

Öljyanalyysilaitteiston järjestelmäkuvaus

Sakari Siponen

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Tuotantopainotteinen suuntautumisvaihtoehto
Insinööri (AMK)

2014

LAPIN AMK Lapland University of Applied Sciences	Opinnäytetyön tiivistelmä
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma Insinööri (AMK)	

Tekijä	Sakari Siponen. Vuosi 2014
Ohjaajat	Arja Kotkansalo, projekti-insinööri Jani Sipola, projekti-insinööri
Toimeksiantaja	Aslak Siimes, projektipäällikkö
Työn nimi	Öljyanalyysilaitteiston järjestelmäkuvaus
Sivu- ja liitemäärä	46

Tämä opinnäytetyö on tehty Lapin ammattikorkeakoulun teollisuus ja luonnonvarat Kemin TKI:n käynnissäpidon tutkimukselle. Opinnäytetyön aiheena oli öljyanalyysilaitteiston järjestelmäkuvaus. Aikoinaan Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun TKI-yksikössä kehitettiin konenäköön perustuvaa öljyanalyysia sekä siihen liitettyä partikkelierotinta. Työn tavoitteena oli luoda laitteiston järjestelmäkuvaus sekä varmistaa laitteistoon liittyvän tiedon ajantasaisuus. Työhön kuului myös selvittää laitteiston soveltuvuus tuulivoiman tarpeisiin.

Opinnäytetyön aineistona on käytetty käynnissäpidon tutkimuksen omia dokumentteja laitteiston kehityksen eri vaiheista sekä aiheeseen liittyvää tietokirjallisuutta ja internetiä. Öljyanalyysilaitteiston soveltuvuutta tuulivoimaan arvioitiin haastattelemalla paikallisen tuulivoimayhtiön toimitusjohtajaa sekä vierailemalla heidän tuulivoimalassa.

Vierailun aikana tehtyjen havaintojen sekä haastattelun perusteella laitteiston todettiin soveltuvan tuulivoiman tarpeisiin. Haasteellinen toimintaympäristö asettaa kuitenkin omat vaatimuksensa, jotka pitää ottaa huomioon laitteiston suunnittelussa. Laitteiston suunnittelun suurimpana haasteena tulevaisuudessa on keksiä keino kuinka öljynkierto voideltavassa laitteessa tai koneessa voidaan taata kaikissa olosuhteissa.

Avainsanat: konenäkö, öljyanalyysi, kunnossapito

Lapland University of Applied
Sciences, Technology
Mechanical and Production Engi-
neering

Author	Sakari Siponen. Year 2014
Supervisor(s)	Arja Kotkansalo, Project Engineer Jani Sipola, Project Engineer
Commissioned by	Aslak Siimes, Project Manager
Subject of thesis	System Description of Oil Analysis Installations
Number of pages	46

This study was done for the Unit of Industry and Natural Resources at Lapland University of Applied Sciences. The RDI Unit at Kemi-Tornio University of Applied Sciences developed several years the machine vision based oil analysis with integrated particle separator. The objective of the study was to create a system description for the installation and verify the related information and documents up to date. The study also examines how the installation could comply with the needs of wind power industry.

The thesis is based on source materials which have been produced from the installation during the different development phases in the RDI Unit. Related material from science literature and internet are also used as support material. The oil analysis installation feasibility for wind power needs was assessed by interviewing executive of a local wind power company and visiting the wind power plant.

The installation was discovered to be applicable for wind power based on the observations which were made during the visit and interview. The challenging operational environment set own its requirements which need to be considered the future planning. Probably a major challenge in the installations in the future is to find a way how the oil flow could be secured in all conditions.

Key words: machine vision, oil analysis, maintenance

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Työn tavoite ja rajaukset.....	7
1.2	Tutkimushankkeiden taustaa.....	7
1.2.1	OilAnalysis-projekti.....	8
1.2.2	OPAS hanke.....	10
2	TEORIAA.....	12
2.1	Öljyn kunnonvalvonta.....	12
2.2	Öljyanalyysi.....	13
2.2.1	Öljystä analysoitavat ominaisuudet.....	14
2.2.2	Konenäkö öljyanalyysissä.....	16
2.3	Hydraulinesteet.....	17
2.4	Vaurioanalyysi.....	18
2.4.1	FESEM mikroskopia.....	20
2.4.2	EDS analysointi.....	20
2.4.3	Alkuaineanalyysi.....	20
3	OLOA-LAITTEISTON KUVAUS.....	22
3.1	VOA.....	23
3.2	Toimintakuvaus.....	23
3.3	Nykyisen demolaitteiston mitoitus.....	25
3.4	Komponenttiluettelo.....	26
3.5	Kamera ja optiikka.....	27
3.6	Ohjelmisto.....	28
3.6.1	Partikkeleiden tunnistus.....	29
3.7	Demo -järjestelmän ylläpidettävyys.....	31
4	CASE TUULIVOIMALAN TARPEISIIN.....	32
4.1	Yleiset toimintaedellytykset tuulivoimaloissa.....	32
4.2	Laitteiston toimintaedellytykset.....	33
4.3	Ohjelmisto.....	34
4.3.1	Laitteiston hallinta.....	34
4.3.2	Etäyhteys kotoa tai toimistolta.....	36
4.4	Mekaniikka.....	36
4.4.1	Vaadittavat muutokset.....	36

4.4.2	Laitteiston muutoskustannusten arvio	37
4.4.3	Kunnossapito	38
4.5	Toimintakuvaus.....	39
4.5.1	Kuvantamisen jaksotus	39
4.6	Mahdolliset ongelmat	40
4.7	Varautuminen vikatilanteisiin	40
4.8	Muut havaintomenetelmät.....	41
5	POHDINTA	43
6	LÄHTEET	45

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

OPAS	Online Particle Analyzer & Separator, Jatkuvatoinen partikkelianalysaattori ja –erotin
VOA	Vision Oil Analysis, Partikkelien kuvaamiseen käytettävä laitteisto
OLOA	Partikkelierottimen ja konenäkösensorin muodostama laitteistokokonaisuus
FESEM	Field Emission Scanning Electron Microscope, Kenttäemissio - pyyhkäisyelektronimikroskooppi
EDS	Energy Dispersive Spectrometer, Röntgenanalysaattori tai alkuaineanalysaattori

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön taustalla on aikoinaan Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun TKI-yksikön tutkimushankkeessa kehitetty konenäkötekniikkaan perustuva jatkuva toimiva öljyanalyysilaitteisto. Laitteisto kykeni mittaamaan öljyä reaaliaikaisesti ja tuloksena saatiin partikkeleiden lukumäärä, koko ja muoto.

Öljyanalyysilaitteiston kehittämistä jatkettiin OPAS-hankkeen 1. vaiheessa. Tässä projektissa laitteistoon liitettiin partikkelierotin, jonka avulla kiinnostavana pidetty partikkeli voitiin ottaa pois kiertovoitelun piiristä tarkempaa analysointia varten. Laitteiston demo-ympäristö on rakennettu Lapin AMK:n optisen mittauksen laboratorioon.

1.1 Työn tavoite ja rajaukset

Tämän opinnäytetyön keskeisenä tavoitteena on laatia järjestelmäkuvaus öljyanalyysilaitteiston kehitysversiosta, minkä turvin se kykenisi vastaamaan teollisuuden erilaisia tarpeita. Tässä työssä laitteistoa pyritään skaalaamaan tuuli-voimateollisuuden tarpeisiin.

Työn yhtenä tavoitteena oli kuvata laitteiston nykyinen demo-ympäristö. Kuvausten avulla laitteistoon liittyvä tieto saadaan koottua yhdelle dokumentille. Näin aiheesta saadaan helpommin lähestyttävä.

1.2 Tutkimushankkeiden taustaa

Lapin AMKin tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminnan (TKI) tavoitteena on tarjota hyvinvointia ja parantaa alueen yritysten kilpailukykyä. TKI-toiminta pyrkii vastaamaan yritys- ja muiden yhteistyökumppaneiden todellisiin kehittämistarpeisiin. Tutkimus on käytännönläheistä ja soveltavaa, joka tuottaa konkreettisia tuloksia kuten

- uusia tuotteita tai palveluita

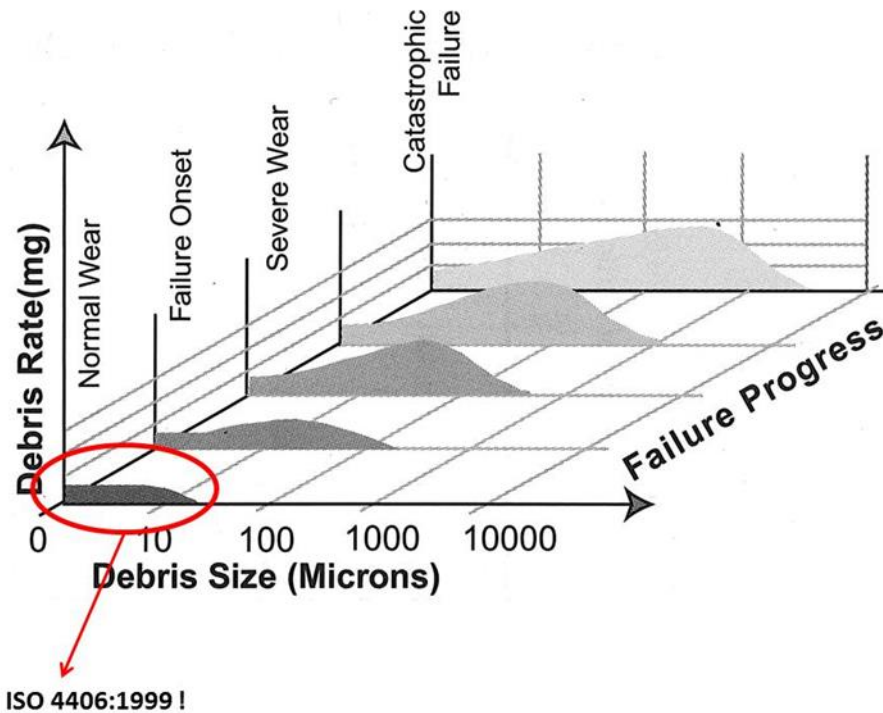
- uusia toimintatapoja
- toiminnan tehostamista
- kustannussäästöjä
- uusia markkinoita tai asiakasryhmiä.

TKI-toiminta on kytketty tiiviisti opetukseen järjestämällä opiskelijoille mm. kursseja, tutkimusprojekteja, työharjoittelupaikkoja sekä opinnäytetöitä. (Lapin AMK:n TKI-toiminta 2014.)

1.2.1 OilAnalysis-projekti

Kemi-Tornion AMK:n Tekniikan TKI-yksikössä toteutettiin Interreg IV A Nord rahoitteinen OilAnalysis-tutkimushanke ajalla 10/2008 – 4/2011. Tutkimushankkeessa kehitettiin ja testattiin konenäkötekniikkaan perustuva jatkuvatoiminen öljyanalyysilaitte. Laite kykeni mittaamaan reaaliaikaisesti 2 litraa öljyä minuutissa ja tuloksena saatiin öljyssä olevien partikkeleiden lukumäärä, koko ja muoto. (Siimes, Pikkarainen, Sipola & Rauhala 2012, 7.)

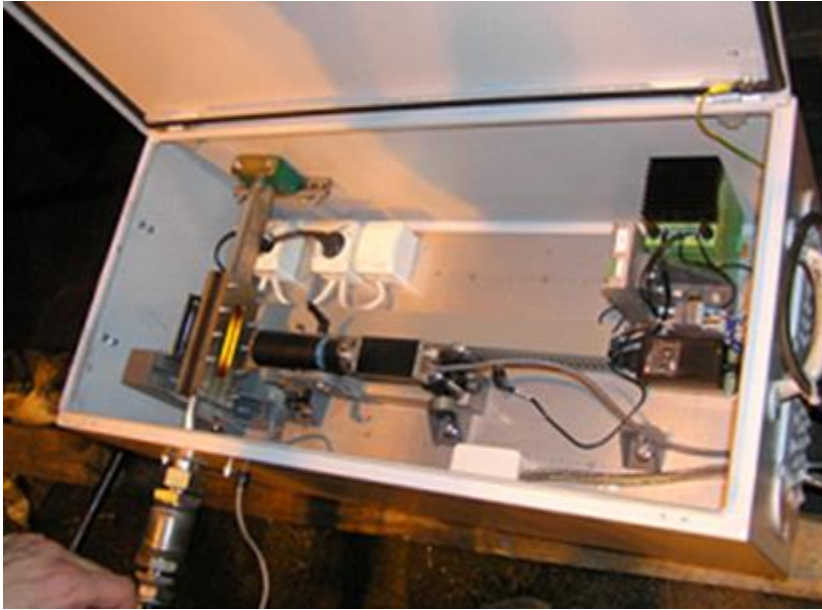
Oulun Yliopistossa tehdyssä tutkimuksessa (Vähöja 2009) todettiin, että mitä suurempia ja painavampia partikkeleita esiintyy voiteluöljyssä, sitä merkittävimpiä ovat laitteisiin syntyvät vauriot. Kuvassa 1 on esitetty partikkelikoon merkitys vaurion vakavuuteen. (Siimes ym. 2012, 6.)



Kuva 1 Partikkelien koon ja kulumisen vakavuuden suhde (Macian, Tormos, Olmeda & Montoro 2003)

Kuten kuvasta 1 käy ilmi, partikkeleiden koolla ja laiterikon todennäköisyydellä on vahva yhteys. Ongelmat kumuloituvat merkittäviksi vasta partikkeleiden ollessa suurempia kuin 150 μm :ä. Kehitetty laite kykenee mittaamaan suurempia partikkelikokoja, kuin mitä standardissa ISO 4406:1999 on määritetty. Näin ollen laiterikkojen ennustettavuutta saadaan luotettavimmiksi. (Siimes ym. 2012, 5, 7.)

Pilottilaitteita (kuva 2) testattiin kahdessa erilaisessa teollisuuden sovelluksessa noin vuoden ajan. Oil Analysis -projektista saatujen tulosten perusteella voitiin todeta jatkuvatoimisen öljyanalyysin olevan tärkeä osa erilaisten kiertovoitelujärjestelmien ja niiden piirissä olevien koneiden kunnonvalvontaa. Lisäksi konenäkötekniikan todettiin olevan käyttökelpoinen menetelmä jatkuvatoimisen öljyanalyysin suorittamisessa, erityisesti isojen ja kaikkein haitallisimpien partikkeleiden havainnoimisessa. (Siimes ym. 2012, 7.)



Kuva 2 Oil Analysis-projektissa kehitetty pilottilaitteisto (Siimes ym. 2012, 8)

Edellä mainitun projektin tutkimusta tehtäessä, syntyi idea kiinnostavien partikkeleiden erottamisesta öljystä tarkempaa laboratorioanalyysia varten. Laboratorioanalyysissä voitaisiin helpottaa alkavan vian kohdentamista sekä juurisyyn selvittämistä valvottavissa laitteissa. Ennakoimalla paremmin laitteiden vikaantumisen voidaan ennaltaehkäisevät kunnossapitotoimet ajoittaa tarkemmin. Näin vältetään äkillisesti syntyvät rikot ja siten estetään tuotannonmenetykset sekä mahdolliset korjaustyöt. (Siimes ym. 2012, 1.)

1.2.2 OPAS hanke

OPAS-hankkeen 1. vaihe toteutettiin 1.5.2012 – 30.10.2013. Projektin tavoitteena oli testata partikkelierottimen prototyypin toimivuus laboratorioolosuhteissa. Lisäksi tavoitteena oli testata ja jatkokehittää partikkelien kuvaamiseen käytettävää laitteistoa (VOA). (Siimes ym. 2012, 9.)

Testiympäristössä partikkelierotin liitettiin ohjelmallisesti toimimaan VOA -laitteiston mittaustulosten perusteella. Laitteistokokonaisuutta (OLOA) testattiin laboratorio-olosuhteissa hyvin tuloksin. Järjestelmään integroitu partikkelierotin

pystyi poistamaan kiertovoitelusta haitalliset partikkelit yli 80% varmuudella. (Siimes ym. 2012, 11, 12.)

Projektin 1. vaiheessa selvitettiin myös laitteiston hyödyntämiseen liittyvää palveluliiketoimintaa. Kiertovoitelupiiristä poistettuja partikkeleja on hyödyllistä analysoida tarkemmin, jotta selviää niiden irtoamiskohde. Poistettujen partikkelien tarkalla laboratorioanalyysillä on mahdollista selvittää mistä alkuaineista partikkeli koostuu ja päätellä mistä kiertovoitelun piirissä olevasta laitteesta se on peräisin. (Siimes ym. 2012, 13.)

2 TEORIAA

2.1 Öljyn kunnonvalvonta

Teollisuuden tuotantolaitteiden häiriötön toiminta ja käynnissäpito voi onnistua vain, kun kunnonvalvonta ja kunnossapito on järjestetty oikein. Voiteluöljyistä tehtävät analyysit ja niiden tuloksista tehdyt johtopäätökset palvelevat teollisuuden eri tarpeita. Erilaisissa voitelujärjestelmissä öljyn kunnonvalvonnan tarpeet poikkeaa toisistaan, kuten se, kuinka usein tutkimuksia kannattaa tehdä ja mitä niistä haetaan. Öljyjen kunnonvalvonta onkin yleensä öljyjen joukkoon päätyneiden epäpuhtauksien analysointia. (Kunnossapitoyhdistys 2013, 157.)

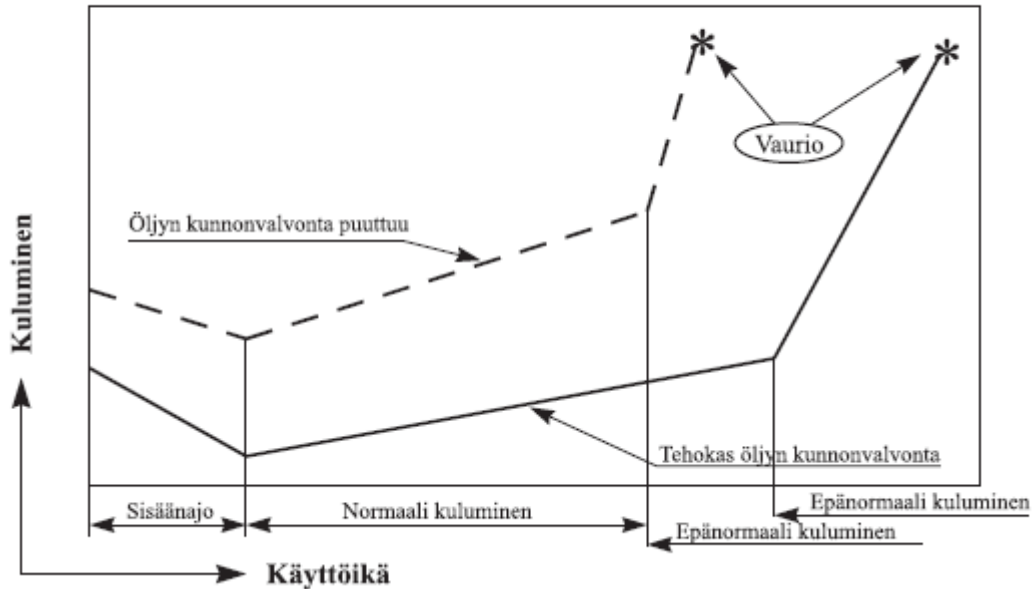
Öljyn kunnonvalvonta on sitä tärkeämpää, mitä kriittisemmästä kohteesta on kysymys. Tuotanto- ja laatutappiot sekä mahdolliset laiterikkojen kustannukset muodostuvat voiteluhuollon pettämisestä tai vajaatoiminnasta. Näihin verrattuna öljyn kunnonvalvonnan kustannukset ovat marginaalisia. Voitelujärjestelmien öljyjen kunnon seuraaminen antaa yleensä hyvää tietoa järjestelmän kunnosta. Huonokuntoinen öljy aiheuttaa nopeasti mm. ennen aikaista kulumista sekä toimintahäiriöitä tehonsiirtoyksiköissä. Tarvittaessa ennakoiviin huoltotoimenpiteisiin voidaan ryhtyä saman tien tai tulevien huoltoseisokkien aikana. (Kunnossapitoyhdistys 2013, 159, 162.)

Kiertovoiteluöljyn käyttökunto, koneen tai laitteen kunto ja öljyn epäpuhtaudet muodostavat itseään ruokkivan ketjureaktion:

- Epäpuhtaudet lisäävät koneen tai laitteen kulumista
- Epäpuhtaudet huonontavat öljyn kuntoa
- Öljyn kunnon huonontuminen heikentää voitelua
- Koneen tai laitteen kulumisen lisääntyminen
- Lisääntynyt kulumisen ja öljyn huonontuminen lisää epäpuhtauksia.

(Kunnossapitoyhdistys 2013, 164.)

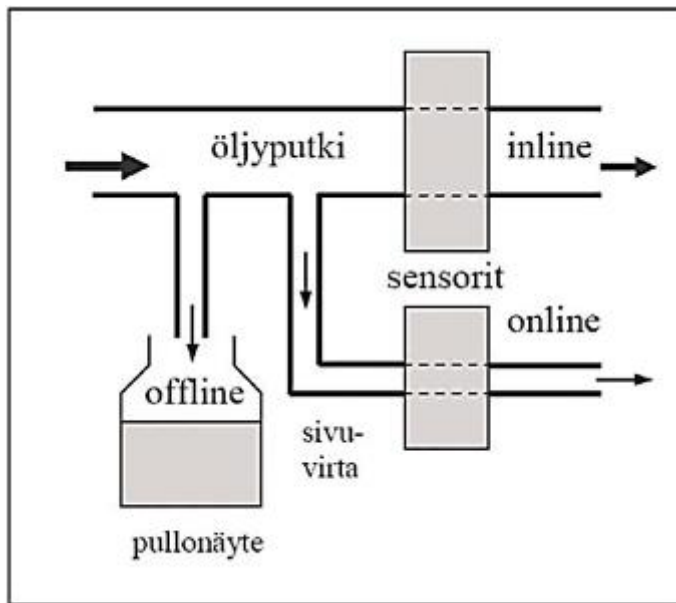
Periaatteellinen öljyn kunnonvalvonnan vaikutus koneen tai laitteen kulumises-
sa on esitetty kuvassa 3. (Kunnossapitoyhdistys 2013, 159.)



Kuva 3 Öljyn kunnonvalvonnan mahdollisuudet laitteen kulumisen vähentämi-
sessä ja käyttöiän pidentämisessä (Kunnossapitoyhdistys 2013, 159)

2.2 Öljyanalyysi

Öljyn kunnonvalvonta voidaan jakaa kolmeen luokkaan sen mukaan, suorite-
taanko analyysia automaattisesti koneen käynnin aikana vai laboratoriossa jär-
jestelmästä otetulle näytteelle. Kuvassa 4 esitellään kolme erilaista tapaa öljy-
näytteen ottamiseen. Käynninaikainen analysointi jaetaan pääjärjestelmän öljy-
virtauksen inline analysointiin sekä sivuvirtauksesta tehtävään online ana-
lysointiin. Kun analysointi tehdään fyysisesti erillään, esimerkiksi laboratoriossa,
on kyse offline valvonnasta. (Pelimanni 2006, 14.)



Kuva 4 Kolme erilaista tapaa öljynäytteen ottamiseen (Kananen 2012, 69)

Inline-menetelmässä kiinteästi järjestelmään asennetulla analysaattorilla analysoidaan öljyä koneen käydessä. Menetelmä on automatisoitu eivätkä ulkoiset tekijät vaikuta tuloksiin. Tulokset öljyn laadusta saadaan reaaliaikaisesti. (Pelimanni 2006, 15.)

Online-menetelmässä pieni osa öljystä johdetaan sivuputken kautta valvontajärjestelmälle. Tässäkin tapauksessa tulokset saadaan reaaliaikaisesti, mutta ne eivät ole aivan yhtä luotettavia kuin inline menetelmässä, koska näytemäärät ovat pienempiä. (Pelimanni 2006, 15.)

Usein käyttökielellä puhutaan joko offline- tai online-analysistä riippuen siitä, tapahtuuko analyysi reaaliaikaisesti ja automaattisesti järjestelmän läheisyydessä vai lähetetäänkö pullonäyte laboratorioon tutkittavaksi. (Kananen 2012, 68.)

2.2.1 Öljystä analysoitavat ominaisuudet

Öljyanalysit voidaan ryhmitellä analyysityypeittäin, jotka on esitetty alla olevassa taulukossa 1.

Taulukko 1 Öljyanalyysien jaottelu (Lauhikari 2011, 11)

A: Perusominaisuuksien analyysit	B: Partikkelianalyysit	C: Kulumametallianalyysit
A.1 Yleisimmät perusanalyysit – ulkonäkö – viskositeetti – kiintoainepitoisuus	B.1 Puhtausluokat	C.1 Alkuainepitoisuudet – koneen osien alkuaineet
A.2 Lisäanalyysit – vesipitoisuus – viskositeetti-indeksi – lisäaineet – hapettuminen – vaahtoaminen	B.2 Määrä ja kokojakauma – partikkelien kokoluokitus	C.2 Ferrografia – magneettiset hiukkaset
	B.3 Partikkelien laatu ja muoto	

Öljyjen perusominaisuuksien analysointia käytetään kunnonvalvonnassa öljy-laadusta ja käyttökohteesta riippumatta. Näiden perusteella pystytään yleensä päättämään öljyn käyttökelpoisuus ja lisäanalyysien tarve. (Teollisuusvoitelu 2013, 164.)

Partikkelianalyysissä järjestelmästä otetusta öljynäytteestä voidaan määrittää standardin mukainen puhtausluokka. Määritys voidaan tehdä manuaalisesti mikroskooppilaskennan perusteella tai automaattisen partikkelianalysointilaitteen avulla. Hiukkasten muodon tutkiminen edellyttää, että epäpuhtaudet on suodatettu membraanikalvoille tarkempaa analyysia varten. (Teollisuusvoitelu 2013, 167.)

Kulumametallianalyysien avulla voidaan selvittää, mitkä järjestelmän osat ovat kuluneet. Tällöin on hyödyllistä tietää, mitä materiaaleja järjestelmässä ja laitteissa on käytetty. Kulumametallien kokonaismäärät voidaan selvittää laboratoriossa käyttäen spektrometrillä analyysia tai ferrografiaa. (Mustonen 2000, 17.)

Spektrometrisessä analyysissä selvitetään näytteen alkuainepitoisuudet. Näytteeksi tarvitaan teelusikallinen öljyä, jossa lämmön avulla kohotetaan alkuaineiden energiatilaa. Säteilymittaus perustuu kunkin alkuaineen lähettämään säteily-

lyyn. Tulokset ilmoitetaan yleisesti miljoonasosina eli ppm:inä (part per million). (Teollisuusvoitelu 2013, 170.)

Ferrografiassa öljynäyte ohennetaan liuottimella ja valutetaan voimakkaassa magneettikentässä olevan lasilevyn päälle. Tällöin rautapitoiset partikkelit jakaantuvat lasilevylle kokonsa ja magneettisuutensa mukaan. Suurimmat ja mielenkiintoisimmat partikkelit kerääntyvät liuoksen syöttökohdan lähetyville. Pienemmät ja vähemmän magneettiset partikkelit erottuvat näytteestä myöhemmin magneettikentän voimakkuuden kasvaessa näytelevyn loppupäätä päin mentäessä. Ei-magneettiset jakaantuvat satunnaisesti. Hiukkasten koosta, muodosta, pintarakenteesta ja väristä voidaan arvioida kulumismekanismi ja sen merkitys. (VTT 2005, 110.)

2.2.2 Konenäkö öljyanalyyseissä

Konenäköksi kutsutaan yleensä järjestelmää, missä teolliseen tarkoitukseen sovelletaan tietokonenäköä. Järjestelmään sisältyy kamera, tietokone ja siinä toimiva kuvankäsittelyohjelma, joka tulkitsee kuvan automaattisesti. Konenäköjärjestelmät ovat erityisen hyödyllisiä tehtäviin, joissa optisen tarkastuksen on oltava nopeaa, tarkkaa, jatkuvaa ja toistettavaa. (Mäenpää, Niskanen, Pylkkö, Ropponen & Silven 2008, 11.)

Konenäkösovelluksia on laajasti käytössä teollisuuden ja raaka-aineiden laadunvalvonnassa, prosessien ohjauksessa ja automaatiassa sekä hahmontunnistuksessa. Öljyanalytiikassa konenäköä on käytetty laboratorioissa tehtävissä offline-öljyanalyyseissä. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun TKI-yksikössä kehitetyssä online-öljyanalyyseissä eli jatkuvatoimisessa öljyanalyyseissä voidaan automaattinen partikkelilaskuri ja mikroskopia toteuttamaan samassa laitteessa (OLOA). Samalla kunnonvalvontaa saadaan reaaliaikaiseksi ja paremmin ennaltaehkäiseväksi. (Lauhikari 2011, 17.)

Kuvantamisella saavutetaan monia hyötyjä:

- Virtaako öljy -> Nopea reagointi voitelun keskeytymiseen.
- Öljyn värin muutokset -> Kertoo öljyn kunnon heikkenemisestä.
- Partikkeleiden lukumäärä -> Öljyn puhtaus heikkenee
- Partikkeleiden koko -> Isojen partikkeleiden määrän kasvu indikoi alkavaa vikaantumista
- Partikkeleiden muoto -> antaa vihjeitä mistä partikkeli on peräisin.
(Siimes ym. 2012, 15.)

2.3 Hydraulinesteet

Hydrauliikkanesteen tärkeimmät tehtävät ovat energian siirtäminen, voitelu, lämmön siirtäminen, kitkan ja kulumisen vähentäminen, epäpuhtauksien huuhteleminen sekä ruostumisen ja syöpymisen estäminen. Tärkein nesteeltä vaadittava ominaisuus on voitelukyky. Voitelukyvyyn tulee riittää kitkan vähentämiseen sekä ylläpitämään nestekalvo voideltavassa kohteessa kulumisen estämiseksi. Lisäksi nesteen pitää säilyttää voiteluominaisuutensa mahdollisimman stabiileina erilaisista olosuhteista (esim. lämpötila) huolimatta. (Fonselius, Rininen & Vilenius 1997, 109.)

Hydrauliikkanesteiden ominaisuuksille asetetaan eri sovelluskohteissa hyvin erilaisia, jopa vastakkaisia vaatimuksia. Tällaisia vaatimuksia ei luonnollisesti yksi neste tai nesteryhmäkään pysty täyttämään. Tämän vuoksi eri käyttöolosuhteille on kehitetty omat nesteensä, jotka vaihtelevat niin ominaisuuksiltaan kuin kemiallisilta rakenteiltakin. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 1999, 81.)

Hydrauliikkanesteet voidaan jakaa kemiallisen koostumuksen mukaan viiteen ryhmään:

- Mineraaliöljyt
- Kasvisöljyt

- Vesi
- Emulsiot
- Synteettiset nesteet. (Kauranne ym. 1999, 81.)

Valtaosa hydraulijärjestelmien häiriöistä johtuu sopimattoman tai epäpuhtaan nesteen käytöstä. Niinpä sovelluskohteesta riippuen nesteen ominaisuuksille asetetaan tiettyjä vaatimuksia esimerkiksi, paineenkeston, voitelukyvyyn sekä viskositeetin suhteen. Aina perusnesteen ominaisuudet eivät kuitenkaan ole riittäviä, joten niiden parantamiseksi käytetään erilaisia lisäaineita. (Kauranne ym. 1999, 83.)

Nesteiden lisäaineistus voi kuitenkin huonontaa jotain muuta ominaisuutta eivätkä kaikki haittavaikutukset tule esiin kuin vasta pidemmän käytön jälkeen. Voimakas lisäaineistus johtaa joka tapauksessa vanhenemisnopeuden kasvuun, jolloin nesteen vaihtoväliä joudutaan lyhentämään. Tästä syystä käytettävien perusnesteiden tulisi olla riittävän hyviä, jotta selviydyttäisiin pienellä lisäaineistuksella. (Kauranne ym. 1999, 83.)

2.4 Vaurioanalyysi

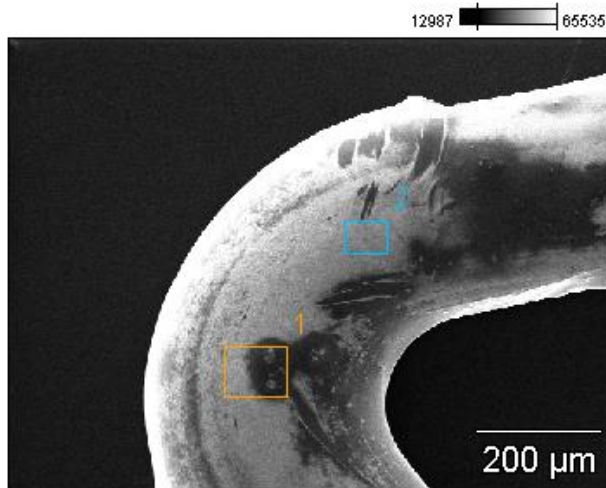
Hyvin organisoidusta kunnossapidosta huolimatta laiterikkoja tapahtuu. Vaurioiden syiden selvittäminen on tärkeää niiden ennaltaehkäisemiseksi. Vaurioanalyysit ovat monimutkaisia ja vaativia tehtäviä eivätkä tuotantolaitoksien omat resurssit yleensä riitä vaikeiden vaurioanalyysien selvittämiseen. Tällöin öljy-yhtiöiden, laitetoimittajien, tutkimuslaitosten tai vaurioanalytiikkaan perehtyneiden yritysten asiantuntemus auttaa ongelman juurisyyn selvityksessä. Öljyjen ja niistä löytyvien kulumahiukkasten analysointi on erityisen tärkeä osa vaurioanalyysiä. (Kunnossapito yhdistys 2013, 161.)

FESEM:llä saadaan hyviä kuvia öljyvirrasta erotelluista partikkeleiden koosta ja muodosta, jolloin päättelyä vikaantumassa olevasta kohdasta ja vaurioanalyysistä voidaan vahventaa. Kappaleiden tunnistamiseksi pitää lisäksi tietää missä

vaiheessa prosessia öljy kulkee, jotta partikkeleiden irtoamispaikka voidaan päätellä. (Keltamäki 2013, 4.)

Kuvassa 5 on esitetty FESEM:llä partikkelista otettua kuvaa.

B3K(11)



Kuva 5 FESEM:llä kuvattu partikkeli (Keltamäki 2013, 10)

Erialaisten kulumismekanismien tuottamia likapartikkeleita sekä niiden muotoja ja kokoja on esitetty kuvassa 6.

1 Hiontakulumishiukkaset	2 Leikkauskulumishiukkaset
 <p>hiutalemainen sileä pinta 0,5 - 5 μm</p>	 <p>spiraalimaisia mukana hiekkaa ym. 25 - 100 μm</p>
3 Pallomaiset kulumishiukkaset	4 Levymäiset kulumishiukkaset
 <p>pallomaisia laakerin väsyminen 1 - 5 μm</p>	 <p>karkea pinta ja reuna hammaspyörien väsyminen yli 20 μm</p>
5 Voimakkaan kulumisen hiukk.	6 Muut hiukkaset
 <p>terävät kulmat uurteisia yli 20 μm</p>	 <p>hiekkä polymeerit ruoste</p>

Kuva 6 erilaisten kulumismekanismien tuottamia hiukkasia (Kunnossapitoyhdistys 2013, 170)

2.4.1 FESEM mikroskopia

FESEM eli suomeksi kenttäemissiopyyhkäisyelektronimikroskooppi. FESEM on tutkimuslaite kiinteiden ja nestepitoisten aineiden analysointiin. Sekundääristä säteilyä mittaamalla voidaan laitteella tarkastella näytteiden pintojen muotoja ja rakenteita. (Kauppi 2011, 8.)

Elektronimikroskooppi on mikroskooppi, jossa käytetään elektronisuihkua näkyvän valon sijaan. Kun mennään riittävän isoihin suurennoksiin, valon aallonpituus ei enää riitä ja valon sijaan käytetään elektroneja. Elektronimikroskoopilla päästään jopa yli 200 000 kertaisiin suurennoksiin, joissa on vielä hyvä erottelukyky. (Kauppi 2011, 8.)

2.4.2 EDS analysointi

EDS:n suomenkielisiä termejä ovat röntgenanalysaattori tai alkuaineanalysaattori. EDS:llä voidaan nopeasti analysoida halutun pinnan alkuaineet. EDS on spektrometri, joka käyttää hyödykseen SEM-kuvauksessa irtoavaa röntgensäteilyä. EDS-laitteiston kolme yksikköä ovat: detektori, analysaattori ja ohjelmisto. Detektorissa röntgensäteilyn fotonin energia muunnetaan jännitepulssiksi. Analysaattori tulkitsee jännitepulssit ja laskee sekä käsittelee signaaleja digitaalisten signaalinkäsittelyprosessoreiden avulla. Ohjelmiston avulla signaaleista voidaan muodostaa erilaisia visuaalisia käyriä, kuvia ja karttoja sekä käsitellä niitä. (Kauppi 2011, 13.)

2.4.3 Alkuaineanalyysi

EDS:llä voidaan tehdä pinnan määrällinen (kvantitatiivinen) ja laadullinen (kvalitatiivinen) alkuaineanalyysi. Määrällinen alkuaineanalyysi on aina vain suuntaa antava EDS-mentelmä, varsinkin silloin, kun alkuainetta on vain pieninä pitoi-

suuksina. Alkuaineanalyysin tulos on vahvasti riippuvainen siitä, mistä kohdasta rakeita pinta on satuttu kiillottamaan. (Kauppi 2011, 13.)

Alla olevassa taulukossa 2 on esitetty EDS alkuaineanalyysin tulokset eräästä kappaleesta. Taulukon rivit esittävät tuloksia eri skannauksista.

Taulukko 2 EDS alkuaineanalyysi painoprosentteina (Keltamäki 2013, 10)

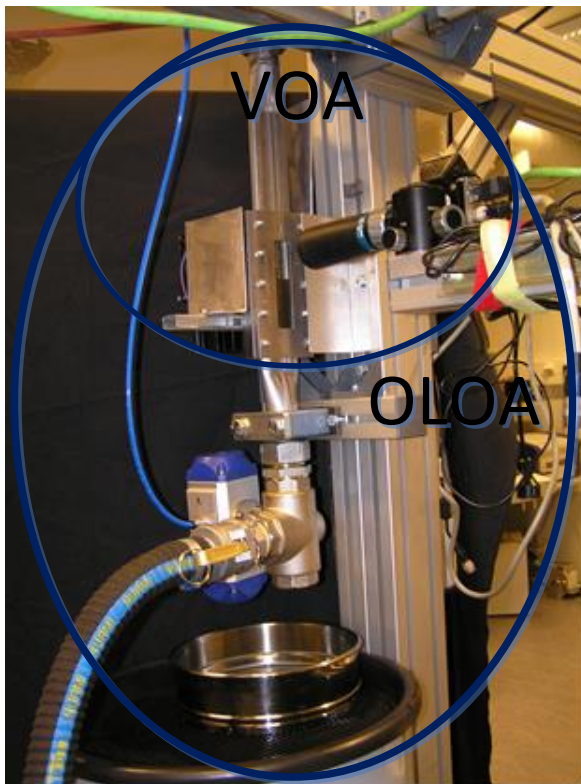
	<i>O-K</i>	<i>S-K</i>	<i>Fe-K</i>	<i>Sn-L</i>
<i>B3K(11)_pt1</i>	4.08	1.12	6.30	88.51
<i>B3K(11)_pt2</i>	0.92			99.08

3 OLOA-LAITTEISTON KUVAUS

Laboratorio-olosuhteisiin rakennettu öljyn kierrätysjärjestelmä, johon on liitetty partikkelierotin ja konenäkösensori. Konenäkösensorista käytetään lyhennettä ”VOA” (Vision Oil Analysis) ja partikkelierottimen ja konenäkösensorin muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan nimeltä ”OLOA”. (Leinonen, Maronen & Sipola 2013, 6.)

Kuvassa 7 on esiteltynä laitteistokokonaisuus, joka koostuu pääpiirteittäin kolmesta osasta:

- Kuvantamiseen käytettävästä VOA-laitteistosta
- Mittaustulosten käsittely ja laitteiston ohjaamiseen käytettävästä ohjelmasta
- Partikkelien poistamiseen käytettävästä partikkelierottimesta. (Siimes ym. 2012, 21.)



Kuva 7 VOA ja OLOA laitteistot (Leinonen ym. 2013, 10)

Järjestelmän VOA-yksikkö tarkkailee kiertävää öljyä jatkuvatoimisesti. Kun riittävän suuri partikkeli on havaittu, paineilmalaitte kääntää palloa 90 astetta, jolloin öljyn kierto ohjataan toisiopiiriin ja öljy pääsee putoamaan vapaasti sihtiin. Sihdistä partikkelit voidaan ottaa talteen jatkotutkimuksia varten. (Leinonen ym. 2013, 9.)

3.1 VOA

VOA sisältää OLOA-laitteistokokonaisuuden konenäön sekä käyttöliittymän. VOA:n keskeisiä komponentteja ovat kamera sekä kuvantamisikkuna, jonka läpi öljyä johdetaan. VOA laitteistossa kuvantamiseen käytetään optista mittaustekniikkaa, mutta myös muut havaintomenetelmät voivat tulla kyseeseen. Lisäksi käyttöliittymää käytetään mittaustulosten visualisoimiseksi. (Siimes ym. 2012, 21.)

VOA:lla on 2 toimintatilaa. Toimintatilojen vaihto tehdään manuaalisesti sähkökaapissa olevasta kytkimestä:

- Käyttötilassa kuvataan jatkuva-aikaisesti virtaavaa öljyä, tunnistetaan sekä lasketaan öljyssä virtaavat partikkelit. Mikäli riittävän suuri partikkeli löytyy, ohjataan se venttiilien avulla suodattimeen.
- Huoltotilassa estetään öljyn virtaaminen partikkeleita keräävälle suodattimelle, jotta suodattimesta voidaan ottaa talteen löytyneet partikkelit. Huoltotilassa järjestelmä tarkkailee edelleen öljyssä virtaavia partikkeleita, mutta niitä ei ohjata suodattimelle. (Sipola 2012, 12.)

3.2 Toimintakuvaus

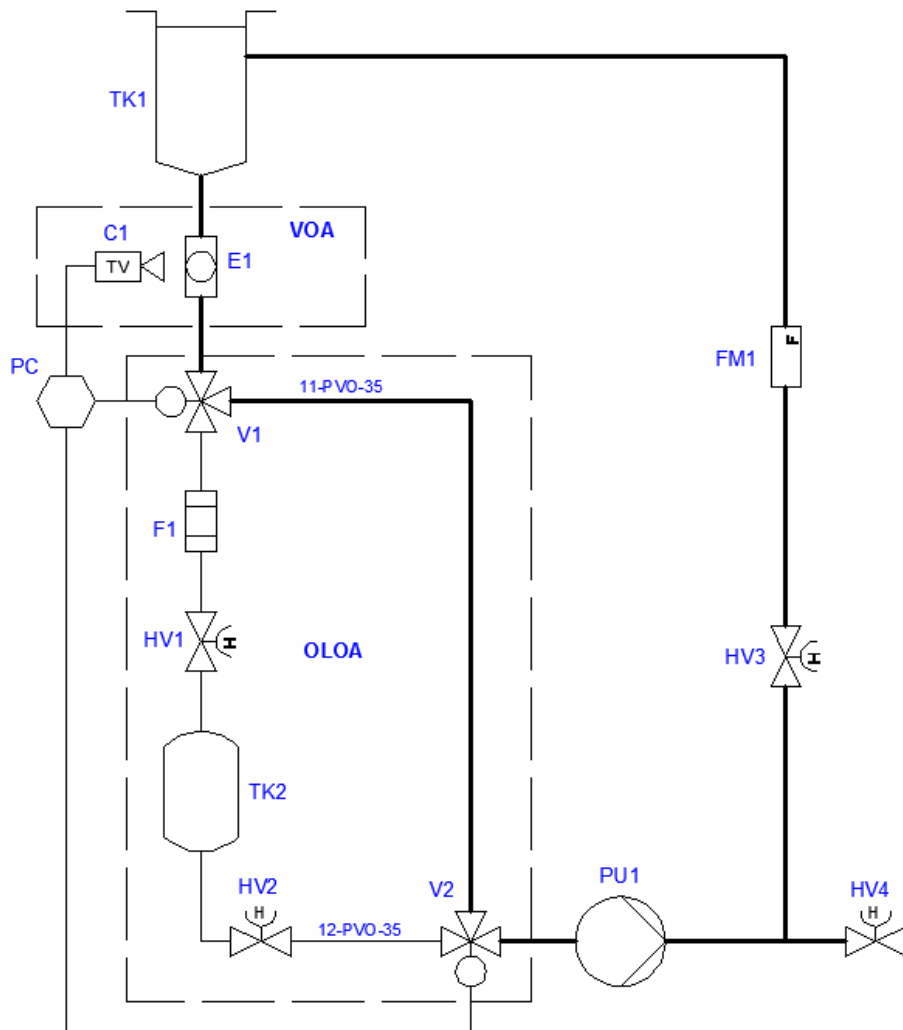
Seuraavaksi kerrotaan laboratorioon rakennetun demojärjestelmän toimintakuvaus, eli miten partikkeli erotetaan öljyvirrasta ja miten se otetaan talteen suodattimesta analyysia varten.

Partikkelin erotus (katso kuva 8):

1. Pumppu PU1 käynnistetään, jolloin öljy alkaa kiertää pääputkilinjassa 11-PVO-35 pumpun PU1 osoittamaan suuntaan
2. Yli 300 µm kokoinen partikkeli pudotetaan säiliöön TK1
3. VOA-laitteiston kamera havaitsee partikkelin kuvantamisikkunassa E1 ja antaa tilatiedon (1) kolmitieventtiileille V1 ja V2 ajanjaksoksi T, jonka jälkeen tilatieto palautuu (0)
4. Kolmitieventtiili V1 sulkee pääputkilinjan 11-PVO-35 ajanjaksoksi T ja ohjaa öljyvirran sekä partikkelin sivuputkilinjaan 12-PVO-35
5. Partikkeli kulkeutuu sivuputkilinjassa 12-PVO-35 öljyvirran mukana suodattimelle F1
6. Partikkeli jää suodattimeen F1 ja öljyvirta jatkaa matkaansa säiliön TK2 kautta takaisin pääputkilinjaan 11-PVO-35
7. Kolmitieventtiilit V1 ja V2 avaavat pääputkilinjan 11-PVO-35 ja sulkee sivuputkilinjan 12-PVO-35
8. Öljy kiertää normaalisti pääputkilinjassa 11-PVO-35. (Leinonen ym. 2013, 13)

Partikkelin poisto (katso kuva 8):

1. Huoltomoodi kytketään päälle sähkökaapin kytkimestä, jolloin kolmitieventtiilit V1 ja V2 lukittuvat asentoon (tilatieto 0), jossa öljy ei pääse virtaamaan sivuputkilinjaan 12-PVO-35
2. Suodatin F1 otetaan pois ja partikkeli poistetaan suodattimesta
3. Suodatin F1 asetetaan takaisin
4. Huoltomoodi kytketään pois päältä sähkökaapin kytkimestä, jolloin kolmitieventtiilit V1 ja V2 toimivat normaalisti VOA-laitteiston ohjauksen mukaan. (Leinonen ym. 2013, 13.)



Kuva 8. PI-kaavio öljynkierto demolaitteistosta (Leinonen ym. 2013, 13)

3.3 Nykyisen demolaitteiston mitoitus

Demolaitteiston rakenteeseen ja mitoitukseen ovat vaikuttaneet seuraavat tekijät:

- kuvankäsittelyaika 0,12s (testien perusteella)
- kolmitieventtiin tilanvaihtoaika n. 3 s
- öljypiirin sisähalkaisija 31mm => $A=755 \text{ mm}^2 = 7,55 \text{ cm}^2$
- Virtausnopeus n. 1 l/min = 1 dm³/min = 16,7 cm³/s
- Virtausnopeus pyöreässä putkessa => n. 2,2 cm/s

Näiden arvojen pohjalta tiedettiin, että aikaa kuluu 3,12s ennen kuin venttiili V1 sulkeutuu. Tänä aikana partikkeli pääsee virtaamaan öljyypirissä n. 7cm kuvantamisikkunan alapuolelle. Näin ollen kuvantamisikkunan E1 ja kolmitieventtiili V1 välinen etäisyys on oltava vähintään 7cm, jotta partikkeli ehditään ohjaamaan sivukiertoon ja edelleen siivilälle. Nykyiseen demojärjestelmään voi päästää ilmaa, joka häiritsee kuvankäsittelyä. Öljysäiliön TK1 tilavuutta voidaan joutua kasvattamaan, jotta ilma ehtii poistua järjestelmästä ennen VOA-laitteistoa. (Leinonen & Rauhala 2013, 9.)

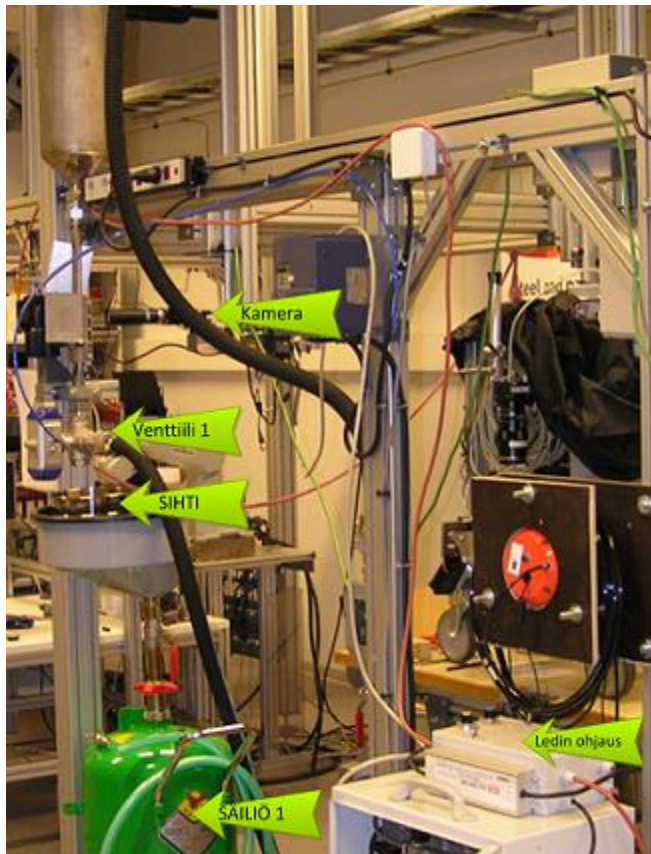
3.4 Komponenttiluettelo

Konenäkösensori (VOA):

- Kuvantamisikkuna, jossa kuvataan partikkelit öljyn seasta
- valaistus, BRIDGELUX BXRA-C4500-00000 4500lm, jota käytetään taustavalona
- kamera Basler piA2400-12gm
- optiikka Opto Engineering TC2324
- tietokone PC (Windows). (Leinonen & Rauhala 2012, 8.)

Partikkelierotin:

- 2kpl 3-tiepalloventtiili PN40 1 1/4"
- käsiventtiili HV1
- vaihdettavat sihdit kooltaan 75µm, 150µm ja 300µm
- öljysäiliö partikkeleiden talteenottoa varten
- sähkö- ja paineilmakytäkentaakaappi
- nokkavipuliittimet tms., joilla liitytään ulkoiseen järjestelmään. (Leinonen & Rauhala 2012, 8.)



Kuva 9 OLOA-laitteisto öljyn kierrättämiseksi ja partikkeleiden erottamiseksi (Leinonen ym. 2013, 8)

3.5 Kamera ja optiikka

Kamera on malliltaan Basler piA2400-12gm, jonka

- tarkkuus 2448x2050 pikseliä
- 12 kuvaa / s



Kuva 10 VOA-laitteiston kamera (Graftek Imaging inc. 2014)

VOA-laitteistossa käytetään telesentristä optiikkaa, jotta perspektiivi ei aiheuta kokoeroja partikkelien kuvaamisessa.

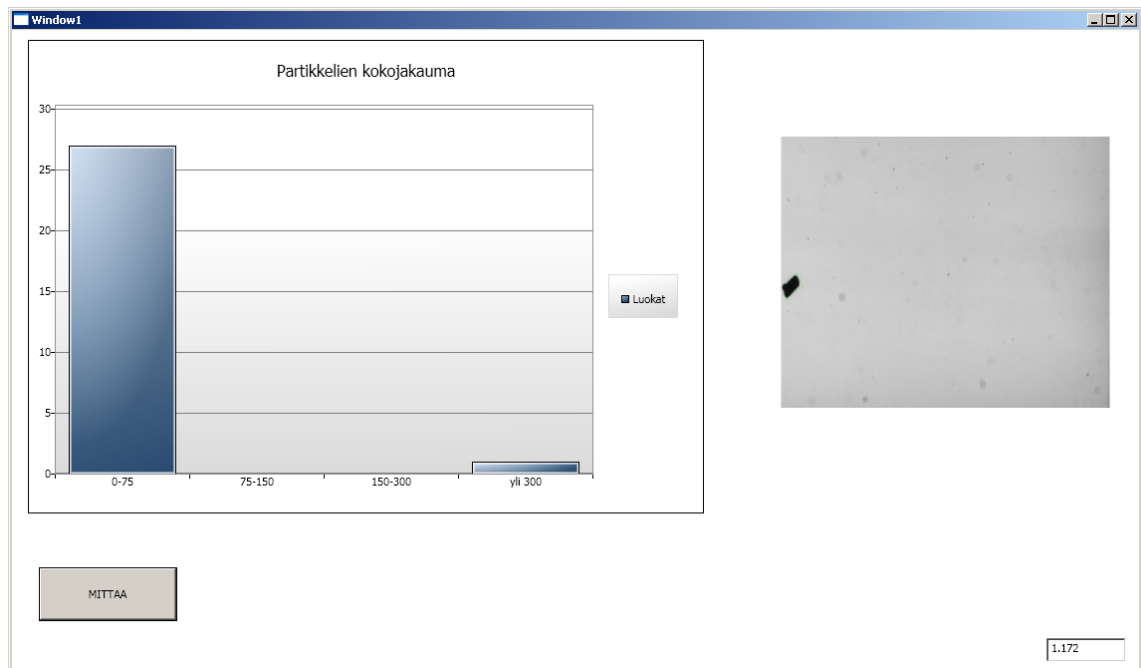


Kuva 11 VOA-laitteiston objektiivi Opto Engineering TC2324 (Opto Engineering 2014)

3.6 Ohjelmisto

Järjestelmän ohjaus ja mittaustulosten laskenta tapahtuu ohjelmallisesti tietokoneella. Tietokone toimii myös tiedon varastointi paikkana. Partikkelien muoto mitataan ja ne luokitellaan kolmen muotoparametrin (täyttöaste, kuvasuhde ja pyöreys) mukaan. Partikkelien muotomittausten tulokset tallennetaan tietokantaan myöhempää analysointia varten. (Sipola 2012, 2.)

Alla olevassa kuvassa 12 on esitetty laitteiston alustava käyttöliittymä. Käyttöliittymällä on testattu partikkeleiden kokoluokkien havainnointia sekä isoimman kokoluokan (yli 300 μm) olevien partikkeleiden tunnistuskuvan esitystä. (Leinonen ym. 2013, 14.)



Kuva 12 OLOA-järjestelmän käyttöliittymä (Leinonen ym. 2013, 15)

3.6.1 Partikkeleiden tunnistus

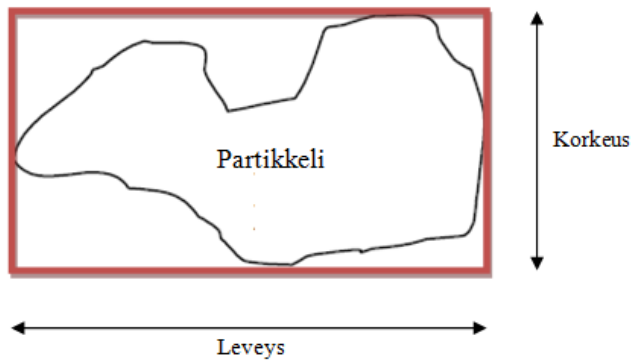
VOA-yksikön havaittaessa öljyn seassa partikkelin käynnistetään partikkelin tunnistuslaskenta. Partikkelin tunnistuslaskennassa jokaisesta havaitusta partikkelista lasketaan partikkelin koko sekä 3 parametria, jotka ovat:

- täyttöaste
 - pienin suorakaiteen muotoinen ala minkä sisälle partikkeli mahtuu. Kuva 11 havainnollistaa suorakaiteen muodostamisen.
- kuvasuhde
 - em. suorakaiteen leveys / korkeus.
- pyöreys. (Sipola 2009, 3.)

$$f = \frac{4 \pi A}{P^2} \quad (1)$$

missä

A_{on} partikkelin pinta-ala
 P_{on} partikkelin kehän pituus



Kuva 13 Partikkelin suorakaiteisuus

Partikkelin koko määritetään ISO 11171 standardin mukaan laskemalla partikkelin pinta-alaa vastaavan ympyrän halkaisija. Kun partikkelin pinta-ala on tiedossa, saadaan kaavasta johtamalla vastaavan ympyrän halkaisija:

$$A = \pi r^2 \quad (2)$$

missä

A on ympyrän pinta-ala
 r on ympyrän säde
 ja kun

$$d = 2r \quad (3)$$

missä

d on ympyrän halkaisija
 r on ympyrän säde

saadaan partikkelin pinta-alaa vastaavan ympyrän halkaisijaksi

$$d = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (4)$$

missä

d on partikkelin pinta-alaa vastaavan ympyrän halkaisija
 A on partikkelin pinta-ala. (Pelimanni 2006, 11.)

Laskennan tulokset tallennetaan tietokantaan / tekstitiedostoon myöhempää käyttöä varten. Alla oleva taulukko 3 kuvaa miltä partikkeleista tallennettu tekstitiedosto voisi näyttää Excel-ohjelmistossa avattuna. (Sipola 2009, 3.)

Taulukko 3 Esimerkki partikkelikohtaisten tietojen tallentamisesta (Sipola 2009, 2)

Flow	ImageID	Class 1 (0 > size < 75 um)						Class 2 (75 > size < 150 um)						Class 3 (150 > size < 300 um)						Class 4 (size > 300 um)									
		Size	Fit Factor	Aspect ratio		Roundness		Size	Fit Factor	Aspect ratio		Roundness		Size	Fit Factor	Aspect ratio		Roundness		Size	Fit Factor	Aspect ratio		Roundness					
		A1	A2	B1	B2	C1	C2	A1	A2	B1	B2	C1	C2	A1	A2	B1	B2	C1	C2	A1	A2	B1	B2	C1	C2				
1	188	23635	317	23318	9581	14064	4082	18953	2511	40	2471	868	1643	612	1899	146	0	146	50	96	44	102	4	0	4	1	3	4	0
1	375	24195	220	23975	9889	14206	5036	19199	2066	25	2041	598	1468	585	1481	95	4	91	33	62	52	43	5	2	3	3	2	5	0
1	569	7795	83	7672	3173	4582	1736	6019	441	5	436	118	323	150	291	42	0	42	20	22	24	18	2	0	2	0	2	2	0
1	758	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	938	13526	134	13992	5549	7977	2908	10618	1305	14	1291	462	843	322	983	79	1	78	7	72	48	31	4	0	4	0	4	4	0
1	1133	9665	87	9578	3953	5712	2141	7524	851	5	846	300	551	234	617	82	2	80	34	48	30	52	1	0	1	0	1	1	0
1	1319	4964	58	4906	2098	2886	1179	3785	422	1	421	103	319	121	302	45	0	45	9	36	13	32	3	0	3	0	3	3	0
1	1509	8190	453	7737	5154	3036	3964	6336	391	37	354	109	282	219	372	11	3	8	0	11	11	0	5	0	5	2	3	5	0

Mielenkiintoiseksi määritellyistä partikkeleista otettu kuva tallennetaan erikseen tietokoneelle omana kuvatiedostona (Sipola 2014).

3.7 Demo -järjestelmän ylläpidettävyys

Partikkelien mittaaminen on yksi OLOA-laitteiston keskeisimmistä ominaisuuksista. Kameran avulla suoritettaviin mittauksiin liittyy kameran kalibrointi, etenkin kun halutaan tarkkoja tuloksia. Kameran kalibroinnin avulla muodostetaan kameran pikseleiden vastaavuus millimetreinä. Kuvautumisvirheiden mallintamisen avulla kuvasta poistetaan vääristymiä, jolloin kuvista saadaan tarkempia. Kameran tuottavat kuvatiedon pikseleiden lukumäärässä ja kameran omassa kuvakoordinaatistossa. Kalibroinnin avulla nämä tiedot muunnetaan millimetreiksi, jolloin kappaleiden mittaukset voidaan suorittaa luotettavammin. (Sipola & Kauppi 2010, 7.)

Kameran kalibrointi tehdään uudelleen, mikäli mittaolosuhteissa tapahtuu muutoksia, esimerkiksi optiikan säädöt muuttuu tai kamera liikkuu suhteessa kuvausikkunaan. (Sipola 2014.)

Likainen öljy voi sotkea kuvantamisikkunan, jolloin partikkeleiden kuvaaminen ei enää onnistu. Tällöin kuvantamisikkuna puhdistetaan manuaalisesti. Puhdistuksessa kuvantamisikkunaa käytetään irti, jotta se voidaan puhdistaa sisäpuolelta, tällöin öljyn kierto pitää olla katkaistu. (Sipola 2014.)

4 CASE TUULIVOIMALAN TARPEISIIN

Opinnäytetyön yhtenä ajatuksena oli pohtia, voitaisiinko OLOA-laitteistoa soveltaa tuulivoimaloiden tarpeisiin, ja mitä muutoksia nykyiseen demo-laitteistoon pitäisi tehdä toimintaympäristö huomioiden. Päästyäni tutustumaan Hyundai HQ2000 tuulimyllyyn seuraavat päätelmät perustuvat omiin havaintoihin ja näkemyksiin.

Tuulivoimaloissa käytetään öljyä mm. vaihdelaatikon voitelemiseen, roottoriin jarrutukseen, siiven lapakulmien säätöön sekä tuulimyllyn kääntämiseen. Näin ollen öljyjen kunto on keskeisessä osassa laitteen toimintakyvyn kannalta. (Ramlin 2014, Hudd 2014.)

Tuulimyllyissä käytettävän hydraulikkaöljyn laatu ja määrä vaihtelee valmistajasta riippuen. Merventon 3.6-118 tuulimyllyn hydraulikkajärjestelmän tilavuus on 650 litraa. Vastaavasti Hyundain HQ2000 myllyssä voiteluöljyä on 800 litraa. Voidaan olettaa muidenkin valmistajien tuulimyllyissä käytettävän öljyä suunnilleen saman verran.

Vierailun aikana Ramlin kertoi Sumituuli Oy:n ottavan kaksi kertaa vuodessa pullonäytteen voiteluöljystä. Ennalta päätettyä öljynvaihtoväliä ei ole, vaan se päätetään analyysin pohjalta. Ramlin arvioi nykyisten öljyjen kestävän käyttöä n. 4-5 vuotta.

4.1 Yleiset toimintaedellytykset tuulivoimaloissa

Toimintaympäristönä tuulimylly on haasteellinen. Lämpötila voi vaihdella vuodenvaihteiden mukana suuresti. Kesällä lämpötila nousee korkeaksi, kun koneiden ja laitteiden lisäksi aurinko lämmittää konehuonetta. Vastaavasti talvella kylminä ja tuulettomina päivinä lämpötila voi laskea reilusti pakkasen puolelle.

Ylhäällä konehuoneessa tilat ovat rajalliset, joskaan ei niin ahtaat kuin voisi ajatella. Tilaa on sen verran, mitä tarvitaan huoltotöiden suorittamiseen muutaman henkilön toimesta. Konehuoneen keskellä sijaitsee generaattori, vaihteisto, jarrut ja muut laitteet. Liikkumisen mahdollistavat kulkusillat kiertävät laidoilla.

Vierailun aikana Ramlin kertoi tuulimyllyn huojuvan ja tärisevän tuotannon aikana. Tästä syystä konehuoneeseen ei ole mahdollista nousta hissillä tuotannon ollessa käynnissä. Voi olla, että tärinä on myös syy, miksi tuulimyllyn konehuoneessa ei ole ylimääräistä tilaa irtotavaroiden säilytykselle. Lämpötilan vaihtelut, ahtaat tilat sekä tärinä tuovat omat haasteensa laitteiston suunnitteluun.

4.2 Laitteiston toimintaedellytykset

Lämpötilan vaihteluiden vuoksi tietokonetta ei voi viedä konehuoneeseen. Paras paikka tietokoneelle lienee tuulimyllyn läheisyydessä sijaitseva ”komentokeskus”, jossa sijaitsee muitakin tuulimyllyn operointiin tarvittavia sähkölaitteita. Etäyhteys tietokoneelta öljyanalysilaitteistolle voidaan muodostaa kaapelin avulla. Kaapelin pituus voi olla n. 150m, minkä vuoksi joudutaan käyttämään signaalin vahvistimia.

Konehuoneen erityisolosuhteiden vuoksi laitteiston kotelointiin pitää kiinnittää erityistä huomiota. Koko yksikkö pitää olla suojattuna, jotta kosteus, pöly, ulkopuolinen valo tai muu irtonainen lika ei pääse sotkemaan kuvantoikkunaa ja siten sotkemaan analyysia. Myös partikkeleiden talteenoton pitää tapahtua suljetussa tilassa, jotta näytteen sekaan ei joudu tavaraa öljynkierron ulkopuolelta. Kotelon on tarjottava suojaa, jotta kosteus tai kylmyys ei pääse vahingoittamaan kameraa ja optiikkaa.

Tuulimyllyn tärinä luo oman haasteensa laitteiston toiminnalle ja etenkin kuvantamiselle. Kamera, optiikka ja kuvantamisikkuna tulee rakentaa niin etteivät ne pääse heilahtamaan. Tuulimyllyn tärinää konehuoneessa voidaan vain arvailla, joten on hankala arvioida minkälaista tärinänvaimennusta laitteistoon tai sen

koteloon pitäisi rakentaa. Todellinen varmuus saadaan vasta käytännön testeissä.

4.3 Ohjelmisto

Ohjelmiston tehtävä on tarjota käyttöliittymä laitteiston hallintaan ja ohjata kuvantamis- sekä partikkelinerotusprosessia. Jo ohjelmiston toteuttamisvaiheessa on huomioitava sen hallittavuus ja ylläpito. Ohjelman ylläpidettävyyteen vaikuttaa suuresti miten ohjelmalle määritetyt parametrit, kuten partikkelien kokoluokat, mielenkiintoisen partikkelin mitat, kuvantamisen jaksotus jne. on toteutettu. Kaikki edellä mainitut ja niiden kaltaiset määritykset pitää tehdä erillisessä ”parametrit” -tiedostossa. Tällä varmistetaan, että kaikki parametrit löytyy yhdestä paikasta ja niiden muuttaminen ei vaadi koko ohjelman uudelleen kääntämistä ja asennusta.

Laitteiston vikatilanteessa ohjelmiston on tarjottava apua vian juurisyyn selvittämiseen, eli sen on kirjoitettava lokia tapahtuneesta. Lokiin kirjoitetaan aina kun ohjelmassa tehdään jotain, esimerkiksi kuvataan partikkeli, vaihdetaan laitteistoon tilaa tai muuta vastaavaa. Parametri tiedostossa voidaan tarkemmin määritellä, minkä tason lokia halutaan ohjelman kirjoittavan.

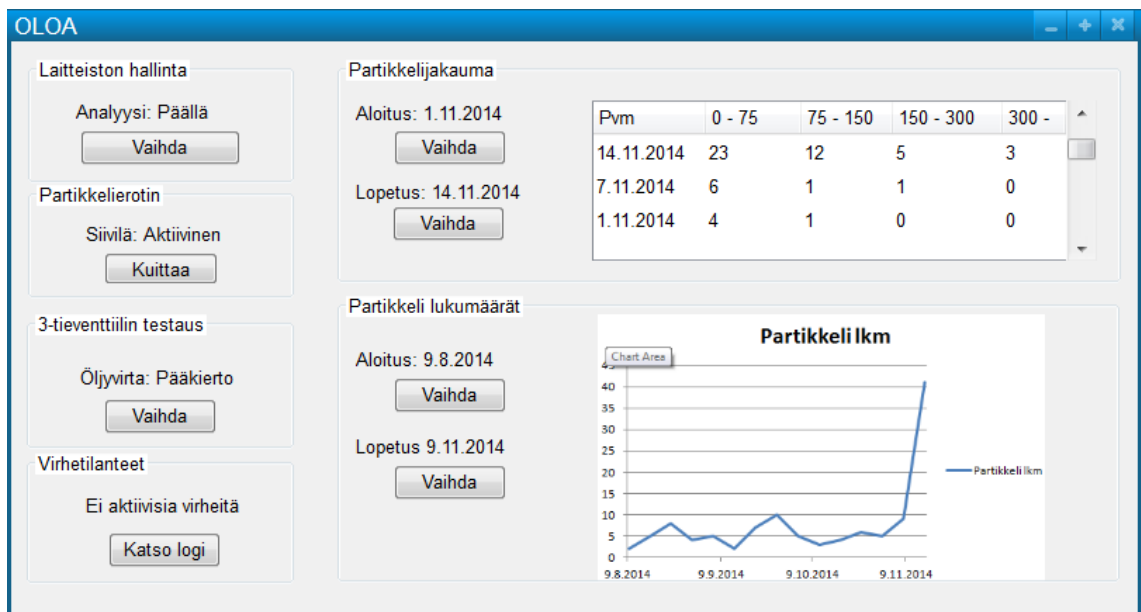
4.3.1 Laitteiston hallinta

Laitteiston valvonta tapahtuu alhaalla komentokeskuksessa, jossa sijaitsee tietokone sekä käyttöliittymä. Käyttöliittymän avulla voidaan suorittaa tehtäviä, joita ovat mm:

- kuvatut partikkelit kokoluokittain jaoteltuna.
- mahdollisuus tutkia tietynä ajanjaksona kuvattuja partikkeleita.
- mielenkiintoisiksi määriteltyjen partikkeleiden kuvien selaaminen.
- öjynvirtauksen tarkistaminen (livekuva kameralta).

- partikkelierottimen toiminnan testaus.
- järjestelmä huoltotilaan päälle / pois.

Kuvassa 14 on esitetty käyttöliittymän havainnekuva, miltä käyttöliittymä voisi näyttää. Havainnekuva voisi jatkossa kehittää lisäämällä siihen välilehden ”Live”, mistä voisi nähdä live-kuvaa kameralta öljyvirtauksen tarkastamista varten sekä live-dataa laitteiston muilta analysaattoreilta.



Kuva 14 Käyttöliittymän havainnekuva

Konehuoneessa sijaitsevassa laitteistossa ei tarvita omaa näyttöpäätettä, vaan laitteiston ohjaaminen tapahtuu manuaalisesti. Konehuoneessa järjestelmälle on voitava tehdä seuraavat toimenpiteet:

- partikkelierottimen lukitseminen pääkierrolle.
- kuvantamisikkunan puhdistus tarpeen vaatiessa.
- partikkelin talteenotto.

4.3.2 Etäyhteys kotoa tai toimistolta

Keskustelussa Ramlinin kanssa kävi ilmi, että heidän yrityksessään tuulimyllyn luona käydään kerran viikossa, jolloin tehdään laitteiden silmämääräinen tarkastus. Isompien yritysten kohdalla voidaan olettaa, että paikan päällä käydään tätä harvemmin. Näin ollen öljyanalyysilaitteiston tilaa pitäisi voida valvoa myös etäältä, esimerkiksi toimistolta tai kotoa.

Etähallintayhteys komentokeskuksessa olevaan tietokoneeseen muodostetaan erillisen ohjelmiston avulla. Tällä tavoin käyttäjällä on käytössään samat toiminnot kuin komentokeskuksen tietokoneella, eikä erillistä käyttöliittymää tai www-sivua tarvitse rakentaa. Etähallintayhteyden voi ottaa esim. puhelimella, joten öljyanalyysilaitteiston tilan voi halutessaan tarkistaa milloin vain. Edellä mainitun kaltaisia sovelluksia on saatavilla useampia. Näistä tunnetuimpia lienee VNC (Virtual Network Computing) sekä Team Viewer.

4.4 Mekaniikka

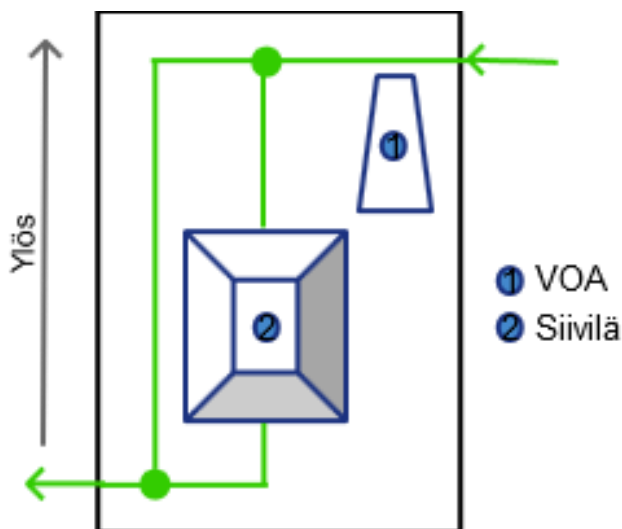
Seuraavaksi käsitellään tuulivoimalan toimintaympäristön vaatimia muutoksia laitteiston rakenteeseen. Laitteiston rakenteen vertailukohtana on laboratorioon rakennettu OLOA-laitteiston demo-järjestelmä. Vaadittavien muutosten aiheuttamista kustannuksista esitetään arvio. Lopuksi esitellään laitteiston viikottaisen kunnossapitokierroksen kohteet.

4.4.1 Vaadittavat muutokset

Esimerkkinä olevassa tuulimyllyssä käytetään vaihdelaatikon kiertovoitelussa 1 tuuman hydraulikkaletkuja. Näin ollen OLOA-laitteistossa käytettävien 3-tiepalloventtiilien sekä letkujen ja liittimien pitää olla samankokoisia.

Laboratoriossa olevassa demo-laitteistossa käytetään pneumaattista toimilaitetta 3-tiepalloventtiilin ohjaukseen. Tuulimyllyn ahtaat tilat ja toimintaympäristö huomioiden sähköisesti ohjattu toimilaitte lienee helpompi toteuttaa.

Demolaitteistossa öljy pääsee vapaasti tippumaan siivilälle, josta se edelleen valuu öljysäiliöön. Tuotantoympäristössä siivilä olisi suojattava siten, ettei siihen pääse epäpuhtauksia öljynkierron ulkopuolelta. Näin vältetään virheellisiltä öljyanalyseiltä. Kuvassa 15 on hahmoteltu laitteiston kokoonpanoa karkealla tasolla.



Kuva 15 Laitteiston hahmotelma

4.4.2 Laitteiston muutuskustannusten arvio

Alla olevassa taulukossa 3, on esitetty arvio OLOA-laitteiston muuntamisesta yhteensopivaksi yhden tuuman järjestelmään. Arviossa on oletettu 3-tiepalloventtiilien olevan sähköisesti ohjattuja. Taulukko ei pidä sisällään komponentteja, jotka pysyvät muuttumattomina riippumatta ulkoisen järjestelmän mitoituksesta. Tällaisia ovat esimerkiksi tietokone, VOA-laitteisto, öljysäiliö sekä siivilä.

Taulukko 4 Laitteiston muutuskustannusten arvio.

Komponentti	Hinta á	Kpl määrä	Hinta yht.
3-tiepalloventtiili sähköisellä ohjauksella ja lämmittimellä	900€	2	1800€
Hydrauliikkaletku	10€ / m	2	20€
Letkuliitin	11€	10	110€
Käsiventtiili	80€	2	160€
Tiedonsiirtokaapeli 150m	50€	1	50€
Yhteensä			2140€

Muutuskustannusten arviointi on vaikeaa, koska laitteisto on vielä demovaiheessa. Laitteiston ohjelmiston jatkokehitys sekä koteloinnin ja partikkelin talteenoton suunnittelu vievät vielä aikaa ennen kuin laitteistosta saadaan markkinakelpoinen tuote. Laskelmassa ei ole huomioitu näistä syntyviä kuluja.

4.4.3 Kunnossapito

Öljyanalysilaitteisto, kuten kaikki muutkin koneet ja laitteet, vaativat huoltoa pysyäkseen kunnossa. Laitteet itsessään ovat pitkäikäisiä ja stabiileissa olosuhteissa toimintavarmoja, mutta tuulivoimalan erityisolosuhteet luovat erityishaasteita niiden toiminnalle. Tuulivoimalan viikoittaisen huoltokierroksen yhteydessä tarkastetaan myös öljyanalysilaitteisto.

Öljyanalysilaitteiston kunnossapidon tarkastuskohteet:

- Partikkelin erotus
 - Siivilä on puhdas ja 3-tiepalloventtiili toimii oletetusti.
- Kvanttaminen
 - Kamera ja optiikka ovat silmämääräisesti tarkasteltuna kunnossa. LED –valaistus toimii ja kuvantoikkuna on puhdas
- Ilmanvaihto

- Kotelon ilmanvaihto toimii suunnitellusti eikä kosteutta ole muodostunut. Kotelon lämpötila pysyy vakiona myös kovimpien pakkasten aikana.
- Ohjelmisto
 - Laitteiston käyttöliittymä toimii odotetusti eikä logeista löydy merkintää virheistä.

4.5 Toimintakuvaus

Seuraavaksi esitellään toimintakuvaus eli miten partikkeli erotetaan öljyvirrasta ja miten se otetaan talteen suodattimesta analyysia varten.

1. Havaitaan siivilän tilan muuttuneen käyttöliittymässä merkiksi siitä, että partikkeli on ohjattu siivilälle.
2. Asetetaan järjestelmä huoltotilaan käyttöliittymän avulla.
3. Lukitaan 3-tieventtiili mekaanisesti pääkierrolle.
4. Otetaan partikkeli talteen siivilältä.
5. Vapautetaan 3-tieventtiin lukitus.
6. Muutetaan järjestelmän tila käyttötilaan jolloin partikkelierotin on taas toiminnassa.
7. Kuitataan partikkeli talteenotetuksi käyttöliittymästä.

4.5.1 Kuvantamisen jaksotus

OLOA-laitteiston aiemmissa testeissä on todettu laitteiston kykenevän kuvaamaan litran öljyä minuutissa. Näin ollen Hyundai HQ2000 tuulimyllyn öljy voitaisiin teoriassa käydä läpi reilussa 14 tunnissa. Käytännössä koko öljy ei tulisi kuvattua, koska osa öljystä kuvattaisiin kahteen kertaan mutta otanta olisi riittä-

vän kattava, jotta saataisiin käsitys öljyn puhtaudesta. Tämän kaltainen ajo suoritettaisiin viikoittain.

Kuukausittain ajetaan yksi pidempi ajo jolloin koko öljytilavuus tulisi todennäköisemmin kuvattua läpi. Viikkoajoa ja pidempää kuukausiajoa ei tarvitse ajaa samalla viikolla. Öljyn kuvaamiset pyritään tekemään huollon jälkeisenä päivänä. Taulukko 4 havainnollistaa eri ajojen jaksotusta.

Taulukko 5 Kuvantamisen jaksotus

	Viikko	Tammikuu				Helmikuu				9
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Viikkoajo 14h										
Kuukausiajo 28h										

4.6 Mahdolliset ongelmat

Kylmänä ja tuulettomana päivänä lämpötila tuulimyllyssä voi pudota reilusti pakkasen puolelle, mikä pitää ottaa huomioon etenkin kameran ja optiikan koteloinnissa sekä sähköisesti ohjatun toimilaitteen valinnassa. On tutkittava, riittääkö LED-valaisimen tuottama lämpö pitämään lämpötilan vakiona vai pitääkö koteloon lisätä erillinen lämmönlähde.

Tehdyissä testeissä kuvantamisikkuna meni likaiseksi, minkä jälkeen konenäkö ei enää toiminut. Tuotanto-olosuhteissa kuvantamisikkunan pitäisi olla sellainen, että se voidaan helposti puhdistaa sekä sisä- että ulkopuolelta. Kuvantaminen pitää saada suojattua tärinältä. On vaarana, että ohjelmisto tulkitsee partikkeleita löytyvän liian usein, mikä aiheuttaa ongelmia öljyn kiertoon.

4.7 Varautuminen vikatilanteisiin

Ulkoisen järjestelmän öljynkierto tulee olla varmistettu kaikissa tilanteissa, siksi OLOA-laitteistoon on rakennettava mekanismit, jotka turvaavat öljyn kierron myös vikatilanteissa.

OLOA-laitteiston mahdollisia vikoja voivat olla:

- Venttiilivika
 - Öljynkierto jumittuu sivukiertoon
- Tärinä kuvantamisessa
 - Öljyä ohjataan turhaan sivukiertoon
- Ohjelmistovika
 - 3-tiepalloventtiilin ohjaus ei onnistu suunnitellusti
- Sähkökatkoksen aiheuttama vika
 - 3-tiepalloventtiilin tilaa ei voida vaihtaa
 - Ohjelmisto ei palaudu automaattisesti sähkökatkosta
- Muu öljynkiertoon vaikuttava vika, esim. letkurikko
 - Sivukiertoon ohjattu öljy ei palaudu enää järjestelmään

4.8 Muut havaintomenetelmät

Öljyn kuvantamisella havaitaan partikkelit sekä öljyn värin muuttuminen. Näiden lisäksi öljyn kuntoon monet muutkin asiat, jotka eivät käy ilmi kuvantamisella. Viskositeetti on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista öljyn kuntoa selvitetessä. Nykyään viskositeetin mittaukseen on saatavilla analysaattoreita useilta eri valmistajilta. Kuvassa 16 on esitetty erään valmistajan tuote.



Kuva 16 Prosessiin kytkettävä viskositeettianalysaattori

Öljyn kuvantamiseen käytettävä laitteisto on joka tapauksessa suojattava ulkopuoliselta pölyltä ja lialta esimerkiksi kotelon avulla. Hyvällä suunnittelulla koteloon voitaisiin sijoittaa myös viskositeettia tai jotain muuta suuretta mittaava anturi, ilman että koteloa jouduttaisiin oleellisesti kasvattamaan. Analysaattorin tarvitsema sähkö ja tietoliikenneyhteys kotelossa ovat jo valmiina.

Eri ominaisuuksia mittaavia analysaattoreita on markkinoilla useita. Voitaisiko öljyanalayysilaitteisto suunnitella niin, että on asiakkaan päätettävissä mitä analyyseja hän haluaa? Liitynnät laitteistoon, rajapinnat ohjelmistoon sekä käyttöliittymä olisi jo valmiina eri analysaattoreita varten. Valmistajien mukaan analysaattorit ovat lähes huoltovapaita joten niistä ei aiheutuisi ylimääräistä työtä laitteen huollon kannalta.

5 POHDINTA

Kilpailun kiristytessä koneiden ja laitteiden kunto sekä niiden huolto on noussut arvoonsa. Ylimääräisiin tuotantokatkoihin ei ole varaa. Koneiden kuntoa pyritään valvomaan jatkuvasti, jotta mahdollisiin vikatilanteisiin osataan varautua ja mikä parasta, voitaisiin niiltä välttyä kokonaan. Öljyjen kunto on usein ratkaisevassa asemassa koneiden elinkaarta määritettäessä. Tutkimusten mukaan säännöllinen öljyhuolto auttaa pidentämään koneiden elinikää sekä vähentämään niiden vikaantumista. Nykyään öljyjen kunnonvalvonta on lisääntynyt ja yhä useampi yritys tekee öljyjen kunnonvalvontaa myös jatkuvatoimisesti. Kehitystä on edesauttanut erilaisten analysointilaitteiden kehittyminen ja halpeneminen.

Opinnäytetyöni pohjana oli Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun tekniikan TKI-yksikön Oil Analysis –projekti, jossa kehitettiin konenäköön perustuvaa öljyanalysilaitteistoa. Edellä mainitun projektin aikana projektiryhmässä syntyi idea partikkeleiden automaattisesta erottamisesta öljyvirrasta. Tämän idean pohjalta käynnistettiin OPAS-projektin 1. vaihe, jossa öljyanalysilaitteistoon integroitiin partikkelierotin. Näiden hankkeiden aikana oli syntynyt paljon lähdeaineistoa tätä työtä ajatellen.

Opinnäytetyöni mukana pääsin tutustumaan konenäköön perustuvaan öljyanalysilaitteistoon ja partikkelierottimeen. OLOA-laitteisto kytketään öljyvirtaan, esimerkiksi kiertovoitelupiiriin. Konenäkö tutkii öljyvirtaa ja mielenkiintoisen partikkelin havaitessa kääntää öljyvirran hetkeksi sivukiertoa. Tällä tavoin partikkeli saadaan poistettua öljyvirrasta tarkempaa analysointia varten.

Työni aikana pääsin vierailulle paikalliseen tuulivoimalaan, minkä pohjalta arvioin tuulimyllyä toimintaympäristönä sekä OLOA-laitteiston soveltuvuutta niiden tarpeisiin. Tuulimyllyn konehuone toimintaympäristönä voi olla kova paikka etenkin herkille elektronisille laitteille, kuten kameralle. Hyvällä laitteistosuunnittelulla voidaan kuitenkin kameralle ja optiikalle luoda olosuhteet, joissa kuvantaminen onnistuu luotettavasti.

Kenties suurimpana haasteena on rakentaa laitteistoon mekanismi, jonka turvin öljyvirta pääkierrossa voidaan taata kaikissa olosuhteissa. Ohjelmiston kaatuminen, sähkökatko, toimilaitteen mekaaninen vika tai jokin muu yllättävä vika voi ilmestyä milloin vain ja silloin turvamekanismi on tarpeen. Yksi vaihtoehto voisi olla 3-tiepalloventtiilin korvaaminen jousipalautteisella 3-tieventtiilillä. Tällöin sähkökatkon tapahtuessa venttiili lukittuisi pääkiertoon eikä vaaraa voitelun katkeamisesta syntyisi. Parempiakin vaihtoehtoja varmasti löytyy, kun niitä aletaan hakea.

Aika näyttää, onnistutaanko tästä öljyanalyysilaitteistosta ja etenkin sen partikkelierottimesta rakentamaan markkinakelpoinen tuote. Aihe on tärkeä, idea on hyvä, mutta töitä on vielä tehtävä.

6 LÄHTEET

- Fonselius, J., Rinkinen, J. & Vilenius, M. 1997. Hydraulikka II. Opetushallitus.
- Graftek Imaging Inc. 2014. Basler Pilot camera description. Viitattu 26.11.2014
<http://www.graftek.com/pages/piA2400-12gm.htm>.
- Hudd, M. 2014. Mervento Oy. Suunnittelija. Keskustelu 3.11.2014.
- Kananen, H. 2012. Kääntyvän potkurilaitteen nestejärjestelmien vianetsintä. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Diplomityö.
- Kauppi, J. 2011. FE-SEM ja EDS-laitteiden käyttöönotto. Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 1999. Hydraulitekniiikan perusteet. 2. painos. WSOY.
- Keltamäki, K. 2013. FESEM tutkimus ja EDS analysointi. Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulu. Tekninen raportti.
- Kunnossapitoyhdistys Promaint ry 2013. Teollisuusvoitelu. Kunnossapidon julkaisusarja no:8. 5. painos. KP-Media Oy.
- Lapin AMK TKI-toiminta, Viitattu 20.10.14,
<http://www.lapinamk.fi/fi/Tyoelamalle/Tutkimus-ja-kehitys>.
- Lauhikari, M. 2011. Online-öljynanalyysilaitteen merkitys Sendzimir-valssaimen kunnossapito- ja laatuksannuksiin. Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Leinonen, J. & Rauhala, V. 2012. Demolaitteiston toimintakuvaus. Tekninen dokumentti.
- Leinonen, J., Maronen, J. & Sipola, J. 2013. Jatkuva toiminen partikkelianalyysaattori ja –erotin voitelujärjestelmiin. Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulu. Tekninen raportti.
- Macian V., Tormos B., Olmeda P. and Montoro L. (2003). Analytical approach to wear rate determination for internal combustion engine condition monitoring based on oil analysis. Tribology International. Vol. 36. pp. 771-776.
- Mustonen, M. 2000. Paperikoneiden vierintälaakerien kunnonvalvontamenetelmät. VTT Valmistustekniikka. Tutkimusraportti. Viitattu 27.10.2014
<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/kunvalvmenetf.pdf>.
- Opto Engineering. 2014. Product datasheet. Viitattu 26.11.2014
<http://www.opto-engineering.com/products/matrix-detector-telecentric-lens-model-TC23024>.

- Pelimanni, V-M. 2006. Esitutkimus epäpuhtauspartikkeleiden tunnistamiseksi öljystä konenäön avulla. Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Ramlin, M. 2014. Sumituuli Oy. Toimitusjohtaja. Keskustelu 3.11.2014.
- Siimes, A., Pikkarainen, H., Sipola, J. & Rauhala, V. 2012. Jatkuva toimiva partikkelianalysointilaitteisto ja –erotin voitelujärjestelmiin. Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulu. Tutkimussuunnitelma.
- Sipola, J. & Kauppi, T. 2010. Konenäkö putkiprofiilien dimensiomittauksessa. Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulun julkaisuja. Tekninen raportti. Viitattu 31.10.2014
http://www3.tokem.fi/tiedostot/kirjasto/Sipola+Kauppi_E_2_2010.pdf.
- Sipola, J. 2009. Oil Analysis – A machine vision platform for oil analysis: Particles in oil analysis. Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulu. Tekninen dokumentti.
- Sipola, J. 2012. OPAS- hankkeen ohjelmistospesifikaatio. Tekninen dokumentti.
- Sipola, J. 2014. Lapin AMK TKI-yksikkö. Projekti-insinööri. Keskustelu 22.10.2014.
- VTT 2004. Teollisuuden käynnissäpidon prognostiikka. Viitattu 11.11.2014
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/2005/S236.pdf>.