111 000	19 600	3 390	512
12	320 000	125 0000	222 000	39 200	6 780	1 024

Hiukkasten laatua ja muotoa tutkittaessa yleensä niiden muoto, koko ja väri antavat viitteitä niiden alkuperästä. Kvalitatiivinen analyysi, taulukko 4, edustaa koko öljynvaihtovälin aikaisia kulumistapahtumia, eikä pelkästään hetkellistä järjestelmän kulumistilannetta. Mikroskooppinäytettä tutkittaessa täytyy selvittää mitkä hiukkasista ovat kulumisinformaation sisältämiä hiukkasia ja mitkä tavallista taustamateriaalia.

Lisäksi jos tutkittavan öljyn järjestelmää on juuri huollettu, voi järjestelmän avaamisen jäljiltä olla tilapäisesti jäljellä tiivistemateriaaleja, metallihiukkasia ja hiekkaa (silica), jotka luonnollisesti vähenevät suodatuksen kautta (Korpi ym. 2006, 175).

Laitteen kulumismekanismit voidaan selvittää kulumishiukkasten muotoa tutkimalla. Kun kulumisen aiheuttaja on tiedossa, voidaan kohteelle suorittaa korjaavia toimenpiteitä. Kulumisvaurioin voimakkuudesta on tehtävissä johtopäätöksiä, jos tietty hiukkastyyppejä lisääntyy näytteiden säännöllisen seurannan aikana. Eri kulumismekanismien tuottamien hiukkasten muodot on esitetty kuviossa 9. (Mikkonen 2009, 434.)

Taulukko 4. Kvalitatiivisen analyysin esimerkki. (Mikkonen 2009, 434, muokattu)

Epäpuhtaustyyppi	Suhteellinen osuus (%)
Kirkas metalli	2
Musta metalli	40
Keltainen metalli	2
Ruoste	-
Silica	55
Kumi ja muovi	-
Kuidut	1
Muut	-



Kuvio 9. Eri kulumismekanismien tuottamia hiukkasia. (Korpi ym. 2006, 176)

4.2.4 Kulumametallianalyysit

Kulumametallianalyysit ovat tehokas keino koneen kunnon seurantaan ja kulumistilanteen seurantaan. Kulumametallianalyysissä analysoidaan voiteluaineen sisältämiä hiukkasia, niiden kokonaismäärää, muotoa ja alkuperää. Menetelmillä saadaan alkavasta vaurioista varhaisessa vaiheessa tieto. Kulumametallianalyysiä tehtäessä tulee tietää mitä metalleja järjestelmässä ja sen koneen osissa on käytetty, tämä helpottaa vaurioituneen kohteen tunnistamista (Mikkonen 2009, 435-436).

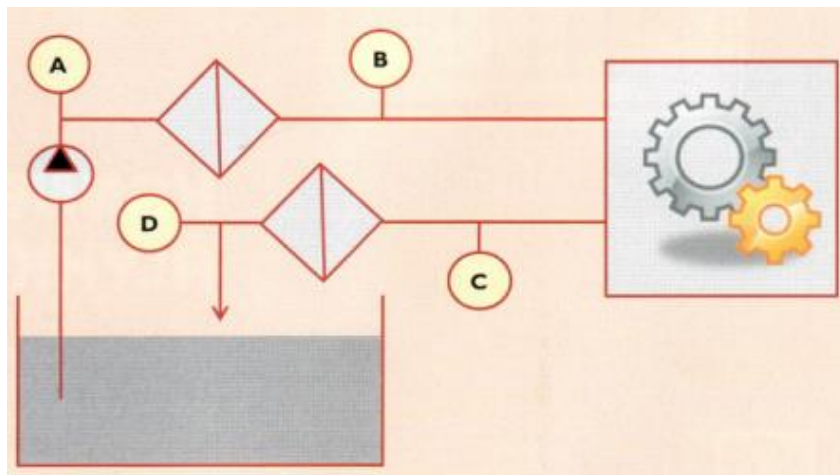
Kulumametallianalyyseihin kuuluu spektrometrinen analyysi ja ferrografia. Spektrometrisessä analyysissä tutkitaan kulumametallien kokonaispitoisuutta lämmön avulla, jolla viritetään alkuaineiden energiatilaa. Tulokset ilmoitetaan tavallisesti miljoonasosina eli ppm:inä (mg/kg). Ferrograafin tulokset ilmaistaan yleensä kulumisen kokonaismääränä tai kulumisindeksinä ja kulumisen vakavuutena. Vakavana kulumisena pidetään, jos kookkaita hiukkasia on suhteellisesti suurempana pitoisuutena näytteessä. Kulumishiukkasia voidaan myös tarkastella mikroskoopilla ja voitelujärjestelmän suodattimien tutkiminen on myös hyödyllistä kulumametallien alkuperää ja kulumisen syitä selvitettäessä. (Korpi ym. 2006, 177.)

Koneiden käynnistys-, käyttö ja pysäytysvaiheissa syntyy rajavoitelutilanteita, joissa voitelukalvon kuormankantokyky saattaa pettää. Voitelukalvo voi pettää myös koneen kuormitusvaihteluista ja virheellisestä käytöstä. Toisiaan vasten liukuvat tai vievät kone-elinten pinnat kuluvat ja synnyttävät voiteluaineen joukkoon kulumismetalleja, kun voitelukalvon kuormankantokyky pettää. Jos pitoisuuksien määrä kasvaa nopeasti lyhyellä aikavälillä, on se merkki epänormaalista kulumisesta (Mikkonen 2009, 435). Lisäksi öljyn sekaan voi päästä voitelukohteen ulkopuolelta muita metalleja, jotka ovat syntyneet prosessista. Nämäkin metallit lisäävät kulumista sekä vaatimuksia analyysimenetelmien ja tulosten tulkinnan sekä öljyn huoltotoimenpiteen suhteen (Korpi ym. 2006, 177). Koneen toimiessa normaalisti kulumishiukkasia syntyy vähän ja pitoisuuksien kasvu on hidasta sekä niiden koko on pieni. (Mikkonen 2009, 435.)

4.2.5 Näytteenotto ja sen merkitys tuloksiin

Öljyn kunnonvalvonnassa näytteenotto on kriittinen vaihe. On vahingollisempaa ottaa öljynäyte väärin kuin jättää se ottamatta, sillä näytteen analysointi maksaa ja analyysin vääristä tuloksista tehdyt väärät johtopäätökset voivat johtaa vääriin tai turhiin toimenpiteisiin. Kunnollisen näytteen saaminen voi olla haastavaa, koska näytteenoton tarvetta ei välttämättä ole huomioitu laitteen suunnitteluvaiheessa. Kunnollinen näytteenotto onnistuu asianmukaisilla ja puhtailla välineillä. Öljynäytteen määrä on riippuvainen siitä suoritettavien analyysien määrästä ja laadusta. (Mikkonen 2009, 438.)

Näytteenottopaikka valitaan sen mukaan, halutaanko ratkaista jokin ongelma vai määrittää öljyn yleispuhtautta. Kuvio 10 havainnoi näytteenottopaikkoja. (Niiranen & Vesala 2012, 54.)



Kuvio 10. Öljyjärjestelmän näytteenottopaikan valintaan vaikuttaa haluttu mittaus-tieto. (Niiranen & Vesala 2012, 54)

Öljypumpun kuntoa seurattaessa näyte otetaan pumpun jälkeen kohdasta (A). Toimilaitteelle menevää öljyn puhtautta tarkastellessa näyte otetaan suodattimen jälkeen ennen toimilaitetta kohdasta (B). Jos halutaan valvoa toimilaitteen kuntoa, näyte otetaan toimilaitteen jälkeen ennen paluusuodatinta kohdasta (C). (Niiranen & Vesala 2012, 54.)

5 Tribologia

1970-luvun loppupuolella perustettu suomen tribologiayhdistys on määritellyt tribologian seuraavasti: "Tribologia on tieteenala, joka käsittelee toisiinsa nähden liikkuvien pintojen vuorovaikutuksia ja niihin liittyvää teknologiaa, eli pääasiassa kitkaan, kulumiseen ja voiteluun liittyviä ilmiöitä". Tribologisia kosketuksia syntyy, kun kappaleiden liikeratoja halutaan ohjata mekaanisesti (laakeroinnit), muokata kappaleen muotoa (lastuava työstö) tai voimansiirtoa kappaleesta toiseen (hammaspyörät). Tribologisiin alueisiin kuuluvat ongelmat vaativat eri alojen tuntemusta ja niiden osaisella on saavutettavissa suuria taloudellisia hyötyjä, jonka syystä tribologiasta on muodostunut oma tieteenala. (Kivioja & Salonen 1997, 11.)

5.1 Kitka

Kitkavoima vastustaa toisiaan vasten liukuvien kappaleiden liikettä. Yleensä toisistaan erotetaan lepokitka, joka vaikuttaa liikkeelle lähdössä ja liikekitka, joka vaikuttaa liukumistilanteissa. Toisaalta erotetaan myös ulkoinen kitka, joka on pintakerrosten vuorovaikutuksesta johtuvaa ja sisäinen kitka, joka muodostuu siitä, että materiaalin sisällä molekyylien siirtäminen pois tasapainoasemasta vaatii voimaa. Nesteiden ja kaasujen sisäinen kitka ilmoitetaan viskositeettina. Kitkaa tarvitaan monissa toiminnoissa, mutta joissakin kohteissa se on haitaksi. Kitkan haittoja on pyritty pienentämään monin tavoin, kuten materiaaliparin valinnalla, pinnoitteilla ja käyttämällä voiteluaineita. Kitkan haittoja ovat muun muassa kulumisen ja energiahäviöt. (Kivioja 1997, 63.)

5.2 Kulumisen ja kulumismekanismit

Kulumista tapahtuu, kun keskinäisessä vuorovaikutuksessa on toisiaan vasten liikkuvat pinnat. Kulumisen ilmenee materiaalihäviönä kappaleen/kappaleitten pinnalta ja se on yleensä ei-toivottu ilmiö. Koneenelimissä kulumista tapahtuu monenlaisissa olosuhteissa ja yleensä kulumisen tapahtuu useammalla kuin yhdellä mekanismilla samaan aikaan. Kulumiselle ei ole pystytty tekemään yksiselitteistä ja yksinkertaista

fysikaalista ja matemaattista määrittystä, joten se on yhä jatkuvan tutkimustyön kohteena. Kulumistapahtumaan vaikuttavia parametrejä on niin useita, että niitä on vaikea hallita yhtä aikaa. Mikroskooppimittakaavassa kulumispartikkelin synnyn ja toisaalta makroskooppisen kulumisen selittäminen kussakin kulumistapauksessa on vielä lähes kokonaan empiiristä tietoa. Pintojen välissä tapahtuu mikrokontakteja, eli pinnankarkeuden huiput koskevat toisiinsa, joissa rakenteelliset muutokset ja materiaalien väliset reaktiot tapahtuvat satunnaisesti. Kulumismekanismit on esitetty alaot-sikoissa. (Salonen 1997, 97-105.)

5.2.1 Adhesiivinen kuluminen

Adhesiivinen kuluminen on liitosten leikkaantumista, joka on peräisin kitkaliitoksista ja pinnankarkeuden ulokkeista. Toisiaan vasten liukuvien pintojen pinnankarkeuden huiput tarttuvat toisiinsa kiinni, jolloin liitos repeää. Kulumispartikkeleita ei synny, jos repeäminen tapahtuu pintojen alkuperäisestä rajapinnasta, mutta jos repeäminen tapahtuu muualta, siirtyy materiaali pinnalta toiselle muodostaen lopulta myös irtonaisia kulumispartikkeleita. Kulumisnopeus on riippuvainen liitoksen repeämiskohdasta. Salosen (1997, S.105) mukaan adhesiivista liitosta kutsutaan usein kylmähitsautumiseksi ja siihen vaikuttavat pintojen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, mahdollinen voitelu ja kuormitus. Samaan kohtaan peräjäälkeen syntyvät adhesiiviset liitokset aiheuttavat kitkalämpöä, joka yleisesti laskee materiaalien kovuutta. Lämpötilan korkea nousu aiheuttaa varhaisemman ja voimakkaamman pintojen tahmutumisen. Mikäli pintojen välinen liike pysähtyy tahmutumisen vuoksi, puhutaan kiinnileikkaantumisesta. Kiinnileikkaantumista voidaan välttää oikealla voitelulla ja materiaalivalinnoilla. (Salonen 1997, 105-107.)

5.2.2 Abrasiivinen kuluminen

Abrasiivinen kuluminen on hiovaa kulumista, joka syntyy, kun kovempi pinta liukuu pehmeämpää pintaa vasten, jossa kovan pinnan pinnankarkeuden huiput uurtavat pehmeämpää pintaa normaalivoiman vaikutuksesta. Tätä kutsutaan kahden kappaleen abrasiiviseksi kulumiseksi. Kolmen kappaleen abrasiivinen kuluminen tapahtuu,

kun kahden toisiaan vasten liukuvien pintojen välissä on molempia pintoja kovempaa materiaalia. Yleensä abrasiivinen kulumisen alkaa kahden kappaleen kulumisena, mutta kehittyy kolmen kappaleen abrasiiviseksi kulumiseksi, koska pinnoista irronneet kulumispartikkelit ovat kovettuneet muokkauslujituksen vuoksi ja hiovat molempia pintoja. Abrasiivinen kulumisen voi tapahtua kyntämällä, leikkaamalla tai hauraasti murtamalla. (Salonen 1997, 109-110.)

5.2.3 Tribokemiallinen kulumisen

Tribokemiallinen kulumisen on kosketuspintojen oksidikerrosten kulumista, joka syntyy liikkeen seurauksena. Kulumisen on tyypillisesti hyvin vähäistä. Metallien pinnoilla on normaalisti oksidikerros, joka pienentää kulumisnopeutta ja kitkaa. Oksidikerroksen rikkoutuessa sen alta paljastunut metallipinta reagoi uudelleen ympäristön kanssa. (Salonen 1997, 112.) Tribokemiallisen kulumisen jäljiltä pinta on joskus kiiltävä ja tiivis. Kulumistuotteena esiintyy metallioksideja. (Kivioja 1997, 343.)

5.2.4 Väsymiskulumisen

Kulumispartikkeleita ei synny suoraan kaikissa pintojen kosketustapauksissa. Yleensä kulumispartikkelien synty vaatii tykyttävää tai vaihtelevaa pitempiaikaista rasitusta. Jos kulumisen ei selvästi ole adhesiivista eikä abrasiivista, on yleensä kyseessä pinta-kerroksen väsymisen. Väsymismurtuma on seurausta, kun kappaleen pinnankarheuden uloke deformoituu plastisesti tarpeeksi monta kertaa peräkkäin irrottaen siitä kulumispartikkelin. Väsymismurtuma on seuraus murtumasäröstä. Murtumasärön läheisyyteen syntyy jännityskenttä, joka on seurausta toistuvasta veto-puristus rasituksesta ja aiheuttaa murtumasärön etenemisen, joka lopulta irrottaa partikkelin. (Salonen 1997, 114.)

5.3 Kulumistapahtumien ominaispiirteet

Abrasiivinen kuluminen

Abrasiivisessa kulumisessa on ominaista, että kulutuspinna on kyntämällä tai lastuamalla syntyneitä uria. Jos materiaali on kovaa, voi siinä esiintyä myös murtumasäröjä. Kulumistuotteena syntyy lastuja tai hauraasti irronneita partikkeleita. (Kivioja 1997, 343.)

Adhesiivinen kuluminen

Adhesiivisen kulumisen jäljiltä pinta on sitkeästi repeytyneen näköinen. Kulumistuotteena on metallilastuja sekä metallin siirtymistä pinnasta toiseen. (Kivioja 1997, 343.)

Tribokemiallinen kuluminen

Tribokemiallisen kulumisen jäljiltä pinta on joskus kiiltävä ja tiivis. Kulumistuotteena esiintyy metallioksidgeja. (Kivioja 1997, 343.)

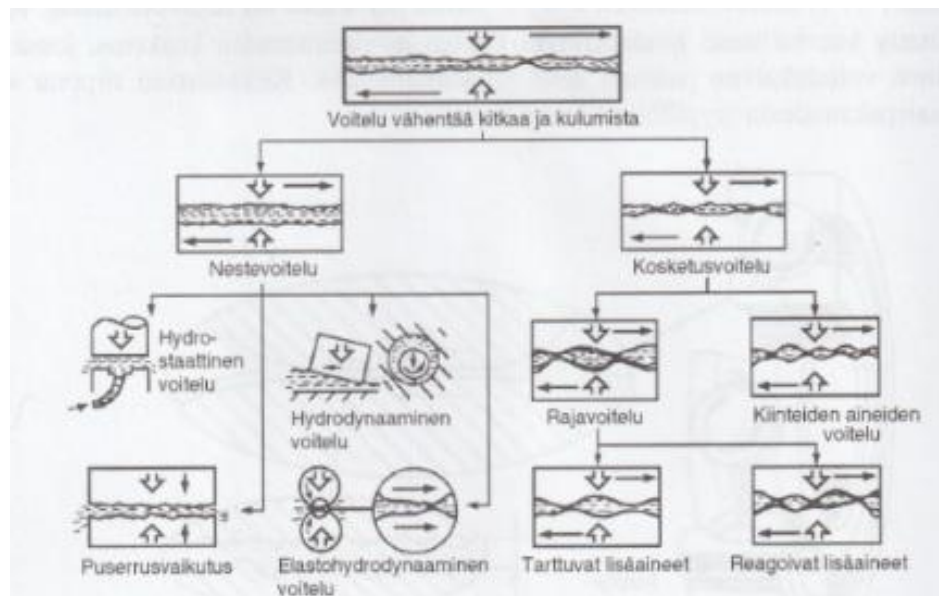
Väsymiskuluminen

Vierivässä kosketuksessa pintaan muodostuu pieniä kuoppia. Liukumisen yhteydessä pintakerroksesta irtoaa tasaisella nopeudella voimakkaasti muokkautunutta metallihilsettä, joka on niin sanottua kiiltävää metallihilsettä. Tätä kutsutaan delaminaatiokulumiseksi.

Kuluminen on mikroskooppisessa skaalassa tapahtuva ilmiö, joka on otettava huomioon liikkeen luonnetta analysoitaessa. Tällaisessa tilanteessa on otettava huomioon vierinnässä mukana oleva mikroliukuminen tai geometriasta syntyvä liukuminen. Todellinen kosketusala on kuitenkin vain pinnankarheuden takia vain osa näennäisestä pinta-alasta. (Kivioja 1997, 343.)

5.4 Voitelu ja voitelumekanismit

Voitelun tarkoituksena on vähentää toistensa suhteen liikkuvien kosketuspintojen kitkaa ja kulumista. Voiteluaineena voidaan käyttää periaatteessa mitä tahansa helposti leikkautuvaa materiaalia nestemäisessä, kaasumaisessa tai kiinteässä muodossa (Lehtovaara & Miettinen 2006, 12). Kitkan ja kulumisen ehkäisyssä on edullisinta erottaa liikkuvat pinnat toisistaan voiteluainekalvolla, joten tällöin vallitsee nestevoitelutilanne (Kivioja 1997, 131). Tehokas voitelu takaa taloudellista hyötyä, sillä alhaisella kitkalla saavutetaan energiatehokkuutta ja suoritustehokkuutta. Vähäinen kulumisen mahdollistaa koneiden pitkän eliniän ja oikeanlaisella voitelulla saavutetaan käyttövarmuutta. Kulumista ei juurikaan esiinny, mikäli voiteluaine erottaa vastinpinnat täysin toisistaan (Lehtovaara & Miettinen 2006, 12-17). Nestevoitelumekanismi voi olla hydrodynaaminen, elastohydrodynaaminen tai hydrostaattinen voitelu kuvion 11 jaottelemalla tavalla. (Kivioja, 1997, 132.)



Kuvio 11. Voitelumekanismien jaottelu. (Kivioja 1997, 132)

Hydrodynaaminen voitelu

Hydrostaattisissa ja hydrodynaamisissa laakereissa esiintyy huomattavasti pienempi paine kuin elastohydrodynaamisessa kosketuksessa, jonka vuoksi hydrostaattisissa ja

hydrodynaamisissa laakereissa ei esiinny elastista muodonmuutosta ja siitä aiheutuva materiaalin väsymistä. Liukuvien pintojen nopeusero ja kiilamaisen rakenteen aikaansaama suppeneva voiteluainekalvo ovat edellytyksinä hydrodynaamiselle voitelutilanteelle. Kiilan sisään- ja ulos virtaavan voiteluaineen määrän tasaa suppenevaan voiteluainekalvoon muodostunut ylipaine. Ylipaine kantaa myös laakeriin kohdistuvan kuormituksen. Voiteluainekalvon alhaisen paineen vuoksi voidaan pinnat olettaa jäykiksi ja voiteluaineen viskositeetti paineesta riippumattomaksi. Viskositeettiin vaikuttaa vain voiteluaineen lämpötila. Hydrodynaamisessa voitelukalvossa on myös niin sanottu puserrusvaikutus, joka syntyy vastakkaisten pintojen liikkuesssa kohtisuoraan toisiaan vasten. Hydrodynaamisen kalvon kuormankantokyky lisääntyy, kun liike aiheuttaa liukukosketukseen painejakauman. (Lehtovaara & Miettinen 2006, 22.)

Elastohydrodynaaminen voitelu

Elastohydrodynaamista voitelua esiintyy viivamaisissa ja pistemäisissä kosketuksissa kuormituksen ollessa suuri (Kivioja 1997, 149). Sovellusalueita ovat esimerkiksi hammaspyörät ja vierintälaakerit, jotka välittävät suuria voimia pienen kosketuspinta-alan kautta. Pieneen kosketuspintaan muodostuvat korkeat kosketuspaineet aiheuttavat merkittävää elastista muodonmuutosta. Toisin kuin hydrodynaamisessa voitelussa, elastohydrodynaamisessa voiteluaineen viskositeetti kasvaa voimakkaasti paineen vaikutuksesta. Voiteluainekalvo ei kuitenkaan hajoa, koska koskettava pinta-ala suurenee kimmoisten muodonmuutosten vuoksi ja paineen vuoksi korkea viskositeettinen voiteluaine ei ehdi puristua kosketuskohdasta pois. Elastohydrodynaamisessa voitelulla voiteluaine kalvon minimipaksuus on suuruusluokkaa 0,1-2 μm (Lehtovaara & Miettinen 2006, 25.)

Hydrostaattinen voitelu

Hydrostaattisessa voitelussa öljy pumpataan liukupintojen välissä olevaan voiteluainetaskuun. Tällaisessa tapauksessa öljyn paine erottaa liukupinnat toisistaan, vaikei-suhteellista liikettä olisikaan (Kivioja 1997, 159). Hydrostaattisessa laakeroinnissa on pieni kitkateho, vaikka pumpun tehon tarve huomioidaan. Laakerointi järjestely on todella jäykkä. (Lehtovaara & Miettinen 2006, 29.)

5.5 Voiteluaineiden puhtaus

Pintojen välinen voitelukalvo on yleensä todella ohut, joten pienetkin epäpuhtaudet vaikuttavat voitelutilanteeseen rikkoen voitelukalvon. Rikkinainen voitelukalvo alentaa voideltavan kohteen käyttövarmuutta ja elinikää. Yleinen siisteys ja järjestys on merkittävästi vaikuttavin olosuhdetekijä voitelussa. Epäsiisti ja sotkuinen ympäristö kuluttaa turhia resursseja voiteluun, joten taloudellisin ja tehokkain menetelmä voitelun puhtaustason ylläpitoon on estää epäpuhtauksia pääsemästä järjestelmiin. Voiteluaineen epäpuhtaudet, muodossa missä tahansa, ovat haitaksi voitelun toimivudelle. Voiteluhäiriöiden syntyä voidaan ehkäistä tehokkaasti voitelujärjestelmän ja voiteluaineen tarkkailulla. Lisäksi suositellaan voiteluaine analyysijä. Voiteluhäiriöiden ehkäisyllä voidaan ennalta ehkäistä tuotannollisia häiriöitä.

Kiinteitä epäpuhtauksia voi tulla voitelujärjestelmään joko sisäisesti tai ulkoisesti. Sisäisiä epäpuhtauksia voi tulla voideltavista koneenosista, maalatuista pinnoista, tiivistimistä ja syntyä öljyn hapettumisen seurauksena. Myös voitelujärjestelmän valmistuksessa syntyneitä epäpuhtauksia, kuten hiontapölyä ja koneistusjäämiä voi jäädä voitelujärjestelmään.

Ulkoisia epäpuhtauksia voi päästä voitelujärjestelmään esimerkiksi öljysäiliöiden huoltoluukuista, akseleiden tiivistyksien välistä, suodattimien ja säiliöiden välisistä liitoksista tai puutteellisista ilmansuodattimista. Yleisimpiä epäpuhtauksia ovat hiekka ja metallipöly sekä mahdollisesti tuotantoprosessista peräisin olevat aineet. Hiekan tavallisin lähde on pölyinen ympäristö, josta se pääsee voitelujärjestelmään puutteellisen ilmansuodatuksen vuoksi. (Malinen, Pulkkinen, Rätty, Suontama & Vuolle 2006, 114-116.)

5.6 Kiertovoitelujärjestelmä

Kiertovoitelun tehtävänä on voitelun lisäksi jäähdyttää ja puhdistaa voideltavaa kohdetta. Kiertovoitelujärjestelmän on pystyttävä tuottamaan kaikille voitelukohteille oikea määrä hyväkuntoista öljyä. Kiertovoitelun on poistettava ulkoisia epäpuhtauksia,

kuten hapettumistuotteita, vettä, ilmakuplia ja kulumispartikkeleita. Kiertovoitelulta vaaditaan toimivuutta korkeissa lämpötiloissa.

Kiertovoitelujärjestelmässä öljy pumpataan pääsäiliöstä suodatuksen kautta lämmönvaihtimeen, jossa se jäähdytetään haluttuun lämpötilaan. Aluksi öljy lämmitetään pääsäiliössä, jotta sen suodatettavuus, pumpattavuus sekä ilman ja veden erottuminen paranevat sopivassa viskositeetissä. Lämmönvaihtimen jälkeen paineputkisto haaroittuu virtausmittariryhmille, joissa öljyn virtaus säädetään halutun suuruiseksi, riippuen voitelukohteesta. Öljy palaa voideltavalta kohteelta paluuputkistoa pitkin pääsäiliöön.

Kiertovoitelusäiliöitä on eri mallisia ja säiliön yläosassa on yleensä joko siiviläkori tai paluukartio. Säiliön sisällä on levyrakenteita ja lamelleja, jotka ohjaavat ja rauhoittavat öljyn virtausta sekä alaosassa sähkövastuksia, jotka lämmittävät öljyä. Säiliön kannessa on ilmasuodatin, joka estää epäpuhtauksien pääsyn säiliöön, sillä öljypinnan korkeus vaihtelee säiliössä.

Kiertovoitelujärjestelmässä on yksi tai useampi pumppu, joista yksi on pääpumppu. Voitelujärjestelmän painetta tasataan taajuusmuuntajalla tai ohivirtauksen säätöventtiilillä painelähttimen avulla, joka sijaitsee painelinjassa. Näiden ansiosta voitelujärjestelmän paineputkistossa on tasainen paine, joka on riippumaton virtausmäärien muutoksista.

Kiertovoitelujärjestelmän päävirtasuodattimet ovat kaksoissuodattimia ja niiden patruunat voidaan vaihtaa käynnin yhteydessä. Päävirtasuodattimien lisäksi voidaan käyttää säiliökiertosuodatusta.

Lämmönvaihtimeen säädetään säätöventtiilillä kylmän veden virtausta, joka jäähdyttää öljyä. Säätöventtiiliä ohjataan lämmönvaihtimelta lähtevän öljyn mukaan. (Antila, Kajander, Malinen & Virtanen 2006, 235-236.)

6 Opinnäytetyön toteutus

Opinnäytetyön toteutusta ohjasivat laadulliset- ja määrälliset tutkimusmenetelmät. Laadullisessa tutkimuksessa pyritään löydöksiin ilman määrällisiä keinoja, kuten tilastoja. Tutkimuksen tarkoituksena on ilmiön kuvaaminen, ymmärtäminen ja mielekkään tulkinnan antaminen. Laadullisella tutkimuksella pyritään ymmärtämään ilmiö syvällisesti. (Kananen 2008, 24.) Määrällinen tutkimus kuvaa ja tulkitsee ilmiötä mitausmenetelmillä, jotka keräävät numeerisia tutkimusaineistoja. Tuloksena on lukuarvoja sisältävä havaintoaineisto, jota analysoidaan. (Vilpas N.d. 1.) Opinnäytetyössä käytettiin hyödyksi määrällistä aineistoa selvitettäessä soveltuvaa kunnonvalvontamenetelmää. Määrällistä aineistoa analysoitiin laadullisilla tutkimusmenetelmillä.

6.1 Tutkimusstrategia

Tämä opinnäytetyö oli luonteeltaan selvitystyö ja sitä ohjasi tutkimusstrategiana case-tutkimus. Case-tutkimuksessa yhdistyvät useat aineistonkeruumenetelmät, kuten kirjalliset dokumentit, havainnointi, haastattelut ja kyselyt. Useilla aineistonkeruumenetelmillä saadaan syvälinen kuva ilmiöstä. (Kananen 2013, 77.) Opinnäytetyössä kasattiin aineistoa useilla eri aineistonkeruumenetelmillä, kuten haastatteluilla, kirjallisilla dokumenteilla, havainnoimalla ja kyselyillä, jotta tutkimuskohteesta saatiin laaja ja syvälinen kuva.

Case-tutkimuksessa tutkittava ilmiö on tämänhetkinen, eikä sitä voida tehdä menneestä ilmiöstä. Tutkimus tähtää yhteen tapaukseen, josta halutaan saada syvälinen ymmärrys. Tutkimus toteutetaan luonnollisessa ympäristössään, jossa käytetään monia tiedonlähteitä. Case-tutkimuksen tutkimuskysymykset tulisivat olla muotoa, miten, kuinka ja miksi. (Kananen 2013, 54.) Opinnäytetyö tehtiin tämänhetkisestä ilmiöstä sen luonnollisessa ympäristössä. Tutkimus tähdättiin yhteen tapaukseen, johon perehdyttiin syvästi hankkimalla laajasti tietoa aiheesta.

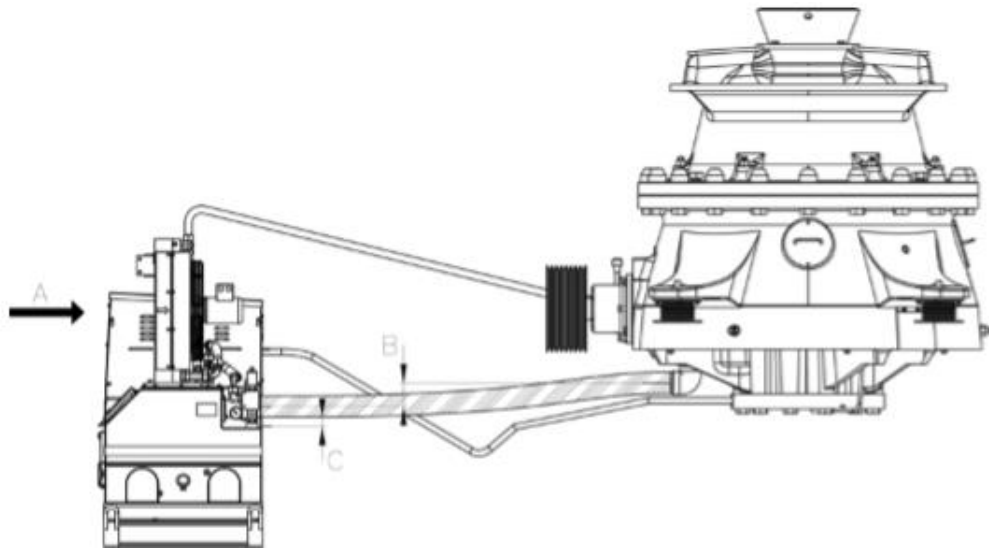
6.2 Työn tarkoitus ja tavoite

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää mahdollisia kunnonvalvontamenetelmiä karamurskaimen kiertovoiteluöljyn seurannalle YIT Infra Oy kiviainesdivisioonalle. Oikeanlaisen kunnonvalvontamenetelmän avulla voitaisiin ennaltaehkäistä karamurskaimen suurempi vaurioituminen. Työssä pyrittiin löytämään menetelmiä, jolla voitaisiin havaita kiertovoiteluöljyn seasta kulumametallipartikkeleita niiden ilmaantuessa öljynkiertoon. Oikeanlaisella kunnonvalvonnalla voidaan säästää korjauskustannuksissa ja saavuttaa lisää käyttöastetta. Opinnäytetyön tuloksista saataisiin vaihtoehto tai vaihtoehtoja karamurskaimen kiertovoitelujärjestelmän kunnonvalvonnalle.

Työn tavoitteena oli löytää karamurskaimen kiertovoiteluöljyn seurantaan soveltuvia kunnonvalvontakeinoja, joilla havaitaan kiertovoiteluöljystä metallipartikkelit, jotka ovat peräisin alkavasta vauriosta. Kunnonvalvontamenetelmä hälyttäisi mahdollisesta alkavasta vauriosta, jonka pohjalta voitaisiin analysoida laitteen kunto ja tehdä ennakoivat toimenpiteet ennen laitteen lopullista vaurioitumista.

6.3 Kunnonvalvontamenetelmän vaatimukset

Soveltuvan kunnonvalvontamenetelmän selvitystä edelsi karamurskaimeen ja sen olosuhteisiin perehtyminen. Karamurskaimia käytetään ulkoilma olosuhteissa ympäri vuoden, joten olosuhteet ovat todella vaihtelevat. Menetelmän tulee kestää pakasta ja kosteutta, sekä runsas kivipölyn määrä on myös otettava huomioon. Kunnonvalvonnalla haetaan tässä tapauksessa havaintoa alkavasta vauriosta, joten menetelmän paras sijoituspaikka olisi kiertovoitelun paluuputki, johon kulumametallipartikkeleita alkaa laitteesta ensimmäisenä ilmaantua. Toinen hyvä sijoituskohde olisi paluuputken pää voiteluainesäiliössä ennen siivilää. Öljyn paluuputki on kooltaan noin 4” riippuen karamurskaimesta. Paluuputki on muokattavissa, joten selvitettävän menetelmän ei tarvitse suoraan sopia kyseiseen putkeen, vaikkakin se olisi toivottavaa. Kuviossa 12 näkyy murskaimesta voiteluainesäiliöön laskeva kiertovoiteluöljyn paluuputki (B).



Kuvio 12. Voitelu- ja säätölaite sekä karamurskain. (Metso minerals Oy 2013, 98.)

Työssä ei kuitenkaan kokonaan suljettu pois painepuolelle asennettavaa kunnonvalvontaa. Painepuolelle asennettavissa sensoreissa herää kysymys, havaitseeko se riittävän nopeasti alkavan vaurion, eli kulkeutuvatko kulumispartikkelit voiteluainesäiliöstä sensorille tarpeeksi nopeasti. Kiinnileikkaantuminen tapahtuu pahimmissa tapauksissa vain minuuteissa. (Ajanko & Kokko 2018ac). Tähän mennessä kiertovoiteluöljyjen kuntoa on tarkasteltu silmämääräisesti ja suuremmat kulumametallipartikkelit on havaittu paluuputken päässä voiteluöljysäiliössä olevasta siivilästä. Lisäksi, joistakin laitteista on teetetty öljyanalyysejä ja kulumametallianalyysejä. Voiteluöljysäiliön siivilän verkotuksen silmäkoko on 0,063 mm. (Kokko 2018c). Painepuolelle asennettava kunnonvalvonta edellyttäisi ainakin siivilän poistoa, mikäli sieltä halutaan tarkastella suurempia partikkeleita. Vauriotapauksissa tiedetään suurempien kulumapartikkelien kulkeutuneen voiteluainesäiliöstä pumpun läpi suodattimelle. (Kokko 2018c.) Kiertovoiteluöljyn painepuolella paine käy korkeimmillaan 15 Bar:issa ja öljyn virtaus on noin 100 – 125 l/min riippuen karamurskaimesta. Voitelun paluulinjassa ei ole painetta, vaan öljy laskee putkea pitkin takaisin säiliöön. Paluuputki on noin puolillaan öljyä, joten siihen asennettavassa sensorissa on huomioitava myös öljyn seassa olevan ilman vaikutus. Karamurskaimen kiertovoiteluöljyn käyttölämpötila on korkeimmillaan noin 55 °C astetta (Ajanko & Kokko 2018ab). Voiteluöljyn viskositeetti on 40 °C asteessa 150 mm²/s. (HYDRAULIIKKA-, VAIHTEISTO- ja KIERTOVOITELUÖLJYT 2013.)

Karamurskaimille on teetetty öljyanalyysejä ja kulumametallianalyysejä. Kulumametallianalyysien perusteella karamurskaimen kiertovoiteluöljyn kierrossa on pääsääntöisesti aina vähän metallia, vaikka murskaimessa ei olisi vauriota. Metallihiukkaset ovat pieniä. Lisäksi teetetyistä öljyanalyyseistä nähdään, että voiteluöljyn seassa on myös pienempiä epäpuhtaushiukkasia. Kulumametallianalyysejä ja öljyanalyysejä on esitetty liitteissä 1-4. Liite 1 esittää erään karamurskaimen näytettä ja liite 2 ja 3 toisen karamurskaimen näytteitä. Liite 4 esittää kolmannesta karamurskaimesta otettua öljynäytettä. Liitteessä 4 on analysoitu happoluku, viskositeetti, vesipitoisuus, hiukasmäärät NAS AS 4059 puhtaus standardin mukaisesti ja partikkelien tunnistus. Kaikki näytteet on otettu karamurskaimista, joissa ei ole vauriota. (Kokko 2018c).

Murskaimen akseleiden ja laakereiden välykset ovat todella suuria, noin puolesta millimetristä kahteen millimetriä. (Ajanko & Kokko 2018ac). Akseleiden ja laakereiden välysten sekä teetettyjen analyysien perusteella on todettu, että voiteluaineen puhtaustaso on tarpeeksi hyvällä tasolla, jos voiteluöljyyn ei pääse ulkopuolisia epäpuhtauksia. (Ajanko & Kokko 2018ac.) Karamurskaimen vaurioituessa on havaittu paluuputken päähän tulevalle siivilälle ilmaantuvan pronssi- ja teräspartikkeleita, jotka ovat selvästi silmin nähtävissä. (Kokko 2018c).

Selvitettävän menetelmän tulisi ensisijaisesti havaita suuremmat partikkelit alkavasta vauriosta, jotta välttyttäisiin turhilta hälytyksiltä, koska voiteluöljyn seassa on havaittu olevan pääsääntöisesti aina vähän metallia. Täydelliset raja-arvot vaurion alkamisen havaitsemiseen on vaikea päättää etukäteen, koska alkavan vaurion omaavaa karamurskaimen voiteluöljyä ei ole aiemmin tutkittu sekä kulumispartikkelien synty mikrokooppimittakaavassa ja makroskooppisen kulumisen takuuvarma selittäminen on lähes kokonaan empiirisen tiedon varassa. (Salonen 1997, 97.) Niiranen (2018e) on todennut kokemukseräisenä tietona useista tuloksista, että hyvin usein mekaniikan kulumisvaurion tilanteissa ensimmäisenä ilmaantuu kymmenien ja yli sadan mikronin kokoisia partikkeleita. Näin ei kuitenkaan jokaisessa vauriotilanteessa ole, vaan aluksi voi ilmaantua myös vain muutaman mikronin kokoisia partikkeleita. Vaurion edetessä ilmaantuu myös satojen mikronien kokoisia partikkeleita ja paljon pieniä partikkeleita. (Niiranen 2018e). Karamurskaimen vauriotilanteessa voiteluainesäiliön siivilään tiedetään varmuudella ilmaantuvan kulumispartikkeleita, jotka ovat kokoluokaltaan 500 µm molemmin puolin ja jopa millimetrien kokoisia. (Ajanko & Kokko

2018ac.) Tehtyjen haastattelujen ja kirjallisuustutkimusten perusteella päätettiin yhdessä työn tilaajan kanssa keskittyä löytämään menetelmiä, jotka pääsääntöisesti havaitsevat partikkeleita, jotka ovat karkeasti 500 µm molemmin puolin. Kuviossa 13 on kuva karamurskaimen siivilältä, jossa vaurio on kerennyt tapahtua.



Kuvio 13. Vaurioituneen karamurskaimen kiertovoiteluöljysäiliön siivilä. (Kokko 2018.)

Vauriotilanteessa karamurskaimesta irtoaa pronssin ja teräksen partikkeleita, mutta silmin tehtävin havainnoin on huomattu metallipartikkelien olevan enimmäkseen pronssista peräisin. Tämä asettaa osittain rajoitukseksi kunnonvalvonnalle, jotta se havaitseisi myös metalleja, jotka eivät ole magneettisia. Haettava kunnonvalvontamenetelmä yhdistettäisiin laitteiston logiikkaan, joten kunnonvalvonnan tulisi antaa jonkinmoista dataa tai signaalia ulos, kun se havaitsee halutun kokoisia metallipartikkeleita. Datansiirtomenetelmiä ja siihen mikä olisi paras menetelmä hälyttää partikkelien havaitsemisesta ei tarkastella tässä työssä sen suuremmin.

6.4 Kunnonvalvontamenetelmän selvitys

Kun lähtötiedot ja kunnonvalvontamenetelmän vaatimukset olivat selvillä sekä karamurskaimeen oli perehdytty kunnolla, aloitettiin itse menetelmien selvitys. Työ aloitettiin laajalla internet haulla, jota tehtiin suomen- ja englannin kielellä. Hakusanoja kertyi paljon. Lisäksi verkosta löytyi muutama sivusto, jonne oli kasattu öljykunnonvalvontaan käytettäviä laitteita. Ratkaisuja tarjoaviin yrityksiin oltiin yhteydessä sähköpostitse ja käytiin puhelinkeskusteluita. Valmistajille tehtiin kyselyitä ja haastatteluja, joiden pohjalta pyrittiin keräämään potentiaalisia vaihtoehtoja karamurskaimen kunnonvalvontaan ja saamaan vastaukset tutkimuskysymyksiin. Lisäksi kyselyissä pyrittiin saamaan vastaus, soveltuisiko menetelmä seuraamaan kiertovoitelun paluulinjaa ja häiritseekö öljyn seassa oleva ilma laitteen toimintaa. Laitteista karsittiin myös sellaiset pois, jotka eivät täytä suurintaa osaa vaatimuksista, jotka on esitetty edellä mainitussa kohdassa 6.3 kunnonvalvontamenetelmän vaatimukset. Lisäksi menetelmille pyrittiin saamaan hinta, mutta, koska eräät valmistajat eivät halunneet työssä viitattavan laitteidensa hintoihin, ei tässä työssä oteta niihin kantaa. Potentiaaliset vaihtoehdot ja niiden hinnat esitettiin työn tilaajalle. Työssä tarkasteltiin ja pyrittiin pohtimaan menetelmien soveltuvuutta karamurskaimen kiertovoiteluöljyn seurantaan sekä menetelmien ominaisuuksia ja niiden etuuksia. Kiertovoitelun paluulinja on muokattavissa, joten työssä kasattiin myös vaihtoehtoja, jotka eivät suoraan käy paluulinjaan. Painepuolelle soveltuvia antureita ei myöskään jätetty työn ulkopuolelle. Tässä opinnäytetyössä ei testattu käytännössä mitään kunnonvalvontamenetelmiä. Tämä johtuu osittain aikataulun ja resurssien puutteesta sekä työn rajauksesta. Opinnäytetyö pohjautui selvitykseen menetelmistä, joilla karamurskaimen voiteluaineen kunnonvalvontaa voitaisiin toteuttaa. Menetelmien selvitystä hankaloitti takuuvarma tieto kulumispartikkelien kokoluokasta niiden syntyessä. Karamurskaimen kulumisvauriot voivat tapahtua erilaisista syistä ja näiden yhdistelmistä. Juurisyyt kiinnileikkaantumiselle on selvitetty toimeksiantajan kunnossapitohenkilöstön henkilöhaastatteluin. Ilman laajempaa mittausdataa on hankalaa ennustaa, minkä kokoisia kulumispartikkeleita missäkin vaurio-tilanteessa tai näiden yhdistelmissä ensimmäisenä ilmenee. Tämän datan saaminen vaatisi voiteluaine- ja kulumametallianalyysyjä laitteista, joissa on alkava vaurio. Vaurion tapahtuessa voiteluöljyyn tiedetään varmuudella il-

menevän partikkeleita, jotka ovat 500 µm molemmin puolin, joten tässä työssä keskityttiin pääsääntöisesti löytämään menetelmiä, jotka havaitsevat suurempia partikkeleita.

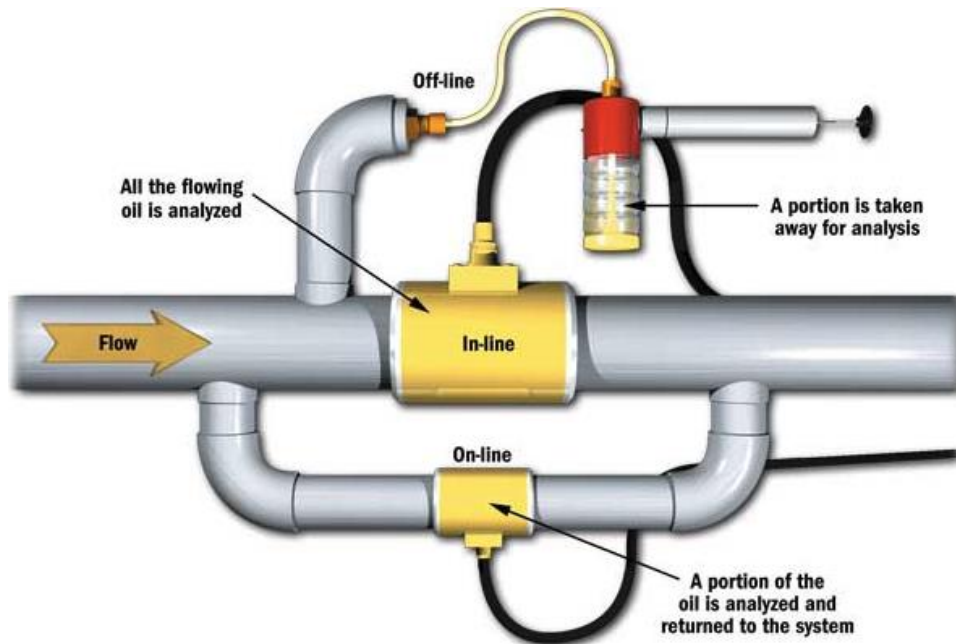
7 Tulokset

7.1 Työn tulokset

Työn tuloksina löydettiin kolme eri menetelmä vaihtoehtoa, joilla karamurskaimen voiteluöljyä voidaan seurata kulumametallipartikkelien varalta. Vaihtoehtoista on esitetty yhden valmistajan laite, mutta samalla periaatteella toimivia laitteita löytyy myös muilta valmistajilta. Laitteista selvitettiin myös hinnat työn tilaajalle. Tuloksiin selvitettiin vaihtoehtoja, joilla kunnonvalvontaa olisi mahdollista suorittaa ja pohtia eri menetelmien ominaisuuksia ja niiden etuuksia. Tulokset ovat esitetty sanallisessa muodossa laadullisina tuloksina.

7.2 Kunnonvalvontamenetelmät

Työn toteutuksen aikana oltiin yhteydessä useisiin valmistajiin, jotka tarjoavat ratkaisujaan voiteluaineiden kunnonvalvonnalle. Tavoitteena oli löytää menetelmiä, jotka seuraavat reaaliaikaisesti kiertovoiteluöljyä metallipartikkelien varalta. Tässä tapauksessa puhutaan online- ja inline-kunnonvalvonnasta. Online-valvonnassa osa öljystä johdetaan koneesta pois analysoitavaksi saman tien, jonka jälkeen analysoitu öljy johdetaan takaisin koneeseen. Inline-valvonnassa testataan koko öljymäärää jatkuvasti. Offline-valvonnassa öljynäyte otetaan manuaalisesti pois koneesta ja testataan laboratoriossa. (Parikka & Vidqvist 2004, 2.) Kuvio 14 esittää öljyn kunnonvalvonta tapojen eri luokat.



Kuvio 14. Öljyn kunnonvalvonta tavat. (Gebarin 2003.)

Kulumistilanteen ennustaminen öljyn kunnonvalvonnan avulla on haasteellista, sillä voitelujärjestelmän epäpuhtaudet voivat olla peräisin monista eri lähteistä. Epäpuhtaukset voivat olla peräisin esimerkiksi voiteluaineesta kemiallisten reaktioiden tuloksena syntyviä epäpuhtauksia, maalatuista pinnoista ja tiivisteistä peräisin olevia epäpuhtauksia sekä kokonaan järjestelmän ulkopuolelta tulevia epäpuhtauksia. Mekaanisen kulumistilanteen arviointiin ferrografia- ja kulumametallianalyysit ovat toimivimpia ja monipuolisimpia, mutta näistä menetelmistä ei ole pystytty kehittämään edullisia käynninaikaista mittausta tekeviä mittauslaitteistoja. (Parikka & Vidqvist 2004, 3-4.) Alaotsikoissa on esitetty työssä selvitettyjä menetelmiä, joilla voitaisiin havaita karamurskaimen kulumistilannetta reaaliaikaisesti.

7.2.1 Metallipartikkelien tunnistimia

Hydac MCS 1000

Hydacin MCS 1000 anturi tutkii kiinteitä metallipartikkeleita voiteluaineesta reaaliaikaisella induktiivisella mittausprosessilla. Anturi havaitsee sekä ferromagneettiset ja ei-ferromagneettiset partikkelit. Anturia on saatavilla kolmea kokoluokkaa, joista pienin tunnistaa ferromagneettiset partikkelit $> 70 \mu\text{m}$ ja ei-ferromagneettiset > 200

µm. Keskimäinen malli tunnistaa ferromagneettiset partikkelit > 100 µm ja ei-ferromagneettiset > 300 µm. Isoin anturivaihtoehto tunnistaa ferromagneettiset partikkelit > 200 µm ja ei ferromagneettiset > 550 µm. Anturit soveltuvat painepuolelle, mutta niistä voidaan myös laskea öljyä läpi vapaavirtauksena. (Laamanen 2018d). Isoimmasta MCS 1000 mallissa suurin virtausnopeus on 200 l/min, mutta anturikoon pienentyessä myös virtausnopeus pienenee. Öljyn seassa oleva ilma ei häiritse mittaustulosta magneettikenttään perustuvan mittauksen vuoksi. MCS 1000 anturi antaa mittaustulosta ulos RS485 liitännällä tai Ethernet-liitännällä, jolla sen voi yhdistää verkkoon. (MetallicContamination Sensor MCS 1000 Series N.d, 5-6.)

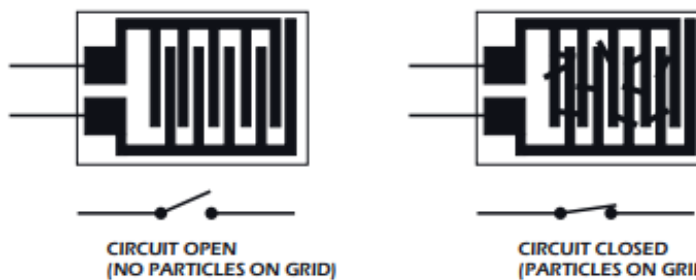
MCS 1000 antureilla voidaan havaita työssä rajatun kokoisia suurempia partikkeleita. Anturin isoin malli olisi vaihtoehtoista paras virtausnopeutensa vuoksi kiertovoitelujärjestelmän paluulinjaan. Anturi täytyy muokata paluulinjaan. Isoimmalla anturimallilla saataisiin öljystä mahdollisimman paljon valvottua ja se tunnistaa työssä halutun kokoiset partikkelikoot. Paluulinjassa oleva ilma ei häiritse anturin toimintaa ja öljyä voidaan laskea anturin läpi vapaana virtauksena. Anturin voisi muokata esimerkiksi paluulinjan putken päähän, jossa öljy putoaa sihdin läpi voiteluainesäiliöön tai haaroittaa sille sivuvirtaus paluuöljyputkeen. Menetelmää asentaessa täytyisi myös varmistua, että kulumispartikkelit päätyvät varmasti kulkemaan anturin läpi, sillä koko paluuöljyn virtaus ei mahdu vapaana virtauksena kerralla virtaamaan yhden anturin läpi. Anturit tunnistavat ei-ferromagneettiset partikkelit, jolloin havaitaan myös pronssista peräisin olevat partikkelit. Tämä luo varmuutta siihen, että kulumistilanne havaitaan ajoissa. Kuviossa 15 on esitetty Hydac MCS 1000 anturi mallit.



Kuvio 15. Hydac MCS 1000 anturi mallit. (Laamanen 2018c.)

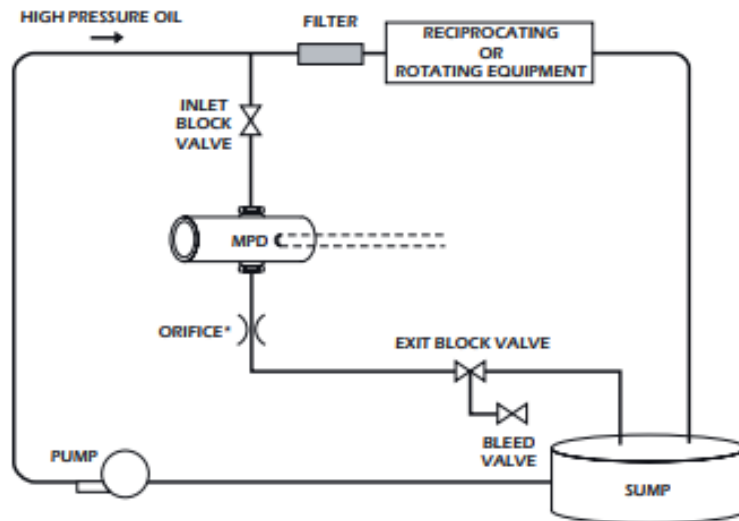
Amot Metal Particle Detector MPD

Amotin MPD on -on/off -tyyppinen metallipartikkelien tunnistin. Laitteen periaatteena on, että tietyn kokoisien partikkelien kulkiessa laitteen läpi saadaan hälytys ja kone voidaan pysäyttää vakavan vaurion välttämiseksi. (Parikka & Vidqvist 2004, 5.) Tunnistinta käytetään moottoreissa, kompressoreissa, turbiineissa sekä vaihteistoissa ja vaihdelaatikoissa. Laite havaitsee magneettiset ja ei-magneettiset metallipartikkelit, joten anturilla voidaan havaita myös partikkelit, jotka ovat pronssista peräisin. Voiteluaine kulkee laitteen sisällä olevan verkon läpi, jossa metallipartikkelit osuvat ruudukkoon aiheuttaen sähköisen piirin sulkeutumisen, josta virtapiiri voi ajaa hälytyksen tai pysäytysreleen. Laitteen ohjearvoiksi on ilmoitettu 3,5 VA ja 24 V vaihtotai tasavirralla. Kuviossa 16 on esitetty laitteen toimintaperiaate. (Metal Particle Detector N.d, 1-3.)



Kuvio 16. MPD kytkinkaavio. (Metal Particle Detector N.d, 2.)

Laitteen voi asentaa painepuolelle, mutta siitä voi laskea myös öljyä vapaavirtauksena läpi, eikä ilma häiritse sen toimintaa. Vaatimuksena on, että öljyn virtaus on riittävä kantamaan partikkelit laitteeseen. (Jedeur-Palmgren 2018b.) Kiertovoitelujärjestelmän painepuolelle asennettaessa anturi vaatii ainakin voiteluainesäiliön siivilän poistoa, jotta tarpeeksi suuret partikkelit pääsevät varmuudella voiteluainepumpulle ja sitä kautta painelinjaan. Painepuolelle asennettaessa ei ole takuuarmaa tietoa kulkeutuvatko partikkelit anturille riittävän nopeasti ennen liiallisen vaurion syntymistä. Amot ohjeistaa asentamaan anturin sivuvirtaan voiteluainepumpun jälkeen, mutta ennen suodatinta. Anturi ohjeistetaan asennettavaksi vaakasuoraan. Kuvio 17 esittää laitteen asennuskaavion.



Kuvio 17. MPD asennuskaavio. (Metal Particle Detector N.d, 2.)

Anturin öljyn läpimentävän reiän koko on $1/2''$, joten paluupuolelle asennettaessa täytyy ohjata vain osa öljystä anturille ja varmistua, että mahdolliset kulumapartikkelit päätyvät myös anturille menevän öljyn sekaan. Anturin sisällä olevan verkotuksen reikien koko on 0,8 mm ja ristikkojen ripojen etäisyys 1,6 mm. (Metal Particle Detector N.d, 3.) Anturi havaitsee tämän tiedon mukaan pienimmillään yksittäisen 0,8 mm partikkelin. Partikkelimäärien kasvaessa oletetaan anturin havaitsevan myös pienempiä partikkeleita, jos partikkelit menevät anturin ristikkoon ja reikiin ns. limittäin. Amot kuitenkin mukauttaa myös eri kokoisia verkotuksia anturiin halutun partikkelikoon havaitsemiseksi. Amot ohjeistaa painepuolelle asentaessa asentamaan sulkuventtiilit ennen ja jälkeen laitetta sekä kuristuslaipan ja vuotoventtiilin laitteen jälkeen. Amotin mukaan anturin virtaus läpi on noin. 102,2 l/min paineen ollessa 4,13 Bar:ia ja öljyn viskositeetin ollessa 38,6 cSt (mm^2/s). (Detect and Alert Equipment Operators of the Presence of Metal Particles N.d, 8-11.) Kuviossa 18 on esitetty Amot MPD.



Kuvio 18. MPD - Metal Particle Detector. (Metal Particle Detector N.d, 1.)

7.2.2 magneettisten sirujen ilmaisimet

Magneettisia sirujen ilmaisimia ja kerääjiä on markkinoilla eri valmistajilta. Ilmaisimet havaitsevat ja keräävät magneettisia metallipartikkeleita öljyjärjestelmästä. (Deoiler & Magnetic Chip Detectors – Turbine Lubrication system Components N.d.) Alla olevassa otsikossa on esitetty Gill Sensors & Controls Limited:in tarjoama 4212 Oil Condition Sensor with Display.

4212 Oil Condition Sensor with Display

4212 Oil Condition Sensor on suunniteltu havaitsemaan reaaliaikaisesti metallipartikkeleita, jotka ovat peräisin kulumisvauriosta, esimerkiksi vaihteistoissa. Se kerää magneettiset metallit ja tallentaa kerätyt partikkelimäärät. Anturin idea perustuu ennakkovaroitukseen mekaanisen vikaantumisen varalta. Anturissa on kaksi tunnistavaa elementtiä, joista toinen havaitsee magneettiset partikkelit ja toinen öljyn läsnäolon tai öljyn lämpötilan. Anturi pystyy erottamaan toisistaan hienot ja karkeammat kulumispartikkelit, joista se lähettää signaalin eteenpäin. Karkeammat kulumispartikkelikoot ovat 2-5 mm ja hienot kulumispartikkelit 1-850 μm . Anturin toiminta perustuu voimakkaaseen kestromagneettiin, joka kerää itseensä magneettisia partikkeleita. (OIL CONDITION MONITORING SENSOR User Manual 2017, 4-45.) Anturin mukana tuleva LED -näyttö ilmoittaa metallipartikkelien pitoisuudesta vihreän, keltaisen ja punaisen valon avulla. Anturin ulostuloja ovat analoginen lähtö 0-10 V, 4-20 mA ja CAN

J1939 -väylä. (4212 OIL CONDITION SENSOR WITH DISPLAY N.d.) Kuviossa 19 on esitetty 4212 Oil Condition Sensor with Display.



Kuvio 19. 4212 Öljyn kuntoanturi ja LED -näyttö. (OIL CONDITION MONITORING SENSOR User Manual 2017, 49.)

Anturi voidaan asentaa myös öljylinjaan ja öljynvirtaus ei häiritse anturin toimintaa vahvan magneetin ansiosta. Anturin on oltava upoksissa öljyssä. (Pearson 2018g).

Magneettisten sirujen kerääjä voisi olla vaihtoehto karamurskaimen kiertovoiteluöljyn seurannalle. Etuutena on anturin yksinkertainen asennus esimerkiksi paluulinjaan ja anturilla voitaisiin seurata koko paluu öljyn määrää kerralla. LED -näyttö mahdollistaisi yksinkertaisen seurannan voiteluöljynkunnolle ja lisämahdollisuutena on myös seurata paluuöljyn lämpötilaa. Mahdolliseksi ongelmaksi voi ilmetä se, että anturi kerää vain magneettisia partikkeleita, jolloin pronssista peräisin olevat partikkelit jäävät tässä tapauksessa tunnistamatta. Vauriotilanteissa pronssipartikkeleita on havaittu ilmenevän teräspartikkeleita suuremmissa määrin. Tällöin ei voida sanoa varmaksi ilman testidataa kerkeäkö karamurskaimeen tulla liian suurta vauriota ennen kuin havaitaan pelkät magneettiset partikkelit.

7.3 Tulosten luotettavuus ja arviointi

Opinnäytetyön tuloksista pyrittiin saamaan luotettavia monipuolisella lähdeaineistolla. Tehdyn case-tutkimuksen ominaispiirteenä on saada tutkittavasta kohteesta syvällinen kuva monilla eri aineistonkeruumenetelmillä. Tällä pyrittiin lisäämään tutkimuksen pätevyyttä. Opinnäytetyön tuloksia verrattiin vaadittuihin lähtötietoihin ja lähtöarvoihin. Lisäksi tuloksista on saatu tarkempia tehtyjen kyselyiden ja haastattelujen perusteella. Tuloksissa ei ole yhtä oikeaa ratkaisua, vaan vaihtoehtoja karamurskaimen kiertovoiteluöljyn seurannalle. Tuloksien ilmaisussa on myös analysoitu määrällisiä arvoja havainnoimalla niitä laadullisesti.

Osittainen datan puute kulumistapahtumista ja takuuvarma tieto kulumispartikkelien kokoluokasta niiden syntymisvaiheessa vaikuttivat saatuihin lopputuloksiin. Salosen (1997, 97) mukaan mikroskooppimittakaavassa kulumispartikkelien synty ja makroskooppisen kulumisen takuuvarma selittäminen kussakin kulumistapauksessa on vielä lähes kokonaan kokemusperäisen tiedon varassa. (Salonen 1997, 97.) Opinnäytetyössä ei saatu käsiin takuuvarmaa kokemusperäistä tietoa karamurskaimien kulumistapahtumista niiden alkuvaiheessa.

Työssä haastateltiin kokemusperäistä tietoa omaavia henkilöitä kulumistapahtumiin liittyen, joiden pohjalta päätettiin yhdessä toimeksiantajan kanssa haluttu partikkelien kokoluokka, joita selvitettävät menetelmät havaitsisivat kiertovoiteluöljystä. Tuloksina on vaihtoehtoja, jotka pystyvät havaitsemaan kulumispartikkeleita halutussa kokoluokassa.

Kiertovoiteluöljyjärjestelmän paluulinjan seurantaan ei löytynyt suoraa ratkaisua, joka havaitsisi haluttujen partikkelien materiaalit ja koot sekä näiden lisäksi seuraisi koko öljymäärää kerralla. Saaduista tuloksista on kuitenkin mahdollista kehittää karamurskaimen voiteluaineen kunnonvalvontaa, joko muokkaamalla ne laitteeseen ja/tai yhdistelemällä vaihtoehtoja. Menetelmiä muokatessa paluulinjaan on varmistettava, että kulumispartikkelit päätyvät kunnonvalvontaan.

7.4 Kehitysideat ja jatkotoimet

Kunnonvalvonnan käyttöönottoa helpottaisi tarkka kokemusperäinen tieto kulumispartikkelien synnystä ja kulumistapahtumista. Jatkotoimina tulevaisuudessa voitaisiin ottaa öljynäytteitä laitteista, joissa huomataan alkava vaurio. Näytteistä voisi saada tarkemmin tietoa partikkelikoista sekä teräksen ja pronssin määrien suhteista kunkin kulumistapahtuman ja vauriotapauksen alkutekijöissä. Mittausdatan pohjalta on helpompi arvioida ja päättää laitteille sopiva kunnonvalvontamenetelmä tai näiden yhdistelmä.

Kunnonvalvontalaitteita voisi myös testata käytännössä. Toki ei voida tietää mikä karamurskain seuraavaksi vaurioituu, mutta laittamalla laitteen voiteluaineen sekaan vanhasta vaurioituneesta laitteesta peräisin olevia kulumispartikkeleita, voidaan testata menetelmien toimivuutta. Tällä voitaisiin mitata esimerkiksi, kuinka nopeasti painepuolelle asennettava kunnonvalvonta havaitsee voiteluöljyyn ilmenevät metallipartikkelit tai miten paluuöljyputkeen muokatut menetelmät toimivat.

8 Pohdinta

Opinnäytetyölle asetettiin tavoitteeksi selvittää keino, jolla voitaisiin havaita karamurskaimen vaurioituminen kiertovoiteluöljyä seuraamalla kulumametallipartikkelien varalta. Lisäksi tavoitteena oli selvittää keinoista hinnat työn tilaajalle. Sivullisena tavoitteena olisi ollut keinojen testaamista käytännössä, mutta tämä jätettiin työstä pois suurimmaksi osaksi ajan puutteen takia. Työssä on keskitytty tekemään teorian ja tutkimustulosten pohjalta mahdollisimman luotettava selvitys, joka voitaisiin viedä käytäntöön jatkotoimenpiteiden avulla.

Opinnäytetyön tuloksina saatiin kolme eri menetelmävaihtoehtoa karamurskaimen kiertovoiteluöljyn seurantaan kulumametallipartikkelien varalta. Laitteista selvitettiin myös hinnat työn tilaajalle, mutta koska eräät laitevalmistajat eivät halunneet työssä viitattavan laitteiden hintoihin julkisesti, jätettiin ne tästä työstä pois. Mielestäni opinnäytetyön tulokset kattavat asetetut tavoitteet. Suoraan karamurskaimen kierto-

voiteluöljyn seurantaan käyvää menetelmää, joka täyttäisi kerralla kaikki halutut vaatimukset ja lähtöarvot ei löytynyt, mutta työssä on pyritty pohtimaan löydettyjen menetelmien soveltuvuutta kiertovoitelujärjestelmään. Tuloksista on pyritty saamaan mahdollisimman luotettavat ja tarkat yhdistäen määrälliset- ja laadulliset tutkimusmenetelmät. Lähdemateriaalin monipuolisuudella on pyritty lisäämään tutkimuksen pätevyyttä ja tietoperustan laajuutta.

Opinnäytetyössä onnistumisena koen tulosten kattavuuden lähtötavoitteisiin nähden. Työn toteutusta hankaloitti takuuarva tiedonpuute kulumistapahtumista ja kulumametallipartikkeleiden kokoluokasta niiden alkutekijöissä. Tehtyjen kirjallisuustutkimusten ja haastattelujen perusteella ongelma onnistuttiin kuitenkin rajaamaan ja tuloksista saatiin rajauksen kattava. Lisäksi tulokset ovat haarukaltaan laajat havaitsemaan erikokoisia metallipartikkeleita, mikäli myöhemmin halutaan tehdä muutoksia halutun partikkelikoon havaitsemiseksi. Työssä on myös mielestäni pohdittu hieman hyödyllisiä jatkotoimenpiteitä selvitetuille menetelmille, jotta kunnonvalvonta olisi toteutettavissa käytännössä. Epäonnistumisena koen, että työssä ei saatu käsiin takuuarvaa dataa kulumistapahtumista ja partikkelikoista niiden syntyvaiheessa. Lisäksi työtä olisi voinut jatkaa tekemällä testauksia ja mittauksia käytännössä, mutta aikataulu ja resurssit olivat rajalliset.

Opinnäytetyössä tehdyn selvityksen pohjalta on mahdollista kehittää karamurskaimen kiertovoiteluöljylle kunnonvalvontaa. Työssä saaduista tuloksista ja mahdollisesti jatkotoimenpiteinä tehtävistä mittaus- ja testituloksista voidaan soveltaa toimiva menetelmä tai näiden yhdistelmä karamurskaimen kiertovoiteluöljyn seurantaan. Oikean kunnonvalvonnan valintaan vaikuttaa menetelmien tehokkuus havaita vauriotilanne ja myös menetelmän hinta on ratkaisevana tekijänä.

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyö oli haastava, mutta mielenkiintoinen. Opinnäytetyön tulokset ovat selvitys toimeksiantajalle karamurskaimen voiteluaineen kunnonvalvontamenetelmistä metallipartikkelien varalta. Opinnäytetyössä tehtyä selvitystä on mahdollista hyödyntää jatkossa.

Lähteet

- 4212 OIL CONDITION SENSOR WITH DISPLAY. N.d. Gill Sensors & Controls sivuston tuote. Viitattu 16.3.2018. <https://www.gillsc.com/products/condition-sensors/4212-oil-condition-sensor-with-display/>
- Ajanko, M. 2018a. Kehityspäällikkö. YIT Infra OY. Haastattelu 13.2.2018.
- Ansaharju, T. 2010. Koneenasennus ja kunnossapito. Oppikirja kone- ja metallialaan. WSOYpro Oy, Helsinki.
- Antila, K., Kajander, K., Korpi, A., Lehtovaara, A., Luukkainen, T., Malinen, R., Malkamäki, H., Miettinen, J., Mikkola, K., Pietiläinen, L., Pulkkinen, P., Rinkinen, J., Ronkainen, H., Rätty, K., Strengell, K., Suontama, K., Säynätjoki, M., Vihersalo, J., Virtanen, I., Vuolle, P. I. 2006. Teollisuusvoitelu. Kunnossapitoyhdistys ry oppikirja. Oy Kotkan kirjapaino Ab, Hamina.
- Day, M. 2002. What happened to NAS 1638?. Machinery Lubrication internet sivusto. Viitattu 2.3.2018. <http://www.machinerylubrication.com/Read/409/nas-1638>
- Deoiler & Magnetic Chip Detectors – Turbine Lubrication system Components. N.d. Aeronautics guide ilmailuopas sivusto. Viitattu 16.3.2018. <http://okigihan.blogspot.fi/p/deoiler-deoiler-removes-oil-from.html>
- Detect and Alert Equipment Operators of the Presence of Metal Particles. N.d. Amot MPD laite esittely. Viitattu. 20.3.2018. <http://www.amot.com/tenants/amot/documents/MPD%20Introduction.pdf>
- Gebarin, S. 2003. On-line and In-line Wear Debris Detectors: What's Out There?. Machinery Lubrication internet sivusto. Viitattu 15.3.2018. <http://www.machinerylubrication.com/Read/521/in-line-wear-debris-detectors>
- Hakapää, A., Lappalainen, P., Paalumäki, T. 2015. Kaivos- ja louhintatekniikka. Oppikirja. Juvenes Print Oy, Tampere.
- HYDRAULIIKKA-, VAIHTEISTO- JA KIERTOVOITELUÖLJYT. 2013. Teboil Oy internetsivusto. Viitattu 12.3.2018. <http://www.teboil.fi/tuotteet/voiteluaineet/teollisuus/hydrauliikka/>
- Jedeur-Palmgren, P. 2018b. MPD. Sähköpostiviesti 5.3.2018. Vastaanottaja: Juuso Ajanko. Vastauksia koskien MPD anturia.
- Johdanto kunnonvalvontaan. N.d. Opetushallituksen johdanto kunnonvalvontaan edu.fi- sivustolla. Viitattu 5.3.2018. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_johdanto_kunnonvalvontaan.html
- Kananen, J. 2013. Case-tutkimus opinnäytetyönä. Suomen yliopistopaino Oy. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 143.
- Kananen, J. 2008. KVALI Kvalitatiivisen tutkimuksen teoria ja käytänteet. Jyväskylän yliopistopaino. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 93.
- Kivioja, S., Kivivuori S., Salonen P. 1997. Tribologia – kitka, kuluminen voitelu. Korkeakoulujen kurssien oppikirja. Hakapaino Oy, Helsinki.

- Kokko, J. 2018c. Kalustopäällikkö. YIT Infra Oy. Haastattelu 8.3.2018.
- Laamanen, A. 2018c. Metallipartikkeli anturi. Sähköpostiviesti 7.3.2018. Vastaanottaja: Juuso Ajanko. Vastauksia koskien MCS1000 anturia.
- Laamanen, A. 2018d. Hydac Oy technology manager. Haastattelu 28.2.2018.
- MetallicContamination Sensor MCS 1000 Series. N.d. Hydac MCS 1000 laite esittely. Viitattu 19.3.2018. <https://www.hydac.com.au/wp-content/uploads/2016/07/E.7.619.3.03.16.pdf>
- Metal Particle Detector. N.d. MPD laite esittely. Viitattu 20.3.2018. [http://www.amot.com/tenants/amot/documents/Datasheet MPD Metal Particle Detector 0811 Rev2.pdf](http://www.amot.com/tenants/amot/documents/Datasheet_MPD_Metal_Particle_Detector_0811_Rev2.pdf)
- Metso minerals Oy. 2013. NORDBERG GP550 karamurskaimen käyttöohje/varaosakirja. Viitattu 23.2.2018 ja 14.3.2018
- Mikkonen, H., Miettinen, J., Leinonen, P., Jantunen, E., Kokko, V., Riutta, E., Sulo, P., Komonen, K., Lumme, V. E., Kautto, J., Heinonen, K., Lakka, S. & Mäkeläinen, R. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Kunnossapitoyhdistys promaint käsikirja. Savion Kirjapaino Oy, Kerava.
- Niiranen, E. 2010. On line -hiukkaslaskenta – automaattinen valvonta suoraan öljyjärjestelmästä. Fluid Finland lehti. Fluid Finland 9, 24-27. Viitattu 22.2.2018. https://www.pamas.de/fileadmin/user_upload/download/press/finnish_publications/2010-01_Finnish_Fluid_Finland_1-2010.pdf
- Niiranen, E. 2018e. Pamas Oy toimitusjohtaja. Haastattelu 19.3.2018.
- Niiranen, E. & Vesala, M. 2012. Näytteenotto – öljyanalyysin tärkein vaihe. promaint kunnossapidon media lehti. promaint 26, 54-56. Viitattu 22.2.2018. https://www.pamas.de/fileadmin/user_upload/download/press/finnish_publications/2012-55_Finnish_Promaint_6-2012_pages_54_to_56.pdf
- Niiranen, E. 2011. ÖLJYNÄYTTEIDEN HIUKKASLASKENTA mekaniikan kunnonvalvontaa mikrometrin tarkkuudella. promaint kunnossapidon media lehti. promaint 25, 52-56. Viitattu 15.3.2018. https://www.pamas.de/fileadmin/user_upload/download/press/finnish_publications/2011-15_Finnish_Article_in_Promaint_5_2011.PDF
- OIL CONDITION MONITORING SENSOR User Manual. 2017. Gill Sensors & Controls käyttöohje 4212 Oil Condition Sensor with Display anturille. Viitattu 16.3.2018. <https://www.gillsc.com/assets/Uploads/4212-PS-061-Iss3-User-Manual-GS-Condition-Oil-Monitoring-Sensor.pdf>
- Opas kunnonvalvontaan. 2011. Parker kunnonvalvonnan opas. Parker 5, 7-8. Viitattu 2.3.2018. http://www.parkerhfde.com/pdf/conmon/dd015/DD0000015_FI.pdf
- Parikka, R. & Vidqvist, V. 2004. Anturit ja mittauslaitteet öljyjen kunnonvalvonnassa. Fluid klinikka 9, 2-5. Viitattu 14.3.2018. [http://www.salhydro.fi/fi-les/PDF/1. Anturit ja mittauslaitteet öljyjen kunnonvalvonnassa FLUID Finland](http://www.salhydro.fi/fi-les/PDF/1_Anturit_ja_mittauslaitteet_oljyjen_kunnonvalvonnassa_FLUID_Finland)
- Pearson, T. 2018g. 4212 oil condition sensor with display. Sähköpostiviesti 12.3.2018. Vastaanottaja: Juuso Ajanko. Vastauksia koskien 4212 anturia.

PSK 7501. 2010. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. PSK Standardointiyhdistys, Helsinki. Viitattu. 8.2.2018. <https://psk-standardisointi.fi/>

Vilpas, P. N.d. 1. Kvantitatiivinen tutkimus. Metropolia ohje kvantitatiiviselle tutkimukselle. Viitattu 6.3.2018. <https://users.metropolia.fi/~pervil/kvantsu/Moniste.pdf>

YIT ja Lemminkäinen yhdistyivät 1.2.2018. N.d. Viitattu 26.3.2018
<https://www.yit.fi/tietoa-yhdistymisesta>

YIT Vuosikertomus 2017. N.d. YIT vuosikertomus 2017 tietoa YIT:n ja Lemminkäisen yhdistymisestä. Viitattu 26.3.2018. https://www.yitgroup.com/siteassets/investors/annual-reports/annual-report-2017/pdf/yit_vuosikertomus_2017_fi.pdf#page=14

Liitteet

Liite 1. Voiteluaineanalyysi, karamurskain 1

NÄYTTEYTYPI: Öljy

LAB. TARKISTUSNUMERO	OTETTU PVM	PROSESSI PVM	KÄYTTÖTUNNI	NESTEEN KÄYTTÖTUNNI	NESTE VAIHDETTU	NESTETTÄ LISÄTTY	NESTEEN MITTAYKSIKKÖ	SUODATTIN VAIHDETTU
L390-47342-0025	01-08c-2017	08-08c-2017		3700 HR				
	Normaali							
L390-47223-0050	09-Aug-2017	11-Aug-2017						
	Normaali							

TESTITULOKSET OVAT NORMAALIT. - OTA SEURAAVA NÄYTE NOIN 500 TUNNIN TAI 6 KUKAUKAUDEN KULUTTUA TAI ÖLJYNVAIHDON YHTEYDESSÄ (MIKÄ NÄISTÄ ENSIN TÄYTYY). - LISÄTIETOA TÄSTÄ RAPORTISTA ANTA

AIEMMAT NÄYTEET PUUTTAVAT. KEHITYSUUNNAN MÄÄRITTÄMISEEN TARVITAAN VÄHINTÄÄN KOLME SÄÄNNÖLLISIN VÄLILÄISIN OTETTUA NÄYTETTÄ. - ÖLJYN KÄYTTÖTUNNI? - TESTITULOKSET NÄYTTÄVÄT NORMAALIELTÄ. - LISÄÄ NÄYTEITÄ TARVITAAN KEHITYSSEURANTAAN. OTA SEURAAVA NÄYTE NOIN 500 KÄYTTÖTUNNIN TAI 6 KUKAUKAUDEN KULUTTUA TAI ÖLJYNVAIHDON YHTEYDESSÄ (MIKÄ NÄISTÄ ENSIN TÄYTYY). - LISÄTIETOA TÄSTÄ RAPORTISTA ANTA

Kulutusmäärä (ml/joukossa)	Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	B	Mn	Mo	Ni	Ag	Ti	V	Mn	Cd	Cs	Mg	Zn	P	Ba	
L390-47342-0025	9	3	0	0	27	1	0	0	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	14	1	12	235	0
L390-47223-0050	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	2	282	0

Öljyn laatu	ST	OX	NIT	SUL	W	V100	PQI	ISO	4μ	6μ	10μ	14μ	18μ	21μ	30μ	50μ
L390-47342-0025	0	53	3	50	N	19.5	5	17149	1000	99	16	5	2	1	0	0
L390-47223-0050	0	51	3	49	N	19.0	3	201713	6384	830	192	73	35	22	4	1

Ag = Hopea, Al = Alumiini, B = Boroni, Ca = Kalkki, Cr = Kromi, Cu = Kupari, Fe = Rauta, F = Fluori, K = Kalium, Mg = Magnesium, Mo = Molybdeeni, Na = Natrium, Ni = Nikeli, Pb = Lyijy, Bi = Pi, Sn = Timmi, V = Vanadiini, Zn = Sinkki, A = Raskasmetalli, P = Fosfori, W = Vahaa, Ni = Nitrauminen, E = Etaneni, NIT = Nitrauminen, OXI = Happuminen, ST = Niok. Sul = Sulfaattimäinen, ISO = ISO hyysaluokka, PQI = Huokausmittaus, NAV = Suolan vesii, PL = Lämähäkkö, TBN = Kloorisäpöly, TBN = Kloorisäpöly, V100 = Valmistus, V100 = Valmistus, V40 = Valmistus, V40 = Valmistus, V40 = Valmistus.

Huomautus: Tämä analyysi on tarkoitettu vain mekaanisen kulutuksen ennustamiseen. Missään tapauksessa ei ole tarkoitettu kukaan muun tarkoituksiin.

Liite 2. Voiteluaineanalyysi, karamurskain 2

NÄYTETYYPPI : Öljy

LAB. TARKISTUSNUMERO	OTETTU PVM	PROSESSI PVM	KÄYTTÖTUNNI	NESTEEN KÄYTTÖTUNNI	NESTE VAHDEITU	NESTETTÄ LISÄTTY	NESTEEN MITTAYKSIKKO	SUODATTIN VAHDEITU
L390-47223-0049	20-Juu-2017	11-Aug-2017						
	Normaali							
TESTITULOKSET NÄYTTÄVÄT NORMAALEILTA. - OTA SEURAAVA NÄYTE NOIN 500 KÄYTTÖTUNNIN TAI 6 KUKAUKSEN KULUTTUA TAI ÖLJYNVAIHDON YHTEYDESSÄ (MIKÄ NÄISTÄ ENSIN TÄYTTYY). - LISÄ TIETOUJA TÄSTÄ RAPORTISTA ANTA								
L390-47223-0048	19-Juu-2017	11-Aug-2017						
	Normaali							
AIEMMÄT NÄYTTET PUUTTUVAT. KEHITYSSUUNNAN MÄÄRITTÄMISEEN TARVITAAN VÄHINTÄÄN KOLME SÄÄNNÖLLISIN VÄLJÄJON OTETTUA NÄYTETÄ. - ÖLJYN KÄYTTÖTUNNI? - TESTITULOKSET NÄYTTÄVÄT NORMAALEILTA. - LISÄÄ NÄYTTETÄ TARVITAAN KEHITYSSUURANTAAN. OTA SEURAAVA NÄYTE NOIN 500 KÄYTTÖTUNNIN TAI 6 KUKAUKSEN KULUTTUA TAI ÖLJYNVAIHDON YHTEYDESSÄ (MIKÄ NÄISTÄ ENSIN TÄYTTYY). - LISÄTIETOUJA TÄSTÄ RAPORTISTA ANTA								

Kuluisemällä (miljoonassina)	Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Ni	K	B	Mn	Ag	Ti	V	Mn	Cd	Cs	Mg	Zn	P	Ba			
L390-47223-0049	0	3	0	0	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	5	315	0
L390-47223-0048	0	9	0	0	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	163	0	78	349	0

Öljyn laatu	ST	OX	NIT	SUL	W	V100	PQI	ISO	4μ	6μ	10μ	14μ	18μ	21μ	30μ	50μ
L390-47223-0049	0	49	3	46	N	17.9	5	231913	59937	2720	213	63	26	15	3	1
L390-47223-0048	0	50	3	47	N	17.9	3	231813	57381	2254	129	40	19	12	3	2

Ag = Hopea, Al = Alumiini, B = Borini, Ca = Kalkki, Cr = Kromi, Cu = Kupari, Fe = Rauta, P = Fosfori, K = Kalium, Mg = Magnesium, Mn = Mangaani, Na = Natrium, Ni = Nikkeli, Pb = Lyijy, Si = Piik, Sn = Timmi, V = Vanadiini, Zn = Sinkki, A = Fosforiasetaatti, P = Fosfori, W = Vesi, P = Fosfori, N = Nitrogeni, E = Etanoli, NI = Nitrogeni, OX = Happamoitus, ST = Niikki, SUL = Sulfaattipitoisuus, PQI = Huuokamääräindeksi, NAV = Suolaisten vesien pH, L = Lemmikuusaste, TAN = Kookonainepitoisuus, TEN = Kookonainepitoisuus, V100 = Viskositeetti@100C, V40 = Viskositeetti@40C

Huomautus: Tämä analyysi on tarkoitettu vain mekaanisen kulun ensimmäisiksi. Mittaan 1800 korreilla tai sen komponenttien kosketus tai sen komponenttien kosketus tai sen komponenttien kosketus perusteella.

Liite 3. Voiteluaineanalyysi, karamurskain 2

NÄYTETYYPPI: Öljy

LAB. TARKISTUSNUMERO	OTETTU PVM	PROSESSI PVM	KÄYTTÖTUNNIT	NESTEEN KÄYTTÖTUNNIT	NESTE VAIHDETTU	NESTETTÄ LISÄTTY	NESTEEN MITTAUSKOKO	SUODATIN VAHDETTU
L390-47263-0061	11-Sep-2017	20-Sep-2017	100 HR	Unknown				
Normaali	AIEMMÄT NÄYTTEET PUUTTUVA. KEHITYSSUUNNAN MÄÄRITTÄMISEEN TARVITAAN VÄH. 3 SÄÄNNÖLLISIN VÄLJÄIN OTETTUA NÄYTTEÄ. - TESTITULOKSET NÄYTTÄVÄT NORMAALILTA. - LISÄÄ NÄYTTEITÄ TARVITAAN KEHITYSSEURANTAAN. OTA SEURAAVA NÄYTE NOIN 500 KÄYTTÖTUNNIN TAI 6 KUUKAUDEN KULUTTUA TAI ÖLJYNVAIHDON YHTEYDESSÄ (MIKÄ NÄISTÄ ENSIN TÄYTTYY). - LISÄTietoJA TÄSTÄ RAPORTISTA ANTAA							

Kolumimmetalli (miljoonassa)	Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	B	Mn	Mo	Ni	Ag	Ti	V	Mn	Cd	Ca	Mg	Zn	P	Ba
L390-47263-0061	2	3	0	0	6	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	25	1	10	332	0

ST	OX	MIT	SUL	W	V100	PQI	ISO	4µ	6µ	10µ	14µ	19µ	21µ	30µ	50µ	
L390-47263-0061	0	51	3	48	N	18.8	8	201713	810	817	157	60	27	18	5	2

Ag = Hopea, Al = Alumiini, B = Borini, Ca = Kalkki, Cr = Kromi, Cu = Kupari, Fe = Rauta, P = Fosfori, K = Kalium, Mg = Magnesium, Mo = Molybdeeni, Na = Natrium, Ni = Nikkeli, Pb = Lyijy, Bi = Bismutti, Sn = Tina, V = Vanadiini, Zn = Sinkki, A = Fakkarineste, F = Pelturineste, G = Gallium, H = Hapteeni, I = Iodinen, N = Natrium, OX = Hapteeni, ST = Noki, SUL = Sulfaattinainen, ISO = ISO hyvyyssuola, PQI = Hiukkasmittainindeksi, NAW = Suolaisten vesien, PL, PI = Lämpösuola, TAN = Korkonäppyyden, TBN = Korkonäppyyden, V100 = Välikäsitteiden, V40 = Välikäsitteiden

Huomautus: Tämä analyysi on tarkoitettu vain metallin kulumisen ennustamiseen. Missään tapauksessa ei sen komponenttien koon tarkastusta ole tarkoitettu.

Liite 4. Voiteluaineanalyysi, karamurskain 3

SAMPLE NO.: 1

Customer :
 Department :
 Make machine : **METSO GP300** Type machine :
 Type of oil : **Teboil Sypres 150** Serial number : **1**
 Sampling place : **return pipe** Date : **08-12-2017**

PROCEDURE TO ESTIMATE THE NUMBER OF PARTICLES.

Pore size filter disc : **0,8 micron**
 Sampled volume : **100 ml (Standard volume = 100 ml)**
 Method of particle count : **NAS / Microscope**

PARTICLE COUNTING.

NUMBER OF PARTICLES PER 100ML	> 2 μm	334779
	> 5 μm	134562
	> 15 μm	2283
	> 25 μm	451
	> 50 μm	65
COLOUR TEST FILTER DISC		1. brown
NAS CLASSIFICATION ACC.NAS AS 4059		9

PARTICLES IDENTIFICATION.

Black metal : **70 %**
 Weld. sparks : **%**
 Bright metal : **5 %**
 Rust : **%**
 Sand : **%**
 Fibres : **%**
 Synthetics : **5 %**
 Copper : **15 %**
 Resin : **5 %**



1 Div = 15 Micron

SAMPLE NO.: 1**WATER DETERMINATION TEST .**

Water concentration : **13 mg/kg** (accuracy <5 mg/kg) Normal **300 - 900 mg/kg**
Disapproval app. **0,1 %** Methode Karl Fischer Coulometric
(1 mg/kg = 1 ppm, 1% = 10000 mg/kg)

TEST RECORDS VISCOSITY DETERMINATION.

Viskosimeter OSTWALD serialnr.E2423 callibrated acc.: BS 188, ASTM D445,
IP 71 and NEN 3026 accuracy 0,2%.
Used volume : 20 ml

VISCOSITY.

Viscosity : **145,0** cSt.(mm²/s) Temperature : 40 °C
ISOVG **150** : Min. **127,5** , Max **172,5**

TEST RECORDS DETERMINATION TOTAL ACID NUMBER.

Total acid number (T.A.N.) determination by ASTM D664-81 / European standard 55.
T.A.N. mg. KOH/g: **0,27** Fact. stat. max : ??

REMARKS / ADVICE.

Contamination level of the oil reviewed as good.

Wear assessed as normal.

As we do not know the maximum admissible total acid number of this oil, we recommend that you ask the supplier for it and check whether the oil is still suitable for further use. Please let us know this value so that we will be in a better position to inform you in the case of a next analysis.

SAMPLE NO.: 1

Customer : Department :
 Make (machine) : METSO GP300 Type (machine) :
 Date : 08-12-2017 Executed by : _____

**CONTAMINATION CLASSIFICATION
 ACCORDING NAS AS 4059
 CLASS : 9**

CLASS	Max. number of particles per 100 ml fluid after their size ranges.				
	>2	>5	>15	>25	>50
000	195	76	14	3	1
00	390	152	27	5	1
0	780	304	54	10	2
1	1.560	609	109	20	4
2	3.120	1.220	217	39	7
3	6.520	2.430	432	76	13
4	12.500	4.860	864	152	26
5	25.000	9.730	1.730	306	53
6	50.000	19.500	3.460	612	106
7	100.000	38.900	6.920	1.220	212
8	200.000	77.900	13.900	2.450	424
9	400.000	156.000	27.700	4.900	848
10	800.000	311.000	55.400	9.800	1.700
11	1.600.000	623.000	111.000	19.600	3.390
12	3.200.000	1.250.000	222.000	39.200	6.780

RECOMMENDED CONTAMINATION LEVEL FOR HYDRAULIC SYSTEMS.

- 4-6 Silt sensitive systems aerospace or laboratory. 5,5 kg*
 6 Critical systems general servo systems. 11 kg*
 7 High quality general proportional valves. 22 kg*
 8 Medium pressure systems. 44 kg*
 9 Low pressure systems with large clearances. 90 kg*
 >10 Not suitable for hydraulic systems. >190 kg*

* "If the oil passes through a pump with the capacity of 200 ltr/min., 8 hours a day, 230 working days per year the amount of dirt passing the pump per year is listed above with corresponding NAS code".