

Kunnonvalvontamenetelmän valinta Kemira Chemicals Joutsenon uudelle kloraattitehtaalle

Tero Viinikainen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2017
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (ylempi AMK)
Elinkaaripalveluiden johtamisen tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Viinikainen, Tero	Julkaisun laji Opinnäytetyö, ylempi AMK	Päivämäärä 1.5.2017
	Sivumäärä 80	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Kunnonvalvontamenetelmän valinta Kemira Chemicals Joutsenon uudelle kloroattitehtaalle		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (ylempi AMK), elinkaari palveluiden johtamisen tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Harri Tuukkanen, Pasi Lehtola		
Toimeksiantaja(t) Kemira Chemicals Joutseno		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tavoitteena oli löytää sopiva menetelmä Kemira Chemicals Joutsenon uuden kloroattitehtaan pyörivien laitteiden kunnonvalvontaan. Pyöriviä laitteita ovat suorakäyttöpumput ja -puhaltimet. Nykyinen Joutsenon tehtaiden kunnonvalvonta perustuu määrätyn aikavälein suoritettujen tarkastuskierrosten aistihavaintoihin ja määräaikaan huoltoihin. Nämä menetelmät eivät ole riittäviä nykyaikaisessa tehdasympäristössä.</p> <p>Tutkimus rajattiin uuteen kloroattitehtaaseen. Tämä on selkeä erillinen alue, joka on suunniteltu aikaisemmista tehtaista poiketen ilman kahdennettuja prosessilaitteita. Uuden tehtaan kunnossapidon hallinta edellyttää erilaista lähestymistapaa.</p> <p>Tutkimusmenetelmä oli toimintatutkimus. Aineiston hankintamenetelmä oli haastattelu, joka toteutettiin Webropol-kyselylomakkeella. Kysely lähetettiin 11 kunnonvalvonnan ja värähtelymittausten asiantuntijoille. Haastatteluiden avulla haettiin vahvasta ja uusia näkemyksiä teoriaosassa esitetyille asioille.</p> <p>Työn lopputuloksena esitettiin värähtelymittauksiin perustuvaa kunnonvalvontamenetelmää. Tämän avulla pystytään luotettavasti valvomaan uuden tehtaan pyöriviä laitteita. Kunnonvalvonnassa tullaan hyödyntämään sekä uutta värähtelymittausteknologiaa että vanhoja käytössä olevia aistinvaraisia menetelmiä. Ajatuksena on siirtää painopistettä ehkäisevän kunnossapidon suuntaan. Tällä hetkellä Joutsenon tehtaiden kunnonvalvonta on hoidettu oman käyttökunnossapidon toimesta. Työssä esitettiin, että aluksi mittaava kunnonvalvonta ja tulosten analysointi hoidetaan palvelutoimittajan toimesta. Kun ulkopuolinen toimittaja on laittanut järjestelmän toimintakuntoon ja on löytynyt sopiva oma resurssi, siirrytään omatoimiseen kunnonvalvontaan.</p>		
Avainsanat (<u>asiasanat</u>) Ehkäisevä kunnossapito, kuntoon perustuva kunnossapito, kunnonvalvonta, värähtelymittaukset		
Muut tiedot		

Author(s) Viinikainen, Tero	Type of publication Master's thesis	Date 1.5.2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 80	Permission for web publication: x
Title of publication Determination of a suitable condition monitoring method for Kemira Chemicals Joutseno new chlorate factory		
Degree programme Master of Engineering, Degree Programme in Service Lifecycle Management		
Supervisor(s) Harri Tuukkanen, Pasi Lehtola		
Assigned by Kemira Chemicals Joutseno		
Abstract <p>The goal was to find a suitable condition monitoring method for rotating equipment of Kemira Chemicals Joutseno new chlorate factory. The rotary devices are direct drive pumps and blowers. The current condition monitoring methods are time based route inspections with sensory observations. Also there is some calendar based maintenance works. These methods are not sufficient in a modern factory environment.</p> <p>The study was limited to a new chlorate factory. This is clearly a separate area that is designed without duplicate process equipment like a previous factories. The new plant maintenance management requires a different approach.</p> <p>The research method was action research. The material procurement method was interview that was carried out using the Webropol questionnaire. The questionnaire was sent to 11 condition monitoring and vibration measurement experts. Interviews were sought to confirm and give new ideas on the issues presented in the theoretical part.</p> <p>The result of the work presents the vibration measurement based method for condition monitoring of rotating equipment. This enables reliable condition monitoring at a new factory. Both the new vibration measurement technology and the existing organoleptic methods will be utilized. The idea is to shift the focus towards preventive maintenance. At present, the Joutseno mills condition monitoring has been carried out by their own operator based maintenance. Researcher suggested that the operations of vibration measurement and analysis will be outsourced to a service provider at first. When a service provider has put the system up and running and Kemira has found a suitable dedicated resource, they move to an in-house operated condition monitoring.</p>		
Keywords/tags (<u>subjects</u>) Preventive Maintenance, Condition Based Maintenance, Condition Monitoring, Vibration measurement		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Lähtökohdat	4
1.2	Toimenksiantaja	4
1.3	Tavoite ja rajaukset	6
1.4	Tutkimusmenetelmät ja -aineisto	7
1.5	Teoreettinen viitekehys ja keskeiset käsitteet	9
2	Kunnossapito.....	11
2.1	Kunnossapidon määrittäminen	11
2.2	Kunnossapidon taloudellinen merkitys.....	13
2.3	Kunnossapitolajit	16
2.3.1	Korjaava kunnossapito	17
2.3.2	Ehkäisevä kunnossapito.....	19
2.3.3	Parantava kunnossapito	20
2.4	Kunnossapitopalveluiden ostaminen	21
3	Kunnonvalvonta	23
3.1	Yleistä kunnonvalvonnasta.....	23
3.2	Diagnostiikka	26
3.3	Prognostiikka	28
3.4	Kunnonvalvonnan suunnittelu	29
3.5	Kunnonvalvonnan onnistumisen haasteet.....	30
3.6	Värähtelymittaukset kunnonvalvonnan mittausmenetelmänä.....	32
3.7	Värähtelymittausten mittalaitteet ja kustannukset.....	36
3.8	Kunnonvalvonnan kehittyminen tulevaisuudessa	38

4	Mittausten suorittaminen	40
4.1	Vastaanottomittaukset.....	41
4.2	Kunnonvalvontatarpeen ja -menetelmien määrittely	42
4.2.1	Mittaustavan ja -menetelmän valinta	44
4.2.2	Mittausaikaväli.....	45
4.3	Mittaustoiminnan suoritusvaihtoehtoja	46
4.4	Toiminnan tehokkuuden arviointi	48
5	Kyselylomake ja sen vastaukset.....	49
5.1	Perustiedot vastaajista	50
5.2	Kunnonvalvonta	52
5.3	Mittalaite ja mittaaminen	54
5.4	Mittaaja	55
5.5	Analysointi ja raportointi.....	56
6	Vastausten pohdinta	57
7	Johtopäätökset.....	66
	Lähteet.....	70
	Liitteet	73
	Liite 1. Värähtelyvalvonnan tarpeen määrittely, osa 1	73
	Liite 2. Värähtelyvalvonnan tarpeen määrittely, osa 2.....	74
	Liite 3. Kyselylomake	75

Kuviot

Kuvio 1. Joutsenon tehtaiden elektrolyysiprosessit ja raaka-aineet (Kemira 2017b)....	5
Kuvio 2. Tuotanto-omaisuuden hallinnan osa-alueet (Järviö & Lehtiö 2012, 14)	12
Kuvio 3. Kunnossapidon kustannusten jakauma teollisuudessa Suomessa (Mikkonen ym. 2009, 40).....	15
Kuvio 4. Kustannusten jakautuminen Suomessa kunnossapitolajeittain (Mikkonen ym. 2009, 41).....	16
Kuvio 5. Kunnossapitolajit (PSK 6201:2011, 22).....	17
Kuvio 6. Prosessipumppujen vaurioiden jakauma (Sulzer 2017, 2)	27
Kuvio 7. Putkiston linjausvirheistä tapahtuneita vaurioita (Sulzer 2017, 2).....	27
Kuvio 8. Vikaantumisesta värähtelymittaukseen (SKF 2017).....	33
Kuvio 9. Värähtelymittauksilla havaittavat poikkeamat (Valmet 2017)	35
Kuvio 10. Vastaajien työkokemus	51
Kuvio 11. Vastaajien koulutustausta	52

Taulukot

Taulukko 1. Mittalaitteita ja niiden hintoja (Mikkonen ym. 2009, 263)	38
---	----

1 Johdanto

1.1 Lähtökohdat

Kunnossapito voidaan jakaa karkeasti korjaavaan ja ehkäisevään kunnossapitoon. Suomen teollisuudessa kunnossapito on edelleen suurelta osin korjaavaa. Painopistettä tulisi siirtää ehkäisevään kunnossapitoon ja kunnonvalvontaan. Kunnonvalvontaa suoritetaan edelleen aistinvaraisesti havainnoimalla laitteiden toimintaa katsomalla, kuuntelemalla ja koskettamalla, vaikka nykYTEKNIikka mahdollistaa erilaisten kehittyneiden mittausmenetelmien käytön. Niiden avulla vikaantumiset voidaan haivaita jo aikaisessa vaiheessa.

Edistykselliset menetelmät ovat edelleen kalliita, mikä rajoittaa niiden käyttöönottoa. Tällä hetkellä kehitetään menetelmiä, mitkä hyödyntävät halvempia antureita, Teollista Internetiä ja digitalisaatiota. Nämä mahdollistavat suurien mittausdatojen käsittelyn ja oikea-aikaisen informaation laitteiden kunnosta. Kun järjestelmien hintataso laskee, on niiden hyödyntäminen yhä useamman teollisuuslaitoksen ulottuvilla.

Tässä työssä keskitytään ehkäisevään kunnossapitoon, tarkemmin kunnonvalvontaan ja sen mittausmenetelmiin. Opinnäytetyön aiheena on kunnonvalvontamenetelmän valinta Kemira Chemicalsin Joutsenon uudelle kloraattitehtaalle. Tutkija aloitti työt Joutsenon tehtaiden kunnossapitopäällikön tehtävässä 1.11.2016. Työn aihe-ehdotuksen hän teki itse havaittuaan, että tehtailla ei ollut vahvaa osaamista kunnonvalvonnasta. Tutkija on ollut aikaisemmissa työtehtävissä tekemisissä kehittyneiden kunnonvalvontamenetelmien kanssa mekaniikassa, mekatroniikassa ja sähköautomaatiossa. Työ edistää tutkijan laite- ja prosessituntemusta uudessa kunnossapitopäällikön tehtävässä ja kehittää edelleen kunnonvalvonnan asiantuntijuutta.

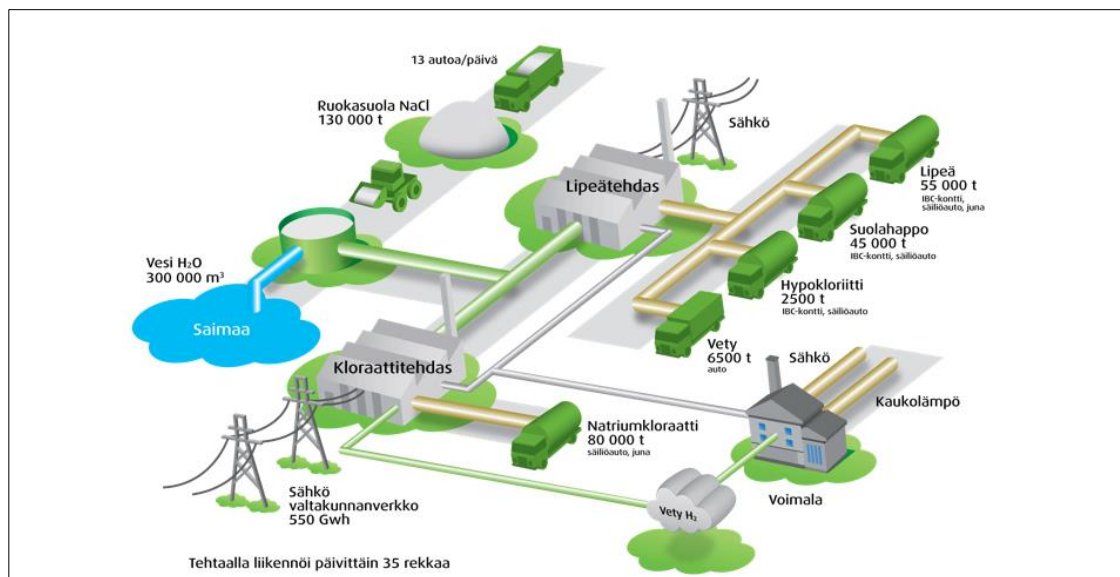
1.2 Toimenksiantaja

Työn toimeksiantaja, Kemira Chemicals Oy Joutsenon tehtaas, on osa Kemira konsernia. Kemira Oyj on kansainvälinen kemianyhtiö, jolla on toimintaa 40 maassa. Suurimpia asiakkaita ovat runsaasti vettä käyttävät teollisuudenalat. Yhtiön tarjoamia palveluita ja tuotteita käytetään tehostamaan veden, energian ja raaka-aineiden käyttöä. Asiakkaina ovat massa- ja paperiteollisuus, öljy-, kaasu-, ja kaivosteollisuus

sekä kunnallinen ja teollinen vedenkäsittely. Henkilöstöä vuonna 2016 oli 4 818 ja liikevaihto 2,3 miljardia euroa. Yhtiön pääkonttori on Helsingissä. (Kemira 2017a.)

Konsernin liiketoiminta on jaettu kolmeen segmenttiin. Pulp & Paper -segmentti valmistaa tuotteita massa- ja paperiteollisuuteen. Tällä segmentillä Kemiran kemialliset ratkaisut liittyvät massan- ja paperinvalmistusprosessiin sekä vedenkäsittelyyn. Oil & Maining -segmentti valmistaa kemikaaleja sekä sovelluksia öljy- ja kaivosteollisuuden parempaan tuotantotekniikkaan. Räätelöidyt erotusprosessit tehostavat veden hallintaa ja uudelleenkäyttöä. Kolmas Municipal & Industrial -segmentti tuottaa kemikaaleja yhdyskunnille ja teollisuudelle vedenpuhdistukseen sekä veden- ja lietteenkäsittelyyn. (Mts.)

Kemira Chemicals Oy:n Joutsenon toimipiste on aloittanut toimintansa 1976. Aikaisemmin yritys oli Finnish Chemicals Oy, mutta yhtiö siirtyi Kemiran omistukseen 2005. Joutsenon tehtaat ovat osa Pulp & Paper -segmenttiä. Tällä hetkellä tehdas työllistää noin 80 henkilöä. Tuotteet ovat natriumkloriitti, natriumhydroksidi, suolahappo, natriumhypokloriitti, AKD-emulsio ja vety.



Kuvio 1. Joutsenon tehtaiden elektrolyysiprosessit ja raaka-aineet (Kemira 2017b)

Kuviossa 1 on esitetty Joutsenon tehtaiden tuotanto- eli elektrolyysiprosessit, niiden tuotteet ja tarvitsemat raaka-aineet. Raaka-aineita käytetään vettä, suolaa ja sähköä. Tehdasalueella on FC Power Oy:n vetyvoimalaitos, joka tuottaa höyryä, sähköä, ja kaukolämpöä. (Kemira 2017b.)

Kemira Chemicalsin Joutsenon tehtailla on vanha kloraatti- sekä lipeätehdas, jotka ovat varustettu kahdennetuilla järjestelmillä. Tehtaita on voitu ajaa lähes häiriöttä ilman mittaavaa kunnonvalvontaa. Tehdasalueella on rakenteilla uusi kloraattitehdas. Uudessa tehtaassa ei ole kahdennettuja prosessilaitteita, joten pyörivien laitteiden käyttövarmuus tulee olemaan haaste. Uuden tehdasrakennuksen laiteasennukset käynnistyivät keväällä 2017. Tehtaan vesiajot alkavat heinäkuussa 2017 ja tuotanto aloitetaan syyskuun 2017 alussa.

1.3 Tavoite ja rajaukset

Työn tavoitteena on löytää sopiva menetelmä Kemira Chemicalsin Joutsenon uuden kloraattitehtaan pyörivien laitteiden kunnonvalvontaan. Prosessissa on pyörivien laitteiden osalta lähinnä suorakäyttöpumppuja ja -puhaltimia. Tutkimus vastaa kysymyksiin: Miten ja millä prosessipumppujen ja -laitteiden kunnonvalvonta suoritetaan? Nykyinen Joutsenon tehtaiden kunnonvalvonta perustuu määrätyn aikavälein suoritettujen tarkastuskierrosten aistihavaintoihin ja määräaikaisiin huoltoihin. Nämä menetelmät eivät ole riittäviä nykyaikaisessa tehdasympäristössä. Nykypäivän tekniikka mahdollistaa kuntoon perustuvan kunnossapidon.

Tutkimus rajattiin Joutsenon tehtaiden uuteen kloraattitehtaaseen. Tämä on selkeä erillinen alue, joka on suunniteltu aikaisemmista tehtaista poiketen ilman kahdennettuja prosessilaitteita. Uuden tehtaan kunnossapidon hallinta edellyttää erilaista lähestymistapaa. Työn ulkopuolelle rajattiin vanha kloraatti- sekä lipeätehdas. Lisäksi työn ulkopuolelle rajattiin myös muut kuin pyörivät prosessilaitteet.

Työn lopputuloksena syntyy suunnitelma, jolla aloitetaan kunnonvalvonta uudella kloraattitehtaalla. Oikein mitoitettu kunnonvalvonta lisää Joutsenon tehtaiden tuotavuutta, mahdollistaa seisokkiaikojen paremman hyödyntämisen ja vähentää suunnittelemattomia seisokkeja sekä pidentää koneiden elinikää. Vaikka prosessi mahdollistaakin nopeahkot alasajot, ovat suunnittelemattomat seisokit aina kalliita ja omaavat turvallisuusriskin. Olennaista on mitoitaa kunnonvalvonta oikein, jotta sijoitettulla pääomalla saadaan optimaalinen tuotto.

Asiaa on tutkittu case-kohteessa aikaisemminkin ja pääsääntöisesti on valittu suoraan mittaava kunnonvalvonta. Tehtaassa on suoritettu alkeellisia värähtelymittauksia, mutta henkilöstövähennysten johdosta niistä on luovuttu. Jos resurssit ovat rajalliset, niin mikä on optimaalinen menetelmä? Nykyisillä resursseilla on mahdollista suorittaa kuuntelua ja lämpötilan mittausta, mutta onko se riittävän ennakoivaa? Eri toteutustavan vaihtoehtoja ei ole aikaisemmin tarkemmin analysoitu. Jos kyseessä on perusmekaniikkaa, tarvitaanko spektrianalyysijä vai pärjätäänkö aistinvaraisella toiminnalla, kuten esimerkiksi kuuntelulla? Onko jotain mittausmenetelmää tältä väliltä? Miten mittaukset ja analysointi on parasta suorittaa? Suoritetaanko ne omilla resursseilla vai ulkopuolisena palvelupakettina? Myöskään toiminnan haasteita, tehokkuutta tai laitteiden sopivia mittausaikavälejä ei ole analysoitu. Tavoitteena on löytää sopiva menetelmä, joka täyttää vaatimukset, mutta ei ole kuitenkaan ylimitoitettu.

1.4 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto

Opinnäytetyö on laadullinen eli kvalitatiivinen tutkimus. Laadullinen tutkimus on luonteeltaan kokonaisvaltaista tiedonhankintaa, jossa johtavana ajatuksena on todellisten tilanteiden ja ilmiöiden kuvaaminen (Hirsjärvi, Remes, Sajavaara 2008, 157). Laadullisessa tutkimuksessa aineistot ovat tekstiä, sanoja, dokumentteja, kuvia ja muita aineistoja, joiden tulkinnan ja soveltamisen pohjalta laaditaan sanalliset johtopäätökset (Kananen 2013, 27).

Sopivan tutkimusmenetelmän valinnassa arvioidaan kolmen menetelmää sopivuutta. Näitä ovat tapaustutkimus, konstrukttiivisen tutkimuksen ja toimintatutkimus. Kaikissa näissä menetelmissä on piirteitä, jotka sopivat tähän tutkimukseen.

Tapaustutkimuksessa tutkitaan yhtä tai useampaa tapausta ja se voi olla luonteeltaan teoriaa luovaa, testaavaa tai kuvailevaa (Järvinen & Järvinen 2011, 74). Tapaustutkimuksessa tuotetaan tyypillisesti syvällistä ja yksityiskohtaista tietoa tutkittavasta tapauksesta ja vastataan kysymyksiin ”miten?” ja ”miksi?” (Ojasalo, Moilanen & Ritolahti 2015, 52 - 53). Tässä tutkimuksessa vastataan juurikin edellä mainittuihin kysymyksiin, mutta onko tuotettava tieto riittävän syvällistä ja yksityiskohtaista.

Konstruktivisen tutkimuksen tavoitteena on luoda jokin konkreettinen tuotos, kuten suunnitelma, mittari tai malli. Ajatuksena on saada käytännön ongelmaan uudenlainen ja teoreettisesti perusteltu ratkaisu, joka tuo tiedeyhteisöön uutta tietoa. (Mts. 65.) Tässä tutkimuksessa luodaan konkreettinen suunnitelma, mutta varsinaisena tavoitteena ei ole tuottaa tieteellistä lisäantia. Näin ollen konstruktivinen menetelmä ei sovellu parhaiten tähän tutkimukseen.

Kolmantena tutkimusmenetelmänä arvioidaan toimintatutkimuksen eli kehittävän työntutkimuksen soveltuvuutta. Toimintatutkimuksella ratkaistaan käytännön ongelmia ja pyritään saamaan aikaan muutosta. Käytännön ongelmat voivat olla esimerkiksi teknisiä, kuten tässä tutkimuksessa, tai sitten sosiaalisia, eettisiä tai ammatillisia. Toimintatutkimuksessa ollaan kiinnostuneita siitä, miten asioiden pitäisi olla eli tavoitteena on nykyisen todellisuuden muuttaminen. Menetelmässä otetaan käytännössä toimivat ihmiset osallisiksi kehittämiseen. (Mts. 58 – 59.) Tässä tutkimuksessa ei osallisteta toimeksiantajayrityksen ihmisiä, vaan tutkimukseen osallistuu ihmisiä muista organisaatioista. Tähän tutkimukseen istuu parhaiten tutkimusmenetelmänä toimintatutkimus.

Tutkimusaineiston hankinnassa käytettiin useampia keinoja. Empiirisen aineiston hankintamenetelmä oli haastattelu, joka toteutettiin kyselylomakkeella. Kyselylomake lähetettiin kunnonvalvonnan ja värähtelymittausten asiantuntijoille, kunnonvalvojille sekä laitetoimittajille. Haastatteluiden avulla haettiin vahvistusta tai eroavaisuuksia sekä teoriaosassa esitetyille asioille että tutkijan omille ajatuksille.

Kysely toteutettiin Webropol-kyselylomakkeella. Tyypillisesti kyselylomaketta käytetään määrällisessä tutkimuksessa ja tuloksia analysoidaan tilastollisin menetelmin. Tässä kyselyä sovellettiin laadulliseen tutkimukseen. Tutkimuksen tiedonhankinnan menetelmäksi valittiin kysely, koska se on menetelmänä nopea ja tehokas. Tutkimuksella on kohtuullisen tiukka aikataulu ja haastatteluja olisi ollut hankala sovittaa kalentereihin tutkijan ja haastateltavien työkiireinen takia. Toiseksi kysely sopi hyvin tutkimukseen, koska tutkijalla ja vastaajilla oli riittävästi aikaisempaa tietoa aiheesta. Lomakkeen täyttäjille ei tarvinnut selittää kysymyksiä auki, vaan kaikki ymmärsivät käytetyt termit ja mihin kysymyksillä pyrittiin.

Jos tutkimusmenetelmänä kyselyn vastauksia verrataan haastattelun tuloksiin, voi kyselyn vastaukset olla pinnallisempia. On vaikea arvioida, kuinka vakavasti kyselyyn vastaajat ovat suhtautuneet tutkimukseen ja miten perehtyneitä vastaajat ovat tutkimuksen aiheeseen. Haastatteluun verrattuna kyselystä puuttuu kokonaan vuorovaikutus, eikä tutkijalla ole mahdollisuutta ohjata ja syventää vastausten antamista haluamaansa suuntaan. (Ojasalo, Moilanen & Ritalahti 2015, 108, 121.)

Koska tutkija halusi vastaajien täyttävän itse vastaukset lomakepohjaan, valittiin sellainen pohjainen kyselylomake. Internetistä avautuva lomakepohja on mahdollista täyttää omassa ajassa ja paikassa. Kyselyn toteutusvälineiksi valikoitui Webropol, koska tutkijalla oli siihen tunnukset ja siinä on kohtuullisen selkeä käyttöliittymä. Tutkija hahmotteli ja muokkasikin kysymykset lopulliseen muotoon ensin Microsoft Word-tiedostoon. Tämän jälkeen ne siirrettiin Webropoliin ja kyselylomake testattiin esikatse-
lun avulla. Kyselyyn luotiin avoin linkki, joka lähetettiin valituille asiantuntijoille. Vastaajille annettiin vastausaikaa puolitoista viikkoa. Keskustelujen perusteella vastaajat käyttivät keskimäärin 1 - 2 tuntia lomakkeen täyttämiseen.

Koska kyselylomakkeen vastaukset ovat avoimia, käytettiin vastausten analysoinnissa laadullisen aineiston käsittelymenetelmiä. Vastausten käsittely aloitettiin lukemalla aineisto läpi muutamaan kertaan. Lukemisen aikana pyrittiin löytämään luokitteluja, yleisimpiä vastauksia ja yhteyksiä teoriaan.

1.5 Teoreettinen viitekehys ja keskeiset käsitteet

Työn teoriaosassa käytettiin lähteinä alan kirjallisuutta sekä aikaisempia tutkimuksia, laitetoimittajien koulutusmateriaaleja sekä kunnossapidon standardeja. Työn keskeisinä teorialähteinä on käytetty Kunnossapitoyhdistys Promaint ry:n käsikirjoja ja PSK standardisoinnin kunnossapidon standardeja.

Aiheen keskeisiä suomalaisia tutkijoita ja kirjoittajia ovat mm. Veli-Erkki Lumme, Petri Nohynek, Erkki Jantunen ja Juha Kautto. Veli-Erkki Lumme toi 1980-luvulla Suomen markkinoille ensimmäisen tietokoneavusteisen mittaavan kunnonvalvonnan järjestelmän. Petri Nohynekilla on pitkä, yli 30 vuoden kokemus, pyörivien laitteiden kunnonvalvonnasta. Hän on ollut myös mukana luomassa ISO 18436 standardia. Standardi määrittelee vaatimukset eritasoisille kunnonvalvonnan suorittajille. Erkki Jantunen

toimii erikoistutkijana Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ssä. Hänellä on laaja kokemus kunnonvalvonnan, diagnostiikan ja prognostiikan kehitysprojeekteista. Juha Kautto taas on työskennellyt koko uransa kunnossapidon ja kunnonvalvonnan parissa. Muita merkittäviä kirjoittajia on Jorma Järviö, Taina Lehtiö (entinen Piispa), Juha Miettinen ja Timo Parantainen. (Mikkonen, Miettinen, Leinonen, Jantunen, Kokko, Riutta, Sulo, Komonen, Lumme, Kautto, Heinonen, Lakka & Mäkeläinen 2009, 6; Nohynek 2017.)

Myös yrityksen kehittävät kunnonvalvonnan menetelmiä. Näistä merkittävimpiä tämän työn kannalta ovat Valmet Oyj, SKF Oy Ab ja CMT Solutions Oy. Valmetilla on laaja osaaminen varsinkin kunnonvalvonnan on-line järjestelmistä. SKF on 1907 perustettu ruotsalainen teollisuusyritys, joka tarjoaa kunnossapito- ja luotettavuuspalveluita globaalisti ympäri maailmaa. CMT on mittaus- ja analysointipalveluja tuottava asiantuntijayritys paperi- ja prosessiteollisuuden piirissä. Yritys on kehittänyt mittaus- ja analysointipalveluita kunnonvalvontaan. Heillä on esimerkiksi osaamista rakennedynamiikan selvityksiin ja he hyödyntävät niissä värähtelymittauksen simulaatio-ohjelmia.

Opinnäyte- ja diplomitöitä on kirjoitettu kunnossapidosta ja kunnonvalvonnasta runsaasti. Niissä ei ole kuitenkaan käsitelty kunnonvalvontapalveluiden ulkoistamista, mikä on olennainen osa tätä tutkimusta. Siltä osin tuodaan uutta tietoa kunnonvalvontaan yleiselläkin tasolla. Tämä tutkimus ei juurikaan tuo lisäarvoa kunnonvalvontamenetelmien vertailuun, vaan huomio kohdistuu enemmän kunnonvalvonnan toteuttamiseen toimeksiantajan kohteessa sen erityispiirteet huomioiden. Suurin hyöty tästä tutkimuksesta on siten toimeksiantajalle ja itse tutkijalle.

Työn keskeisiä käsitteitä ovat ehkäisevä kunnossapito (Preventive Maintenance), kuntoon perustuva kunnossapito (Condition Based Maintenance), kunnonvalvonta (Condition Monitoring) ja värähtelymittaukset (Vibration measurement).

Ehkäisevällä kunnossapidolla *pidetään yllä kohteen käyttöomaisuuksia, palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen vian syntymistä tai estetään vaurion syntyminen*. Kuntoon perustuvalla kunnossapidolla tarkoitetaan taas *kunnonvalvonnalla tai tarkastustoiminnalla havaittujen kohteiden suunniteltua korjausta*. Kunnonvalvonnassa

*määritellään kohteen toimintakunnon nykytila ja arvioidaan sen kehittyminen mahdollisen vikaantumis-, huolto- ja korjausajankohdan määrittämiseksi. Sen toimenpiteitä ovat aistein sekä mittalaittain tapahtuvat tarkastukset ja valvonta sekä mittaus-
tulosten analysointi. (PSK 6201:2011, 22 - 23.)*

Värähtelymittaus määritellään tässä kahden erillisen termin avulla. Nämä ovat värähtely ja tärinä. Värähtely tarkoittaa *suuren arvon vaihtelua ajan suhteen*. Tärinä taas tarkoittaa *kiinteän aineen mekaanista värähtelyä, mitä on kappaleen tai sen osan edestakainen liike tasapainoasemansa molemmin puolin*. (PSK 5701:2015, 13.) Kun nämä kaksi termiä yhdistetään, voidaan sanoa että värähtelymittauksessa mitataan kappaleen liikettä ajan suhteen.

2 Kunnossapito

2.1 Kunnossapidon määrittäminen

Yritykset ovat perinteisesti vastanneet itse tuotantoprosessiin kuuluvien laitteiden kunnosta. Tätä toimintaa on kutsuttu kunnossapidoksi. Perinteisesti kunnossapidon käsitä viittaa siis pelkästään korjaavaan toimintaan. Lisäksi kunnossapidolla on perinteisesti viitattu pelkästään kunnossapito-osaston tekemisiin. Tähän ongelmaan lähdettiin hakemaan ratkaisua Ruotsissa 1970-luvulla. Kahden vuosikymmenen työn jälkeen, kunnossapidon käsite on laajentunut. On ymmärretty, että

- kunnossapito ei ole pelkkää korjaamista, vaan vikojen ja vikaantumisen ennakoimista ja kontrollointia
- koneiden käyttäjillä on suuri merkitys koneiden luotettavuuteen ja tehokkuuteen
- ja kun koneita halutaan käyttää tehokkaasti, ei voida tehdä rajausta käyttäjien ja kunnossapidon välillä. (Järviö & Lehtiö 2012, 14)

Ennakoiva ja suunnitelmallinen kunnossapito alkoi kehittyä toisen maailmansodan jälkeen teollistuvissa valtioissa. Kunnonvalvonta, tietokoneet ja elinkaarijohtaminen kehittyivät 1980-luvulla. Tänä päivänä turvallisuus, ympäristö asiat ja tuotteiden laatu ovat yhtä tärkeitä kuin luotettavuus. (Campbell, Jardine, McGlynn 2011, 1.)

Tätä laajempaa kokonaisuutta kutsutaan englanninkielessä termillä Asset Management ja suomenkielessä tuotanto-omaisuuden hallinta. Tuotanto-omaisuuden hallintaan voidaan katsoa kuuluvan tuotantokapasiteetin kehittäminen ja käytön johtaminen, tuotanto-omaisuuden hoitaminen, ympäristö ja työturvallisuusasiat sekä logistiikan hallinta. Termin avaus neljään osa-alueeseen on esitetty kuviossa 2. (Järviö & Lehtiö 2012, 14.)



Kuvio 2. Tuotanto-omaisuuden hallinnan osa-alueet (Järviö & Lehtiö 2012, 14)

Kirjallisuudessa kunnossapitoon löytyy muitakin määrityksiä. Suomen standardoimisliitto SFS Ry sekä PSK Standardisointi ovat määritelleet kunnossapitoon liittyviä standardeja. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry on standardisoinnin keskusjärjestö, joka ohjaa ja koordinoi kansallista standardisointityötä sekä vahvistaa kansalliset SFS-standardit (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2017). PSK Standardisointi on taas teollisuuden ja sitä palvelevien yritysten yhteinen yksikkö, joka tukee jäsenistönsä kotimaista sekä kansainvälistä liiketoimintaa standardisoinnilla ja koulutuksella (PSK 2017). Tärkeimmät Suomen Standardisoimisliiton ja PSK Standardisoinnin määrittämät standardit kunnossapidon alueelle ovat SFS-EN 13306 ja PSK 6201.

Kunnossapito määritellään SFS-EN 13306-standardin (SFS-EN 13306:2010, 8) mukaan seuraavasti: *Kaikki koneen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa koneentoimintakyky sellaiseksi, että kone pystyy suorittamaan halutun toiminnon.*

PSK Standardisoinnin PSK 6201 standardin (PSK 6201:2011, 2) mukaan *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.*

Näiden lisäksi on monia muitakin kunnossapitoon liittyviä standardeja. Tämän tutkimuksen kannalta yksi olennainen on Suomen Standardisointiliiton standardi SFS-EN 15341. Standardissa keskitytään enemmän kunnossapidon toimintaa mittaavien tunnuslukujen määrittämiseen ja annetaan ohjeita niiden laskemiseen, mutta siellä viitataan myös kunnossapidon suorituskykyyn. Standardissa SFS-EN 15341 on seuraavaa tekstiä kunnossapidon suorituskyvyn määrittämisestä: *Kunnossapidon suorituskyky on tulos sellaisten resurssien aktiivisesta käytöstä, joilla ylläpidetään tai palautetaan kohteen toimintakyky sellaiseksi, että se pystyy suorittamaan halutun toiminnon. Siitä voidaan käyttää ilmaisua saavutettu tai odotettu tulos. Kunnossapidon suorituskyky riippuu sekä ulkoisista että sisäisistä tekijöistä, kuten sijainti, kulttuuri, toiminta- ja palveluprosesseista, koosta, käyttöasteesta, ja iästä. Kunnossapidon suorituskyky saavutetaan käyttämällä korjaavaa, ehkäisevää ja parantavaa kunnossapitoa, jotka yhdistävät eri tavoin työtä, informaatiota, materiaaleja, organisaation metodeja, työkaluja ja työtekotekniikoita.* (SFS-EN 15341:2007, 8) Myöhemmin tässä työssä kerrotaan tarkemmin standardin mainitsemista korjaavasta, ehkäisevästä ja parantavasta kunnossapidosta. Sitä ennen kerrotaan hiukan kunnossapidon taloudellisesta merkityksestä Suomessa.

2.2 Kunnossapidon taloudellinen merkitys

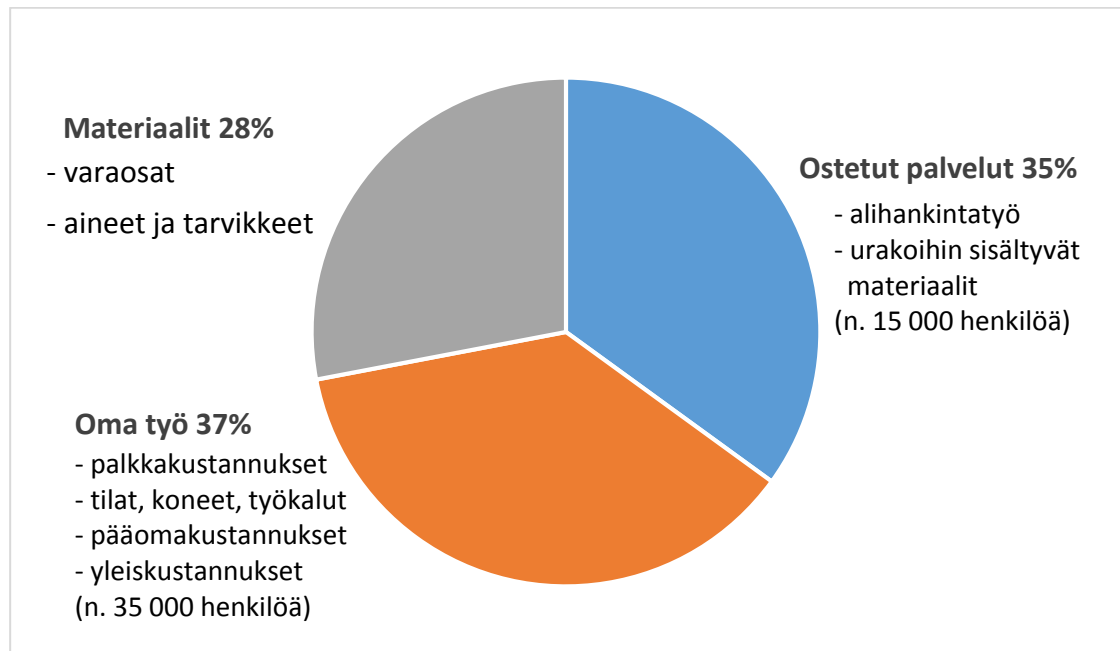
Kunnossapidolla on laaja vaikutus useilla teollisuuden aloilla. Myös kansantaloudellisesti mitattuna sen arvo on suuri. Selkeää tilastollista mittaria taloudellisen merkityksen määrittelyyn ei ole luotu kansallisella, eikä kansainvälisellä tasolla. Siihen lienee

pääsyy on se, että kunnossapitoa ei mielletä omaksi toimialaksi. Kunnossapito on mukana laaja-alaisesti teollisuuden toiminnoissa. (Mikkonen ym. 2009, 37.)

Kunnossapitoa ja sen taloudellisia vaikutuksia voidaan katsoa sekä tuotannollisen yrityksen että kunnossapidon laite- tai palvelutoimittajan näkökulmasta. Kunnossapitoa arvioidaan tuotannolliset yritysten sisällä lähinnä taloudellisten kustannusten tai kunnossapidosta aiheutuvien tuotannonmenetysten muodossa. Tämä on johtanut tuotannollisten yritysten parissa siihen, että kunnossapitoa ei ole arvostettu kovin korkealle. Laitetoimittajien näkökulma kunnossapitoon on kuitenkin erilainen. Kunnossapidosta on muodostunut heille kannattavaa liiketoimintaa. He käyttävät oman liiketoimintansa arviointiin myös normaaleja liiketaloudessa käytettäviä indikaattoreita. Näitä ovat mm. liikevaihto, tulos ja markkinaosuus. (Mts. 37.)

Yritysten kunnossapito muodostaa yhden suurimmista kustannusosuuksista heti pääoma ja raaka-ainekustannusten jälkeen. Yritysjohdon tulisi tiedostaa, että kunnossapito muodostaa yhden suurimman kontrolloimattoman kuluerän. Hyvän yritysjohdon tunnistaakin panostuksesta kunnossapidon hallintaan ja kustannusten kontrollointiin. Kustannusten ja tuottojen laskemisessa on noudatettava erityistä tarkkuutta, koska yrityksen tuloksen muodostumisessa kunnossapidolla on epäsuora vaikutus. Välilinen vaikutus on kuitenkin ehdottomasti tunnettava voidaksemme selvittää kunnossapidon satsausten ja pääoman todelliset tuotot. (Järviö & Lehtiö 2012, 27.)

Teollisuuden kunnossapitokustannukset jakautuvat lähes tasaisesti kolmeen eri osaan. Tätä on havainnollistettu kuviossa 3. Ostopalvelut muodostavat 35 %, oman työn osuus on 37 % ja materiaaleihin kuluu 28 % kaikista teollisuuden kunnossapitokustannuksista. (Mikkonen ym. 2009, 40.)



Kuvio 3. Kunnossapidon kustannusten jakauma teollisuudessa Suomessa (Mikkonen ym. 2009, 40)

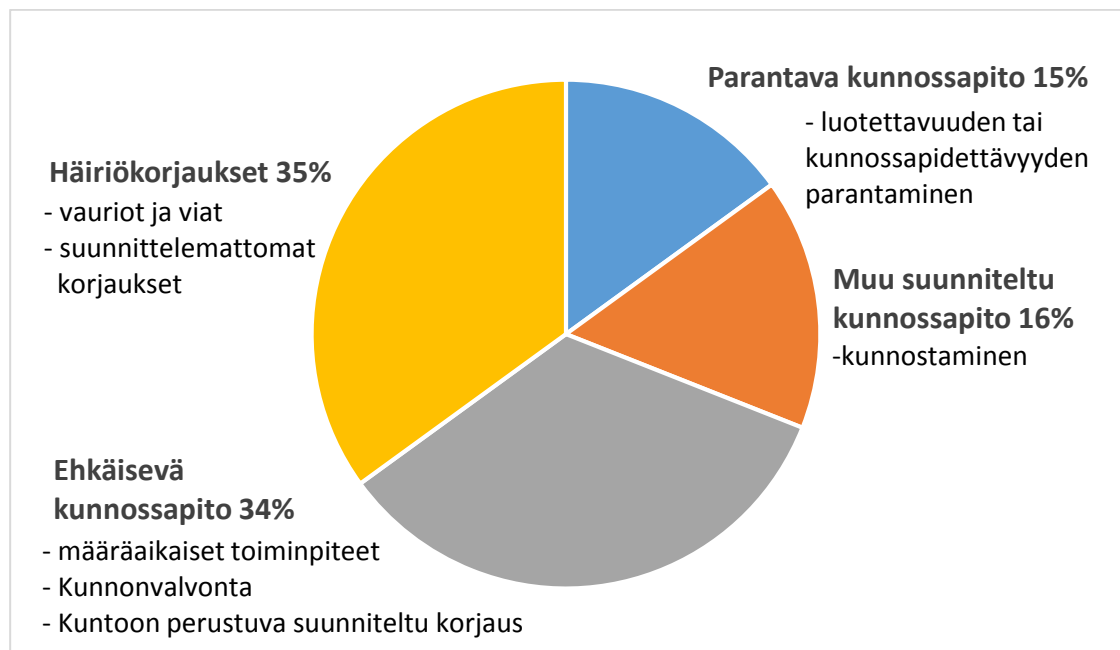
Kuvio 3 luvut ovat kerätty vuosien 2003 - 2005 käsittävien kunnossapidon tutkimusten tunnusluvuista. Kuten kuviossa näkyy, oman työn parissa työskentelevien määrä on 35 000 henkilöä, kun taas ostettujen kunnossapitopalveluiden piirissä työskentelee 15 000 henkilöä. Määrien suhteeseen on tullut ja tulossa muutoksia. Nykytrendin mukaan oman työn osuus nimittäin laskee ja vastaavasti palvelujen osuus on kasvussa. Kehitys on seurausta toimintojen lisääntyvistä ulkoistuksista ja suurien ikäluokkien eläköitymisestä. Työvoiman eläköityessä yritykset eivät palkkaa enää omaa työvoimaa vaan hankkivat palvelut palveluntarjoajilta. (Mts. 40.)

Kunnossapidon kansantaloudellinen merkitys Suomessa on suuri. Sen vaikutukset ovat laajat ja siihen käytetään merkittäviä rahallisia panostuksia. Kunnossapito on suuri työllistäjä, sillä yli 200 000 ihmistä saa elantonsa kunnossapitoon liittyvistä toiminnoista. Teollisuuden osuus tästä arvioidaan olevan noin 50 000 henkilöä. Jotta kunnossapidon parissa olevia työntekijöitä ja toimia voidaan johtaa tehokkaasti ja kunnossapidon tehokkuutta vertailla ja analysoida eri työlajien ja työtuntien mukaan, on kunnossapidolle määritelty kunnossapitolajeja. (Järviö & Lehtiö 2012, 31, 46.)

2.3 Kunnossapitolajit

Jotta kunnossapidon tehokkuutta voidaan johtaa parhaalla mahdollisella tavalla, on kunnossapito jaettu eri lajeihin. Tehokas kunnossapito tarkoittaa, että kunnossapitäjät osaavat laatia koneelle mahdollisemman järkevät kunnossapitostrategiat ja toteuttaa ne siten, että koneen suorituskyky säilyy mahdollisemman hyvänä. Tehokas käyttö taas tarkoittaa sitä, että käyttäjät osaavat käyttää koneitaan tehokkaasti ja asianmukaisesti. Tehokas kunnossapito yhdessä tehokkaan käytön kanssa muodostavat perustan koneen toiminnalliselle tehokkuudelle. (Järviö 2004, 10.)

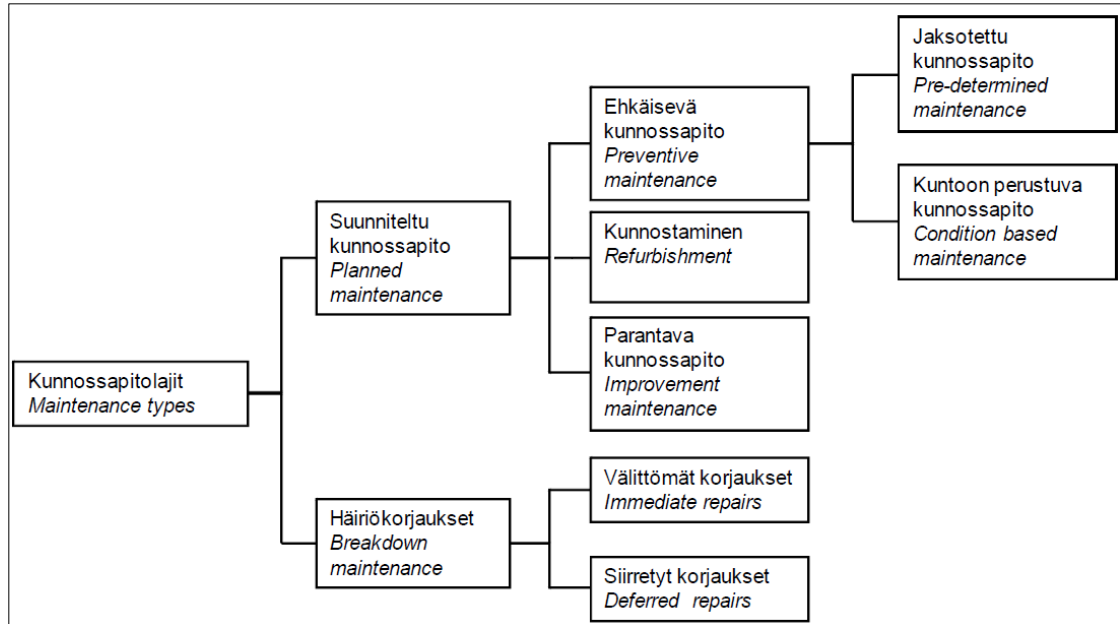
Kuntoon perustuva kunnossapito käsikirja (Mikkonen ym. 2009, 41) jakaa Suomen teollisuuden kunnossapidon kustannusten jakautumisen perusteella neljään eri luokkaan: Parantava kunnossapito 15 %, muu suunniteltu kunnossapito 16 %, ehkäisevä kunnossapito 34 % ja häiriökorjaukset 35 %. Kuten kuvio 4 käy selvästi esille, häiriökorjauksiin ja ehkäisevään kunnossapitoon liittyvät resurssit ja toimet edustavat yhteensä 2/3 koko Suomen teollisuuden kunnossapidon kustannuksista.



Kuvio 4. Kustannusten jakautuminen Suomessa kunnossapitolajeittain (Mikkonen ym. 2009, 41)

Kunnossapidon lajeja on kirjallisuudessa ja standardeissa jaoteltu eri lailla riippuen kuka on jaotellut ja millä perusteella jako on tehty. Tyypillisiä jaotteluperusteita ovat kunnossapidon vian havaitsemisen mukaan tehty jaottelu standardissa SFS-EN

13306:2010 tai standardin PSK 6201:2011 jaottelu sen mukaan, että ovatko ne suunniteltuja vai aiheuttavatko ne tuotantohäiriötä. Tässä työssä käytetään jälkimmäistä jaottelua eli jaetaan kunnossapito päätasolla suunniteltuun ja korjaavaan kunnossapitoon, ja siitä edelleen suunniteltu kunnossapito vielä ehkäisevään ja parantavaan kunnossapitoon.



Kuvio 5. Kunnossapitolajit (PSK 6201:2011, 22)

Kuviossa 5 on esitetty PSK 6201 standardissa oleva kaavio kunnossapitolajien jaottelusta (PSK 6201:2011, 22). Kaaviossa on kunnossapitolajit myös englannin kielellä. Seuraavissa luvuissa kerrotaan tarkemmin korjaavasta kunnossapidosta, sekä suunnitellun kunnossapidon alalajeista ehkäisevä ja parantava kunnossapito.

2.3.1 Korjaava kunnossapito

Yleisesti ottaen, kun rikkoutunut laite tai sen osa palautetaan alkuperäiseen käyttö- kuntoon, toimintaa kutsutaan korjaamiseksi. Komponenttien käyttöaika voidaan määrittää korjaavan kunnossapidon toiminta-aikojen avulla. Suomen Standardisoi- misliiton standardi SFS-EN 13306:2010 määrittää korjaavan kunnossapidon seuraavasti: *Korjaava kunnossapito on kunnossapitoa jota tehdään vian havaitsemisen jäl- keen tavoitteena saattaa kohde tilaan, jossa se voi toteuttaa vaaditun toiminnon* (SFS-EN 13306:2010, 22). PSK Standardisoinnin PSK 6201:2011 standardin (PSK

6201:2011, 23) mukaan *korjaavaa kunnossapitoa on häiriökorjaus, kunnostaminen ja kuntoon perustuva suunniteltukorjaus.*

Häiriökorjaukset jaetaan kahteen alaryhmään välittömiin ja siirrettyihin korjauksiin. Häiriökorjaus on suunnittelematonta toimintaa ja kunnostaminen on suunniteltua toimintaa. (PSK 6201:2011, 22.) Häiriökorjausta voidaan käyttää, jos laite tai komponentti ei ole kriittinen ja se ei vaikuta tuotantoprosessiin. Varmennettujen laitteiden häiriökorjaus on järkevää vain silloin, kun uusi laite maksaa vähemmän kuin korjaaminen. Jos laitteen vaurioitumisesta syntyy kerrannaisvaurioita, vaaratilanteita tai turvallisuusriskejä, häiriökorjausta ei kannata käyttää. (SKF 2014, 10.)

Laitoksista, joissa on paljon korjaavaa kunnossapitoa, voi löytyä seuraavia piirteitä:

- *Kunnossapitokustannukset ovat korkeat*
- *Seisokit ovat yleisiä*
- *Seurannaisvahingot ovat kalliita*
- *Tuotannon hallinta vaikeaa*
- *Työntekijät ovat stressaantuneita*
- *Kunnossapitohenkilöt ovat kiireisiä*
- *Suuri osa työstä on suunnittelematonta*
- *Paljon ylitöitä*
- *Turvallisuuspuutteita*
- *Epäjärjestystä.* (SKF 2014, 9.)

Luettelon piirteet ovat hyvin kärjistettyjä, eivätkä ne sellaiseen sovi suoraan useimpaan laitokseen tai tehtaaseen. Lähinnä ne ovat esimerkkejä mahdollisista ongelma-kohtista, kun kunnossapidon pääpaino on korjaavassa kunnossapidossa.

Tuotantolaitoksissa, joiden luotettavuus on heikko ja häiriökorjausten osuus suuri, voidaan kuitenkin yleisesti ajatella työntekijöiden olevan myös äkäisempiä. Tämä johtuu siitä, että laitteet rikkoutuvat useasti ja kannetaan huolta siitä, mikä laite menee seuraavaksi rikki. Laitoksissa joissa laitteiden kuntoa valvotaan, on riittävästi aikaa suorittaa työtehtävät huolellisesti. Tämä näkyy hyvänä työilmapiirinä ja parantuneena turvallisuutena. (Osarenren 2015, 35.)

2.3.2 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevä kunnossapito on määritelty kahdessa standardissa samankaltaisesti. Ehkäisevä kunnossapito määritellään standardissa SFS 13306 seuraavasti: *Määrätyin väleihin tai suunniteltujen kriteerien täytyessä pienennetään vikaantumisen mahdollisuutta tai kohteen toiminnan heikkenemistä (SFS 13306:2010, 20). Standardin PSK 6201 mukaan ehkäisevällä kunnossapidolla pidetään yllä kohteen käyttöominaisuuksia, palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen vian syntymistä tai estetään vaurion syntyminen (PSK 6201:2011, 22).*

Ehkäisevän kunnossapidon menetelmillä valvotaan kohteen toimintakykyä tai suoritusarvoja. Tavoitteena on pienentää häiriön todennäköisyyttä sekä laitteen tai komponentin suorituskyvyn alenemista. Ehkäisevässä toiminnassa kunnossapitoa tehdään jaksotetusti tai tarpeen mukaan. Saatujen kokemusten perusteella pystytään suunnittelemaan ja aikatauluttamaan kunnossapidon tehtävät. Ehkäisevään kunnossapitoon lasketaan mukaan esimerkiksi seuraavat tehtävät:

- Tarkastaminen
- Kuntoon perustuva kunnossapito (kunnonvalvonta ja kuntoon perustuva suunniteltu korjaus)
- Määräystenmukaisuuden toteaminen
- Testaaminen tai toimintakunnon toteaminen
- Käynninvalvonta
- Vikaantumistietojen analysointi. (Järviö & Lehtiö, 50.)

Ehkäisevässä kunnossapidossa käytetään määräaikaan sidottuja kunnossapidollisia toimenpiteitä, hyödynnetään kunnonvalvontaa ja suunnitellaan korjaukset kohteen kunnon perusteella. Kunnonvalvontaa suoritetaan laitteen tai koneen käydessä tai seisoessa. Tavoitteena on löytää alkavia vaurioita tai varmistaa kohteiden toimintakunto. Kuntoon perustuva kunnossapito on osa ehkäisevää kunnossapitoa. Myös laitteiden kunnostaminen lasketaan suunnitelluksi kunnossapidoksi. (Mikkonen ym. 2009, 41.)

Standardissa SFS-EN 13306:2010 kuntoon perustuva kunnossapito määritellään siten, että siinä seurataan kohteen suorituskykyä tai muita parametreja ja toimitaan havaintojen mukaisesti. Määritelmän mukaan kuntoon perustuva kunnossapito luokitellaan ehkäisevään kunnossapitoon. Tässä mallissa valvotaan koneen tai laitteen toimintakykyä ja säätö- ja mittausarvoja sekä suoritetaan kunnossapitoa niiden perusteella. Standardin mukaan toiminta voi olla on-line tyyppistä, jaksotettua tai tarpeen mukaan suoritettavaa. Kunnonvalvonta, tarkastukset ja käyttöparametrien valvonta ovat suuressa roolissa määriteltäessä kuntoon perustuvaa kunnossapitoa. Kuitenkin se pitää sisällään myös muut kunnossapitoon liittyvät toiminnot. (SFS-EN 13306:2010, 20; Mikkonen ym. 2009, 100.)

Englannin kielessä oleva määritelmä Predictive Maintenance kääntyy suomenkielessä ennakoivaksi kunnossapidoksi tai kunnonvalvonnaksi. Usein, kun puhutaan kunnonvalvonnasta, keskitytään pelkästään kunnonvalvonnan mittauksiin. Määritelmänä kunnonvalvonta on oikeaoppista ja ymmärrettävä suomen kieltä, mikä tekee siitä helposti sisäistettävän. Ehkä juuri tulkinnan helppous on sitten kuitenkin johtanut siihen, että asia voidaan ymmärtää monella tavalla. Termin sisällön määritelmä saattaa poiketa kysyttäessä eri ihmisiltä. (Mikkonen ym. 2009, 101.) Ennakoiva kunnossapito voidaan nähdä myös asenteena, eikä pelkkänä menetelmänä. Siinä voidaan hyödyntää erilaisia tekniikoita ja välineitä. (Levitt 1997, 248.)

2.3.3 Parantava kunnossapito

PSK standardisointi määrittelee parantavan kunnossapidon PSK 6201 standardissaan seuraavasti: *Parantavan kunnossapidon tarkoituksena on parantaa kohteen luotettavuutta ja/tai kunnossapidettävyyttä muuttamatta kohteen toimintoa* (PSK 6201:2011, 23). Suomen Standardisointiliitto (SFS-standardit) ei ole tehnyt määritelmää parantavalle kunnossapidolle. Standardi tuntee käsitteet parantamisesta ja muutoksesta, mutta yksityiskohtaisempi kuvaus uupuu.

Parantavalle kunnossapidolle on määritelty kolme eri pääryhmää. Näissä pääryhmissä kuvataan parantavan kunnossapidon toimintoja. Ryhmässä yksi parannuksia tehdään käyttämällä alkuperäisiä nykyaikaisempia komponentteja tai osia, mutta

suorituskyky ei juurikaan muutu. Toisessa ryhmässä keskitytään parantamaan koneen käyttövarmuutta. Tavoitteena on parantaa käyttövarmuutta, tehostamatta kuitenkaan kohteen toimintaa. (Järviö & Lehtiö 2012. 51.)

Kolmannessa ryhmässä ovat uusinnat, joilla taas tehostetaan kohteen toimintaa. Pääsääntöisesti uusinta koskee sekä tuotantoprosessia että modernisoitavaa kohdetta. Otetaan esimerkiksi paperikone, joka on vanhentunut ja menettänyt kilpailukykyä uusille paperilajeille. Koneen elinkaari ei ole vielä lopussa, joten on järkevämpää modernisoida kuin hankkia uusi kone. Tämä tulee esiin aina vain useammin, kun valmistettavien tuotteiden elinkaari on valmistavien koneiden elinjaksoa lyhempi. Vanhoilla koneilla ei pystytä vastaamaan kiristyvään kilpailuun ja markkinoiden tarpeisiin. Modernisaatioilla onkin suuri merkitys kunnossapitoyritysten toiminnassa. Kun yritysmaailmassa halutaan parantaa toimintaa, puhutaan investoinneista ja niitä ei lasketa kunnossapidoksi. Tämä kaikki yhteensä on kuitenkin tuotanto-omaisuuden hallintaa. (Mts. 52.)

Kunnossapidon päämääränä on oikea aikaisuus. Pitää tiedostaa missä vaiheessa huolletaan tai vaihdetaan kunnossapidettava laite. Edellytyksenä tehokkaalle kunnossapidolle on koko organisaation yhtenäinen ja tiivis toiminta sen eri tasoilla. Käyttöhenkilökunnan, kunnossapidon ja työnsuunnittelun ja -johdon täytyy toimia yhteisten tavoitteiden mukaan ja saavuttaa ne yhdessä.

2.4 Kunnossapitopalveluiden ostaminen

Kuten aikaisemmissa luvuissa onkin jo tuotu esille, kunnossapito on tuotantolaitokselle välttämätön resurssi. Ilman kunnossapitoa ei yksikään laitos toimi. Yritysmaailmassa on jo pitkään vallinnut trendi, että toimintoja pitää hoitaa kustannustehokkaasti ja erikoistua vain ydintoimintoihin. Kunnossapitoa ei ole aina laskettu yrityksen ydintoiminnoiksi. Tällöin on päädytty kunnossapitotoimintojen joko osittaiseen tai kokonaisvaltaiseen ulkoistamiseen eli ostamiseen. Nykyään eletään palveluyhteiskunnassa, johon myös kunnossapitopalvelut sulautuvat. Palveluiden ympärille on syntynyt laajalla rintamalla kunnossapidon erikoisosaamista tarjoavia yrityksiä.

Erialaisten kunnossapitopalveluiden ostaminen on lisääntynyt huomattavasti kuluneen parin vuosikymmenen aikana. Jos lukemaa verrataan koneiden ja laitteiden

kunnossapidollisten toimintojen määrään, on havaittavissa, että yritykset ovat ostaneet kunnossapitopalveluita entistä enemmän ulkopuolisilta palveluyrityksiltä. 20 vuotta sitten palveluita markkinoitiin puhtaasti taloudellisilla perusteilla. Nykyään kiinnitetään rahan lisäksi huomiota myös palvelun laatuun sekä toiminnan tehokkuuteen. Näitä tekijöistä ollaan valmiita maksamaan. Voidaankin puhua myös tuotantokapasiteetin ostamisesta. (Laine 2010, 169.)

Kun yrityksissä puhtaan laatujärjestelmistä liittyvät ne usein tuotantoprosessin raaka-aineiden hankintaan tai muihin tuotteisiin. Kunnossapidon palvelut ja niiden ostaminen jäävät usein laatujärjestelmien ulkopuolelle. Tämän seurauksena kunnossapidon ostotoiminnot voivat olla huonolaatuisia verrattuna yrityksen muihin ostoihin. Edelleen moni ostaja tekee päätökset hinnan perusteella ja suorituskyky jää toisarvoiseksi. Seuraukset näkyvät pahimmillaan vasta pidemmän ajanjakson jälkeen. Palveluntoimittajien täytyy kantaa vastuuta palvelunostajan tuotantolinjan tehokkuudesta. (Mts., 175.)

Olli Pekkarinen tuo esille omassa kirjoituksessaan kirjassa Verkostomainen kunnossapito (Kärri, Marttonen-Arola, Ali-Marttila, Pekkarinen, Pekkola, Rantala, Saunila, Sinkkonen, Ukko., Ylä-Kujala 2015, 26), kuinka palvelun ulkoistamisen suunnitteluvaiheessa on äärimmäisen tärkeää löytää oikeat palveluntarjoajat. Tämän jälkeen valintavaiheessa on tärkeää selvittää jokaisen toimijan osaamisen taso. Tähän selvitystyöhön paras informaatio löytyy yleensä toimittajien tarjoomista. Tarjoomien esitelyissä toimijan kannattaa kertoa omat erikoisosaamiset ja kyvykkyydet mahdollisimman laajoilla referensseillä ja esimerkeillä.

Kaiken kaikkiaan yrityksellä, joka ulkoistaa toimintojaan, tulee olla selkeä visio siitä, mitä ulkoistetaan ja mitä tavoitteita asetetaan. Tilajaorganisaation henkilöstön asenteilla ja toimintatavoilla on tärkeä merkitys onnistuneen ulkoistamisen toteutumiseen halutulla tavalla (Järviö & Lehtiö 2012, 235).

Perinteisessä kunnossapitomallissa kunnossapitoinsinööri tai -päällikkö työskentelee oman osastonsa ja ammattialansa kunnossapitotehtävissä. Hänen alaisuudessaan ovat työnjohtajat ja heidän alaisuudessa kunnossapidon työntekijät. Tällä miehityksellä vastataan koneiden ja laitteiden teknisestä kunnosta sekä käyttövarmuudesta. Organisaatio on raskas ja jossain määrin tehoton. Kilpailutilanteiden kiristyessä on

kiinnitetty enenemässä määrin huomiota kunnossapidon kustannuksiin ja vaadittu kustannustehokkuutta ja töiden ulkoistamista. Jotkut yritykset ovat ulkoistaneet tuottavuusjohdon yhteydessä laajoja kokonaisuuksia kunnossapitopalveluihin erikoistuneille yhtiöille. Tilanne näyttää muuttuneen suurella maantieteellisellä sektorilla toimivien palveluyritysten ilmaantuessa markkinoille ja jatkuvan edelleen kohti joustavampia ja tehokkaampia kunnossapidon yritysverkostoja. (Kärri ym. 2015, 6.)

Tämä muuttunut toimintaympäristö asettaa kehityspaineita kunnossapidon toteutusmalleille ja työkaluille. Tavoitteena auttaa kunnossapitoverkostoja kohti mahdollisemman suurta palveluiden arvonmuodostusta. Keskeisenä tavoitteena on verkostomaisten kunnossapitopalveluiden taloudellinen optimointi sekä verkostokumppaneiden että koko verkoston näkökulmasta. Tapahtunut kehitys on synnyttänyt uudenlaisia päätöksentekotilanteita, jotka edellyttävät parempaa kustannustietoutta ja arvon tuottamisen näkökulmaa kunnossapitopalveluiden koko elinkaaren ajalta. (Mts. 6.)

Suomen osalta kilpailijamaihin verrattuna korkeampi kustannustaso ja rahoituskriisit merkitsevät myös tulevaisuudessa niukkoja investointeja koneisiin ja laitteisiin. Teollisuuslaitoksia pyritään ajamaan olemassa olevalla laitekannalla ja investointien takaisinmaksuajat pidetään lyhyinä. Tilanne on tietysti erilainen niillä teollisuuden aloilla, joilla vienti vetää, mutta kulta-ajat tuntuvat olevan ohi. Laitekannan ikääntyessä ja korjausvelan lisääntyessä kunnossapidon rooli korostuu entisestään. Toimivilla verkostoilla ja yritysten välisellä yhteistyöllä voitaneen osittain kompensoida kasvavia kunnossapitokustannuksia. Tulevaisuuden suuri haaste teollisessa kunnossapidossa onkin kannattavuustiedon ja arvoajattelun tekeminen läpinäkyväksi, verkostotasolla. Läpinäkyvyys antaa mahdollisuuden uudelleen palveluiden johtamismalliin, mutta edellyttää toimiakseen entistä kehittyneempiä työkaluja verkostomaisen kunnossapidon ennakoivaan johtamiseen. (Mts. 6.)

3 Kunnonvalvonta

3.1 Yleistä kunnonvalvonnasta

On olemassa monia tapoja havaita muutoksia laitteiden kunnossa. Yleisesti vikaantunut havaitaan värähtelyn, äänen, lämpötilan, tehon tai suorituskyvyn muutoksesta.

Tärkein asia on havaita vikaantumisen merkit ja kohde mahdollisemman ajoissa. Näin korjaustoimenpiteet voidaan tehdä suunnitellusti. Kun laite on rikki, sen saattaminen nopeasti toimintakuntoon kuluttaa rahaa, aikaa ja resursseja. (Osarenren 2015, 10.)

Ideaalisessa kunnossapidossa on mahdollista nähdä komponenttien sisään ja vaihtaa ne juuri ennen vikaantumista. Kehittyneet työkalut mahdollistavat laakerivaurioiden havaitsemisen viikkoja ennen vaurioitumista. Teknologia on kehittynyt huomattavasti ja monet työkalut on lainattu muilta aloilta kuten lääketiede, kilpa-autoilu ja ilmailu. Nämä kehittyneet tekniikat sisältävät monenlaista analysointia, kuten värähtelyanalyysi, infrapunalämpötilamittaukset ja visuaaliset tarkastukset. (Levitt 2003, 93.)

Kunnonvalvonta ja siihen liittyvät värähtely- eli värähtelymittaukset muodostavat tärkeän kokonaisuuden nykypäivän teollisuuden kunnossapidossa. Kunnonvalvonnalla on huomattu olevan positiivinen vaikutus tuotantolaitosten käyttöasteeseen ja toiminnan kannattavuuteen. Viimeisen vuosikymmenen aikana erityisesti tietokoneavusteinen kunnonvalvonta on mahdollistanut suurien mittausdatamäärien käsittelyn ja auttanut hallitsemaan informaatiotulvaa. Mittausten perusteella tiedetään koneiden todellinen kunto, mikä parantaa suunnitelmallisuutta. (Nohynek & Lumme 2007, 7.) Kunnonvalvonnan toimenpiteitä ovat aistein sekä mittalaittein tapahtuvat tarkastukset ja valvonta sekä mittaustulosten analysointi (PSK 6201:2011, 23).

Kunnonvalvonta sisältyy usealla eri tavalla yrityksen muihin toimintoihin. Se on yksi kunnossapidon alue, joka tuottaa tärkeää informaatiota investointeja, käyttöä sekä kunnossapitoa varten. Tärkeimpiä hyötyjä, mitä kunnonvalvonnalla voidaan saavuttaa, ovat kunnossapidon suunnitelmallisuuden paraneminen, seisokkiaikojen tehokas hyödyntäminen, yllättävien ja äkillisten seisokkien vähentyminen ja koneen eliniän piteneminen. Tällä toiminnalla on myös positiivinen vaikutus yrityksen kannattavuuteen. (Nohynek & Lumme 2007, 11.)

Käyttämällä pääomana resursoituja henkilötyötunteja mittaavaan kunnonvalvontaan, on mahdollista saada suuria rahallisia säästöjä tuotantolaitoksen erilaisista kulukoh-teista. Oikein suoritettulla ja mitoitettulla kunnonvalvonnalla pystytään vähentämään äkillisten ja yllättävien seisokkien määrää, välttämään turhilta avaamisilta ja tarkastuk-silta. Myös varastossa olevien varaosien määrää voidaan vähentää, mikä pienentää varastoon sidottua pääomaa. Suunnitellut seisokit voidaan pitää lyhempinä, koska

seisokkityöt on pystytty suunnittelemaan paremmalla tarkkuudella. Kunnonvalvonnan tavoitteena onkin ohjata kunnossapitotyöt oikeaan ajankohtaan, ja vain siinä määrin kuin koneiden kunto sitä vaatii. (Mts. 12 - 13.)

Aluksi kunnonvalvontaa suoritettiin ensisijaisesti aistihavaintoihin perustuen. Esimerkiksi laakereiden kuuntelussa käytettiin harjanvartta tai muuta tarkoitukseen sopivaa puukeppiä. Lämpötilan muutoksia arvioitiin käsivaraisesti koskettamalla koneenosia. Muutokset värähtelytasoissa havainnoitiin koskettamalla kohdetta kädellä tai jalalla. Koneiden kuntoa pystyttiin arvioimaan myös seuraamalla lopputuotteen laatua. Nämä menetelmät ovat edelleenkin käytössä, mutta niitä korvaamaan ja täydentämään on alettu käyttämään yhä lisääntyvässä määrin erilaisia mittausmenetelmiä. (Mts. 13.)

Tässä alla on listattu tärkeimmät syyt mittaavaan kunnonvalvonnan käyttöön:

- Tuotantolinjoja rakennetaan ilman varakoneita. Näin yksittäisen koneen käynnissäpito tulee kriittiseksi koko tehtaan kannalta
- Tuotantomäärien kasvu on johtanut seisokkituntien hintojen nousuun
- Pyörimisnopeuksien kasvaminen on aiheuttanut sen, että vikoja kehittyy nopeammin
- Koneiden ja rakenteiden keventäminen on tuonut tärinävalvonnan rakenteiden keston kannalta tärkeämmäksi
- Prosessien säädön muuttuessa yhä enemmän kierroslukusäätöisiksi vaihtelee koneiden tärinäkäyttäytyminen voimakkaasti eri kierroslukualueilla
- Huolto- ja käyttöhenkilökunnan määrän vähentymisen johdosta säännöllinen aisti-varainen valvonta koneiden luona on vähentynyt
- Aistinvaraisista huomioista ei saada kirjattua tunnuslukuja, joiden avulla koneiden kuntoa voidaan valvoa
- Keräilevien mittalaitteiden kehittyminen on madaltanut niiden käyttöönoton kynnyksiä
- Meluisa, vaarallinen tai muuten epämiellyttävä ympäristö suosii siirtymistä mittauksiin aistihavaintojen sijasta. (Mts. 13.)

Kunnonvalvontaa ja erilaisia mittausmenetelmiä on teollisuudessa käytetty suunnitellusti jo 60-luvulta lähtien. Mittaustoimintaan alettiin panostaa voimakkaammin

80-luvulla ja tällä hetkellä kaikista teollisista tuotantolaitoksista löytyy mittalaite, jonka avulla koneiden kuntoa voidaan valvoa. Kunnonvalvonnan parissa työskenteleviä henkilöitä on tänä päivänä lähes jokaisessa isommassa teollisessa tuotantolaitoksessa. (Mts. 13.)

3.2 Diagnostiikka

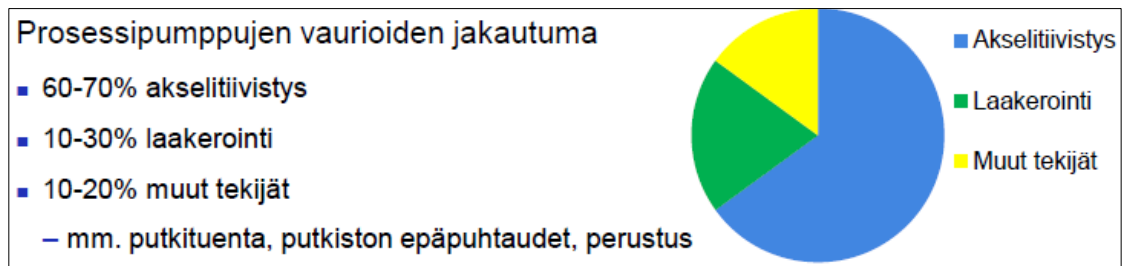
Yleisesti kunnonvalvonta jaetaan kolmeen vaiheeseen. Nämä ovat valvonta, vianmääritys eli diagnoosivaihe ja ennusteen laatiminen eli prognostiikka. Kun kunnonvalvonnan toiminnot ja menetelmät suunnitellaan ja toteutetaan riittävällä huolellisuudella, suurin osa mahdollisista vioista voidaan todeta ennen niiden kehittymistä kriittisiksi koneen käytön kannalta. Mittaustoiminnan on kuitenkin oltava säännöllistä, jotta viat voidaan havaita riittävän ajoissa. Kun viat löydetään ajoissa, voidaan vikaantumisesta johtuvat muutoksetkin todeta melko yksikertaisinkin mittauksin ja näin säästetään aikaa vian korjauksen suunnitteluun ja itse korjaukseen. (Mikkonen ym. 2009, 281.)

Kunnonvalvonnan ensimmäinen vaiheen eli valvonnan tarkoituksena on saada luotettava havainto poikkeavasta tilanteesta. Havaittu poikkeama normaalista tilanteesta taas käynnistää vianmäärityksen eli diagnoosin. Diagnoosin tarkoituksena on selvittää poikkeavan mittaustuloksen syy ja tunnistaa mahdollinen vikaantuminen. Kolmas vaihe on ennusteen eli prognosin laatiminen. Ennusteen laatimisen tarkoituksena on arvioida jäljellä olevaa koneen tai laitteen käyttöaikaa ja sen perusteella päättää mahdollisen korjaustoimenpiteen ajankohta. (Mts. 281.)

Diagnoosi eli vianmääritys käynnistyy, kun laitteen todetaan käyttäytyvän normaalista poikkeavalla tavalla. Vianmääritysvaiheen tavoitteena on ensinnäkin selvittää, johtuuko todettu poikkeama laitteessa olevasta viasta tai kenties jostain muusta syystä. Toiseksi vianmäärityksessä arvioidaan mahdollisen vian vakavuus. Kolmanneksi arvioidaan, onko laitetta vielä tarkoituksenmukaista käyttää huomioiden mm. käyttöturvallisuus ja taloudelliset seikat. Lisäksi diagnostiikkaan kuuluu myös toimenpidesuosituksen tekeminen. (Mts. 290.)

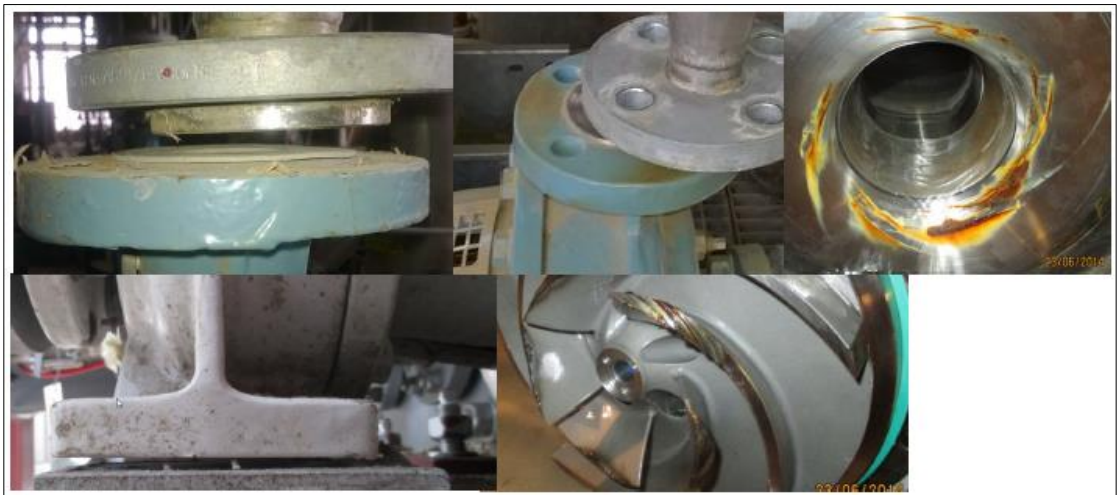
Kuviossa 6 näkyy tutkimuksen kohteena olevien prosessipumppujen vaurioiden jakauma Sulzer Oy:n materiaalin mukaan. Akselitiivistysten vaurioituminen aiheuttaa

jopa 60 - 70 % pumppujen vaurioitumisesta. Loput vauriot aiheutuvat tasan laakeroinnin vaurioitumisesta ja muista syistä. Muut syyt aiheutuvat mm. putkituentojen tai perustusten puutteellisuudesta tai putkistojen epäpuhtauksista. (Sulzer 2017, 2.)



Kuvio 6. Prosessipumppujen vaurioiden jakauma (Sulzer 2017, 2)

Väärin linjatut putkistot aiheuttavat myös prosessipumppujen vaurioitumista. Kuvio 7 havainnollistaa putkiston linjausvirheistä tapahtuneita vaurioita (Mts. 2). Ylemmissä kuvissa nähdään pumpun ja putkistojen välisiä linjausvirheitä ja niistä aiheutuneita pesä- ja juoksupyörän vauriota. Lisäksi vasemman alareunan kuvassa nähdään kuinka linjausvirhe voidaan havaita löysäämällä pumpun kiinnityspultteja. Putkistosta aiheutuvat jännitykset nostavat pumpunjalan ylös pedistä.



Kuvio 7. Putkiston linjausvirheistä tapahtuneita vaurioita (Sulzer 2017, 2)

Vianmääritys on monivaiheinen ja -säikeinen tapahtuma. Virheellisiä tulkintoja voi syntyä, jos edetään liian suoraviivaisesti mittaustuloksista johtopäätöksiin. Vian syntymisen ja oireiden ilmenemiseen on normaalisti monia syitä. Eivätkä nämä syyt yleensä ole yksiselitteisiä. Mahdollisten vikojen määrittämiseksi on suoritettava oireiden määrittäminen. Vianmääritystä vaikeuttaa usein samojen oireiden liittyminen moneen eri vikaan. Toisaalta taas yksittäiseen vikaan liittyy yleensä useampi oire. Varsinainen

johtopäätös perustuukin useaan vaiheeseen, jossa suljetaan pois epätodennäköisiä vikoja ja varmistetaan todennäköisiä vikoja. (Mikkonen ym. 2009, 290.) Suositellaan, että vianmääritys raportoidaan standardin PSK 5705 mukaisella johtopäätösraportilla. Raportista tulisi selvittää, miten valittuun johtopäätökseen on tultu. (PSK 5705:2006, 16.)

3.3 Prognostiikka

Kun edellisessä luvussa kerrottiin vianmääritysvaiheesta eli diagnostiikka, niin tässä luvussa avataan turvallisen käyttöajan ennustamisen teemaa, jota puhekielessä usein kutsutaan prognostiikaksi.

Kunnossapitotoimenpiteiden suorittaminen taloudellisesti optimoidulla tavalla vaatii toimenpiteiden ajoittumista oikein. Tämä on kunnonvalvonnan yksi keskeisimmistä haasteista. Kunnossapito tulisi toteuttaa niin, että se ei aiheuta tuotantoprosessille ylimääräisten haittaa tai viivettä katkosten muodossa. Kunnossapidon suunnittelun kannalta on olennaista tietää, että milloin jokin toimenpide on viimeistään suoritettava. Yleensäkin halutaan välttää huoltotoimenpiteiden turhaa tekemistä. Niihin kun liittyy tarpeettomia riskejä ja turhat huollot ovat ylimääräinen kustannuserä. Halutaan siis käytännössä tietoa eli ennuste siitä, milloin jokin tuotantolaitteiston komponentti olisi huollettava. (Mikkonen ym. 2009, 483.)

Prognosointi on olennainen ja luonteva osa kunnonvalvontaa. Kun kunnonvalvonta vastaa kysymyksiin, miten laite on vikaantunut ja milloin vikaantuminen on mahdollisesti alkanut, voidaan prognoosin avulla ennustaa kuinka kauan laitetta voidaan vielä käyttää. Prognoosinnilla siis luodaan ennuste laitteen jäljellä olevasta turvallisesta käyttöajasta. Prosessin lopputuloksena saadaan tietoa siitä, kuinka nopeasti diagnoosintivaiheessa havaittu vika johtaa todelliseen laiterikkoon eli vaurioon. Tätä tietoa voidaan hyödyntää laitteen kunnossapidon suunnittelussa ja toimenpiteiden aikatauluttamisessa. Prognoosia voidaan siten pitää vähintään yhtä tärkeänä kuin diagnoosiakin. Käytännössä prognoosi pyrkii vastaamaan kysymyksiin, voidaanko konetta käyttää turvallisesti seuraavaan suunniteltuun seisokkiin asti tai koska seisokki on viimeistään suoritettava. Normaalisti käyttöiän ennustaminen toteutetaan menetel-

millä, joissa lähtötietoina on prosessisuureet, kunnonvalvonnan mittaukset ja laitteen historiatiedot. Käyttöajan ennustaminen ja siihen liittyvät menetelmät ovat kunnonvalvonnan kehittyvä osa-alue. (Mts. 483.)

3.4 Kunnonvalvonnan suunnittelu

Kunnonvalvonnan suunnittelu lähtee liikkeelle koneiden ja laitteiden vikaantuvista komponenteista eli todennäköisistä vikaantumismekanismeista. Ne määrittävät kunnonvalvontatekniikat ja menetelmät ja valvottavat suureet, joita kunnonvalvonnassa tullaan käyttämään. Todennäköiset vikaantumisnopeudet taas määrittävät sen, miten ja millä aikataululla valvonta toteutetaan. Kokonaisvaltaisessa kunnonvalvonnassa koneiden kuntoa valvotaan useilla eri menetelmillä ja tekniikoilla. Perinteisesti koneiden kunnonvalvontaa suoritetaan värähtelymittauksilla, joihin tämäkin tutkimus keskittyy. Värähtelymittausten lisäksi merkittäviä kunnonvalvontatekniikoita ovat mm. visuaaliset tarkastukset, lämpötilojen seurannatta, öljyanalysit sekä sähkötekniset kunnonvalvontamenetelmät. (Mikkonen ym. 2009, 162.)

PSK Standardisoinnilla on oma standardiryhmä 57 kunnonvalvonnan värähtelymittauksille. Sen 5705 standardin mukaan kunnonvalvonnan suunnittelu sisältää viisi vaihetta. Ensimmäisenä määritetään laitoksen koneiden kriittisyys ja tarve kriittisten koneiden kunnonvalvonnalle. Tämän jälkeen selvitetään soveltuvat valvontamenetelmät konekohtaisesti. Kun valvontamenetelmät on valittu, arvioidaan menetelmien tekninen toteutettavuus. Neljäntenä vaiheena pohditaan taloudellisuutta eli valitaan valvonnanpiiriin ne laitteet, joille kunnonvalvonnan toteuttaminen on taloudellisesti kannattavaa. Viimeisenä vaiheena valituille laitteille laaditaan kunnonvalvontasuunnitelma. (PSK 5705:2006, 2.)

Kunnonvalvontasuunnitelmassa määritellään suoritettavat tarkastukset ja mittaukset. Suunnitelmaa tulee päivittää, kun kerätään kokemuksia kunnonvalvonnasta.

Kunnonvalvonta- ja mittaussuunnitelmassa otetaan kantaa seuraaviin asioihin:

- *Käytettäviin menetelmät ja valvontatekniikat sekä menetelmäkohtaiset raja-arvot*
- *Mittausvälit*
- *Käytettävät mittausjärjestelmät*
- *Mittaustoiminnan järjestelyt käytännössä*
- *Mittausten dokumentointi, raportointi ja seuranta.* (Mts. 2.)

Kunnonvalvonnan suunnitteluvaiheessa on määriteltynä mitkä koneet kuuluvat kunnonvalvonnan mittauksen piiriin ja miten usein mittaus suoritetaan. Mikäli tulee tilanteita, että jotain yksittäistä konetta ei kyetä mittaamaan suunniteltuun aikaan, mitataan se seuraavan mittakierroksen aikana, jos asiasta ei ole muuta sovittu. Mittauksien yhteydessä on tärkeä seurata, jääkö koneita mittaamatta. Jos koneita jää jostain syystä mittauksen ulkopuolelle, on syytä selvittää syy miksi tapahtuu. (Mikkonen ym. 2009, 163.)

Suunnitteluvaiheessa jokaiselle koneelle ja laitteelle määritetään riittävä taso kunnonvalvonnalle. Otetaan kantaa, voidaanko kunnonvalvonta suorittaa yksinkertaisilla mittauksilla ja tarkastuksilla ennalta asetettujen tavoitteiden mukaisesti vai sovelletaanko tarkempaa valvontaa. Lähtöajatuksena on, että kunnonvalvonnan seurannasta ja mittaustuloksista on saatavilla luotettava ja reaaliaikainen tieto koneen sen hetkisestä kunnosta. Tämän lisäksi kunnon kehitystä on kyettävä ennakoimaan riittävässä tarkkuudessa. Yksinkertaisimmilla mittausmenetelmillä karsitaan tarkemmasta analysoinnista ulkopuolelle ne koneet, joissa ei ole vikaa. Muut koneet analysoidaan tarkemmin. Esimerkkejä tarkemmasta valvonnasta kunnonvalvonnan värähtelymittauksissa ovat mm. tunnusluku- ja spektrivalvonta. (PSK 5705:2006, 4)

Kunnonvalvonnan raportoinnin suunnittelu kuuluu tärkeänä osana kunnonvalvonnan suunnittelua. Raportointi tulee suunnitella tukemaan olemassa olevia käytäntöjä. Lähtökohtana raportoinnin suunnittelussa on tarpeet ja järjestelmien vaatimukset. Raportoinnissa tulee välttää turhan tiedon välittämistä heille, joille kyseenomainen tieto ja raportti ole tarpeellinen. Ajatuksena on, että oikeat ihmiset kohtaavat oikean tiedon. (Mikkonen ym. 2009, 164.)

3.5 Kunnonvalvonnan onnistumisen haasteet

Kunnonvalvonta on yksi olennainen työkalu kunnossapidon kehittämiseen. Kunnonvalvonta tulee olla pitkäjänteistä toimintaa. Pitkäjännitteisyyden puute voi haastaa kunnonvalvonnan onnistumisen ja se voi ilmetä esimerkiksi:

- Kiireenä saada tuloksia heti, vaikka todellisuudessa on edettävä vaiheittain

- toimivan kunnonvalvontajärjestelmän taustalla on valtavasti työtä, erehdyksiä ja kokemuksen kautta kerättyä tietoa
- tuloksia ei tule heti, vaan vasta noin vuoden kuluttua kunnonvalvonnan aloituksesta
- perustiedon keruun ja suunnittelun tärkeys unohtuu, perusteellinen ja suunnitelmallinen toiminta luo pohjan tuleville onnistumisille
- ohjelmia ja järjestelmiä ei päivitetä. (Mikkonen ym. 2009, 175.)

Pitkäjännitteisyyden lisäksi voi esiintyä myös organisaatioon ja henkilöiden johtamiseen liittyviä ongelmia. Koska kunnonvalvonta on olennainen osa kunnossapitoa, täytyy kunnossapito-organisaation olla toimiva kokonaisuus. Mittaustoiminnan toteutumisesta suunnitelmallisesti ja tulosten täysimääräistä hyödyntämistä voi estää tai hidastaa esimerkiksi seuraavat organisatoriset ongelmat:

- vastualueet ovat epäselviä
- kunnonvalvontaa ei arvosteta linjaorganisaation kaikilla tasoilla
- jostain syytä löydettyjen vikojen korjaukset eivät toteudu suunnitellusti
- palautteen saanti ja tallennus tulevaisuutta varten eivät toteudu
- mittaustoiminta ei toteudu suunnitellusti resurssipulan takia, mittauskierroksia jää väliin, koska mittaajat ovat muissa töissä.
- mittaajille ei ole rauhallista työtilaa ja näin heidän työrauhansa kärsii
- ei ole käytössä riittävän osaavia henkilöitä ratkomaan ongelmia, jotka liittyvät tietokoneisiin ja tietoverkkoihin
- on valittu väärä henkilöitä avaintyötehtäviin
- ylin johto ei tue kunnonvalvonta- ja mittaustoimintaa. (Mts. 175.)

Vaikka kunnonvalvonta toteutuu suunnitelmallisesti ja pitkäjännitteisesti, ei sen tuloksia voi hyödyntää täysimääräisesti mikäli kunnonvalvonnan raportointi on puutteellista. Tulosten raportointi on olennainen osa mittaustoiminnan kokonaisuutta. Puutteellisen raportoinnin, raporttien jakelun tai arkistoinnin takia olennainen tieto ei mahdollisesti saavuta päätöksentekijöitä ja näin vaikuta päätöksentekoon. Raport-

tien tulee olla pelkistettyjä, karsittuja ja havainnollisia. Lisäksi niiden pitää olla toimintaa ohjaavia eli niissä kerrotaan mikä on vika, kauanko vika kestää ja mitkä ovat suositellut toimenpiteet vian korjaamiseksi. Raporttien tulee olla myös oikein kohdennettuja. Mittaajien osalta niiden tulee kertoa palautetta korjauksien yhteydessä havaituista vioista. Esimiehille ja johdolle raporttien tulee taas antaa tietoa saavutetuista säästöistä ja tuotoista, jotta kunnossapitoa ja kunnonvalvontaa voidaan edelleen kehittää. (Mts. 175.)

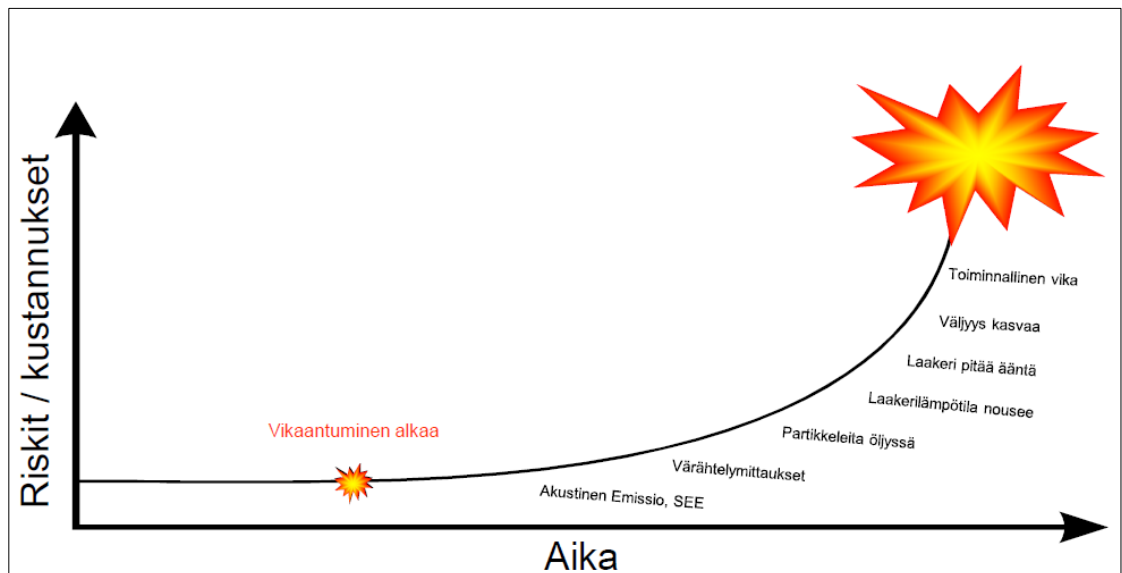
Kunnonvalvonnan käytännön toteutus on siis monitahoinen ja -vaiheinen tapahtuma. Sen onnistumisen ehtona on kunnonvalvonnan mittausten oikeanlainen suunnittelu, suunnitelman pitkäjännitteinen toteutus sekä osaavan henkilöstön kohdentaminen mittausten ja diagnoosien tekemiseen. Tärkeää on korjausten oikea aikaisuus ja palautteen kerääminen ja analysointi toiminnan edelleen kehittämiseksi.

3.6 Värähtelymittaukset kunnonvalvonnan mittausmenetelmänä

Kun kunnonvalvontaan on luotu tarpeiden mukainen suunnitelma ja siinä otettu huomioon syyt, joihin pitkäjännitteinen ja perusteellinen kunnonvalvonta yleensä kaa-
tuu, on vuorossa mittausmenetelmän valinta.

Kunnonvalvonnassa on käytettävissä useita eri mittausmenetelmiä. Lisäksi eri menetelmien sisälläkin on monenlaisia mittaustapoja. Tärkeimmät mittausmenetelmät ovat värähtelymittaukset, lämpötilamittaukset, virta-analyysi, kulumishiukkasanalyysi ja taloudellisuusmittaukset (Nohynek & Lumme 2007, 17). Tutkimuksen ulkopuolelle rajataan kuitenkin lämpötilamittaukset, virta-analyysi ja kulumishiukkasanalyysi ja taloudellisuusmittaukset. Ne eivät sovellu sellaisenaan toimeksiantajan laitekantaan. Työssäni keskityn siis pelkästään värähtelymittauksiin, koska ne ovat tutkimuksen kohteena olevien suorakäyttöpumppujen ja -puhaltimien osalta tämän hetkisen tiedon mukaan soveltuvien mittausmenetelmä.

Kuvio 8 esittää, kuinka laitteen vikaantuminen etenee vaurioksi ja missä vaiheessa värähtelymittaukset havaitsevat vikaantumisen. Kuten kuviosta nähdään, värähtelymittaus on käytännössä paras tapa havaita vikaantuminen ajoissa.



Kuvio 8. Vikaantumisesta värähtelymittaukseen (SKF 2017)

Värähtelymittaus on edelleen yleisesti käytetyin menetelmä kunnonvalvonnassa. Tällä hetkellä se on luotettavin ja nopein tapa selvittää pyörivien koneenosien mekaaninen kunto. Samalla sitä voidaan hyödyntää komponenttien värähtelydynaamisten perusominaisuuksien ja värähtelykäyttäytymisen selvityksessä. Kunnonvalvonnan lisäksi sitä käytetään myös käytönvalvonnassa sekä vikaselvityksissä. Oikein sovelletuna värähtelymittaus on usein paras ennakoivan kunnossapidon mittausmenetelmä, mutta väärin toteutettuna vain ajan ja resurssien tuhlausta. Värähtelymittausmenetelmiä ja mittalaitteita on tarjolla huomattava määrä. Jos ei ole aikaisempaa kokemusta, on vaikea tietää ja valita sopivin mittalaite ja menetelmä omiin kunnonvalvontatarpeisiin. (CMT 2017, Nohynek & Lumme 2007, 17.)

Värähtelymittausmenetelmät voidaan jakaa karkeasti kahteen luokkaan. Luokka on yksi käsittää yksinkertaiset menetelmät ja luokka kaksi monimutkaisia menetelmiä. Yksinkertaiset menetelmät on tarkoitettu koneiden yleistärinän valvontaan ja vierintälaakereiden kunnonvalvontaan. Monimutkaisemmat menetelmät ovat taas koneiden tärinän yksityiskohtaisempaan valvontaan ja laakereiden kunnonvalvontaan. (Nohynek & Lumme 2007, 18.)

Luokkaan yksi kuuluvia mittalaitteita tarvitaan koneiden kunnonvalvontaan yleensä kaksi kappaletta. Toinen vaihtoehto on, että samasta mittalaitteesta löytyy nämä kaksi selvästi toisistaan poikkeavaa mittaussuuretta. Tyypillisesti ensimmäisellä mit-

talaitteella tai mittauksella selvitetään koneiden kokonaistärinä, tyypillisesti taajuusalueelta 10 - 1000Hz. Tämä kertoo karkeasti koneen akselin pyörimiseen liittyvien vikojen olemassaolon. Näitä vikoja ovat mm. epätasapaino, linjausvirhe ja liitosten löysyys. (Mts. 18.)

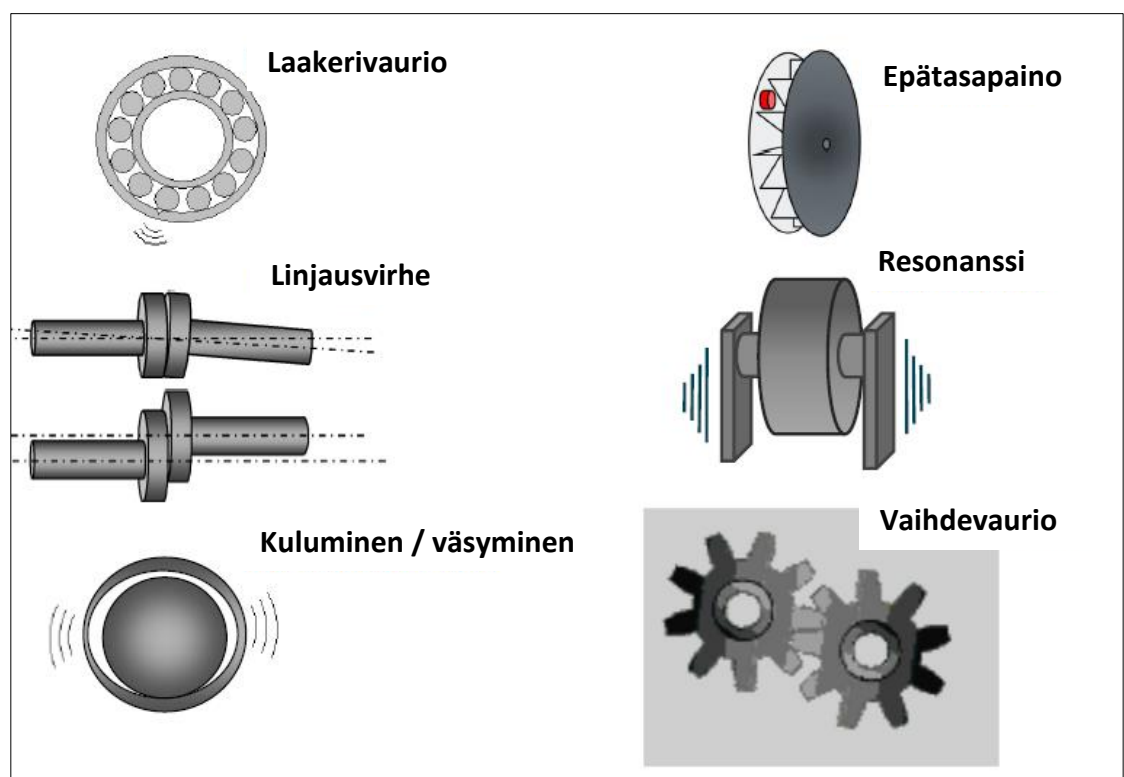
Luokan yksi toista mittausta taas käytetään yleensä vierintälaakereiden kunnonvalvontaan, mikä tapahtuu mittaamalla korkeataajuisia värähtelyä yli 2000 Hz taajuudelta. Korkeataajuisen värähtely kasvaa yleensä selvästi, kun voitelukalvo häviää vierintälaakerista tai sitten on syntynyt jokin laakerivika. Myös ultraäänimittalaitteet kuuluvat tähän luokkaan. Niitä käytetään mm. vierintälaakereiden kunnonvalvontaan lisäksi kaasu- ja nestevuotojen paikallistamiseen. Mikäli valvottavat koneiden rakenne on sellainen, ettei niissä ole monia erillisiä akseleita pyörimässä eri nopeuksilla, ovat luokan 1 mittalaitteet yleensä riittäviä koneiden kunnonvalvontaan. (Mts. 18).

Normaalisti luokan 1 kunnonvalvontalaitteiden käyttö monien eri vikojen tunnistamiseksi on liian epätarkka, jos valvottavissa koneissa on eri nopeuksisia akseleita ja näin myös voimansiirtolaitteena hihnakäyttöjä tai hammasvaihteita. Korkea tärinän kokonaistasoarvo voi johtua epätasapainosta toisella akselilla, mahdollisesta linjausvirheestä, laakeriviasta, löysästä alustakiinnityksestä, rakenteen resonanssista tai pumpun kavitaatiosta. Se voi olla myös luonnollista jatkumoa koneen tekemästä työstä, kuten vaihteistossa voiman välityksestä akselilta toiselle ja kompressoreissa poistuvan puristetun ilman painevaihtelusta. Näissä tilanteissa kunnonvalvonta suoritetaan luokan kaksi mittalaitteilla. (Mts. 18.)

Luokan kaksi mittalaitteita ovat yksi tai monikanavaiset spektrianalysointilaitteet. Näillä mittalaitteilla tehtävässä tärinän yksityiskohtaisessa valvonnassa koneen aiheuttama värähtelysignaalin eri osataajuudet ja niiden suuruudet erotetaan toisistaan. Näin yksittäisen koneen aiheuttama tärinä voidaan tunnistaa ja kohtalaisen luotettavasti seurata eri koneenosien kunnan kehittymistä. Myös pidemmälle menevää signaalinkäsittelyä vaativat valvontamenetelmät ovat näillä mittalaitteilla mahdollisia. Tällaisia valvontamenetelmiä ovat mm. keskiarvostettu aikatasoanalyysi, verhokäyräanalyysi, vaihekulma-analyysi ja kepstrianalyysi. (Mts. 19.)

Riippumatta siitä käytetään koneiden kunnonvalvonnassa luokan yksi vai luokan kaksi mittalaitteita, oleellista on mittaustulosten järkevä käsittely, analysointi ja dokumentointi. Muuten vauriokehityksen havainnointi on vaikeaa ja vaurioitumisen ajankohdan arviointikin hankaloituu. Tätä samaa ohjetta voidaan käyttää myös muihin mittausten menetelmiin kuin tärähtely- ja värinämittaukseen. (Mts. 19.)

Kuvio 9 esittää, millaisia poikkeamia värähtelymittauksilla voidaan havaita. Näitä ovat laakerivauriot, linjausvirheet, kulumiset ja väsymiset, epätasapainot, resonanssit ja vaihdevauriot (Valmet 2017). Värähtelymittauksilla voidaan siis havaita lähes kaikki mekaaniset poikkeamat.



Kuvio 9. Värähtelymittauksilla havaittavat poikkeamat (Valmet 2017)

Yhteenvetona voidaan todeta, että prosesseissa ja koneissa havaittuja vikoja on tutkittava tarkemmin erilaisilla mittauksilla, ennen kuin tarkkoja korjausohjeita pystytään antamaan. Myös vian vakavuuden ja kehityksen arviointi on ensisijaisen tärkeää. Näin korjaukset kyetään ajoittamaan sopivaan ajankohtaan. Vikojen selvitykseen voidaan käyttää yleisesti käytössä olevia, yksi- tai monikanavaisia kannettavia analysaattoreita mm. silloin, kun halutaan selvittää minkä koneenoson kunnon heikkeneminen on havaittujen oireiden syy. Monipuolisia mittalaitteita ja -ohjelmia joudutaan

käyttämään taas silloin, kun selvitetään koneen rakenteellisia tai dynaamisia ongelmia tai selvitetään prosessiolosuhteiden vaikutuksia koneiden tärinään tai tutkitaan monimutkaisesta konekokonaisuudesta tärinän alkuperäistä lähdettä. (Nohynek & Lumme 2007, 16). Seuraavassa luvussa kerrotaan vielä tarkemmin kunnonvalvonnan värähtelymittausten mittalaitteista ja niiden kustannuksista.

3.7 Värähtelymittausten mittalaitteet ja kustannukset

Kunnonvalvonnan värähtelymittauksen mittalaitteet voidaan jaotella ominaisuuksien perusteella ensinnäkin värähtelykynin ja muihin yksinkertaiset käsimittareihin, toiseksi kannettaviin tiedonkeruulaitteisiin ja/tai -analysointilaitteisiin, kolmanneksi monikanavaisiin ammattikäyttöön tarkoitettuihin FFT-analysointilaitteisiin, neljänneksi kiinteästi asennettaviin on-line tiedonkeruu- ja analysointilaitteisiin, viidenneksi PC-pohjaisiin mittalaitteisiin ja viimeiseksi suojausjärjestelmiin. (Mikkonen ym. 2009, 259.)

Käsimitarit ovat yksikertaisia ja halpoja mittalaitteita. Näillä mittareilla mitataan yleensä värähtelynopeuden kokonaisarvoa. Mittaustulos esitetään yhtenä lukuarvona laiteeseen esiasetetun taajuusalueen mukaan. Tämä on yleensä kiinteä, eikä sitä pääse muuttamaan. Kyseinen mittalaite soveltuu parhaiten laitteen yleiskunnon määrittämiseen. Pääsääntöisesti näiden laitteiden analysointimahdollisuudet ovat erittäin rajoittuneet, mikä kaventaa myös käyttöaluetta. Käsimittareita ei käytetä nykypäivänä reittimittauksiin vaan laitosmiesten tai käyttökunnossapidon päivittäisen kunnonvalvonnan työkaluna. Yleisimmin käytetty käsimittalaite on värähtelymittauskynä. (Mts. 259.) Käsimittalaitteiden rajoitettu taajuusalue ja yksittäinen mittaussarvo eivät tyypillisesti ilmaise, onko kyse esimerkiksi linjausvirheestä, epätasapainosta, väljyydestä, taipuneesta akselistä tai voiteluongelmasta (SKF 2014, 135).

Kannettavat tiedonkeruulaitteet ovat ominaisuuksiltaan huomattavasti käsimittareita kehittyneempiä. Näillä laitteilla pystytään suorittamaan vianmäärittystä mitatuista tunnusluvuista. Yleisin toiminto on spektrin ja aikataason analysointi. Ominaista kannettaville laitteille on suuri mittauskapasiteetti, ohjelmoidut mittaussreitit ja analysointi tietokoneavusteisella ohjelmalla. Näiden laitteiden hintataso sekä ominaisuudet vaihtelevat paljon. Moniin laitteisiin on myös mahdollista saada kunnonvalvontaa

tukevia lisäominaisuuksia. Sellaisia ovat esimerkiksi tasapainotus- ja iskukoetoiminnot. Hyvälaatuisella mittalaitteella voidaan tehdä mittaustuloksen analysointia välittömästi mittaustapahtuman jälkeen mittalaitteen omalta näytöltä. Nämä kannettavat tiedonkeruulaitteet ja -analysointorit soveltuvat myös värähtelyongelmien selvitykseen. (Mikkonen ym. 2009, 260.)

Joskus värähtelyongelmat ovat kuitenkin erittäin haastavia ja joudutaan mittaamaan useampaa pistettä yhtä aikaa. Silloin ei perinteisten kannettavien tiedonkeruulaitteiden ominaisuudet riitä, vaan joudutaan käyttämään mittaukseen paremmin soveltuvia laitteita. Näitä ovat monikanavaiset analysointorit ja PC-pohjaiset mittakorttisolukset. Kyseisten mittalaitteiden käyttö vaatii ammattitaidon lisäksi myös mittaus-teorian hallintaa. (Mts. 261.)

Kiinteitä jatkuvasti mittausdataa kerääviä on-line järjestelmiä käytetään kohteissa, joissa tarvitaan jatkuvaa tietoa laitteiden kunnosta. Järjestelmä suorittaa mittaukset automaattisesti ohjelmaan asetettujen ajanjaksojen mukaan. Suoritetuista mittauksista järjestelmä tuottaa tarvittaessa myös mittaussuureen tason muutoksista hälytyksen järjestelmään. Tavallisesti on-line järjestelmä suorittaa mittaukset kanava kerrallaan. Kiinteästi asennettua kunnonvalvontajärjestelmää käytetään tyypillisesti sellu- ja paperiteollisuudessa, turbiineissa ja voimalaitoksissa. Järjestelmiin on pääsääntöisesti rakennettu hyvät ja monipuoliset signaalin analysointi- ja esitystyökalut. (Mts. 261 - 262.)

Suojausjärjestelmillä suoritetaan mittauskohteen reaaliaikaista mittausta. Kun mittaustulos suurenee tietty raja-arvo ylittyä, järjestelmä pysäyttää koko laitteen. Tyypillisiä käyttökohteita ovat esimerkiksi höyryturbiinit. (Mts. 261.)

Seuraavassa taulussa on koottu yhteen tyypillisimmät värähtelymittausten mittalaitteet ja niiden suhteelliset hinnat käsikirjan Kuntoon perustuva kunnossapito mukaan (Mts. 263). Suhteellisella hinnalla tarkoitetaan sitä, että jos käsimittarin hinta on esimerkiksi 1 ja monikanavamittalaitteen hinta 15, niin monikanavamittalaitteen hinta on 15-kertainen käsimittarin hintaan verrattuna. Taulukkoon 1 on lisätty myös tieto, minkälaisista mittalaitteiden käytöstä on ja vaatiiko se asiantuntemusta.

Taulukko 1. Mittalaitteita ja niiden hintoja (Mikkonen ym. 2009, 263)

Laite	Suhteellinen hinta	Käyttö
Käsimittarit	1 - 5	Helppo / päivittäinen seuranta
Kannettavat analyyttorit	10 - 20	Mittaaminen helppoa, asetusten ja analyysin tekeminen vaatii ammattitaitoa
Monikanavamittalaitteet ja analyyttorit	15 - 30	Vaatii syvempää asiantuntemusta
Kiinteät on-line mittausjärjestelmät	30 -	Mittaaminen automaattista, asetusten ja analyysin tekeminen vaatii ammattitaitoa
PC-pohjaiset mittalaitteet	10 -	Monimutkaisia, vaatii syvempää asiantuntemusta

Kuten taulukosta 1 nähdään, käsimittarit ovat hinnaltaan huokeimpia ja niiden käyttö on helppoa eikä vaadi erityistä asiantuntemusta. Näin ne sopivat erinomaisesti rutii- niseurantaan. Muiden mittalaitteiden käyttö vaatiikin jo jonkin verran asiantunte- musta ja ne ovat hinnaltaan myös käsimittareita huomattavasti kalliimpia.

Kun kunnonvalvonnan ja sen mittalaitteiden kustannuksia vertaillaan, on muistettava yleisperiaate, joka tulisi huomioida aina kustannusanalyysissä tehdessä. Eli koneen ja laitteen kunnonvalvonta on järkevää vain siinä tapauksessa, että kunnonvalvonnan kustannukset ovat pienemmät kuin laitteen vaurioitumisesta aiheutuvien tuotannon- menetysten ja kunnossapidon kustannusvaikutukset. (SKF 2015, 15.)

Kunnonvalvonnan järkevyyttä ei voi tosin perustella pelkästään kustannusanalyysin perusteella. Kokonaisuuden kannalta on huomioitava myös työ- ja ympäristöturvalli- suus. Laitteen rikkoutuminen voi aiheuttaa pahimmillaan vakavankin työtaturman tai ympäristöpäästön. Näiden seuraukset voivat olla hankala korjata.

3.8 Kunnonvalvonnan kehittyminen tulevaisuudessa

Mihin suuntaan kunnonvalvonta on menossa, kun teollisuus kokonaisuudessaan on suuressa muutoksessa? Digitalisaation ja tiedon määrän sekä muodon räjähdysmäi- nen kasvu ja yleensäkin palveluliiketoiminnan laajentuminen ovat muokkaamassa te- ollisuuden liiketoimintakenttää kohti tiiviimpiä verkostoja, ekosysteemejä ja tietotek- niikan hyödyntämiseen perustuvaa arvonluontia (Martinsuo & Kärri 2017, 9, 88.)

Kolmanneksi, tai jossain yhteydessä myös neljänneksi, vallankumoukseksi luonnehdittu Teollinen Internet (Internet of Things, IoT) on jo muuttanut ja tulee muuttamaan toimintaympäristöämme voimakkaasti. Teollinen internet tarkoittaa koneiden integroimista verkotettuihin antureihin ja ohjelmistoihin. Internetissä ihmiset tuottavat sisällön, kun taas Teollisessa internetissä mittalaitteet tuottavat suurimman osan sisällöstä eli tiedosta. Voidaan ajatella, että koneiden ja laitteiden ylläpito ja kunnonvalvonta on siirtymässä seuraavalle tasolle. (Taipale 2016, 3.)

Antureiden hintojen alentuessa ja tehokkaiden tietoliikenneyhteyksien yleistyessä, kunnossapidon järjestelmissä kerättävän tiedon määrä ja muoto on räjähdysmäisesti kasvanut. Kunnossapidon piiriin kuuluvien laitteiden, koneiden, kiinteistöjen jne. anturointi on tullut taloudellisesti mahdolliseksi. Nyt anturoidaan myös sellaisia kohteita, joissa se ei ole aikaisemmin ollut mahdollista. Lisääntynyt anturimäärä jo sellaisenaan kasvattaa kerättävän tiedon määrää. (Martinsuo & Kärri 2017, 88.)

Vaikka tietoa sen eri muodoissa voidaan kerätä ja tallentaa valtaviakin määriä, on sen täysimittainen hyödyntäminen vielä vaikeaa. Kerättyä tietoa analysoidessa voidaan parhaassa tapauksessa löytää hyvinkin merkityksellisiä asioita, jos vain tiedetään, mitä etsitään. Tiedon analysoinnissa on olennaista, että tekijällä on ensinnäkin kokemukseen perustuvaa näkemystä siitä, mitä ylipäätään pitäisi etsiä. Toiseksi tarvitaan ammattitaitoa tiedon analysoinnista ja tekniikoista, pitää tietää miten etsiä. Toisaalta voidaan löytää myös asioita, joilla ei käytännön kannalta ole oikeasti merkitystä. Tyypillisesti tällaisissa tapauksissa tiedon analysoijat eivät tiedä, että tieto ei ole merkityksellinen. Näin sekä analysointikyky että näkemys aihealueesta ovat tärkeitä. (Mts. 88 - 89.)

Tänä päivänä puhutaan hyvin monessa asiayhteydessä myös älykkäästä kunnossapidosta. Älykäs kunnossapito toteutuessaan muuttaa kunnossapitoa ja kunnonvalvontaa. Tämä tarkoittaa sitä, että tällä hetkellä käytössä olevat kalliit räätälöidyt järjestelmät tullaan korvaamaan halvemmilla plug and play tyypisillä järjestelmillä. Nämä uuden tyypiset järjestelmät hyödyntävät tehokkaasti kehittyneitä viestintätekniikoita. (VTT 2014.)

Vaikka teollisen internetin suurista mahdollisuuksia puhutaan paljon, käytännön sovelluksia on näkynyt kunnossapitoalalla toistaiseksi vielä kovin vähän. Tilanne näyttäisi kuitenkin olevan muuttumassa. Teollisuuspumppujen ja -moottorien mekaanisen kunnonvalvonnan pääkohteena on perinteisesti ollut laakerien kunto, jota on tarkkailtu ja analysoitu tärinää mittaamalla. Järjestelmät ovat olleet kohtuullisen kalliita ja siitä syystä mittaava kunnonvalvonta on rajoittunut pääasiassa vain kriittisiin kohteisiin tai aistinvaraisiin tarkastuksiin. (Viita & Ahonen 2016.)

Tulevaisuudessa pumppukäyttöjen toimintaa voidaan valvoa kustannustehokkaalla menetelmällä, jossa hyödynnetään käytön omia tietoja. Tietoa kerätään virrantarpeesta, pyörimisnopeuksista ja pumpun tehollisesta kuormituksesta. Kerätyt tiedot lähetetään pilvipalveluun, jossa suoritetaan mittausdatan analysointi. Analyysillä selvitetään pumpun toimintapiste ja sen hetkinen kunto. Kerätystä datasta järjestelmä tuottaa informaation pumpun kunnosta, lähiaikojen huoltokohteista sekä toimintapisteen suhteesta energiataloudelliseen optimiin. Jatkuvan valvonnan antama informaatio ja ehdotukset mahdollisista toimenpiteistä ohjataan tietojärjestelmiin. (Mts.)

Kunnossapidossa on siirrytty digiaikaan ja uusien menetelmien avulla uskotaan ennustettavuuden paranemiseen. Tavoitteena on havaita koneissa ja laitteissa tapahtuvia muutoksia analysoimalla prosessimittausten ja kunnonvalvonta-antureiden keräämää dataa. Tällä ei kuitenkaan voida korvata peruskunnossapitoa, voitelua, puhtaanapitoa ja tarkastuksia, joita laitteiden luotettava toiminta vaatii. (Mäki 2016.)

4 Mittausten suorittaminen

Kunnonvalvonnan suorittamisessa on huomioitava mittauslaajuus. Jos halutaan suurin mahdollinen kattavuus, pitää tuotantolaitoksen kaikkia koneita mitata ja analysoida kaikista mahdollisista mittapisteistä kaikilla mahdollisilla mittausmenetelmillä 24/7. Tällainen toiminta ei missään tapauksessa ole järkevää taloudellisesti tai henkilöresurssien käytön suhteen. Mittaustarve tulee määrittää jokaisen koneen kohdalta erikseen. Säännölliset mittaukset suoritetaan pelkästään reittimittausten piiriin valituille koneille niille parhaiten soveltuvilla menetelmillä. Muiden koneiden mittaukset tehdään tarpeen mukaan. (Nohynek & Lumme 2007, 24.) Tässä luvussa kerrotaan tarkemmin mittaustavan valinnasta ja itse mittauksen suorittamisesta.

4.1 Vastaanottomittaukset

Hankittaessa uusia koneita ja laitteita tuotantolaitokseen tai asennettaessa kunnostettuja laitteita tuotantolinjaan, olisi ne käyttöönoton yhteydessä tai mieluummin jo laitetoimittajan tiloissa mitattava kaikilla tarvittavilla mittausmenetelmillä. Mittauksilla voidaan varmistaa koneen toimintakunto ja sille asetettujen vaatimusten täyttyminen. Nämä mittaukset on hyvä sopia jo hankintavaiheessa. (Nohynek & Lumme 2007, 24.)

Standardi PSK 5704 määrittää vastaanotossa koneelle suoritettavat värähtelymittaukset, niiden luokittelun sekä mittausten raportointitavan. Standardi rajoittuu koneisiin, joiden pyörimisnopeus alue on 120 - 15 000 RPM, mutta sen käyttöä voidaan soveltaa myös alueen ulkopuolella oleviin muihin koneisiin. Tämä pitää kuitenkin sopia etukäteen yhdessä koneen toimittajan kanssa. (PSK 5704:2013, 1.)

Koneen käyttöönoton yhteydessä koneille tulee suorittaa siis vähintään PSK 5704 määrittämät värähtelymittaukset ja tarpeen mukaan myös muita mittauksia. Tämä asia on huomioitava jo koneen tilausvaiheessa. Jos tilauksen yhteydessä koneilta ei vaadita minkäänlaisia värähtelyrajojen alituksia, ei koneen toimittaja useinkaan aloita korjaustoimia pelkästään värähtelymittaustulosten perusteella. Vastaanottomittauksien tulokset tulee myös tallentaa tukemaan jatkossa suoritettavaa kunnonvalvontaa, huolimatta siitä onko kone säännöllisten kunnonvalvontamittausten piirissä vai ei. (Nohynek & Lumme 2007, 24.)

Vastaanottomittauksessa mittasuurena käytetään värähtelyä, jonka ylä- ja alarajataajuudet valitaan niin, että myös merkittävät herätetaajuudet ovat mittausalueen sisäpuolella. Tämä mittaus kertoo koneen yleiskunnosta. Lisäksi pitää suorittaa myös korkeantaajuuden mittauksia, joilla varmistetaan vierintälaakerien kunto. Tämän mittauksen lisäksi varmistetaan roottorien tasapainotustila tasapainotustarkkuusvaatimuksella. (Mts. 24 - 25.)

Standardin mukaan mittaukset tehdään asennuspaikalla ja tarpeen mukaan myös valmistuspaikalla. Kun mittauksia tehdään valmistuspaikalla, tulee varmistua siitä, että koneen kiinnitys- ja muut reunaehdot ovat vastaavanlaiset kuin varsinaisella

asennuspaikalla olevat olosuhteet. Mikäli konetta käytetään varsinaisessa käyttökoh- teessaan muuttuvan kuormituksen alaisena, värinärasituskokeet suoritetaan vaihtelevissa kuormitusoloissa. Vastaavasti, jos konetta käytetään vaihtelevilla kierrosluvuilla, vastaanottomittaukset suoritetaan koneen käyttöön suunnitellulla pyörimisnopeus- alueella mahdollisten resonanssialueiden havaitsemiseksi. (PSK 5704:2013, 3.)

Vastaanottotarkastusten tuloksia luokiteltaessa tukeudutaan standardiin ISO 10816. Mittauksen aikainen vaihtelu huomioidaan raja-arvojen ylityksen määrittelyssä. Jos vaihtelu ylittää 10 % hyväksymisalueen yläraja-arvon, indikoi se jostakin virheellisestä koneen tilasta. Värähtelyn aiheuttaja pitää pyrkiä selvittämään ennen koneen vas- taanottotarkastuksen hyväksymistä. (Nohynek & Lumme 2007, 25.)

Korkeataajuisia värähtelyn mittauksia voidaan suorittaa useilla eri mittauslaitteilla käyttämällä hyvinkin erityyppisiä mittausmenetelmiä. Jos mittauslaitteen valmistaja pystyy määrittelemään luotettavat raja-arvot, joita voidaan käyttää vastaanotettavan koneen vierintälaakerien kunnan arviointiin, tulee näitä arvoja käyttää myös vastaan- ottomittauksissa. Mikäli korkeantaajuuden värähtelyn mittaamiseen ei ole määritelty luotettavia raja-arvoja, ovat näiden mittausten tulokset lähinnä suuntaa-antavia arvi- oitaessa vierintälaakeroinnin kuntoa. (Mts. 25.)

Tasapainotustarkkuusstandardi SFS 4968 antaa erilaisille konetyypeille suurimmat sallitut jäännösepätasapainomäärät, jotka ilmoitetaan tasapainotusluokkina. Sallittu epätasapainoherkkyys määritellään standardin PSK 5708 mukaan. Jos tilattu kone ha- luttaisiin tasapainottaa standardia tarkempaan tasapainotusluokkaan, pitää tästäkin sopia etukäteen jo tilausvaiheessa koneentoimittajan kanssa. (PSK 5704:2013, 3.)

4.2 Kunnonvalvontatarpeen ja -menetelmien määrittely

Tuotantolaitoksissa käytettävien koneiden kunnonvalvonta tarve vaihtelee eri osas- tojen ja koneiden välillä. Mittaustarve on mahdollista määrittellä standardin PSK 5705 mukaan alla olevien kohteiden avulla:

- *Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset*
- *Tuotannonmenetyksen kustannusvaikutukset*
- *Kunnossapidon kustannusvaikutukset.* (PSK 5705:2006, 13 - 14.)

Liitteissä 1 ja 2 on esimerkkitaulukko värähtelyvalvonnan tarpeen määrittelystä. Esimerkkitaulukkoon on kerätty yllä olevien kohteiden tärkeiksi tunnistettuja tekijöitä, joille on annettu keskinäistä tärkeyttä kuvaavat painoarvot. Painoarvojen yhteenlaskettu summa on 100. Esimerkiksi turvallisuusriskeille on annettu painoarvo 20 ja kunnonvalvontakustannuksille 5. Seuraavaksi määrittelyssä arvioidaan kunkin tekijän kerroin valintakriteerien perusteella. Esimerkiksi, jos laitteen rikkoutumisesta ei aiheudu turvallisuusriskiä, on kerroin 0. Jos laiterikko aiheuttaa merkittävän turvallisuusriskin, annetaan kertoimeksi 8. Laskemalla kaikkien tekijöiden tulot yhteen, muodostuu laitekohtainen kunnonvalvontatarvetta kuvaava luku. Kun kaikki tuotantolaitoksen koneet on määritelty ja kaikille on saatu muodostettua kunnonvalvontatarvetta kuvaava luku, laitteet laitetaan summien mukaiseen järjestykseen, jonka perusteella suoritetaan mitattavien kohteiden valinta. (Mts. 3, 13.)

Kunnonvalvonnan tarpeen mukaisen jaottelun ylimpään ryhmään kuuluviin koneisiin tulisi asentaa kiinteä mittausjärjestelmä, joka valvoo koneen kuntoa jatkuvasti. Mittausjärjestelmän valinta tulee suorittaa siten, että se pystyy havaitsemaan koneen kunnossa tapahtuneet muutokset riittävän ajoissa. Järjestelmä antaa hälytykset koneen kuntoa seuraavalle henkilöstölle. Tällaiset valvontajärjestelmät ovat yleensä suurien tuotantolaitosten pääkoneissa, esimerkiksi paperikoneissa ja voimalaitosten turbiineissa. Näitä järjestelmiä käytetään myös pienemmissä tuotantolaitoksissa yksittäisten kriittisten kohteiden, kuten kompressoreiden ja puhaltimien valvonnassa. (Nohynek & Lumme 2007, 26.)

Koneet, jotka määrittelyyn perustuen lukeutuvat keskimmaiseen ryhmään, ovat myös säännöllisen kunnonvalvonnan piirissä. Myös tämän luokan koneita pitää valvoa mittausmenetelmillä, joilla koneiden kunnossa tapahtuvat muutokset havaitaan riittävän aikaisin. Jos taas kone luokitellaan kuuluvaksi alimpaan ryhmään, ei sille ole tarvetta suorittaa säännöllistä kunnonvalvontaa. Tämä ei kuitenkaan merkitse sitä, ettei koneelle olisi järkevää suorittaa mittauksia. Alimman luokan koneille kannattaa suorittaa mittauksia esimerkiksi ennen seisokkia. Näin ollen mittauksissa havaitut viat voidaan korjata samanaikaisesti muun korjaustoiminnan kanssa. (Mts. 26 - 27.)

4.2.1 Mittaustavan ja -menetelmän valinta

Standardin PSK 5705 (PSK 5705:2006, 7) mukaan, säännöllisiä kunnonvalvontamittauksia on mahdollista toteuttaa kiinteällä automaattisella järjestelmällä, puolikiinteällä järjestelmällä tai kannettavilla mittalaitteilla. Seuraavaksi esitellään nämä mittaustavat ja sen jälkeen kerrotaan lyhyesti mittausten menetelmän valinnasta.

Ensimmäisessä mittaustavassa eli kiinteässä ja automaattisessa järjestelmässä on koneeseen asennettu antureita, anturikaapeleita sekä mittausyksikkö. Mittausyksiköstä siirretään mittaussignaali eteenpäin joko digitaalisena (esim. spektrit), analogisena (mA) tai hälytysviestinä (rele). Kiinteää järjestelmää käytetään edellisessä luvussa määritellyn ylimmän luokituksen koneille. Lisäksi kiinteää järjestelmää voidaan käyttää koneen suojausjärjestelmänä esimerkiksi erittäin nopeakäyntisille koneille. Vikojen kehittymisnopeus ja mittaustulosten päivittymistarve määrittävät kiinteän järjestelmän mittausmenetelmän. Vaihtoehtoina reaaliaikainen on-line, jossa jokaisen anturin mittaustieto välittyy jatkuvasti järjestelmään. Toinen vaihtoehto on skannaus, jossa mittaustieto mittaa peräkkäin kaikki mittauspisteet. Reaaliaikaisessa järjestelmässä mittaustulos päivittyy noin sekunnin välein, kun taas skannauksessa päivitys tapahtuu minuutin sykleissä. (Nohynek & Lumme 2007, 28 - 29.)

Toisessa mittaustavassa, puolikiinteässä järjestelmässä, koneeseen asennetaan anturit, anturikaapelit sekä liitäntäyksikkö, johon anturikaapelit on johdettu. Varsinaisen mittauksen suorittaminen tapahtuu liittämällä kannettava mittauslaite liitäntäyksiköistä anturikaapeleihin. Kyseistä mittausmenetelmää käytetään, kun mitataan kohteita, joiden luoksepääsevyys on huono tai siitä muodostuu turvallisuusriski. (Mts. 29.)

Kolmatta eli kannettavaa mittalaitetta käytetään muille laitteille, joita mitataan määrajoin kunnonvalvontatarpeen määrittelyn mukaan. Nykyään lähes kaikissa mittalaitteissa on sisäänrakennettu muisti, johon kentällä suoritettujen mittausten tulokset voidaan helposti kerätä. Mittaukset siirretään mittalaitteen kanssa toimivaan ohjelmiston, jota käytetään tietokoneella. Ohjelmalla pystytään luomaan mittaustietokanta, johon on määritelty mittauspisteet ja -reitit. Mittaustulokset tallennetaan tietokantaan, josta generoidaan erilaisia hälytysraportteja. Ohjelmalla voidaan sitten seurata mittaustulosten kehittymistä ja suorittaa graafista tarkastelua. (Mts. 29.)

Kun säännöllisen reittimittausten piiriin valittavat koneet on määritelty ja niille on valittu mittaustapa, tarkastellaan konekohtaisesti tyypillisimmät ja todennäköisimmät vikaantumismekanismit. Tarkastelun jälkeen valitaan kohteisiin parhaimmat mittausmenetelmät ja analysointitavat, joiden avulla merkittävimmät vikaantumismekanismit pystytään havaitsemaan riittävän ajoissa. (Mts. 29.)

Jos käytetään vain yhtä mittausmenetelmää ja analysointitapaa kaikissa laitoksen valittavissa kohteissa, voi osa koneiden vikaantumisista jäädä huomaamatta. Toisena ääripäänä on liian monen mittausmenetelmän käyttäminen yksittäisen kohteen kunnonvalvonnassa. Silloin on vaarana, että tehdään turhaa työtä. Kohteisiin mahdollisesti sopivia mittausmenetelmiä ja analysointitapoja on lueteltu alhaalla:

- *Puhallin: värähtelyn kokonaistaso*
- *Vierintälaakerit: iskusysäysmittaus*
- *Hitaasti pyörivät laakerit: verhoikäyräanalyysi*
- *Sähkömoottori: spektrianalyysi*
- *Vaihde: spektrianalyysi ja aikatasoanalyysi (Mts. 29.)*

4.2.2 Mittausaikaväli

Mittaustavan ja -menetelmän valinnan jälkeen on määritettävä mittausaikaväli. Mittausaikaväliä määritettäessä tulee huomioida etenkin laitteen häiriöherkkyydet ja vaurioiden kehittymisnopeudet ja kunnossapidon historiatiedot. Mittausaikavälin pitää olla riittävän lyhyt, etteivät ennakoituvat vikaantumiset ehdi kehittyä vaurioiksi mittausten välillä. (PSK 5705:2006, 8.)

Aloitettaessa kunnonvalvontaa tai uuden koneen koekäytön aikana valitaan mittauksille riittävän lyhyt aikaväli, mikä on yleensä 2-4 viikkoa. Konekohtaisten kokemusten myötä mittausaikaväliä voidaan tarvittaessa lyhentää tai pidentää. Teollisuudessa yleensä käytetty mittausten aikaväli on noin 4 viikkoa. Kun havaitaan merkkejä vikaantumisesta, lyhennetään mittausaikaväliä, jotta vikaantumisen etenemistä voidaan seurata tarkemmin. (Mts. 8.) Samaan aikaan kannattaa suorittaa täydentäviä mittauksia ja havaintoja, esimerkiksi lämpötilan muutoksiin ja ääneen liittyen.

Koneissa, joiden mittausaikaväli määritellään pysyvästi lyhemmäksi kuin yksi kalenteriviikko, on taloudellisesti perusteltua miettiä kiinteän mittausjärjestelmän hankintaa. Jos taas mittausaikavälinä käytetään yli kahden kuukauden jaksoa, ei kunnonval-

vonta ole enää ennakoivaa. Tällä ajanjaksolla koneisiin voi syntyä uusia vikaantumisia, jotka ehtivät kehittyä vaurioiksi. Tällaisissa tilanteissa kunnonvalvonta on muuttunut koneen kuntomittaukseksi, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi ennen huolto-
seisokkia määrittelemään huoltokohteita tai huoltoseisokkien jälkeen todentamaan, että kunnossapitotyöt ja koneen kokoaminen on tapahtunut asiallisesti. (Nohynek & Lumme 2007, 30.)

4.3 Mittaustoiminnan suoritusvaihtoehtoja

Aikaisemmassa luvussa esitetyt erilaiset mittausmenetelmät ja -tavat asettavat vaatimuksia mittaustoimintaan tarvittavaan laite- ja koulutusmäärärahoihin. Erityisesti aloitusvaiheessa kuluu rahaa, kuten myös varsinaisen mittaustoiminnan aikana. Koska mittaustoiminnan tavoitteena on laitoksen kannattavuuden parantaminen, täytyy laitoksen mittaustarve määritellä ennen mittauksien aloitusta. Mittaustarpeen määrittelyn jälkeen, täytyy päättää suoritetaanko mittaukset omalla työvoimalla vai käytetäänkö ulkopuolista palveluyritystä. (Nohynek & Lumme 2007, 31.)

Ulkopuolisella mittauspalvelun käytöllä ei sidota pääomia mittaustoimintaan. Toisaalta, kun mittauksia tilataan ulkopuoliselta palveluntarjoajalta ja mittaushetkellä on paljon, voi toiminta tulla kalliiksi. Varsinkin jos mittauksia joudutaan tilaamaan lyhyellä varoitusajalla ja korkealla tuntiveloituksella. Haittapuolena lisäksi on, että mittauksilla koneista saatava informaatio jää osittain yrityksen ulkopuolelle. Lisäksi mittauksien raportointi voi olla liian hidasta, eikä läheskään kaikki tarvittava tieto koneiden huolloista ja komponenttien vaihdoista ei yleensä siirry ulkopuoliselle toimijalle. Tästä johtuen merkittävä osa mittausten taustatekijöistä jää kenties saamatta ja tämä voi aiheuttaa mittaustulosten vääriä tulkintoja. Usein nähdään jo vuoden sisällä, mitkä ovat mittaustoiminnan tuomat todelliset hyödyt. Tällöin on aiheellista miettiä, onko vielä järkevää jatkaa palvelujen ostamista ulkopuoliselta palveluntarjoajalta. Tai olisiko parempi aloittaa mittausten suorittaminen omilla resursseilla vai kenties lopettaa koko toiminta. (Mts. 31 - 32.)

Jos ryhdytään itse suorittamaan mittauksia, joudutaan aluksi panostamaan rahallisesti enemmän verrattuna ulkopuolisen mittauspalvelun hankintaan. Kuitenkin, jos

mitattavia laitteita, koneita ja toimintoja on määrällisesti paljon, on oma mittaustoiminta kannattavaa. Oma mittaustoiminta sisältää kuitenkin riskejä, jotka pitää huomioida. Näitä ovat mm.

- *Mittauksia suoritetaan liian tiheästi, jolloin mittaajat turhautuvat työhönsä. Myöskin mittauksella saavutetut hyödyt eivät kata mittauskustannuksia*
- *Mittauksia suoritetaan liian harvoin, jolloin ne helposti unohtuvat kokonaan. Tällöin ei myöskään päästä ennakoimaan vikaantumisia eikä opita koneiden käynnin vaikutusta mittausarvojen vaihteluun*
- *Mittauksiin ja tulosten tarkasteluun ei anneta riittävästi aikaa, jolloin mittaustoimintaa ei pystytä suorittamaan kunnolla*
- *Hankitaan liian monimutkainen mittalaite, jota ei opita käyttämään*
- *Mittaustekniikan hallitsee yrityksessä vain yksi henkilö. kun hän vaihtaa työpaikkaa tai -tehtävää, loppuu mittaustoiminta yrityksessä*
- *Alussa tehdään väärinä tulkintoja koneissa olevista vioista, jolloin luottamus mittaustoimintaan murene varsin nopeasti. (Mts. 32.)*

Mittaustoimintaa voidaan suorittaa myös yhdessä palveluntoimittajan kanssa. Tehdään itse tietty osa mittauksista ja ulkopuolinen palveluntarjoaja suorittaa ne mitaukset, joihin itsellä ei ole resursseja eikä aikaa. (Mts. 32.)

Suorittipa kunnonvalvontaa omat tai ulkopuoliset, on palautteen saaminen havaittujen vikojen korjaustoimenpiteistä todella tärkeää. Mittauksessa havaitut vikaantumiset tulee joka kerta tutkia mahdollisemman huolellisesti, jotta voidaan varmistaa mitauksen ja tulkinnan onnistuminen. Ilman palautetta on mittaajien vaikea kehittyä erilaisten vikaantumisten tunnistamisessa. Vikatapauksissa on hyödyllistä tallentaa sekä korjaustoimenpiteet että vikaantumisen osoittavat mittaustulokset. Tämä helpottaa vika-analyysien suorittamista tulevaisuudessa. (Mts. 32.)

Yksi edellytys mittaustoiminnan onnistuneeseen hyödyntämiseen on havaittujen vikojen johtaminen korjaussuunnitelmiin. Korjaussuunnitelmat täytyy toteuttaa ennen kuin vikaantuminen kehitty vaurioksi. Tämä onnistuu vain silloin, kun mittaustoiminnasta tehdyt raportit kulkevat organisaatiossa oikeille henkilöille ja vastuut toimenpiteistä on selkeästi määritelty. (Mts. 32.)

4.4 Toiminnan tehokkuuden arviointi

Mittaustoimintaa harjoitettaessa, on tärkeää seurata sen laatua, määrää ja saavutettuja hyötyjä. Arviointia voidaan suorittaa esimerkiksi standardin PSK 5709 mukaisesti seuraamalla mittaustoimintaa arvioivia tunnuslukuja ja laskea havaittujen vikaantumisien kokonaiskustannuksia, mikäli niistä olisi kehittynyt vaurioita. Laskennassa käytettävät tiedot perustuvat arvioituihin tai toteutuneisiin lukuihin. Laskennasta tulee aina selvittää, mitä lukuja on käytetty. (PSK 5709:2004, 2.)

Yksittäisen diagnoosin tuotto lasketaan seuraavalla kaavalla (Kaava 1):

$$S = \Delta p + \Delta r + \Delta c \quad (1)$$

missä	S	on yksittäisen via kustannussäästö
	Δp	on säästetyt tuotannonmenetyskustannukset
	Δr	on säästetyt huolto- tai korjauskustannukset
	Δc	on säästetyt seurausvaikutuskustannukset

Samalla kaavalla voidaan arvioida mittaustoiminnan kannattavuutta myös pitkällä aikajänteellä. Tämä saadaan summaamalla kaikki halutulla aikavälillä havaitut vikaantumiset ja lasketaan niistä saavutetut säästöt. (Mts. 2.)

Ellei tarkasteltavalla aikajaksolla ole tapahtunut vikaantumisia, on saavutettujen säästöjen laskeminen mahdotonta. Mittaustoiminta voi silti olla taloudellisesti kannattavaa, mikäli sen avulla pystytään vähentämään määräaikaista konehuoltoja ja ennakkoon tehtyjen komponenttien vaihtoa. Jos taas tarkasteluajavälillä tapahtuu vikaantumisia ja niitä ei ole pystytty havaitsemaan, on mittausmenetelmä väärä. Myös liian pitkä mittausaikaväli tai mittaajien ammattitaidon puute mittaustuloksien tulokinnassa voi johtaa vaurion kehittymiseen. (Nohynek & Lumme 2007, 33.)

Kunnonvalvonnan välillisiä tuottoja ei voida laskea samalla tavalla, vaan ne määritellään tapauskohtaisesti. Välilliset tuotot muodostuvat paremmasta työturvallisuudesta, pienentyneistä ympäristöhaitoista ja alemmista laatukustannuksista. Samalla tuotantovälineiden käyttöikä kasvaa ja prosessien hallittavuus paranee. Välillisiin tuottoihin kuuluvat myös tarpeettomien varaosien ja varalaitteiden karsiminen ja koneiden käytettävyyden paraneminen. (PSK 5709:2004, 3.)

Koneiden vikaantumisen aikainen havaitseminen vaikuttaa myös ennakoimattomien seisokkien vähenemiseen. Sen voi huomata tuotantolaitoksen käyttöasteen kasvuna. Suoraan laitoksen käyttöasteeseen vaikuttavia tekijöitä on toki monia muitakin. On hankalaa arvioida tarkasti yksittäisen toiminnan vaikutusta koko tehtaan käyttöasteeseen. Käyttöasteen voi laskea alla olevasta kaavasta (Kaava 2). (Nohynek & Lumme 2007, 33.)

$$A = \frac{T-DT}{T} * 100\% \quad (2)$$

missä	A	on käytettävyys
	T	on suunniteltu tuotantoaika
	DT	on toimintakyvyttömyysaika

Aloitettaessa mittaustoimintaa, on tuotantolaitoksella todennäköisesti useampia koneita, joissa on jotain vikaa. Nämä koneet värähtelevät voimakkaammin kuin hyväkuntoiset koneet. Seuraamalla laitoksen koneille tehtyjen mittausten (tärinän kokonaistaso, iskusysäystaso tms.) keskiarvoa voidaan arvioida mittaustoiminnan tehokkuutta. Jos keskiarvon trendi on laskeva, on se indikaatio koneiden mekaanisen käyttökunnon kohenemisestä. Kun trendi ei enää laske, on saavutettu taso, jolla havaitaan vikaantumiset jo alkuvaiheessa. (Mts. 33, 34.)

5 Kyselylomake ja sen vastaukset

Tutkimuksen tavoitteena on auttaa Kemira Chemicals Joutsenon tehtaita valitsemaan sopivin kunnonvalvontamenetelmä uuden klooraattitehtaan pyörivien laitteiden kunnonvalvontaan. Tämän päätöksen tueksi teoriaosassa kerättiin aineistoa olemassa olevista kirjoista, artikkeleista ja tutkimuksista. Tämän jälkeen lähetettiin kyselylomake asiantuntijoille ja haettiin sitä kautta vahvistusta tai uusia näkemyksiä teoriaosassa esitetyille asioille. Tässä luvussa esitellään kyselytutkimuksen kulku ja asiantuntijoille lähetetyn kyselylomakkeen tulokset.

Tutkimuksen empiirinen aineisto kerättiin Webropol-kyselylomakkeella. Lomake lähetettiin 11 kunnonvalvonnan ja värähtelymittausten asiantuntijalle. Asiantuntijat edustavat laitevalmistajia (1 henkilö), mittauspalvelun tarjoajia (7 henkilöä), mittauspalvelun ostajia (1 henkilö) sekä yrityksiä, jotka suorittavat ja analysoivat mittaukset

itse (2 henkilöä). Asiantuntijat löytyivät pääosin tutkijan oman kontaktiverkoston sekä Kunnossapitoyhdistys Promaint ry:n Internet-sivulla olevan Kunnossapidon osto-opas -palvelun kautta. Ainoana poikkeuksena oli palvelun ostaja, joka löytyi mittauspalveluiden tarjoajan kautta.

Kaikille asiantuntijoille soitettiin etukäteen ja sovittiin haastattelusta kyselylomakkeen avulla. Kaikki asiantuntijat, joihin oltiin yhteydessä, suostuivat haastatteluun. Kyselylomakkeen saate ja linkki lähetettiin sähköpostilla asiantuntijoille viikon 11/2017 aikana. Vastauksia pyydettiin tutkijalle pe 24.3.2017 mennessä. 10 vastausta saatiin määräpäivään mennessä. Mittauspalvelun ostaja ei vastannut kyselyyn, mutta tutkija keskusteli hänen kanssaan puhelimitse aiheesta. Mittauspalvelun ostajan vastaukset eivät kuitenkaan sisälly kyselylomakkeen vastauksiin. Kyselyn vastausprosentti oli näin 90,9 %. Korkeaan vastausprosenttiin vaikutti suurelta osin tutkijan hyvät verkostot sekä palvelutarjoajien innokkuus palvelutoimittajaksi.

Kyselylomakkeen kysymykset laadittiin teoriaosuuteen kerätyn aineiston avulla sekä omaa että verkoston kokemusta hyödyntäen. Kysymyksiä oli kokonaisuudessaan 23 kappaletta. Kysymyslomake kokonaisuudessaan on esitetty liitteessä 3. Kysymykset jaettiin neljään eri kategoriaan: Perustiedot, kunnonvalvonta, mittalaite ja mittaaminen, mittaaja sekä analysointi ja raportointi. Seuraavaksi esitellään kyselylomakkeeseen saadut vastaukset. Vastausten purku tehdään anonymisti eli ei tuoda esille vastaajan nimeä tai yritystä.

5.1 Perustiedot vastaajista

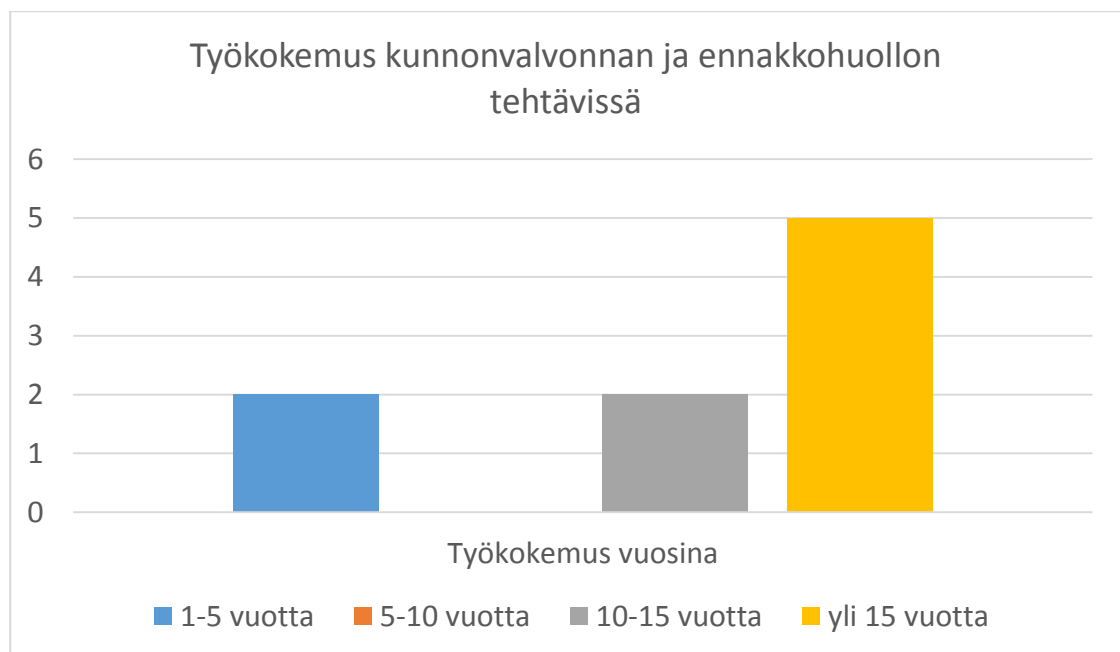
Ensimmäisenä kyselylomakkeessa kysyttiin vastaajan nimi, yritys ja työtehtävä. Vastaajia oli yhteensä kymmenen kolmenlaisista yrityksistä:

- Laitevalmistajat (1 henkilö): Sulzer Pumps Finland Oy
- Mittauspalvelun tarjoajat (7 henkilöä): SKF, Valmet Automation Oy, CMT Solutions Oy, SPM Instruments Oy ja KTT-Tekniikka Oy
- Yritys, joka suorittaa ja analysoi mittaukset itse (2 henkilöä): UPM Paper Ena Oy.

Vastaajat edustavat kunnonvalvonnan tiiminvetäjän, mekaanisen kunnossapidon työnjohtajan, huoltopäällikön, kunnonvalvonnan asiantuntijan, myynti-insinöörin,

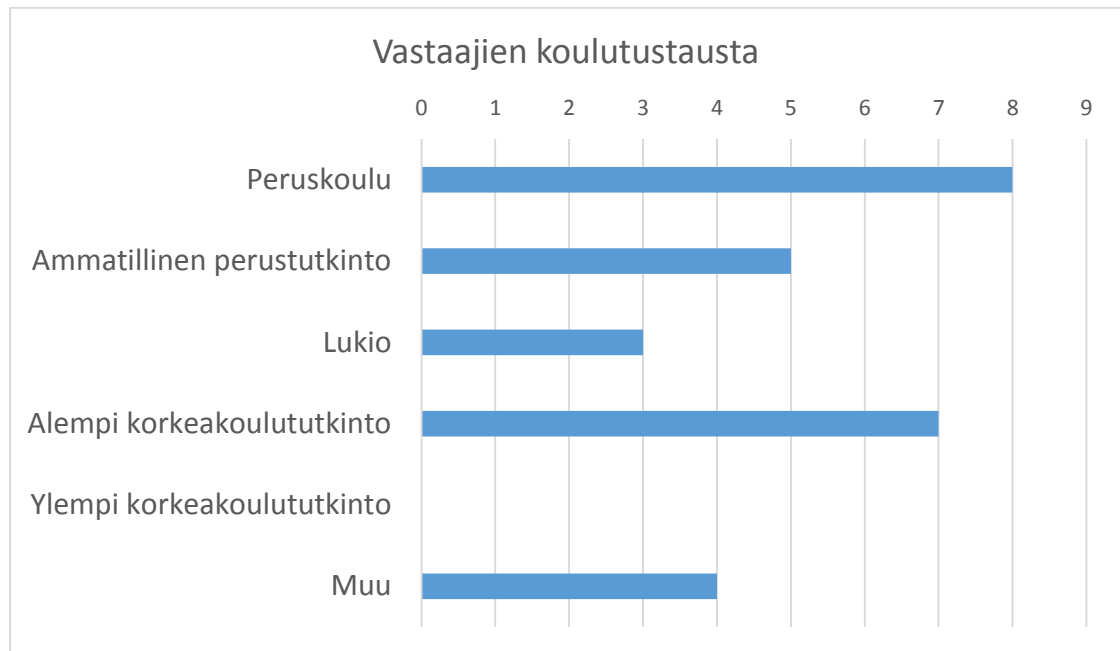
avainasiakaspäällikön ja tuotetiedon hallintainsinöörin työtehtäviä. Työtehtävät eivät suoraan kerro kertyneestä kokemuksesta ja asiantuntijuudesta kunnonvalvonnasta. Siksi kysyttiin vielä erikseen työkokemuksesta tutkimuksen alueelta sekä koulutustaustasta.

Kuvio 10 esittää vastaajien työkokemuksen kunnonvalvonnan ja ennakkohuollon tehtävissä vuosina. 1 - 5 vuotta työkokemusta oli 2 henkilöllä, samoin kuin 10 - 15 vuotta työkokemusta. Yli 15 vuotta työkokemusta oli 5 henkilöllä. Kuten kuviosta nähdään, suurimmalla osalla vastaajista oli yli 15 vuoden kokemus kunnonvalvonnasta. Heidän kokemus ei näin rajoitu vain viimeaikaisiin kunnonvalvonnan menetelmiin, vaan he ovat nähneet kunnonvalvonnan kehityksen pitkällä aikavälillä. Yksi vastaajista ei ilmoittanut työkokemustaan lainkaan.



Kuvio 10. Vastaajien työkokemus

Seuraava kysymys koski vastaajien koulutustaustaa (kuvio 11). Vastaajilla oli sekä ammatillista että alemman korkeakoulututkinnon tasoista koulutusta. Viidellä (50 %) vastaajista oli ammatillinen perustutkinto ja seitsemällä (70 %) alempi ammattikorkeakoulututkinto. Huomionarvoista on, että kenelläkään vastaajista ei ollut ylempää korkeakoulututkintoa. Muu-kategorian vastuksissa oli erikoisammattitutkintoja ja sertifiointi-koulutuksia.



Kuvio 11. Vastaajien koulutustausta

5.2 Kunnonvalvonta

Kunnonvalvontaan liittyviä kysymyksiä oli yhteensä kahdeksan kappaletta. Ensimmäisenä kysyttiin, mitä hyötyä on mittaavasta kunnonvalvonnasta. Kaikki vastaajat kokivat kunnonvalvonnan erittäin tärkeäksi kunnossapidon osa-alueeksi ja sen vaikutuksen näkyvät laaja-alaisesti yli organisaatorajojen. Vastaajien mukaan

- *kunnonvalvonnalla pystytään tehokkaasti havaitsemaan alkavat viat jo hyvissä ajoin ennen rikkoutumista*
- *Suunnittelemattomien seisokkien määrä vähenee ja suunnitelmallisuus paranee*
- *Suunniteltu seisokki kestää keskimäärin kolmanneksen suunnittelemattomaan verrattuna*
- *Korjaukset tehdään oikeaan aikaan ja näin säästetään selvää rahaa*
- *Kunnonvalvonnan avulla pystytään seuraamaan vaurionkehitystä ja siirtämään korjausajankohta sopivaan seisokkiin*
- *Voidaan pitää pienempää varaosavarastoa (varastojen optimointi)*
- *Mittaavan kunnonvalvonnan avulla voidaan todentaa tehtyjen korjaustoimenpiteiden onnistuminen*
- *Mittaustietoa voidaan hyödyntää myös laitehankinnoissa ja investoinneissa.*

Seuraavaksi pyydettiin kirjoittamaan kolme tärkeintä asiaa kunnonvalvonnan aloittamisessa. Lisäksi kysyttiin, että mitä tulee huomioida kunnonvalvontamittausten suunnitelmassa.

nittelussa. Tärkeimmiksi asioiksi vastaajat määrittivät mitattavien laitteiden kriittisyysluokittelun. Tämä ohjaa mittaustoimintaa oikeisiin kohteisiin ja riittävällä tiheydellä. Myös kunnonvalvontamittausten tärkeyden hyväksyminen organisaation eri tasoilla ja riittävät resurssit sekä motivoitunut organisaatio koettiin tärkeäksi.

Kolmanneksi kysyttiin, mikä menetelmä ja analysointitapa soveltuvat parhaiten suorakäyttöpumppujen kunnonvalvontaan. Tämä oli tutkimuksen kannalta yksi avainkysymyksistä. Vastausten mukaan värähtelymittaukset ja siihen liittyvät nopeus-, kiihtyvyys- ja verhoikämittaukset sopivat parhaiten suorakäyttöpumppujen kunnonvalvontaan. Kaikki (100 %) vastaajat olivat samaa mieltä. Lisäksi värähtelymittausten tukena kannattaa tehdä myös aistihavainnointia, kuten lämpötila tai kuunteluhavainnointia.

Neljännessä kysymyksessä pureuduttiin mittaavan kunnonvalvonnan haasteisiin. Haastateltavien mukaan mittaavan kunnonvalvonnan haasteita yleisesti ovat resurssit, motivoitunut ja sitoutunut organisaatio, ammatillinen osaaminen sekä puutteelliset laitetiedot. Tärkeimmäksi haasteeksi erottautui yleinen kunnonvalvonnan arvostuksen puute ja yhteistyö muun organisaation, kuten tuotannon, kanssa. Näin ollen suurimmat haasteet ovat ne perinteiset ihmisten väliseen toimintaan liittyvät haasteet, ei niinkään tekniset asiat.

Viidentenä kunnonvalvontaan liittyvänä kysymyksenä kerättiin ajatuksia oman mittaustoiminnan ja ulkopuolisen mittauspalvelun hyödyistä ja haitoista. Vastaajia pyydettiin mainitsemaan vähintään kolme asiaa kummastakin. Oman mittaustoiminnan etuja vastaajien mukaan ovat nopea reagointi, laitteiden ja prosessin tuntemus, yhteistyö muun organisaation kanssa, mittausdatan helppo saatavuus ja seuranta- ja mittausten suorittaminen. Haitoiksi koettiin resurssien puute, kunnonvalvonnan kehityksen haasteellisuus sekä osaamisen henkilöityminen.

Ulkopuolisen mittauspalvelun hyötyjä vastaajien mukaan ovat paremmat resurssit, laajempi kokemus, parempi mittalaitteisto, mittaustoiminnan varmempi suorittaminen sekä korkea motivaatio suorittaa kunnonvalvontaa. Ulkopuolinen mittauspalvelu ei myöskään sido omia resursseja eikä pääomaa. Vastaajien mukaan haittana on pal-

velun saatavuus kiiretapauksissa. Lisäksi ongelmalliseksi nähtiin, että kaikki mittausdata ei ole jatkuvasti saatavilla ja tiedonkulku mittausten välillä tapahtuneista muutoksista on haasteellista.

Lopuksi kysyttiin mittauspalveluiden toimittajalle asetettavista vaatimuksista sekä kunnonvalvonnan laadun ja tehokkuuden arvioinnista. Tärkeimmät vaatimukset palveluntarjoajalle ovat vastaajien mukaan korkea osaamistaso, laitteiden ja prosessien tuntemus, luotettavuus, sitoutuminen, joustavuus, ymmärrettävä ja oikea-aikainen raportointi sekä palveluntarjoajan oman toiminnan mittarointi. Laatua voidaan haastateltujen mukaan arvioida esimerkiksi vertaamalla suunniteltujen ja suunnittelemattomien seisokkien suhdetta. Kun suunnittelemattomia seisokkeja on vähän, on toiminta vastaajien mukaan laadukasta. Tehokkuutta voidaan arvioida taas vertaamalla vikaantumismekanismin kulkua mittaustiheyteen, ettei yli- tai alimitoiteta kunnonvalvontaa. Lisäksi laatua ja tehokkuutta voidaan arvioida kunnossapitokustannusten määrästä ja laskemalla kustannussäästöt havaituille vaurioille.

5.3 Mittalaite ja mittaaminen

Seuraavaksi kysyttiin mittalaitteisiin ja mittaamiseen liittyviä kysymyksiä. Mittalaite- ja mittauskysymyksillä kerättiin tietoa mittalaitteiden soveltuvuudesta ja niiden tärkeimmistä ominaisuuksista. Lisäksi kerättiin tietoa itse mittauksen suorittamisesta.

Ensimmäisenä kysyttiin, minkälainen mittalaite soveltuu parhaiten koneiden yleistärinä ja vierintälaakereiden kunnonvalvontaan? Vastaajien mukaan kannettava keräävä värähtelyanalysaattori soveltuu parhaiten. Kaikki (100 %) vastaajat olivat samaa mieltä. Tätä voidaan pitää tutkimuksen kannalta tärkeänä havaintona.

Seuraavaksi kysyttiin mittalaitteen ominaisuuksia. 78 % vastaajista mainitsivat ominaisuudeksi helpon käytettävyyden. Tätä voidaan pitää tärkeimpänä ominaisuusvaatimuksena. Muita toivottuja ominaisuuksia ovat laitteen pieni koko ja keveys, toimintavarmuus, ympäristöolosuhteinen kesto (pöly, kosteus, lämpö) sekä nopeus mittausten suorittamisessa ja tulkinnessa. Lisäksi arvostettiin liitântää kunnossapitojärjestelmään, erillistä analysointiohjelmistoa ja reittimittausta tukevaa ominaisuutta.

Loput kysymykset liittyivät itse mittauksen suorittamiseen. Ensimmäisenä kysyttiin, mikä on paras tapa mitata suorakäyttöpumppuja. Vastaajien mielestä paras tapa mitata suorakäyttöpumppuja on säännöllisin väliajoin suoritettu reittimittaus keräilävällä mittalaitteella. Tätä mieltä oli kaikki (100 %) vastaajat.

Mikä sitten on hyvä mittausaikaväli suorakäyttöpumpuille? Vastauksissa oli paljon hajontaa. Vastaukset vaihtelivat yhdestä kuukaudesta kuuteen kuukauteen riippuen laitteen kriittisyydestä. Tuotantolaitokset, jotka suorittavat kunnonvalvontaa omilla resursseilla, suosittelivat tiheämpiä mittausvälejä. Kaikki vastaajat olivat sitä mieltä, että kannattaa tehdä värähtelymittaukset vastaanottotarkastusten yhteydessä (PSK 5704). Tarkastusten etuina mainittiin muun muassa seuraavia asioita:

- *Varmistetaan, että laite täyttää standardien asettamat vaatimukset*
- *havaitaan asennus- ja mitoitusvirheitä*
- *saadaan lähtöarvot käytönaikaiseen kunnonvalvontaan*
- *takuuasioden hoitaminen on helpompaa, kun tilausvaiheessa määritellään rajat ja käyttöönotossa tarkistetaan alitetaanko raja-arvo.*

5.4 Mittaaja

Mittalaitteen ja mittaamisen jälkeen kysyttiin mittaajan vaikutuksista mittaus- tai analysointituloksiin sekä hyvän mittaajan ominaisuuksista. Vastaajat pitivät aistihavaintojen ja mittaustulosten yhdistämistä tärkeänä. Lisäksi luotettavien tuloksien saamiseksi oli vastaajien mielestä tärkeää, että mittaukset tehdään joka kerta samasta pisteestä ja samoilla asetuksilla.

Vastaajien mukaan mittaajan ominaisuuksista tärkeimpinä voidaan pitää rauhallisuutta ja tarkkuutta sekä kykyä havainnoida ympäristössä ja prosessissa tapahtuvia muutoksia. Vastaajien mielestä hyvältä analysoijalta edellytetään kovaa motivaatiota ja kiinnostusta aiheeseen. Laitteiden rakenteen tunteminen koettiin myös tärkeäksi.

Haastavimmissa analyyseissä vastaajien mukaan tarvitaan pitkäjänteisyyttä ja periksi antamattomuutta. Myös paksunahkaisuutta tarvitaan, sillä kritiikiltä ei siinä tehtävässä voi vältyä. Tänä päivänä myös mittaajan ja analysoijan koulutusta arvostetaan paljon. Eräs vastaajista arvioi *mittaajan vaikutuksen olevan yhtä suuri kuin kokin vaikutus hyvään ruokaan ja esille asetteluun*. Tämä pitää varmasti paikkansa.

5.5 Analysointi ja raportointi

Kyselylomakkeen viimeisenä kysymysten kategoriana syvennyttiin mittaustulosten analysointiin ja raportointiin. Ensimmäisenä vastaajat kertoivat mielipiteensä miten vianmääritysprosessin tulisi edetä ja tämän jälkeen onko vaurioita mahdollista arvioida näkemättä kohdetta. Tätä voidaan kutsua myös etävalvonnaksi.

Vianmääritysprosessin etenemisessä vastaajat painottivat oikea-aikaista toimintaa ja suunnitelmallisuutta. Vastaajat kuvasivat vianmääritysprosessia seuraavasti. Ensin havaitaan vika. Tämän jälkeen tutustutaan kohteeseen, tehdään visuaaliset havainnot, tarvittavat lisämittaukset ja tutkitaan mahdollista historiadataa. sitten arvioidaan vian vakavuus ja seuraamukset. Seuraavaksi varmistetaan mahdollinen varalaite, määritellään korjausajankohta ja varmistetaan resurssit työn suorittamiseen. Kun vika on korjattu, on tärkeää analysoida oliko vaurio normaalia väsymistä vai jostain muusta syystä aiheutunut ennenaikainen vikaantuminen.

Vaurion arviointi etävalvonnan avulla oli kaikkien (100 %) vastaajien mielestä mahdollista. Se on kuitenkin haasteellista ja epäluotettavaa. Tämä johtuu vastaajien mukaan prosessin muutoksista ja muista ulkoisista tekijöistä. Vastaajat pitivätkin tärkeänä laitteen historiaan perehtymistä ja kenttätarkastelua ennen lopullista analyysiä.

Seuraavaksi asiantuntijat vastasivat kysymykseen, miten määritetään laitteen turvallinen käyttöikä ja onko sitä ylipäättään mahdollista määrittää. Kysymyksen asettelu oli puutteellinen, koska osa vastaajista oli miettinyt laitteen elinkaaren aikaista turvallista käyttöikää ja osa prognosoinnin yhteydessä tehtävää vikaantuneen laitteen turvallista käyttöikää. Kysymyksellä tarkoitettiin jälkimmäistä määrittelyä. Niissä vastauksissa, jotka liittyivät vikaantumisen jälkeiseen käyttöiän määrittelyyn, oli seuraavia huomioita: Jokainen määrittely on tehtävä tapauskohtaisesti, on tärkeää tunnistaa värähtelytaso, vaurioitunut elementti ja käyttökohde. Lisäksi vastauksista ilmeni, että historiatiedoista on tässäkin apua.

Toiseksi viimeisenä kysymyksenä selvitettiin, kuinka tärkeää on tuntea koneen rakenne ja mahdollinen vaurioitumisprosessi. Kaikkien (100 %) vastaajien mielestä on

tärkeää tuntea koneen rakenne, tai koneen rakenteen tunteminen on hyväksi, analysoitaessa mittauksia ja vaurioitumisprosessia. Rakenteen tuntemisella voidaan rajata pois muita mahdollisia värähtelyn herähteitä, kuten esimerkiksi resonanssi. Rakenteen tuntemisen lisäksi myös seurattavien laitteiden komponenttiedot tulee olla ajan tasalla. Näin mittaustoiminta on luotettavaa.

Viimeisenä asiana kysyttiin, miten mittaustulosten käsittely ja dokumentointi tulisi hoitaa. Vastaajat toivat esille viisi asiaan. Ensinnäkin havaituista vikaantumisista tulisi raportoida välittömästi eteenpäin, mielellään tehdas- tai kunnossapitojärjestelmän kautta. Toiseksi tehdään analyysi kohteista, joissa poikkeamia on havaittu. Kolmantena havaintona tuli esille, että mittaustulosten analysoijana olisi hyvä olla sama henkilö kuin mittaaja. Neljänneksi mittausdata tallennetaan tietokantaan, joka mahdollistaa historiatiedon ja trendien seurannan. Näin tiedot eivät pääse häviämään mitta-laitteiden vikaantuessa. Lopuksi mittausedokumentteihin lisätään suoritettut korjaustoimenpiteet ja vaurioanalyysit.

6 Vastausten pohdinta

Tässä luvussa peilataan teoriaosan aineistoja kyselylomakkeen vastauksiin ja Kemiran Chemicals Joutsenon tehtaan toimintaan. Pohdintaosion jälkeen luvussa 7 esitetään työn varsinaiset johtopäätökset eli ratkaisuehdotus miten ja millä pyörivien laitteiden kunnonvalvontaa suoritetaan.

Tutkimustyön teoriaosuuden alussa tutustuttiin kunnossapidon määritelmiin ja kunnossapitolajeihin. Standardit SFS-EN 13306 ja PSK 6201 kertovat tarkasti, mitä kunnossapito on ja mikä on kunnossapitotoiminnan tavoite. Kunnossapidolla on suuri merkitys sekä kansantalouteen että yritysten kannattavuuteen. Teoriaosan mukaan kunnossapito työllistää Suomessa yli 200 000 ihmistä ja siihen käytetään merkittäviä summia rahaa. Yritysten kunnossapito muodostaa yhden suurimmista kustannusosuuksista heti pääoma- ja raaka-ainekustannusten jälkeen. On tärkeää, että yritysjohto tiedostaa kunnossapidon kulut ja pyrkii hallitsemaan niitä.

Jotta kunnossapidon tehokkuutta voidaan johtaa parhaalla mahdollisella tavalla, on kunnossapito jaettu eri lajeihin. Päälajit ovat korjaava, ehkäisevä ja parantava kunnossapito. Kunnossapito on korjaavaa, kun laite korjataan vian havaitsemisen jälkeen

joko suunnitellusti tai suunnittelemattomasti. Ehkäisevässä kunnossapidossa laitteen käyttöominaisuuksia pidetään yllä, ja palautetaan heikentynyt suorituskyky heti viikaantumisen jälkeen tai estetään vaurion syntyminen. Tavoitteena on pienentää häiriön todennäköisyyttä sekä laitteen tai komponentin suorituskyvyn alenemista. Tutkimustyön tavoitteena oleva kloraattitehtaan kunnonvalvonta lasketaan ehkäisevän kunnossapidon piiriin.

Tällä hetkellä Joutsenon Kemiran tehtaiden kunnossapito on näiden määrittelyjen mukaan suurelta osin korjaavaa, kuten muuallakin Suomen teollisuudessa. Indikaatio vioista tulee operaattoreiden tekemien käyttökunnossapitokierrosten havaintojen tai prosessissa havaittujen muutosten perusteella. Viat kirjataan käyttöhenkilöstön toimesta vikailmoituksina SAP-järjestelmään. Ilmoitukset käsitellään aamupalaverissa, joissa tuotanto ja kunnossapito yhdessä sopivat korjausajankohdasta. Työt aikataulutetaan ja jaotellaan suunniteltuun tai suunnittelemattomaan korjaukseen. Kunnonvalvonnan myötä tavoitteena on siirtää painopistettä ehkäisevän kunnossapidon suuntaan. Uudessa mallissa kunnonvalvonnalta tulee indikaatio viasta, jota ei vielä havaita laitteen suorituskyvyn alenemisena tai muuna vauriona. Näin parannetaan kunnossapidon suunnitelmallisuutta ja pyritään estämään vaurioiden syntyminen.

Tutkimuksessa käsiteltiin myös kunnossapitopalveluiden ostamista. Tähän asti Joutsenossa on tehtaiden kunnossapito hoidettu hyvin pitkälle oman kunnossapidon työntekijöiden voimin. Tähän on perusteena Kemiran oman teknologian hyödyntäminen prosesseissa. Osa laitteista ja niiden korjausmenetelmistä on kehitetty Kemiran sisällä. Prosessin väliaineet asettavat käytettävälle materiaaleille erittäin kovia vaatimuksia ja siitä johtuen laitetaso kaupallisia versioita ei välttämättä ole saatavilla. Heikon kaupallisen saatavuuden takia komponentteja on valmistettu itse. Erikoiset materiaalit ovat pääsääntöisesti kalliita, joten laitevalmistajille sarjavalmistus ei ole ollut kannattavaa. Nykyään esimerkiksi titaanin hinta on laskenut ja kaupallisia versioita muun muassa keskipakopumpuista on paremmin saatavilla.

Joutsenossa kunnossapidon ikäjakauma on korkea. Erikoisosaamista on paljon ja henkilöstö on sitoutunutta. Tulevaisuuden haasteena on siirtää erikoisosaamista uusille työntekijöille ja ottaa käyttöön uusia teknologioita nopealla aikataululla. Tutkimuskohteena olevan kloraattitehtaan kunnonvalvonnan käyttöönotto on asetetulla aikataululla lähes mahdotonta ilman ulkopuolista apua.

Yleisesti ottaen erilaisten kunnossapitopalveluiden ostaminen on lisääntynyt huomattavasti viimeisten vuosikymmenien aikana. Alun kustannuskeskeisen ajattelutavan jälkeen huomiota ollaan kiinnittämässä palveluiden laatuun ja siitä ollaan valmiita maksamaan. Palvelun tarjoajilla on valmiita palvelukonsepteja, joiden avulla toimintoja saadaan nopeasti käyttöön. Kun suunnitellaan palvelun ostamista ulkopuoliselta toimittajalta, on äärimmäisen tärkeää löytää oikea palveluntarjoaja ja selvittää toimijan osaamisen taso. Myös yrityksellä itsellään tulee olla selkeä suunnitelma, mitä palveluita hankitaan ulkoa ja mitä tavoitteita asetetaan. Tilaaja-organisaation henkilöstön asenteella ja toimintatavoilla on myös suuri vaikutus onnistuneeseen yhteistyöhön.

Kunnonvalvontaa on perinteisesti suoritettu aistihavaintojen perusteella. Kuunteluun on käytetty harjanvartta tai muuta tarkoitukseen sopivaa puukeppiä. Lämpötilan muutoksia on arvioitu käsivaraisesti koskettamalla ja värähtelytasojen muutoksia havainnoitu tunnustelemalla kohdetta kädellä tai jalalla. Nämä menetelmät ovat edelleenkin käytössä, mutta niitä korvaamaan ja tukemaan käytetään yhä lisääntyvässä määrin erilaisia mittausmenetelmiä.

Tärkeimpiä syitä mittaavan kunnonvalvonnan käyttöön ovat esimerkiksi tuotantolinjojen rakentaminen ilman varakoneita, tuotantomäärien kasvu, pyörintänopeuksien kasvaminen ja koneiden sekä rakenteiden keventyminen. Tällä hetkellä Joutsenon tehtailla suoritetaan pyörivien kunnonvalvontaa perinteisin menetelmin ja vanhat tehtaot on varustettu kahdennetuilla järjestelmillä. Uuden tehtaan myötä tilanne muuttuu ja kunnonvalvonnasta tulee entistä vaativampaa. Kunnossapidolta edellytetään ennustettavuutta laitteiden kunnosta. Tehdasta pitää pystyä ajamaan pesuseisokkien välit mahdollisemman häiriöttömästi. Kriittisimpien pumppujen rikkoutuessa tuotanto pysähtyy välittömästi.

Prosessiteollisuuden pumppujen vaurioista suurin osa on akselin tiivistevaurioita. Seuraavaksi yleisempiä ovat laakerointi- ja muut vauriot. Joutsenon tehtailla kunnonvalvonnan piirissä on lähinnä suorakäyttöpumppuja ja muutama puhallin. Suurin osa pumppujen vaurioista muodostuu rikkoutuneista akselin tiivisteistä. Seuraavana tulee laakerointi- ja muut vauriot, kuten prosessiteollisuudessa yleensä.

Tutkimuksessa haasteltiin kunnonvalvonnan asiantuntijoita eri organisaatioista ja erilaisista tehtävistä. Haastattelujen vastauksia ja teoriaa yhdistämällä halutaan muodostaa mahdollisemman selkeä näkemys siitä, miten kunnonvalvonta tullaan suorittamaan. Koska Joutsenossa ei ole aikaisemmin suoritettu mittaavaa kunnonvalvontaa, halusin selvittää mitä hyötyä siitä on.

Kerätyn teoria-aineiston perustella kunnonvalvonnan tärkeimpiä hyötyjä ovat kunnonapidon suunnitelmallisuuden paraneminen, seisokkiaikojen tehokas hyödyntäminen, yllättävien ja äkillisten seisokkien vähentyminen sekä koneen eliniän piteneminen. Toiminnalla on todettu olevan myös positiivinen vaikutus yrityksen kannattavuuteen.

Tutkimuksen haastattelussa kysyttiin samaa asiaa. Asiantuntijat olivat samaa mieltä, että kunnonvalvonnan johdosta suunnittelemattomien seisokkien määrä vähenee ja suunnitelmallisuus paranee. Lisäksi vastaajien mielestä kunnonvalvonnan etuna on, että alkavat vikaantumiset havaitaan hyvissä ajoin ennen rikkoutumista ja korjaukset tehdään oikeaan aikaan ja näin saadaan kustannussäästöjä. Myös kohteen hallitulla vaurionkehityksen seurannalla korjausajankohtaa voidaan siirtää seuraavaan sopivaan seisokkiin. Sekä teoria että käytäntö puoltavat siis kunnonvalvonnan käyttöönottoa.

Kun mielikuva kunnonvalvonnan hyödyllisyydestä on vahvistunut, alkaa suunnittelu vaihe. Kunnonvalvonnan suunnitteluvaiheessa valitaan valvottavat laitteet ja niiden todennäköisimmät vikaantumismekanismit. Nämä määrittävät kunnonvalvontatekniikat, -menetelmät ja valvottavat suureet, joiden avulla kunnonvalvontaa suoritetaan. Sitten arvioidaan todennäköiset vikaantumisnopeudet, jotka ohjaavat menetelmän ja aikataulun valintaa.

Kokonaisvaltaisessa kunnonvalvonnassa käytetään useampia menetelmiä ja tekniikoita. Jokaiselle koneelle ja laitteelle määritellään kunnonvalvonnan riittävä taso. Mietitään, voidaanko kunnonvalvontaa suorittaa yksinkertaisilla mittauksilla vai sovelletaanko tarkempaa valvontaa. Uuden tehtaan osalta keväällä 2017 suoritettiin kolmiosainen kriittisyysluokittelu kaikille prosessilaitteille. Tämä luokittelu ohjaa muitakin kuin kunnonapidon toimintoja, joten se pyrittiin tekemään huolellisesti.

Luokittelussa jokainen osaprosessi käytiin piirikaavioitasolla läpi ja mietittiin, miten kyseenomaisen osaprosessin laitteet vaikuttavat tehtaan toimintaan. Kunnonvalvonnan mittauksen piiriin tuli 60 laitetta, jotka ovat suorakäyttöpumppuja ja -puhaltimia. Luokittelussa selvittiin, mitkä laitteet rikkoutuessaan pysäyttävät tehtaan välittömästi. Nämä laitteet (23 kpl) määriteltiin luokkaan A. Laitteet (19 kpl), jotka rikkoutuessaan aiheuttavat ongelmia prosessille, mutta toiminnot pysyvät yllä varajärjestelmillä tai muilla menetelmillä, määriteltiin luokkaan B. Laitteet (18 kpl), joiden rikkoutumisesta ei ollut haittaa prosessille kuuluvat taas luokkaan C.

Standardin PSK 5705 mukaista värähtelyvalvonnan tarpeen määrittelyä (liitteet 1 ja 2) ei suoritettu. Vaan mittaavan kunnonvalvonnan piiriin valittiin suoraan kaikki 60 laitetta, koska laitteiden määrä on alhainen ja laitteet ovat helposti mittavissa. Suorakäyttöpumpuille ja -puhaltimille luodaan myös käyttökunnossapitokierrokset, koska aistihavainnot, laitteiden puhtaus sekä oikea-aikainen voitelu ovat edelleen tärkein osa kunnonvalvontaa.

Jotta kunnonvalvontatoiminta saadaan mahdollisemman hyvin käyntiin, pitää arvioida mahdolliset ongelmakohdat ja haasteet. Kunnonvalvonta on yksi kunnossapidon kehittämisen työkalu ja sen tulee olla pitkäjänteistä toimintaa. Pitkäjänteisyyden puute ilmenee kiireenä saada tuloksia heti, vaikka todellisuudessa on edettävä vaiheittain. Koko organisaation tulisi tiedostaa, että toimivan kunnonvalvontajärjestelmän taustalla on valtavasti työtä ja kokemuksien kautta kerättyä tietoa. Myös erehdyksiä tulee ja kaikkia vikaantumisia ei pystytä havaitsemaan.

Kunnonvalvonnan käytännön toteutus on siis monitahoinen ja -vaiheinen prosessi. Edellytys onnistuneelle toiminnalle on huolellinen suunnittelu. Tärkeää on oikea-aikaisuus, pitkäjänteinen toteutus sekä osaava henkilöstö mittauksien ja analyysien suorittamiseen. Nämä asiat korostuivat myös haastateltujen vastauksissa. Asiantuntijat kokivat kunnonvalvonnan suurimmiksi haasteiksi juuri riittävät resurssit, henkilöstön motivaation, organisaation sitoutuneisuuden ja ammatillisen osaamisen. Organisaation sitoutuneisuus näkyy puutteellisena arvostuksena kunnonvalvontaa kohtaan ja yhteistyön toimimattomuutena.

Kun tarpeiden mukainen suunnitelma on luotu, alkaa mittausmenetelmän valinta. Kunnonvalvonnassa on käytössä useita eri mittausmenetelmiä ja niiden sisällä erilaisia mittaustapoja. Yleisimpiä mittaustapoja ovat värähtelymittaukset, lämpötilamittaukset, virta-analyysi ja kulumishiukkasanalyysit. Toimeksiantajan tuotantolaitoksessa kunnonvalvonnan kohteena ovat suorakäyttöpumput ja puhaltimet. Teorian ja asiantuntijoiden haastattelujen perusteella paras kunnonvalvonta menetelmä on värähtelymittaukset ja niiden tukena aistihavainnot, lämpötila, kuuntelu jne.

Värähtelymittaukset ovat yleisin menetelmä kunnonvalvonnassa. Kun haluamme myös ennustettavuutta ja tarkempaa analyysia laitteiden kunnosta, ei pelkkään yleisjärkin valvontaan tarkoitettuja laitteita riitä, vaan tarvitaan monimutkaisempia menetelmiä. Sellaisia menetelmiä ovat värähtelyn nopeus-, kiihtyvyyss- ja verhoikäyrämittaukset. Riippumatta mitä mittalaitetta tai -menetelmää käytetään, koneiden kunnonvalvonnassa on oleellista mittaustulosten järkevä käsittely, analysointi ja dokumentointi. Muussa tapauksessa vaurionkehityksen havainnointi on vaikeaa ja toiminta on sekä resurssien että rahojen tuhlausta.

Seuraavana vaiheena on itse mittaustoiminnan suorittaminen. Mittauksia suoritetaan laitteen koko elinkaaren ajan, alkaen käyttöönotossa tapahtuvista vastaanotto-tarkastuksista. Joutsenossa ei aikaisemmin ole suoritettu pyöriville laitteille standardin PSK 5704 mukaisia vastaanottotarkastuksia. Tutkimustyössä selvitettiin, mitä hyötyä tarkastuksista on.

Hankittaessa uusia laitteita ja koneita tuotantolaitokseen tai asennettaessa kunnostettuja laitteita takaisin tuotantolinjaan olisi ne käyttöönoton yhteydessä mitattava kaikilla mahdollisilla mittausmenetelmillä. Näin voidaan varmistaa koneen toimintakunto ja sille asetettujen vaatimusten täyttyminen. Näistä vaatimuksista ja niiden todentamisesta tulee sopia jo hankintavaiheessa. PSK 5704 määrittää koneille suoritettavat värähtelymittaukset, niiden luokittelun sekä mittausten raportointitavan. Käyttöönotossa tulee siis suorittaa vähintään standardin mukaiset värähtelymittaukset ja laitteiden tulee alittaa niille määritellyt värähtelyarvot. Jos mittaukset ylittävät 10 % hyväksymisalueen yläraja-arvosta, on se merkki jostakin virheellisestä koneen tilasta. Ennen tarkastuksen hyväksymistä värähtelyn aiheuttaja pitää selvittää.

Haastatteluun vastanneiden asiantuntijoiden mielipide oli selkeä, vastaanottotarkastukset täytyy ehdottomasti tehdä. Vastaanottotarkastuksilla päästään kiinni asennusvaiheessa tapahtuneisiin virheisiin, jotka ovat valitettavan yleisiä. Tällaisia ovat esimerkiksi väärin asennetut tai jo varastoinnissa vaurioituneet laakerit, akseleiden ja putkistojen linjausvirheet, löysät kiinnitykset ja resonanssit. Samalla varmistutaan, että laite täyttää standardien vaatimukset ja sillä on edellytykset häiriöttömään toimintaan. Tämä on myös osa käyttövarmuutta, sillä rakenteelliset virheet eivät korjaannu laitetta vaihtamalla, vaan vika uusiutuu. Takuuasioiden käsittely ongelmatilanteissa on molemmille osapuolille selkeämpää, kun asiat voidaan todentaa mittauksilla. Varsinkin, jos värähtelyyn liittyviä ongelmia ilmenee myöhemmin. Käyttöotossa suoritettavat mittaukset antavat referenssin jatkossa toteutettavalle kunnonvalvonnalle.

Mittaustavan ja -menetelmän valinnan jälkeen on määriteltävä järkevä mittausaika-väli. Aikaväliä määritettäessä on huomioitava laitteiden häiriöherkkyydet ja vaurioiden kehittymisnopeudet. Mittausten välinen aika on oltava niin lyhyt, etteivät ennakoituvat vikaantumiset ehdi kehittyä vaurioiksi mittausten välillä. Kuten teoriaosassa tuotiin esille, on taloudellisesti perusteltua käyttää kiinteää mittausjärjestelmää, jos mittausväli on lyhempi kuin yksi kalenteriviikko. Jos taas mittausaikavälinä käytetään yli kahden kuukauden jaksoa, ei kunnonvalvonta ole ennakoivaa.

Tutkimustyön kohteena olevat pyörivät laitteet, suorakäyttöpumput ja -puhaltimet, ovat periaatteessa hyvin toimintavarmoja laitteita. Näille laitteille on tärkeintä huolellinen asennus, vastaanottotarkastukset ja peruskunnossapito. Niiden kunnonvalvonta ei ole verrattavissa esimerkiksi paperikoneen puristinosaan, jossa telojen vaurioituminen saattaa olla todella nopeaa. Siksi haluttiin selvittää, mikä olisi kyseisille laitteille sopiva mittausväli. Tämä on tärkeää varsinkin, jos mittaukset ostetaan palveluntoimittajalta. On luonnollista, että yritykset jotka tekevät itse mittaukset, suosittelivat tiheämpiä mittausvälejä. Tämä näkyi myös haastatteluiden vastauksissa. Todellisuudessa ei selkeää sääntöä ole olemassa, vaan määrittely perustuu kokemukseen ja havaintoihin. Haastateltujen asiantuntijoiden suositukset vaihtelivat 1 kuukaudesta 6 kuukauteen. Paras aikaväli on jossain välimaastossa. Tämä riippuu siitä, miten mittaustoimintaa suoritetaan.

Mittausaikavälin määrittämisen jälkeen päätetään, kuka tekee mittaustyön ja tulosten analysoinnin. Vaihtoehtoja on käytännössä kolme. Ensimmäinen vaihtoehto on suorittaa mittaukset ja analysointi omilla resursseilla. Toinen vaihtoehto on suorittaa mittaukset itse ja ostaa analysointipalvelut palveluntarjoajalta. Kolmas tapa on ostaa koko mittaava kunnonvalvonta ulkopuoliselta toimittajalta.

Jos valitaan ensimmäinen vaihtoehto, joudutaan aluksi panostamaan rahallisesti huomattavasti enemmän verrattuna ulkopuoliseen mittauspalveluun. Koko mittaavan kunnonvalvontajärjestelmän luominen vaatii osaamista, resursseja ja aikaa. Mittalaitteet ja analysointiohjelmat ovat kalliita. Niiden käyttö ja mittausten tulkinta vaatii ammattitaitoa. Usein toiminta henkilöityy ja jos osaaja lähtee pois, toiminta romuttuu. Alun opetteluvaiheessa tulee myös helposti virheellisiä tulkintoja, jotka voivat romuttaa luottamuksen mittaustoimintaan.

Kun mittauksia suoritetaan omilla resursseilla, on työkuormaa oltava riittävästi, jotta ammattitaito pysyy yllä ja kehittyy. On järkevää hyödyntää resurssit tehokkaasti ja suorittaa tiheämmin mittauksia. Oma mittaustoiminta mahdollistaa nopeat mittaukset ja analysoinnin häiriötilanteissa ja niistä ei aiheudu lisäkustannuksia. Kaikki historiatieto ja informaatio säilyvät myös oman yrityksen sisällä.

Jos mittaukset hankitaan ostopalveluna, tilanne on päinvastainen. Teoriaosassa kerrottiin, että ulkopuolisen toimesta mittaustoiminta saadaan yleensä nopeasti käyntiin, eikä se sido pääomia. Analysointikin onnistuu varmemmin, sillä palveluntarjoajilla on ammattitaitoinen henkilökunta. Häiriötilanteissa vasteaika voi tosin olla pitkä ja sopimuksen ulkopuoliset mittaukset ovat yleensä kalliita. Analysointi myös hankaloituu, jos kaikki tieto suoritetuista huoltotoimenpiteistä ei siirry toimittajalle. Lisäksi jos mittauskohteita on paljon, ostopalvelun vaarana on kustannusten karkaaminen suhteessa saavutettuihin hyötyihin.

Kun haastatelluilta asiantuntijoilta kysyttiin eri mittaustoimintamallien vahvuuksista ja heikkouksista, olivat he samoilla linjoilla. Oma mittaustoiminta koettiin nopeaksi ja hyvä laitteiden ja prosessien tuntemus vahvuudeksi analysoinnissa. Esimerkiksi online-mittauksissa voidaan muuttaa hälytysrajoja välittömästi prosessin muuttuessa ja seurantamittauksia voidaan suorittaa tarvittaessa vaikka päivittäin. Haittapuolena

nähtiin resurssien puute, osaamisen henkilöityminen ja ammattitaidon ylläpitäminen. Usein myös sopivan ja motivoituneen henkilön löytäminen voi olla vaikeaa.

Ulkopuolisella toimijalla on yleensä paremmat resurssit, laitteistot ja laaja-alainen kokemus. Osaamistaso ja motivaatio voi olla korkeampi ja toiminnan kehittäminen jatkuvaa, koska mittaus toiminta on heidän ydinosasta. Asiakas maksaa kuitenkin vain sovitusta työstä ja jos yhteistyö ei toimi, on toimittajan vaihto helppoa. Heikkouksina voi olla hidas reagointi häiriötilanteissa ja kustannusten kohoaminen, jos mittauspisteitä on paljon. Myös tilaajaosapuolen asenne voi koitua ongelmaksi, varsinkin, jos toimintaa on yritetty omilla resursseilla huonolla menestyksellä.

Koska mittauspalvelun ostaminen on todennäköinen vaihtoehto toimeksiantajalle, haluttiin haastattelussa selvittää mitä vaatimuksia toimittajalle tulee asettaa. Vastajat toivat esille tärkeitä asioita, jotka sopimusvaiheessa tulee huomioida ja kuuluvat ammattimaiseen toimintaan. Näitä ovat riittävä ammattitaito, resurssit, luotettavuus, palvelualltius, raportoinnin oikea-aikaisuus sekä selkeät toimenpide-ehdotukset. Palvelualltiudella tarkoitetaan palvelun saatavuutta tarvittaessa ja että jokaisesta kysymyksestä tai vinkistä ei laskuteta lisää.

Samalla selvitettiin, miten toiminnan laatua voidaan arvioida. Tämä on tärkeää jatkuvan kehityksen varmistamiseksi. Laadunseurannan työkaluja on listattu esimerkiksi standardissa PSK 5709. Siinä määritetään mittaus toiminnan tunnuslukuja sekä kerrotaan laskentamalli havaittujen vikaantumisten kokonaiskustannusten laskemiseen, jos ne olisivat kehittyneet vaurioiksi. Ellei tarkastelujaksolla ole tapahtunut vikaantumisia, on saavutettujen säästöjen laskeminen mahdotonta. Mittaus toiminta voi silti olla kannattavaa. Sen avulla on mahdollisesti vähennetty määräaikaista laitehuoltoja tai ennakkoon suoritettuja komponenttien vaihtoja.

Haastatellut asiantuntijat arvioivat kunnonvalvonnan laatua muun muassa laitevaurioista johtuvien yllättävien seisokkien määrän muutoksella ja niiden aiheuttamilla tuotannonmenetyksillä. Myös havaittujen ja havaitsemattomien vikojen suhde on haastateltavien mielestä hyvä mittari. Se kuvaa samalla kunnonvalvonnan mitoituksen onnistumista.

Menetelmää ja suoritusmallia valittaessa on tärkeää huomioida kokonaisuus. Mikä on yrityksen ydinosasta? Mikä on käytössä olevien koneiden teknologiataso? Jos

vertaamme korkean teknologian paperitehdasta tuotantolaitokseen, missä käytetään perustason prosessilaitteita, ei kunnonvalvontaa voida mitoittaa samalla tavalla. Pelkästään paperikoneella voi olla yli tuhat kiinteää jatkuvatoimista värähtelyvalvontapistettä ja järjestelmään määritetyt hälytysrajat päivittyvät 100 000 kertaa vuorokaudessa. Lisäksi yhden paperikoneen keräävän värähtelyvalvonnan piirissä voi olla toiset tuhat mittapisteitä. Lisäksi ovat vielä oheislaitteet, kuten päällystyskoneet, kiillotuskalenterit tai pituusleikkurit, jotka kasvattavat mittauskohteiden määrää entisestään. Kun kohteiden määrä on suuri, ei mittaus- ja analysointipalveluiden ostaminen ole taloudellisesti järkevää.

Jos taas mittauspisteiden määrä on kohtuullinen ja laitteet hyvin ryhmitelty, on palvelun ostaminen järkevä vaihtoehto. Kannattaa kuitenkin valita sellaiset toimittajat, joilla on käytössään yleisesti käytetyt mittalaitteet ja -ohjelmat. Näin toimittajan palvelusopimuksen kilpailuttaminen ja toimittajan vaihto on helpompaa. Tulevaisuutta ajatellen kannattaa huomioida myös prosessiohjauksen ja värähtelymittausten synergiaetu. Jos tuotantolaitoksessa oleva prosessin ohjausjärjestelmä tukee värähtelymittausten analysointiohjelmaa, voidaan ohjausjärjestelmästä ottaa mittaussignaaleja ja analysoida niitä yhdessä värähtelymittausten kanssa.

7 Johtopäätökset

Työn lopputuloksena syntyi ehdotus sopivasta kunnonvalvontamenetelmästä Kemira Chemicalsin Joutsenon tehtaiden uudelle kloraattitehtaalle. Tämän ratkaisuehdotuksen muodostamiseksi teoriaosassa kerättiin aineistoa olemassa olevista kirjoista, artikkeleista ja tutkimuksista. Tutkimuksen empiriavaiheessa lähetettiin kyselylomake asiantuntijoille ja haettiin sitä kautta vahvistusta ja uusia näkemyksiä teoriaosassa esitetyille asioille. Tässä luvussa vastataan tutkimuksen tutkimuskysymykseen. Tutkimuskysymyksenä oli löytää sopiva menetelmä uuden kloraattitehtaan pyörivien laitteiden kunnonvalvontaan, eli miten ja millä prosessipumppujen ja -laitteiden kunnonvalvonta suoritetaan.

Tutkimuksen johtopäätöksenä ehdotetaan toimeksiantajalle ulkopuolista palveluntarjoajaa, joka hoitaa ensi alkuun sekä mittaus- ja analysointitoiminnan että analysoinnin. Heidän

avulla saadaan rakennettua mittausreitit ja tarvittavat -tietokannat. Mittauskierrokset suoritetaan yhdessä Kemiran oman kunnossapitoasentajan kanssa. Näin Kemiran oma kunnossapitoväkikin oppii suorittamaan mittaukset ja mittaus tapahtuu luotettavasti joka kerta samalla tavalla. Tämä tukee myös ulkopuolista palveluntarjoajaa, koska samalla välittyy tieto suoritetuista korjaustoimenpiteistä.

Analysointia varten tarvittava ohjelmisto hankitaan Joutsenon tehtaille, jotta kaikki mittausdata on jatkossakin Kemiran käytettävissä. Analysointipalvelu suoritetaan etänä palveluntarjoajan toimesta. Kunnonvalvonta aloitetaan laitteiden vastaanotto-tarkastuksilla heinäkuussa 2017.

Kun kunnonvalvonta ja mittaustoiminta vakiintuvat ja mittausten suorittaminen onnistuu itsenäisesti, hankitaan Joutsenoon oma mittalaite. Tämän jälkeen mittaukset suoritetaan oman kunnossapitoväen toimesta, mutta analysointipalvelut ostetaan edelleenkin ulkopuoliselta toimittajalta. Kevään 2017 kunnossapitoasentajien kehityskeskusteluissa tuli esille, että mittaajan tehtävään on halukkuutta. Tulevaisuudessa päätettäväksi sitten tulee, suoritetaanko analysointikin omilla resursseilla. Siihen vaikuttavat toiminnasta saadut kokemukset ja tehtävään sopivan henkilön löytäminen ja mahdollinen rekrytointi.

Koska Kemira Chemicalsin Joutsenon tehtailla ei ole aikaisempaa kokemusta mittaavasta kunnonvalvonnasta, on ulkopuolisen toimijan helppo aloittaa toiminta. Ainakin jos verrataan tilanteeseen, jossa toimeksiantajalla on ennakkoluuloja ja omia virheellisiä käsityksiä mittaavasta kunnonvalvonnasta. Toimittajaksi valitaan yritys, jossa on useampi analyysoija ja mittauksissa käytetään yleisesti käytettyjä laitteita ja järjestelmiä. Tällä varmistetaan toiminnan jatkuvuus ja luotettavuus. Palveluntarjoajan toiminta ei saa olla yhden henkilön varassa ja raportit pitää tulla ajallaan, vaikka työkuorma olisikin suuri. Kun käytetään yleisesti käytettyjä mittalaitteita ja analysointiohjelmia, voidaan kertaalleen luotuja järjestelmiä ja toimintamalleja hyödyntää toimittajasta riippumatta.

Tutkimuksen aikana vahvistui ja valikoitui ennako-olettamusten mukainen kunnonvalvontamenetelmä. Sekä teorian että haastateltujen asiantuntijoiden ja tutkijan oman näkemyksen mukaan sopivin kunnonvalvontamenetelmä uuden klooraattitehtaan pyöriville laitteille on värähtelymittaukset ja niiden tukena aisti-, lämpötila- ja

kuunteluhavainnot. Tällä hetkellä värähtelymittaukset ovat siis edelleen tehokkain tapa hoitaa yksinkertaisten suorakäyttöisten laitteiden kunnonvalvontaa.

Värähtelymittaukset tullaan suorittamana kolmen kuukauden välein ja havainnointi käyttökunnossapitokierrosten mukaan. Joutsenon uudella kloraattitehtaalla suoritetaan laitekohtaisia käyttökunnossapidon havainnointitarkistuskiertoja kerran kuukaudessa. Sen lisäksi operaattorit suorittavat jatkuvaa käynninvalvontaa tarkkailemalla prosessiparametreja ja laitteiden kuntoa.

Kaiken perustana kunnonvalvonnassa ja sen mittaustoiminnassa, riippumatta sen suorittajasta, on mittauksissa havaittujen vikaantumisten johtaminen korjaaviin toimenpiteisiin oikea-aikaisesti. Vaikka toimeksiantaja ottaa käyttöön uusia menetelmiä kunnonvalvonnassa, ei vanhoja toimintoja saa hylätä. Mittaava kunnonvalvonta on yksi menetelmä ja aistinvarainen havainnointi toinen yhtä tärkeä. Kenellekään ei saa muodostua mielikuvaa, että *kyllä se mittaus hälyttää jos jotain on pielessä*. Käyttö-kunnossapitokierroksia tulee jatkaa aktiivisesti myös uudella tehtaalla.

Tulevaisuudessa Teollinen Internet, yhdessä tehokkaiden tietoliikenneyhteyksien ja halvempien antureiden kanssa, tulee muuttamaan kunnonvalvontaa. Tulevaisuudessa kunnonvalvonnassa yhdistetään entistä enemmän prosessiparametrien seuranta ja perinteisiä värähtelymittauksia. Digitalisaatio mahdollistaa uusia entistä tehokkaampia analysointimenetelmiä. Näillä parannetaan ennustettavuutta ja saadaan laajempaa tietoa laitteiden toiminnasta ja kunnosta. Uusia tekniikoita ja menetelmiä kehitetään tälläkin hetkellä useiden tutkimuslaitosten sekä laite- ja konevalmistajien toimesta. Vaikka menetelmät kehittyvät, niillä ei koskaan voida täysin korvata peruskunnossapitoa, voitelua, puhtaanapitoa sekä tarkastuksia, joita laitteiden luotettava toiminta vaatii.

Tutkimukselle asetettu tavoite saavutettiin eli onnistuttiin löytämään ratkaisuehdotus asetettuun tutkimuskysymykseen. Tutkimuksen tulokset ovat sovellettavissa vastaaviin prosessiteollisuuden laitoksiin. Tutkimuksen heikkoutena voidaan nähdä se, että tutkimuksen aineisto käsitti lähinnä suomalaisia tutkimuksia ja asiantuntijoiden näkemyksiä. Suurin osa teoria-aineistosta pohjautuu kunnossapidon standardeihin ja Kunnossapitoyhdistys Promaint ry:n käsikirjoihin. Tiedon luotettavuus on nyt heikompi, kuin jos aineisto olisi kerätty laajemmalta pohjalta.

Mikäli olisi ollut enemmän aikaa käytettävissä, olisi ollut mielenkiintoista selvittää miten muissa maissa mittaava kunnonvalvonta hoidetaan ja onko joku toinen maa edelle kehityksessä ja miten. Lisäksi olisi ollut hyödyllistä selvittää, kuinka yleistä kunnonvalvonnan palvelupakettien ostaminen on Suomen rajojen ulkopuolella.

Tulevaisuuden jatkokehittämiskohteiksi voidaan mainita neljä asiaa. Ensimmäisenä ja tärkeimpänä asiana on tutkia Joutsenon vanhan kloraatitehtaan ja lipeätehtaan liittämistä osaksi mittaavaa kunnonvalvontaa. Tämä tulee ajankohtaiseksi, kun kunnonvalvonnan mittaustoiminta on vakiintunut uudella kloraatitehtaalla, on ostettu oma mittalaite ja mittaukset suoritetaan oman kunnossapitoväen toimesta. Tähän liittyvä toinen kehitysajatus on jatkossa vuosittain arvioitava kunnonvalvonnan taloudellisuus ja hyöty-panossuhde PSK 5701 standardin mukaan.

Kolmantena ideana olisi kiinnostavaa tutkia tarkemmin Joutsenon nykyisen prosessiohjaus- eli automaatiojärjestelmän ja kunnonvalvonnan analysointiohjelmiston synergiaetuja ja rajapintoja. Miten tietoa yhdistämällä saadaan kehitettyä ennustettavuutta ja luotua uutta tietoa päätöksenteon tueksi. Tähän liittyviä asioita tulevaisuudessa tulee olemaan kehittynyt data-analytiikka ja datan visualisointi. Neljänneksi tulisi selvittää digitalisaation ja halventuneiden anturitekniikoiden mahdollistama mittaavan kunnonvalvonnan laajentaminen. Mitä kaikkea voidaan tulevaisuudessa mitata, mikä nyt ei ole vielä mittaustoiminnan piirissä.

Kaiken kaikkiaan kunnonvalvonta ja siihen liittyvä mittaustoiminta ja datan analysointi ovat kehittyvä ala ja on etuoikeus olla siinä mukana. Mitä aktiivisemmin verkostoituu alan keskeisten toimijoiden kanssa, kyseenalaistaa olemassa olevia toimintamalleja, seuraa panos-hyötysuhteita ja aktiivisesti kehittää toimintaa yhteistyössä oman organisaation kanssa, sen varmemmalla pohjalla on laitteiden käyttövarmuus ja koko tehtaan turvallisuus.

Lähteet

Campbell J., Jardine A., McGlynn J. 2011. Asset Management - Excellence Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions. Boca Raton: CRC Press

CMT. 2017. Värähtelymittauspalvelut. CMT Solutions Oy. Viitattu 15.4.2017.

<http://www.cmtsolutions.fi/vibration.htm>

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2008. Tutki ja kirjoita. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy

Järvinen P. & Järvinen A. 2011. Tutkimustyön metodeista. Tampere: Opinpalkan kirja

Järviö, J. & Lehtiö, T. 2012. Kunnossapito, tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 5. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media.

Järviö J. 2004. Kunnossapito. Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 10. 2. täydennetty painos. Rajamäki: KP-Media Oy

Kananen J. 2013. Case-tutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu

Kemira. 2017a. Kemira – Where water meets chemistry. Kotisivu>konserni. Viitattu 15.4. <http://www.kemira.com/fi/konserni/strategia/sivut/default.aspx>

Kemira. 2017b. Liiketoiminta. Kotisivu>Konserni>Organisaatio. Viitattu 15.4.

<http://www.kemira.com/fi/konserni/liiketoiminta/sivut/default.aspx>

Kärri, T., Marttonen-Arola, S., Ali-Marttila, M., Pekkarinen, O., Pekkola, S., Rantala, T., Saunila, M., Sinkkonen, T., Ukko, J., Ylä-Kujala, A. 2015. Verkostomainen kunnossapito – kolmiodraama vai teollisuuden Dream Team? Helsinki: KP-Media Oy

Laine H. 2010. Tehokas kunnossapito, tuottavuutta käynnissäpidossa. 1. painos. Helsinki: KP-Media Oy

Levitt J. 1997. Handbook of Maintenance Management. New York: Industrial Press

Levitt J. 2003. Complete Guide to Preventive and Predictive Maintenance. New York: Industrial Press

Mikkonen H., Miettinen J., Leinonen P., Jantunen E., Kokko V., Riutta E., Sulo P., Komonen K., Lumme V., Kautto J., Heinonen K., Lakka S. & Mäkeläinen R. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito, käsikirja. 1. painos. Helsinki: KP-Media Oy

Martinsuo M. & Kärri, T. 2017. Teollinen internet uudistaa palveluliiketoimintaa ja kunnossapitoa. Helsinki: Kunnossapitoyhdistys Promaint ry

Mäki K. 2016. Promaint-lehti, kunnossapidon erikoislehti 24.5.2016. Viitattu 15.4.2017. <http://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Alykas-kunnossapito>

Nohynek, P., Lumme, V E. 2007. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. 2. painos. Rajamäki: KP-Media

Nohynek, P. 2017. LinkedIn Experience. Viitattu 30.4.2017. <https://www.linkedin.com/in/petri-nohynek-08805739/?ppe=1>

Ojasalo, K., Moilanen, T. & Ritalahti J. 2015. Kehittämistyön menetelmät. Uudenlaista osaamista liiketoimintaan. Helsinki: Sanoma Pro

Osarenren, J. 2015. Integrated Reliability Condition Monitoring and Maintenance of Equipment. Boca Raton: CRC Press

PSK 5701. 2015. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Käsitteet ja määritelmät. Käytettävät suureet ja mittayksiköt. 7. painos. Viitattu 14.4.2017. http://www.psk-standardisointi.fi/Standard/Suojattu_hakemisto.htm#Ryhmä57

PSK 5704. 2013. Kunnonvalvonta. Värähtelymittaus. Vastaanottotarkastus ja tärinärasitusrajat. 7. painos. Viitattu 14.4.2017. http://www.psk-standardisointi.fi/Standard/Suojattu_hakemisto.htm#Ryhmä57

PSK 5705. 2006. Kunnonvalvonta. Värähtelymittaus. Mittaustoiminnan suunnittelu. 5. painos. Viitattu 14.4.2017. http://www.psk-standardisointi.fi/Standard/Suojattu_hakemisto.htm#Ryhmä57

PSK 5709. 2004. Kunnonvalvonta. Toiminnan tehokkuuden seuranta ja ohjaus. Tunnusluvut. 3. painos. Viitattu 14.4.2017. http://www.psk-standardisointi.fi/Standard/Suojattu_hakemisto.htm#Ryhmä57

PSK 6201. 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 3. painos. Viitattu 2.4.2017. http://www.psk-standardisointi.fi/Standard/Suojattu_hakemisto.htm#Ryhmä62

PSK Standardisointi. PSK lyhyesti. Viitattu 25.3.2017. http://www.psk-standardisointi.fi/Alasivut/PSK_lyhyesti.htm

SFS. 2007. Standardi SFS-EN 15341. Kunnossapito. kunnossapidon avainluvut. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SFS. 2010. Standardi SFS-EN 13306. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SKF. 2014. Värähtelyanalysoijien päteväntä - Taso 1. Koulutusmateriaalia koulutuksesta 20. - 22.5.2014. Espoo.

SKF. 2015. Suunnitellisuus teollisuuden kunnossapidossa. Koulutusmateriaalia koulutuksesta 25. - 26.3.2015. Espoo.

SKF. 2017. SKF kunnonvalvonta ja käyttövarmuuspalvelut. esittelymateriaali. Saatu 15.2.2017.

Sulzer. 2017. Sulzer Pumps Finland Oy. Kemira Chemicals - kunnonvalvonta. Esittelymateriaali.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2017. Standardisoimisliiton tehtävät. Viitattu 25.3.2017. http://www.sfs.fi/sfs_ry/sfs_n_tehtavat

Taipale J. 2016. Kolmas vallankumous - Teollinen Internet. Kenttäväylä 24.5.2016. Viitattu: 15.3.2017. <http://www.kenttavayla.fi/2016/05/24/kolmas-vallankumous-teollinen-internet/>

Valmet. 2017. Valmetin Maintenance Pad esittelymateriaali.

Viita M. & Ahonen T. 2016. Pumppukäyttöjen optimointi teollisen internetin avulla. Promaint-lehti, kunnossapidon erikoislehti 12.10.2016. Viitattu 1.3.2017:
<http://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Pumppukayttojen-optimointi-teollisen-internetin-avulla>

VTT. 2014. VTT Technical Research Centre of Finland. Comprehensive solution for condition monitoring. 18.11.2014. Viitattu: 15.4.2017.
http://www.vtt.fi/files/sites/eemeli18/03_Anu_Karkkainen_Condition_monitoring.pdf

Liitteet

Liite 1. Värähtelyvalvonnan tarpeen määrittely, osa 1

Kohde	Tekijä Factor	Painoarvo Weight	Kerroin Multiplier	Valintakriteeri Selection criteria
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit Safety risks	20	0	Ei turvallisuusriskiä No safety risk
			4	Vähäinen turvallisuusriski Minor safety risk
			8	Merkittävä turvallisuusriski Major safety risk
	Ympäristöriskit Environmental risks	20	0	Ei ympäristöriskiä No environmental risk
			4	Vähäinen ympäristöriski Minor environmental risk
			8	Merkittävä ympäristöriski Major environmental risk
Tuotannonmenetyksen kustannusvaikutukset	Kriittisyys Criticality	20	0	Laitteen toimimattomuus ei merkitystä tehtaan tai osaston tuotannolle. Machine failure does not affect the production of the plant or department.
			2	Laitteen toimimattomuus voi johtaa tuotannon häiriintymiseen, laatukustannuksiin tai seisokkiin. Machine failure may lead to disturbances in production, quality costs or shut-down.
			4	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa tuotannonmenetystä. Machine failure causes loss of production.
			8	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa tuotantolaitoksen tai -linjan täydellisen pysähtymisen. Machine failure causes the total stop of the production plant or section.
	Laatu Quality	10	0	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta laatukustannuksia. Machine failure does not cause quality costs.
			2	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa laatukustannuksia. Machine failure causes quality costs.
			4	Laitteen puutteellinen toiminta aiheuttaa laatukustannuksia. Abnormal operation of a machine causes quality costs.

Liite 2. Värähtelyvalvonnan tarpeen määrittely, osa 2

Kohde	Tekijä Factor	Painoarvo Weight	Kerroin Multiplier	Valintakriteeri Selection criteria
Kunnossapidon kustannusvaikutukset Maintenance cost effects	Häiriöherkkyyden Sensitivity to failures	5	1	Varmakäyntinen High reliability
			2	Vähäisiä häiriöitä Minor disturbances
			4	Häiriöherkkä Sensitive to disturbances
	Kunnossapitotyön kustannukset Maintenance work costs	5	1	Vähäiset Minor
			2	Kohtuulliset Moderate
			4	Korkeat High
	Kunnossapidon materiaalikustannukset Maintenance material costs	5	1	Vähäiset Minor
			2	Kohtuulliset Moderate
			4	Korkeat High
	Jälleenhankinta-arvo Replacement value	5	1	Vähäinen Low
			2	Kohtuullinen Moderate
			4	Korkea High
	Elinkaarikustannus Life-cycle costs	5	1	Vähäinen Low
			2	Kohtuullinen Moderate
			4	Korkea High
Kunnonvalvontakustannukset Condition monitoring costs	5	1	Vähäiset Low	
		2	Kohtuulliset Moderate	
		4	Korkea High	

**Uuden kloraattitehtaan kunnonvalvontamenetelmän valinta:
Case Kemira Chemicals Joutseno**

PERUSTIEDOT VASTAAJASTA

1. Vastaajan nimi, yritys, työtehtävä ja työkokemus

Etunimi _____

Sukunimi _____

Yritys _____

Työtehtävä yrityksessä _____

Työkokemus (vuosina) kunnonvalvonnan
ja ennakkohuollon tehtävissä _____**2. Vastaajan koulutustausta**

- Peruskoulu
 Ammatillinen perustutkinto
 Lukio
 Alempi korkeakoulututkinto
 Ylempi korkeakoulututkinto
 Lisensiaattitutkinto
 Tohtoritutkinto
 Muu

3. Jos muu, niin mikä?

KUNNONVALVONTA

4. Mitä hyötyä on mittaavasta kunnonvalvonnasta?

5. Mainitse kolme tärkeintä asiaa aloitettaessa kunnonvalvontaa?

Mitä tulee huomioida kunnonvalvontamittausten suunnittelussa?

6. Mikä menetelmä ja analysointitapa soveltuvat parhaiten suorakäyttöpumppujen kunnonvalvontaan?

7. Mitkä ovat mittaavan kunnonvalvonnan haasteet?

8. Mitkä ovat oman mittaus toiminnan hyödyt ja haitat?

Mainitse vähintään kolme asiaa.

9. Mitkä ovat ulkopuolisen mittauspalvelun hyödyt ja haitat?

Mainitse vähintään kolme asiaa.

10. Mitkä ovat tärkeimmät vaatimukset mittauspalveluiden toimittajalle?

11. Miten arvioidaan kunnonvalvonnan toiminnan laatua? Entä tehokkuutta?

MITTALAITE JA MITTAAMINEN

12. Minkälainen mittalaite soveltuu parhaiten koneiden yleistärinän

ja vierintälaakereiden kunnonvalvontaan?

13. Mitä mittalaitteen ominaisuuksia pidät tärkeinä?

14. Mikä on paras tapa mitata suorakäyttöpumppuja?

15. Mikä on hyvä mittausaikaväli suorakäyttöpumpuille?

16. Kannattaako tehdä värähtelymittaukset vastaanottotarkastusten yhteydessä (PSK 5704)? Perustele ystävällisesti, että miksi.

MITTAAJA

17. Mikä on mittaajan vaikutus mittaus- tai analysointitulokseen?

18. Millainen on hyvä mittaaja tai analysoija (jotta saadaan luotettavia tuloksia)?

ANALYSOINTI JA RAPORTOINTI

19. Miten vianmääritysprosessin tulee edetä?

20. Voiko arvioida mahdollista vauriota näkemättä kohdetta (etävalvonta)?

21. Miten määritetään laitteen turvallinen käyttöikä, onko sitä mahdollista tehdä?

22. Kuinka tärkeää on tuntea koneen rakenne ja mahdollinen vaurioitumisprosessi?

23. Miten mittaustulosten käsittely ja dokumentointi tulisi hoitaa?
