

Värähtelymittauksen hyödyntäminen ennakoivassa kunnossapidossa

Opinnäytetyö

Alexi Jousmäki

Opinnäytetyö

Toukokuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikka

Kunnossapito

Tekijä(t) Jousmäki, Aleksi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2017
	Sivumäärä 68	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Värähtelymittauksen hyödyntäminen ennakoivassa kunnossapidossa		
Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn ohjaaja(t) Harri Tuukkanen, Jorma Matilainen		
Toimeksiantaja(t) Valio Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Valio Oy Jyväskylän meijeri ja työn tavoitteena oli laatia sisältö kunnossapitoasentajan suorittamalle ennakkohuoltotyölle. Tarkoituksena oli, että värähtelymittauksen tuloksia voitaisiin hyödyntää tulevaisuudessa ennakoivan kunnossapidon suunnittelussa ja laitteiden vikojen diagnosoinnissa. Ennakkohuoltotyön sisältöön kuului mitattavien laitteiden valinta ja rajaaminen, mittaustavan valinta sekä mittauskierroksen ja mittausvälin määrittäminen.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin case-tutkimuksena, jossa yhdistyivät laadulliset sekä määrälliset tutkimusmenetelmät. Meijerin laitekannasta valittiin tuotannolle tärkeät laitteet ja niille tehtiin kriittisyysluokittelu, joka määrittä laitteiden kriittisyysjärjestyksen. Kriittisyysjärjestyksellä voidaan jatkossa perustella tarve jatkuvalla kunnonvalvonnalle. Laitteista valittiin värähtelymittaukseen sellaiset, joille se oli taloudellisesti kannattavaa sekä teknisesti mahdollista toteuttaa.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena laadittiin mittauslomake, johon käsimittalaitteella mitatut tulokset kirjataan. Lisäksi laadittiin käyttöohjeet mittauksissa käytettävälle Octavis VES003-värähtelymittausohjelmalle sekä Adash Vibrio 4900 III-käsimittalaitteelle. Värähtelyarvojen hälytysrajoista tehtiin taulukko, joka pohjautuu alalla käytettyihin standardeihin. Säännöllisesti tehtävälle mittauskierrokselle määritettiin aikaväli sekä mitattavat laitteet.</p> <p>Opinnäytetyössä laadituilla dokumenteilla sekä ohjeilla pystytään jatkossa suorittamaan määrääjain värähtelymittauksia ja hyödyntämään niistä saatavia tuloksia laitteiden kunnossapidon suunnittelussa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Ennakoiva kunnossapito, kunnonvalvonta, värähtelymittaus, kriittisyysanalyysi		
Muut tiedot Liitetiedostot 14 sivua		

Author(s) Jousmäki, Aleksi	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 68	Permission for web publication: x
Title of publication Exploiting vibration measurement in predictive maintenance		
Degree programme Degree Programme in Mechanical and Production Engineering		
Supervisor(s) Tuukkanen, Harri. Matilainen, Jorma		
Assigned by Valio Ltd		
Abstract <p>The assignor of the bachelor's thesis was Valio Ltd, a Finnish dairy company that has one of its production plants in Jyväskylä. The aim of the thesis was to create the content for preventive maintenance work done by a mechanic. The purpose was to be able to use the vibration measurement data in planning the maintenance and diagnosing faults in the machines in the future. The maintenance work included selecting and defining the machines to be measured, selecting the measurement method and determining the measurement cycle.</p> <p>The bachelor's thesis was a case study which included both qualitative and quantitative study methods. The important machines were selected using critical analysis. The results of the analysis could be used as a basis for continuous condition monitoring. It was decided to use vibration measurement in a machine where it was cost-effective and technically possible.</p> <p>As a result of thesis, a measurement form and instruction documents were made to help the mechanic in performing the maintenance work. Instructions were made for Octavis VES003-vibration measurement program and for Adash Vibrio 4900 III-hand measurement device. A table of vibration limits was created based on the general standards in the industry. The cycle of measurements was also determined.</p> <p>These documents and instructions can be used to perform regular vibration measurements. The measurement results could be useful in planning the maintenance of machines.</p>		
Keywords/tags (subjects) Predictive maintenance, condition monitoring, vibration measurement, critical analysis		
Miscellaneous Documents as annexes, 14 pages		

Sisältö

1	Johdanto	4
2	Valio Oy.....	5
2.1	Jyväskylän meijeri.....	6
2.2	Tuotantoprosessi.....	8
2.3	Kunnossapito Jyväskylän meijerillä	9
3	Värähtely.....	9
3.1	Mekaaninen värähtely.....	10
3.2	Värähtelyn aiheuttajat	12
3.3	Mitattavat suureet	13
3.4	Mittausanturit	15
4	Kunnossapito.....	16
4.1	Kunnossapidon määritelmiä.....	16
4.2	Kunnossapitolajit	18
4.3	Ennakoiva kunnossapito.....	19
4.4	Kunnonvalvonta	20
5	Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset	21
5.1	Mitattavien kohteiden valinta.....	22
5.2	Mittauspisteen valinta.....	23
5.3	Mittausvälit.....	24
5.4	Mittaussignaalin käsittely.....	24
5.5	Vianmääritys.....	26
6	Opinnäytetyön toteutus	26
6.1	Opinnäytetyön tutkimusstrategia	27
6.2	Työn tarkoitus ja tavoite.....	27
6.3	Laitteiden kriittisyysluokittelu	28
6.4	Octavis VES003-värähtelymittausohjelma	29
6.5	Kiinteiden antureiden asennus	32

	2
6.6	Käsimittalaitteen käyttö 34
6.7	Ennakkohuoltotyön sisällön laatiminen 36
6.7.1	Mittausreitti sekä mitattavat laitteet 36
6.7.2	Rajat värähtelyarvoille 38
7	Tulokset 41
7.1	Tulosten hyödyntäminen 41
7.2	Lomake mittaustuloksille 42
7.3	Ohjeet Adash Vibrio 4900 III-käsimittalaitteelle 43
7.4	Ohjeet Octavis VES003-ohjelmalle 44
7.5	Tulosten luotettavuus 45
8	Johtopäätökset 46
9	Pohdinta 49
	Lähteet 51
	Liitteet 54

Kuviot

Kuvio 1.	Valio Jyväskylän tehdasalue (Partti 2015). 7
Kuvio 2.	Valion tuotantolaitokset sekä Jyväskylän jakelualue (Partti 2015). 7
Kuvio 3.	Yhteen suuntaan värähtelevä rakenne (Karonen 2005). 11
Kuvio 4.	Kappaleen kuusi vapausastetta (van Lieshout 2009). 11
Kuvio 5.	Värähtelyn voimakkuus (Värähtelymittauksen perusteet 2014). 14
Kuvio 6.	Aaltomuoto (Harju n.d.) 15
Kuvio 7.	Kunnossapitolajit 18
Kuvio 8.	Koneen vikaantumisen kehitys (Värähtelymittauksen perusteet 2014). 21
Kuvio 9.	Mittauspisteen sijainti (PSK 5702:2007, 2). 23
Kuvio 10.	Aikatasosignaalin Fourier-muunnos (Fourier Transform 2017). 25
Kuvio 11.	Octavis VES003-asetusvalikko 30
Kuvio 12.	Octavis VES003-ohjelman Damage level-näkymä 31
Kuvio 13.	Octavis VES003-ohjelman mittaustulosnäkyä. 32
Kuvio 14.	Kiinteä mittaustanturi asennettuna. 33

Kuvio 15. JK2 sähkömoottorin anturien asennuspaikat.....	34
Kuvio 16. Adash Vibrio 4900 III-käsittälaitte.	35
Kuvio 17. Ohjevalokuva laitteen mittauspisteistä.....	38
Kuvio 18. Viivadiagrammi kuvitteellisista mittaustuloksista.....	43

Taulukot

Taulukko 1. Mittausreittiin kuuluvat laitteet.	37
Taulukko 2. Värähtelyn raja-arvot luokan 1 laitteille.....	40
Taulukko 3. Värähtelyn raja-arvot luokan 2 laitteille.....	40
Taulukko 4. Pumppujen kokonaisvärähtelyn raja-arvot.	41
Taulukko 5. Siirtymän raja-arvot pumpuille.....	41

Liitteet

Liite 1. Kriittisyysluokittelun kriteerit.....	54
Liite 2. Kriittisyysluokittelun tulokset.....	55
Liite 3. Laitteiden kriittisyysjärjestys	56
Liite 4. Värähtelymittauslomake kuvitteellisilla tuloksilla.....	57
Liite 5. Adash Vibrio 4900 III-mittalaitteen käyttöohjeet.	58
Liite 6. Käyttöohjeet mittaustulosten tarkkailuun Octavis VES003-ohjelmalla.....	59

1 Johdanto

Värähtelymittausta on hyödynnetty teollisuudessa jo pitkään laitteiden kunnan määrittämisessä. Se on yksi tehokkaimmista kunnanvalvonnan menetelmistä, joilla pystytään vaikuttamaan koneiden käyttöasteeseen sekä toiminnan kannattavuuteen. Nykypäivänä kunnanvalvonta on tietokoneavusteisten menetelmien avulla kannattavaa, sillä tietokoneet mahdollistavat suurten tietomäärien hallinnan ja analysoinnin. (Johdanto kunnanvalvontaan n.d.)

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Valio Oy Jyväskylän meijeri, jossa värähtelymittausta on aiemmin hyödynnetty melko vähän. Värähtelymittausten suorittamiselle ei ollut aiemmin määriteltynä aikaväliä eikä yhdenmukaista tapaa mittaustulosten dokumentointiin. Meijerin laitteille oli aiemmin tehty kuntokartoituksia värähtelymittausten avulla, mutta säännölliset mittauskierrokset olivat puuttuneet kunnossapidon tehtävistä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa sisältö kunnossapitoasentajan suorittamalle ennakkohuoltotyölle, jossa ennalta määritettyjen laitteiden värähtelyarvot mitataan ja dokumentoidaan. Värähtelyarvoja analysoimalla voidaan määrittää laitteen kunto, huomata alkava vikaantuminen ja mahdollisesti estää vaurioiden syntyminen (Johdanto kunnanvalvontaan n.d.). Ennakkohuoltotyön sisältö pyrittiin laatimaan siten, että työn suorittajalle on selvää mitä tehdään, mille, miksi ja kuinka usein.

Opinnäytetyölle asetettiin seuraavat tutkimuskysymykset: miten säännöllisiä värähtelymittauksia tulisi suorittaa ja miten niiden tuloksia voitaisiin hyödyntää kunnossapidon suunnittelussa. Opinnäytetyössä pyrittiin myös selvittämään mikä aiheuttaa laitteille mekaanista värähtelyä ja miten sitä voidaan mitata. Mittauksesta saataville tuloksille pyrittiin muodostamaan luotettaviin lähteisiin perustuen raja-arvot, joiden avulla pystyttäisiin määrittämään laitteen kunto.

Opinnäytetyö toteutettiin case-tutkimuksena, jossa yhdistyivät laadulliset sekä määrälliset tutkimusmenetelmät. Case-tutkimukseen kuuluu, että se tehdään tämänhet-

kiseen tapahtumaan ja siinä yhdistetään monia aineistokeruumenetelmiä. Tutkimuskohteita on yleensä yksi ja tutkimus kohdistuu tutkittavan kohteen luonnolliseen ympäristöön. (Kananen 2013, 54.) Opinnäytetyössä perehdyttiin vain Jyväskylän meijerillä käytössä oleviin laitteisiin sekä mittausmenetelmiin. Aineistoa kerättiin teoksista ja artikkeleista sekä alan standardeista. Lisäksi suoritettiin haastatteluja meijerin kunnossapitohenkilöstön kanssa.

Meijerin laitekantaa rajattiin aluksi PSK 6800-standardiin pohjautuvalla kriittisyysanalyysillä ja laitteista valittiin mittauskohteiksi sellaiset, joille mittaus on taloudellisesti kannattavaa ja teknisesti mahdollista suorittaa. Kriittisyysanalyysiä tehdessä suoritettiin useita henkilöhaastatteluja, joiden perusteella analyysissä annettavat pisteet määritettiin. Mittaustyön suorittamisen tueksi laadittiin Excel-pohjaisia taulukoita ja lomakkeita sekä Word- ja PowerPoint-pohjaisia ohjeita.

2 Valio Oy

Valio Oy on Suomen suurin raakamaidon vastaanottaja sekä maitotuotteiden jalostaja. Yritys on perustettu vuonna 1905. Vuonna 2015 Valio vastaanotti hieman alle 80 % kaikesta Suomessa tuotetusta maidosta. Valio on merkittävä tekijä Suomen taloudelle sillä yritys työllistää tuotantolaitosten, tuotantotilojen sekä logistiikan kautta 25 000 – 30 000 ihmistä. Vuonna 2015 Valion liikevaihto oli 1 718 miljoonaa euroa, joista investointien osuus oli 119 miljoonaa euroa. Samana vuonna Valio vastaanotti tuotantotiloiltaan maitoa 1 899 miljoonaa litraa. (Taloudellinen vastuu 2015).

Yritysrakenteeltaan Valio on osuuskuntamuotoinen. Valion maidontuottajat ympäri Suomea kuuluvat oman alueensa osuuskuntaan, joita on yhteensä 17. Osuuskunnista kahdeksan, joihin kuuluu noin 6 400 maitotilayrittäjää, toimittaa kaiken maitonsa Valiolle. Nämä osuuskunnat yhdessä omistavat Valion. (Valion johto ja organisaatio 2017.)

Valiolla on suurin osuus Suomen elintarvikeviennistä ja se vie tuotteitaan noin 60:neen eri maahan. Vuonna 2015 Valion osuus koko maan vientimaitotuotteista oli 97 % sekä kaikkien elintarvikkeiden viennistä 29 %. (Taloudellinen vastuu 2015). Suomessa toimivia tuotantolaitoksia on tällä hetkellä 12. Tuotantolaitokset sijaitsevat Haapavedellä, Helsingissä, Joensuussa, Jyväskylässä, Lapinlahdella, Oulussa, Riihimäellä, Seinäjoella, Suonenjoella, Turengissa, Vantaalla sekä Äänekoskella. Pääkonttori sijaitsee Helsingin Pitäjänmäellä. Kansainväliseen toimintaan keskittyvät ulkomaiset yhtiöt sijaitsevat Venäjällä, Ruotsissa, Virossa, Latviassa, Liettuassa, Yhdysvalloissa sekä Kiinassa. (Valion Yhteystiedot 2017).

Valion tuotevalikoima on erittäin laaja. Tuotteita ovat päivittäistavaratuotteet kuten maidot, piimät, rahkat, juustot, piimät, voi, rasvat ja jogurtit. Muita päivittäistavara-kaupasta saatavia tuotteita ovat esimerkiksi mehut, marjakeitot, lastenruoat, vanukkaat ja jauheet. Tuotteita toimitetaan myös paljon suurtalouskeittiöihin.

Valion toiminnan tavoitteena on maksimoida kotimaassa tuotetun maidon arvo ja maksaa siitä maidontuottajille Euroopan korkeinta tilityshintaa (Taloudellinen vastuu 2015). Tuotteiden kilpailuetuna on puhtaan ja kotimaisen raaka-aineen käyttö. Tuotteissa käytetään Suomessa lypsettyä maitoa eikä tuotantotiloilla käytetä geenimuunneltua ravintoa lehmille (Näin toimimme 2017).

2.1 Jyväskylän meijeri

Jyväskylän Seppälänkankaalla sijaitseva meijeri valmistui vuonna 1980. Työntekijöitä meijerissä on hieman alle 300 henkilöä. Tehdasalueella A-rakennuksessa toimii nykyään juuston kypsyttämö sekä varasto. B-rakennuksessa sijaitsee maidon vastaanotto, tuotantotilat sekä tuotteiden jakeluväestö. C-rakennuksessa on tilat maitoautojen säiliölaitteiden huoltamiselle. D-rakennuksessa sijaitsee tehtaan tekninen keskus. Jyväskylän meijerin tehdasalue näkyy kuviossa 1.



Kuvio 1. Valio Jyväskylän tehdasalue (Partti 2015).

Jyväskylän tuotevarasto on yksi Valion jakelukeskuksista, joista tuotteet toimitetaan asiakkaille. Jakeluun kuuluvat oman meijerin tuotteet, mutta myös muilta tuotantolaitoksilta toimitetut tuotteet. Jakelualue ulottuu Suomen keskialueella Vaasasta Joensuuhun. Kuviossa 2 näkyy Valion tuotantolaitokset Suomessa sekä rajattuna alueena Valio Jyväskylän jakelualue.



Kuvio 2. Valion tuotantolaitokset sekä Jyväskylän jakelualue (Partti 2015).

Meijerillä valmistetaan ja jalostetaan maitoa, piimää ja kermaa. Raakamaitoa jalostettiin 148 miljoonaa litraa vuonna 2015. Meijerin päätuotteita ovat erikoismaidot, eli laktoosittomat tai muuten jatkojalostetut maidot. Tuotemerkkejä ovat muun muassa Valio Eila® maitojuomat, Valio Kiehu™ maitojuoma, Valio Plus™ maitojuoma sekä Valio Profeel® voimamaitojuoma. (Jyväskylän meijerissä tehdään erikoismaitoja koko Suomeen 2015.)

2.2 Tuotantoprosessi

Jyväskylän meijerin laitekanta on hyvin pitkälti samankaltaista kuin muussakin prosessituotannossa. Suuri osa laitteista on pumppuja, venttiilejä sekä lämmönvaihtimia. Maidonjalostus- sekä suodatuslaitteisto ovat Jyväskylän meijerin erikoisosaamisen ydin.

Tuotantotiloilla lypsetty maito jäädytetään tilasäiliössä + 4 °C lämpötilaan ja keräilyauto noutaa raakamaidon meijerin vastaanottoon. Raakamaito säilytetään siilossa tässä lämpötilassa sen käsittelyyn asti. Kaikki meijerin vastaanottama raakamaito lämpökäsitellään säilyvyyden sekä puhtauden takaamiseksi. Peruskäsittelyyn kuuluu separointi, homogenisointi sekä pastörinti. Separoinnilla raakamaidosta erotetaan maidon rasva, eli kerma. Separaattori perustuu keskipakovoiman hyödyntämiseen, jolloin pyörimisliike erottaa kerman sekä jäljelle jäävän rasvattoman maidon, eli kurrin. Homogenoinnilla pilkotaan maidon rasvamolekyylit pienemmiksi, jottei rasva nousisi kerrokseksi maidon pintaan. Pastöroinnissa maito kuumennetaan hetkellisesti vähintään + 72 °C lämpötilaan, jonka tarkoituksena on tuhota maidon haitalliset bakteerit. Kaiken tämän peruskäsittelyn jälkeen maito taas viilennetään ja se vakioidaan, eli sen rasvamäärä säädetään halutuksi yhdistämällä kurria ja kermaa. Jyväskylän meijerissä valmistettavien Eila®-tuotteiden valmistukseen käytetään lisäksi aseptista ESL-tekniikkaa (Extended Shelf Life), jossa maito kuumennetaan 125 °C - 135 °C välille alle kahden sekunnin ajaksi, jolloin tuotteen säilyvyys paranee huomattavasti tavalliseen lämpökäsittelyyn verrattuna. (Maidon käsittely meijerissä n.d.)

Maidon käsittelyn ja jalostuksen tukena ovat käyttöhyödykkeet, jotka mahdollistavat tuotannon. Meijerillä tarvittavia käyttöhyödykkeitä ovat esimerkiksi lämpö, höyry, paineilma, lämmin vesi sekä kylmä vesi. Höyryä käytetään tuotantolinjojen sekä laitteiden puhdistamiseen. Pääosa venttiileistä on paineilmakäyttöisiä. Lämmintä sekä kylmää vettä ohjataan lämmönvaihtimiin. Tärkeä käyttöhyödyke on lämpötilaltaan $0\text{ }^{\circ}\text{C} - 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ jäävesi, jota käytetään jäähdyttämiseen prosessin eri vaiheissa. Jäävesi saadaan aikaan meijerin D-rakennuksen kylmäkeskuksessa. Kylmäkeskukseen kuuluvat ammoniakkipressorit, jolla ammoniakki paineistetaan kaasuksi ja ohjataan jäävesisiiloon viilentämään vettä.

2.3 Kunnossapito Jyväskylän meijerillä

Meijerillä on tuotantoa kolmessa vuorossa vuoden jokaisena päivänä. Tuotannon tukena toimii Valion oma kunnossapito-osasto, joka huolehtii ennakkohuolloista, korjaustöistä sekä häiriöiden poistoista. Kunnossapitoon kuuluu noin 30 henkilöä. Heistä osa työskentelee tuotevaraston automaatiolaitteiden kunnossapidossa, kiinteistön kunnossapidossa, autohuollossa sekä loput tuotannon mukaan osastoittain pakkaussalissa ja prosessisalissa. Suurin osa kunnossapitäjistä työskentelee aamu- tai päivävuoressa, mutta käynnissäpitäjät ovat paikalla aina, kun tehtaalla on tuotantoa. Valion henkilöstö suorittaa suuren osan kunnossapitotehtävistä, mutta esimerkiksi ennakkohuolloissa on mukana ulkoistettua työvoimaa.

3 Värähtely

Värähtelyä esiintyy luonnossa kaikkialla. Ihmisen kuuloaisti ja puheen tuottaminen perustuvat kehonosien värähtelyyn. Värähtelyä syntyy, kun kappaleeseen vaikuttava voima horjuttaa sen tasapainopistettä. Fysikaalinen selitys värähtelylle on kineettisen-, eli liike-energian ja potentiaali-, eli varastoituneen energian vuorovaikutuksessa. Ulkoinen voima, eli heräte, varastoituu ensin potentiaalienergiana kappaleen massaansa ja vapauttaa sen sitten kineettisenä energiana, josta syntyy värähtelyä. Herätevoima saa kappaleen värähtelemään tasapainopisteen molemmin puolin. Kappa-

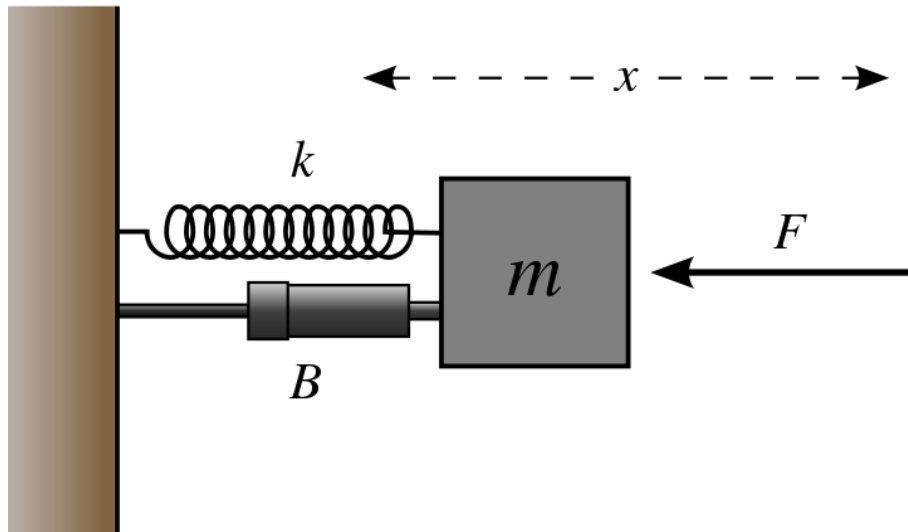
leen rakenne toimii jousen tavoin. Edestakainen liike palauttaa kineettistä energiaa takaisin kappaleen massaansa potentiaalienergiana. Tätä liikettä jatkuu niin kauan, kunnes jokin voima (yleensä kitka tai maan vetovoima) kumoaa värähtelyn aiheuttaneen voiman. (Inman 2009, 1–5.)

3.1 Mekaaninen värähtely

Mekaanisella värähtelyllä tarkoitetaan rakenteisiin, koneisiin ja koneenosiin kohdistuvaa värähtelyä. Näihin kohdistuva värähtely on yleensä haitallista, sillä se lisää rakenteen jännityksiä, lyhentää kohteen käyttöikää, heikentää tuotantolaitteen tuotelaatua sekä aiheuttaa energiahäviöitä ja ympäristölle haitallista melua. Joissain tapauksissa värähtelyä voidaan myös käyttää hyödyksi kuten seuloissa ja kuljettimissa. Mekaanisen värähtelyn aiheuttaja, eli ulkopuolelta tuleva heräte (voima tai siirtymä) voi olla deterministinen (esimerkiksi harmoninen) tai ei-deterministinen (esimerkiksi kohina). (Pennala 1999, 11–12.)

Kaikilla rakenteilla on massa ja jäykkyys, joiden suuruudella ja jakautumisella on merkittävä vaikutus rakenteen dynaamiseen käyttäytymiseen. Värähtelevässä rakenteessa tai kappaleessa on vähintään yksi pistemäiseksi otaksuttu massa, niin sanottu massakeskipiste, ja jousena toimiva elementti. Käytännössä tähän rakenteeseen kuuluu myös vaimennus sekä heräte. (Pennala 1999, 13.)

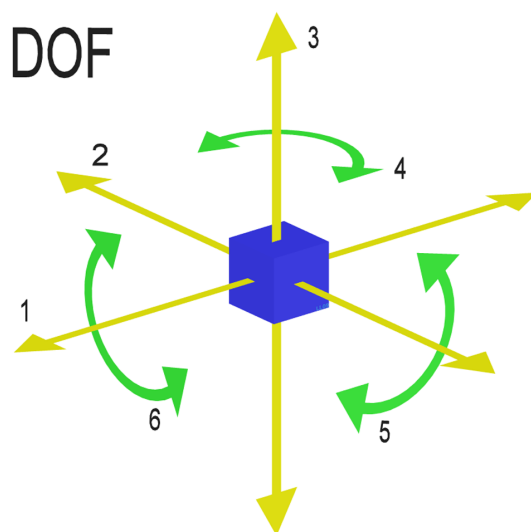
Värähtelevä rakenne on esitetty kuviossa 3. Ulkopuolinen voima F aiheuttaa herätteen kappaleen massaansa m , jolloin kappale liikkuu edestakaisin tasapainopisteensä yli linjan x suuntaisesti. Värähtelyn energia varastoituu joustavaan elementtiin, kuviossa jousi k , josta se vapautuu takaisin kappaleen massaansa. Liike-energiaa kumoaa vaimentava elementti B .



Kuvio 3. Yhteen suuntaan värähtelevä rakenne (Karonen 2005).

Kuviossa näkyvä massa liikkuu vain suunnassa x , jolloin sillä on vain yksi vapausaste, eli liikesuunta. Jos kappaleella on useampia pistemäisiä massoja, niin vapausasteiden määrä kasvaa. (Pennala 1999, 13.)

Tällainen yhteen suuntaan värähtelevä rakenne on todellisuudessa harvinainen, sillä tavanomaisessa rakenteessa on vähintään kuusi vapausastetta. Tavallisesti rakenne värähtelee kolmeen suuntaan, jotka ovat keskenään kohtisuoria (pysty-, vaaka- sekä aksiaalisuunta) ja näiden lisäksi rakenne voi kiertyä kunkin liikkumissuunnan ympäri. (Nohynek & Lumme 1996, 48.) Liikkumissuunnat, eli vapausasteet (DOF = degrees of freedom) on havainnollistettu kuviossa 4.



Kuvio 4. Kappaleen kuusi vapausastetta (van Lieshout 2009).

Yhteen vapausasteeseen vaikuttavat voimat voidaan laskea voimatasapainoyhtälön (Yhtälö 1) avulla:

$$F(t) = F_I(t) + F_D(t) + F_S(t) \quad (1)$$

missä $F(t)$ = ulkoinen heräte, eli kokonaisvoima

$F_I(t)$ = massan (m) hitausvoima

$F_D(t)$ = vaimennusvoima

$F_S(t)$ = jousivoima

Massan hitausvoima voidaan laskea yhtälöllä 2.

$$F_I(t) = ma \quad (2)$$

missä m = massa

a = siirtymän toinen aikaderivaatta eli kiihtyvyys

Vaimennusvoima voidaan laskea yhtälöllä 3.

$$F_D(t) = cv \quad (3)$$

missä c = viskoosivaimennuskerroin

v = siirtymän aikaderivaatta eli nopeus

Jousivoima voidaan laskea yhtälöllä 4.

$$F_S(t) = kx \quad (4)$$

missä k = jousivakio

x = siirtymä

3.2 Värähtelyn aiheuttajat

Kappaleeseen tai rakenteeseen vaikuttava ulkopuolinen voima tai siirtymä, eli *heräte*, saa aikaan värähtelyn. Heräte voi olla harmoninen, jaksollinen tai jaksoton. Jaksollista herätettä aiheuttaa yleisimmin koneiden ja laitteiden epätasapaino, edestakai-

nen liike, hammaspyörä- tai hihnavälitys tai potkurit jne. Jaksollista herätettä voi myös aiheuttaa väliaineen virtaus. Se aiheuttaa kappaleeseen virtausta vastaan kohdistuorassa tasossa vaikuttavan herätevoiman. Esimerkkeinä ovat putkistot ja sylinterin muotoiset savupiiput. (Pennala 1999, 18–19.)

Jaksottomat herätteet eli satunnaisherätteet ovat hyvin monimutkaisia ja niitä on vaikea ennustaa. Satunnaisherätteitä esiintyy luonnossa ja niitä aiheuttavat muun muassa tuuli, aallokko sekä pitkät maanjäristykset. Näiden herätteiden analysointiin käytetään tilastomatematiikan keinoja. Satunnaisherätteet kohdistuvat ajoneuvoihin niiden kulkiessa epätasaisella alustalla, lentokoneisiin turbulenssissa sekä laivoihin aallokossa. (Pennala 1999, 19.)

Impulssiherätteen, eli iskumaisen herätteen, aiheuttaa rakenteeseen törmäävä liike-energia omaava massa. Sama ilmiö tapahtuu, jos rakenne itse törmää esteeseen. Impulssiherätteen voi aiheuttaa myös, jos rakenteen jännityksessä oleva osa, kuten jousi tai tukipalkki, katkeaa. (Pennala 1999, 19.)

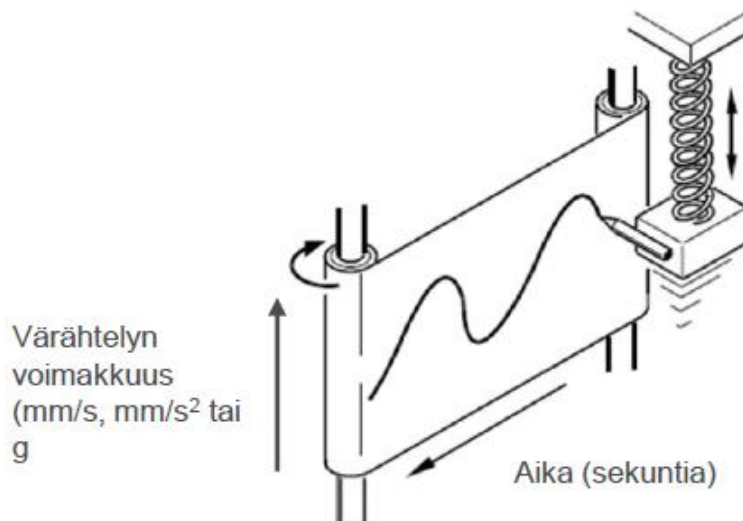
Värähtely syntyy siis dynaamisesta, eli jatkuvasti suuntaansa tai suuruuttaan vaihtavasta voimasta. Staattinen, eli vakiokuormalla vaikuttava voima ei aiheuta kohteeseen värähtelyä. Staattisen kuorman äkillinen poistuminen, kuten lumikuorman putoaminen katolta, saattaa kuitenkin aiheuttaa impulssiherätteen, joka aiheuttaa rakenteeseen värähtelyä. (Nohynek & Lumme 1996, 48.)

3.3 Mitattavat suureet

Värähtelyä voidaan mitata kolmena eri suureena: siirtymänä, nopeutena sekä kiihtyvyytenä. Näitä voidaan derivoida tai integroida, jolloin ne pystytään muuttamaan suureesta toiseen. Siirtymällä voidaan mitata, kuinka suurta liikettä kohde tekee suhteessa vertailupisteeseen. Nopeutta mittaamalla saadaan selville kohteen kulkema siirtymä tietyn ajanjakson aikana. Kiihtyvyydellä taas voidaan ilmaista kohteen nopeuden muutos tietyn ajanhetken kuluessa. (Nohynek & Lumme 1996, 54.)

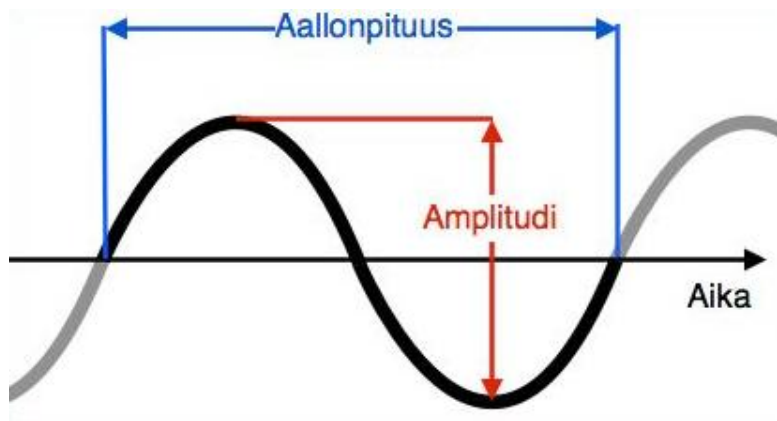
Mittayksikkönä siirtymän mittauksessa käytetään metrin miljoonasosaa, eli mikrometriä (μm), nopeuden mittauksessa millimetriä sekunnissa (mm/s) sekä kiihtyvyyden mittauksessa joko metriä sekunnissa toiseen (m/s^2) tai putoamiskiihtyvyyttä (g) (Nohynek & Lumme 1996, 55–58).

Mittaussuureiden ja ajan välinen yhteys on havainnollistettu kuviossa 5. Kun aika etenee tasaisesti, niin piirretyn viivan korkeuserot kertovat värähtelyn voimakkuuden (mm/s , mm/s^2 tai g). Mittaustuloksena saatavan käyrän tiheyteen vaikuttaa mittauksen ajanjakso, joka ilmaistaan tunnuksella T. Värähtelyn määrää tietyn ajanjakson aikana kutsutaan taajuudeksi ja sen yksikkönä on hertsi (Hz). Hertsiluku kertoo värähdysten määrän sekunnissa ja se on laskettavissa jakamalla värähdysten lukumäärä niihin kuluneella ajalla. (Värähdysliike on säännöllistä liikettä n.d.)



Kuvio 5. Värähtelyn voimakkuus (Värähtelymittauksen perusteet 2014).

Värähtelystä syntyy kuvion 6 mukainen sinimuotoinen aikatasosignaali. Aallonpituus kuvaa yhden edestakaisen värähtelyn ja amplitudi värähtelyn voimakkuuden. Jos värähtely on nopeaa, niin aallonpituus on lyhyt ja jos värähtely on voimakasta, niin amplitudi on korkea.



Kuvio 6. Aaltomuoto (Harju n.d.)

Mitattava suure tulee valita mitattavan laitteen mukaan. Siirtymän mittausta voidaan käyttää hitaasti pyöriville laitteille (alle 300 r/min) tai jos vikojen oletetaan ilmenevän matalilla taajuuksilla (alle 100 Hz). Siirtymää mittaamalla voidaan todeta liukulaakeriviat, hihnnaviat sekä hitaasti pyörivien akseleiden linjausvirheet. Kiihtyvyys voi olla sopivin mittaussuure nopeasti pyöriville laitteille (yli 9000 r/min) tai jos viat ilmenevät korkeilla taajuuksilla (yli 1000 Hz). Kiihtyvyyttä mittaamalla ilmenevät laakeriviat, vaihteiston hammasviat sekä tietyt sähkömoottoriviat. (Nohynek & Lumme 1996, 60.)

3.4 Mittausanturit

Kullekin suurelle on olemassa oma anturinsa, jolla niitä mitataan. Anturin toimintaperiaate ratkaisee, millaista suuretta sillä voidaan mitata. Kiihtyvyyssanturin toiminta perustuu anturin sisällä olevaan pietsosähköiseen kiteeseen, johon on kiinnitetty massa. Anturin ollessa kiinni mitattavassa kohteessa, kohteen värinä saa massan puristamaan pietsosähköistä kidettä, jolloin siihen syntyy anturin kiihtyvyyteen verrannollinen varaus. Varaukset johdetaan anturin sisällä olevaan vahvistimeen, joka muuttaa sen mitattavaksi jännitteeksi. Mittaussignaali voidaan integroida myös nopeudeksi. (Nohynek & Lumme 1996, 54–55.)

Nopeusanturin toiminta perustuu anturin sisällä olevaan päädyistä jousitettuun magneettiseen massaan ja sitä ympäröivään käämiin. Värähtely saa massan liikkumaan edestakaisin jousien varassa. Liike aiheuttaa ympäröivään käämiin nopeuteen

verrannollisen jännitteen, joka saadaan anturilta mittaussignaalina. (Nohynek & Lumme 1996, 56.)

Siirtymäanturin toiminta perustuu anturin päässä olevan kelan muodostamaan magneettikenttään, joka indusoi pyörrevirtoja mitattavan kohteen ferromagneettiseen pintaan. Anturin ja mitattavan kohteen välimatkan muuttuessa pyörrevirtojen muutos vaikuttaa kelan jännitteeseen. Anturilta saatava jännite on mittaussignaali, jonka voimakkuus kertoo anturin ja mitattavan kohteen välisen etäisyyden. (Nohynek & Lumme 1996, 57.)

4 Kunnossapito

Kunnossapidolla pyritään pitämään yrityksen tarvitsemat resurssit toimintakykyisenä. Tuotannon vaatimat resurssit voivat olla esimerkiksi laitteita, järjestelmiä, kiinteistöjä tai maa-alueita. Yrityksestä riippuen resursseja voidaan käyttää fyysisen tuotteen, palvelun tai näiden yhdistelmän tuottamiseen. (Järviö 2012, 13.)

4.1 Kunnossapidon määritelmiä

Kunnossapidon määritelmä on laadittu PSK Standardisointiyhdistys Ry:n toimesta:

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

Määritelmä ottaa hyvin laajasti huomioon kaikki toimet, joilla resurssien toimintakyky ylläpidetään. Kunnossapito ei täten ole pelkästään korjausta. Korjaus kyllä lukeutuu muiden kunnossapitolajien kanssa teknisiin toimenpiteisiin, joihin standardimääritelmässä viitataan. Hallinnollisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi yrityksen toimintastrategian valinta sekä investointisuunnitelmat. Johtamisen toimenpiteet ovat ihmisten ohjausta, eli tyypillisesti esimiesten ja johdon suorittamia tehtäviä. Kunnossapito on siis merkittävä osa yrityksen toimintaa ja sen suorittamiseen on käytössä useita

erilaisia toimintatapoja. Yhtä oikeaa tapaa ei ole olemassa, vaan yrityksen täytyy soveltaa menetelmät sille sopiviksi.

Jotta ymmärrettäisiin mistä tilanteesta on milloinkin kyse, kunnossapitosanastoon on laadittu tarkkoja määritelmiä tietyille käsitteille. Oikeiden käsitteiden käyttäminen yhdenmukaistaa sekä selventää kansainvälistä kommunikointia. Järviön (2012) mukaan eurostandardi SFS-EN 13306:2010 määrittelee seuraavat termit näin:

- Vika

Vika (fault) on tila, jossa kohde (esimerkiksi laite) ei enää kykene suorittamaan siltä vaadittua toimintoa. Viaksi ei kuitenkaan lueta tilannetta, jossa kohde on toimintakyvytön ennakoivan kunnossapitotoimenpiteen tai ulkoisten resurssien puutteen takia. Vika voidaan vielä jakaa kahteen määritelmään, jotka ovat häiriö (disturbance) tai vaurio (damage). Häiriössä kohde ei ole rikki, mutta on silti toimintakyvytön. Korjaustoimenpiteenä on tässä tilanteessa esimerkiksi puhdistus, säätäminen tai uudelleenkäynnistys (reset). Vauriossa kohde on rikki, eli korjaustoimenpiteenä on tyypillisesti komponentin vaihto tai kunnostus. (Mts. 67.)

Kohteen toimintakyvyttömyys ei siis aina johdu viasta, vaan sen voi aiheuttaa esimerkiksi raaka-aineen puute tuotantolaitteella tai suunniteltu tuotannon pysäytys kuten viikonloppu.

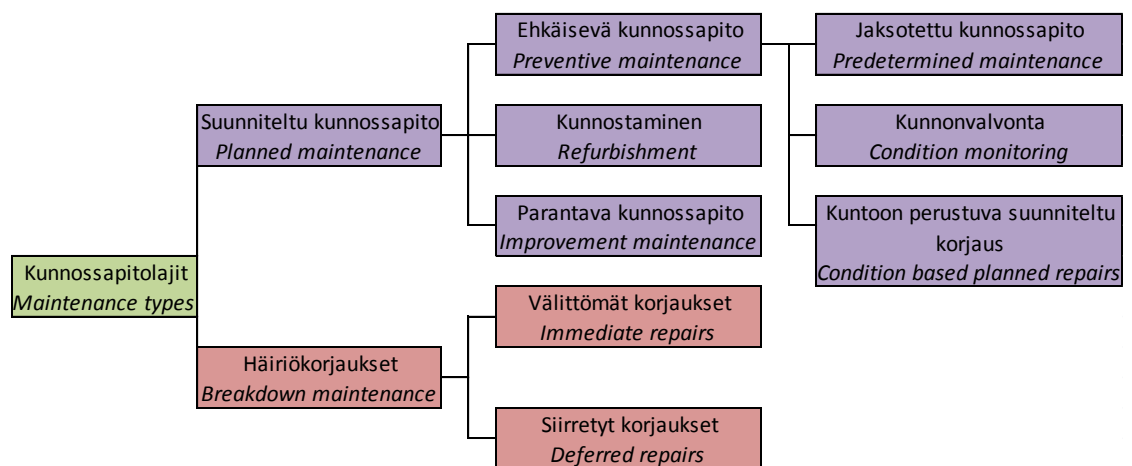
- Vikaantuminen

Vikaantuminen (failure) on tapahtuma, jossa kohteen toimintakyky estyy. Vikaantumisen seurauksena on yllä mainittu vika. Vikaantuminen voidaan luokitella useaan eri kategoriaan. *Kulumisesta johtuva vikaantuminen* on todennäköistä, jos kohteelle kohdistuu rasitusta, suuri käyttömäärä tai pitkä käyttöaika. *Huononeminen* eli ikääntyminen on todennäköistä pitkän kalenteriajan jälkeen. Kohde voi siis olla joko toiminnassa tai varastoituna. *Äkkivikaantuminen* tapahtuu niin, ettei sitä voitu ennakoida tarkastuksista tai valvonnasta huolimatta. *Piilevä vikaantuminen* on vikaantuminen, jota ei ole pystytty huomaamaan normaalin käytön yhteydessä. Tyypillisesti piilevää vikaantumista esiintyy turva- sekä varajärjestelmissä. (Mts. 67, 69.)

Vikaantumisten luokittelu helpottaa vikojen alkuperän selvittämistä. Vian alkuperäisen aiheuttajan eli juurisyyyn tunnistaminen estää vian uusiutumisen sekä auttaa kohteen rakenteellisten tai toiminnallisten parannusten suunnittelussa.

4.2 Kunnossapitolajit

Kunnossapidon tekniset toimenpiteet jaetaan lajeihin kahden pääryhmän mukaan. Kaikki vikaantumista ennen tehdyt ennakoivat toimenpiteet sekä vikaantumisen jälkeen tapahtuvat toimenpiteet. Kunnossapitolajit jaetaan Järviön (2012, 47) mukaan kattavasti eri luokkiin PSK 7501:2010-standardissa (ks. Kuvio 7):



Kuvio 7. Kunnossapitolajit

Jakamisperusteena voidaan ajatella olevan ennen vikaantumista tehtävät toimenpiteet sekä vikaantumisen jälkeen tapahtuvat toimenpiteet. Harvoin voidaan täysin välttyä vikaantumisilta, joten osa kunnossapitotöistä kuuluu häiriökorjauksiin, vaikka tavoitteena olisi ennakoida kaikki tilanteet. Häiriökorjaukset jaetaan kahteen osaan, välittömiin sekä siirrettyihin korjauksiin. Välitön korjaus tehdään silloin, jos kohde estyy toimimasta ja se pysäyttää muunkin tuotannon. Toinen vaihtoehto on korjata jo vikaantunut kohde myöhemmin sellaisena hetkenä, ettei se häiritse tuotantoa, esimerkiksi suunnitellussa tuotannon pysäytyksessä. Siirretyjä korjauksia voi olla esimerkiksi turva- tai varajärjestelmän viat, eli piilevät viat, jota ei havaita normaalissa käytössä eikä se siten estä tuotantoa. Häiriökorjaukset ovat joka tapauksessa tilan-

teita, jolloin vikaantuminen on jo ennakoinnista huolimatta tapahtunut, eikä näiltä tilanteilta usein pystytä välttymään.

4.3 Ennakoiva kunnossapito

Toinen puoli kunnossapitolajeista kuuluu suunniteltuun kunnossapitoon, eli jollain tavalla ennakoituihin toimenpiteisiin. Ennakoivalla toiminnalla saavutetaan mahdollisimman korkea tuotantotehokkuus, voidaan laatia realistisia budjetteja sekä pystytään resursoimaan työntekijöitä tehokkaasti. Järviön (2012, 95) mukaan PSK 6201:2011-standardissa määritellään ennakoivat eli ehkäisevät toimenpiteet niin, että niillä pyritään palauttamaan heikentynyt toimintakyky ennen vian syntymistä tai estetään mahdollisen vaurion syntyminen.

Parantavalla kunnossapidolla pyritään nostamaan kohteen luotettavuutta kuitenkin niin, ettei sen toiminta muutu. Kohde suorittaa edelleen sille asetetun tehtävän, mutta esimerkiksi taloudellisemmin ja luotettavammin. Tällaisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi laitteiden modernisoinnit, joissa komponentteja vaihdetaan nykyajan tekniikkaa käyttäviksi. (Järviö 2012, 51.)

Kunnostamisella tarkoitetaan vaurioituneen tai kuluneen käytöstä poistetun kohteen korjaamista eli palauttamista toimintakuntoiseksi (Mikkonen 2009, 97). Kunnostettavia laitteita voivat olla esimerkiksi sähkölaitteet, joiden runko on pysynyt täysin ehjänä, mutta sisäosan komponentit vaihtamalla laite saadaan taas toimintakykyiseksi. Nykyään laitteiden hinnat ovat alhaisempia kuin ennen, joten uuden laitteen hankinta ja asennus tulee usein edullisemmaksi, kuin vanhan korjaaminen.

Jaksotettu kunnossapito tarkoittaa määrävälein tehtyjä suunnitellun kunnossapidon toimenpiteitä, eli yleisesti puhutaan huoltotoimenpiteistä. Kohteen käyttötarkoitus ja – ympäristö vaikuttavat määräväleihin, mutta välit voivat määräytyä kalenteriajan, kohteen käyttöajan tai – määrän mukaan. Jaksotetun huollon toimenpiteitä ovat esimerkiksi voitelu, puhdistus, kalibrointi tai kuluvien osien vaihtaminen. (Järviö 2012, 49–50)

Yleisesti käytetään laitteen ajokilometrejä tai käyttötunteja huoltojen määräväleinä. Moottorin öljynvaihto tietyn kilometrimäärän välein on hyvä esimerkki huoltotoimenpiteestä. Huollon tarkoituksena on ehkäistä mahdolliset viat, jotka kuluneet tai muuten heikentyneet komponentit voivat kohteelle aiheuttaa.

Ennakoivan kunnossapidon päämääränä on tarkkailla ja valvoa kohteen suorituskykyä tavalla tai toisella. Tapoja voivat olla säännölliset tarkastukset, testikäytöt ja mittareiden seuranta. Nämä toimenpiteet ovat usein aikataulutettuja tai jatkuvasti suoritettavia. Tulosten analysoinnilla voidaan arvioida kohteen kuntoa sekä aikatauluttaa ja suunnitella kunnossapitotehtäviä. (Järviö 2012, 50)

4.4 Kunnonvalvonta

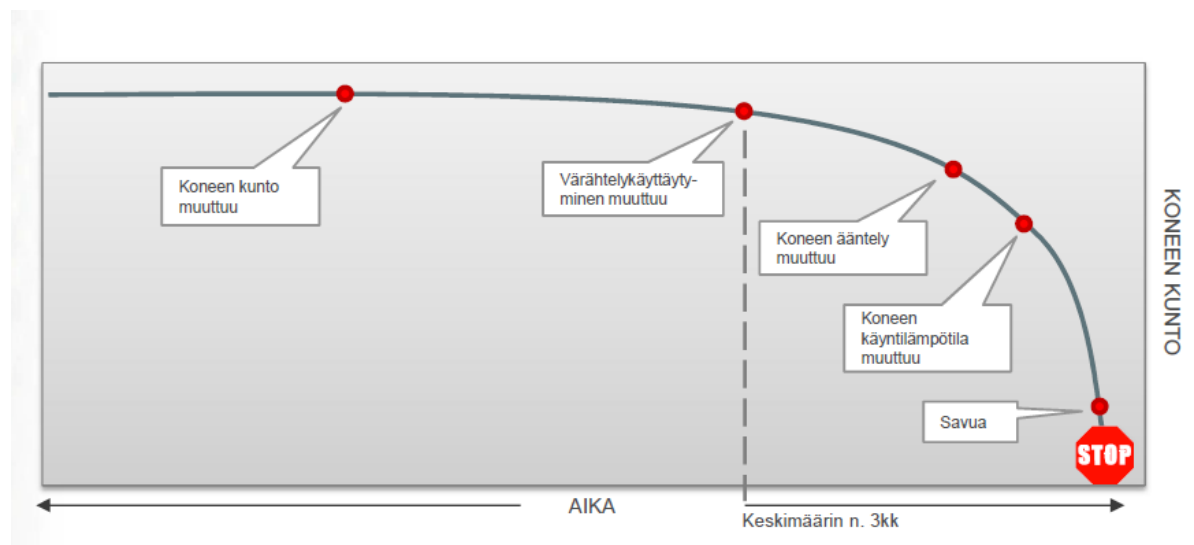
Kunnonvalvonta ja kuntoon perustuva suunniteltu korjaus liittyvät hyvin vahvasti toisiinsa. Kunnonvalvonnalla kartoitetaan kohteen tila ja kuntoon perustuva suunniteltu korjaus on kunnonvalvonnan seuraus (Mikkonen 2009, 100). Kunnonvalvontatarkastuksia suoritetaan aistien sekä mittalaitteiden avulla. Mittaustulosten analysoinnilla voidaan arvioida kohteen mahdolliset vikaantumiset ja aikatauluttaa sille huolto- sekä korjaustoimenpiteet. (Mikkonen 2009, 97.)

Kunnonvalvonnan voidaan ajatella olevan huoltotoimenpide, joka myös tapahtuu määrävälein. Kunnonvalvonta voi tapahtua kalenteriajan mukaan, kohteen käyttömäärän mukaan tai jatkuvasti. Jatkuvaa kunnonvalvontaa on esimerkiksi öljynpaineen tarkkailu moottorin käydessä ja määrävälein tapahtuvaa rengaspaineen tarkastus kerran kuukaudessa.

Vaikka kunnonvalvonta on standardin mukaan oma lajinsa, niin se on kuitenkin vahva osa kaikkea suunniteltua kunnossapitoa. On vaikeaa määritellä kunnonvalvonta erikseen, sillä kaikki suunnitellut toimenpiteet pitävät sisällään etukäteen tapahtuvaa tarkkailua. Määritelmä on siksi melko samanlainen kuin muillakin ehkäisevän kunnossapidon lajeilla.

Kunnonvalvonnan päämääränä on havaita vikaantumisen heti alkuvaiheessa, ennen kuin se aiheuttaa häiriöitä laitteelle tai tuotannolle. Usein kohteessa tapahtuu oireilua ennen varsinaista vikaa. Esimerkiksi komponentin kiinnitys löystyy ennen kuin se irrotessaan aiheuttaa häiriön. Kunnonvalvonnalla pyritään tunnistamaan tämä oireilu. Joillain kohteilla, kuten elektroniikalla, oireilu on hyvin lyhyttä ja siihen on vaikea reagoida. Esimerkiksi polttimo palaa yleensä yllättäen.

Kuviossa 8 on esitetty koneen vikaantumisen kehittyminen. Sitä kutsutaan PF-käyräksi, jossa ensimmäinen vian oire on käyrässä piste P (potential failure) ja hetki, jolloin laite on toimintakyvytön, on piste F (failure). Kohteesta riippuen käyrä laskee joko kaarevasti ja hitaasti tai sitten lähes pystysuoraan alas. Mitä hitaammin käyrä laskee, sitä enemmän on aikaa havaita ja reagoida alkavaan vikaantumiseen. Käyrän laskiessa vian oireet lisääntyvät, kuten kuviossa on esitetty.



Kuvio 8. Koneen vikaantumisen kehitys (Värähtelymittauksen perusteet 2014).

5 Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset

Värähtelymittaukset ovat olleet vuosikymmeniä käytössä teollisuuden kunnonvalvonnassa ja aiheesta on laadittu useita standardeja muun muassa suomalaisen PSK Standardisointiyhdistys Ry:n toimesta. Värähtelymittaus soveltuu todella hyvin kun-

nonvalvonnan apuvälineeksi, sillä mittauksilla pystytään seuraamaan kohteen vikaantumista PF-käyrän mukaisesti. Mittaukset voidaan suorittaa joko määrävälein tai jatkuvalla online-mittauksella. Online-mittauksiin käytetään kiinteästi asennettua anturia, joka lähettää mittaustulokset tietokoneelle. Määrävälein suoritettaviin mittauksiin voidaan käyttää kannettavaa käsimittalaitetta.

5.1 Mitattavien kohteiden valinta

Mitattaviksi kohteiksi valitaan sellaiset laitteet, joille mittaaminen on teknisesti mahdollista toteuttaa sekä toteuttaminen on kannattavaa. Kaikki laitteet eivät tarvitse säännöllistä valvontaa. (PSK 5705:2006, 2.) Laitekannasta voidaan esimerkiksi kriittisyysluokittelun avulla rajata tuotannon kannalta tärkeimmät laitteet. Luokittelun kriteereinä ovat ympäristö- ja turvallisuusriskit, tuotannon menetykset sekä kunnossapidon kustannukset. Kriteereille asetetaan painoarvot, jolloin luokittelua voidaan painottaa tiettyä osiota ajatellen. (PSK 5705:2006, 3.)

Tekninen toteutettavuus tarkoittaa standardin (PSK 5705:2006, 3) mukaan, että:

- Mitattavassa kohteessa on olemassa sellainen värähtelyn raja-arvo tai muutos, joka viittaa laitteen vikaantumiseen.
- Vikaantumisen tulee olla sellaista, että sen etenemistä voidaan seurata ja ennustaa.
- Mittausten aikaväli tulee olla lyhyempi kuin laitteen vikaantumisen etenemisen vaurioon asti.

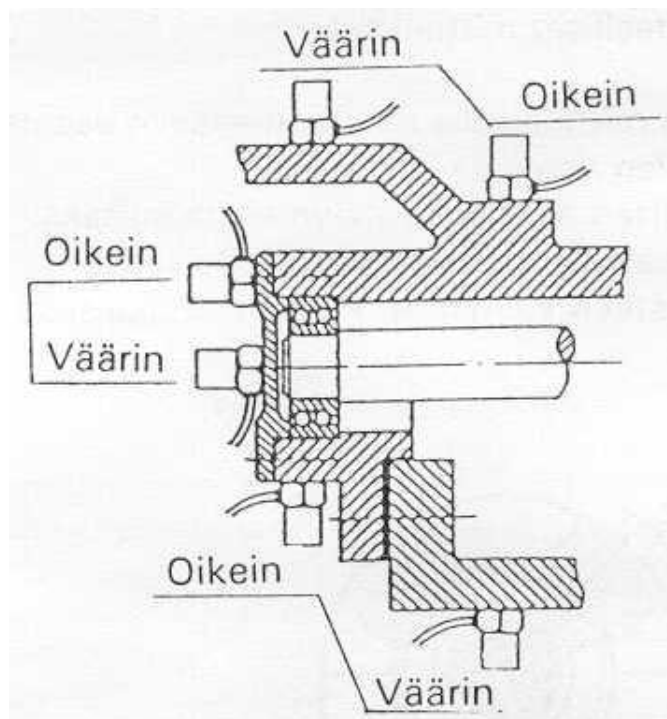
Laitteiden valinnan jälkeen niille tulee suorittaa kuntokartoitus, jotta tiedetään kunkin laitteen lähtötilanne ja värähtelyarvot normaalissa olosuhteessa. Kunnonvalvonnan päätehtävänä on huomata vikaantumisen kehittyminen, joten värähtelymittauksessa huomio keskitetään normaalista poikkeaviin värähtelyarvoihin.

Valituille laitteille laaditaan mittaussuunnitelma standardin (PSK 5705:2006, 2) mukaan, josta käy ilmi:

- Käytettävä valvontamenetelmä
- Mittausvälit
- Käytettävä mittausjärjestelmä
- Mittausten toteuttaminen käytännössä
- Mittausten dokumentointi, raportointi ja seuranta

5.2 Mittauspisteen valinta

Luotettavaan mittaukseen päästään valitsemalla mittauspiste oikein. On tärkeää, että mittauspiste on aina täsmälleen sama, jolloin tuloksista saadaan vertailukelpoisia. Teknisesti mittauspiste valitaan siten, että mittausanturi sekä värähtelylähde ovat mekaanisesti niin lähellä toisiaan kuin mahdollista, sillä laitteen rakenteen rajapinnat, eli liitokset ja saumat heikentävät värähtelyenergiaa (ks. Kuvio 9). Oikeaoppinen mittauspiste on laakeroinnin kohdalla säteissuunnassa tai vaihtoehtoisesti akselin suunnassa. (PSK 5702:2007, 2–3.)



Kuvio 9. Mittauspisteen sijainti (PSK 5702:2007, 2).

Mittauspisteelle tulee antaa yksiselitteinen sijaintimerkintä. Sijainti merkitään kohteeseen esimerkiksi maalilla, nipalla tai muulla selkeästi erottuvalla merkinnällä. Mittauspiste nimetään tunnuksella, josta ilmenee laitepositio, mittauspaikan numero, mittaussuunta (pysty, vaaka vai akselin suuntainen) sekä tarvittavat lisämerkinnät. (PSK 5702:2007, 3–4.)

Mittauspaikan numeron lisäksi tunnistamiseen voidaan myös merkitä, kumman pään laakerista mittaus tapahtuu. Mekaanisen laitteen, esimerkiksi sähkömoottorin, päät voidaan nimetä käyttöpää (DE = Drive-End) sekä vapaa pää (NDE = Non Drive-End). Käyttöpää on kytkettynä käytettävään laitteeseen, kuten pumppuun. (ABB:n pienjännitemoottorit 2014, 5.)

5.3 Mittausvälit

Mittaukset tulee ajoittaa siten, että vikaantuminen on niistä selkeästi ennustettavissa. Mittausvälin tulee siis olla lyhyempi kuin laitteen vikaantumisen kehittyminen lähelle vauriota. Kehittymisen tahti on laitekohtaista, mutta tavoite on, että muutos havaitaan aiemmin mainitun PF-käyrän alkuvaiheessa.

Mittausväliä määriteltessä tulee ottaa huomioon laitteen kriittisyys, häiriöherkkyys, vikojen kehittymisnopeudet sekä aiemmat kunnossapidon historiatiedot ja kokemukset. Standardin (PSK 5705:2006, 9) mukaan määräaikaismittausten väli on lyhimmillään kaksi viikkoa ja pisimmillään neljä kuukautta. Määräaikaismittausten lisäksi tulisi aina suorittaa mittaukset huollon tai korjauksen jälkeen. Näillä tuloksilla voidaan varmentaa huollon onnistuminen ja niihin voidaan verrata tulevia mittaustuloksia. (PSK 5705:2006, 8.)

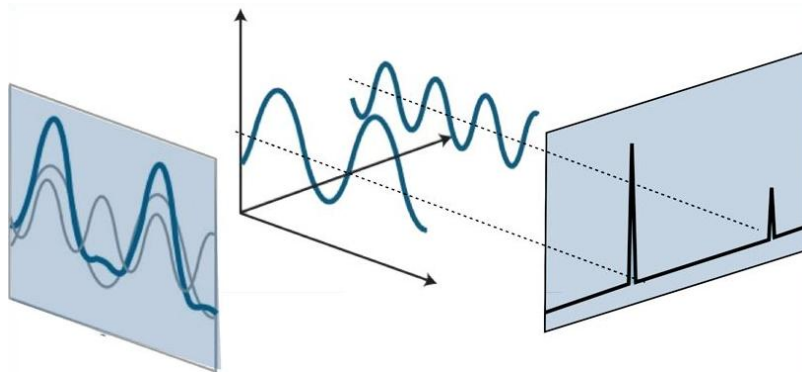
5.4 Mittaussignaalin käsittely

Värähtely voidaan esittää hyvin monella eri tavalla mittaussignaalia käsittelemällä. Käsittelyllä saadaan rajattua suuresta määrästä vain kiinnostava ja analysoitava signaali. Yksinkertainen käsittelytapa on suodatus, jolla rajataan signaali tietylle taa-

juusalueelle esimerkiksi 10 Hz – 1 000 Hz. Suodattaminen on hyödyllistä, jos on olettavissa, millä taajuudella vika ilmenee. (Nohynek & Lumme 1996, 72–73.)

Jotta signaalia voidaan käsitellä taajuusasteikolla, täytyy aikatasosignaali käsitellä Fourier-muunnoksen avulla (ks. Kuvio 10). Menetelmässä signaalia ikään kuin katsotaan toisesta suunnasta, jolloin pystytään erottamaan taajuudet. Kuviossa vasemmalla näkyy sama signaali aikatazon suunnasta ja oikealla taas taajuuden suunnasta.

Aikatasosignaalista ilmenee vain kaikkien signaalien summa, mutta taajuusakselilla voidaan erottaa signaalin sisältämät komponentit. Tietokoneohjelmassa tai mittalaitteissa tätä käsittelymenetelmää kutsutaan nimellä Fast Fourier Transformation (FFT). (Miettinen, J. & Jantunen, E. 2009, 190–191).



Kuvio 10. Aikatasosignaalin Fourier-muunnos (Fourier Transform 2017).

Eräs toinen kunnonvalvonnassa usein käytetty signaalinkäsittelymenetelmä on verhoikäryäanalyysi. Menetelmän hyöty on siinä, että sillä saadaan signaalista erotettua säännöllisesti toistuvia heikkotehoisia komponentteja, joita muuten olisi vaikea havaita. Tällaista heikkotehoista värähtelyä aiheuttavat esimerkiksi alkavat vauriot vierintälaakereissa sekä hammaskosketuksissa. Verhoikäryäanalyysi perustuu amplitudimoduloituneen signaalin suodatus- sekä demodulaatiotekniikkaan. Menetelmää voidaan hyödyntää laitteiden kunnon selvittämisessä siten, että vikataajuuden kantotaajuutena toimii jokin vikataajuutta selkeästi korkeampi taajuus. Alkava vaurio voidaan havaita esimerkiksi vierintälaakerin ominaistaajuudella tai hammaskosketuksen ryntötaajuudella. (Miettinen & Jantunen 2009, 220–221.)

5.5 Vianmääritys

Jotta pystyttäisiin luotettavasti seuraamaan laitteen kuntoa, tulee mittaustuloksia säilyttää vähintään kolmen vuoden ajalta. Värähtelyn perusarvot tulisi säilyttää koko laitteen eliniän ajan, sillä niistä ilmenee mahdollisimman hyväkuntoisen (uuden tai juuri huolletun) laitteen värähtelyarvot. (PSK 5705:2006, 11.) Vianmääritys alkaa, kun tuloksissa havaitaan poikkeama. Standardin (PSK 5707:2011, 4) mukaan vianmääritys etenee seuraavasti:

- Poikkeaman toteaminen
- Poikkeaman varmentaminen sekä oireiden määrittäminen
- Vikojen kartoitus ja arviointi sekä mahdollisten lisäoireiden määrittäminen
- Johtopäätös

Mittaussignaalin analysoinnissa havaittavia oireita ovat korkeat esimerkiksi iskumaiset huiput, epäsäännöllisyys, hitaat muutokset sekä amplitudi pyörimistaajuudella (PSK 5707:2011, 5). Poikkeaman mittaussignaaliin voi aiheuttaa mm. laitteen epätaapaino, taipunut akseli, linjausvirhe, mekaaninen välilyönti, laakerivika, kavitaatio, vaihteiston hammasvaurio ja viallinen hihna (PSK 5707:2011, 1–2).

6 Opinnäytetyön toteutus

Opinnäytetyön toteutuksessa yhdistettiin laadullisia sekä määrällisiä tutkimusmenetelmiä. Laadullinen eli kvalitatiivinen tutkimus on luonteeltaan kokonaisvaltaista aineiston kokoamista ja aineistonkeruu tapahtuu todellisissa tilanteissa. Tiedon keräämiseen valitaan kohdejoukko tarkoituksenmukaisesti sekä suositaan ihmistä tietolähteenä. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2007, 160.) Määrälliselle eli kvantitatiiviselle tutkimukselle taas on ominaista, että tulokset voidaan esittää tilastollisesti käsiteltävissä taulukkomuodossa (mts. 136). Tässä opinnäytetyössä laitteiden kriittisyysluokittelu sekä värähtelymittauksen tulokset ovat määrällisiä, mutta niiden ana-

lysointiin käytettiin laadullisia tutkimusmenetelmiä. Kriittisyysluokittelua tehdessä apuna käytettiin kohdistettuja haastatteluja ja sen tulokset voidaan esittää määrällisinä taulukkomuodossa.

6.1 Opinnäytetyön tutkimusstrategia

Opinnäytetyön tutkimusstrategiana oli case-tutkimus, jossa yhdistyvät useat aineistonkeruumenetelmät, kuten havainnointi, haastattelut sekä dokumenttien tutkiminen. Työssä keskitytään yksittäiseen tapaukseen, eli työn tulokset ovat yksityiskohdaisia ja ne koskevat vain tiettyä ympäristöä. (Hirsjärvi ym. 2007, 130.) Tässä tutkimuksessa käsiteltiin vain Jyväskylän meijerin laitekantaa sekä niille suoritettavaa värähtelymittausta meijerillä käytössä olevilla välineillä.

Case-tutkimus kohdistuu aina tämänhetkiseen ilmiöön, eikä sitä voida tehdä menneestä tapahtumasta. Tutkimus toteutetaan luonnollisessa ympäristössään ja sitä tehdessä käytetään monia tietolähteitä. Kysymykset, joihin case-tutkimuksella pyritään vastamaan, ovat muotoa miten, kuinka ja miksi. (Kananen 2013, 54.) Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin tämänhetkistä ilmiötä luonnollisessa ympäristössään. Tutkimuskysymyksinä tässä työssä ovat miten värähtelymittausta tulisi suorittaa sekä mikä hyöty sillä saavutetaan.

6.2 Työn tarkoitus ja tavoite

Työn tarkoituksena oli laatia sisältö ja ohjeistus kunnossapitoasentajan suorittamalle värähtelymittaukselle Jyväskylän meijerillä. Tarkoituksena oli saada aikaan sisältö ennakkohuoltotyölle, eli mitä tehdään, mille ja kuinka usein. Opinnäytetyön tuloksista saataisiin sisältö SAP-toiminnanohjausjärjestelmään luotavalle ennakkohuoltotyölle. Tuloksina laaditut dokumentit voitaisiin tulostaa työmääräyksen kanssa ohjeeksi kunnossapitoasentajalle.

Työn tavoitteena oli värähtelymittausten tulosten hyödyntäminen meijerin ennakoivan kunnossapidon suunnittelussa. Värähtelymittaustuloksista kertyisi dataa, josta

voitaisiin jatkossa analysoida laitteen kuntoa ja ennakoida alkavia vikaantumisia. Jos värähtelymittausten suorittaminen koetaan hyödylliseksi, niin mittauksia voidaan tulevaisuudessa suorittaa useammallekin laitteelle ja siitä tulisi osa ennakoivaa kunnossapitoa.

6.3 Laitteiden kriittisyysluokittelu

Meijerin laitekannasta valittiin kriittisyysluokitteluun tärkeimmät laitteet käyttöhyödykkeiden valmistuksesta sekä tuotteen valmistusprosessista. Muut laitteet jätettiin kriittisyysluokittelun ulkopuolelle. Valittujen laitteiden pääkomponentteina oli sähkömoottoreita ja pumppuja. Valintavaiheessa mietittiin, että laitteet ovat sellaisia, joille on teknisesti mahdollista suorittaa värähtelymittausta ja mittauksella voidaan todeta alkava vikaantuminen. Meijerillä on aiemmin tehty kriittisyysluokittelu tehtaan eri alueille, joten tiedossa oli esimerkiksi teknisen keskuksen kriittisyys tuotannon kannalta. Tässä tehdyssä kriittisyysluokittelussa tarkastelu tehtiin laitetasolle asti, jolloin pystytään erottamaan saman alueen laitteet kriittisyyden mukaan toisistaan.

Kriittisyysluokitteluun käytettiin PSK 6800-standardiin perustuvaa lomakepohjaa, jossa otetaan huomioon mm. laitteen häiriöherkkyys sekä huollettavuus. Standardin kriteerejä oli muokattu meijerin tarpeisiin sopiviksi ja niistä oli tehty Excel-taulukko meijerin ennakkohuoltovastaavan Matti Linnan toimesta. Käytetyt kriteerit ovat nähtävissä liitteessä 1. Samoja luokittelukriteerejä on käytetty meijerillä aiemmin eri osastojen sekä tuotevaraston automaatiolaitteiden luokitteluun. Ideana luokittelussa on antaa kullekin kriteerille lukuarvo väliltä 1 – 5 ja jokainen kriteeri saa vielä oman lukuarvon väliltä 10 – 25 painoarvonsa mukaan. Kriteerin saama lukuarvo kerrotaan painoarvon lukuarvolla ja kaikki nämä luvut lasketaan yhteen, jolloin saadaan lukuarvo, joka määrittää laitteen kriittisyysluokan A, B tai C.

Laitteiden pisteytys tehtiin yhdessä meijerin kunnossapitohenkilöstön kanssa. Mukana pisteytystä tekemässä oli kunnossapitoasentajia, teknisiä asiantuntijoita sekä varaosavaraston toimihenkilöitä. Jokainen osa-alue käytiin läpi henkilöiden kanssa, joil-

la oli kokemusta sekä tietotaitoa kohteesta. Aiempiin kriteereihin lisättiin tätä luokittelua tehdessä kohta *Varaosien saatavuus*, jossa otetaan huomioon laitteen yleisimpien osien toimitusaika.

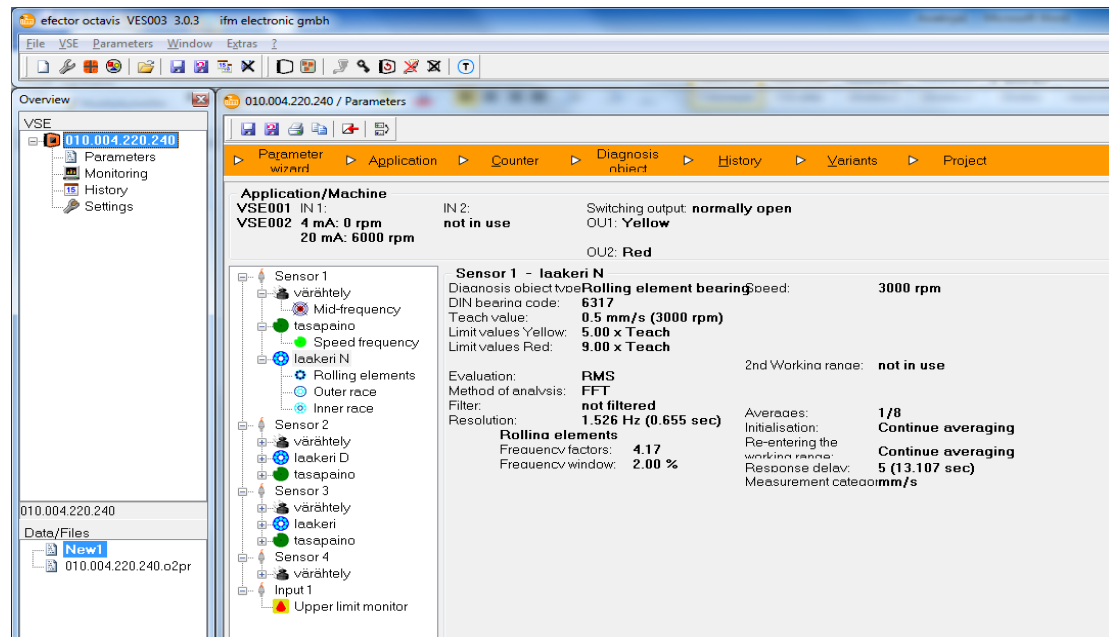
Kriittisyysluokittelun tulokset ovat liitteessä 2, jossa näkyy kunkin laitteen kriteereiden pisteet, kokonaispistemäärä sekä kriittisyysluokka. Laitteiden kriittisyysjärjestys on esitetty liitteessä 3. Kriittisyysluokkaan A kuului noin 20 % valituista laitteista. Esimerkkeinä ESL-tuotantolaitteet sekä kerman ja piimän homogenisaattorit. Laitteiden kriittisyysluokka toimii perusteena sille, kuinka paljon kunnossapitoa pyritään ennakoimaan. Mitä suuremman pistemäärän laite on saanut, sitä suurempi tuotannonmenetyriski on olemassa laitteen vikaannuttua. Kunnonvalvonnalla pystytään varhaisessa vaiheessa ennustamaan alkava vikaantuminen, joten tämän luokittelun tuloksia voidaan käyttää perusteena värähtelymittauksen käyttöönotossa.

6.4 Octavis VES003-värähtelymittausohjelma

Meijerin laitteiston kunnonvalvonnassa on käytetty jo ennen tätä työtä Ifm Electronic Oy:n Octavis VES003-värähtelymittausohjelmaa. Ohjelmaa käytetään värähtelyn online-mittaukseen ja sen avulla on mahdollista tarkkailla hyvin monenlaisia värähtelyarvoja. Mitattavaan kohteeseen asennetaan anturi, joka kytketään diagnoosiyksikköön ja yksikkö lähettää tiedot lähiverkkoyhteyden kautta tietokoneelle, johon on asennettu Octavis-värähtelymittausohjelma. Tällaisen ohjelman hyötyjä ovat usean mitattavan kohteen yhtäaikainen tarkkailu sekä mittauksien pitkäaikainen tallennus. Mitattavia kohteita voi olla kymmeniä ja tulosten tarkastelu onnistuu helposti yhdeltä tietokoneelta. Opinnäytetyön toteutuksen aikana ohjelman laitevalmistajan edustaja vieraili meijerillä ja esitteli ohjelman käyttöä sekä sen käyttömahdollisuuksia.

Yhteen diagnoosiyksikköön voidaan mallista riippuen kytkeä joko neljä tai kahdeksan mittausanturia ja Octavis-ohjelmalla voidaan ottaa yhteys kymmeneen diagnoosiyksikköihin. Jyväskylän meijerillä ohjelman käyttö on toteutettu siten, että Octavis on

asennettu yhdelle tietokoneelle, johon otetaan etätyöpöytäyhteys miltä tahansa tietokoneelta.



Kuvio 11. Octavis VES003-asetusvalikko

Kuvakaappaus ohjelman parametriasetusten alkuvalikosta näkyy kuviossa 11. Vasemmalla valikossa näkyvät asennetut diagnoosiyksiköt ja niiden IP-osoitteet. Klikkaamalla avataan yhteys mitta-antureihin. Jokaiselle asennetulle anturille voidaan Parametri-valikossa (*Parameters*) määrittää mitattava kohde sekä kohteen tiedot. Kohteeksi voidaan esimerkiksi syöttää laakerin DIN-standarditunnus, jolloin ohjelma hakee automaattisesti laakerin valmistajan antamat mittatiedot. Lisäksi voidaan syöttää kohteen pyörimisnopeus. Antureille voidaan myös määrittää mitattava yksikkö (mm, mm/s tai mg).

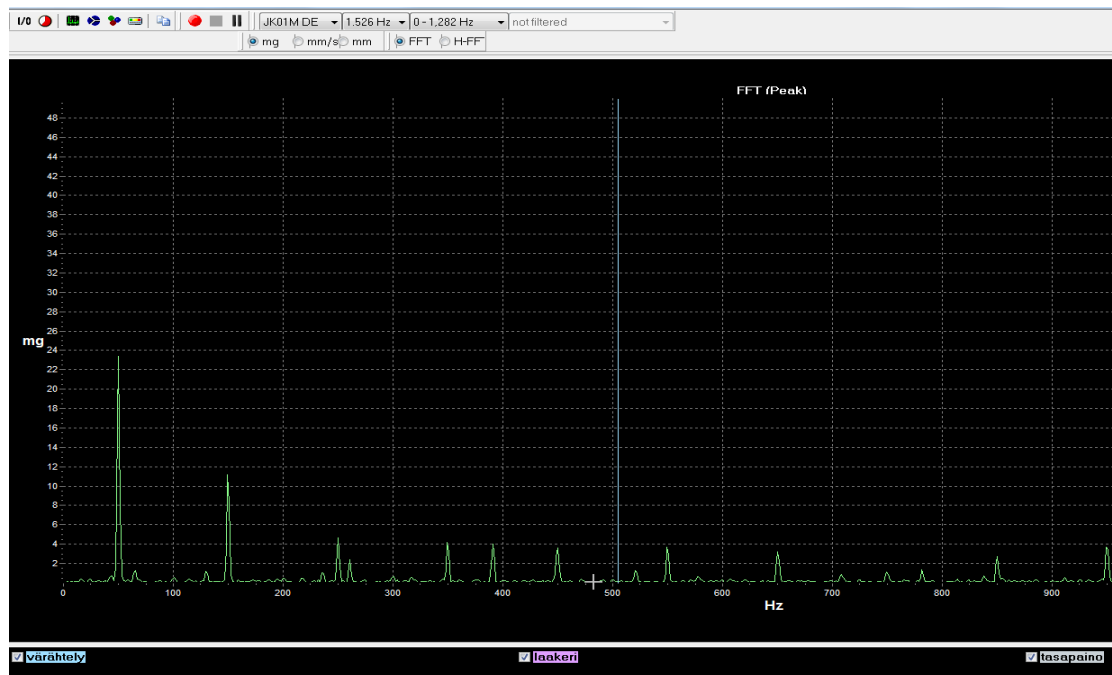
Monitorointi-valikossa (*Monitoring*) voidaan tarkkailla reaaliaikaisesti mittaustuloksia antureilta. Vauriotaso (*Damage level*) (ks. Kuvio 12) on helpoin näkymä kunnonvalvonnan kannalta ja se näyttää kokonaisvärähtelyn suhteessa asetettuihin hälytysrajoihin. Hälytysrajat asetetaan siten, että ensin värähtelylle annetaan perusarvo (*Teach value*), joka vastaa värähtelytasoja laitteen ollessa uusi tai juuri huollettu. Perusarvo voidaan syöttää käsin tai antaa ohjelman itse määrittää raja (*Auto teach*). Rajat asetetaan ohjelmaan esimerkiksi muodossa 5 x Teach value, eli hälytysraja ylittyy kun perusarvo on viisinkertainen alkutilanteeseen verrattuna. Hälytysrajoja voi-

daan asettaa kaksi, keltainen raja alkavalle vikaantumiselle sekä punainen raja vauriovaaralle.



Kuvio 12. Octavis VES003-ohjelman Damage level-näkymä.

Näkymävaihtoehtoja on useita. Jokaisen anturin tuloksia voidaan tarkastella yksittelen tai kaikkia samassa näkymässä. Valikosta (ks. Kuvio 13) voidaan muuttaa mittausyksikköä (mg, mm/s tai mm) ja valita signaalinkäsittelymenetelmä (FFT tai H-FFT, eli verhokäyräanalyysi). Alasvetovalikoista voidaan valita anturi (kuviossa JK01M DE). Seuraavaksi voidaan rajata näkymän leveys, eli kuinka laajalla taajuudella tulokset esitetään (kuviossa 1,526 Hz). Kolmannesta valikosta voidaan valita rajattu taajuusalue, jota tarkkaillaan (kuviossa 0 Hz – 1,282 Hz). Mainituilla asetuksilla saatu mittausulos ammoniakkipressorin sähkömoottorilta näkyy kuviossa 13.



Kuvio 13. Octavis VES003-ohjelman mittaustulosnäkyvä.

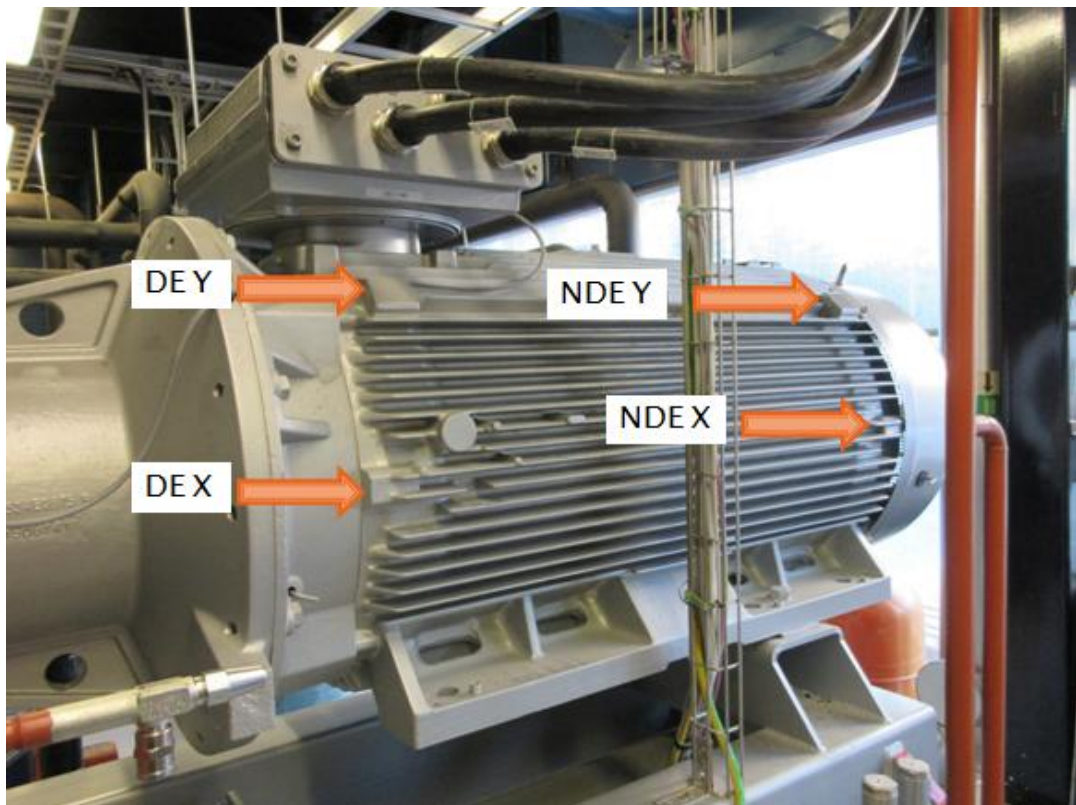
6.5 Kiinteiden antureiden asennus

Online-mittauksessa on ollut kaksi teknisen keskuksen ammoniakkipressoria vuodesta 2014 alkaen. Kompessorit on valittu jatkuvaan mittaukseen suuren sähkötehon (yli 300kW), osittain laitteen kriittisyyden sekä suuren hankintahinnan takia. Kesällä 2016 kylmäkeskusta modernisoitiin ja vanhojen varakompressoreiden tilalle asennettiin yksi uusi. Yksi tämän työn tavoitteista oli saada kaikki kolme ammoniakkipressoria online-mittaukseen. Kuviossa 14 näkyy ammoniakkipressori JK4:lle aiemmin asennettu värähtelymittausanturi. Mittaustulokset ovat nähtävissä Octavis-ohjelman kautta.



Kuvio 14. Kiinteä mittausanturi asennettuna.

Ammoniakkikompressorit eivät nousseet kriittisyysluokittelussa korkealle, mutta ne koettiin sopiviksi mittauskohteiksi aiemmin havaitun sähköteknisen vian takia. Kaksi samankaltaista kompressoria on jatkuvassa valvonnassa, joten kolmaskin kompressorit koettiin tarpeelliseksi saada online-mittaukseen. Kompressorit soveltuvat teknisesti värähtelymittaukseen, sillä anturit ovat helpot asentaa ja niillä pystytään havaitsemaan vika sähkömoottorin laakereissa. Anturit tullaan kytkemään samassa huoneessa olevaan diagnoosiyksikköön, joka sijaitsee noin viiden metrin päässä seinällä olevassa kytkentäkaapissa. Ammoniakkikompressorille JK2 tullaan asentamaan mittausanturit neljään kohtaan: käyttöpäähän vaaka- ja pystysuuntiin sekä vapaapäähän vaaka- ja pystysuuntiin. Anturien asennuspaikat näkyvät kuviossa 15. Anturien asennus tulee tapahtumaan vuoden 2017 aikana, johtuen sähköasentajien kiireisistä aikatauluista. Alkuperäinen tavoite oli saada anturit asennettua opinnäytetyötä tehdessä, mutta samaan aikaan oli sähköasentajien talvilomat sekä erilaisia koulutustilaisuuksia.



Kuvio 15. JK2 sähkömoottorin anturien asennuspaikat.

Kuviossa 15 on nimettyä JK2 sähkömoottorin mittauspisteet:

- sähkömoottorin vapaapään pysty- sekä vaakasuunta (NDE Y ja NDE X)
- sähkömoottorin käyttöpään pysty- sekä vaakasuunta (DE Y ja DE X)

6.6 Käsimittalaitteen käyttö

Määräaikaisia värähtelymittauksia voidaan suorittaa käsimittalaitteella, joka näyttää kohteen sen hetkiset värähtelyarvot. Käsimittalaitteen käytöllä säästetään online-mittalaitteiden hankinta- sekä asennuskustannukset. Haitaksi voidaan katsoa se, että äkkivikaantumisen sattuessa mittaustulokset eivät tallennu, niin kuin online-mittauksessa. Käsimittalaitteella voidaan myös helposti ja nopeasti mitata mitä tahansa mittaukseen soveltuvaa kohdetta.

Jyväskylän meijerillä on ollut käytössä Adash Vibrio 4900 III-käsimittalaite. Mittalaitteella on tehty kunnontarkastusmittauksia sekä vertailevia mittauksia Octavis-ohjelman tuloksille. Mittalaitteeseen kuuluu pistepuikkomainen käsin pidettävä mit-

tapää, magneettikiinnitteinen mittapää sekä kuulokkeet, joita käytetään mitattavan kohteen kuunteluun stetoskoopin tavoin (ks. Kuvio 16).



Kuvio 16. Adash Vibrio 4900 III-käsimittalaite.

Mittalaite on tarkoitettu yksinkertaisten mittausten sekä kehittyneempien tietokoneavusteisten mittausten välille, eli sillä voidaan antaa tarkkoja analyysejä laitteen kunnosta nopeasti kenttäolosuhteissa. Mittalaitteella voidaan tarkkailla kohteen kokonaisvärähtelyarvoja, spektriarvoja, värähtelyn aikatasosignaaleja, lämpötilaa sekä pyörimisnopeutta. Mittalaite tunnistaa pyörimisnopeuden itse tai se voidaan asettaa manuaalisesti. Lämpötilan laite tunnistaa mittalaitteen päässä olevalla infrapuna-anturilla. Mittalaitteen päässä on myös neljä LED-valoa, joita voidaan käyttää kohteen valaisemiseen, mutta myös stroboskoopina. Stroboskoopin avulla voidaan tarkkailla liikkuvaa kohdetta ikään kuin pysähtyneenä, kun valo säädetään vilkkumaan lähelle kohteen liikkumistaajuutta. (Adash 4900 – Vibrio III User's Guide 2012, 5.)

Käsimitalaitteella pystytään myös mittaamaan monia erilaisia värähtelysuureita (μm , mm/s tai mg) ja näistä laite näyttää keskiarvot (RMS = root mean square) tai pelkät huippuarvot (Peak). Mittalaitteeseen on ohjelmoitu ISO 10816-3-standardin mukaiset hälytysrajat. Mittalaite pystyy määrittämään mitattavan kohteen laakereiden kunnon, laakereiden voitelutarpeen, kohteen epätasapainon, suuntausvirheen sekä väljän kiinnityksen. (Adash 4900 – Vibrio III User's Guide 2012, 5.)

6.7 Ennakkohuoltotyön sisällön laatiminen

Säännöllisesti tehtävälle värähtelymittaukselle määriteltiin mittausreitti, mistä ilmenee mitattavat laitteet sekä niiden mittauspisteet. Mittausvälit määräytyvät aluksi alueittain, eli eri rakennuksissa ja kerroksissa sijaitsevat laitteet mitataan ryhmittäin, jolloin saadaan kerättyä kattavasti mittausdataa. Mittausväli on alussa esimerkiksi neljästä kuuteen viikkoa, jolloin saadaan kartoitettua laitteiden kunto ja työhön muodostuu rutiini. Kun mittaukseen on muodostunut selkeä toimintatapa, niin sitä voidaan laajentaa muihinkin kriittisyysluokittelussa esille nousseisiin laitteisiin.

6.7.1 Mittausreitti sekä mitattavat laitteet

Mittausreitti muodostettiin selkeäksi siten, että samassa tilassa olevat laitteen mitataan yhdellä mittauskerralla. Tämä nopeuttaa mittauksen suorittamista sekä vierekkäiset laitteet voidaan mitata samalla kerralla. Yhdelle mittauskierrokselle valitaan viidestä kymmeneen laitetta, jolloin mittauksen suorittamisen sekä dokumentoinnin voi suorittaa helposti muiden töiden ohella. Reitti jaetaan tehtaan alueiden mukaan niin, että yhdellä kierroksella mitataan esimerkiksi A- ja B-rakennusten alakerrassa sijaitsevat laitteet ja toisella kierroksella kaikki kylmäkeskuksessa sijaitsevat laitteet.

Kaikkia kriittisyysluokittelussa mukana olleita laitteita ei otettu mukaan mittauskierrokselle. Osalla laitteista, kuten paineilmakompressoreilla, huolto on ulkoistettu ja joidenkin laitteiden komponentit ovat sellaisia, joissa ei ole värähtelymittauksella havaittavia vikaantumisia. Mitattaviksi laitteiksi valittiin myös sellaisia, joille on teknisesti mahdollista suorittaa mittauksia käsimitalaitteella. Laitetta ei valittu, jos kom-

ponentit ovat sähköteholtaan pieniä ja niiden ympäriltä joutuisi purkamaan paljon suojapeltejä, jotta mitta-anturin saisi kiinni laitteeseen.

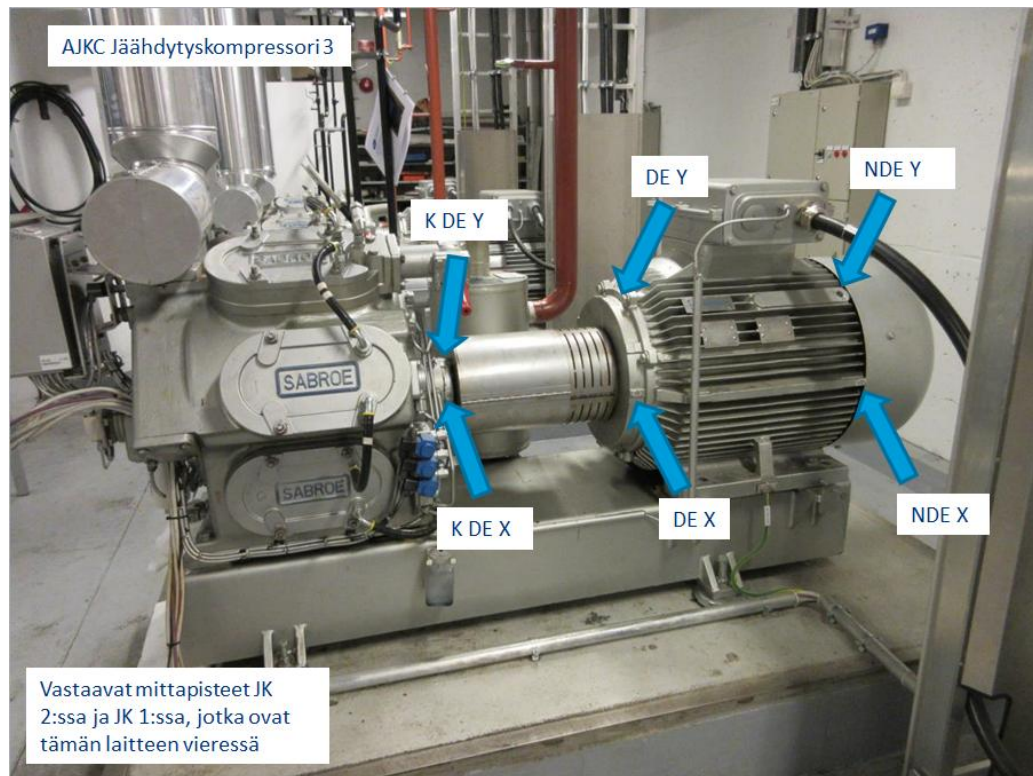
Kaikkiin mittausreittiin kuuluviin laitteisiin merkattiin mittauspisteet piirtämällä ympyrä valkoisella maalitusilla. Valkoinen maali erottuu selkeästi, se on kestävä ja se tarttuu erilaisille pinnoille. Jokainen mittausreittiin kuuluva laite valokuvattiin ja kuva nimettiin laitteen nimellä ja positiotunnuksella. Valokuviin lisättiin nuolia, jotka osoittavat mittapisteiden sijainnin laitteessa. Jos laite sijaitsi haastavassa kohteessa, niin lisätietoihin voidaan myös kirjata tarkemmat sijaintitiedot.

Valituista laitteista muodostettiin ryhmiä, jotka tultaisiin mittaamaan yhdellä mittauskierroksella. Yhdessä ryhmässä on neljästä kahdeksaan laitetta ja ryhmien muodostamisessa pyrittiin siihen, että mittauskierroksesta tulisi kulkemisen kannalta looginen. Ryhmiä voidaan myöhemmin muokata, jos se koetaan hyödylliseksi. Laiteryhmistä muodostettiin Excel-taulukko, josta ilmenee laitteen nimi ja positiotunnus, toimintopaikka, laitetunnus, sijainti sekä tarvittaessa tarkennus sijainnista. Ryhmälle voidaan määrittää mittausväli myöhemmin, mutta aluksi kaikkien ryhmien mittausväli on kuusi viikkoa, jolloin saadaan kerättyä kattavasti mittausdataa. Taulukossa 1 on esitetty mittausreitille 1 kuuluvat laitteet.

Taulukko 1. Mittausreittiin kuuluvat laitteet.

Reitti 1	Mittausväli			6	vko
Laite ja positio	Toimintopaikka	Laitetunnus	Sijainti	Tarkennus	
IWP09 Jäähdytyskompressori 9, alakerta	33311-21-30-30-02	10131394	B-rakennus	Kellarissa jäähdytyslaitteen vieressä	
IWP10 Jäähdytyskompressori 10, alakerta	33311-21-30-30-02	10131395	B-rakennus	Kellarissa jäähdytyslaitteen vieressä	
IWP11 Jäähdytyskompressori 11, alakerta	33311-21-30-30-02	10131396	B-rakennus	Kellarissa jäähdytyslaitteen vieressä	
IWP12 Jäähdytyskompressori 12, alakerta	33311-21-30-30-02	10131397	B-rakennus	Kellarissa jäähdytyslaitteen vieressä	
AJKA Jäähdytyskompressori 1	33331-21-30-20-34	10088867	A-rakennus	A-rak. kylmäkeskus	
AJKB Jäähdytyskompressori 2	33331-21-30-20-34	10088868	A-rakennus	A-rak. kylmäkeskus	
AJKC Jäähdytyskompressori 3	33331-21-30-20-34	10088869	A-rakennus	A-rak. kylmäkeskus	

Taulukkoon lisättiin laitteen nimen kohdalle hyperlinkki, josta aukeaa valokuva laitteesta ja siihen merkatuista mittapisteistä. Kuvio 17 on esimerkki AJKC Jäähdytyskompressori 3-hyperlinkin kautta avautuvasta valokuvasta.



Kuvio 17. Ohjevalokuva laitteen mittauspisteistä.

Ohjevalokuvassa on kuvattuna laitteen seuraavat mittauspisteet:

- sähkömoottorin vapaapään pysty- sekä vaakasuunta (NDE Y ja NDE X)
- sähkömoottorin käyttöpään pysty- sekä vaakasuunta (DE Y ja DE X)
- kompressorin käyttöpään pysty- sekä vaakasuunta (K DE Y ja K DE X)

6.7.2 Rajat värähtelyarvoille

Eri värähtelysuureille on standardeissa laadittu raja-arvot, joiden mukaan voidaan määrittää hälytys- sekä vauriorajat laitteille. Standardeissa on tarkasti kuvattu millaisille ja minkä tehoisille laitteille raja-arvot on laadittu, joten rajoja täytyy osata joissain tilanteissa soveltaa kohteen mukaan. Laitteille voidaan asettaa soveltuvimmat rajat yhdistämällä standardimääryksiä sekä käyttökokemuksen tuomaa laitetunte-
musta.

SFS ISO 10816-3-standardi sisältää suositellut värähtelyarvot laitteille, joiden sähköteho on yli 15 kW ja pyörimisnopeus välillä 120 – 15 000 r/min. Standardi soveltuu

höyryturbiineille, kompressoreille, kaasuturbiineille, generaattoreille, puhaltimille sekä sähkömoottoreille. (SFS ISO 10816–3:2012, 1, 3.)

Värähtelyarvoihin saattavat vaikuttaa ympäristössä tapahtuvat muutokset, kuten magneettikentän muutokset. Ulkoisten herätteiden vaikutus voidaan havaita siten, että jos laitteen pysähdyksissä mitattu värähtelyarvo on yli neljänneksen käynnissä olevan laitteen mittausarvosta, niin ulkoisten herätteiden vaikutus on liian suuri. (SFS ISO 10816–3:2012, 4.)

Standardissa laitteet on jaettu kahteen luokkaan. Luokkaan 1 kuuluvat laitteet, joiden sähköteho on yli 300 kW tai akselikorkeus yli 315 mm. Akselikorkeus mitataan akselin keskipisteestä jalustan alareunaan. Luokkaan 2 kuuluvat laitteet, joiden sähköteho on välillä 15 kW – 300 kW ja akselikorkeus välillä 160 – 315 mm. Tällaisilla laitteilla pyörimisnopeus on yleensä yli 600 r/min. (SFS ISO 10816–3:2012, 5.)

Värähtelyarvoihin vaikuttaa lisäksi laitteen jalustan tyyppi. Jalusta voi olla joko jäykkä tai joustava. Jos laitteen alhaisin ominaistaajuus on neljänneksen suurempi kuin samaan suuntaan vaikuttavan herätteen taajuus, niin jalustan tulee olla jäykkä. Tyypillisesti sähköteholtaan yli 10 MW laitteiden jalusta on joustava ja pienempitehoisilla sähkömoottoreilla jäykkä. (SFS ISO 10816–3:2012, 6.)

Standardissa määritetyt raja-arvot siirtymälle (μm) sekä nopeudelle (mm/s) luokkaan 1 kuuluville laitteille on esitetty taulukossa 2. Alue A on uudenveroisen laitteen suositusarvo, B vastaa laitteen normaalia käyttöä, alueella C laitetta tulee tarkkailla ja käyttöä rajoittaa sekä alue D vastaa tilannetta, jolloin on vaara, että laitteelle aiheutuu vaurioita (SFS ISO 10816–3:2012, 6–7).

Taulukko 2. Värähtelyn raja-arvot luokan 1 laitteille.

Luokka 1	Sähköteho välillä 300 kW - 50 MW		
	Akselikorkeus yli 315 mm		
Jalusta	Alue	$\mu\text{m RMS}$	mm/s RMS
Jäykkä	A/B	29	2,3
	B/C	57	4,5
	C/D	90	7,1
Joustava	A/B	45	3,5
	B/C	90	7,1
	C/D	140	11,0

Vastaavat arvot luokan 2 laitteille on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Värähtelyn raja-arvot luokan 2 laitteille.

Luokka 2	Sähköteho välillä 15 kW - 300 kW		
	Akselikorkeus välillä 160 mm - 315 mm		
Jalusta	Alue	$\mu\text{m RMS}$	mm/s RMS
Jäykkä	A/B	22	1,4
	B/C	45	2,8
	C/D	71	4,5
Joustava	A/B	37	2,3
	B/C	71	4,5
	C/D	113	7,1

Saman SFS ISO 10816-standardin osa 7 määrittää samankaltaiset rajat teollisuudessa käytettäville pumpuille. Standardissa pumput jaetaan kahteen kategoriaan. Kategoriaan 1 kuuluvilla laitteilla on korkea luotettavuusvaatimus, korkea käytettävyyksivaatimus, korkea kriittisyysluokka tai niillä pumpataan vaarallista kemikaalia. Kategoriaan 2 kuuluvat pumput ovat vähemmän kriittisiä eikä niillä pumpata vaarallisia kemikaaleja. Värähtelyn raja-arvot jaetaan samalla tavalla neljään luokkaan kuten aiemmin mainitussa standardin osassa 3. (SFS ISO 10816–7:2017, 13.)

Nopeuden (mm/s) kokonaisvärähtelyarvojen (RMS) raja-arvot on esitetty taulukossa 4. Kummatkin kategoriat on jaettu vielä kahteen osaan sähkötehon mukaan, joko yli tai alle 200 kW. Taulukon rajat soveltuvat pumpuille, joiden sähköteho on yli 1 kW ja siipien lukumäärä siipipyörässä on yli kolme (SFS ISO 10816–7:2017, 16).

Taulukko 4. Pumppujen kokonaisvärähtelyn raja-arvot.

Alue	Tarkennus	mm/s RMS			
		Kategoria 1		Kategoria 2	
		≤ 200 kW	> 200 kW	≤ 200 kW	> 200 kW
A	Uudenveroinen laite	2,5	3,5	3,2	4,2
B	Normaalit olosuhteet	4,0	5,0	5,1	6,1
C	Käyttöä rajoitettava	6,6	7,6	8,5	9,5
D	Vauriovaara	yli 6,6	yli 7,6	yli 8,5	yli 9,5

Siirtymän (μm) huippuarvojen raja-arvot on esitetty taulukossa 5. Rajat ovat kaikille pumpuille samat, joten rajoja ei ole jaettu kategorioiden mukaan. Taulukon raja-arvot soveltuvat pumpuille, joiden pyörimisnopeus on alle 600 r/min (SFS ISO 10816-7:2017, 17).

Taulukko 5. Siirtymän raja-arvot pumpuille.

Alue	Tarkennus	μm PEAK to PEAK
A	Uudenveroinen laite	50
B	Normaalit olosuhteet	80
C	Käyttöä rajoitettava	130
D	Vauriovaara	yli 130

Jotta välttyttäisiin turhilta hälytyksiltä, tulee reaaliaikaista mittausta hetken aikaa tarkkailla. Mittaustuloksen tulisi olla raja-arvon yli vähintään 10 sekuntia, jotta mittaustulos on luotettava ja saadaan poistettua pienet mittausvirheet (SFS ISO 10816-7:2017, 16).

7 Tulokset

Opinnäytetyön tulokset ovat esitettävissä sekä sanallisessa muodossa että taulukkomuodossa. Taulukkomuodossa esitettäviä määrällisiä tuloksia ovat esimerkiksi kriittisyysluokittelun tulokset sekä mittauslomake. Laaditut käyttöohjeet ovat sanallises-
sa muodossa esitettäviä laadullisia tuloksia.

7.1 Tulosten hyödyntäminen

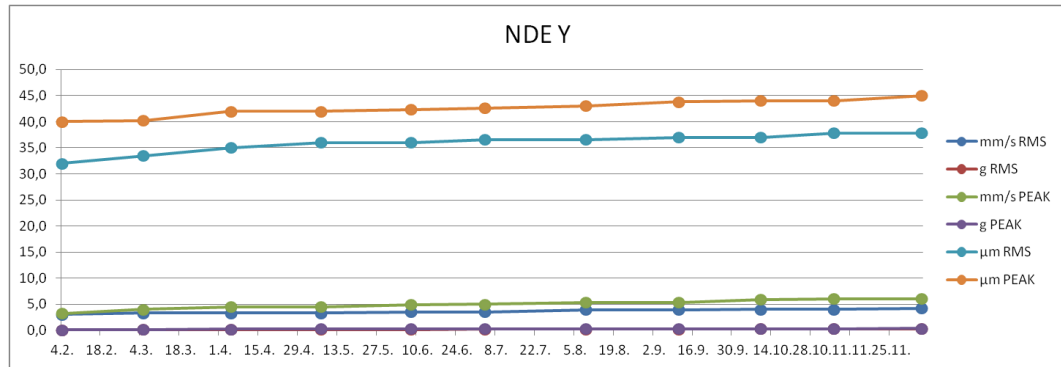
Opinnäytetyön tuloksena laadittiin dokumentteja tukemaan sekä helpottamaan värähtelymittausten suorittamista Jyväskylän meijerillä. Dokumentit tullaan lisäämään liitetiedostoiksi työmääräykseen, jonka kunnossapitoasentaja tulostaa SAP-toiminnanohjausjärjestelmästä. Työn alussa tehty kriittisyysluokittelu on tallennettu verkkoasemalle, josta se voidaan ottaa käyttöön seuraavaa kriittisyysluokittelua varten. Laitteiden kriittisyysjärjestystä voidaan käyttää perusteena kunnonvalvonnan tehostamiselle kyseisillä laitteilla. Varsinaisia dokumentteja, joita tulnaisiin käyttämään värähtelymittauksia tehdessä, ovat mittaustuloslomake, käyttöohjeet käsimitalaitteen käyttöön sekä ohjeet Octavis-värähtelymittausohjelman käyttöön.

7.2 Lomake mittaustuloksille

Käsimitalaitteella suoritettavien mittausten dokumentointia varten luotiin Excel-pohjainen lomake. Esimerkki lomakkeen täyttötavasta näkyy liitteessä 4. Taulukkoon merkatut luvut ovat kuvitteellisia. Lomakkeesta ilmenee mittauspäivämäärä, mitta-
usväli, mitattava laite ja sen positiotunnus, SAP-järjestelmän laitetunnus, SAP-järjestelmän toimintopaikka, laitteen sijainti, sähköteho sekä laitteen kriittisyysluokka. Lisätietoina voidaan lisätä laitteen mitattu pyörimisnopeus. Mittausta tehdessä sarakkeeseen merkataan mittauspäivämäärä ja laitteen mitattu lämpötila, jos mahdollista. Seuraaville riveille merkataan käsimitalaitteella saatavat tulokset (mm/s, g ja μm). Tulokset merkataan neljästä mittauspisteestä, jos mahdollista. Mittauspisteet ovat:

- NDE Y = Vapaan pään pystysuunta
- NDE X = Vapaan pään vaakasuunta
- DE Y = Käyttöpään pystysuunta
- DE X = Käyttöpään vaakasuunta

Lomakkeessa on 11 saraketta, eli siihen saadaan mittaustulokset noin kahden vuoden ajalta, riippuen tietenkin mittaussvälistä. Kirjatuista tuloksista piirretty lisäksi viivadiagrammi jokaisen mittauspisteen tuloksista, joista huomataan helposti poikkeamat värähtelyarvoissa. Liitteen 4 mukaisilla luvuilla muodostunut viivadiagrammi on esitettyinä kuviossa 18.



Kuvio 18. Viivadiagrammi kuvitteellisista mittaustuloksista.

Joillakin mitattavilla laitteilla voi olla useampiakin mittauspisteitä, niin taulukkoa voidaan jatkaa alaspäin ja lisätä tarvittavat rivit. Aloittaessaan mittauskierroksen kunnossapitoasentaja voi valita mitattavan laitteen tiedot lomakkeeseen ja sen jälkeen tulostaa lomakkeen. Mittausten jälkeen tulokset kirjataan Excel-tiedostoon ja tiedosto tallennetaan laitteen ja position mukaisella nimellä. Verkkoasemalle luodaan kansiot sijaintien perusteella, eli esimerkiksi B-rakennuksen kellarikerros, jolloin kaikkien siellä sijaitsevien laitteiden mittaustiedot tallennetaan samaan paikkaan. Samassa kansiossa on laitteesta otettu valokuva, jossa näkyvät mittauspisteet. Mittauspisteet voidaan nimetä myös vielä kuvaavammin, jottei tule epäselvyyttä mittauspisteiden sijainnista. Jos mitattava kohde on akseli, kompressori tai pumppu, niin tunnuksen voi antaa viitaten näihin esimerkiksi isolla alkukirjaimella.

7.3 Ohjeet Adash Vibrio 4900 III-käsimittalaitteelle

Värähtelyn käsimittalaitteelle laadittiin PowerPoint-pohjaiset kuvalliset käyttöohjeet, jotka voidaan esimerkiksi tulostaa mukaan mittalaitteen kantosalkkuun. Ohjeissa on kuvattuna mittalaitteen näppäimet, liitännät sekä kaikki valikkonäkymät, joista mittaustuloksia tarkastellaan. Jokaisesta valikkonäkymästä on kuva sekä lyhyt kuvaus, mitä suuretta ollaan mittamassa. Ohjeissa on myös kuvattu mittalaitteen asetukset, joista päästään esimerkiksi muuttamaan hälytysrajoja. Käyttöohjeet ovat liitteenä 5.

Mitatessa magneettikiinnitteisellä mittapäällä on erittäin tärkeää, että magneetti kiinnittyy tukevasti kohteeseen, eikä se jää heilumaan. Mittalaite tunnistaa pyörimisnopeuden automaattisesti värähtelystä, joten hutera mittapää saattaa estää pyöri-

misnopeuden tunnistamisen. Todellinen pyörimisnopeus on mittalaitteelle merkittävä, sillä sen mukaan määräytyy laitteen ilmoittamat hälytysrajat. Hälytysrajat määräytyvät myös laiteluokkien mukaan, jotka ovat kuvattuna laaditussa ohjeessa taulukkomuodossa. Ennen mittaamista on tärkeää ottaa käyttöön kohteelle sopivat hälytysrajat, sillä mittalaite vertaa mittaustuloksia aina näihin valmiiksi asetettuihin rajoihin.

Käsimittalaitteella mitatessa voidaan tulostaa mittalaitteen ohjeet sekä mittauslomake mukaan mittauskierrokselle. Lomakkeeseen merkataan värähtelyarvot, joiden luentaan on kuvalliset ohjeet käsimittalaitteen käyttöohjeissa. Muita mittalaitteen näkymiä voidaan käyttää apuna vikojen diagnosoinnissa.

Mittalaitteen näkymät, jotka kirjataan mittauslomakkeeseen, ovat kokonaisvärähtely (RMS) nopeudelle (mm/s) ja kiihtyvyydelle (g), huippuarvot (PEAK) samoille suureille sekä kokonaisvärähtely ja huippuarvo siirtymälle (μm). Lisäksi mittalaitteen näkyminä ovat lämpötilamittaus, FFT-näkymä, verhokäyräanalyysi, kiihtyvyyсарvot eri taajuusalueilla sekä yhdistelmänäkymä laitteen kunnan määrittämiseen.

FFT-näkymässä näkyy kolme suurinta nopeuden (mm/s) arvoa taajuusvälillä 0 – 200 Hz. Näytössä näkyy eriteltynä taajuus sekä värähtelyn amplitudi. Verhokäyräanalyysi näyttää kohteen kiihtyvyyden (g) arvon 25 ms ajanjakson välein. Seuraava näkymässä on kiihtyvyyden arvot esitettynä kolmena pylväsdiagrammina taajuusalueilla 0,5 – 1,5 kHz, 1,5–5 kHz sekä 5-16 kHz. Yhdistelmänäkymä antaa kuvauksen laitteen yleiskunnosta. Mittalaite analysoi pyörimisnopeuden sekä hälytysrajojen perusteella laitteen epätasapainon, väljän kiinnityksen sekä suuntausvirheen ja ilmoittaa niiden tilan erivärisinä palkkeina. Samassa näkymässä näkyy myös mitattu lämpötila sekä laitteen antama analyysi laakerin ja laitteen kunnosta.

7.4 Ohjeet Octavis VES003-ohjelmalle

Meijerillä jo aiemmin käytössä olleelle Octavis VES003-värähtelymittausohjelmalle laadittiin Word-pohjaiset ohjeet, joiden avulla voidaan tarkastella sekä reaaliaikaisia

että tallentuneita värähtelyarvoja. Tarkoitus on, että ohjeet ovat esimerkiksi työmääräyksen liitteenä ja ne voidaan tulostaa luettavaksi, kun ohjelmaa käytetään. Ohjeissa on kuvakaappauksia ohjelman eri näkymistä, joissa tuloksia tarkastellaan ja ohjeistusnuolia oleellisten painikkeiden kohdalla. Näkymissä on myös lyhyet selostukset siitä, mitä tapahtumaa ollaan tarkastelemassa. Ohjetiedosto löytyy verkkoasemalta samasta paikasta kuin mittauslomake ja käsimittalaitteen ohjeet.

Ensimmäiseksi ohjeessa kerrotaan, kuinka avataan etäyhteys ohjelmaan ja saadaan näkyviin ohjelman aloitusnäkyvä. Kuvakaappausten avulla kerrotaan, kuinka saadaan yhteys asennettuihin diagnoosiyksiköihin. Tämän jälkeen kuvataan, mistä päästään näkemään jokaiselle anturille asetetut mittauskohteet sekä hälytysrajat. Neljännessä kuvakaappauksessa on esitetty, mistä voidaan muuttaa hälytysrajoja. Asetusten jälkeen ohjeessa on esitelty reaaliaikaisten sekä tallennettujen värähtelyarvojen tarkastelu. Reaaliaikaisessa tarkkailussa voidaan signaalia muokata hyvin monipuolisesti sekä valita näkyviin yhden tai useamman anturin mittaus tulokset. Reaaliaikaista signaalia voidaan myös taltioida tietyltä ajalta ja tätä tallennetta voidaan tarkastella myöhemmin. Tallenne voi olla hyödyllinen esimerkiksi vikatilanteissa.

7.5 Tulosten luotettavuus

Opinnäytetyön tulosten luotettavuutta lisää monipuolinen lähdeaineisto. Värähtelynteorian kuvaamiseen sekä laadittuun ohjeistukseen käytettiin lähteenä alan standardien viimeisimpiä painoksia. Useat värähtelymittauksesta kertovat teokset sekä ohjeistukset pohjautuvat näihin samoihin standardeihin. Lisäksi teoriaosuudessa hyödynnettiin painettuja teoksia sekä artikkeleita, jotka olivat osin vieraskielisiä.

Hirsjärven ja muiden (2007, 228) mukaan tutkimuksen pätevyyttä voidaan lisätä yhdistämällä useita tutkimusmenetelmiä, mistä käytetään termiä triangulaatio. Tässä opinnäytetyössä yhdistettiin laadullisia sekä määrällisiä tutkimusmenetelmiä. Tulokset ovat esitettävissä osin taulukkomuodossa sekä osin sanallisesti. Luotettavuutta kohentaa tarkka kuvailu ja raportointi tutkimuksen toteuttamisesta (mts. 2007, 227) ja tähän pyrittiin kuvaamalla monipuolisesti opinnäytetyön eri vaiheet.

8 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tuloksena laadittiin sisältö ennakkohuoltotyölle, jossa tulotaisiin suorittamaan värähtelymittauksia meijerin laitteille. Laadituilla ohjedokumenteilla sekä lomakkeilla kunnossapitoasentaja pystyy suorittamaan säännöllisiä mittauksia, eli siltä osin tavoitteet saavutettiin. Mittaustuloksia voidaan tallentaa ohjeiden avulla, jolloin niistä hyödytään mahdollisissa vikatilanteissa. Mittausreittiin sekä tulosten raportointiin syntyy varmasti ajan kanssa rutiini, jolloin työn suoritus aika lyhenee.

Tallennettuja mittaustuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi laitteen kuluneisuuden tutkimisessa. Esimerkiksi siirtymän (μm) arvojen suureneminen viittaa mekaanisten osien väljyyteen. Jos mittauksessa on ollut kaksi samanveroista laitetta, niin näiden kahden laitteen tuloksia vertaamalla voidaan mahdollisesti todeta toisessa laitteessa oleva vika.

Mitattaviksi laitteiksi valittiin hieman yli 30 laitetta käyttöhyödykkeiden tuotannosta sekä tuotteen valmistusprosessista. Jatkossa voidaan pohtia, onko kaikkien näiden laitteiden mittaus taloudellisesti kannattavaa vai pitäisikö laitemäärää lisätä tai vähentää. Jos mittaukset koetaan tarpeellisiksi ja helpoiksi toteuttaa, niin laitemäärää voidaan lisätä kriittisyysjärjestyksen mukaan. Laitteen tulee kuitenkin olla sellainen, jolle mittaus on teknisesti mahdollista toteuttaa sekä sen kuntoa voidaan värähtelymittauksen avulla analysoida. Mittauspisteitä valituissa laitteissa voidaan lisätä, jos se koetaan tarpeelliseksi.

Valitut laitteet olivat myös sellaisia, jolle mittaus voitiin suorittaa ilman suurempia esitoimenpiteitä. Esimerkiksi suodatuslaitteiden pumppujen sähkömoottorit ovat kaikki koteloituna vankkojen suojaletien alla, joten niitä ei valittu lyhyen aikavälin mittauskierroksiin mukaan. Tällaisille laitteille tulisi jatkossa suorittaa tarkastusmittauksia hieman harvemmillä aikavälillä esimerkiksi puolen vuoden tai vuoden välein. Tarkastusmittauksilla saataisiin tieto alkavasta vikaantumisesta, jolloin voitaisiin

aloittaa kalliiden sekä toimitusajaltaan pitkien laitteiden korjauksen suunnittelu ennen vauriota.

Online-mittauksessa oli opinnäytetyön tekohetkellä vain B-rakennuksen ammoniak-kikompressorit. Jatkotutkimusaiheena jatkuvaa kunnonvalvontaa on mahdollista lisätä muihinkin meijerin kriittisiin laitteisiin, sillä sen avulla saadaan huomattavasti tarkempi kuva laitteen kunnosta. Kaikki mittaustulokset tallentuvat, jolloin vian ilmettyä voidaan tallentuneita värähtelyarvoja käyttää apuna juurisyyn selvittämisessä. Online-mittauksen käyttöönottokustannukset ovat korkeammat kuin käsimittalaitteen, mutta kustannuksia tulee verrata siitä saatavaan hyötyyn. Jos säännöllisesti tehtäviä käsimittauksia ei koeta riittäviksi, niin tulee suunnitella online-mittaukseen siirtymistä.

Opinnäytetyössä koottiin taulukkomuotoon mitattavien suureiden raja-arvoja, jotka perustuvat SFS ISO 10816-3 sekä 10816-7-standardeihin. Monet yleisohjeet, kuten myös Adash Vibrio 4900 III-käsimittalaitteeseen ohjelmoidut hälytysrajat, perustuvat näihin samoihin standardeihin. Standardit ovat ohjeita sekä määritelmiä, eli ne eivät pakota tai käske toimimaan niiden mukaan. Tämä tulee ottaa huomioon, kun verrataan mittaustuloksia näihin raja-arvoihin. Standardirajat on laadittu hyvin laajasti laitetyyppien mukaan, joten on mahdollista, että laitevalmistaja voi ilmoittaa näistä poikkeavia raja-arvoja. Laaditut taulukot ovat apuna kaikkien laitteiden mittaustulosten tulkinnessa. Jatkossa, kun laitteista saadaan kerättyä luotettavia mittaustuloksia, niin laitetoimittajilta voidaan tiedustella tarkempia laitekohtaisia värähtelyn raja-arvoja.

Tarkemmat laitekohtaiset hälytysrajat voidaan myös jatkossa asettaa Octavis-värähtelymittausohjelmaan. Tällä hetkellä, jos hälytysraja ylittyy, niin se sytyttää kytkentäkaapin ovelle olevan keltaisen tai punaisen valon hälytysrajan mukaan. Tämä hälytysvalon ohjaus voitaisiin kytkeä myös kiinteistön kunnonvalvontaohjelmaan, josta seurataan esimerkiksi käyttöhyödyketuotannon toimintaa. Värähtelyn hälytysrajan ylittyessä, se antaisi hälytyksen valvontaohjelmaan sekä ilmoitustekstiviestin päivystyspuhelimeen.

Paras hyöty mittaustulosten seurannasta saataisiin, jos olisi olemassa mittaustulokset uudenveroisen laitteen kunnosta. Tällä tavoin voitaisiin verrata aivan uuden ja hie-
man käytetyn laitteen tuloksia alkavaan vikaantumiseen. Vanhan laitteen kunnan
arviointi on vaikeaa, jos ei tiedetä mikä on ollut värähtelyarvojen lähtötilanne, johon
niitä verrattaisiin. Jatkossa kaikille laitteille, joita meijerille tullaan hankkimaan ja
niihin aiotaan soveltaa tätä mittaussuunnitelmaa, tulisi suorittaa käyttöönototarkas-
tuksessa myös värähtelymittaus ja tallentaa nämä tulokset myöhempää käyttöä var-
ten.

Opinnäytetyön aikana perehdyttiin myös muihin mahdollisiin käsimittalaitteisiin.
Adash Vibrio 4900-käsimittalaitteesta on saatavissa myös kehittyneempi 4900 M-
malli. Mittalaite eroaa vanhemmasta III-mallista siten, että siinä on muistitoiminto,
jonka avulla voidaan tallentaa värähtelyarvoja tietyn ajanjakson ajan ja siirtää tallen-
tuneet tulokset tietokoneelle. Mittalaitteen mukana tulee myös tietokone-ohjelma,
jolla voidaan tarkastella mittaustuloksia, määrittää mitattavien laitteiden tiedot ja
muodostaa mittausreitit mittalaitteen muistiin. Mitatessa voidaan valita mittalait-
teen valikosta mitattavan laitteen tiedot, jolloin mittalaite asettaa hälytysrajat auto-
maattisesti. Värähtelyarvoja voidaan tallentaa halutulta ajalta laitteen muistiin. Muu-
ten mittalaite on samanlainen vanhemman mallin kanssa.

Mittalaitteen kehittyneempi versio antaisi luotettavamman tiedon värähtelyarvoista,
sillä tulosten dokumentoinnissa ei olisi mahdollisuutta tulkintavirheisiin tai inhimilli-
siin virheisiin, mikä on mahdollista tulosten käsin kirjaamisessa. Mittausten suoritta-
mista helpottaisi myös huomattavasti, jos mitattavan laitteen hälytysrajat olisivat
automaattisesti käytössä, eikä tulisi sitä vaaraa, että mitatessa seurataankin väärän
laitteen hälytysrajoja. Opinnäytetyön toteutusvaiheen aikana tehtiin tarjouspyyntö
tämästä Vibrio M-mallista ja tarjouspyyntö on toimitettu meijerin kunnossapitohenkilös-
tölle. Myöhemmin voidaan tehdä päätös tällaisen mittalaitteen hankkimisesta, jos
sen koetaan helpottavan värähtelymittausten suorittamista.

9 Pohdinta

Opinnäytetyölle asetettiin alussa lukuisia tavoitteita, mitkä kuitenkin tiivistyivät työn edetessä yhdeksi kokonaisuudeksi, joka oli sisällön luominen kunnossapitoasentajan suorittamalle ennakkohuoltotyölle. Tavoite sisälsi kuitenkin runsaasti osakokonaisuuksia, jotka kaikki tukivat tavoitteen saavuttamista. Alun perin sivutavoitteena oli ollut myös taloudellisimman voitelumenetelmän perustelu ja valinta kriittisimmille laitteille, mutta tämä tavoite jätettiin työstä pois aikataulujen takia. Toinen tavoite, mikä jouduttiin aikataulujen takia jättämään työstä pois, oli konkreettinen värähtelyantureiden asennus JK2 ammoniakkipressorille. Tästä luovuttiin sähköasentajien koulutusjaksojen ja talvilomien takia, mutta asennus tulee tapahtumaan myöhemmin loppuvuodesta. Tavoitteiden karsiminen ei mielestäni heikentänyt työn laatua, vaan se antoi enemmän aikaa keskittyä päätavoitteisiin.

Mielestäni opinnäytetyön tulokset ovat tavoitteisiin nähden riittävät, sillä laadituilla dokumenteilla ja lomakkeilla pystytään jatkossa suorittamaan värähtelymittauksia ja hyödyntämään mittaustuloksia laitteiden kunnossapidossa. Tulokset toimivat myös toimintatapana, jota noudattamalla voidaan jatkossa lisätä mittauskierrokseen kuuluvia laitteita. Laadittu mittauslomake on Excel-pohjaisena muokattavissa helppo-käyttöisemmäksi, jos sen käyttämisessä koetaan olevan epäkohtia. Opinnäytetyön raportoinnissa yritin välttää toimeksiantajalle arkaluontoisten asioiden kuvaamista kuten tuotantolaitteiden tarkkoja toimintakuvauksia. Työn jatkotutkimusaiheiksi muodostui muutama selkeä kokonaisuus esimerkiksi tulevien opinnäytetöiden aiheiksi.

Onnistumisena koen vahvan yhteistyön toteutumisen meijerin kunnossapito- sekä tuotantohenkilöstön kanssa. Opinnäytetyö eteni tasaisella tahdilla ja laaditussa aikataulussa pysyttiin. Koen, että työn alussa laadittu suunnitelma aikatauluineen oli onnistunut, sillä se selkeytti opinnäytetyön vaiheita. Aihe oli mielenkiintoinen ja haastava, sillä toteutusympäristö oli ennestään tuttu, mutta värähtelymittaus oli itselleni aiheena uusi. Uskon, että työn tuloksia voidaan hyödyntää meijerillä suoritettavissa värähtelymittauksissa. Epäonnistumisena koen sen, ettei kaikkiin alkuperäisiin tavoit-

teisiin päästy ajan puutteesta johtuen. Minusta oli kuitenkin hyvä, että ylimääräisistä tavoitteista luovuttiin aikaisessa vaiheessa. Rajoitteena työn etenemiselle oli alkuvaiheessa todettu tehtaan sisäinen yhteysongelma, joka esti värähtelymittausohjelman käytön. Ongelman ratkaisemiseen kului pari viikkoa työn suunnitellusta toteutusaikataulusta.

Onnistuin myös löytämään työn lähdemateriaaliksi luotettavia alan standardeja. Osa standardeihin pohjautuvasta lähdemateriaalista oli lainattu vanhasta painoksesta, mikä ei kuitenkaan vaikuta tiedon luotettavuuteen, sillä standardit eivät ole muuttuneet niiden julkaisun jälkeen. Olisin voinut käyttää lähdemateriaalina enemmän tutkimuksia, jolloin työn tietoperustasta olisi tullut monipuolisempi.

Kiitos kuuluu kaikille henkilöille, jotka olivat mukana työn toteutuksessa.

Lähteet

ABB:n pienjännitemoottorit. 2014. ABB Oy:n koulutusmateriaali. Tekijä: Kinnunen, J. Pdf-tiedosto. Viitattu 10.4.2017.

http://cna.mamk.fi/Public/FJAK/YAMK/Sahkokaytto/Materiaalit/ABBn%20moottorikoulutusmateriaali_10%202014.pdf

Adash 4900 – Vibrio III User’s Guide. N.n. 2012. Käsimittalaitteen mukana tulleet käyttöohjeet. Pdf-tiedosto. Viitattu 2.4.2017

Fourier Transform. N.n. 2017. Opetusmateriaali MRIquestions-sivustolla. Kuvalähde leikattu materiaalista. Viitattu 21.3.2017. <http://mriquestions.com/fourier-transform-ft.html>

Harju, M. N.d. Aaltomuoto. Opetusmateriaali äänen ominaisuuksista. Kuvalähde leikattu materiaalista. Viitattu 21.3. 2017.

<https://aaltomuoto.wordpress.com/aani/aanitekniikan-perusteet/2-aanen-ominaisuuksia/>

Hirsjärvi, S. Remes, P. Sajavaara, P. 2007. Tutki ja kirjoita. 13. osin uudistettu painos. Helsinki: Tammi. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu.

Inman, D. J. 2009. Engineering vibrations. New Jersey: Pearson Education Inc. Painopaikka: United States of America.

Johdanto kunnonvalvontaan. N.n N.d. Oppimateriaali opetushallituksen ylläpitämällä Edu.fi-sivustolla. Viitattu 15.4.2017.

http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_johdanto_kunnonvalvontaan.html

Jyväskylän meijerissä tehdään erikoismaitoja koko Suomeen. N.n. 26.5.2015. Artikkelit Valion kotisivulla. Viitattu 2.3.2017. <https://www.valio.fi/yritys/artikkelit/jyvaskylan-meijerissa-tehdaan-erikoismaitoja-koko-suomeen/>

Järviö, J. & Lehtiö, T. 2012. Kunnossapito: tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 5. uud.p. Helsinki: KP-Media Oy.

Kananen, J. 2013. Case-tutkimus opinnäytetyönä. Suomen Yliopistopaino Oy. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 143.

Karonen, I. 2005. Mass-Spring-Damper.svg. Kuva Wikimedia Commons-sivustolla. Viitattu 9.3.2017. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mass-Spring-Damper.svg?uselang=fi#filelinks>

Maidon käsittely meijerissä. N.n. N.d. Oppimateriaali Milk Works-sivustolla. Viitattu 25.3.2017. <http://www.milkworks.fi/oppimateriaali/kasittely-meijerissa/Sivut/default.aspx>

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

Nohynek, P & Lumme, V. E. 1996. Kunnanvalvonnan värähtelymittaukset. Rajamäki: KP-Tieto Oy. Julkaisija: Kunnossapitoyhdistys ry. Painopaikka: Painoyhtymä Oy, Loviisa.

Näin toimimme. N.n. 2017. Yrityksen toimintamalli Valion kotisivulla. Viitattu 2.3.2017. <https://www.valio.fi/yritys/nain-toimimme/>

Partti, J. 2015. Jyväskylän meijerin yleisesittely. Yrityksen sisäinen perehdytysmateriaali. PowerPoint-esitys. Viitattu 10.3.2017. <http://tyotilat.valio.fi/sites/Esityspankki/Valio/Forms/AllItems.aspx>

Pennala, E. 1999. Koneiden ja rakenteiden värähtelyt. Otatieto:Oy Yliopistokustannus. Painopaikka: Helsinki, Yliopistopaino.

PSK 5702. 2007. Kunnanvalvonnan värähtelymittaus. Mittauspisteen valinta ja tunnistaminen. Standardi. 3. painos. Julkaisija: PSK Standardisointiyhdistys ry. Viitattu 21.3.2017 www.psk-standardisointi.fi/Standard/Ryhma57/psk5702.pdf

PSK 5705. 2006. Kunnanvalonta. Värähtelymittaus. Mittaustoiminnan suunnittelu. Standardi. 5. painos. Julkaisija: PSK Standardisointiyhdistys ry. Viitattu 21.3.2017 www.psk-standardisointi.fi/Standard/Ryhma57/psk5705.pdf

PSK 5707. 2011. Kunnanvalvonnan värähtelymittaus. Vianmääritys. Standardi. 5. painos. Julkaisija: PSK Standardisointiyhdistys ry. Viitattu 22.3.2017 www.psk-standardisointi.fi/Standard/Ryhma57/psk5707.pdf

PSK 6201. 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. Standardi. 3. painos. Julkaisija: PSK Standardisointiyhdistys ry. Viitattu 22.3.2017 www.psk-standardisointi.fi/Standard/Ryhma62/psk6201.pdf

SFS ISO 10816-3. 2012. Mechanical vibration. Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ. Standardi. Julkaisija: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS ISO 10816-7. 2017. Mechanical vibration. Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. Part 7: Rotodynamic pumps for industrial applications, including measurements on rotating shafts. Standardi. Julkaisija: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Taloudellinen vaikuttavuus. N.n. 2015. Yritysvastuuraportti Valion kotisivulla. Viitattu 1.3.2017. <https://www.valio.fi/yritysvastuuraportti/2015/taloudellinen-vastuu/taloudellinen-vaikuttavuus/>

van Lieshout, L. 2009. DOF Degrees of freedom (mechanics).png. Kuva Wikimedia Commons-sivustolla. Viitattu 12.3.2017.
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DOF_Degrees_of_freedom_\(mechanics\).png?uselang=fi](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DOF_Degrees_of_freedom_(mechanics).png?uselang=fi)

Valion johto ja organisaatio. N.n. 2017. Yritystietoja Valion kotisivulla. Viitattu 1.3.2017. <https://www.valio.fi/yritys/yritystieto/johto-ja-omistajat/>

Valion Yhteystiedot. N.n. 2017. Yhteystietoja Valion kotisivulla. Viitattu 1.3.2017. <https://www.valio.fi/yritys/yhteystiedot/>

Värähdysliike on säännöllistä liikettä. N.n. N.d. Fysiikan opetusmateriaali, Velkuan koulu. Viitattu 21.3.2017. <https://peda.net/naantali/velkuan-koulu/oppiaineet2/fysiikka/efysiikka-722/aal>

Värähtelymittauksen perusteet. N.n. 2014. MLT Machine & Laser Technology Oy:n & Prüftechnikin koulutusmateriaali. Pdf-tiedosto. Esittäjä: Mikkonen, P. Kuvan lähde sähköpostiviesti 10.3.2017 Vastaanottaja: Mikkonen, P. Viitattu 13.3.2017.

Liitteet

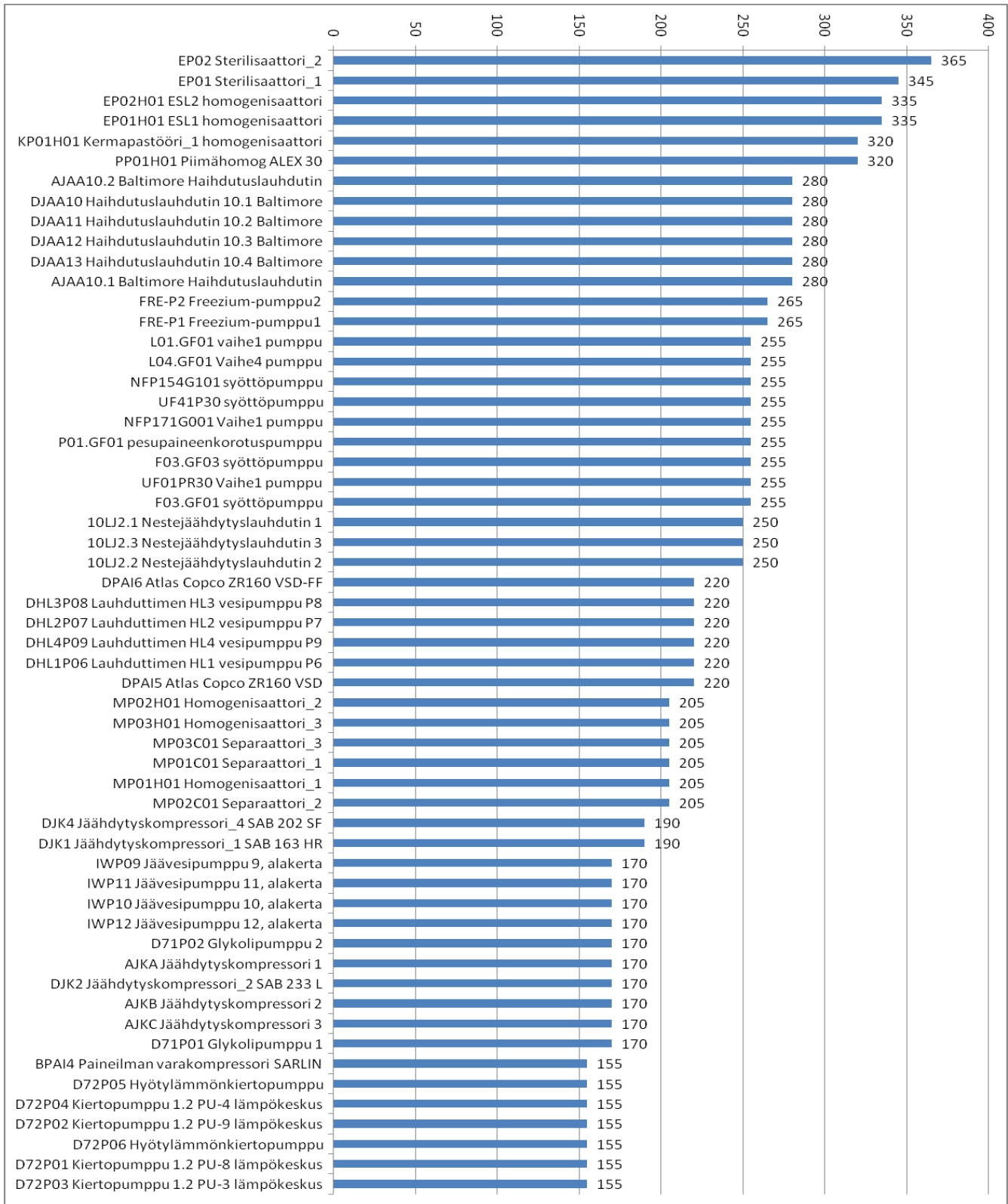
Liite 1. Kriittisyysluokittelun kriteerit

	Kriteeri	Määrittäjärajat
	Henkilöresurssit	Osaamisen kannalta
1	1= Ei erillistä koulutusvaatimusta	Yli 10 hlö
2	2= Meijerin kunnossapitohenkilöstö	10 hlö
3	3= Tehtävään koulutettu osaaja (hitsari/sähkömies/yms.)	4-6 hlö
4	4= Laitteiston erikoisosaaja	1-3 hlö
5	5= Ulkopuolinen erikoisosaaja	Alle 1 hlö
	Kauanko laite saa olla vikaantunut	Tuotannon kannalta
1	1= Ei vaikutusta	1 vko
2	2= Toimintaa haittaava vaikutus	1 pv
3	3= Viikkorytmin kannalta kriittinen	12 h
4	4= Keskeyttävä vaikutus	Alle 4 h
5	5= Muun toiminnan keskeyttävä vaikutus	Alle 15 min (heti)
	Laitteen huollettavuus	Huollon kannalta
1	1= Hyvät tai kohtuulliset, lattiatasolla	Huoltoaika alle 1h
2	2= Kuuma, kylmä, likaa tai hankala luoksepäästävyys	Huoltoaika 1-4h
3	3= Ankarat olosuhteet tai laitteen luokse ei pääse purkamatta	Huoltoaika 4-8h
4	4= Edellyttää tuotannon suunnittelua huollon / korjauksen suhteen	Huoltoaika yli 8h
5	5= Työturvallisuusriski, erillinen työsuunnitelma	Huoltoaika yli 24h
	Varaosien saatavuus	Toimitusaika
1	1= Varaosa on omassa varastossa	Alle 1 tunti
2	2= Varaosa on Suomessa varastoituna	Alle 24 h
3	3= Toimituksessa kestää päiviä	Yli 24 h - 7 päivää
4	4= Toimituksessa kestää viikkoja	1 viikko ->
5	5= Varaosaa ei enää valmisteta	?
	Ympäristö- ja työturvallisuus	Viranomaisten määräysten kannalta
1	1= Ei ympäristövaikutuksia / merkityksetön tapaturmariski	Normaalit tuotanto-olosuhteet
2	2= Vähäinen riski	Tilannetta tulee seurata
3	3= Tilapäisiä ylityksiä jätevesilaitokselle / kohtalainen tapaturmariski	Neutralointi / toimenpiteet mitoitettava ja aikataulutettava
4	4= Merkittävä riski	Riskiä on pienennettävä, toimenpiteistä tiedotettava
5	5= Kemikaalivuoto - päästörajojen ylitys / sietämätön tapaturmariski	Ammoniakki, lipeä, typpihappo, jäteöljy / välittömät toimet
	Häiriöherkkyyks	Kuinka usein laite on häiriössä
1	1= Varmakäyntinen	Vikaantumisväli 2-5v
2	2= Vähäisiä häiriöitä	Vuosittain
3	3= Häiriöherkkä	Kuukausittain
4	4= Erittäin häiriöherkkä	Viikottain
5	5= Vikaantuva ongelmalaite	Päivittäin
	Taloudellinen tappio	Meijerin kannalta
1	1= Ei vaikutusta	Ei näkyvää vaikutusta
2		
3	3= Vaikutusta	Vaiuttaa toimituksiin
4		
5	5= Suuri vaikutus	Puutteita toimituksissa

Liite 2. Kriittisyyssluokittelun tulokset

Pisteet	LUOKKA	Sijainti	Laite ja positio	Henkilö- resurssit 1...5	Vika- aika 1...5	Huollet- tavuus 1...5	Ympäristö- vaikutukset 1...5	Häiriö- herkkyys 1...5	Tuotannon menetykset 1...5	Varaosien saatavuus 1...5
YHT			Painoarvo	10	15	15	15	20	25	15
205	B	Valmistus	MP01C01 Separaattori_1	2	2	3	2	2	1	1
205	B	Valmistus	MP01H01 Homogenisaattori_1	2	2	3	2	2	1	1
205	B	Valmistus	MP02C01 Separaattori_2	2	2	3	2	2	1	1
205	B	Valmistus	MP02H01 Homogenisaattori_2	2	2	3	2	2	1	1
205	B	Valmistus	MP03C01 Separaattori_3	2	2	3	2	2	1	1
205	B	Valmistus	MP03H01 Homogenisaattori_3	2	2	3	2	2	1	1
335	A	Valmistus	EP01H01 ESL1 homogenisaattori	2	4	3	2	2	5	1
345	A	Valmistus	EP01 Sterilisaattori_1	3	4	3	2	2	5	1
335	A	Valmistus	EP02H01 ESL2 homogenisaattori	2	4	3	2	2	5	1
365	A	Valmistus	EP02 Sterilisaattori_2	3	4	3	2	3	5	1
320	A	Valmistus	PP01H01 Piimähomog ALEX 30	2	3	3	2	2	5	1
320	A	Valmistus	KP01H01 Kermapastööri_1 homogenisaattori	2	3	3	2	2	5	1
		Suodatus	RO01P01 RO-laitteiston pumput							
255	B	Useita	F03.GF03 syöttöpumppu	2	3	3	1	2	3	1
255	B	Useita	L01.GF01 vaihe1 pumppu	2	3	3	1	2	3	1
		Suodatus	MF01P01 MF-laitteiston pumput							
255	B	Useita	F03.GF01 syöttöpumppu	2	3	3	1	2	3	1
255	B	Useita	L04.GF01 Vaihe4 pumppu	2	3	3	1	2	3	1
255	B	Useita	P01.GF01 pesupaineenkorotuspumppu	2	3	3	1	2	3	1
		Suodatus	UF01P01 UF-laitteiston pumput							
255	B	Useita	UF41P30 syöttöpumppu	2	3	3	1	2	3	1
255	B	Useita	UF01PR30 Vaihe1 pumppu	2	3	3	1	2	3	1
		Suodatus	NF01P01 NF-laitteiston pumput							
255	B	Useita	NFP154G101 syöttöpumppu	2	3	3	1	2	3	1
255	B	Useita	NFP171G001 Vaihe1 pumppu	2	3	3	1	2	3	1
170	C	B-rakennus	IWP09 Jäävesipumppu 9, alakerta	2	2	1	1	1	1	3
170	C	B-rakennus	IWP10 Jäävesipumppu 10, alakerta	2	2	1	1	1	1	3
170	C	B-rakennus	IWP11 Jäävesipumppu 11, alakerta	2	2	1	1	1	1	3
170	C	B-rakennus	IWP12 Jäävesipumppu 12, alakerta	2	2	1	1	1	1	3
155	C	B-rakennus	BPAI4 Paineilman varakompressori SARLIN	2	1	1	1	1	1	3
170	C	A-rakennus	AJKA Jäähdytyskompressori 1	2	1	1	2	1	1	3
170	C	A-rakennus	AJKB Jäähdytyskompressori 2	2	1	1	2	1	1	3
170	C	A-rakennus	AJKC Jäähdytyskompressori 3	2	1	1	2	1	1	3
280	B	A-rakennus	AJAA10.2 Baltimore Haihdutuslauhdutin	2	2	1	5	1	3	3
280	B	A-rakennus	AJAA10.1 Baltimore Haihdutuslauhdutin	2	2	1	5	1	3	3
155	C	D-rakennus	D72P01 Kiertopumppu 1.2 PU-8 lämpökeskus	2	1	1	1	1	1	3
155	C	D-rakennus	D72P02 Kiertopumppu 1.2 PU-9 lämpökeskus	2	1	1	1	1	1	3
155	C	D-rakennus	D72P03 Kiertopumppu 1.2 PU-3 lämpökeskus	2	1	1	1	1	1	3
155	C	D-rakennus	D72P04 Kiertopumppu 1.2 PU-4 lämpökeskus	2	1	1	1	1	1	3
155	C	D-rakennus	D72P05 Hyötylämmönkiertopumppu	2	1	1	1	1	1	3
155	C	D-rakennus	D72P06 Hyötylämmönkiertopumppu	2	1	1	1	1	1	3
265	B	D-rakennus	FRE-P1 Freezium-pumppu1	2	2	2	3	1	3	3
265	B	D-rakennus	FRE-P2 Freezium-pumppu2	2	2	2	3	1	3	3
280	B	D-rakennus	DJAA10 Haihdutuslauhdutin 10.1 Baltimore	2	2	1	5	1	3	3
280	B	D-rakennus	DJAA11 Haihdutuslauhdutin 10.2 Baltimore	2	2	1	5	1	3	3
280	B	D-rakennus	DJAA12 Haihdutuslauhdutin 10.3 Baltimore	2	2	1	5	1	3	3
280	B	D-rakennus	DJAA13 Haihdutuslauhdutin 10.4 Baltimore	2	2	1	5	1	3	3
250	B	D-rakennus	10LJ2.1 Nestejäähdytyslauhdutin 1	2	3	1	2	1	3	3
250	B	D-rakennus	10LJ2.2 Nestejäähdytyslauhdutin 2	2	3	1	2	1	3	3
250	B	D-rakennus	10LJ2.3 Nestejäähdytyslauhdutin 3	2	3	1	2	1	3	3
220	B	D-rakennus	DHL4P09 Lauhduttimen HL4 vesipumppu P9	2	2	1	1	1	3	3
220	B	D-rakennus	DHL3P08 Lauhduttimen HL3 vesipumppu P8	2	2	1	1	1	3	3
220	B	D-rakennus	DHL2P07 Lauhduttimen HL2 vesipumppu P7	2	2	1	1	1	3	3
220	B	D-rakennus	DHL1P06 Lauhduttimen HL1 vesipumppu P6	2	2	1	1	1	3	3
190	C	D-rakennus	DJK1 Jäähdytyskompressori_1 SAB 163 HR	2	1	1	2	2	1	3
190	C	D-rakennus	DJK4 Jäähdytyskompressori_4 SAB 202 SF	2	1	1	2	2	1	3
170	C	D-rakennus	DJK2 Jäähdytyskompressori_2 SAB 233 L	2	1	1	2	1	1	3
170	C	D-rakennus	D71P01 Glykolipumppu 1	2	1	1	2	1	1	3
170	C	D-rakennus	D71P02 Glykolipumppu 2	2	1	1	2	1	1	3
220	B	D-rakennus	DPAI5 Atlas Copco ZR160 VSD	2	2	1	1	1	3	3
220	B	D-rakennus	DPAI6 Atlas Copco ZR160 VSD-FF	2	2	1	1	1	3	3

Liite 3. Laitteiden kriittisyysjärjestys



Liite 5. Adash Vibrio 4900 III-mittalaitteen käyttöohjeet.

Adash Vibrio 4900 III- käsimitalaite

Käyttöohjeet

Tarvikkeet



Mitä mitataan?



- ▶ Värähtelysuureet
 - Nopeus
 - Kiihtyvyys
 - Siirtymä
- ▶ Laakereiden kunto
- ▶ Lämpötila
- ▶ Pyörimisnopeus
- ▶ Epätasapaino
- ▶ Väljyys
- ▶ Linjaus

Mittalaitteen käsittely



Mittaaminen

- ▶ Kytke mittalaite päälle
- ▶ Aseta anturi magneetilla kiinni mittauspisteeseen
 - Tarkista, että anturi on tukevasti paikoillaan.
 - Syötä tarvittaessa pyörimisnopeus manuaalisesti.
- ▶ Selaa mittaustuloksia nuolinäppäimillä



Mittausvalikot

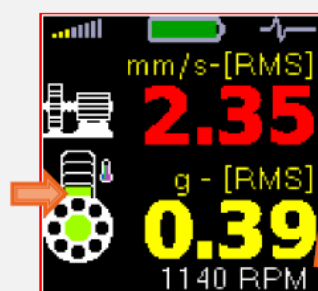
Lukeman väri kertoo hälytysrajan (F13, R13, F24, R24) Katso dia 12.
Normaali, Varoitus, Hälytys

Kuulokkeiden
äänenvoimakkuus

Paristojen
tila

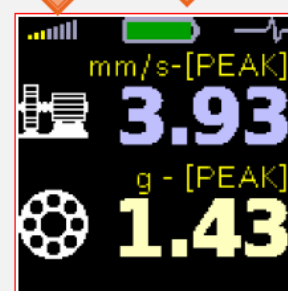
Mittaus
käynnissä

Kohteen
lämpötila



Pyörimis-
nopeus

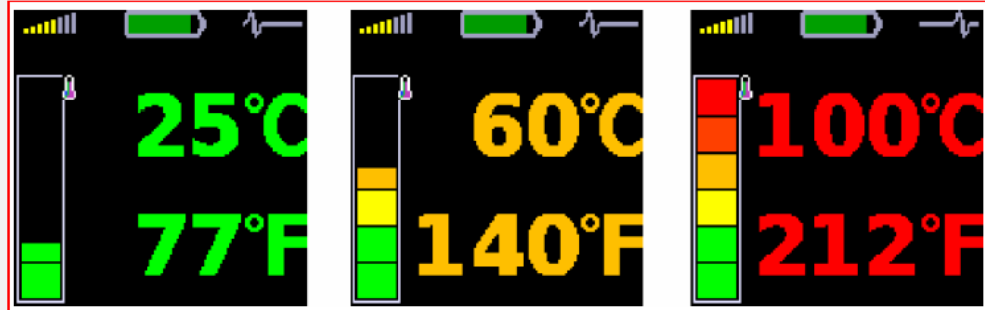
Kokonaisvärähtely
RMS



Värähtelyn huippuarvot
PEAK

Mittausvalikot

Mittausvalikon reunassa näkyy lämpötila esitettynä eri väreillä

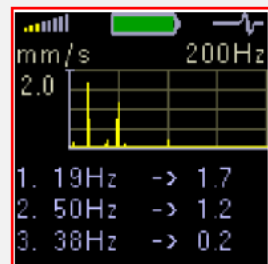


Lämpötila	Väri
Alle 30 °C	Green
30 °C - 45 °C	Yellow
45 °C - 60 °C	Orange
60 °C - 75 °C	Red
Yli 75 °C	Dark Red

Kuvalähde: Adash 4900 - Vibrio III User's Guide 2012, 20.)

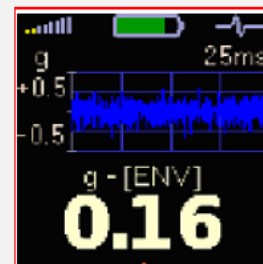
Mittausvalikot

FFT-näkymä.
Värähtelyt alueella
0 - 200 Hz



Kolme huippuarvoa
esitettynä: taajuus (Hz)
sekä amplitudi (mm/s)

Verhokäyräanalyysi:
ajanjakso 25 ms ja
amplitudi kiihtyvyyden (g)

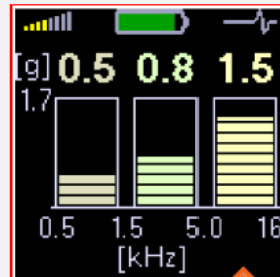


Kiihtyvyyden (g) arvo

Kuvalähde: Adash 4900 - Vibrio III User's Guide 2012, 26.)

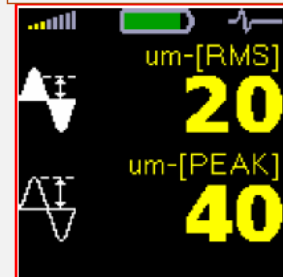
Mittausvalikot

Kiihtyvyyden arvot eri taajuusalueilla



Suurin arvo taajuusalueella
5,0 - 16 kHz

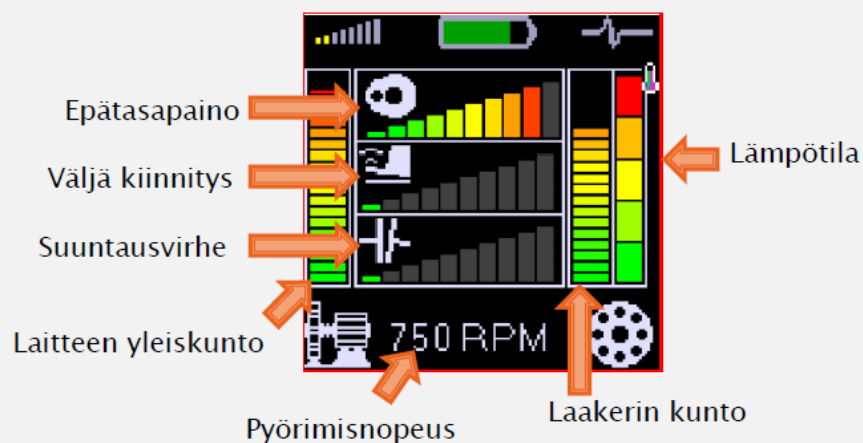
Siirtymän (μm)
kokonais- sekä
huippuarvot



Kuvalähde: Adash 4900 - Vibrio III User's Guide 2012, 27.)

Mittausvalikot

Yhdistelmänäkymä laitteen
yleiskunnon määrittämiseen



Kuvalähde: Adash 4900 - Vibrio III User's Guide 2012, 27.)

Asetukset



- ▶ **Light:** LED-valojen käyttäminen valaisimena ON/OFF
- ▶ **Strobo:** Stroboskoopin taajuussäätö sekä ON/OFF
- ▶ **Volume:** Kuulokkeiden äänenvoimakkuuden säätäminen



- ▶ **SETUP = Asetukset**
- ▶ **Speed:** Pyörimisnopeuden tunnistaminen Auto / Manual
- ▶ **Alarms:** Hälytysrajojen valinta (ks. Dia 12)
- ▶ **Units:** Mittayksiköt metri / tuuma

Kuvalähde: Adash 4900 – Vibrio III User's Guide 2012, 29.)

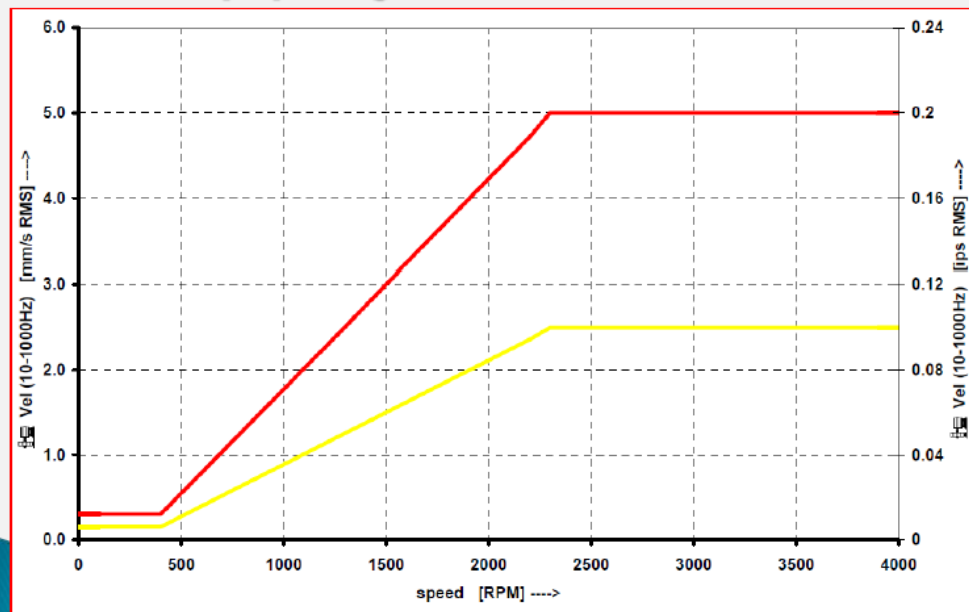
Hälytysrajat F13 R13 F24 R24

Luokka	Kuvaus	
1	Sähköteho yli 300 kW	Akselikorkeus yli 315 mm
2	Sähköteho 15 kW - 300 kW	Akselikorkeus 160 - 315 mm
3	Pumput, sähköteho yli 15 kW	Erillinen akseli
4	Pumput, sähköteho yli 15 kW	Yhtenäinen akseli

Luokat 1 ja 3	mm/s RMS	Alue
Jalusta		
Jäykkä (R13)	2,3	A/B
	4,5	B/C
	7,1	C/D
Joustava (F13)	3,5	A/B
	7,1	B/C
	11	C/D

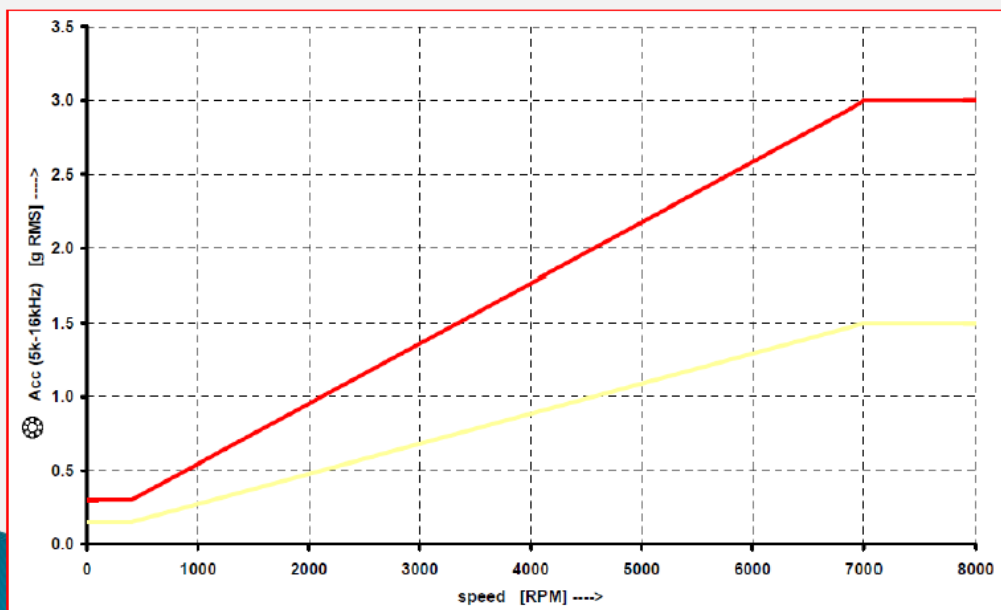
Luokat 2 ja 4	mm/s RMS	Alue
Jalusta		
Jäykkä (R24)	1,4	A/B
	2,8	B/C
	4,5	C/D
Joustava (F24)	2,3	A/B
	4,5	B/C
	7,1	C/D

Kierrosnopeuden vaikutus hälytysrajoihin (mm/s RMS)



Kuvalähde: Adash 4900 - Vibrio III User's Guide 2012, 14.)

Kierrosnopeuden vaikutus hälytysrajoihin (g RMS)



Kuvalähde: Adash 4900 - Vibrio III User's Guide 2012, 14.)

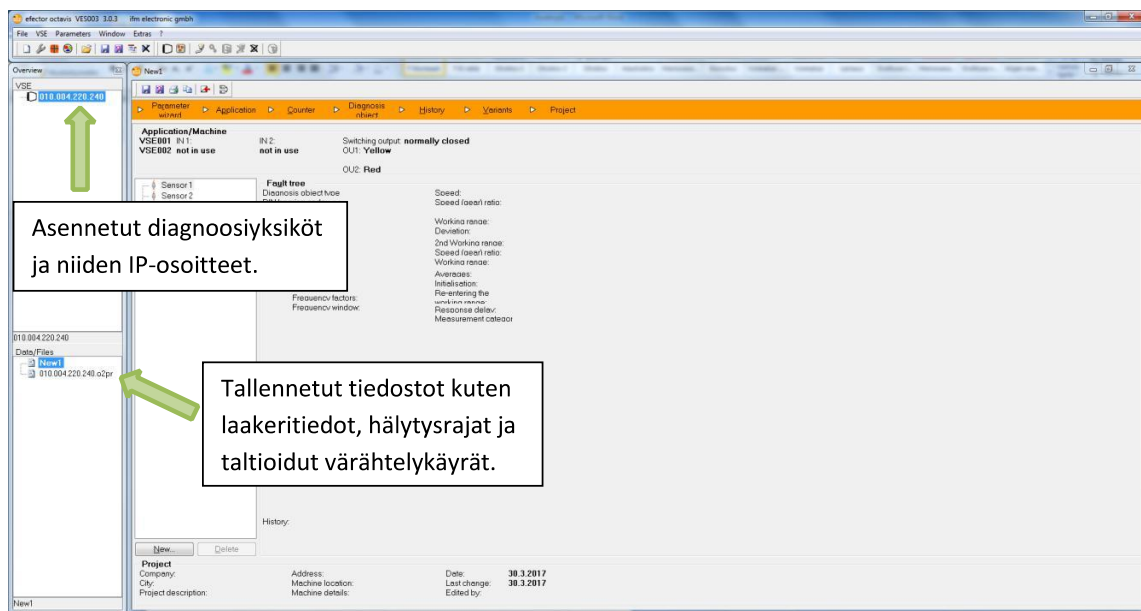
Liite 6. Käyttöohjeet mittaustulosten tarkkailuun Octavis VES003-ohjelmalla.

Octavis VES003-värähtelymittausohjelma

Käyttöohjeet mittaustulosten tarkkailuun

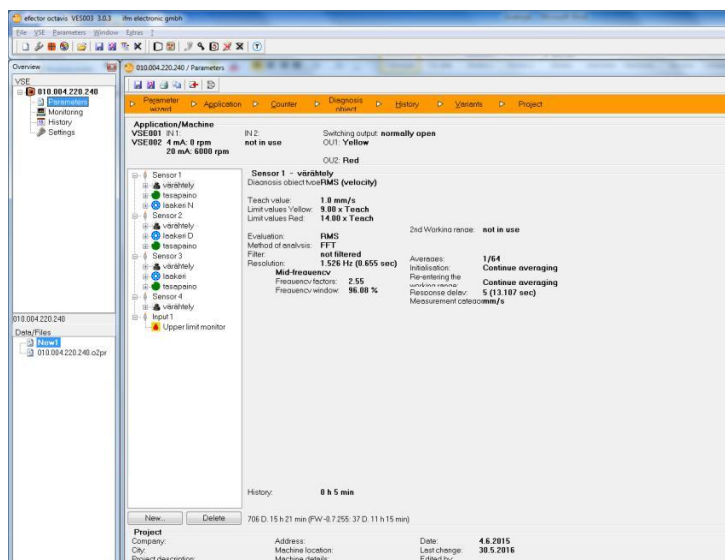
- Avaa ensin etäyhteys Octavikseen. Ohjeet löytyvät kansioista:
Y:\Kunnossapito\KIINTEISTÖN_VALVONTA\Värähtelymittaus\Ohjeet

Ohjelman aloitusnäkömä



- Yhteys diagnoosiyksikköön avataan tuplaklikkaamalla vasemmalla VSE-valikossa näkyvää IP-osoitetta.

Parameters-näkymä yhteyden avaamisen jälkeen.



Sensor 1 - laakeri N
 Diagnosis object type: Rolling element bearing
 Speed: 3000 rpm
 DIN bearing code: 6317
 Teach value: 0.5 mm/s (3000 rpm)
 Limit values Yellow: 5.00 x Teach
 Limit values Red: 9.00 x Teach

2nd Working range: not in use

Evaluation: RMS
 Method of analysis: FFT
 Filter: not filtered
 Resolution: 1.526 Hz (0.655 sec)

Rolling elements
 Frequency factors: 4.17
 Frequency window: 2.00 %

Averages: 1/8
 Initialisation: Continue averaging
 Re-entering the working range: Continue averaging
 Response delay: 5 (13.107 sec)
 Measurement category: mm/s

Anturin mittausasetukset. Tässä näkyy mitattava kohde esim. *Rolling element bearing DIN 6317* sekä värähtelyn perusarvo eli *Teach value*, jonka mukaan asetetaan hälytysrajat.

- Sensor 1-4: Asennetut värähtelyanturit. Jokaiselle anturille on määritelty mitattava tapahtuma kuten kuvassa näkyvät *värähtely*, *tasapaino* sekä *laakeri N/D*.
- Varoitus- (Limit values Yellow) sekä hälytysraja (Limit values Red) asetetaan *Kerroin x Teach value*. Alla olevassa kuvassa varoitusrajana 9 x Teach ja hälytysrajana 14 x Teach. Rajoja säädetään tuplaklikkaamalla lukemaa. Teach value voidaan asettaa manuaalisesti tai antaa ohjelman itse säätää arvo *Auto teach*-toiminnolla.

värähtely

Speed 2nd Working range Teach-in/Limit values History D

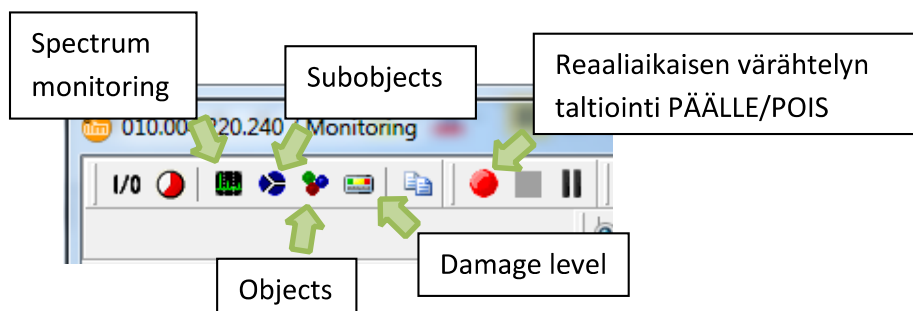
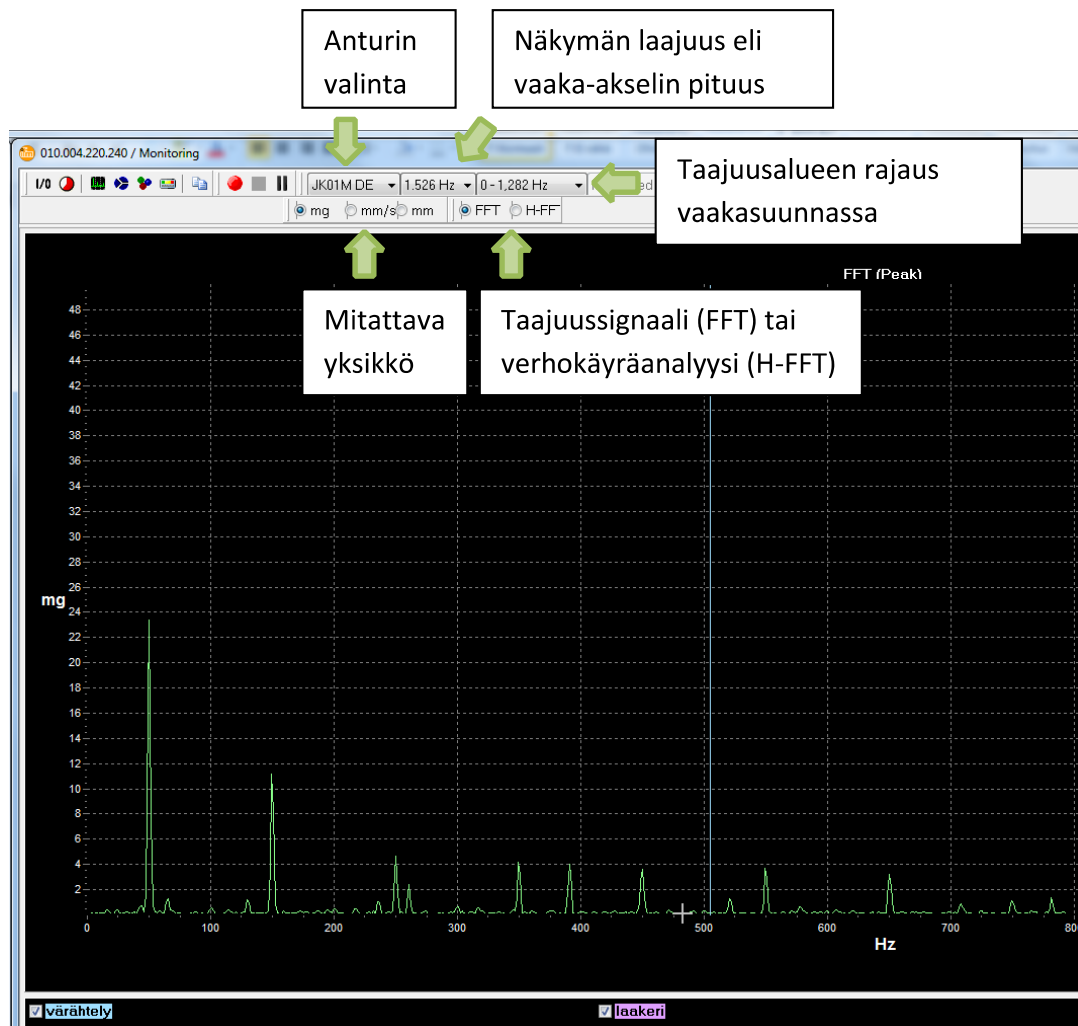
Teach-in
 Auto teach
 1.000 mm/s 6000 rpm
 function is "0", the Teach value already set in the VSE remains

Limit values
 Yellow 9.00 x Teach
 Red 14.00 x Teach

If the required Teach values have been calculated or if they are known from a previous identical reference machine, they can be entered into the parameter set and/or written on the Diagnostic Electronics. If the value 0 is entered the Teach values already set in the Diagnostic Electronics remain

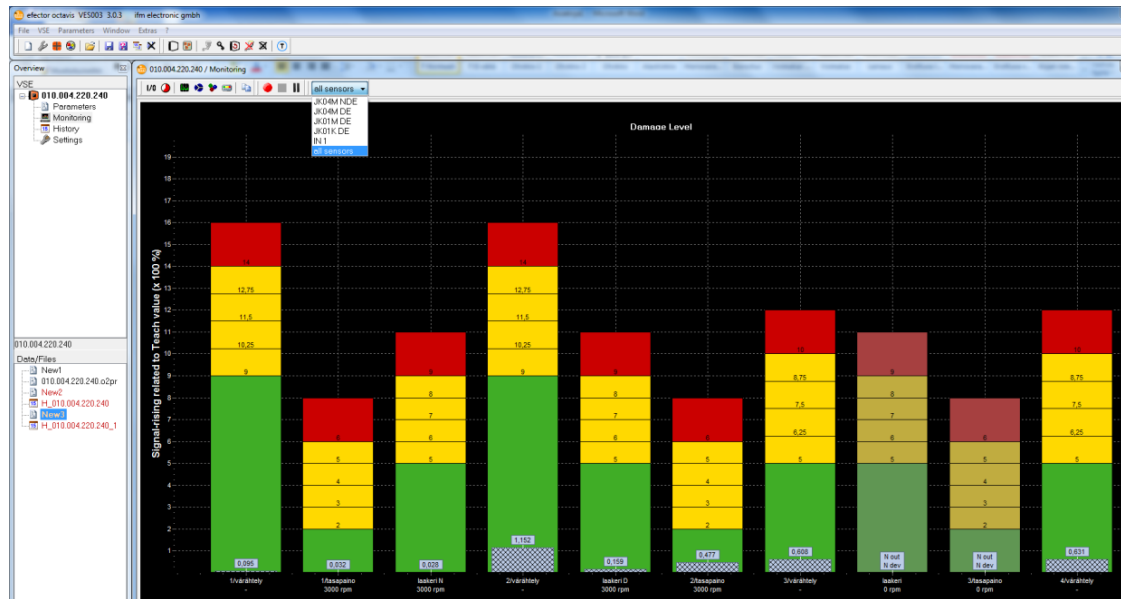
OK Cancel Help

Monitoring-näkymä

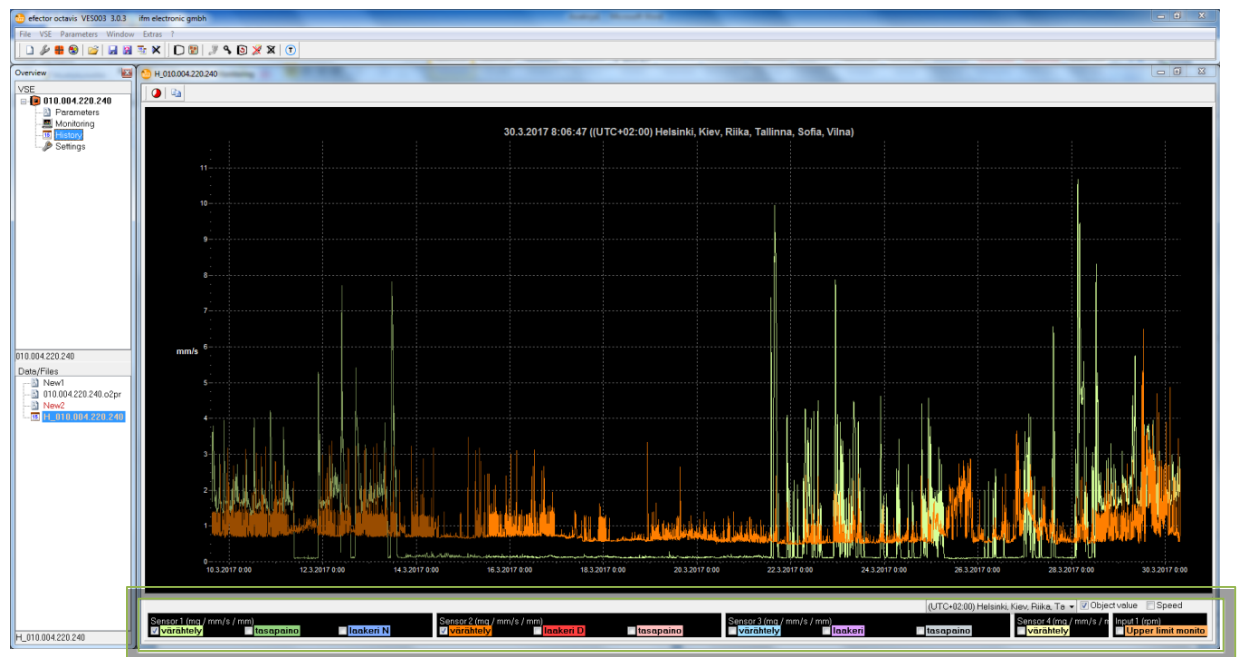


- **Spectrum monitoring:** Yllä oleva näkymä, jossa voidaan monipuolisesti tarkastella kunkin anturin mittaustuloksia reaaliaikaisesti.
- **Subobjects:** Voidaan tarkastella kutakin anturia erikseen ja valita mittaussuure.
- **Objects:** Näyttää kunkin anturin kaikki mittaussuureet samassa näkymässä.
- **Damage level:** Alla oleva näkymä, jossa tarkastellaan värähtelyä suhteessa hälytysrajoihin.

- Damage level-näkymässä voidaan tarkastella reaaliaikaisia värähtelyarvoja suhteessa asetettuihin hälytysrajoihin. Alasvetovalikosta voidaan valita jokainen anturi erikseen tai kaikki samaan näkymään kuten alla näkyvässä kuvassa.



History-näkymä



Alareunasta voidaan rastittamalla valita näkyviin tallentuneet mittaukset kullakin anturilta. Yhtä aikaa saadaan näkyviin esimerkiksi antureiden 1 ja 2 mittaamat laakereiden värähtelyarvot.