

KEVITSAN KAIVOKSEN RIKASTAMON KUNNONVAL-
VONTASOVELLUSTEN LAAJENTAMINEN

Seppälä Samuli

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikka ja liikenne
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Samuli Seppälä	Vuosi	2019
Ohjaaja	Ins, (YAMK) Aila Petäjäjärvi		
Toimeksiantaja	Boliden Kevitsa Mining Oy Ennakkohuoltoinsinööri, Sami Pelkonen		
Työn nimi	Kevitsan kaivoksen rikastamon kunnonvalvontasovellusten laajentaminen		
Sivu- ja liitesivumäärä	77 + 2		

Opinnäytetyössä selvitettiin Kevitsan kaivoksen rikastamon kunnonvalvontasovellusten kattavuus sekä erilaiset tavat niiden lisäämiseksi ja tehostamiseksi. Tällä tavoin myös vietäisiin kunnossapitoa rikastamon kriittisten laitteiden osalta enemmän kohti kuntoon perustuvaa kunnossapitoa.

Työssä käsiteltiin tämän hetkisiä rikastamon kunnonvalvontasovelluksia sekä niiden laajennusmahdollisuuksia. Teoriaosuudessa perehdyttiin kunnossapitoon ja kunnonvalvontaan yleisesti. Lisäksi työssä perehdyttiin myös yksittäisiin yleisimmän kunnonvalvonnan mittauksissa käytettäviin suureisiin, antureihin sekä muihin mittaustapoihin ja menetelmiin.

Työ painottuu värähtelyn, lämpötilan sekä öljyjen kunnonvalvontaan ja mittausmenetelmiin, koska niitä pidetään mekaanisten laitteiden kunnonvalvonnan osalta yksinä tärkeimmistä tarkkailtavista ilmiöistä. Lisäksi öljyjen kunnonvalvonta on kokenut viime vuosien aikana merkittäviä kehitysaskelia.

Työn tuloksina selvitettiin suurimpien kehittymismahdollisuuksien olevan öljyn kunnonvalvontaan panostamisessa. Työssä kartoitettiin useita erilaisia tapoja ja toimijoita liittyen erityisesti mekaanisten laitteiden öljyjen kunnonvalvontaan. Kaivoksen rikastamalla värähtelyn kunnonvalvontaan on jo ennestään olemassa tehokkaat menetelmät ja työkalut, joita ei tarvitse uudestaan keksiä. Näiden tueksi hankittiin opinnäytetyön aikana siirrettävä värähtelyn mittaussalkku tukemaan vikaantumisien valvontaa. Lämpötilamittauksiin liittyen selvitettiin suurimman kehityspotentiaalin olevan kunnonvalvonnan kannalta lämpökameran hankkimisessa määräaikaan tarkastuksiin sekä vikaantumisien yhteydessä tapahtuviin lämpötilan mittauksiin.

Työn tuloksina kartoitettuja menetelmiä voidaan käyttää hyväksi kaivoksen rikastamon kriittisyysluokittelun valmistuttua kriittiseksi luokiteltujen kohteiden ja laitteistojen kunnonvalvontaan.

Avainsanat Kevitsa, rikastamot, kunnossapito, kunnonvalvonta, värähtelyt, öljy, lämpötila

Technology, Communication and Transport
Electrical and Automation Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Samuli Seppälä	Year	2019
Supervisor	Aila Petäjäjärvi, M.Eng		
Commissioned by	Boliden Kevitsa Mining Oy		
Subject of thesis	Sami Pelkonen, Preventive Maintenance Engineer		
	Condition Monitoring Application Extension at Kevitsa Mine's Concentration Plant		
Number of pages	77 + 2		

The purpose of this thesis was to examine the current condition monitoring applications of mines concentration plant and to find and sort out different ways to upgrade and extend them. In this way, the maintenance of the critical equipment of the concentration would also be more towards to condition based maintenance.

The work includes the review of the current condition monitoring applications of the concentration plant and their upgrading possibilities. The theory section reviews maintenance and condition monitoring in general. The work also focused on most commonly used individual quantities which are used with condition monitoring measurement, typical sensors and other measurement methods.

The work focused on vibration, temperature and oil condition monitoring and measurement methods. These are considered to be one of the main phenomena which are used to monitor mechanical equipment condition. Oil condition monitoring has also undergone significant development in recent years.

This thesis results revealed that the biggest development opportunities at the mine's concentration plant would be investing in oil condition monitoring. The work examined several factors and their ways concerning oil condition monitoring in the mechanical equipment. It became clear that the concentration plant has already effective methods and tools for condition monitoring for vibration and that is why Kevitsa Mine does not need extensive investments in this category. A portable vibration measurement system was purchased during the thesis to support the condition monitoring for vibration. The biggest development for temperature measurement would be to obtain a thermal camera for periodic inspections and temperature measurements during failures.

The work results can be utilized after the criticality classification of the mine concentration plant has been completed and it is possible to begin to design condition monitoring applications for critically classified devices.

Key words Kevitsa, concentration, maintenance, condition monitoring, vibrations, oil, temperature

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	BOLIDEN AB	10
2.1	Kevitsan kaivos	10
2.2	Rikastamo	10
3	KUNNOSSAPITO	12
3.1	Kunnossapitolajit PSK:n standardin mukaan	12
3.1.1	Suunniteltu kunnossapito	13
3.1.2	Häiriökorjaus	14
3.2	Kunnossapitolajit SFS:n standardin mukaan	14
3.2.1	Ehkäisevä kunnossapito.....	15
3.2.2	Korjaava kunnossapito	16
4	KUNNONVALVONTA	17
4.1	Kunnonvalvontamittauksin tarkkailtavat suureet	19
4.1.1	Värähtely	20
4.1.2	Lämpötila.....	23
4.1.3	Sähkövirta	24
4.1.4	Prosessisuureet.....	24
4.2	Öljyn kunnonvalvonta.....	24
5	TÄRKEIMMÄT MITTAUSMENETELMÄT	26
5.1	Värähtelyn mittaaminen	26
5.1.1	Siirtymäanturi	29
5.1.2	Kiihtyvyyssanturi	30
5.1.3	Nopeusanturi	32
5.1.4	Iskusysäysanturi.....	33
5.2	Lämpötilan mittaaminen.....	34
5.2.1	Koskettavia lämpötilan mittausmenetelmiä	35
5.2.2	Koskemattomia lämpötilan mittausmenetelmiä	37
5.2.3	Lämpökamera	39
5.3	Öljyjen näytteenotto- ja kunnonvalvontatavat	40
5.3.1	Hiukkasmittaukset	41
5.3.2	Vesipitoisuuden mittaaminen	43

5.3.3	Magneettisiin pohjatulppiin perustuvat anturit	43
5.3.4	Ilmapitoisuuden mittaaminen.....	44
5.3.5	Viskositeetin mittaaminen.....	45
5.3.6	Sähköisien ominaisuuksien mittaaminen.....	46
6	KEVITSAN KUNNONVALVONTASOVELLUKSIEN NYKYTILA	47
6.1	Värähtelymittaukset	47
6.2	Voiteluöljyjen kunnonvalvonta.....	50
7	KEVITSAN KUNNONVALVONTASOVELLUSTEN LAAJENTAMINEN.....	51
7.1	Voiteluöljyjen kunnonvalvonta.....	51
7.1.1	DB Santasalo GearWatch	52
7.1.2	Hydac	55
7.1.3	Pamas	59
7.1.4	KiL-Yhtiöt KiL-V3m	62
7.1.5	Neste LubeService	64
7.2	Kunnonvalvonta värähtelyn mittaamisella.....	65
7.2.1	Siirrettävä värähtelyn mittausyksikkö	66
7.3	Lämpökamera kunnonvalvontaan.....	68
8	POHDINTA	70
	LÄHTEET	72
	LIITTEET	77

ALKUSANAT

Haluan kiittää mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta toimeksiantajaa Boliden Kevitsa Mining Oy:tä. Ohjauksesta ja avustamisesta kiitän Sami Pelkosta sekä Aila Petäjäjärveä. Kiitokset myös työnaikana avustaneille yhteistyökumppaneille, rikastamon kunnossapidon työntekijöille, perheelleni ja ystäväilleni.

Sodankylässä 26.03.2018

Samuli Seppälä

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AG	Autogeeninen
DIN	saksalainen standardisointi-instituutti
HIG	High Intensity Grinding
IEPE	Integrated Electronics Piezo-Electric
IR	Infrared
PCM	Portable Cleanliness Monitor
PPM	Parts Per Million
P-F	Point – Failure
PSK	PSK Standardisointi
QMB	Quartz microbalance sensor
SAE	Society of Automotive Engineers
SAW	Surface Acoustic Wave sensor
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
TAN	Total Acid Number
TSM	Thickness Shear Mode sensor

1 JOHDANTO

Kunnonvalvonnan merkitys kasvaa ja on kasvanut viime vuosien aikana voimakkaasti teollisuuden kunnossapidon siirtyessä yhä enemmän kuntoon perustuvaan kunnossapitoon. Tämän on mahdollistanut nopeasti kehittyvä anturi- ja automaatiojärjestelmien tekniikka.

Tämän opinnäytetyön aiheena on Kevitsan kaivoksen rikastamon kunnonvalvontasovelluksien laajentaminen. Kaivoksen rikastusprosessi koostuu murskista, seuloista, myllyistä, kuljettimista, vaahdotuksesta ja lopputuotteen eli rikasteen suodattimista sekä näiden edellä mainittujen päälaitteiden toimintaan liittyvistä apulaitteista. Pahimmassa tapauksessa näiden laitteiden vikaantuminen voi pysäyttää koko rikastamon tuotantoprosessin.

Opinnäytetyössä kerrotaan rikastusprosessin toiminta lyhyesti läpi sekä perehdytään teoriassa kunnossapitoon ja kunnonvalvontaan yleisellä tasolla. Työn aikana selvitetään mekaanisten laitteiden kunnonvalvonnan osalta yleisimmät tarkkailtavat suureet sekä menetelmät ja syyt niiden mittaamiseen sekä valvontaan. Työssä tarkastellaan rikastamon tämän hetkisiä kunnonvalvontamenetelmiä ja selvitetään erilaisia vaihtoehtoja ja toteutustapoja näiden tukemiseksi sekä lisäämiseksi. Tällä tavoin tarvittavat huollot ja korjaukset voidaan suorittaa sekä ajoittaa suunnitellusti vähentäen turhien pysähdyksien määrää.

Rikastamolla kunnonvalvontamittauksia suoritetaan värähtelymittauksin SKF:n kanssa yhteistyössä. Suuri osa mittauksista toteutetaan reittimittausperiaatteella pisteeltä pisteelle tyypisesti tietyin määräajoin. Tämän lisäksi muutamia kohteita on online-värähtelymittauksien piirissä, kuten myllyjen moottorit sekä vaihteet. Myös pääseulaa valvotaan online-värähtelymittauksin. SKF:n mittauksien lisäksi muutamista yksittäistä kohteista mitataan kokonaisvärähtelyä erillisillä antureilla rikastamon oman automaatiojärjestelmän kautta.

Värähtelyn mittaamiseksi rikastamon laitteiden kunnonvalvontaan on olemassa toimivat ratkaisut ja työkalut. Näin ollen suurin kehitys voitaisiin saavuttaa ottamalla öljyn kunnonvalvontaa käyttöön kriittisissä ja vikaherkissä laitteissa ja voitelukierroissa. Öljyn kunnonvalvonnan osalta työssä tullaan selvittämään erilaisia

tapoja ja toimijoita toimivan mittaus- ja valvontajärjestelmän käyttöönottamiseksi. Lisäksi opinnäytetyössä selvitetään lämpökameran käyttöönottamista osaksi kunnonvalvonnan mittauksia.

2 BOLIDEN AB

Boliden AB on ruotsalainen metallialan yritys. Yritys on erikoistunut kaivosalaan liittyviin toimintoihin kuten malminetsintään, kaivostuotantoon, sulattotoimintaan sekä metallien uusiokäyttämiseen. Vuonna 2018 Boliden työllisti noin 5 500 henkilöä tuotantolaitoksillaan Suomessa, Ruotsissa, Norjassa sekä Irlannissa. Suomessa toimintaa oli vuonna 2018 neljässä eri toimipisteessä, joita olivat Kevitsan kaivos, Kokkolan sinkkitehdas, Harjavallan nikkelisulatto sekä Kylylahden kuparikaivos. (Boliden 2019b.)

2.1 Kevitsan kaivos

Kevitsan kaivos on tyypiltään avolouhos ja se sijaitsee Pohjois-Suomessa Sodankylässä. Esiintymä on löydetty vuonna 1987 ja se on suurimpia mineraalilöytöjä Suomessa kautta aikojen. Rikastamo ja kaivos on otettu käyttöön vuonna 2012 ja Boliden hankki kaivoksen kesäkuussa 2016 kanadalaiselta First Quantum Mineralsilta. Kaivokselta rikastettiin vuonna 2018 noin 7 582 000 tonnia malminia, joka sisälsi nikkeliä, kuparia, kultaa, platinaa sekä palladiumia. Vuonna 2018 kaivos työllisti noin 450 henkilöä. (Boliden 2019a.)

2.2 Rikastamo

Kevitsan rikastusprosessi päälaitteiltaan koostuu päämurskasta, seulasta, hienomurskaamosta, välivarastosta, myllyistä, vaahdotuksesta sekä suodattimista. Kiviaineksen ja rikasteen kuljetus tapahtuu laitteiden välillä hinnakuljettimilla sekä pumpuilla.

Prosessi alkaa päämurskalta, jonne louhittu kivi kuljetetaan kiviautoilla. Murskattu kivi kuljetetaan seulalle. Seulalle kiveä seulotaan ja raekooltaan yli 130 mm:n ja alle 25 mm:n kivet kuljetetaan suoraan välivarastolle. Raekooltaan 130 mm:n ja 25 mm:n välissä olevat kivet kuljetetaan palavarastolle, jossa suurin osa hienonnetaan hienomurskaamalla ja palautetaan seulan kautta välivarastolle alle 25 mm:n raekoossa. Kuitenkin osa näistä 130 mm:n ja 25 mm:n välillä olevista kivistä kuljetetaan 3. myllylle jauhinpaloiksi. (Aikio 2019.)

Myllyissä kiviaineista jauhetaan pienempään raekokoon. Myllyjen 1 ja 2 kiviaineksen syöttäminen tapahtuu välivaraston kautta, kun taas myllylle 3 kiviainesta syötetään palavarastolta sekä 1 ja 2 myllyn syklonikerrosta. Myllyt ovat tyypiltään autogeenisiä (AG), eli jauhinkappaleina käytetään kiviä itsestään. Myllyissä jauhatuksen jälkeen kiviaines seulotaan ja yli 10 mm:n raekooltaan olevat kivet palautetaan palavarastolle muun kiviaineksen siirtyessä sykloneille. Sykloneissa kiviaines erotellaan keskipakoisvoiman avulla, jolloin suurempi ja raskaampi kiviaines palautuu takaisin myllyihin, kun taas kevyempi sekä hienompi aines etenee vaahdotukseen säiliöön TCe500. (Aikio 2019.)

Kuparin vaahdotus koostuu esi-, ripe- sekä kertausvaahdotuksista. TCe500-säiliöstä saatava rikaste etenee kuparin kertausvaahdotukseen, kun taas säiliöstä saatavaa jätettä käytetään kuparin esivaahdotuksen syötteenä. Kuparin vaahdotukseen kuuluu myös HIG-pystymylly, jossa hienonnetaan kuparin esivaahdotuksesta saatavaa rikastetta. Tämän jälkeen rikaste ajetaan kuparin kertausvaahdotukseen. Kuparin vaahdotuksesta saatavaa jätettä käytetään nikkelin vaahdotuksen syötteenä. (Aikio 2019.)

Nikkelin vaahdotus koostuu myös esi-, ripe-, ja kertausvaahdotuksista. Nikkelin vaahdotukseen kuuluu myös kuulamyly, jonka tarkoituksena on pestä syötettävää ainetta kemikaaleista eikä niinkään jauhaa sitä enää pienemmäksi. Kuparin ja nikkelin vaahdotuksista saatava rikaste syötetään sakeuttimien kautta suodattimille. Suodattimilla saatu rikaste kuivataan puristamalla sekä ilmakeuhkalla, jonka jälkeen se kuljetetaan Harjavaltaan Bolidenin omalle sulatolle sekä ulkoisille asiakkaille. (Aikio 2019.)

Prosessiin kuuluu myös rikin vaahdotus, jota syötetään nikkelin vaahdotuksen jätteellä. Rikin vaahdotus koostuu esi- ja kertausvaahdotuksesta ja sen tarkoituksena on vaahdottaa mahdollisimman paljon rikkiä pois. Rikkivaahdotuksesta saatava rikaste sekä jäte erotellaan rikastehiekka-altaille A ja B. (Aikio 2019.)

Prosessi on esitettyinä kaaviomuodossa liitteissä 1 ja 2.

3 KUNNOSSAPITO

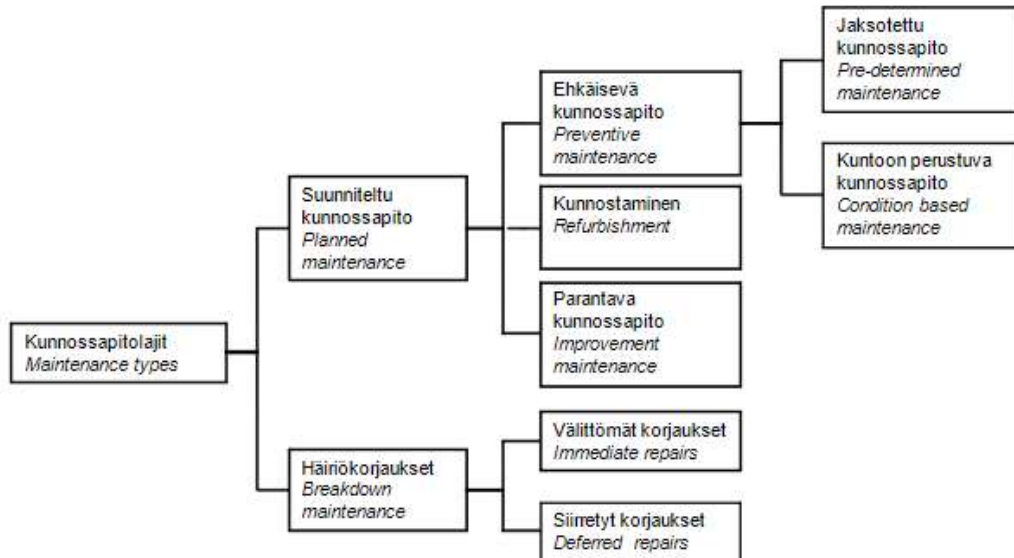
Kunnossapito määritellään standardissa PSK 6201 seuraavasti: "Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana." (PSK 6201 2011, 2.)

Kunnossapidon merkitystä ei voida korostaa liikaa. Sen avulla varmistetaan, että tuotantolaitoksen käytettävyyden, lopputuotteiden laatu sekä tuotantomäärät pysyvät niille suunnitelluilla tasoilla. Menestyvän tuotantolaitoksen yhtenä kulmakivenä pidetään kunnossapidon ja tuotannon saumatonta yhteistyötä. Kunnossapidon työskentelytavat ja painopisteet ovat muuttuneet merkittävän paljon. Aikaisemmin on ollut tärkeää, että kaikki ilmenneet viat saadaan korjattua mahdollisimman nopeasti. Nykyään kunnossapito pyritään keskittämään ehkäisevään toimintaan ja kriittisiin kohteisiin. (Promaintlehti 2018.)

Kunnossapito voidaan jaotella erilaisiin lajeihin. Kunnossapitolajeihin kuuluva terminologia sekä niiden käyttö ja määrittelyt ovat melko kirjavia, minkä vuoksi voi aiheutua väärin ymmärryksiä ja haasteita. (Mikkonen ym. 2009, 95.)

3.1 Kunnossapitolajit PSK:n standardin mukaan

PSK:n 6201 standardissa kunnossapitolajit jaotellaan alla olevan kuvion 1 mukaisesti kahteen päähaaraan, häiriökorjaukseen eli suunnittelemattomaan ja suunniteltuun kunnossapitoon. Kuviossa 1 esitetään myös, kuinka eri kunnossapitolajit ovat sidoksissa toisiinsa.



Kuvio 1 Kunnossapitolajit (PSK 6201 2011, 22.)

3.1.1 Suunniteltu kunnossapito

Suunniteltuun kunnossapitoon kuuluvat ehkäisevä kunnossapito, kunnostaminen ja parantava kunnossapito.

Parantava kunnossapito on kunnossapitoa, jonka tarkoituksena on kohteen kunnossapidettävyyden ja luotettavuuden parantaminen muuttamatta kohteen toimintoja. Kunnostamisella tarkoitetaan vaurioituneena käytöstä poistetun tai kulu- neen kohteen palauttamista käyttökuntoon korjaamalla. Ehkäisevä kunnossapito käsittää toimenpiteet, joiden avulla pidetään kohteen käyttöominaisuuksia yllä, palautetaan alentunut toimintakyky normaalitasolle ennen vian syntymistä tai ehkäistään vaurioiden syntymistä. (PSK 6201 2011, 22-23.)

Ehkäisevä kunnossapito voidaan jakaa jaksotettuun kunnossapitoon sekä kuntoon perustuvaan kunnossapitoon. Jaksotetulla kunnossapidolla tarkoitetaan kunnossapitoa, joka tehdään suunniteltujen jaksotuksien mukaan. Jaksotukset voidaan toteuttaa käyttötuntien, tuotantomäärien, energiankäytön sekä kalenteri- aikojen mukaan. Kuntoon perustuva kunnossapito suunnitellaan ja suoritetaan tarkastustoiminnalla tai kunnonvalvonnalla saavutettujen havaintojen perusteella. (PSK 6201 2011, 22-23.)

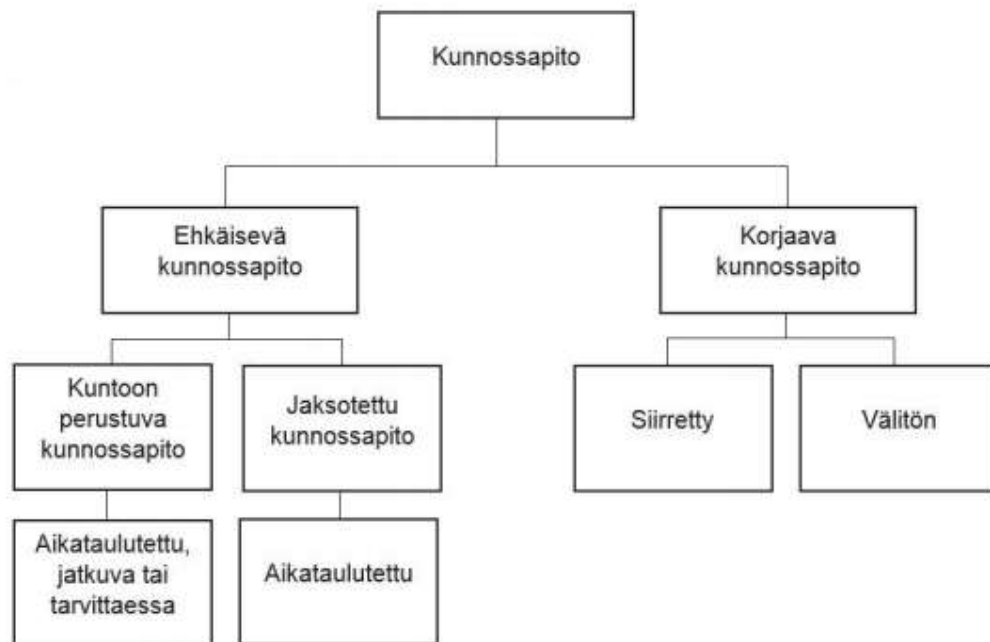
3.1.2 Häiriökorjaus

Häiriökorjaus jaotellaan standardin PSK 6201 mukaan välittömään häiriökorjaukseen ja siirrettyyn häiriökorjaukseen. Häiriökorjauksella tarkoitetaan vikaantuneen kohteen toimintakunnon ja käyttöturvallisuuden palauttamista alkuperäiseen tilaan. Välittömässä häiriökorjauksessa toimenpiteet kohteen toimintakunnon palauttamiseksi tai vian aiheuttamien seurauksien minimoimiseksi suoritetaan välittömästi vian havaittua. Siirretty häiriökorjaus on korjausta, joka suoritetaan silloin kun tuotanto, kohde tai organisaation tilat sen sallivat. (PSK 6201 2011, 23.)

3.2 Kunnossapitolajit SFS:n standardin mukaan

Standardissa SFS-EN 13306 kunnossapitolajit ja toimenpiteet jaotellaan vikahavaintojen mukaisesti. Vialla tarkoitetaan tilannetta, jossa kohteelta vaadittu toiminto jää suorittamatta poikkeaman vuoksi. (Mikkonen ym. 2009, 98.)

SFS:n mukaan lajit jaetaan kuvion 2 mukaisesti kahteen päähaaraan, korjaavaan kunnossapitoon sekä ehkäisevään kunnossapitoon. Ehkäisevään kunnossapitoon sisällytetään kaikki se toiminta, jonka avulla pyritään estämään viasta johtuva komponentin toiminnan pysähtyminen. (Mikkonen ym. 2009, 96.)



Kuvio 2 Kunnossapitolajit SFS-EN 13306:n mukaisesti (Mikkonen ym. 2009, 98)

3.2.1 Ehkäisevä kunnossapito

SFS-EN 13306:n mukaan ehkäisevällä kunnossapidolla tarkoitetaan kunnossapitoa, jota suoritetaan asetettujen kriteerien täytyessä tai säännöllisten väliaikojen mukaisesti. Sen tavoitteena on estää kohteen toimintakyvyn heikkenemistä tai sen rikkoontumista. Ehkäisevä kunnossapito voidaan jakaa kuntoon perustuvaan kunnossapitoon sekä jaksotettuun kunnossapitoon. (Mikkonen ym. 2009, 99.)

Kuntoon perustuvalla kunnossapidolla tarkoitetaan ehkäisevän kunnossapidon toimenpiteitä, jossa kohteen suorituskykyä tai sen parametreja seurataan ja toimitaan niistä saatujen havaintojen perusteella. Seuranta voidaan suorittaa jatkuvasti tai aikataulun ja tarpeen mukaan. (Mikkonen ym. 2009, 99.)

Jaksotettu kunnossapito tarkoittaa ehkäisevän kunnossapidon toimenpiteitä, jotka perustuvat käyttömäärän tai kalenteriaikojen mukaiseen jaksotukseen. Kohteen kunnolla ei ole merkitystä jaksotetussa kunnossapidossa tehtäviin toimenpiteisiin. (Mikkonen ym. 2009, 99.)

3.2.2 Korjaava kunnossapito

SFS-EN 13306:n mukaan korjaavalla kunnossapidolla tarkoitetaan toimenpiteitä, jotka suoritetaan vian havaitsemisen jälkeen ja joilla on tarkoitus palauttaa kohteen toimintakunto. Korjaava kunnossapito voidaan jakaa siirrettyyn ja välittömään kunnossapitoon. (Mikkonen ym. 2009, 99.)

Siirretyllä korjaavalla kunnossapidolla tarkoitetaan kunnossapidon toimenpiteitä, jotka suoritetaan viiveellä vian havaitsemisen jälkeen. Viive on riippuvainen sovitusta ohjeistuksista. Välitön kunnossapito käsittää toimenpiteet, jotka suoritetaan välittömästi vian havaitsemisen jälkeen, jotta voidaan välttyä ylimääräisiltä seurauksilta. (Mikkonen ym. 2009, 99.)

4 KUNNONVALVONTA

Kunnonvalvonnan merkitys koneiden käyttöasteisiin ja toiminnan kannattavuuteen on havaittu yhä useammissa tuotantolaitoksissa. Tietokoneavusteisten kunnonvalvonta sovelluksien avulla suuria mittaustietomääriä pystytään käsittelemään ja hallitsemaan sillä tavoin, että koneiden kunto on jatkuvasti tiedossa. (Asp, Tuominen & Hyppönen N.D.)

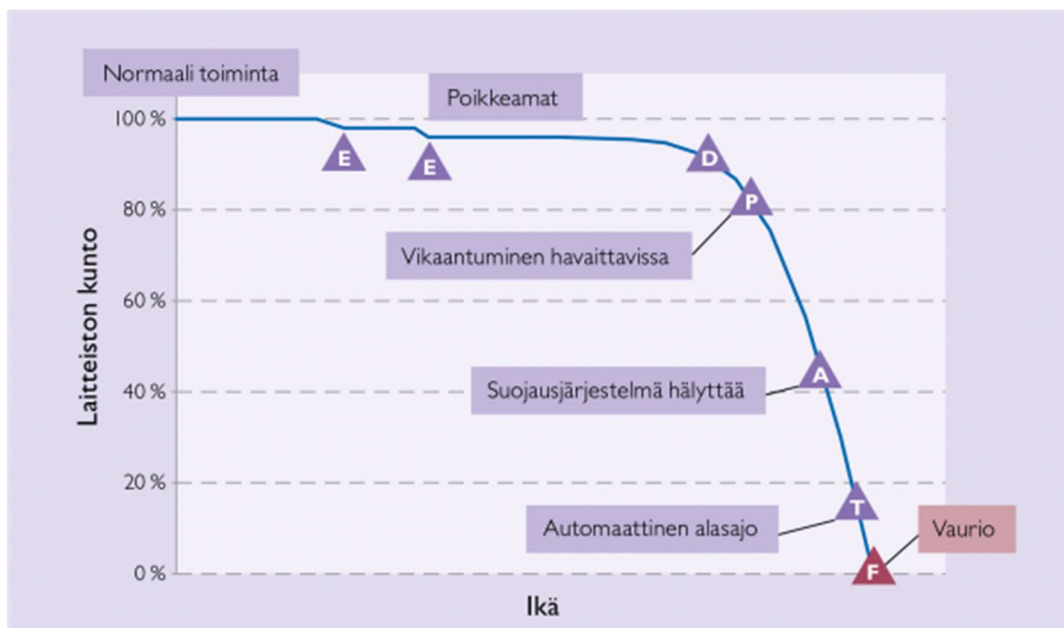
Kunnonvalvonnassa kohteen sen hetkinen toimintatila ja tilan kehittyminen määritellään aistien ja mittalaitteiden avulla tapahtuvien valvonnan ja tarkastuksien sekä niistä saatujen tulosten analysoinnin perusteella. Kunnonvalvonnasta saatujen tuloksien avulla voidaan kohteelle määrittää mahdolliset korjaus-, huolto-, ja vikaantumisajankohdat. (PSK 6201 2011, 23.)

Kunnonvalvontamittauksia on tehty hyvällä menestyksellä Suomessa suuremmassa mittakaavassa 1980-luvulta alkaen ja ne on havaittu kunnossapidon kannalta hyödyllisiksi, minkä vuoksi niitä kaivataan yhä enemmän. Kunnonvalvonnan lisääntymistä puoltava tekijä on myös vaurioiden havaitseminen hyvissä ajoin mittauksien avulla. Näin ollen ”ylimääräisistä” huolloista voidaan luopua, sekä pitää tavoitteena vain epäkuntoisiksi todettujen osien korjaamista. (ABB Oy 2000, 2.)

Kunnonvalvontamittauksien avulla pyritään havaitsemaan laitteiden vikaantuminen jo ennen kuin vikat ovat päässeet niin vakavalle tasolle, että ne aiheuttavat koneen pysähtymisen täydellisen särkymisen seurauksena tai suojausjärjestelmän hälytysten laukeamisen vuoksi. Mittauksien avulla voidaan esimerkiksi laitteiston laakerivikat havaita hyvissä ajoin etukäteen. Tämän avulla laitetta voidaan turvallisesti käyttää vielä jopa kuukausia ja suunnitella laakerinvaihto siten, että se ei haittaa normaalia tuotantoa. Useimmiten kunnonvalvonnasta puhuttaessa tarkoitetaan mittauksia, joita voidaan tehdä laitteiden normaalin käytön aikana. Käytännön tasolla suurin osa kunnonvalvonnasta keskittyy pyörivien laitteiden mekaanisen kunnon arvioimiseen. (ABB Oy 2000, 2.)

Yleisesti ottaen kunnonvalvonta perustuu vikaantumisista johtuvien muutoksien havainnointiin mitattavissa suureissa. Normaalista poikkeavan tilanteen havainnointi on siis olennainen asia kunnonvalvonnassa. Poikkeaman aikainen havainnointi mahdollistaa myöhemmille toimenpiteille riittävästi aikaa ja tarvittavia päätöksiä voidaan tehdä todelliseen tietoon perustuen. Tämän edellytyksenä on se, että havaitut poikkeamat ovat todellisia. Lisäksi täytyy useimmiten selvittää myös vian vakavuus ja se minkälaisiin korjaustoimenpiteisiin on syytä varautua. Kunnonvalvonta voidaan jakaa viiteen eri osa-alueeseen: poikkeavan tilan havaitsemiseen, poikkeaman syyn selvittämiseen, poikkeaman vakavuuden arviointiin, toimenpidesuosituksen ja poikkeaman alkusyyntä sekä mahdollisen parantavan toimenpiteen selvittämiseen. (ABB Oy 2000, 4.)

Tyypillisesti laitteiden ja koneiden vikaantumista esitetään P-F-käyrällä. Optimitilanteessa käyrän muoto tunnetaan laitteiden ja vikaantumisien osalta. Tähän perustuen pystytään valitsemaan sopivat valvontamenetelmät, joiden avulla saavutetaan riittävästi aikaa korjauksen tai huollon suorittamiseen ensimmäisten vika-havaintojen ja vikaantumisen välillä. Kuviossa 3 on esitetty tyypillinen P-F käyrä. (Mikkonen ym. 2009, 141; Promaintlehti 2013.)



Kuvio 3 Esimerkki P-F käyrästä (Promaintlehti 2013.)

Tulevaisuudessa kunnonvalvonnan merkityksen voidaan olettaa kasvavan ennakoidun kunnossapidon roolin korostuessa kustannustehokkuuden ja haastavien teollisuusolosuhteiden vuoksi. Lisäksi teollisuusyritykset pyrkivät lisäämään tuotannon tehokkuutta ja automatisointia. Kustannustehokkuuden parantamiseksi tarvitaan tietoa useista lähteistä kuten prosessidatasta, kuntotarkastuksista ja materiaalianalyseista. Monipuolisten tietojen perusteella pystytään tekemään hyviä päätöksiä kunnossapidon kannalta. (Saarela 2018.)

4.1 Kunnonvalvontamittauksin tarkkailtavat suureet

Kunnonvalvonnassa mitataan laitteesta erilaisia fysikaalisia suureita sen käynnin aikana. Kunnonvalvonnan mittaukset voivat perustua muun muassa värinän, lämpötilan, voiteluöljyjen puhtauden ja ominaisuuksien, sähkövirran tai erilaisten prosessisuureiden kuten paineen, virtauksen tai käyntinopeuden mittaamiseen. Parhaaseen tulokseen pyrkiessä on tärkeää, että kunnonvalvontamittauksia suoritetaan säännöllisesti ja eri kerroilla suoritettavat mittaukset ovat vertailukelpoisia keskenään. Tällä tavoin tehtynä mitatut arvot voidaan asettaa samalla asteikolle ja näin ollen seurata niiden kehittymistä, eli niin kutsuttua trendiä. Moniparametri-valvonnassa, jossa samasta laitteesta tarkkaillaan useampaa eri suurta, on analyysien luotettavuus yksittäisiin mittauksiin verrattuna parempi. (ABB Oy 2000, 4.)

Taulukossa 1 on esitettyä esimerkkejä SFS-ISO 17359 standardin mukaisesti kunnonvalvonnassa käytettävistä suureista ja niiden soveltuvuuksista erilaisiin kone-tyyppeihin. Taulukosta voidaan havaita muun muassa värähtelyyn, lämpötilaan sekä voiteluöljyihin liittyvien mittauksien soveltuvan monipuolisesti eri kone-tyypeille.

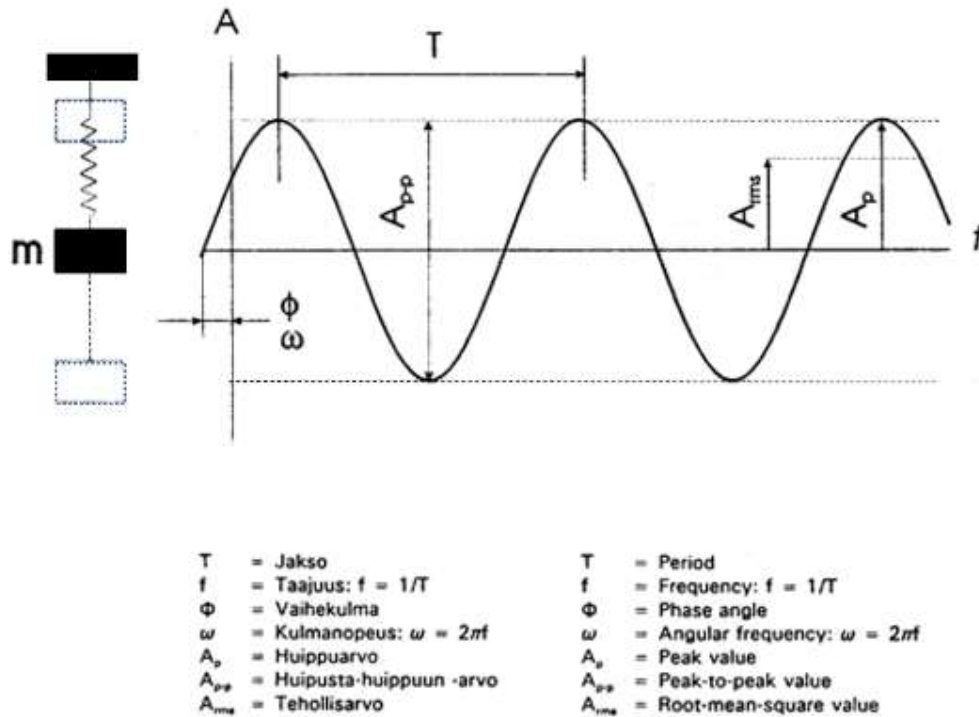
Taulukko 1 Kunnonvalvonnan suureita ja niiden soveltuvuuksia jaoteltuna kone-tyypeittäin (SFS-ISO 17359 2011, 28)

Suure	Konetyyppi								
	Sähkö- moottori	Höyry- turbiini	Kaasu- turbiini (ilma- alus)	Kaasu- turbiini (teolli- suus)	Pumppu	Kom- pressori	Gene- raattori	Mäntä- moottori	Puhallin
Lämpötila	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Paine		*	*	*	*	*		*	*
Painekorkeus					*				
Painesuhde			*	*		*			
Alipaine		*			*				
Ilmavirtaus			*	*		*		*	*
Polttoainevirtaus			*	*				*	
Nestevirtaus		*			*	*			
Virta	*						*		
Jännite	*						*		
Vastus	*						*		
Vaihe	*						*		
Ensiöteho	*				*	*	*		*
Toisiöteho	*	*	*	*			*	*	
Melu	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Värähtely	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Äänitekniikat	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Öljyn paine	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Öljyn kulutus	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Öljy (voitelu)	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ensiöteho	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Lämpöjakauma	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Vääntö	*	*		*		*	*	*	
Nopeus	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Pituus		*							
Särmäinen kaltevuus		*	*	*		*			
Tehokkuus (johdettu)		*	*	*	*	*		*	

* Ilmaisee kunnonvalvonnan mittaussuureen soveltuvuutta.

4.1.1 Värähtely

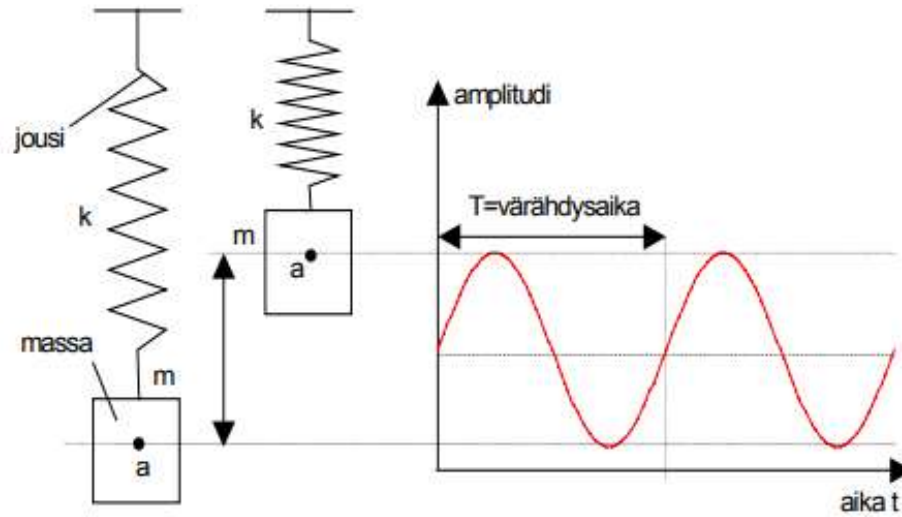
Värähtely eli värinä on yksi tärkeimpiä ja tehokkaimpia mitattavia suureita kunnonvalvonnan osalta silloin, kun arvioidaan dynaamisia ilmiöitä, kuten laakeroinnin kuntoa, tasapainoa ja yleisesti voimia mitkä kohdistuvat laitteiston eri komponentteihin (ABB Oy 2000, 5). Kuviossa 4 on havainnollistettu värähtelyyn liittyviä peruskäsitteitä, kuten värähtelytaajuutta, jaksonaikaa, vaihekulmaa, kulmanopeutta sekä värähtelyamplitudin huippu-, huipusta-huippuun- ja tehollisarvoa.



Kuvio 4 Värähtelyyn liittyviä peruskäsitteitä (PSK 5701 2017, 1)

Kaikissa laitteissa voidaan havaita värähtelyä käynnin aikana. Tyypillisimpiä värähtelyn aiheuttajia ovat epätasapaino, asennus- tai valmistusvirhe sekä kulunut tai muusta syystä vaurioitunut osa. Tyypillisimmin värähtely tulee laitteen roottorista tai akselistä, mutta värähtelyn mittausta paikka sijaitsee rungossa. Laitteen runkoon värähtely kulkeutuu useimmiten laakerien kautta, jolloin paras mittausta paikka on mahdollisimman lähellä laakeripesää. Tulosten tulkinta tärinämittauksissa suoritetaan eri taajuusalueilta mitattujen spektrien ja niitä vastaavien tärinän kokonaistasoarvojen mukaan. (ABB Oy 2000, 7.)

Kaikki värähtelevät laitteet ovat periaatteessa jousi-massasysteemejä, koska mikään laite ei voi olla täysin jäykkä. Kuviossa 5 on esitettyä yksinkertainen esimerkki värähtelevästä jousi-massasysteemistä.



Kuvio 5 Jousi-massasysteemin värähtelyn esittäminen pisteen a suhteen aikata-
sossa (ABB Oy 2000, 7.)

Massan liikkuessa sen liike tapahtuu tasapainoaseman molemmilla puolilla käy-
den maksimissaan positiivisella sekä negatiivisella puolella kerran yhden väräh-
dysliikkeen aikana. Yhden värähdysliikkeen sisällä massa palaa takaisin lähtö-
asemaansa. Värähdysajalla tarkoitetaan aikaa, joka massalla kuluu, kun se läh-
tee liikkeelle lähtöpisteen kautta käyden positiivisen ja negatiivisen huippuarvon
ja palautuu takaisin lähtöpisteeseensä. Kuviossa 5 näkyvästä signaalista käyte-
tään nimitystä aikatasosignaali. Kuvaajan pystyakselilla on amplitudi eli pisteen
siirtymä ja vaaka-akselilla aika. Vaihekulma $\phi = 360^\circ$ vastaa värähdysaikaa T .
(ABB Oy 2000, 7.)

Taulukossa 2 on esitetty standardin PSK 5701 mukaisesti värähtelyyn liittyviä
mittayksiköitä sekä suureita.

Taulukko 2 Mekaaniseen värähtelyyn liittyviä suureita ja mittayksiköitä (PSK 5701 2017, 15)

Suure Quantity	Käytännön mittayksikkö Practical unit	SI-mittayksikkö SI unit	Käyttöesimerkkejä Examples of application
Siirtymä, s Displacement, s	μm	m	Akselivärähtely (S_{p-p} , S_p) Shaft vibration (S_{p-p} , S_p)
Nopeus, v Velocity, v	mm/s	m/s	Laakerivärähtely (V_{rms} , V_p) Bearing vibration (V_{rms} , V_p) Tärinärasitus Vibration severity
Kiihtyvyys, a Acceleration, a	m/s ² , g	m/s ²	Laakerin kunto (a_{rms} , a_p) Bearing condition (a_{rms} , a_p)
Taajuus, f Frequency, f	Hz	Hz	Taajuusanalyysi Frequency analysis
Pyörimisnopeus, n Rotational speed, n	1/min, rpm, 1/s	1/s	
Vaihekulma, φ Phase angle, φ	° (Aste) ° (Degree)	rad	Vektorivalvonta Vector monitoring Tasapainotus Balancing
Jakso, T Period, T	ms	s	Aikatasoanalyysi Time domain analysis

4.1.2 Lämpötila

Mekaanisen laitteen käynnin aikana tapahtuva lämpötilan kohoaminen johtuu useimmiten kasvaneesta kitkasta. Kasvaneen kitkan aiheuttaa useimmiten voiteluhäiriö tai mekaaninen vaurio. Useimmiten vaurio on jo päässyt vakavalle asteelle silloin, kun laitteesta pystytään mittaamalla havaitsemaan kohonnutta lämpötilaa. Tämän vuoksi korjauksien valmisteluun jäävä aika on lyhyt. (ABB Oy 2000, 5.)

Lämpötilan mittaamista käytetään kunnonvalvonnassa muun muassa laakereiden käyttölämpötilojen seuraamiseen. Sen käyttäminen soveltuu hyvin kaiken tyyppisiin sovelluksiin riippumatta kuormituksista tai pyörimisnopeuksista. (Efficientplantmag 2013.)

Lämpötilan valvontaa ja mittausta käytetään myös esimerkiksi sähkömoottoreiden kunnonvalvonnassa, joiden eliniän kannalta se on erityisen tärkeää. Korkeat

lämpötilat nopeuttavat muun muassa sähkömoottorien eristyksien vanhenemista (Muttonen 2011, 12). Usein lämpötilatietoa käytetään moniparametritietona esimerkiksi värähtelymittauksen yhteydessä.

4.1.3 Sähkövirta

Sähkömoottorien kuntoa voidaan mitata sähkövirrasta tehtävällä spektrianalyysillä. Sen avulla roottorin kuntoa voidaan arvioida luotettavasti. Analyysin suorittaminen tapahtuu mittaamalla virta yhdestä moottoria syöttävästä vaihejohtimesta. Mitattaessa on otettava huomioon, että koneen on oltava riittävän raskaasti kuormitettu ja sen käyntinopeus on vakio. Mittauksesta saadusta virtasignaalista lasketaan taajuusspektri, jonka avulla voidaan arvioida roottorin kunto. (ABB Oy 2000, 5-6.)

Taajuusspektrin avulla voidaan saada selville moottorin mekaanisia ja sähköisiä vikoja, joita voivat olla esimerkiksi taipunut akseli, vaurioituneet roottorisauvat tai oikosulkurenkaiden vaurio. (Nohynek & Lumme 2004, 22)

4.1.4 Prosessisuureet

Kunnonvalvonnan kannalta hyödyllisiä prosessista saatavia suureita voi olla paine, lämpötila, virtaus ja nopeustiedot. Prosessitiedot ovat useimmiten helposti saatavissa ja niitä voidaan käyttää muiden mittaustuloksien kanssa apuna päätöksen teossa. (ABB Oy 2000, 6.)

4.2 Öljyn kunnonvalvonta

Öljyn kunnon on todettu olevan päätekijä tavoiteltaessa korkeaa fluiditeknikan laitteiden käyntiastetta. Kehityksen mukana tullut öljytilavuuksien pienentyminen ja tämän seurauksena tapahtuva öljyjen käyttölämpötilojen kohoaminen ovat kasvattaneet öljyihin kohdistuvaa räsitystä ja näin ollen valvonnan tarvetta. Lisäksi on huomattu, että öljyn kautta tapahtuvalla kunnonvalvonnalla voidaan saada aikaisemmin tieto järjestelmän tilan muutoksista kuin perinteisillä kunnonvalvonnan menetelmillä, kuten lämpötilojen ja värähtelyn seurannalla. Öljyjen kunnonval-

vonnan nopeaa yleistymistä on avustanut tiedonsiirto- ja anturitekniikoiden kehittyminen. Öljyjen puhtauden mittaaminen ja sen merkitys yleistyvät entisestään automaation lisääntyessä. (Luomala ym. 2018, 5.)

Öljyn kunnonvalvontamittauksien avulla pyritään ensisijaisesti selvittämään öljyn kemiallista kuntoa sekä järjestelmän kuntoa. Öljyn kemiallisia ominaisuuksia tarkailtaessa selvitetään kuinka paljon öljyn viskositeetti, lisäaineistus sekä TAN, eli hapettumisluku ovat muuttuneet uuden öljyn arvoista. Lisäksi on syytä kiinnittää huomiota öljyn kulumametallien määrään. Kulumametallit voivat olla kooltaan alle 3 µm:n hiukkasina tai öljyyn liuenneina, jotka eivät välttämättä kerro järjestelmän kunnosta vielä mitään. (Luomala ym. 2018, 8.)

Järjestelmän kuntoa voidaan selvittää analysoimalla öljyssä olevien epäpuhtauksien muotoa, määrää, kokoa sekä väriä. Alkavaa laakerivauriota voidaan epäillä esimerkiksi silloin kun öljyn seasta havaitaan pallomaisia kulumishiukkasia analysoinnin tuloksina. Myös öljyn kunnonvalvontaa voidaan käyttää tukemaan muita kunnonvalvontamittauksia. Nykyään esimerkiksi värähtelymittauksia ja öljyn analysointia käytetään yhdessä, jotta voidaan saada mahdollisimman kattavat tiedot laitteen sen hetkisestä tilasta. (Luomala ym. 2018, 8.)

5 TÄRKEIMMÄT MITTAUSMENETELMÄT

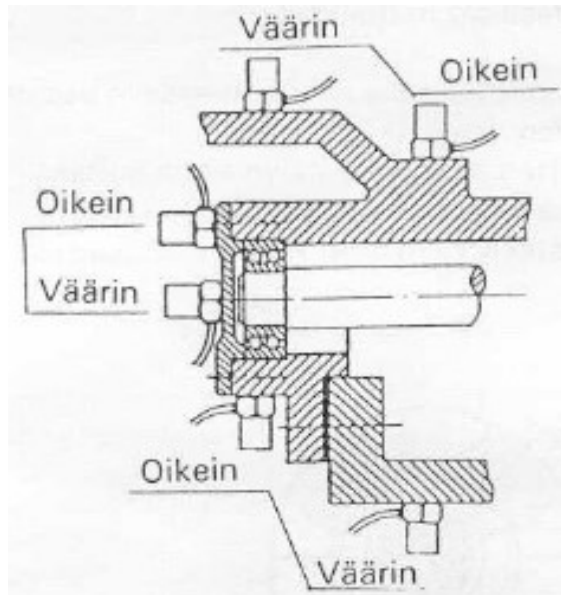
Aikaisemmin kunnonvalvontaa on suoritettu aistinvaraisten havaintojen avulla, kuten tunnustelemalla ja kuulostelemalla laakerivauriosta johtuvaa tärinää ja ääntä sekä kokeilemalla koneenosien lämpöä. Laitteiden kuntoa pystyttiin arvioimaan myös lopputuotteen laadun perusteella. Näiden menetelmien tueksi ja korvaajaksi on kehitelty yhä useampia erityyppisiä mittausmenetelmiä. Joka tapauksessa ei ole kuitenkaan syytä väheksyä näitä perinteisiä kunnonvalvonnan seurausmenetelmiä. (Asp ym. N.D.)

5.1 Värähtelyn mittaaminen

Värähtelyn mittauksessa käytettävän anturityypin valinnassa on otettava huomioon värähtelyn taajuusalue sekä mahdolliset vikatyypit (PSK 5703 2006, 1). Värähtelyä voidaan valvoa nopeutena, siirtymänä, kiihtyvyytenä tai kiihtyvyyden derivaattoina riippuen valvottavan kohteen rakenteesta. Matalataajuisista eli alle 10 Hz:n värähtelyä voidaan valvoa käyttämällä siirtymän seurantaa, kun taas yli 1000 Hz:n ylärajataajuuden omaaviin kohteisiin suositellaan käytettäväksi kiihtyvyyden mittausta. Akselivärähtelyä liukulaakeroiduissa koneissa valvotaan siirtymänä ja samalla voidaan myös valvoa akselin asemaa laakerissa. (PSK 5706 2015, 2.)

Värähtelyn mittaamista varten mittauspiste valitaan siten, että mittausanturi ja värähtelynlähde ovat mekaanisesti mahdollisimman lähekkäin. Korkeataajuisista värähtelyä mitattaessa tulee huomioida, että korkeataajuisen värähtelyn kohdassa rajapinnan se menettää osan energiastaan. Tästä syystä mittauspistettä valittaessa on otettava huomioon, että mittauspisteen ja värähtelynlähteen välissä on mahdollisimman vähän rajapintoja. (PSK 5702 2007, 2.)

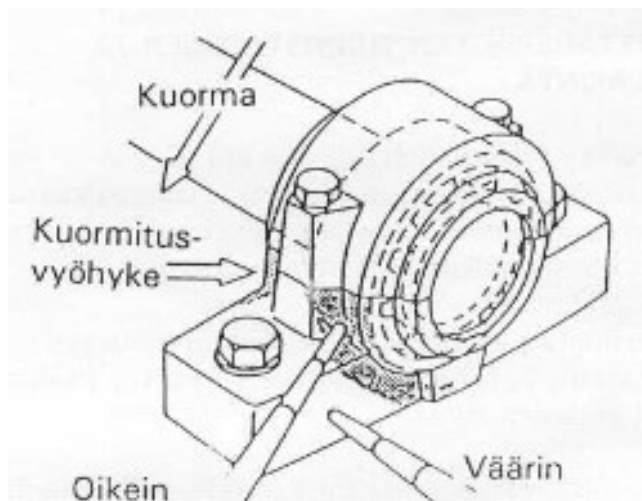
Alla olevassa kuviossa 6 on havainnollistettu anturin paikan valitsemista värähtelyn mittauksessa.



Kuvio 6 Esimerkkejä mittauspalkan valintaan värähtelymittauksessa (PSK 5702 2007, 2.)

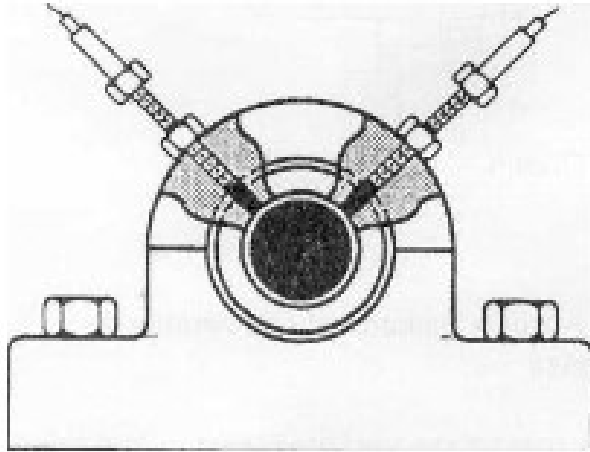
Mittauspalkka tulee valita laakerointikohdista, sillä värähtely pyörivistä massoista siirtyy laakerien kautta runkoon. Tyypillisesti värähtelyä mitataan säteissuunnassa, mutta myös akselinsuuntaisia mittauksia tehdään tarpeen vaatiessa. (PSK 5702 2007, 2.)

Vierintälaakereiden voitelutilanteen ja kunnan selvittämiseen voidaan käyttää iskusysäysmenetelmää. Mittauspisteeksi valitaan laakerin kuormitusvyöhyke kuten kuviossa 7. (PSK 5702 2007, 2.)



Kuvio 7 Iskusysäysmittauksen mittauspisteen valitseminen (PSK 5702 2007, 2.)

Värähtelyn mittaamiseen voidaan käyttää myös suhteellista mittausta. Suhteellisella mittauksella voidaan mitata siirtymiä, akselin asemaa ja koneen osien venymiä. Mittauspistettä valittaessa on huomioitava materiaalin vaihtelun ja kohteen muotojen vaikutus mittausarvoon. Mittausanturi voidaan tapauskohtaisesti asentaa joko ulkoiseen riittävän jäykkään rakenteeseen tai suoraan kohteeseen. Akselivärähtelyn mittaamiseksi säteissuunnassa asennetaan kaksi anturia 90° kulmaan toisistaan kuten kuviossa 8. (PSK 5702 2007, 3.)



Kuvio 8 Akselivärähtelyn mittaaminen (PSK 5702 2007, 3.)

Standardissa PSK 5703 on määritelty värähtelymittaukseen käytettävien kiihtyvyyssanturien kiinnitystavat. Kiinteissä anturiasennuksissa kiinnitys tapahtuu kierrekiinnityksellä. Anturi voidaan kiinnittää kierteiden avulla suoraan kohteeseen käyttämällä asennusnippaa tai kierrealuslevyä. Siirrettäville antureille voidaan kiinnityksessä käyttää myös magneettikiinnitystä, pikakiinnitintä tai poikkeustapauksissa anturin painamista käsin mitattavaan kohteeseen, jos muut kiinnitystavat eivät ole käytettävissä. Tarkemmat määrittelyt tehtävistä koneistuksista ja mittausnipasta löytyvät myös standardista PSK 5703 (PSK 5703 2006, 4-9.)

5.1.1 Siirtymäanturi

Siirtymäantureita käytetään tyypillisesti aseman ja suhteellisen värähtelyn mittamiseen. Useimmiten siirtymäantureita käytetään liukulaakereiden kunnonvalvonnassa ja tyypillisin siirtymäanturityyppi on pyörrevirta-anturi. (PSK 5703 2006, 2.)

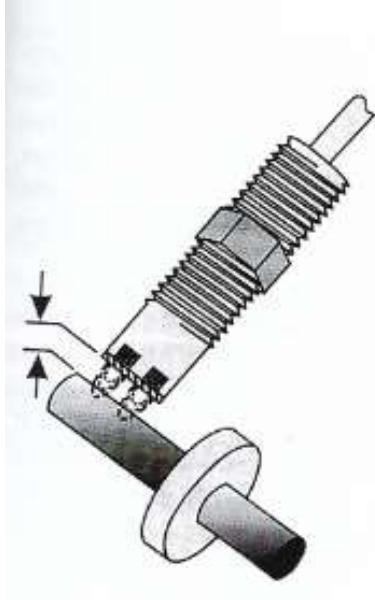
Tyypillisiä pyörrevirta-antureita on nähtävissä kuvassa 1.



Kuva 1 Pyörrevirta-antureita (Micro-Epsilon 2019)

Siirtymäanturin toiminta perustuu sen päässä olevan kelan muodostamaan magneettikenttään ja sen indusoimiin pyörrevirtoihin, jotka aiheuttavat muutoksia kelan jännitteeseen. Anturin ja pinnan väliset välimatkan muutokset aiheuttavat jännitteen vaihtelua, jonka vuoksi signaalista saadaan selvitettyä mittauspisteen ja anturin väliset etäisyydet. (Nohynek & Lumme 2004, 49.)

Kuviossa 9 on esitetty siirtymäanturin toimintaperiaate.



Kuvio 9 Siirtymäanturin toimintaperiaate (Nohynek & Lumme 2004, 49)

Värähtelyn mittaamisen lisäksi siirtymäanturia voidaan käyttää muun muassa aseman, pinnanmuotojen, akselien ratakäyrien ja linjaustilojen sekä liukulaakereiden kunnonvalvonnassa. Mittaamisessa on otettava huomioon, että erilaiset magneettiset ominaisuudet mittaushetkellä muuttavat mittaustuloksia. Lisäksi asennuksessa on kiinnitettävä huomiota siihen, että anturi mittaa suhteellista liikettä. Tämän vuoksi kiinnittämiseen tarvitaan vakaa kiinnityskohta eikä se näin ollen sovellu optimaalisesti siirrettäviin mittauksiin. (Nohynek & Lumme 2004, 49-50.)

5.1.2 Kiihtyvyyssanturi

Kiihtyvyyssanturi on värähtelyn mittaamiseen yleisin käytettävä anturityyppi ja samalla myös kunnonvalvonnassa eniten käytetyin anturi (PSK 5703, 2). Suosio johtuu anturin monipuolisuudesta sekä edullisesta hankintahinnasta. Kiihtyvyyssantureilla voidaan mitata taajuuksia laajalta alueelta korkeista mataliin, koska mittalaitteiden avulla kiihtyvyyssignaali voidaan integroida nopeudeksi. Tästä syystä samaa anturia voidaan käyttää monipuolisesti esimerkiksi korkeataajuisien vierintälaakerivikojen havaitsemiseen, sekä akselin pyörimisestä johtuviin matalataajuisiin vikoihin. Tyypillinen taajuuden mitta-alue on 2 Hz –

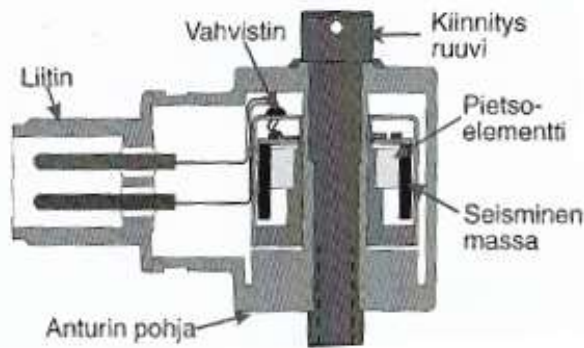
14 000 Hz. Mittauksissa on kuitenkin huomioitava anturin kiinnitystavan ja ominaisuuksien vaikuttavan merkittävästi ala- ja ylärajataajuuksiin. (Nohynek & Lumme 2004, 47.)

Kiihtyvyyssantureita on saatavilla hyvin monen kokoisina. Suurimmat ovat nyrkin kokoisia, kun taas pienimmät ovat nuppineulan päätä pienempiä. Kuvassa 2 on nähtävissä tyypillinen kiihtyvyyssanturi. (Nohynek & Lumme 2004, 46.)



Kuva 2 Kiihtyvyyssanturi (Mip 2019)

Kiihtyvyyssanturin mittaustarkkuus säilyy yleisesti hyvin samalla tasolla koko sen käyttöajan ajan, koska se ei sisällä liikkuvia osia. Anturin toimintaperiaatteen kannalta keskeinen komponentti on pietsosähköinen kide. Kiteen päällä tai sivuilla on asennettuna massa ja kun anturi liikkuu kohteen kanssa yhtenäisesti niin hitausvoimien vaikutuksesta kiteessä oleva massa puristaa tai venyttää kidettä. Tämän seurauksena syntyy anturin kiihtyvyyteen verrannollinen ja suuruuttaan jatkuvasti muuttava varaus. Kuviossa 10 on havaittavissa tyypillinen kiihtyvyyssanturin rakenne. (Nohynek & Lumme 2004, 46.)



Kuvio 10 Kiihtyvyyssanturin rakenne (Nohynek & Lumme 2004, 46)

Varsinkin siirrettäviä kiihtyvyyssantureita käytettäessä on otettava huomioon, että antureilla on asettumisaikaa 1-600 s ennen kuin sillä voidaan aloittaa mittaaminen. Tämä johtuu siitä, että anturiin kohdistuvat iskut lamauttavat pietsosähköisen kiteen. Lamautumisen ajan kesto riippuu anturin herkkyydestä ja siihen kohdistuneesta iskusta. Kiinteiden anturien kanssa on myös syytä tiedostaa, että jännitteen kytkeminen aiheuttaa aluksi häiriön, jonka kesto riippuu mitattavan kohteen alarajataajuudesta ja anturin vahvistimen rakenteesta. Mitä matalampia taajuuksia on mitattavana sitä pitempään anturin asettuminen kestää jännitteen kytkemisen jälkeen. (Nohynek & Lumme 2004, 47.)

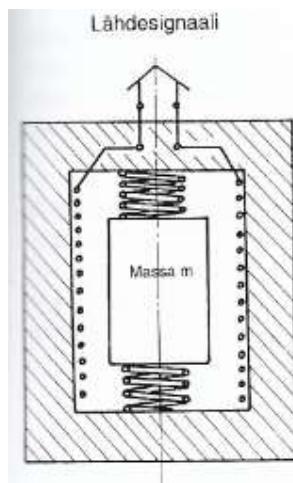
5.1.3 Nopeusanturi

Aikaisemmin nopeusanturien käyttäminen värähtelyn mittauksessa on ollut huomattavasti yleisempää kuin mitä se on tällä hetkellä. Nopeusanturien syrjäytymiseen on vaikuttanut kiihtyvyyssanturien kehitys, koska kiihtyvyyssignaali voidaan nykyään integroida mittalaitteilla helposti nopeussignaaliksi. Tämän vuoksi kiihtyvyyssantureita voidaan käyttää nopeusanturien sijasta. (Nohynek & Lumme 2004, 48.)

Tyypillisesti nopeusanturit ovat kooltaan kiihtyvyyssantureita isompia. Nopeusanturin rakenne perustuu kuoren sisällä olevaan käämiin ja sen sisällä olevaan jousilla kiinnitettyyn magneettiseen massa. Jousimassarakenne seuraa viiveellä värähtelyn liikkeitä, mikä aiheuttaa jännitteen mikä on verrannollinen anturin nopeuteen. Mitattava taajuusalue nopeusantureilla on parhaimmillaan noin 5 Hz-

2000 Hz. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että mitattavaan alarajataajuuteen vaikuttaa anturin sisäisen resonanssi, joka voi olla 3 Hz – 12 Hz. Mittausalueen alarajataajuuden osalta tämä tarkoittaa sitä, että sen tulee olla tämän resonanssitaajuuden yläpuolella. (Nohynek & Lumme 2004, 47-48.)

Kuviossa 11 on esitetty tyypillinen nopeusanturin rakenne.



Kuvio 11 Nopeusanturin rakenne (Nohynek & Lumme 2004, 47)

Yksi nopeusmittauksen menetelmä on myös kosketukseton mittaus, jossa hyödynnetään laservaloa. Tällä menetelmällä pystytään taajuuksia mittaamaan hyvin laajalta taajuusalueelta 0 – 20 kHz. Huomioon ottamisen arvoinen tekijä on kuitenkin lasersäteen takaisinheijastuminen. Tätä ongelmaa voidaan ehkäistä kiinnittämällä mitattavaan pintaan heijastavaa teippiä tai tuomalla mittalaite huomattavan lähelle mittauspintaa. (Nohynek & Lumme 2004, 48.)

5.1.4 Iskusysäysanturi

Iskusysäysanturia voidaan käyttää korkeataajuisien värähtelyjen mittauksessa. Tyypillinen kohde on esimerkiksi vierintälaakereiden kunnonvalvonta (PSK 5703, 2). Kuvassa 3 on nähtävissä esimerkki iskusysäysanturista.



Kuva 3 Iskusysäysanturi (Spminstrument N.D.)

Iskusysäyksen mittaaminen tapahtuu anturilla, jonka ominaistaajuus on 32 kHz. Vastinpinnan vauriokohdan ja vierintäelimen osuminen toisiinsa herättää anturin värähtelyn ominaistaajuudellaan. (Mikkonen ym. 2009, 249.)

5.2 Lämpötilan mittaaminen

Lämpötilan mittaamisen käytetyt menetelmät voidaan jaotella kolmeen eri päätyyppiin: kosketukseen perustuviin menetelmiin, infrapunasäteilyyn perustuviin eli koskettamattomiin menetelmiin sekä lämpökameroihin (Mikkonen. 2009, 440).

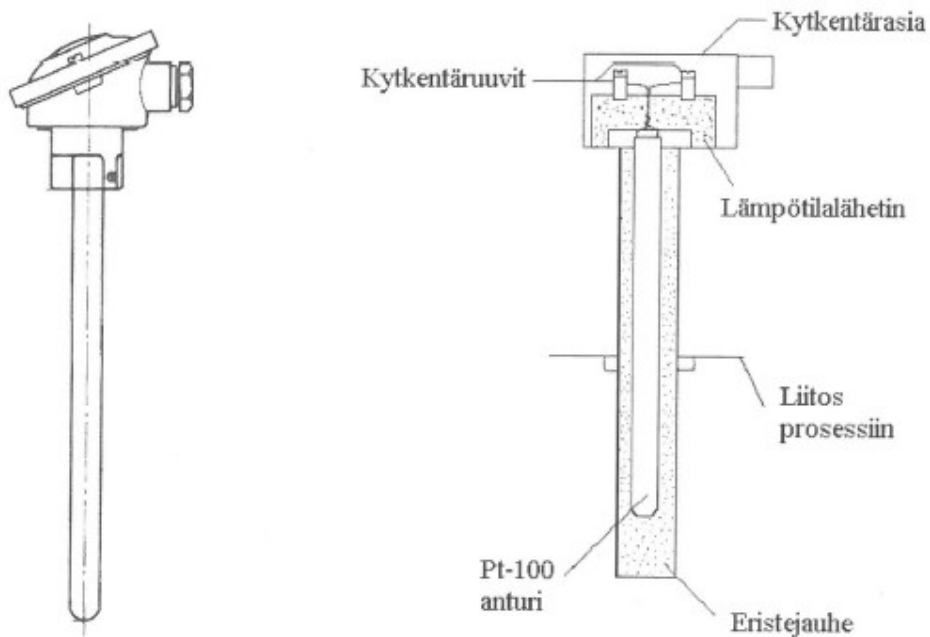
Lämpötilan mittaamista käytetään muun muassa laakereiden kunnonvalvontaan sekä muiden kunnonvalvontamittauksien kanssa täydentävänä tietona. Lämpötilan mittaamista varten on erilaisia kosketuksellisia antureita, infrapunakameroita sekä infrapunamittalaitteita. Kosketukselliset lämpötilamittarit ovat helppokäyttöisiä, mutta niiden käyttö analysoinnin kannalta on hankalaa. Useimmiten lämpötilan mittaamiseen ei voida käyttää kosketuksellista anturia. Lisäksi pitkä asetus-aika rajoittaa niiden käyttämistä. (Nohynek & Lumme 2004, 20.)

Infrapunasäteilyyn perustuvat lämpötilan mittausmenetelmät ovat suosittuimpia teollisuuden kunnonvalvonnassa. Mittaustarkkuudesta riippuen niiden avulla voidaan lämpötilan mittaaminen suorittaa jopa 100 metrin etäisyydellä mitattavasta kohteesta. Säteilyyn perustuvien mittalaitteiden kanssa on kuitenkin perehdyttävä emissiokertoimiin sekä huomioitava heijastuvien lämpöaaltojen aiheuttamat häiriöt mittaustuloksiin. (Nohynek & Lumme 2004, 20.)

5.2.1 Koskettavia lämpötilan mittausmenetelmiä

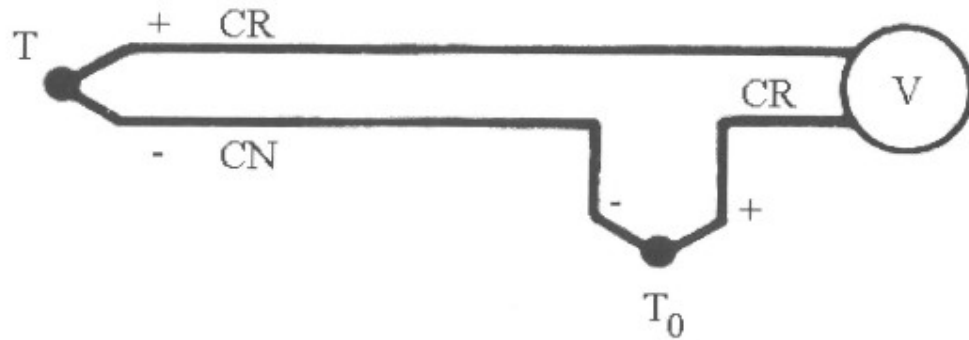
Kosketukseen perustuvat lämpötilan mittausmenetelmät koostuvat lasilämpömittareista, metallivastusantureista, termoparimittauksesta, bi-metallilämpömittareista, termistoreista sekä lämpötilaindikaattoreista (Mikkonen ym. 2009, 440).

Yleisimmin kosketuksella tapahtuvaan lämpötilanmittaamiseen käytetään metallivastusantureita ja termopariantureita. Metallivastusanturit perustuvat anturin resistanssin muuttumisen lämpötilan mukaisesti. Yleisimmät metallivastusantureiden tyypit ovat PT-100 sekä PT-1000. Anturien merkinnät tulevat standardista DIN 43760 ja se merkitsee sitä, että niiden vastusarvo 0°C :ssa on nimensä mukaisesti joko $100\ \Omega$ tai $1000\ \Omega$. Anturin rakenne koostuu keraamisen rungon ympärille kierretystä vastuslangasta. Tämä kokonaisuus on kasattu haponkestävän teräsputken sisään ja sen rakenne on esitetty kuviossa 12. Metallivastusantureilla on vasteaikaa muutamista sekunneista muutamiin minuutteihin riippuen anturin asennustavasta ja tyypistä. Tämän vuoksi sen optimaalinen käyttöpaikka on hitaiden lämpötilamuutosten seuraamisessa, ja se soveltuu käytettäväksi tyypistä riippuen $-250 - 850^{\circ}\text{C}$ alueella. (Mikkonen ym. 2009, 440-441.)



Kuvio 12 PT-100 anturin rakenne sekä asennusesimerkki (Mikkonen ym. 2009, 441)







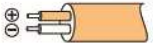
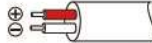


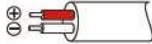









Termoelementtipari muodostuu kahdesta eri metallia olevasta langasta, jotka on yhdistetty toisiinsa galvaanisesti kuten kuviossa 13. Sen toiminta perustuu Seebeckin ilmiöön, joka tarkoittaa sitä, että kun kuumapään eli yhdistetyn pään ja johtimien avoimen pään eli kylmähään välillä on lämpötilaero, muodostuu termopariin termojännitteeksi kutsuttu tasajännite. (Mikkonen ym. 2009, 441)



Kuvio 13 Termoparin toimintaperiaate (Mikkonen ym. 2009, 441)

Termopareja on saatavilla eri lankamateriaaleilla erilaisille lämpötila-alueille väliltä -273 °C - 2200 °C (Mikkonen ym. 2009, 441). Taulukossa 3 on esitetty yleisimmät termoparityypit ja niiden standardoidut kaapelivärikyset.

Taulukko 3 Termoelementtityypit ja kaapelivärit IEC 60584:n mukaisesti (Lappautomaatio 2019.)

Uusi standardi:	IEC 60584-3	DIN EN 60584	ISA MC 96.1
TE-tyyppi	IEC 584	DIN 43714	ANSI MC 96.1
NiCr-Ni / K KCA: Fe-CuNi	 + vihreä/ - valkoinen Vaippa: vihreä	 + punainen/ - vihreä Vaippa: vihreä	 + keltainen/ - punainen Vaippa: keltainen
Fe-CuNi / L		 + punainen/ - sininen Vaippa: sininen	
Fe-CuNi / J	 + musta/ - valkoinen Vaippa: musta		 + valkoinen/ - punainen Vaippa: musta
Pt10Rh-Pt / S SCA: E-Cu/A-Cu	 + oranssi/ - valkoinen Vaippa: oranssi	 + punainen/ - valkoinen Vaippa: valkoinen	 + musta/ - punainen Vaippa: vihreä
Pt13Rh-Pt / R RCA: E-Cu/A-Cu	 + oranssi/ - valkoinen Vaippa: oranssi	 + punainen/ - valkoinen Vaippa: valkoinen	 + musta/ - punainen Vaippa: vihreä
Pt30Rh-Pt6Rh / B BC: S-Cu/E-Cu	 + harmaa/ - valkoinen Vaippa: harmaa		 + harmaa/ - punainen Vaippa: harmaa
NiCrosil-Nisil / N NC: Cu-CuNi	 + v.punainen/ - valkoinen Vaippa: v.punainen		
Cu-CuNi / U		 + punainen/ - ruskea Vaippa: ruskea	
Cu-CuNi / T	 + ruskea/ - valkoinen Vaippa: ruskea		
NiCr-CuNi / E	 + violetti/ - valkoinen Vaippa: violetti	 + punainen/ - violetti Vaippa: violetti	 + violetti/ - punainen Vaippa: violetti

Termoelementtienlankoja jatkettaessa sekä niitä mittalaitteelle liittäessä on huomioitava, että eri lankatyypeillä on käytettävä juuri niille sopivia liittimiä, jotta liitoskohdasta ei muodostu uutta mitattavaa termoparipistettä järjestelmään. (Mikkonen ym. 2009, 441).

5.2.2 Koskemattomia lämpötilan mittaamenetelmiä

Koskemattomiin lämpötilanmittausmenetelmiin kuuluvat infrapuna-anturit sekä mittarit. Niiden toiminta perustuu lämpösäteilyyn, mitä lähettää jokainen kappale

jonka pintalämpötila on yli $-273,15\text{ °C}$ eli absoluuttisen nolapisteen (Mikkonen ym. 2009, 443).

Kuvassa 4 on nähtävissä tyypillinen infrapuna-anturi.



Kuva 4 Infrapuna-anturi (Nokeval 2019)

Lämpösäteilyyn perustuvaa mittausmenetelmää käyttäessä on otettava huomioon kappaleen emissiivisyys. Emissiivisyys tarkoittaa kappaleen säteilemän energian osuutta sen kokonaisenergian määrästä. Toisin sanoen mitä suurempi materiaalin emissiokerroin on, sitä enemmän kappale säteilee lämpöä ja sitä vähemmän se heijastaa ympäristön energiaa. Emissiivisyys ilmoitetaan desimaalilukuna nollan ja yhden väliltä. (Mikkonen ym. 2009, 443 - 444.)

Taulukossa 4 on esitettyä tyypillisimpien materiaalien emissiokertoimia.

Taulukko 4 Emissiokertoimia (Weckström 2005, 51)

Materiaali	Emissiokerroin (ϵ)
Teräs	0,35
Teräs (oksidoinut)	0,85
Ruostumaton teräs	0,30
Ruostumaton teräs (vähän oksidoinut)	0,40
Ruostumaton teräs (oksidoinut)	0,80
Kupari	0,06
Kupari (oksidoinut)	0,80
Alumiini	0,13
Alumiini (oksidoinut)	0,40
Tiili	0,85
Asfaltti	0,85
Iho	0,99
Vesi (syvyys yli 50 mm)	0,95
Puu	0,85

5.2.3 Lämpökamera

Lämpökameralla mitataan kuvauskohteen pinnasta säteilevää lämpösäteilyä. Suurimpana lämpökameran etuna voidaan pitää sen ominaisuutta saada yhdellä mittauskerralla laajan alueen lämpötilatiedot. Lämpökamerassa oleva ilmaisimatriisi eli ilmaisinkenno muuttaa kohteesta säteilevän lämpösäteilynvoimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta saadaan muodostettua reaaliajassa digitaalinen lämpökuva. Rakenteensa puolesta lämpökamerat voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin, jäähdytettyihin ja jäähdyttämättömiin. (Mikkonen ym. 2009, 444 - 445.)

Kuvassa 5 on nähtävissä tyypillinen lämpökameran rakenne.



Kuva 5 Lämpökamera (Infradex 2018b)

Toiminnan puolesta lämpökamerat voidaan myös jakaa kahteen eri päätyyppiin: mittaaviin ja ei-mittaaviin. Mittaavia lämpökameroita käytetään useilla eri sovel-lusalueilla kunnonvalvonnan ja ennakoivan kunnossapidon lisäksi kuten lämpö-prosessien tutkimuksissa, lämpökorreloivien vikojen paikantamisessa sekä kiin-teistöjen kuntotarkastuksissa. Ei-mittaavia lämpökameroita käytetään yleisesti et-sintä- ja valvontalaitteina. (Infradex 2018a.)

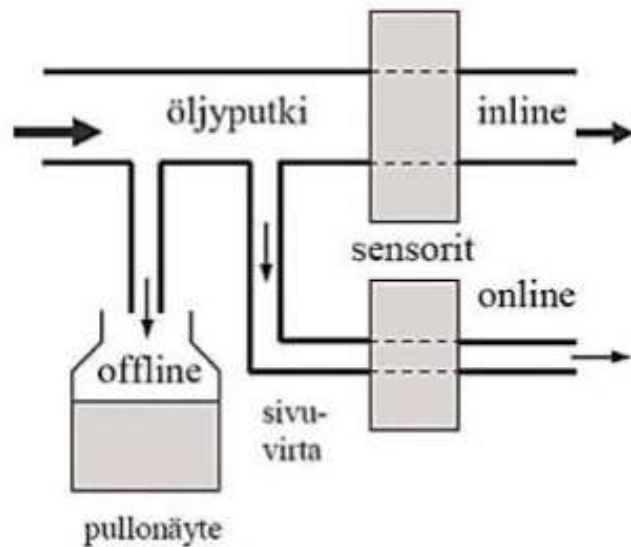
Kunnonvalvonnan kannalta paras mahdollinen tieto saavutetaan käyttämällä ver-tailevaa lämpökuvausta. Vertaileva lämpökuvaus on käytännöllisyyden kannalta paras menetelmä kunnonvalvonnassa, koska aina ei ole välttämätöntä määrittää

kohteen absoluuttista lämpötilaa. Käytännössä vertaileva lämpökuvaaminen tapahtuu vertaamalla kohteen lämpötiloja toisen samanlaisen ja samassa tilanteessa olevan kohteen lämpötiloihin. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää saman kohteen aikaisempia mittauksia vertailutuloksina. (SFS-ISO 18434-1 2011, 15-16.)

5.3 Öljyjen näytteenotto- ja kunnonvalvontatavat

Viime vuosien aikana tapahtunut runsas anturityyppien lisääntyminen on mahdollistanut öljyanalyyseihin inline- ja online-mittauksen. Öljyn kuntoa voidaan analysoida erilaisilla näytteenottomenetelmillä, joita ovat jatkuvaan mittaukseen perustuvat inline ja online sekä laboratoriomittauksissa käytettävä offline. Lisäksi havaintoja voidaan tehdä ihmisaisteihin perustuen. (Luomala ym. 2018, 9-10.)

Kuviossa 14 on esitetty erityyppiset näytteenotto- ja mittausjärjestelmän liityntätavat.



Kuvio 14 Erilaisia mittausjärjestelmän liityntätapoja voitelujärjestelmään (Luomala ym. 2018, 13)

Offline eli putkesta erillisen näytteen ottaminen on ollut aikaisemmin öljyanalysoinnin yleisin ja perinteisin menetelmä. Offline-menetelmässä näyte otetaan erilliseen näytepulloon ja se analysoidaan laboratoriossa.

Pullonäytteiden huonona puolena on useat eri mahdollisuudet näytteen edustavuuden pilaamiseen. (Luomala ym. 2018, 13.)

Online-näytteenottotavalla tarkoitetaan mittauksen suorittamista päävirrasta haarautuvassa sivuvirrassa. Neste voidaan tuoda sivuvirran mittalaitteeseen erillisellä putkella tai letkulla. Inline-analyysillä tarkoitetaan mittausten suorittamista suoraan päävirrasta. Oikein suoritettuna online- ja inline-analyyseillä voidaan välttyä monilta offline-analyyseihin liittyviltä mittaustulosta huonontavilta tekijöiltä. (Luomala ym. 2018, 13-14.)

Online-mittausten avulla voidaan arvioida öljyn ja järjestelmän kunnan muutoksia, kun taas laboratorioanalyysien avulla saadaan yksityiskohtaisia tietoja sen hetkisestä tilanteesta. Suuntauksien selvittämiseen laboratorionäytteillä tarvitaan useita peräkkäisiä näytteenottoja ja analysointeja. (Luomala ym. 2018, 34.)

Jatkuvan öljyn kunnonvalvonnan etuina voidaan pitää muun muassa huoltovälien ajoittamista todellisen kunnan mukaan. Tällä tavoin saavutetaan pitemmät huoltovälit, laitteiden ja öljyjen pitempi käyttöikä. Lisäksi poikkeama havaintojen perusteella voidaan lisätä käyttöturvallisuutta sekä turvallisen toiminnan valvomista. (Luomala ym. 2018, 34.)

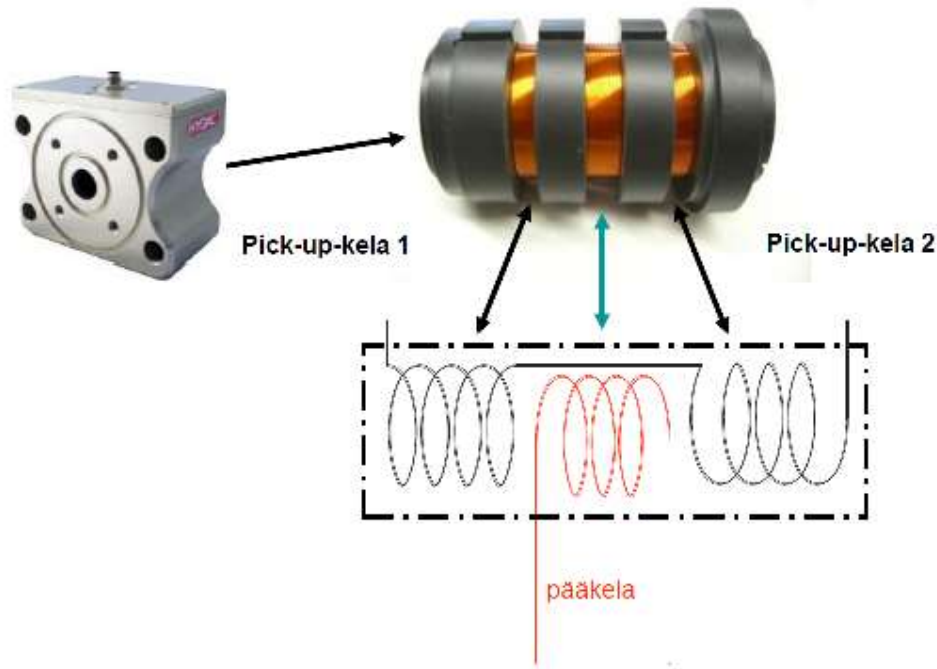
5.3.1 Hiukkasmittaukset

Öljyn hiukkaspitoisuuksia voidaan mitata induktiivisilla antureilla, optisilla hiukkaslaskureilla sekä paine-eroon perustuvalla verkkotukkeuma eli PCM periaatteella.

Induktiivisella periaattella toimivilla antureilla lasketaan anturin läpimenevästä öljyvirtauksesta yksittäisiä metallihiukkasia. Toiminta perustuu öljyn kulkuun anturin virtauskanavan läpi, jossa on magnetointikelat. Magneetikelat luovat magneetikentän, johon kohdistuu muutoksia hiukkasten kulkiessa sen läpi. Virtauskanavan halkaisija vaikuttaa anturin erottelutarkkuuteen. Induktiivisia antureita käytettäessä on myös syytä tiedostaa, että myös öljyssä esiintyvät suurikokoiset ilmakuplat vaikuttavat mittaustulokseen. Osassa antureista voidaan ohjelmallisesti eliminoida ilmakuplien aiheuttamat häiriöt. Tyypillisesti

induktiivisia hiukkasantureita käytetään öljyjen inline-mittauksissa. (Luomala ym. 2018, 21.)

Kuviossa 15 on esitetty induktiivisen hiukkaslaskurin rakenne.



Kuvio 15 Hydacin induktiivisen hiukkaslaskurin rakenne (Hydac N.D.)

Optisella periaatteella toimivien hiukkaslaskurien toiminta perustuu öljyn virtaukseen anturin lävitse, jonka toiselta puolelta ohjataan valoa öljyn läpi ja toiselta puolelta mitataan kuinka paljon valoa öljyn läpi pääsee tulemaan. Hiukkasien mennessä öljyn virtauksen mukana osa valosta ei pääse vastaanottimelle asti, minkä perusteella voidaan määrittää hiukasten koko. Optisia hiukkasmittauksia käytetään yleensä online-tyyppisesti. (Luomala ym. 2018, 23.)

PCM-tyyppisiä verkkotukkeumaperiaatteeseen perustuvia puhtausanalysointilaitteita käytetään tyypillisesti kannettavina offline- sekä online-mittauksissa. Niiden toiminta perustuu kalibroituun verkkoon, jonka yli muodostuu epäpuhtauksien vaikutuksesta paine-ero. Useasti PCM-mittaukseen on puhtauden lisäksi liitettyä viskositeetin, kosteuden ja lämpötilan mittaaminen. (Luomala ym. 2018, 24.)

5.3.2 Vesipitoisuuden mittaaminen

Öljy voi sitoa itseensä vettä tiettyyn pisteeseen asti ennen kuin se alkaa erottua vesipisaroina. Sitoutuvan veden määrään vaikuttaa öljyssä käytetty lisäaineistus ja lämpötila. Vesipitoisuutta mitataan tyypillisesti öljystä kapasitiivisillä antureilla, infrapunamenetelmällä tai PPM-vesipitoisuusantureilla. (Luomala ym. 2018, 25.)

Kapasitiivisen anturien avulla voidaan määrittää öljyn sisältämä vesipitoisuus. Kapasitiivisen anturin sähköpiirin kapasitanssi muuttuu öljyn sisältämän vesipitoisuuden muuttuessa. Tämän ilmiön avulla voidaan määrittää öljyn sisältämän veden saturaatioprosentti. Mitä suurempi saturaatioprosentti on, sitä enemmän öljyyn on saturoitunut vettä. (Luomala ym. 2018, 25.)

IR eli infrapunamenetelmällä tehdyn mittauksen toimintaperiaate perustuu veden kykyyn absorboida tietyllä aallonpituudella olevaa infrapunasäteilyä. Mittauksen toteutus tapahtuu samalla tyylillä kuin optisessa hiukkasmittauksessakin. Öljyä johdetaan mittauspisteen läpi, jonka toisella puolella on infrapunasäteilijä ja toisella ilmaisim. Infrapunasäteilyä syötetään kahdella eri aallonpituudella, joista toisella vesi absorboi säteilyä ja toisella ei. Tätä menetelmää käytettäessä on tiedostettava, että laitteisto on kalibroitava jokaiselle öljytyypille erikseen. Tätä voidaan pitää sen ongelmana. (Luomala ym. 2018, 25.)

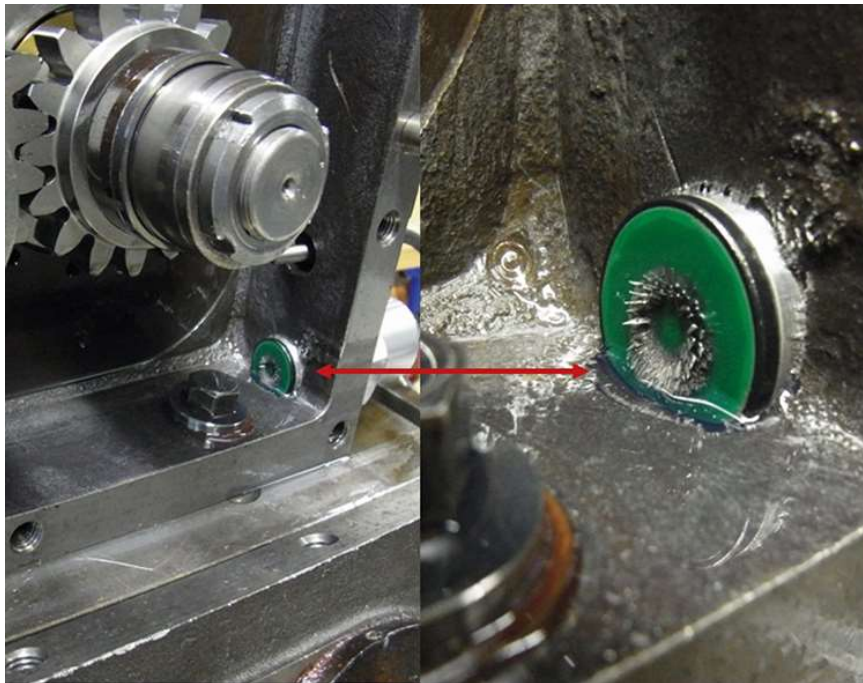
Vesipitoisuusanturilla voidaan mitata absoluuttista vesimäärää öljyssä. Tätä menetelmää käytettäessä on hyvä tiedostaa, että mittaustuloksesta ei saada selville, onko vesi sitoutuneena öljyyn vai vapaassa muodossa. Mittaustulos ilmoitetaan prosentteina tai yksikkönä ppm, eli part per million. (Luomala ym. 2018, 25.)

5.3.3 Magneettisiin pohjatulppiin perustuvat anturit

Moottoreista ja vaihteistoista tuttuun magneettiseen pohjatulppaan eli proppuun perustuen on kehitetty öljynkunnonvalvontaan ensin induktiivinen kytkin, jonka avulla pystyttiin saamaan kytkintieto silloin kun rautaa alkoi kertyä anturin päähän. 2000-luvulla kehitystä on viety vielä tästä eteenpäin induktiivisen anturin

muotoon. Induktiivisen anturin avulla saadaan analogista signaalia anturin pinnalle kertyneen raudan mukaisesti. Signaalista voidaan karkeasti erotella myös hiukkasten kokoa. Anturit voivat olla varustettuna automaattisella tai ohjatulla demagnetoinnilla, jonka avulla voidaan vapauttaa hiukkaset anturista. (Luomala ym. 2018, 26.)

Kuvassa 6 on nähtävissä magneettiseen pohjaprooppuun perustuvan induktiivisen anturin asennus ja toimintaesimerkki.



Kuva 6 Magneettiseen pohjatulppaan perustuva induktiivinen anturi OPCom FerroS (Argo-hytos N.D.)

5.3.4 Ilmapitoisuuden mittaaminen

Perinteisesti öljyn ilmapitoisuutta on mitattu offline-tyyppisesti menetelmällä, joka perustuu öljyn tiheyden mittaamiseen. Ilmapitoisuus määritellään vertailemalla ilmapitoista öljynäytettä ilmattoomaan öljyyn. Nykyään öljyn ilmapitoisuuden määrittämiseen on kehitelty erilaisia ei-standardisoituja menetelmiä, joita on alla esiteltynä lyhyesti. (Luomala ym. 2018, 27.)

Öljyn ilmapitoisuutta voidaan mitata valonläpäisevyyteen perustuvalla mittauksella. Siinä öljyä ohjataan virtaamaan läpinäkyvään putkeen, jonka toiselta puolelta kohdistetaan öljyyn kirkasta valoa ja vastapuolella valoa vastaanottaa valoherkkä anturi. Anturilla mitataan öljyn läpi tulevaa valon intensiteettiä. Tällä tavoin mitattuna on kuitenkin syytä tiedostaa, että muuttuvat olosuhteet tulevat vaikuttamaan mittaustulokseen. Lisäksi menetelmää voidaan käyttää vain vertailumittauksiin. (Luomala ym. 2018, 27.)

Massavirta-anturia voidaan myös käyttää öljyn ilmapitoisuuden mittauksessa perustuen tiheyden mittaamiseen ja ilmapitoisuuden aiheuttamien muutoksien tunnistamiseen öljyn tiheydessä. Tyypillisesti tätä menetelmää käytetään laboratorioissa offline-mittauksissa, mutta jossain määrin sitä voidaan soveltaa myös online- ja inline-mittauksiin. Etuna voidaan pitää oikein mitoitettua anturin mitätöntä haittavaikutusta itse öljyn virtaukseen. (Luomala ym. 2018, 29.)

Optisia lediin tai laservaloon perustuvia antureita voidaan myös käyttää ilmakuplien määrän, koon ja kokojakaukaman mittaamiseen. Näiden tietojen avulla voidaan laskea öljyn sisältämä ilmapitoisuus. Menetelmän etuna voidaan pitää ilmakuplien kokojakaukamaa ja koosta saatua erillistietoa. Rajoitteena pidetään mittauksen soveltumista vain rajoitetulle aikasyklille, jolloin sitä ei voida käyttää jatkuvaan mittaukseen. (Luomala ym. 2018, 29.)

Paperiteollisuudesta sovellettua menetelmää massojen ilmapitoisuuden määrittämisestä on myös käytetty öljyn ilmapitoisuuden määrittämiseen. Tätä menetelmää käytetään offline-tyyppisesti kentällä prosessilaitteiden läheisyydessä prosessin ollessa käynnissä. Toiminta perustuu näytteen kokoonpuristumiseen puristusylinterissä. Ilmapitoisuus lasketaan sylinterin paineen muutoksen ja puristusylinterin männän liikematkan perusteella. Lisäksi näytteestä mitataan myös lämpötila. Näytteen käyttäytymistä verrataan ilmattoman öljyn käyttäytymiseen. (Luomala ym. 2018, 30.)

5.3.5 Viskositeetin mittaaminen

Öljyn viskositeetin online-tyyppiseen mittaukseen on nykyään kehitelty useampia erilaisia mittaamenetelmiä. Useimmiten viskositeetin mittaamiseen käytetään paine-eron mittaamista öljyn virtauksessa olevan mittakuristimen avulla (Luomala

ym. 2018, 31). Öljyn viskositeetin mittaamiseen sovelletaan myös antureita, jotka perustuvat värähtelyn mittaamisesta tuttuun pietsosähköiseen ilmiöön. Näitä antureita ovat QMB (Quartz-Microbalance sensor), SAW (Surface-Acoustic-Wave-sensor) sekä TSM (Thickness-Shear-Mode-Sensor). Tämän tyyppisten anturien toiminta perustuu värähtelijän vaimenemiseen kohdatessaan eri viskositeetin omaavia nesteitä. (Drafts 2000; Afflekt 2010, 29-30; Luomala ym. 2018, 31-32.)

5.3.6 Sähköisien ominaisuuksien mittaaminen

Öljyn kuntoa voidaan seurata mittaamalla myös sähkönjohtavuutta ja suhteellista dielektrisyyttä. Öljyn vanhetessa sen polaarisuus muuttuu. Suhteellisen dielektrisyyden mittaamisella voidaan määrittää öljyn polaarisuus ja tätä voidaan käyttää hyväksi seurattaessa öljyn vanhenemista. Tätä menetelmää käyttäessä on kuitenkin tiedostettava, että eri öljyvalmistajien öljyjen polaarisuudet eroavat toisistaan. Toisaalta tätä voidaan käyttää myös hyväksi väärän öljyn tai öljysekoitusten havaitsemiseksi. Yleisimmin dielektrisyyden mittaamisessa käytetään kapasitiivisia antureita. (Luomala ym. 2018, 32.)

Puhtaan öljyn sähkönjohtavuuteen vaikuttavat lisäaineistus ja öljytyyppi. Käytännössä kaikissa puhtaissa ja uusissa öljyissä sähkönjohtavuus on matala. Öljyn vanhetessa sen sähkönjohtavuus alkaa lisääntymään ja näin ollen sähkönjohtavuuden mittaamisella voidaan seurata öljyn vanhenemista. (Luomala ym. 2018, 32.)

Öljyn sähköisiä ominaisuuksia mitattaessa on huomioitava, että suhteellinen dielektrisyyden on riippuvainen öljyn tiheydestä ja lämpötilasta. Tämän vuoksi tulee online-mittauksissa saatuja arvoja verrata referenssilämpötilan arvoon. Sähkönjohtavuuden kannalta on myös huomioitava, että viskositeetin nousu vaikuttaa sähkönjohtavuuteen alentavasti. Tästä syystä sähkönjohtavuus mittauksissa mitausarvo tulee vakioda referenssilämpötilaan. (Luomala ym. 2018, 32.)

6 KEVITSAN KUNNONVALVONTASOVELLUKSIEN NYKYTILA

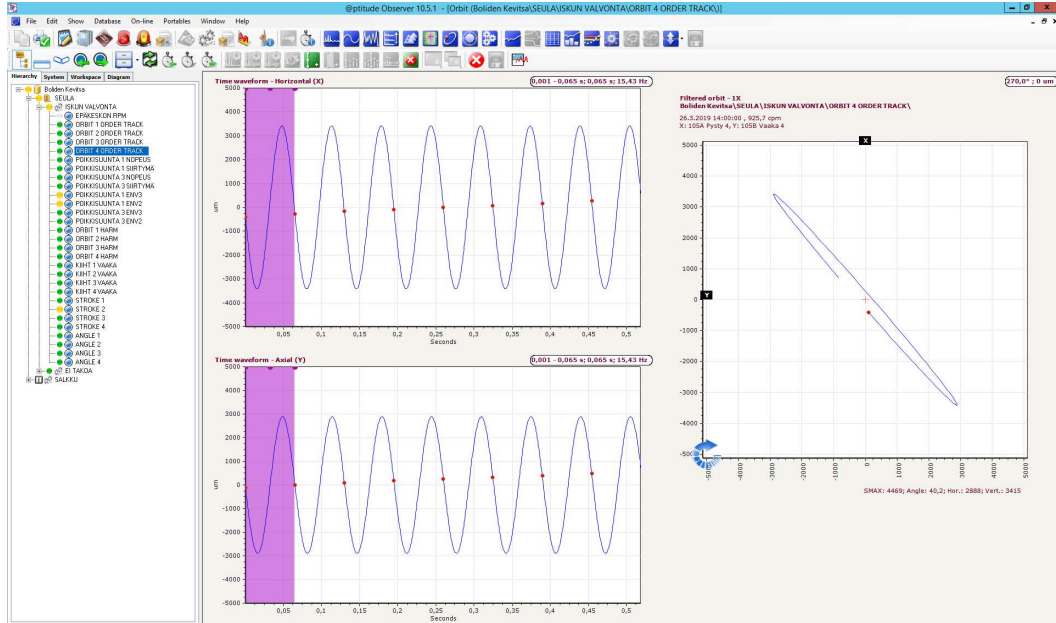
Kaivoksen rikastamon kunnonvalvontasovellukset rakentuvat tällä hetkellä online-tyyppisistä värähtelyn mittauksista myllyillä ja seulalla, määräajoin tehtävistä offline-värähtelyn mittauksista pisteeltä pisteelle tyypillisesti ja vikaantumisien yhteydessä suoritettavista värähtelyn mittauksista kannettavalla SKF QuickCollectilla. Lisäksi kunnonvalvontaan liittyen on käytössä infrapunalämpömittari, endoskooppi sekä stroboskooppi.

6.1 Värähtelymittaukset

Kevitsassa on käytössä kunnonvalvontaan liittyen SKF:n @ptitude Monitoring Suite-järjestelmään kuuluvat Analyst ja Observer. Lisäksi on myös yksittäisiä värähtelyn mittauksia kytkettynä käytössä olevaan Siemens S7-400 logiikkaan. Logiikkaan kytketyt mittaukset ovat monitoroitavissa Siemensin prosessivisualisointiin tarkoitetun WinCC valvomo-ohjelmiston kautta.

Seulaa valvotaan online-värähtelymittauksin, joiden mittausdata tallentuu tarkastelua varten pilvipalvelu pohjaiseen Observer-ohjelmistoon. Kevitsan henkilökunnalla on mahdollista tarkkailla mittaustuloksia Observeristä, mutta myös SKF:n asiantuntijat seuraavat saatuja mittaustuloksia ja raportoivat mahdollisista häiriöistä ja havainnoista. Mittaustuloksista saatujen kuvaajien analysoimiseksi on erilaisia työkaluja sekä mahdollisuuksia asettaa varoitus- ja hälytysrajoja.

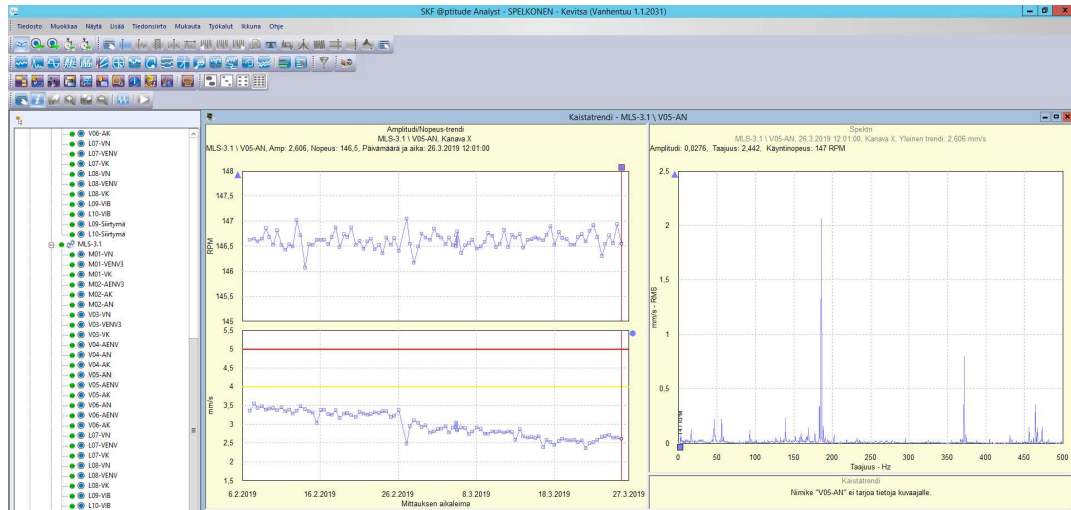
Kuvassa 7 on nähtävissä Observer-ohjelmiston käyttöliittymää.



Kuva 7 Observerin-ohjelmiston käyttöikkuna

Rikastamon alueella suoritetaan myös värähtelymittauksia reittimittaustyyppi-
sesti siirrettävällä anturilla pisteeltä pisteelle. Mittauksien piiriin kuuluvat kuljetti-
miin, pumppuihin, puhaltimiin, sekoittajiin, myllyihin sekä murskiin liittyviä moot-
toreita, vaihteita sekä laakerointeja. Mittauksia suoritetaan kahden kuukauden
välisin määräajoin SKF:n toimesta. Mittauksista saatu data siirretään ja analysoidaan
Analyst-pilviohjelmistoon, josta myös Kevitsan henkilökunta voi seurata
saatuja mittaustuloksia erilaisten työkalujen avulla. Offline-mittausdatan lisäksi
Analystiin voidaan tuoda ja analysoida online-mittauksista saatua dataa. Analys-
tissä online-mittauksien piirissä ovat tällä hetkellä myllyjen moottorit sekä vaih-
teet.

Kuvassa 8 on nähtävissä Analystin käyttöliittymää mittaustietoineen.



Kuva 8 Analyysin käyttöliittymä

Värähtelyn mittaamiseksi erityisesti vikaantumisien ja tarkastuksien yhteydessä käytetään rikastamon kunnonvalvonnassa SKF kannettavaa QuickCollect mittalaitetta, joka on nähtävissä kuvassa 9.



Kuva 9 SKF QuickCollect

QuickCollect on tarkoitettu nopeasti suoritettavaan värähtelyn mittaamiseen. Mittauksen data siirretään bluetoothin kautta älypuhelimelle tai tablettiin tarkastelta-

vaksi. Mittauspisteestä saatavaa dataa voidaan tarkkailla jo mittauspaikalle esimerkiksi puhelimen kautta tai siirtää myöhempää analyysiä varten pilvipalveluun. Värähtelyn lisäksi mittapisteestä saadaan mitattua pintalämpötila. (SKF 2017.)

6.2 Voiteluöljyjen kunnonvalvonta

Kaivoksen rikastamolla voiteluöljyjen kuntoa seurataan ottamalla offline-tyyppisesti pullonäytteitä. Näytteitä otetaan oman henkilökunnan ja voiteluaineiden toimittajan Telkon toimesta noin 6 kuukauden välein myllyjen sekä murskien voitelukierroista. Lisäksi vikatilanteiden sattuessa näytteitä voidaan ottaa vikaantuneista laitteista. Näytteet lähetetään analysoitavaksi Castrolin laboratorioon. Näytteiden perusteella saadaan käytetyn öljyn laatu selville, mutta suhteellisen harvan näytteenottovälin vuoksi näistä näytteistä saatujen tuloksien perusteella on hyvin hankalaa tehdä tehokkaita ja ajankohtaisia päätöksiä laitteen kunnonvalvonnan osalta. (Sivonen 2019.)

7 KEVITSAN KUNNONVALVONTASOVELLUSTEN LAAJENTAMINEN

Työtä tehdessä huomio kiinnittyi siihen, että suurimmat kunnonvalvontaan liittyvät kehittymismahdollisuudet kaivoksen rikastamolla voisivat olla öljyn kunnonvalvontaan panostamisessa. Voiteluöljyjen kunnonvalvonnan avulla voidaan esimerkiksi hitaiden akselien viat havaita aikaisemmin kuin pelkän värähtelymittauksen avulla. Mahdollisimman tehokas ratkaisu voitaisiin saavuttaa käyttämällä kriittisimmissä laitteistoissa voiteluöljyjen kunnonvalvonnan lisäksi värähtelyn sekä lämpötilan mittaamista. Mahdollisuuksien mukaan kunnonvalvonta voitaisiin toteuttaa tärkeimmissä kohteissa kiinteillä online-mittauksilla voiteluöljyjen ja värähtelyn osalta. Lisäksi näiden tueksi voitaisiin ottaa käyttöön määrääjain sekä muutoksia havaittaessa kohteiden lämpökuvaaminen.

Esimerkiksi myllyjen vaihteistot ovat jo online-mittauksessa värähtelyn osalta. Tämän tueksi ne voitaisiin liittää online-mittaukseen voiteluöljyjen partikkeleiden mittauksen sekä öljynlaadun kuten kosteutta, sähkönjohtavuutta ja dielektrisyyttä mittaavien anturien avulla.

7.1 Voiteluöljyjen kunnonvalvonta

Voiteluöljyjen kunnonvalvonta Kevitsan rikastamolla voisi rakentua kriittisimpien kohteiden liittämistä online-mittaukseen sekä kannettavan mittalaitteen tai kenttälaboratorion hankkimisesta. Online-valvonta voidaan toteuttaa joko palveluntarjoajien valmiina paketteina, jotka perustuvat anturipakettien mittaustiedon siirtämisestä keskusyksikön kautta pilvipalveluihin tai vaihtoehtoisesti irtonaisten antureiden hankkimisena ja niiden liittämisenä osaksi rikastamon automaatiojärjestelmää. Tässä työssä tuodaan esille kummallakin tavalla toteuttavissa olevia ratkaisuja.

Kenttälaboratoriota tai kannettavaa mittalaitetta voitaisiin käyttää niiden laitteiden öljyjen analysoimiseen, joita ei koeta järkeväksi liittää online-valvonnan piiriin. Lisäksi niitä voitaisiin käyttää tukena tilanteissa, jossa online-valvonnan piirissä olevan laitteen voiteluöljyssä alkaa ilmetä muutoksia.

Opinnäytetyötä tehdessä selvisi myös, että Kevitsan kaivoskonekorjaamolla on käytettävissä öljynäytteille tarkoitettu kannettava hiukkaslaskin Pamas S40 sekä mikroskooppi membraaninäytteiden tarkasteluun. Tulevaisuuden kannalta yksi varteen otettava vaihtoehto voisi olla yhteisen on-site öljynanalysointi laboratorion perustaminen kaivoskonekorjaamon ja rikastamon kesken. Laboratorio voisi perustua Pamas S40-hiukkaslaskuriin, mikroskooppiin ja erikseen hankittavaan öljyn suhteellista kosteutta mittaavaan mittalaitteeseen.

Mittalaitteita ja antureita valittaessa on luonnollisesti kiinnitettävä huomioita niiden sopivuuteen muun muassa erilaisten öljyjen viskositeettien kanssa. Esimerkiksi partikkelilaskureiden valinnassa on tärkeää huomioida, että ne soveltuvat käytössä olevien öljyjen viskositeeteille. Tässä työssä esiteltävät mittalaitteet ja anturit ovat sopivia rikastamolla yleisimmin käytettyjen öljyjen kanssa, joista viskositeetiltaan jäykintä on Castrolin Optigear Synthetic PD 320 sen viskositeetin ollessa 40 °C:ssa noin 320 mm²/s.

7.1.1 DB Santasalo GearWatch

David Brown Santasalo tarjoaa voiteluöljyjen kunnonvalvontaan GearWatch järjestelmää, joka on kehitetty erityisesti vaihteistojen voiteluöljyjen kunnonvalvontaan.

GearWatch-paketteja on saatavana kolmena erilaisena kokoonpanona, jotka ovat Standard, Oil Monitoring sekä Pro. Standard-paketti perustuu induktiiviseen partikkelilaskuriin, jolla voidaan havaita partikkeleita alkaen koosta 70 µm. Induktiivisella anturilla voidaan partikkeleita jaotella ei-ferromagneettisten ja ferromagneettisten kesken. Lisäksi se on immuuni öljyssä oleville ilmakuplille, sekä sisältää myös öljyn lämpötilan mittauksen. Tyypillinen asennuspaikka on sivukierrossa ennen öljynsuodatinta. (DBSantasalo 2019.)

Kuvassa 10 nähtävissä GearWatchin tyypillinen asennus öljynkierrossa ennen suodatinta.



Kuva 10 Standard-paketti asennettuna pilottikokeiluun sekoittajan vaihteeseen (Koivuvirta 2019.)

Oil Monitoring-paketti sisältää partikkelilaskurin lisäksi öljyn lauanturin, joka mittaa öljystä lämpötilaa, dielektrisyysvakiota, suhteellista kosteutta sekä sähköjohtavuutta. Analyseista saadaan selville öljyn kontaminoituminen muiden nesteiden kanssa sekä öljyn ikääntyminen. Asennus voidaan tehdä erillisenä lohkon kanssa tai öljynanalysointiyksikköön yhdessä partikkelilaskurin kanssa kuten kuvassa 11. (DBSantasalo 2019.)



Kuva 11 Analysointiyksikkö sisältäen partikkelilaskurin, sekä öljynlauanturin (DBSantasalo 2019)

Pro-paketti on täysin räätälöitävissä asiakkaan toiveiden mukaisesti. Siihen voidaan liittää partikkelilaskurin ja öljynlaatuanturin lisäksi myös värähtely-, paine-, sekä kuormitusmittauksia. (DBSantasalo 2019.)

GearWatchiin on saatavissa kahta erilaista keskusyksikköä, DBS100 ja DBS200. DBS100:ssa on partikkelilaskurille sekä öljynlaatuanturille Modbus-tulot sekä tulo rpm-anturille. DBS200:ssa on näiden lisäksi myös analogiatulo kolmelle erilliselle lämpötila-anturille sekä yksi analogiatulo öljynpaine-anturille. Lisäksi siihen saadaan liitettyä kuormituksen mittaus sekä kahdeksan kappaletta IEPE-värähtelyantureita. Kumpaankin keskusyksikkötyyppiin voidaan liittää useita öljynlaatuantureita sekä partikkelilaskureita Modbusin kautta. Liittimet ovat DBS100:ssa M12-tyyppisiä, sekä DBS200:ssa AMPSEAL-tyyppisiä. (DBSantasalo 2019.)

Kuvassa 12 on nähtävissä GearWatch keskusyksikön rakenne.

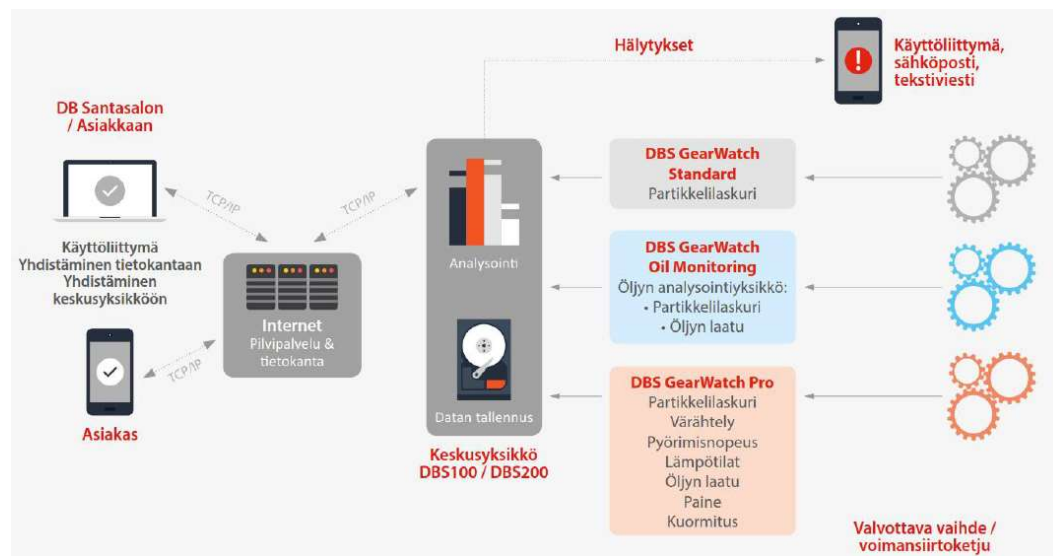


Kuva 12 GearWatch keskusyksikkö (DBSantasalo 2019)

GearWatch anturien data tallennetaan keskusyksikköön analysointia varten ja siirretään pilvipalveluun käyttäen TCP/IP tietoliikenneprotokollaa. Mittausdatan

trendit ovat nähtävissä käyttöliittymästä, joka on pilvipalvelu tyyppinen. Käyttäjälle pystytään asettamaan räätälöitävät hälytysrajat, joiden ylittäminen antaa hälytyksen käyttöliittymän lisäksi sähköpostina sekä tekstiviestinä. (DBSantasalo 2019.)

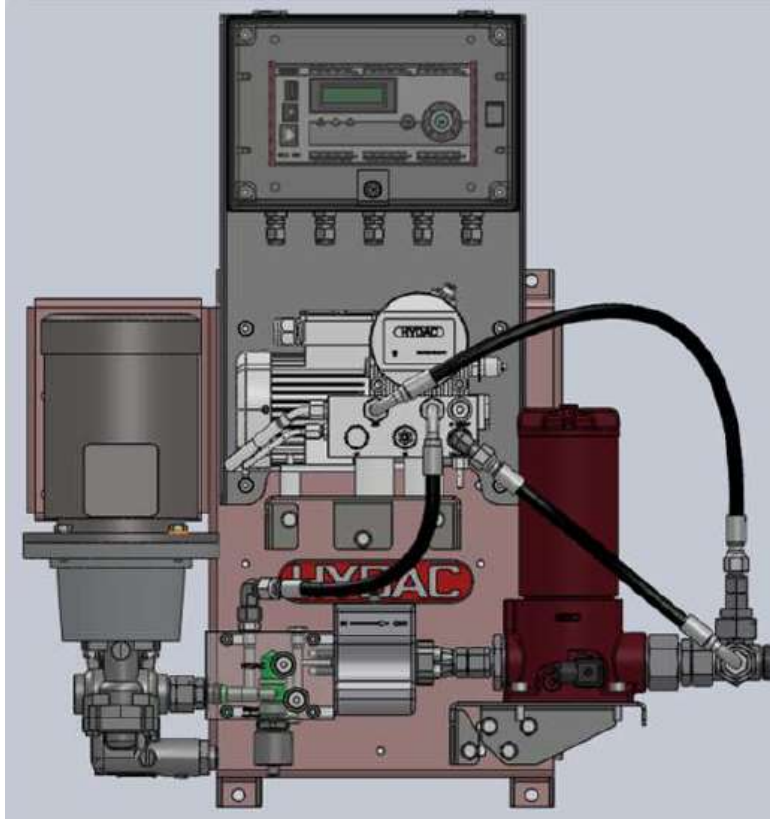
Kuviossa 16 on tiivistettynä GearWatch järjestelmän toiminta.



Kuvio 16 GearWatch tiivistettynä (DBSantasalo 2019)

7.1.2 Hydac

Hydac tarjoaa öljyjen kunnonvalvontaan erilaisia antureita, kannettavia mittalaitteita sekä valmiita anturipaketteja. Kaivoksen rikastamon kohteisiin suositellaan online-valvonnaksi Hydacin modulaarista kunnonvalvontakonseptia, johon asiakas voi valita haluamansa anturit, erillisen kiertopumpun, dataloggerin sekä suodattimet. Asennus tehdään voitelukierron sivuvirtaan, jolloin kunnonvalvontamittaukset eivät häiritse voitelukierron toimintaa edes vikaantuessaan. Sovelluskohteita voi olla muun muassa vaihteistot, hydraulimoottorit, pumput sekä laakeroinnit. Esimerkki kunnonvalvontakonseptin rakenteesta on nähtävissä kuviossa 17.



Kuvio 17 Hydac modulaarinen kunnonvalvontakonsepti (Hydac N.D.)

Kaivoksen rikastamon kohteiden tapauksessa suositellaan konseptiin valittavaksi seuraavia Hydacin antureita ja anturityyppejä: öljynkunnonvalvonta-anturi HydacLab tai vesianturi AS1000, metallianturi MCS ja öljynpuhtausanturi CSM. Tarkat anturimallit tuldtisiin määrittelemään tapauskohtaisesti.

HydacLab-öljynkunnonvalvonta-anturilla mitataan öljyjen dielektrisyyden muutosprosenttia, jatkuvaa dielektrisyyttä, sähkönjohtavuutta, öljyn suhteellista kosteusprosenttia sekä lämpötilaa (Hydac 2018a). HydacLab-anturi on nähtävissä kuvassa 13.



Kuva 13 HydacLab-öljynkunnonvalvonta-anturi ja AS1000-vesianturi (Hydac 2018a; Hydac 2018b)

HydacLab-anturin sijasta voidaan valita edullisempi AS1000-vesianturi, joka on nähtävissä kuvassa 13. AS1000-anturilla mitataan öljyssä olevaa suhteellista kosteusprosenttia ja öljyn lämpötilaa. Molempien anturien mittaussignaalit ovat vietävissä automaatiojärjestelmään analogisena virtaviestinä 4-20 mA. (Hydac 2018b.)

Öljyssä olevien partikkeleiden mittaamiseksi suositellaan konseptiin MCS-mallin partikkelilaskuria, joka on nähtävissä kuvassa 14. Esimerkiksi MCS 1300 -mallilla pystytään mittaamaan ferriittiset partikkelit alkaen partikkelikoosta 70 μm ja ei-ferriittiset partikkelit alkaen partikkelikoosta 200 μm . MCS-anturissa on kaksi konfiguroitavaa kosketinta digitaalisen mittaussignaalin viemiseksi automaatiojärjestelmään laskuritietona. Lisäksi konseptiin suositellaan valittavaksi pienempien partikkeleiden mittaamiseksi esimerkiksi CSM 1000 -sarjan öljynpuhtausanturi, jolla voidaan mitata partikkeleita >4, >6, >14 ja >21 μm koko luokissa. Mittaussignaali on vietävissä automaatiojärjestelmään esimerkiksi analogisena virtaviestinä 4-20 mA tai jänniteviestinä 2-10 V. (Hydac 2016a; Hydac 2016b.)



Kuva 14 MCS 1000 - ja CSM 1000 -sarjan antureita (Hydac 2016a; Hydac 2016b.)

Kannettavien mittalaitteiden osalta Hydac tarjoaa FCU 1000 -sarjan malleja, josta esimerkki on nähtävissä kuvassa 15. FCU 1000 -sarjan kannettavalla mittalaitteella voidaan öljynäytteestä mitata öljyn lämpötilan ja veden saturaatioprosentin lisäksi partikkeleita ISO 4406 ja SAE AS 4059 standardin mukaisesti. (Hydac 2016a; Hydac 2017.)

Lisäksi aikaisemmin mainitut CSM-sarjan mittalaitteet ovat käytettävissä kannettavinkin versioina. CSM-sarjan mittalaitteista on saatavissa mallista riippuen samat mittaustiedot kuin FCU 1000 -sarjan malleistakin. CSM-sarjan mallien etuna on kyky analysoida viskositeetiltaan jäykempiä öljyjä kuin FCU 1000 -sarjan laitteilla. CSM-sarjan malleilla voidaan analysoida öljyjä viskositeetiltaan aina 1000 mm²/s asti FCU 1000 -sarjan 350 mm²/s sijasta. (Hydac 2016a; Hydac 2017.)



Kuva 15 FCU 1000 -sarja (Hydac 2017.)

7.1.3 Pamas

Pamas tarjoaa erilaisia antureita, kannettavia mittalaitteita sekä laitteita onsite-laboratorion perustamiseen.

Online-hiukkaslaskentaan Pamas tarjoaa S50-mallin optista hiukkaslaskinta, joka on nähtävissä kuvassa 16. Se soveltuu käytettäväksi hydraulii- sekä voiteluöljyille maksimissaan viskositeetiltaan 1000 mm²/s asti. S50-hiukkaslaskimen toiminta perustuu leveälasertekniikkaan ja se mittaa partikkelit koko öljykanavan leveydeltä kahdeksalla eri kokoluokalla, joita ovat >4, >6, >10, >14, >21, >25, >38, ja >70 µm. Partikkelimäärätiedon mittaussignaalit voidaan siirtää ohjelmoitavalle logiikalle tai tietokoneelle. Lisäksi analyysiohjelmalla voidaan mittaustulokset tallentaa ja visualisoida kuvaajiksi sekä taulukoiksi, josta tuloksien kehittyminen on selvästi nähtävissä. Anturissa on myös näyttö, joka indikoi hiukaskokoja ja niiden määrää virtaavassa öljyssä. (Pamas 2018b.)



Kuva 16 Pamas S50 (Pamas 2018b.)

S50-anturin mittaussignaalin siirtoon voidaan käyttää RS-485 liitintä tai lisävarusteena saatavaa analogialiitintä 4-20 mA virtaviestillä. Mittaustieto on saatavissa rinnakkaisilla ulostulosignaaleilla >4, >6, >14 ja >70 µm partikkeleille ISO 4406 puhtausluokan mukaan, tai vaihtoehtoisesti yhdestä liitännästä kaikkien kahdeksan kokoluokan mukaisesti. S50-hiukkaslaskinta on saatavana myös S50P-mallina, joka soveltuu käytettäväksi paineettomiin järjestelmiin sisäisen näytevirtauspumpun vuoksi. (Pamas 2018b.)

Pamasin kautta on saatavana myös öljyjen online-kunnonvalvontaan Vaisalan MMT162-anturia, jolla voidaan voitelu-, hydraulikka- ja muuntajaöljyjen kosteutta ja lämpötilaa mitata reaaliajassa. MMT162-anturin mittaussignaalin tiedonsiirto voidaan toteuttaa analogisilla jännite- ja virtaviesteillä tai käyttämällä RS-485 liitintä. (Vaisala 2018.)

Kuviossa 18 on nähtävissä MMT162-anturin rakenne sekä tiedonsiirtomahdollisuudet.



Outputs

Analog outputs (two channels)

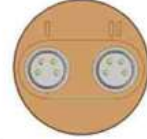
current output 0 ... 20 mA, 4 ... 20 mA

voltage output 0 ... 5 V, 0 ... 10 V

Alarm level indication by analog signal user selectable

Digital outputs RS-485, non-isolated, Vaisala protocol, MODBUS RTU protocol

Pin	I	II
1	V _{supply}	V _{supply}
2	Ch 1	RS-485 - /B
3	GND	GND
4	Ch 2	RS-485 + /A



Kuvio 18 Vaisala MMT162 (Vaisala 2018.)

Onsite-laboratorion kannalta rikastamon öljyn kunnonvalvonnan osalta voitaisiin mahdollisesti hyödyntää kaivoskonekorjaamolla olevaa Pamas S40 -kannettavaa hiukkaslaskinta. S40-hiukkaslaskimella voidaan hiukkasmäärät mitata öljystä kahdeksalla eri kokoluokalla. Mittaus perustuu optiseen koko öljynäytteen mittaavaan lasersensoriin. Mittaukset voidaan suorittaa offline-tyyppisesti otetusta pulonäytteestä tai tapauksesta riippuen suoraan öljyjärjestelmästä. Mittauksista saatavat tulokset voidaan siirtää suoraan taulukkomuodossa tietokoneelle tai tulostaa laitteen sisäisellä tulostimella paperille. Analysoitavan öljyn viskositeetin yläraja laitteen mallista riippuen voi olla aina 1000 mm²/s asti (Pamas 2018a.)

Kuvassa 17 on nähtävissä Pamas S40 -kannettava hiukkaslaskuri.



Kuva 17 Pamas S40 (Pamas 2018a.)

Hiukkaslaskimen tueksi onsite-laboratorioon sekä siirrettäviin mittauksiin Pamas tarjoaa Vaisalan MM70 -kannettavaa öljynkosteusmittaria, jolla saadaan mitattua myös öljynlämpötila. MM70:lla mittauksia voidaan suorittaa pullonäytteistä, säiliöistä tai suoraan öljyjärjestelmistä. Mittaus öljyjärjestelmästä onnistuu, mikäli järjestelmässä on käytettävissä tähän tarkoitukseen sopiva yhde venttiilillä varustettuna. Mittalaitteella saatava mittausdata voidaan tallentaa ja siirtää tietokoneelle tarkastelua varten. (Vaisala 2017.)

Kuvassa 18 on nähtävissä Vaisalan MM70 -anturi.



Kuva 18 Vaisala MM70 (Vaisala 2017.)

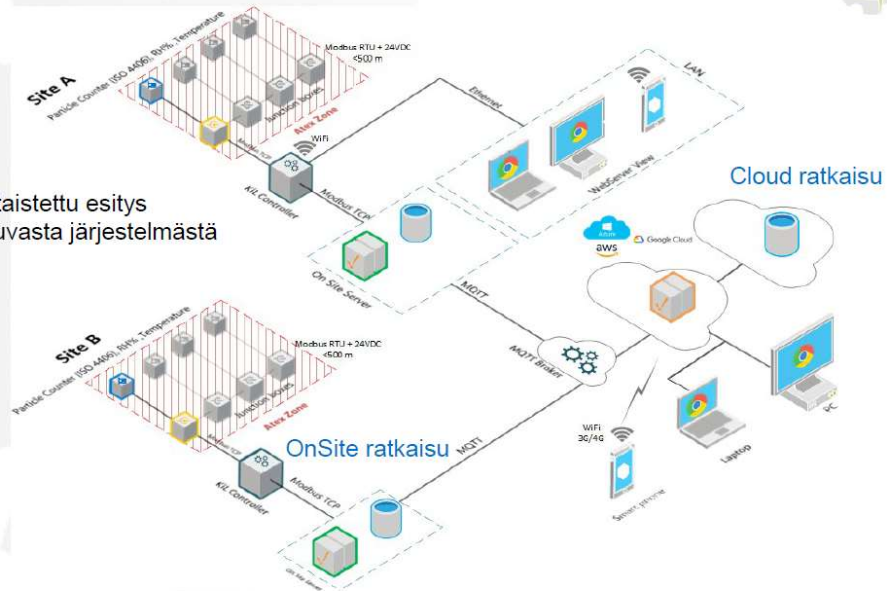
7.1.4 KiL-Yhtiöt KiL-V3m

KiL-Yhtiöt tarjoaa öljyjen kunnonvalvontaan ja etämonitorointiin KiL-V3m ratkaisua. Se on täysin räätälöitävissä asiakkaan tarpeiden mukaisesti myös mitattavien suureiden osalta. Järjestelmä voidaan toteuttaa asiakkaan valitsemaan ja hallinnoimaan pilvipalveluun tai onsite-serveriin laitoksen sisälle. Lisäksi V3m-järjestelmä sekä kunnossapito-ohjelmistot kuten SAP, voivat siirtää tietoja kumpaankin suuntaan ohjelmistojen välillä. Kuviossa 19 on esitetty V3m-järjestelmän hybridi arkkitehtuuria. (KiL-Yhtiöt 2019.)

Hybrid arkkitehtuuri



Yksinkertaistettu esitys
skaalautuvasta järjestelmästä



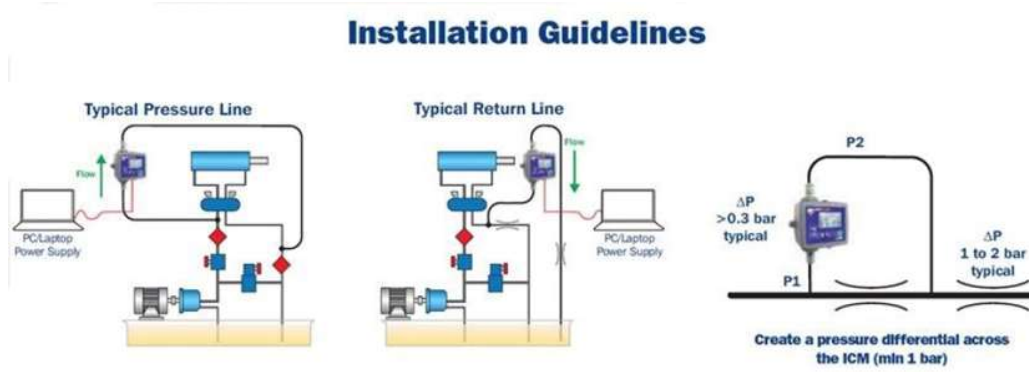
Copyright KiL-Yhtiöt Oy 2019

KiL Yhtiöt Oy
ENGINEERING

Kuvio 19 Toteutus hybrid arkkitehtuurilla (KiL-Yhtiöt 2019.)

Anturien ja keskusyksikön välinen tiedonsiirto tapahtuu Modbus-väylän kautta. Keskusyksikön ja mittauspisteissä olevien anturien tiedonsiirto voidaan toteuttaa 500 metriin saakka. (KiL-Yhtiöt 2019.)

V3m-järjestelmän näytteenotto voidaan toteuttaa usealla eri tavalla, mutta mittauspisteitä valitessa on syytä huomioida tarvittavan paine-eron saaminen, joka on vähintään 1 bar. Paine-eron luomiseksi järjestelmään on myös saatavissa erilisiä pumppuja sekä runsaasti ilmaa sisältäviin järjestelmiin ilmanpoistajia. Kuviossa 20 on esitetty erilaisia esimerkkejä liittymistavoista öljyjärjestelmään. (KiL-Yhtiöt 2019.)



Kuvio 20 Järjestelmän asennus (KiL-Yhtiöt 2019.)

7.1.5 Neste LubeService

Neste tarjoaa LubeService-palveluja laitteistojen kunnonvalvontaan voiteluaineiden sekä öljyjen analysointiin perustuen. Saatavilla on kolme erilaista palvelua, joita ovat offline-laboratoriotutkimuksiin perustuva Labline sekä jatkuvaan mittaukseen perustuvat Online sekä Online+. Online+ sisältää myös jatkuvan kehityksen sekä öljyasiantuntijan konsultointi palvelun. (Neste N.Da.)

Nesteen tarjoaman LubeService-pakettien ominaisuudet ovat nähtävissä taulukossa 5.

Taulukko 5 Neste Lubeservice-palvelut (Neste N.Db.)

	Labline	Online	Online+
Laboratoriotutkimukset			
<ul style="list-style-type: none"> Laboratorioanalyysi ja raportointi Toimenpidesuosituks 	Kerran vuodessa tai sopimuksen mukaan	Erillisellä tilauksella*	Erillisellä tilauksella*
Jatkuva mittaus			
<ul style="list-style-type: none"> Mittauslaitteisto Asennus Laitteiston tekninen tuki Online-seuranta ISO-standardin mukainen puhtausluokan mittaus ja luokitus 		✓	✓
Tekninen tuki			
<ul style="list-style-type: none"> Öljyasiantuntija tavoitettavissa Kehitysideat ja jatkuvuus 		Erillisellä tilauksella*	✓
* Kun mittausjärjestelmä ilmoittaa poikkeamasta tai kun tarvitsen yksityiskohtaisia tietoja öljyn koostumuksesta.			

Kevitsan rikastamon kunnonvalvontasovellusten kannalta tarkemmassa tarkastelussa on online-palvelut. Online sisältää laitteiston jatkuvaa mittausta ja online-seurantaan varten teknisen tuen sekä ISO-standardin mukaisen puhtausmittauksen. Lisäksi haluttaessa tarkempia tietoja öljyn koostumuksesta tai online-järjestelmän havaitessa poikkeamia voidaan suorittaa offline-tyyppiset laboratoriotutkimukset. (Neste N.Da.)

LubeService Online perustuu öljyn induktiiviseen partikkeleiden laskentaan sekä suhteellisen kosteuden, lämpötilan sekä paineen mittaamiseen. Anturien mitaama data välitetään keskusyksikköön, josta mittaustiedot siirretään tarkasteltavaksi NLS ONLINE -pilvipohjaiseen palvelimeen. (Neste N.Db.)

Kuviossa 21 on esitetty asennusesimerkki LubeService Online -paketista.



Kuvio 21 LubeService Online asennusesimerkki (Neste N.Db.)

7.2 Kunnonvalvonta värähtelyn mittaamisella

Kunnonvalvonnan kannalta kaivoksen rikastamolla on jo ennestään olemassa tehokkaat menetelmät ja työkalut värähtelyn mittaamiseksi, joita tehostettiin opinäytetyön aikana entisestään hankkimalla siirrettävä värähtelyn mittaussalkku viikaantuvien kohteiden seuraamiseksi. Värähtelyn mittaamisen kannalta tärkeimmät kehitysmahdollisuudet ovat mitattavien kohteiden kartoittamisessa meneillään olevan kriittisyysluokittelun kautta sekä henkilökunnan kouluttamisessa.

7.2.1 Siirrettävä värähtelyn mittausyksikkö

Opinnäytetyön aikana kunnonvalvontaan hankittiin siirrettävään värähtelyn mittaukseen tarkoitettu salkku, joka on nähtävissä kuvassa 19. Salkku toimitettiin SKF:n toimesta ja se perustuu SKF IMx-8 mittausyksikköön. Lisäksi salkkuun on asennettu reititin sekä kaapeloidut liittimet antureille, reitittimen antennille sekä virransyötölle.



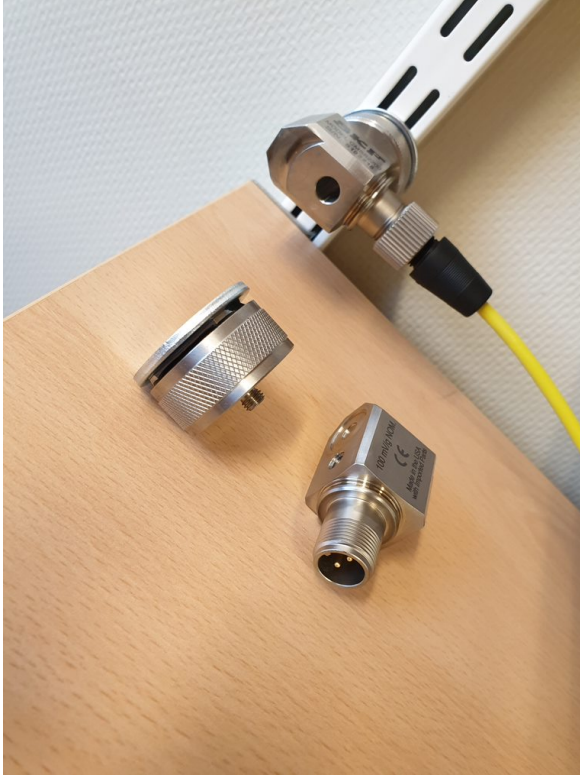
Kuva 19 Siirrettävä värähtelyn mittaussalkku

IMx-8 yksikkö on pieni ja tehokas ratkaisu kunnonvalvontasovelluksiin. Yksikössä on kahdeksan analogista tuloa värähtelyantureille sekä kaksi digitaalista tuloa nopeusantureille. Yksikössä on myös kolme digitaalista lähtöä varoitusten ja hälytyksien indikoimiseen. (Skf 2018.)



Kuva 20 Salkun liitäntöjä

Salkkua varten hankittiin kuvassa 21 näkyvät magneettikiinnitteiset kiihtyvyyssanturit. Antureiden ja magneettien liittäminen toisiinsa tapahtuu vaarnaruuvilla. IMx-8 yksikköön anturit liitetään kuvassa 20 näkyvien Amphenol-liittimien kautta. Mittausdata siirretään yksiköstä Observer-pilvipalveluun monitoroitavaksi. Tiedonsiirto tapahtuu mobiililaajakaistan kautta, jonka vuoksi salkussa on myös asennettuna reititin.



Kuva 21 Värähtelyn mittaussalkun kiihtyvyyssanturit

7.3 Lämpökamera kunnonvalvontaan

Vikaantumisien yhteydessä tapahtuvaan lämpötilan nousemisen seuraamiseen varteenotettava vaihtoehto on lämpökameran hankkiminen kunnonvalvonnan käyttöön. Lämpökameran käyttäminen lämpötilan mittaamisessa on huomattavasti tehokkaampaa kuin yhdestä pisteestä mittaavan IR-lämpömittarin. Lämpökameraa voitaisiin hyödyntää muun muassa hihnakuuljettimien rullien kunnonvalvonnassa määräajoin tehtävissä lämpökuvauksissa. Lisäksi lämpökameran avulla voitaisiin seurata ja tukea muillakin menetelmillä havaittuja alkavia vikaantumisia.

Lämpökameraa hankittaessa tulee yleisesti huomioida kamerasoveltuvuus kuvattaviin lämpötiloihin. Lisäksi on syytä pohtia, että minkälaiselta etäisyydeltä mahdollisia kohteita päästäisiin kuvaamaan. Ammattikäyttöön tarkoitetuissa lämpökameroissa lämpötila-alueet yltyvät tyypillisesti 1500 – 2000 °C saakka. Kaioksen rikastamolla ei tyypillisesti tavata erityisen korkeita lämpötiloja, joten

tässä tapauksessa lämpötila-alueisiin ei erityistä huomiota tarvitse kiinnittää. (Kaaresoja 2019.)

Huomiota tulee kiinnittää lämpökameran resoluution ja linssin valintaan. Tyypillisesti teollisuuden kunnossapidossa ja kunnonvalvonnassa kuvattavat kohteet voivat olla sellaisia, että niiden lähelle ja läheltä ei päästä turvallisesti suorittamaan lämpökuvausta. Tämä täytyy huomioida myös kaivoksen rikastamollakin. Jotta lämpökameralla voitaisiin kuvata mahdolliset kohteet läheltä sekä kaukaa, täytyy käytettävissä olla useampia eri optiikoita kuten kapea- ja leveäkeilainen. Tämä johtuu siitä, että lämpökameroissa ei ole mahdollista olla optista zoomia. Vaihtoehtoisesti voidaan hankkia lähtökohtaisesti niin suurella resoluutiolla oleva kamera, että useita eri optiikoita ei tarvitse olla. (Kaaresoja 2019.)

Teollisuuden kunnonvalvontaan ja kunnossapitoon soveltuvia lämpökameroita ovat muun muassa FLIR:ltä mallit T540, T660 sekä T1020. Kunnonvalvonnan ja kunnossapidon kannalta kuvauskohteet ja tilanteet voivat olla hyvin erilaisia. Tämän vuoksi on myös tärkeää huomioida, että kamerassa on kääntyvä näyttö, jotta kuvaus voidaan suorittaa tilanteesta riippumatta ergonomisesti. Edellä mainituista malleista jokainen on varustettu kääntyvällä näytöllä. Erot mallien välillä tulee muun muassa resoluutioissa. (Kaaresoja 2019.)

T540 mallissa resoluutio on 464x384 pikseliä. Monipuolisen käytön mahdollistamiseksi on kameraan näin ollen hankittava ainakin yksi lisäoptiikka. T660 mallin resoluutio on parempi, 640x480 pikseliä, mutta tilanteista riippuen myös T660 mallin kanssa voi olla tarpeen hankkia lisäoptiikkaa. T1020 malli tarjoaa HD-tasaisen resoluution 1024x768, jonka vuoksi useimmissa tapauksissa ei tällöin lisäoptiikka tarvitse. Lämpökameran valitseminen esimerkiksi näiden mallien väliltä on tyypillisesti budjettikysymys. Lisäksi on myös hyvä tiedostaa, että erityisen vaativissa kohteissa voi T1020 mallinkin kanssa tulla kyseeseen lisäoptiikan tarve. (Kaaresoja 2019.)

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tullessa ajankohtaiseksi pohdimme toimeksiantajan kanssa erilaisia mahdollisuuksia tulevasta aiheesta. Esille nousi melko nopeasti kunnonvalvonnan kehittämisen tarve, joka kiinnosti aihealueena myös itseänikin ajatuksena automaatio- ja anturitekniikan hyödyntämisestä mekaanisten laitteiden kunnonvalvontaan. Tarpeen ja mielenkiinnon kohdatessa oli aihevalinta selvä alusta alkaen.

Työn aluksi perehdyin kunnossapitoon ja kunnonvalvontaan liittyvään kirjallisuuteen. Alusta alkaen oli myös selvää, että aihealue kunnossapidon ja kunnonvalvonnan osalta on laaja ja materiaalia aiheeseen liittyen löytyy runsaasti. Työ rajoitettiin koskemaan mekaanisten laitteiden kunnonvalvontaa ja kunnonvalvontamenetelmistä yksin yleisimmistä, eli värähtelyn, lämpötilan ja öljyn kunnonvalvonnanmenetelmiin.

Syvennyttyäni värähtelyn, lämpötilan ja öljyn kunnonvalvonnanmenetelmiin huomasin myös, että pelkästään jokaiseen näistä voisi erikseen syventyä hyvin laajasti. Tarkoituksena oli kuitenkin pitää työ siinä mielessä rajattuna, että jokaisesta näistä saataisiin mahdollisimman tiivis, mutta kattava materiaali kasattua.

Keivitsan rikastamon kunnonvalvontamenetelmiin perehdyttyäni todettiin, että värähtelyn mittaamisen osalta käytössä on jo valmiiksi tehokkaat menetelmät ja ohjelmistot työkaluineen. Työnantajan ja SKF:n järjestämien koulutuksien avulla lisättiin myös tietämystä käytössä olevista järjestelmistä. Värähtelyn mittaamisen osalta suurin kehittymismahdollisuus oli siirrettävän mittausjärjestelmän hankkimisessa, joka hankittiin opinnäytetyön aikana.

Kunnonvalvonnan kehittämiseksi selvisi, että suurin kehitys saavutettaisiin ottamalla käyttöön kriittisten ja vikaherkkien laitteiden osalta öljyjen online-kunnonvalvontaa. Tällä tavoin saataisiin reaaliaikaista informaatiota öljyjen sen hetkisestä kunnosta, sekä myös arvokasta lisäinformaatiota laitteiden kunnosta. Lisäksi mittaustiedosta saatavien trendien avulla voitaisiin seurata tilanteiden kehittymistä. Työssä selvitettiin useita erilaisia toteutustapoja ja toimijoita öljyjen online-kunnonvalvonnan toteuttamiseksi.

Opinnäytetyössä selvitettiin myös mahdollisuuksia öljyjen kunnonvalvonnan kehittämiseksi offline-tyyppisesti oman onsite-laboratorion tai kannettavien mittalaitteiden hankkimisien kautta. Näillä menetelmillä voitaisiin seurata niiden laitteiden öljyjen kuntoa ja laatua, joita ei koeta järkeväksi liittää osaksi online-järjestelmää. Lisäksi voitaisiin tehdä varmistusmittauksia online-järjestelmän ilmoittamista poikkeamista.

Lämpötilamittauksien kehittämiseksi selvitettiin, että suurin kehitysmahdollisuus olisi lämpökameran hankkimisessa kunnonvalvonnan mittauksiin. Mekaanisten laitteiden osalta lämpökameralla voitaisiin suorittaa esimerkiksi määräaikaista tarkastuksia kuljettimien hihnapyörien osalta sekä käyttää sitä vikaantumisien yhteydessä tapahtuvien lämpötilanousujen seurantaan.

Opinnäytetyön tuloksina saatiin kasattua kattava materiaali kunnossapidosta ja kunnonvalvonnasta sekä yleisimmistä mitattavista suureista ja mittausmenetelmistä. Lisäksi työssä selvitettyjä mittausmenetelmiä voidaan käyttää hyväksi kriittisyysluokittelun kautta kartoitettavissa kohteissa. Kaiken kaikkiaan työn tekeminen oli mielenkiintoista ja ongelmia ei juurikaan esiintynyt, ainoastaan aihealueiden järkevä rajaaminen teoriaosuudessa aiheutti hieman haasteita.

LÄHTEET

ABB Oy. 2000. TTT-käsikirja 2000-07. Kunnonvalvonta ja huolto. Helsinki: ABB Oy.

Afflekt, K. 2010. Viskositeetin mittaaminen pietsosähköherätteisellä värähtelijällä. Jyväskylän Yliopisto. Fysiikan laitos. Pro gradu-tutkielma.

Aikio, S. 2019. Boliden Kevitsa Mining Oy. Prosessityöntekijän haastattelu. 11.02.2019

Argo-hytos. N.D. Cleanliness and Wear Monitoring by Modern Particle Measurement Tehchnology. Viitattu 19.02.2019. <https://www.argo-hytos.com/news/product-news/product-news-view/cleanliness-and-wear-monitoring-by-modern-particle-measurement-technology.html>

Asp, R., Tuominen, T. & Hyypönen, H. N.D. Kunnossapito menestystekijä. Johdanto kunnonvalvontaan. Opetushallitus. Viitattu 11.01.2019. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_johdanto_kunnonvalvontaan.html

Boliden. 2019a. Boliden Kevitsa. Viitattu 12.03.2019. <https://www.boliden.com/fi/operations/mines/boliden-kevitsa>

Boliden. 2019b. Operations. Viitattu 10.01.2019. <https://www.boliden.com/operations>

DBSantasalo. 2019. GearWatch. Kunnonvalvontaratkaisut David Brown Santasalolta. Diaesitys.

Drafts, B. 2010. Acoustic wave technology sensors. 10/2010. Viitattu 24.01.2018. <https://www.sensormag.com/components/acoustic-wave-technology-sensors>

Efficientplantmag. 2013. Methods for monitoring bearing performance. Viitattu 14.01.2019. <https://www.efficientplantmag.com/2013/10/methods-for-monitoring-bearing-performance/>

Hydac. 2016a. ContaminationSensor Module. Esite. Viitattu 22.03.2019.
<https://www.hydac.com/fileadmin/pdb/pdf/PRO000000000000000000000007615020011.pdf>

Hydac. 2016b. MetallicContamination Sensor. Esite. Viitattu 22.03.2019.
<https://www.hydac.com/fileadmin/pdb/pdf/PRO000000000000000000000007619050011.pdf>

Hydac. 2017. FluidControl Unit. Esite. Viitattu 26.03.2019.
<https://www.hydac.com/fileadmin/pdb/pdf/PRO000000000000000000000007607090011.pdf>

Hydac. 2018a. AS1000 AquaSensor. Esite. Viitattu 22.03.2019.
<https://www.hydac.com/fileadmin/pdb/pdf/PRO0000000000000000000000018321030011.pdf>

Hydac. 2018b. Oil Condition Sensor HYDACLAB. Esite. Viitattu 22.03.2019.
<https://www.hydac.com/fileadmin/pdb/pdf/PRO00000000000000000000000183711000011.pdf>

Hydac. N.D. Hydac Kunnonvalvonta, sensoritekniikka. Diaesitys.

Infradex. 2018a. Flir T6xx-sarja. Viitattu 21.01.2019. <https://www.infradex.com/flir-t6xx-sarja/>

Infradex. 2018b. Lämpösäteily ja lämpökamera. Viitattu 21.01.2019.
<https://www.infradex.com/lamposateily-ja-lampokamera/>

Kaaresoja, T. 2019. Infradex Oy – Lisätieto / tarjouspyyntö. Email samuli.seppala@boliden.com 21.02.2019. Tulostettu 06.03.2019.

KiL-Yhtiöt. 2019. KiL-V3m. Diaesitys.

Koivuvirta, H. 2019. Opinnäytetyö Kunnonvalvontasovellusten laajentaminen Kevitsassa. Email samuli.seppala@boliden.com 09.01.2019. Tulostettu 20.02.2019.

Lappautomaatio. 2019. Termoelementtikaapelit. Viitattu 19.02.2019. https://lappautomaatio.fi/lapp/_kaapelit-johtimet&id=termoelementtikaapelit

Luomala, V., Jortikka, V-M., Anttonen, P., Holmila, A., Julku, M., Jåfs, R., Kakko, J., Kallio, P., Lahtinen, J., Luotamo, J-P., Nurmi, T., Näivä, J., Rinkinen, J., Vainio, K., Ylönen, V., Lehtosaari, M., Törmänen, R. & Vesala, M. 2018. Öljyn kunnossapito. Öljyn kunnossapidon uudet menetelmät ja haasteet sekä koneiden ja laitteiden ennakoiva kunnossapito öljyn avulla. 1.painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Micro-Epsilon. 2019. Displacement position sensors. Viitattu 17.01.2019. <https://www.micro-epsilon.fi/displacement-position-sensors/>

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 käsikirja. 1.painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Mip. 2019. Kiihtyvyyssanturit. Viitattu 17.01.2019. <http://www.mip.fi/fi/tuotteet/tarina-ja-varahtely/kiihtyvyyssanturit/ac102-multi-purpose-accelerometer,-top-exit-connector-cable,-100-mv-g-detail>

Muttonen, J-A. 2011. Sähkömoottoreiden kunnonvalvonta. Pohjois-Karjalan Ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Neste. N.Da Lubeservice Viitattu 13.02.2019. <https://www.neste.fi/lubeservice>

Neste. N.Db LubeService. Laitteesi kuntoa ympäri vuorokauden valvova voitelu-öljymittaus. Diaesitys.

Nohynek, P & Lumme, VE. 2004. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. 2. painos. Rajamäki: KP-Media Oy.

Nokeval. 2019. Infrapuna-anturit. Viitattu 21.01.2019. https://www.nokeval.com/tuotteet/infrapuna/infrapuna_anturit___ir/calex/pc/

Pamas. 2018a. Pamas S40. Kannettava hiukkaslaskin öljynäytteille. Viitattu 18.02.2019. https://www.pamas.de/fileadmin/user_upload/download/brochure/Tragbare_Partikelzaehler/PAMAS_S40/S40_fi.pdf

Pamas. 2018b. Pamas S50. Online-hiukkaslaskin öljyn puhtausvalvontaan. Viitattu 18.02.2019. https://www.pamas.de/fileadmin/user_upload/download/brochure/Online-Partikelzaehler/PAMAS_S50/S50_fi.pdf

Promaintlehti. 2013. Kunnonvalvonta ja käyttövarmuus. Tehosta vikaantumisen seuranta. Viitattu 07.03.2019. <https://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kaytto-varmuus/Tehosta-vikaantumisen-seuranta>

Promaintlehti. 2018. Kunnossapito osaaminen eurooppalaiselle tasolle. Viitattu 15.01.2019. <https://promaintlehti.fi/Tutkimus-ja-koulutus/Kunnossapito-osaaminen-eurooppalaiselle-tasolle>

PSK 5701. 2017. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Käsitteet ja määritelmät. Käytettävät suureet ja mittayksiköt. 8. painos. Helsinki: PSK standardiyhdistys ry.

PSK 5702. 2007. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Mittauspisteen valinta ja tunnistaminen. 3. painos. Helsinki: PSK standardiyhdistys ry.

PSK 5703. 2006. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Anturin, liittimen ja kaapelin valinta sekä asennus. 4. painos. Helsinki: PSK standardiyhdistys ry.

PSK 5706. 2015. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Valvontamenetelmät. 4. painos. Helsinki: PSK standardiyhdistys ry.

PSK 6201. 2011. Kunnossapito, käsitteet ja määritelmät. 3. painos. Helsinki: PSK standardiyhdistys ry.

Saarela, O. 2018. Kustannustehoa ennakoivasta kunnossapidosta. Promaint 1/2018, 35.

SFS-ISO 17359. 2011. Koneiden kunnonvalvonta ja diagnostiikka. Yleiset periaatteet. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-ISO 18434-1. 2011. Koneiden kunnonvalvonta ja diagnostiikka. Lämpökuvaus. Osa 1: Yleiset menettelytavat 1. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Sivonen, J. 2019. Telko. Myyntipäällikön haastattelu 04.02.2019

Skf. 2017. QuickCollect Sensor. Viitattu 13.02.2019. <https://www.skf.com/binary/21-295720/0901d19680635525-SKF-QuickCollect-sensor---17198-EN.pdf>

Skf. 2018. SKF Multilog On-line System IMx-8. 24/7 condition monitoring to improve machine reliability. Viitattu 18.02.2019. https://www.skf.com/binary/30-312632/IMX-8-Quick-collect---17192_1-EN.pdf

Spminstrument. N.D. Anturit ja lähettimet. Viitattu 22.01.2019. <https://www.spminstrument.fi/Tuotteet-ja-palvelut/Anturit-ja-lahettimet/>

Vaisala. 2017. MM70 Hand-Held Moisture and Temperature Meter for Spot-Checking in Oil. Viitattu 19.02.2019. <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/MM70-Datasheet-B210960EN-F.pdf>

Vaisala. 2018. MMT162 Moisture in Oil and Temperature Transmitter. Viitattu 19.02.2019. <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/MMT162-Datasheet-B210755EN.pdf>

Weckström, T. 2005. Lämpötilan mittaus. 2.painos. Helsinki: Mikes. Viitattu 21.01.2019. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/MIKES/2005-J4.pdf>

LIITTEET

Liite 1. Prosessikaavio 1 (Boliden Kevitsa Mining Oy. N.D. Prosessin osa 1.)

Liite 2. Prosessikaavio 2 (Boliden Kevitsa Mining Oy. N.D. Prosessin osa 2.)

Liite 2 Prosessikaavio 2 (Boliden Kevitsa Mining Oy. N.D. Prosessin osa 2.)

KEVITSA FLOTATION CIRCUIT FLOWSHEET

