



**LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
*Lahti University of Applied Sciences*

# KUNNONVALVONNAN

## OPTIMOINTI

Case: Heinola Fluting

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Kone- ja tuotantotekniikan  
koulutusohjelma  
Tuotantopainotteinen mekatroniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2014  
Petri Salakka



Lahden ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

SALAKKA, PETRI:

Kunnonvalvonnan optimointi  
Case: Heinola Fluting

Tuotantopainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 34 sivua, 1 liitesivu

Kevät 2014

TIIVISTELMÄ

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin Stora Enson Heinolan Flutingtehtaalle. Työn toimeksiantaja oli kunnossapitoyritys Efora Oy.

Työn teoriaosuudessa käsitellään kunnonvalvontaa sekä lähinnä tärinän ja tärinämittausten perusteita. Siinä käydään läpi myös muita kunnonvalvonnan menetelmiä.

Opinnäytetyön aiheena oli optimoida tehtaan mekaanista kunnonvalvontaa. Tehtaalla on tällä hetkellä käytössä kunnonvalvontajärjestelmä, johon kerätään aistinvaraisia- sekä värähtely- ja lämpötilamittauksin saatuja tietoja laitteiden kunnosta. Tietoa antavat mittaukset ja tarkastukset suoritetaan varsinaisilla kunnonvalvontakierroksilla. Varsinaisten kunnonvalvontakierrosten tukena tehtaalla on käytössä ODR (Operator Driven Reliability) -kierrokset. Kierrosten sisältöjä vertailtaessa huomataan, että samoja laitteita saatetaan mitata päällekkäin molemmilla kierroksilla.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää kunnonvalvontajärjestelmän alaiset vähemmän kriittiset laitteet, joiden kunnonvalvonta voidaan toteuttaa riittävän luotettavasti ODR-kierroksilla. Päällekkäisyyksiä vähennetään karsimalla sopivia laitteita kunnonvalvontakierroksilta ja jatkamalla niiden tarkastuksia säännöllisesti ODR-kierroksilla. Optimoinnilla tavoitellaan kunnonvalvonnan resurssien kohdistamista kriittisempiin laitteisiin.

Työ suoritettiin määrittämällä vaatimukset, jotka laitteen tulisi täyttää ollakseen soveltuva karsittavaksi kunnonvalvontakierroksilta. Ominaisuuksien määrittelyn apuna käytettiin teoriakirjallisuuden lisäksi kunnonvalvojien haastatteluja. Kriteerien perusteella karsittiin päällekkäisten mittausten kohteita ja muodostettiin niistä tulokset.

Työn tuloksena saatiin listat koko tehtaan kunnonvalvonnan alaisista laitteista, joille suoritetaan päällekkäisiä kunnonvalvontatarkastuksia ja jotka voidaan ottaa harkintaan suunniteltaessa kunnonvalvonnan optimointia. Tulosten käyttöönottoa suunnitellaan aloitettavan tehtaan recovery-laitoksella.

Asiasanat: ODR, kunnossapito, luotettavuus, kunnonvalvonta, värähtely

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

SALAKKA, PETRI: Optimization of condition monitoring  
Case: Heinola Fluting

Bachelor's Thesis in Production Oriented Mechatronics  
34 pages, 1 page of appendices

Spring 2014

ABSTRACT

---

This study was made for Stora Enso Heinola Fluting Mill. The study was commissioned by a maintenance company called Efora Oy.

The theoretical part of the study presents condition monitoring in general and the basics of vibration and vibration measurements. Other condition monitoring methods are also introduced briefly.

The object of this commission was to optimize and improve the mill's mechanical condition monitoring. The present condition monitoring system collects data based on sensory perceptions and data from vibration and temperature measurements. The data is collected on actual condition monitoring routes as well as ODR (Operator Driven Reliability) routes by the operators. When comparing these two routes, it is noticeable that some machines are monitored on both routes.

The main goal of this thesis was to define less critical machines which can be monitored by Operator Driven Reliability routes. The idea is to transfer condition measuring resources to more critical machines, which would be monitored on the actual condition monitoring routes.

The practical part of the thesis was done by setting criteria which had to be fulfilled before the machine could be removed from the condition monitoring route. The criteria were based on theory and interviews with the mill's condition monitors. The rest of the work was to determine if each machine fulfills the criteria.

The result was a list of machines which are measured within both routes and which can be considered when planning optimization of condition monitoring. There is a plan to start utilizing the results at the recovery plant of the mill.

Key words: ODR, maintenance, reliability, condition monitoring, vibration

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	YRITYKSEN ESITTELY	2
2.1	Stora Enso Heinola Fluting	2
2.2	ABB	3
2.3	Efora Oy	4
3	KUNNONVALVONTA	5
3.1	Kunnonvalvontamittauksien menetelmät	8
3.1.1	Lämpötilamittaus	8
3.1.2	Värähtelymittaukset	9
3.1.3	Muut mittausmenetelmät	14
3.2	Kunnonvalvonnan toteutus Heinolan flutingtehtaalla	16
3.2.1	Kunnonvalvontamittaukset	16
3.2.2	ODR – Operator Driven Reliability	16
4	LAITTEISTO JA OHJELMISTO	18
4.1	SKF Microlog CMXA80	18
4.2	SKF Microlog Inspector	19
4.3	SKF @ptitude Analyst –ohjelmisto	21
5	KUNNONVALVONNAN OPTIMOINTI	22
5.1	Toimeksiannon tarkastelu	22
5.2	Kunnonvalvonnan optimoinnin suunnittelu	23
5.2.1	Kriittisyysluokat	24
5.2.2	Suorakäyttöisyys	24
5.2.3	Riittävä ja vakio pyörintänopeus	25
5.2.4	ODR-mittausten toteuma	25
5.2.5	Muut kriteerit	25
5.3	Laitteiden jaottelu	26
5.4	Recoveryn kunnonvalvonnan optimointi	27
6	YHTEENVETO	28
	LÄHTEET	29
	LIITTEET	31



## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä käsitellään Stora Enso Heinolan flutingtehtaan tuotantolaitteiden värähtelymittauksin suoritettavan kunnonvalvonnan optimointia.

Opinnäytetyö keskittyy Heinolan flutingtehtaan tuotantolaitteille reittimuotoisesti suoritettavien värähtelymittauksien optimointiin. Mittauksia ja tarkastuksia suoritetaan varsinaisten kunnonvalvojien reittien lisäksi käyttäjävetoisesti ODR-kierrosten muodossa. Mitattava laitekanta koostuu laitoksesta ja prosessista riippuen suurimmaksi osaksi pumpuista, kuljettimista sekä puhaltimista. Yksi syy toimeksiannolle oli reittien sisältöä tarkastaeltaessa huomattavat samojen laitteiden tarkastusten päällekkäisyydet.

Opinnäytetyön tavoitteena on parantaa tehtaan kunnonvalvontaa siirtämällä kunnonvalvonnan resursseja vähemmän kriittisten (B) laitteiden valvonnasta kriittisempien laitteiden (A) valvontaan. Resurssien siirtäminen luotettavuuden kärsimättä mahdollistetaan tehtaan ODR-kierrosten avulla. Työssä selvitetään sellaiset B-kriittiset laitteet, joiden valvonta on luotettavaa ODR-kierrosten havaintojen pohjalta. Selvitetyt laitteet voidaan harkinnan mukaan karsia kunnonvalvojien kierroksilta, jolloin saadaan resursseja vapautettua sekä vähennettyä päällekkäisten mittausten ja tarkastusten määrää.

Jaottelulla tavoitellaan tehokkaampaa kunnonvalvontaa vähentämällä päällekkäisten mittausten määrää vähemmän kriittisillä laitteilla ja siirtämällä vapautettuja resursseja kriittisempien laitteiden valvontaan.

## 2 YRITYKSEN ESITTELY

### 2.1 Stora Enso Heinola Fluting

Heinola Fluting on puolikemiallisen flutingin eli aallotuskartongin raaka-aineen valmistukseen erikoistunut paperitehdas (KUVA 1). Flutingtehtaan perusti Heinolaan vuonna 1961 Oy Tampella Ab, josta se siirtyi vuonna 1993 Enso-Gutzeitin omistukseen ja siitä vuonna 1998 Stora Ensolle. Tehdas tuottaa vuodessa noin 300 000 tonnia flutingkartonkia, josta viennin osuus on noin 90 %. Suurin osa tuotetusta kartongista jalostetaan elintarviketeollisuuden käyttöön. (Stora Enso 2011.)



KUVA 1. Stora Enson Heinolan flutingtehdas ilmasta (Stora Enso 2011)



## 2.2 ABB

ABB on johtava automaatio- ja sähkövoimateknologiyhtymä, joka tarjoaa kattavan määrän erilaisia palveluita, tuotteita sekä järjestelmiä teollisuuteen ja energiayhtiöille. ABB on vuonna 1988 fuusioituneiden ruotsalaisen Asean sekä sveitsiläisen Brown Boverin mukaisesti lyhenne sanoista Asea Brown Bover. Yhtiö toimii yli 100 maassa ja työllistää tällä hetkellä noin 145 000 henkeä.

ABB:n ydinliiketoiminta on jaettu viiteen divisioonaan:

- Sähkövoimatuotteet
- Sähkövoimajärjestelmät
- Sähkökäytöt ja kappaletavara-automaatio
- Pienjännitetuotteet
- Prosessiautomaatio

(ABB 2013a.)

### 2.3 Efora Oy

Efora Oy on kunnossapito- ja Engineering-palveluihin erikoistunut yritys, jonka toimenkuvaan kuuluu teollisuuden tuotantolinjojen elinkaaren hallinta sekä tuotantotehokkuuden ja häiriöttömän käynnin turvaaminen ja kehittäminen (Efora Oy 2012).

Efora on ABB:n tytäryhtiö, joka on perustettu yhteistyössä Stora Enson kanssa vuonna 2009. Aikaisemmin Stora Ensolle kuulunut kunnossapito siirtyi Eforan nimen alle. Eforalaisia on noin 1050, ja liikevaihto vuonna 2011 oli 193,2 M€. Eforalla on toimipisteet Heinolassa, Imatralla, Kemissä, Oulussa, Uimaharjussa, Varkaudessa, sekä Helsingissä, jossa pääkonttori sijaitsee. (Efora Oy 2012.)

ABB ilmoitti 29.5.2013 irtautuvansa osakkuudestaan Eforaan vuoden 2013 loppuun mennessä (ABB 2013b). Stora-Enso ilmoitti 16.9.2013 allekirjoittaneensa sopimuksen ABB:n osuuden ostamisesta (Stora Enso 2013).

### 3 KUNNONVALVONTA

Nykypäivän teolliselta tuotannolta vaaditaan paljon. Prosessien jatkuva toiminta sekä lyhyet seisokkiajat näkyvät nopeasti tuotannon kasvuna ja sitä kautta saavutettuna kannattavuutena. Päinvastoin taas yksi prosessille kriittisen laitteen hajoaminen voi maksaa pahimmassa tapauksessa päivien tuotannot.

Tärkeimmät syyt mittaavan kunnonvalvonnan käyttöönottoon ovat yleensä seuraavat:

- Tuotantolinjan kriittisille koneille ei asenneta varalaitteita.
- Tuotantomäärien kohotessa on vastaavasti vikaantumisesta johtuvan seisokkitunnin hinta noussut.
- Tuotannon kasvu on saatu lisäämällä koneiden nopeuksia, jolloin vikaantuminen etenee aiempaa nopeammin.
- Pelkistä aistinvaraisista huomioista ei tallennu tunnuslukuja, joita seuraamalla voitaisiin koneen kunnan kehittymistä valvoa.
- Työturvallisuus on saanut aikaan siirtymisen aistinvaraisista havainnoista mittaavaan havainnointiin meluisilla tai vaarallisilla koneilla.  
(Opetushallitus 2013.)

Sanalla kunnonvalvonta voidaan tarkoittaa mitä tahansa tekniikkaa, jonka tarkoitus on mitata tai määritellä näiden koneiden kuntoa käynnin aikana. Kunnonvalvonta perustuu jatkuvaan muutosten seurantaan jossakin mittaussuureessa. Tavallisimmin esimerkiksi värinän ja lämpötilan kohoaminen on merkki koneen vikaantumisesta. (ABB 2000, 3.)

Kunnonvalvontaa suoritetaan siis yllättävien konerikkojen estämiseksi. Jo pelkästään yhden kriittisen vaurion ajoissa huomaaminen ja yllättävän hajoamisen estäminen säästää laitokselle paljon kunnossapitokustannuksissa sekä tuotannon menetyksistä johtuvissa tappioissa. Kunnonvalvonnan kautta saavutetaan odottamattomien seisokkien vähentymisen lisäksi paljon muitakin hyötyjä, kuten

- koneiden turhien availujen väheneminen
- suunniteltujen seisokkiaikojen lyhentäminen
- varaosavarastojen pienentyminen

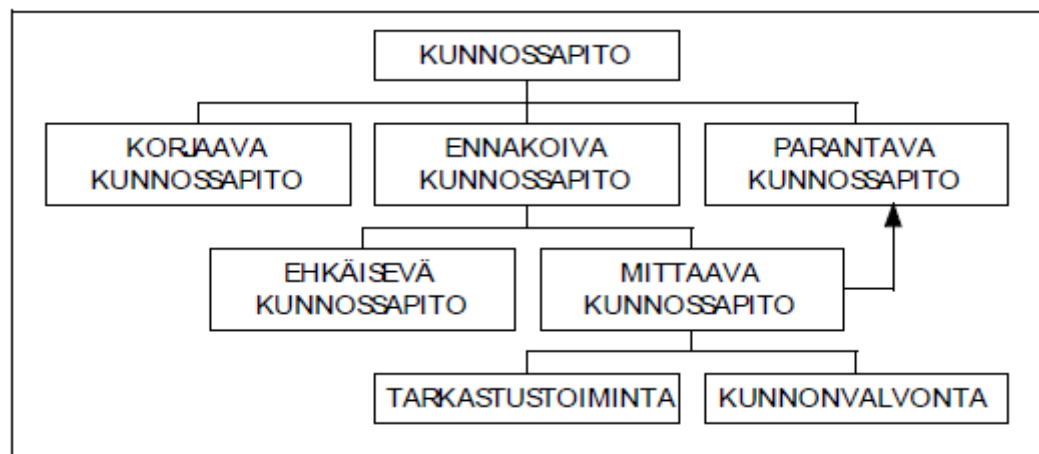
- huoltojen oikein ajoittamiset.  
(Opetushallitus 2013.)

Kunnonvalvonta etenee muutoksen havaitsemisesta parantavaan toimenpiteeseen seuraavalla tavalla:

- poikkeaman havaitseminen jossain mittaussuureessa eli **detektio**
- syyn selvittäminen eli **diagnoosi**
- poikkeaman vakavuuden arviointi eli **proгноosi**
- toimenpiteiden suositus sekä
- juurisyyanalyysi ja mahdollinen parantava toimenpide  
(ABB 2000, 3).

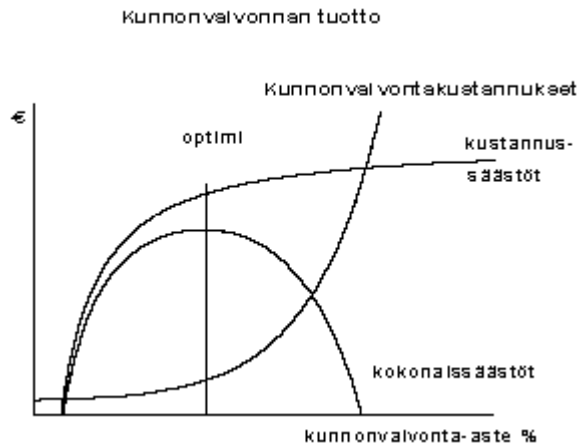
Kunnonvalvonta on yhteydessä yrityksen eri toimintoihin monin eri tavoin.

Kunnonvalvonta kuuluu kiinteänä osana ennakoivaan kunnossapitoon (KUVIO 1.), joka koostuu ehkäisevästä- sekä mittaavasta kunnossapidosta. (ABB 2000, 3.) Tarkoituksena mittauksilla on tuottaa tietoa laitoksen käytön, kunnossapidon, sekä investointien hyödyksi (Opetushallitus 2013).



KUVIO 1. Kunnonvalvonta osana ennakoivaa kunnossapittoa (ABB 2000, 2)

Oikein priorisoidun ja riittäväin resurssein toteutetun kunnonvalvonnan hyödyt ovat kiistattomat. Kunnonvalvonnan avulla voidaan siirtyä korjaavasta kunnossapidosta tehokkaasti ennakoivaan kunnossapitoon. Useimmissa tapauksissa säästöt kunnossapitokustannuksissa ovat yli 50:n % luokkaa (KUVIO 2.). (Opetushallitus 2013.)



KUVIO 2. PSK 5709: Kunnonvalvonnan optimointi (Opetushallitus 2013)

Suunnitellusti kunnonvalvonnan mittausmenetelmiä on käytetty teollisuuden tuotantolaitoksissa 1960-luvulta lähtien. Aluksi havainnot tehtiin aistinvaraisin keinoin, silmämääräisten tarkistusten lisäksi tunnusteltiin kädellä koneen lämpöä ja kuunneltiin laakereita puukepin tai vastaavan avulla. (Opetushallitus 2013.)

Resursseja alettiin kasvattaa huomattavasti 1980-luvulla. Nykyisin lähes jokaisesta teollisesta tuotantolaitoksessa löytyy jokin kunnonvalvomiseen soveltuva laite, ja lähes jokaisessa suuressa tuotantolaitoksessa työskentelee kunnonvalvonnan ammattilaisia. (Opetushallitus 2013.)

Ala on edelleen kasvava Suomessa ja kansainvälisesti. Valvontamenetelmien hyöty ja kannattavuus on huomattu jo monessa tuotantolaitoksessa. Suosioon on muiden hyötyjen ohella vaikuttanut viimeisen kymmenen vuoden aikana käyttöönotettu tietokonepohjainen kunnonvalvonta, jonka ansiosta mittaustuloksia pystytään käsittelemään ja hallitsemaan aiempaa enemmän. Tällöin tieto laitoksen koneiden kunnosta on jatkuvasti tiedossa. (Opetushallitus 2013.)

### 3.1 Kunnonvalvontamittauksien menetelmät

Kunnonvalvontamittauksia voidaan suorittaa monin eri menetelmin.

Nykytekniikan kehitys on tuonut markkinoille erilaisia mittausmenetelmiä ja niihin soveltuvia laitteistoja. Laitteistojen saatavuus sekä hintakehitys ovat alentaneet kunnonvalvontajärjestelmien käyttöönottokynnystä. (ABB 2000, 4.)

Menetelmät ja mittausten aikavälit määritellään konetietojen ja kriittisyysanalyysin avulla. Mittaukset perustuvat erilaisten fysikaalisten suureiden valvontaan ja niiden vaihtelun havaitsemiseen. Mitattavia suureita ovat esimerkiksi värinän eri suureet, lämpötila, voiteluöljyn ominaisuudet sekä sen puhtaus, moottorin sähkövirta sekä erilaiset prosessisuureet, kuten virtaus, nopeus tai paine. Yleisimpiä mittausmenetelmiä ovat värinämittaus, lämpötilamittaus, epätahtimoottorin virta-analyysi sekä voiteluöljylle tehtävät analyysit. (ABB 2000, 4.)

#### 3.1.1 Lämpötilamittaus

Koneen lämpötilan mittaaminen oli aikaisemmin suosituin vikaantumisen mittausmenetelmä, kunnes muut tekniikat kehittyivät paremmiksi. (ABB 2000, 5.)

Mekaanisen laitteen lämpötilamittaus perustuu usein kasvaneen kitkan ja siitä johtuvan lämpötilan nousuun. Lämpötilan nousun aiheuttaa usein laitteen vioittuminen tai voiteluhäiriö. Lämpötilamittauksen käyttö on perusteltua joissain laitteissa, mutta se ei havaitse vikaantumista kovinkaan ajoissa. Kun havainto lämpötilan noususta tulee, on vikaantuminen usein jo melko pitkällä. (ABB 2000, 5.)

Tekniikan kehitys on tuonut myös infrapunakamerat yhä useamman tuotantolaitoksen kunnossapidon apuvälineeksi. Infrapunakamera kuvaa kohteen lähettämää infrapuna- eli lämpösäteilyä, joten se soveltuu erinomaisesti esimerkiksi vuotojen havaitsemiseen. Infrapunakameraa käytetäänkin lämpövoimalaitoksissa ja sähkökomponenttien valvonnassa sekä muissa kohteissa, joissa vikaantuminen aiheuttaa lämmön nousua. (ABB 2000, 5.)

### 3.1.2 Värähtelymittaukset

Tärinä- eli värähtelymittauksia käytetään yleisesti silloin, kun arvioidaan laitteen eri komponentteihin kohdistuvia dynaamisia ilmiöitä, kuten epätasapainoa, laakereiden kuntoa, sekä muita voimia. Tärinää voidaan analysoida monin eri menetelmin, joista yleisimpiä ovat nopeuden tehollisarvon eli tärinärasituksen mittaaminen sekä eri spektrianalyysit. Haastavampia mitattavia laitteita varten on olemassa tehokkaampia menetelmiä, kuten verhokäyräanalyysi sekä korkeataajuuksinen akustinen emissio. Näitä mittauksia varten on kehitetty erilaisia tiedonkeruu- ja analysointilaitteita, jotka ovat yleisesti käytössä. Mittausten tulosten tallennus ja analysointi tapahtuu yleensä tietokoneohjelmalla. (ABB 2000, 5, 12, 13)

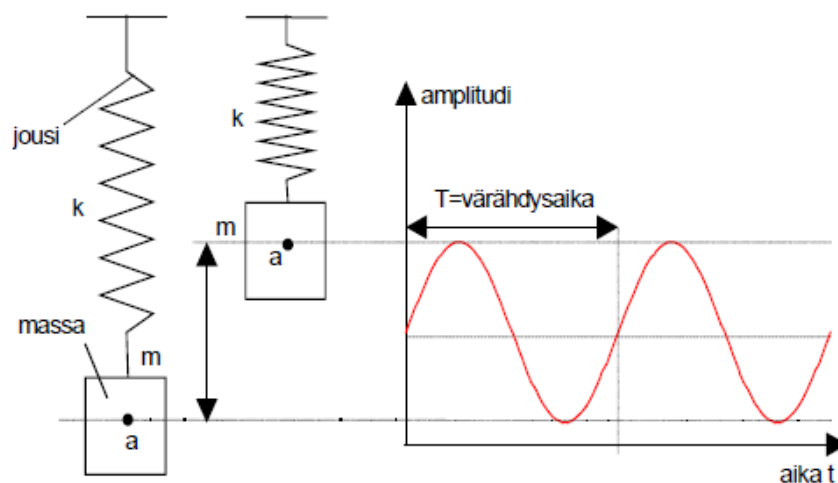
Värähtelyn kasvua pyörivillä laitteilla voivat aiheuttaa

- epätasapaino
- mekaaniset välykset
- asennusvirheet
- kuluneet tai vaurioituneet osat

(ABB 2000, 7).

### Mitä värähtely on?

Värähtely on tasapainoaseman ympärillä tapahtuvaa jaksollista liikettä. Helpoiten asia käy ilmi tarkastelemalla jousi–massasysteemiä (KUVIO 3.). Saatettaessa massa  $m$  liikkeeseen ulottuu sen liike värähdysliikkeen aikana kerran tasapainoaseman positiivisen sekä negatiivisen puolen maksimiin, minkä jälkeen se palaa takaisin lähtöasemaansa. Tästä saadaan värähdyslaajuus ajan funktiona. Tästä sinimuotoisesta signaalista käytetään nimitystä aikatasosignaali. Värähdysaika  $T$ , eli yhteen värähdysliikkeeseen kulunut aika vastaa vaihekulmaa  $\phi=360^\circ$  eli  $\phi=2\pi$ . (ABB 2000, 7)

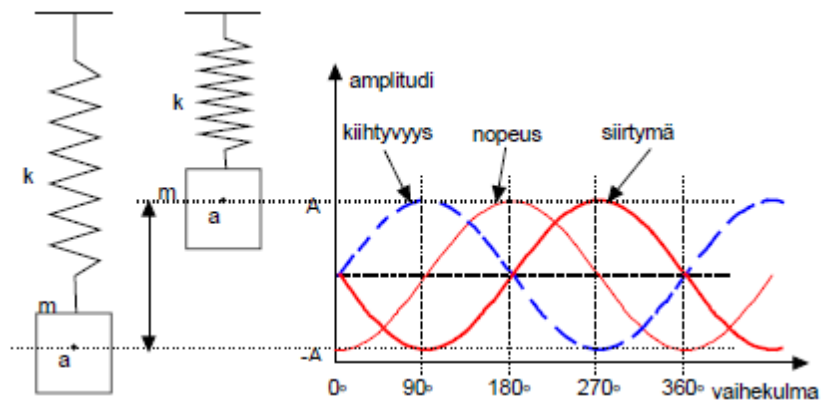


KUVIO 3. Jousen liike aikatasosignaalina (ABB 2000, 7)

Koneiden värähtelymittauksissa tarkastellaan amplitudin lisäksi nopeutta ja kiihtyvyyttä. Näiden kolmen suureen vaihekulmien erot ovat  $90^\circ$  (KUVIO 4.). Kiihtyvyys on siis  $90^\circ$  nopeutta edellä, josta siirtymä on vastaavasti  $90^\circ$  edellä. Matemaattisesti nopeus on siirtymän derivaatta ajan suhteen ja kiihtyvyys nopeuden derivaatta ajan suhteen. Kaikkien käyrä on samanmuotoinen, mutta kuvan käyrien samakorkuudesta riippumatta tulee huomata, että niiden yksiköt



eivät vastaa toisiaan. Tavallisesti Euroopassa käytössä olevat yksiköt on kerrottu TAULUKOSSA 1. (ABB 2000, 8.)



KUVIO 4. Kiihtyvyyden, nopeuden ja siirtymän vaihekulman erot toisiinsa nähden (ABB 2000, 8)

Mitattava suure	Käytettävä lyhenne	Yksikkö
Siirtymä	$s$	$\mu m$ ( $= 1 / 1000$ mm)
Nopeus	$v$	mm/s
Kiihtyvyys	$a$	$m / s^2$ tai $g = 9,81 m / s^2$
Vaihekulma	$\phi$	aste ( $^{\circ}$ ) tai radiaani ( $360^{\circ} = 2 \pi$ rad)

TAULUKKO 1. Yleisimmät värinän suuret (ABB 2000, 8)

Kaikki käynnissä olevat laitteet värähtelevät ja ovat periaatteessa jousi-massasysteemejä. Värähtelyä aiheuttavat epätasapainot pyörivällä akselilla, asennusvirheet sekä kuluneet tai vaurioituneet osat. Tavallisimmin pyörivä roottori tai akseli aiheuttaa varsinaisen värähtelyn. Tämän takia paras

mittauspaikka on laitteen laakerointien päällä, koska värähtely kulkeutuu runkoon laakereiden välityksellä. (ABB 2000, 7.)

Värähtelymittaus on yleisin ja oikein sovellettuna yleensä jopa parhain ennakoivan kunnossapidon mittausmenetelmä. Mittauksia on mahdollista tehdä monella eri tavalla, ja niiden suorittamiseen on kehitetty monia eri mittalaitteita. Värähtelymittausmenetelmät voidaan jakaa laitteiston osalta kahteen luokkaan:

-Luokka 1

-Luokka 2

Luokka 1

Yksinkertaiset menetelmät, joilla pystytään valvomaan lähinnä koneen värähtelyiden kokonaistasoja sekä vierintälaakereiden kuntoa. Monesti koneiden kunnonvalvontaan tarvitaan kaksi kappaletta luokan 1 mittalaitteita, jolloin toisella mitataan kokonaistärinää tavallisimmin taajussalueelta 10 – 1000 Hz ja toisella vierintälaakereiden kuntoa korkeammalta taajuudelta, yleensä yli 2000 Hz. (Opetushallitus 2013.)

Luokka 2

Luokkaan 2 kuuluvat monimutkaisemmat menetelmät, joilla voidaan mitata useampia erinopeuksisia akseleita sisältäviä laitteita sekä analysoida ja selvittää koneen alkavat vauriot tarkasti (Opetushallitus 2013).

## **Mittauksista saatujen tulosten analysointi**

Yleisimmät mitatun tärinän analysointimenetelmät ovat valittujen suureiden kehittymisen seuranta, eli trendin seuranta, sekä taajuus- eli spektrianalyysi (ABB 2000, 13).

**Trendiseurannassa** käytetään tavallisimmin tarkasteltavana suureena joko nopeuden, siirtymän tai tärinäkihtyvyyden tehollis- tai huippuarvoa. Standardin PSK 5701 mukaan tehollis- ja huippuarvon mittauksista käytetään termiä kokonaistason mittaus. Kyseiset mittaukset sopivat yleensä rutiinimittauksiin. Trendiseurantaa voidaan kuitenkin luotettavasti käyttää monien yleisten vikojen etsimisessä ja seurannassa. (ABB 2000, 13.)

**Spektrianalyysi** on eniten käytetty vikadiagnostisoinnin menetelmä. Nykyiset mittalaitteet ovat tarkkuudeltaan hyviä, ja ne käsittelevät automaattisesti saadun signaalin, joten mittaustyö on helpottunut huomattavasti. Spektrianalyysissä etsitään vian aiheuttamaa voimistumista eri taajuuksilla olevista spektrikomponenteista. Monesti esimerkiksi laakerivauriot saattavat kehittyä ilman kokonaistason voimistumista, mutta spektrissä ne voivat näkyä jo aikaisessa vaiheessa. (ABB 2000, 13, 14.)

**Verhokäyräanalyysi** on spektrianalyysia ja kokonaistasomittausta tarkempi ja luotettavampi menetelmä vierintälaakereiden kunnonvalvontaan. Alkavista laakerivaurioista kantautuvat värähtelyt ovat monesti niin heikkoja, että ne peittyvät vallitsevien tärinöiden alle. Verhokäyräanalyysissä mitatusta nopeus- tai kiihtyvyyssignaalista pystytään suodattamaan epäolennaiset kuten linjauksesta ja epätasapainosta johtuvat tärinät pois, jotka peittävät alkavat laakeriviat alleen. (ABB 2000, 14.)

Verhokäyrän ideana on saadun signaalin kertominen toisella signaalilla, kantoaallolla. Menetelmää kutsutaan amplitudimodulaatioksi. Menetelmällä

saadaan aikaiseksi uusia taajuuskomponentteja, jotka muodostuvat kantoaallon taajuuden molemmille puolille. Pyörivien koneiden hammasvaihteet ja laakerit synnyttävät myöskin amplitudimoduloituneita signaaleja, joista on mahdollista havaita alkaneet viat varsin aikaisessa vaiheessa. (ABB 2000, 14, 15.)

Analysoitava signaali voi sisältää jaksollisia sarjoja suurtaajuisia impulsseja, esimerkiksi laakerivaurion seurauksena. Nämä impulssit voidaan mitata asettamalla resonanssikohdan ympärille kaistanpäästösuodatin, joka toimii mekaanisena vahvistimena vaurion aiheuttamille impulsseille. Saatu signaali demoduloidaan ja tasasuunnataan, jolloin saadaan impulssien vikataajuudet erotettua kantoaallostaa. Kun saadulle demoduloidulle signaalille tehdään lopuksi FFT(Fast Fourier Transform) -muunnos, nähdään laakerin vikataajuuskomponentit selvästi verhoikäyräspektristä. (ABB 2000, 15.)

### 3.1.3 Muut mittausmenetelmät

Muihin yleisiin mittausmenetelmiin voidaan lukea sähkömoottorien roottorien kunnonvalvonnassa käytetty roottorianalyysi, eli **sähkövirran spektrianalyysi**. Mittauksessa tiedonkeruulaitteella mitataan ja tallennetaan yhdestä syöttävästä vaihejohtosta virtasignaalia virtapihdin avulla. Mitatusta signaalista lasketaan taajuuspektri, jota tarkastellaan 50 Hz linjataajuuden ympäristössä logaritmisella amplitudiasiteikolla. Viiallisen roottorin taajuuspektrissä näkyy sivunauhut jättämän etäisyydellä, joiden paikan ja voimakkuuden perusteella päätellään vian laatu ja vakavuusaste. Mittaus vaatii mittauslaitteistolta riittävää resoluutiota, jonka lisäksi mitattavan koneen tulee olla mittaushetkellä riittävän kuormitettu, sekä käyntinopeuden vakiotasolla. (ABB 2000, 5, 6.)

**Prosessisuureiden seurannan**, kuten paineen, virtauden ja nopeuden käyttö kunnonvalvonnassa on vähäistä, mutta niiden käyttö rinnan jonkin muun kunnonvalvontamenetelmän kanssa voi antaa monesti varmuutta ja lisäpohjaa toimenpiteiden päätöksen teolle. Kunnonvalvonnan ja prosessiautomaation yhteensovittaminen onkin mahdollisesti tulevaisuuden kehityssuunta. (ABB 2000, 6.)

**Voiteluaineanalyysillä** voidaan valvoa koneita voitelevien voiteluaineiden kuntoa. Pääosin voiteluaineanalyysia tehdään kiertovoitelujärjestelmille, joissa sama voiteluaine hoitaa monen eri laitteen voitelun. Analyysillä pyritään lähinnä selvittämään öljyn puhtaus sekä voiteluominaisuuksien pysyminen vaadittavalla tasolla. Öljyssä esiintyvät epäpuhtaudet jaotellaan kolmeen ryhmään:

- koneen kulumisen seurauksena öljyn sekaan syntyvät kulumistuotteet, tavallisimmin metallihiukkasia sekä laakereista ja tiivisteistä irtoavia muovi- tai keraamihiukkasia
- ulkopuolelta kantautuvat epäpuhtaudet, kuten vesi, prosessipöly ja hiekka
- öljyn vanhenemisen, kuten hapettumisen seurauksena syntyvät epäpuhtaudet.

Yleisimpinä voiteluaineiden kunnonvalvonnan menetelminä voidaan pitää kiintoaineiden mittausta, hiukkaslaskentaa, ferrografiaa sekä spektrometrisiä hiukkanalyysijä. Kaikki mittaukset ovat laboratorio-oloissa tehtäviä. (ABB 2000, 5, 6.)

### 3.2 Kunnonvalvonnan toteutus Heinolan flutingtehtaalla

Heinolan flutingtehtaalla suoritetaan laajasti kunnonvalvontaa. Niin ikään Heinolassa kunnonvalvonnan perustana on kriittisyysluokittelu. Tehtaalla ollaan investoitu kiinteisiin anturointeihin sekä online-mittauksiin kriittisissä kohteissa. Myös voiteluaineanalyysyjä tehdään säännöllisesti. Tehtaalla työskentelee säännöllisesti 2 kunnonvalvojaa, jotka suorittavat A- ja B-kriittisten laitteiden kunnonvalvontamittauksia. Lisäksi laitosten operaattorit suorittavat ODR-kierroksia tehden havaitsemistaan poikkeamista SAP-ilmoituksen Eforalle.

#### 3.2.1 Kunnonvalvontamittaukset

Heinolan tehtaalla ei ole muiden Stora Enson tehtaiden tapaan Eforan tai ABB:n kunnonvalvojia, vaan kunnonvalvonnasta on tehty sopimus SKF:n kanssa. Tehtaalla työskentelee säännöllisesti kaksi SKF:n kunnonvalvojaa, jotka vastaavat määriteltyjen A- sekä B-kriittisyysluokkien koneiden kunnonvalvonnasta.

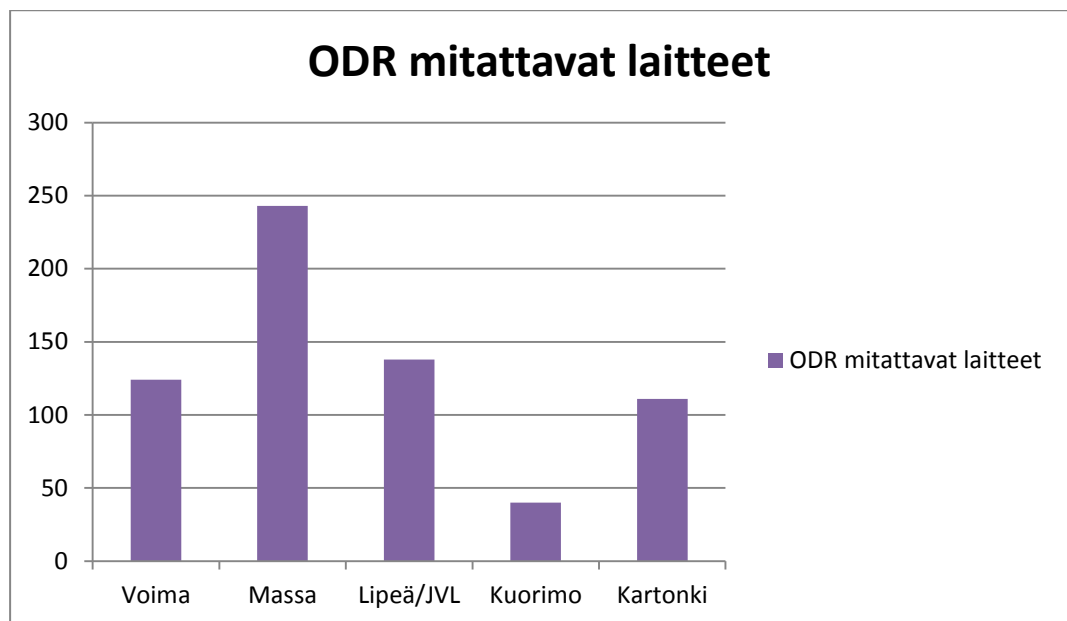
#### 3.2.2 ODR – Operator Driven Reliability

Heinola Flutingilla on omaksuttu ns. ODR- eli käyttäjäkunnossapitomenetelmä osana tehtaan kunnossapitoa. Käyttäjäkunnossapidon osana on käyttöön otettu aistihavaintojen lisäksi värähtely- ja lämpötilamittaukset, joita suoritetaan reittipohjaisesti tehtaan jokaisen kuuden laitoksen alueella (KUVIO 5). ODR-kierrokset koostuvat noin 60 % aistihavainnoista ja 40 % WMCD (Wireless Machine Condition Detector) -mittauksista. Tarkastuksista ja mittauksista vastaavat laitoksen käyttöhenkilökunta. Mittausten piiriin kuuluu A-, B- sekä C-luokan laitteita.

Mittauksia varten on jokaiselle kuudelle laitokselle hankittu oma Microlog Inspector -tiedonkeruulaite sekä langaton kuntokoetin. Laitteille on rakennettu loogiset, säännöllisesti erääntyvät mittausreitit, joita käyttöhenkilökunta seuraa ja mittaa vuoroittain. Käyttöhenkilökunta tekee havaituista poikkeamista

ilmoituksen Eforalle SAP-toiminnanohjausjärjestelmään. Tapauksissa, joissa havaittu poikkeama johtuu mitattavan koneen värähtelyn muutoksista, analysoidaan ja varmistetaan koneen kunto kunnonvalvojien toimesta.

Koska ODR-kierroksilla tehtävä kunnonvalvonta keskittyy mittausten lisäksi aistihavaintojen tekemiseen, tuo se myös käyttäjille tärkeää tietoa operoimiensa laitteiden kunnosta. Lisäksi tiedonkeruulaitteen ansiosta aistihavainnot tallentuvat järjestelmään.



KUVIO 5. ODR-kierroksilla tarkistettavien laitteiden lukumäärä

## 4 LAITTEISTO JA OHJELMISTO

Tehtaalla käytettävät kunnonvalvontalaitteistot ovat SKF:n toimittamia.

Kunnonvalvontamittaukset suoritetaan Microlog CMXA 80 -analysointilaitteella ja ODR-kierrosten mittaukset Microlog Inspector -tiedonkeruulaitteella. Vertailu näiden kahden laitteiston välillä ei ole järkevää, koska ne ovat käytännössä täysin eri laitteita. Lähtökohtaisesti Microlog Inspector -laitteistolla valvotaan enemmän koneiden yleistä mekaanista kuntoa, kun taas Microlog CMXA80 -laitteistolla pystytään selvittämään tarkasti vian laatu sekä tekemään arvio kunnostuksen kiireellisyydestä jo vian aikaisessa vaiheessa.

### 4.1 SKF Microlog CMXA80

SKF:n kunnonvalvojat käyttävät työssään toistaiseksi kehittyneenä reittipohjaista AX-sarjan analysointilaitetta (KUVA 2.). Laitteella voidaan mitata ja analysoida tarkasti nopeuden ja kiihtyvyyden lisäksi monia eri suureita, kuten verhoikäkihtiä, siirtymää, lämpötilaa sekä eri sähköisiä suureita. (SKF 2012b.)



KUVA 2. Microlog CMXA 80 Analysointilaitte (SKF 2012b)



## 4.2 SKF Microlog Inspector

ODR-kunnonvalvontaa varten kehitetty Microlog Inspector -laitteisto koostuu kosketusnäytöllisestä tiedonkeruulaitteesta (KUVA 4.), langattomasta kunnontunnistusanturista (KUVA 3.) ja mittapäätä sekä tiedonkeruulaitteen telakasta.



KUVA 3. Langaton kunnontunnistusanturi CMVL8000-K (SKF 2013)

Mittaukset tapahtuvat langattomalla kunnontunnistusanturilla, joka mittaa ja suorittaa signaalin käsittelyn sekä lähettää tiedot langattomasti Bluetoothin kautta tiedonkeruulaitteelle. Laitteella voidaan mitata kohteen lämpötila, nopeus sekä verhokäyräkiikkyvyys.



KUVA 4. Microlog Inspector -tiedonkeruulaite (SKF 2013)

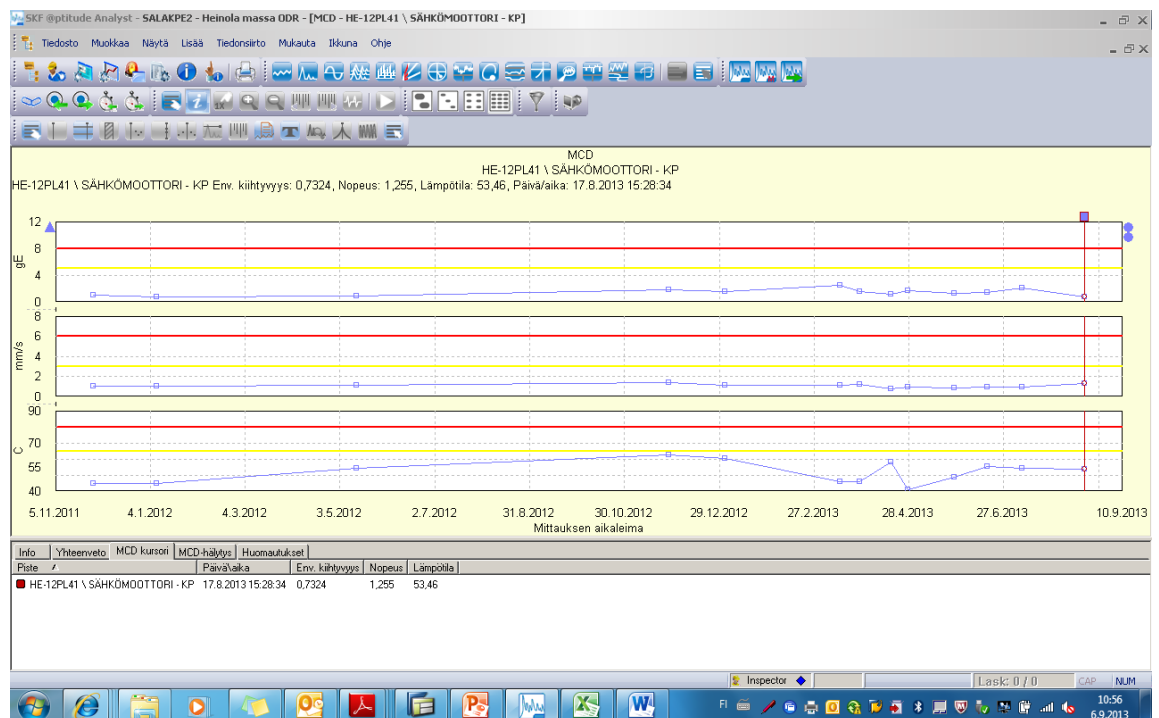
Tiedonkeruulaitteeseen tallennetaan @ptitude analyyst -ohjelmiston avulla laitoksen kunnonvalvontareitit, jotka erääntyvät laitteiden kriittisyysluokan mukaan. Kierroksen laitteille voidaan määrittellä erinäisiä aistihavaintoihin tähtäviä kysymyksiä esimerkiksi laitteen yleisestä kunnosta ja siisteydestä sekä asettaa tärinämittauksia varten tarvittavat pisteet. Laite antaa hälytyksen, mikäli jonkin suureen arvo on noussut yli sille asetetun rajan. Kierroksen jälkeen laite asetetaan telakkaan, jolloin tiedot synkronisoituvat tietojärjestelmään. Tietoja päästään tämän jälkeen tarkastelemaan @ptitude analyyst -ohjelman kautta.

Laitteen ominaisuuksia:

- nopeuden mittauksen taajuusalue 10 Hz – 1 kHz
- nopeuden mittausalue 0,3 – 55 mm/s
- verhoikärikkyyden mittausalue 0,3 – 20 gE
- verhoikärikkyyden taajuusalue 500 Hz – 10 kHz
- erottelukyky 2,5 Hz.

### 4.3 SKF @ptitude Analyst –ohjelmisto

Molempien edellämainittujen laitteistojen mittaamia tuloksia analysoidaan samalla ohjelmalla. Ohjelmaa käytetään mittausreittien sekä mitattavien laitteiden tarkastus- ja mittauspisteiden määrittelyyn, mutta myös mitatun datan analysointiin (KUVA 5.). Ohjelmassa on monia eri analysointia helpottavia työkaluja, kuten mahdollisuus ajaa erilaisia spektrin kuvaajia.



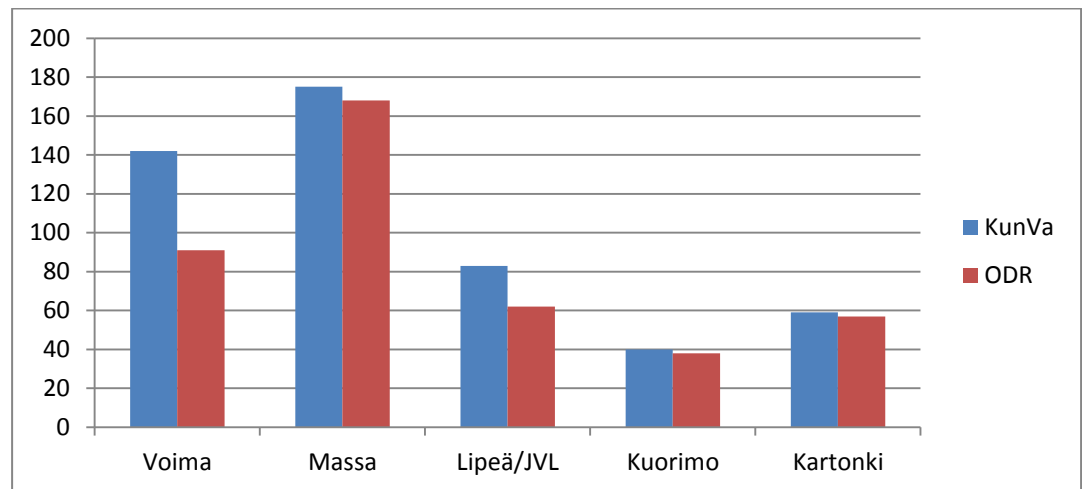
KUVA 5. Massatehtaan keittoliuospumpun sähkömoottorin trendikäyrä @ptitude Analyst-ohjelmassa.

## 5 KUNNONVALVONNAN OPTIMOINTI

Toimeksianto tähän opinnäytetyöhön tuli keväällä 2013 Efora Oy:n Heinolan yksiköltä. Opinnäytetyön käytännön osa tehtiin kunnossapitoinsinöörin kesäsjaisuuden ohessa.

### 5.1 Toimeksiannon tarkastelu

Efora Oy:n antama toimeksianto oli määritellä Heinolan flutingtehtaan B-kriittisyysluokan laitteet, joiden kunnonvalvonta voidaan suorittaa luotettavasti SKF Microlog Inspector -laitteiston avulla ja jotka voidaan näin ollen karsia kunnonvalvojen suorittamilta mittausreiteiltä vaarantamatta käynnin varmuutta. Tavoitteena toimeksiannolla on kunnonvalvontaresurssien kohdistus tuotannollisesti kriittisempien kohteiden valvontaan.



KUVIO 6. Mittausten päällekkäisyys. ODR-palkki kertoo, kuinka moni kunnonvalvontakierroksella esiintyvä laite löytyy myös ODR-kierroksilta. Kartongin luvuista on vähennetty telat ja sylinterit, sekä niiden käytöt.

Kuten kuvio 3 ilmenee, päällekkäisten mittausten määrä muualla kuin kartonkikoneella on suhteellisen suuri, noin 83:n % luokkaa.

## 5.2 Kunnonvalvonnan optimoinnin suunnittelu

Toimeksiannon ajankohta oli loppukeväällä 2013, jolloin asiasta sovittiin muun kunnonvalvontapalaverin yhteydessä. Työn luonne hioitui alkukesän aikana, ja tietoteknisten oikeuksien myöntämisen jälkeen työtä päästiin aloittamaan.

Ennen työn aloittamista tutustuttiin tehtaan kunnonvalvontamenetelmiin sekä mittauksiin haastatteluin sekä kirjallisuuden ja käytännön kautta. Tehtaalla järjestettiin myös koulutusta @ptitude Analyst -ohjelman käyttöön. Muiden tehtaiden ODR-kunnonvalvonnasta sekä kokemuksista saatiin tietoa SKF:n järjestämiltä ODR-käyttöpäiviltä Laukaalla.

Aiheeseen tutustumisen aikana saatiin käsitys kunnonvalvonnan toteutuksesta tehtaalla sekä ideoita saadun toimeksiannon suorittamiseen.

Työtä aloitettaessa oli selvää, että työn luonne on pitkälti alussa määriteltyjen vaatimusten täyttymisen tarkastelua laite laitteelta. Vaatimusten pohdinnan tueksi haastateltiin kunnonvalvojia. Vaatimusten tarkoituksena on suodattaa listoista laitteet, jotka ovat ODR-kunnonvalvonnan kannalta liian kriittisiä, monimutkaisia, epäsäännöllisesti tarkastettuja tai muilla tavoin soveltumattomia.

Suunnitteluvaiheessa luotiin pohja Excel-taulukkoon, johon varsinainen työ tulotisiin tekemään (LIITE 1.).

## **Kriteerien määrittely**

Optimoinnin kannalta järkevien laitteiden karsintaa varten oli ehdotonta määrittellä oikeat kriteerit, joiden pohjalta työ oli mahdollista tehdä laajalle laitekannalle riittävän tarkasti ja aikataulussa. Kriteerit valittiin kunnonvalvojien kanssa käytyjen keskusteluiden sekä värähtelymittausteorian pohjalta.

### **5.2.1 Kriittisyysluokat**

Kunnonvalvonnan suunnittelussa pohjana on aina kriittisyysluokittelu.

Kriittisyysluokittelussa määritellään laitteen toimimattomuudesta johtuvat tuotannolliset, taloudelliset ja ympäristölliset seuraukset.

Kriittisyysluokittelutapoja on erilaisia. Heinolassa koneet on jaettu A-, B- ja C-luokan laitteisiin, joissa A-luokka on kriittisin ja C-luokka vähiten kriittinen.

Koska C-luokan laitteita mitataan säännöllisesti ainoastaan ODR-kierroksilla ja A-luokan laitteet katsottiin liian kriittisiksi, päätettiin, että työhön kelpuutettavan koneen tuli olla kriittisyydeltään B-luokkaa.

### **5.2.2 Suorakäyttöisyys**

Työssä tarkasteltavien laitteiden tuli olla suorakäyttöisiä. Vaihdelaatikoiden moniakselisen rakenteen takia, vaatii niiden kunnonvalvonta yksityiskohtaista tärinän valvontaa. Yksityiskohtaisella valvonnalla tarkoitetaan värähtelysignaalin eri osataajuuksien ja niiden suuruuksien toisistaan erottamista. (Opetushallitus 2013.)

### 5.2.3 Riittävä ja vakio pyörintänopeus

Mitattavalta laitteelta vaadittiin vakio pyörimisnopeutta, koska sen vaihtelut vaikuttavat merkittävästi mittaustuloksiin, kun tarkastellaan tärinän kokonaistasoja. Kriteereihin haluttiin myös alakierrosraja, jonka alittavat laitteet jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Kunnonvalvontamittauksissa käytetään yleisesti nyrkkisääntönä, että etsittävän vian tulee esiintyä vähintään 5 kertaa mittausjakson aikana (SKF 2009). Microlog Inspectorissa mittausaikaan ei voi vaikuttaa, joten laskettiin riittäväksi mittausajaksi 1,25 sekuntia ja kierrosnopeudeksi tällöin 600 1/min.

### 5.2.4 ODR-mittausten toteuma

ODR-järjestelmässä B-luokan laitteille määritelty mittausväli on 14 päivää. Mittaustoiminnan jatkuvuus on välttämätöntä koneen kunnonvalvonnan kannalta. Työssä tarkastettiin koneelle tehtyjen mittausten toteuma, jonka perusteella kone voitiin jättää tarkastelun ulkopuolelle, tai ottaa harkintaan, mikäli toteumat olivat riittävät tai ne saataisiin mahdollisesti optimoinnin mukana nousuun. Mittausten toteumissa huomattiin suuria kausi- ja laitoskohtaisia eroja.

### 5.2.5 Muut kriteerit

Itsestäänselvyytenä laitteelta vaadittiin riittävät mittauspisteet. Koska ODR-kierrosten tarkoituksena on tuottaa myös aistipohjaisia havaintoja, ei kaikille laitteille ollut välttämättä määritelty WMCD-mittauspisteitä.

### 5.3 Laitteiden jaottelu

Listojen rakentaminen aloitettiin hakemalla SAP-järjestelmästä kunnonvalvontamittajille generoituvista tilauksista kunnonvalvontareittien sisällöt ja listaamalla niistä mitattavat koneet laitosten mukaan valmiiksi tehdyille Excel-pohjille.

Kunnonvalvonnan piiriin lukeutuvien laitteiden ja niille suoritettavien mittausten tietoja tarkasteltiin @ptitude Analyst -ohjelmasta sekä SAP-järjestelmään syötetyistä laitetiedoista.

Työ tehtiin järjestyksenmukaisesti ja saadut tiedot merkittiin listoihin.

1. Koneen löytyminen ODR-tietokannasta varmistettiin hakemalla se positiomerkinällä @ptitude Analyst -ohjelmasta.
2. Ohjelmasta tarkistettiin laitteelle määritellyt MCD (kuntokoetin) -mittauspisteet.
3. Valittiin jokin mitattavista pisteistä, josta nähtiin mittausten tiheys. Tiheyttä arvioitaessa kiinnitettiin huomiota mittausten toteutumiseen pitkän aikavälin lisäksi viimeaikojen trendiin.
4. Laitteen loput tiedot etsittiin SAP-järjestelmästä, laitteen kriittisyysluokka merkittiin listaan ja pyörimisnopeus varmistettiin riittäväksi.
5. Joidenkin laitteiden kohdalla kriteerien täytyminen ei ole riittävä peruste niiden karsimiseksi kunnonvalvontakierroksilta. Tällaiset kokemusperäiset seikat jätettiin kuitenkin muutamia poikkeuksia lukuunottamatta huomioimatta tässä vaiheessa.



#### 5.4 Recoveryyn kunnonvalvonnan optimointi

Saatuja tuloksia päätettiin ottaa käyttöön aluksi tehtaan lipeälaitoksen recoveryosastolla, jossa käsitellään ja valmistetaan massantuotannossa tarvittava keittoliuos. Kemikaaleja siirrellään paljon, jolloin osastolla on myös paljon tarkoitukseen käytettäviä suoraikäyttöisiä ja vakionopeuksisia pumppuja. Monet pumpuista ovat myös varalaitteellisia, joten osastolla voidaan luontevasti aloittaa optimoinnin käyttöönottoa.

Työn aikana ilmeni myös puutteellisuutta varalaitteiden mittausten toteutumisessa. Varalaitteiden käytöstä ja mittauksista ei ole erillistä toimintatapaa, vaan on sattumasta kiinni, onko varalaitte käytössä mittausten aikaan. Tämänkin takia varalaitteellisten koneiden kunnonvalvonnan optimointi on järkevää, koska operaattoreilla on tieto varalaitteen käytöstä ja tällöin mahdollisuus ajoittaa mittauskierron käytön ajalle.

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteet olivat osa suurempaa kokonaisuutta, joka pyrkii kunnonvalvonnan optimointiin vähentämällä päällekkäisiä mittauksia ja siirtämällä kunnonvalvonnan resursseja kriittisimpien laitteiden mittauksiin.

Opinnäytetyön tavoite, joka oli selvittää optimointityöhön soveltuvat vähemmän kriittiset laitteet karsittavaksi kunnonvalvontakerroksilta, täyttyi kriteerien puolesta. Laitteita tarkasteltiin samoista lähtökohdista, eikä siinä huomioitu kokemusperäisiä tietoja laitteiden luonteesta. Työn tuloksena selvitetty laitteet ovat läpäisseet vähimmäisvaatimukset, joiden lisäksi niitä tulee optimointia suunnitellessa tarkastella vielä kokemusperäisesti. Työhön valikoitui perustellusti vakioitoimisia peruslaitteita, joiden kunnonvalvonta ODR-kierrosten muodossa on hyvällä tasolla.

ODR-kierroksilla saatavat mittaustulokset kertovat koneen yleiskunnosta, ja poikkeamien ilmetessä ne analysoidaan aina kunnonvalvojien puolesta. ODR-kierroksilla tehtävän kunnonvalvonnan ansiosta voidaan tehdä kunnonvalvontamittausten resursseja kohdistaa paremmin.

Opinnäytetyöprosessin aikana tehtyjen havaintojen pohjalta on kunnonvalvontaa Heinolassa mahdollista kehittää myös monin eri tavoin. Esimerkkinä ajatus kahdennettujen laitteiden vuorotteluista ja näin varmuuden parantamisesta. Myös mahdollisille lisäkoulutuksille katsottiin olevan tarvetta.

Tulosten perusteella tehtaalla päätettiin optimoida recovery-laitoksen kunnonvalvontamittausten määrää. Täysin ilman tarkempaa analyysia laitteet eivät jää, sillä alustavasti on sovittu määräaikaistarkastukset kerran vuodessa karsittaville laitteille kunnonvalvojien toimesta.

## LÄHTEET

ABB. 2000. ABB TTT-käsikirja 2000-07. Kunnonvalvonta ja huolto.

ABB. 2013a. ABB in brief [viitattu 20.9.2013]. Saatavissa:

<http://new.abb.com/about/abb-in-brief>

ABB. 2013b. ABB irtautuu Efora Oy:n osakkuudesta [viitattu 20.9.2013].

Saatavissa:

<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/187507e92b2802a7c1257b7a00213b96.aspx>

Efora Oy. 2012. Tervetuloa taloon -materiaali.

Kautto, J. 2011. Kunnonvalvonta haasteiden edessä. Promaint 1/2011, 12 - 15.

Opetushallitus. 2013 Mekaniikka [viitattu 20.10.2013]. Saatavissa:

<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka.html>

SKF. 2009. Kunnonvalvontakoulu. Luentomateriaali

SKF. 2012a. @ptitude Analyst tietolehti [viitattu 5.11.2013]. Saatavissa:

<http://www.skf.com/binary/12-49178/CM-P8-10299-6-EN-SKF-Aptitude-Analyst-Brochure.pdf>

SKF. 2012b. Microlog CMXA 80 tietolehti [viitattu 5.11.2013]. Saatavissa:

[http://www.skf.com/binary/12-15567/CM\\_P8-10510\\_6-EN-SKF-Microlog-Analyzer-AX-CMXA-80\\_June-2012.pdf](http://www.skf.com/binary/12-15567/CM_P8-10510_6-EN-SKF-Microlog-Analyzer-AX-CMXA-80_June-2012.pdf)

SKF. 2013. Microlog Inspector tietolehti [viitattu 5.11.2013]. Saatavissa:

<http://www.skf.com/binary/12-49218/CM-P8-11314-8-EN-SKF-Microlog-Inspector.pdf>

Stora Enso. 2011. Heinolan flutingtehdas [viitattu 20.9.2013]. Saatavissa:

<http://www.storaenso.com/about-us/mills/finland/heinola-fluting-mill/Pages/heinolan-flutingtehdas.aspx>

Stora Enso. 2013. Stora Enso on allekirjoittanut sopimuksen Eforan osakkeiden lunastamisesta ABB:lta [viitattu 20.9.2013]. Saatavilla:

<http://www.storaenso.com/media-centre/press-releases/2013/09/Pages/stora-enso-on-allekirjoittanut-sopimuksen.aspx>

## LIITTEET

LIITE 1. Tyhjä taulukko

