

# **Schaeffler OPTIME -kunnonvalvontajärjestelmän käytön kehittäminen**

**Stora Enso Oyj Honkalahden saha**

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

2025

Klaus Niskanen

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Klaus Niskanen	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 30	Valmistumisaika 2025
Työn nimi <b>Schaeffler OPTIME -kunnonvalvontajärjestelmän käytön kehittäminen</b> Stora Enso Oyj Honkalahden saha		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), konetekniikan koulutus		
Toimeksiantajaorganisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja) Stora Enso Oyj		
Tiivistelmä <p>Työssä kartoitettiin Honkalahden sahan kunnonvalvonnan nykytilaa, jossa pääasiallinen kunnonvalvonnan työkalu on Schaeffler OPTIME -kunnonvalvontajärjestelmä. Sahalla oli tarve selvittää sisäisten prosessien kulkua ja niiden toimivuutta, kun OPTIMEssa hälyttäneet laiteviat konkretisoituivat laiterikoiksi asti.</p> <p>Kunnonvalvonnan nykytilan selvitystä varten tehtiin teoriakatsaus kunnonvalvonnasta, värähtelymittauksesta sekä tutustuttiin Schaeffler OPTIME IoT-pohjaiseen värähtelymittausratkaisuun. Varsinainen selvitystyö perustui pääosin henkilöhaastatteluihin, sillä kyse oli toimintamalleista, jotka liittyvät tehtaan kunnonvalvontaan ja järjestelmien käyttöön.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selvyys kunnonvalvontaan liittyvien henkilöiden toimintamalleista sekä resursoinnin nykytilasta. Tehtaalla oli selkeä tarve yhtenäistää toimintamallit järjestelmien käytössä sekä varmistaa riittävä resursointi laadukasta kunnonvalvontaa varten.</p>		
Asiasanat Kunnonvalvonta, IoT, Värähtelymittaus, Kunnossapito, Schaeffler OPTIME		

## Abstract

Author(s)	Type of Publication	Published
Klaus Niskanen	Thesis, UAS	2025
	Number of Pages	
	30	
Title of Publication		
<b>Improving the use of Schaeffler OPTIME condition monitoring system</b> Stora Enso Oyj Honkalahti Sawmill		
Degree, Field of Study		
Engineer (UAS), Mechanical Engineering		
Organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party)		
Stora Enso Oyj		
Abstract		
<p>This thesis mapped the current state of condition monitoring at the Honkalahti sawmill, where the primary tool for condition monitoring is the Schaeffler OPTIME -condition monitoring system. There was a need to clarify the flow of internal processes, since some faults detected by OPTIME concretized into equipment breakdowns.</p> <p>For the investigation of the current state of condition monitoring at the mill, a theoretical review was conducted on condition monitoring, vibration measurement, and a review was made of Schaeffler's OPTIME IoT-based vibration measurement solution.</p> <p>The actual investigation was primarily based on personal interviews, since condition monitoring is heavily based on personnel's operational models. As a result of the study, clarity was obtained regarding the operational models of personnel involved in condition monitoring and the allocation of responsibilities.</p>		
Keywords		
IoT, Condition monitoring, Vibration analysis, Schaeffler OPTIME, Maintenance		

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Kunnossapidon teoriaa .....	3
2.1	Kunnossapito .....	3
2.2	Kunnossapitolajit .....	3
2.3	Kuntoon perustuva kunnossapito.....	4
2.4	RCM.....	5
2.5	Kriittisyysluokittelu .....	6
2.6	Kunnossapito osana liiketoimintaa.....	7
3	Kunnonvalvonta .....	9
3.1	Kunnonvalvonta yleisesti .....	9
3.2	Kunnonvalvonnan suunnittelu.....	9
3.3	Havainnointi- ja mittausmenetelmät.....	11
3.4	Värähtelymittaus.....	11
3.5	Vianmääritys .....	12
3.6	Kannattavuus .....	14
3.7	Turvallisuus .....	14
4	Schaeffler OPTIME.....	16
4.1	Järjestelmän esittely .....	16
4.2	Värähtelyanturit .....	17
4.3	Mittausdatan käsittely .....	19
4.4	KPI-seurannat .....	21
4.5	OPTIME Expertviewer .....	22
5	Honkalahden nykytilanteen kartoitus.....	23
5.1	Tehdasesittely .....	23
5.2	Kunnonvalvonnan nykytila.....	23
5.3	OPTIME-anturoinnin kartoitus .....	24
5.4	Kunnonvalvonnan resursointi .....	24
5.5	Järjestelmien käyttö.....	25
5.6	Kunnonvalvonnan tavoitteet .....	26
6	Yhteenveto ja pohdinta .....	27
	Lähteet .....	29

## 1 Johdanto

Kunnossapito on murroksessa, kun uudet teknologiset ratkaisut ovat muuttamassa kunnossapitoinsinöörin arkea. Esimerkiksi kunnonvalvonnan IoT-ratkaisut tuovat kunnonvalvontaa uudeksi osaksi kunnossapitoinsinöörin päivittäistä työtä. Aiemmin kunnonvalvonta on ollut erillisten siihen erikoistuneiden henkilöiden vastuulla, mutta teknologiset ratkaisut ovat tehneet siitä nyt saavutettavaa myös muille. Perinteiset kunnonvalvonnan mittauskierrokset voidaan korvata anturoinnilla ja datamäärän kasvaessa asiantuntijaosaamisen merkitys kasvaa. (Elkateb 2024, 308–309.)

Työ toteutettiin Stora Enson Honkalahden sahalla, jossa on otettu käyttöön Schaefflerin OPTIME -kunnonvalvontajärjestelmä. Stora Enso on yksi maailman suurimpia metsäteollisuusyhtiöitä. Se keskittyy korkealaatuisten puupohjaisten tuotteiden valmistukseen. Sahatarvara ja sen jatkojalosteet ovat tärkeä osa yrityksen strategiaa ja tulevaisuuden hiilineutraalia rakentamista.

Työn tarkoituksena on selvittää Honkalahden sahan kunnonvalvonnan nykytilanne, Schaeffler OPTIME:n käytön tilanne sekä sisäisten prosessien kehitysmahdollisuudet. Työtä voidaan hyödyntää Honkalahden sahan sisäisten prosessien kehityksessä esimerkiksi kunnossapidon työsuunnittelussa. Järjestelmällisellä kunnonvalvonnalla voidaan havaita laitteiden ajoissa ja tehdä korjaavat toimenpiteet ennen vikaantumisia. Ajoissa reagoimisella voi olla vaikutusta koko sahan kannattavuuteen pitkällä aikavälillä, kun suunnittelemattomat seisokit vähenevät. Selvityksen tarve nousi esiin, kun muutamat järjestelmässä hälyttäneet oireet pääsivät realisoitumaan vikaantumisiksi asti.

Työssä käydään läpi varsinaisen selvitystyön tekemiseen tarvittavat pohjatiedot. Teoriaosuus kunnossapidosta sisältää olennaisia käsitteitä ja niiden määrittelyä kunnonvalvontaan sekä tuotannon kunnossapitoon liittyen. Työssä käydään syvällisemmin läpi kunnonvalvontaa: tutustaan perusteisiin kunnonvalvonnasta, sen menetelmiin ja pureudutaan syvällisemmin värähtelymittaukseen. Lisäksi käydään läpi kunnonvalvonnan vaikutuksia tuotantoyksikön kunnossapitokustannuksiin, käyttövarmuuteen sekä näiden yhdistelmävaikutusta tuotantoyksikön kannattavuuteen.

Työssä keskitytään Honkalahden sisäiseen toimintaan. Tarkoituksena on selvittää, mikä on Honkalahden kunnonvalvonnan nykytilanne. Työssä tutkitaan miten, ja kuka tekee kunnonvalvontaa, mitä tietoa saadaan ja kuinka sitä hyödynnetään sekä kuinka havaitut mahdolliset viat etenevät sisäisissä prosesseissa toimenpiteiden suunnittelun aloitukseen asti. Työssä selvitetään myös, mitkä koneet ovat säännöllisen kunnonvalvonnan alla ja

tutustutaan, onko tuotantolinjoissa vielä anturoimattomia koneita, jotka tulisi lisätä anturoinnin piiriin.

Työssä ei käsitellä kunnossapidon tiedossa olevien vikojen korjaavien toimenpiteiden etenemistä, olemassa olevia ennakkohuoltosuunnitelmia tai niiden toteumaa eikä Honkalahden kunnonvalvonnan historiaa muutoin kuin selvitystyön kannalta on oleellista.

## 2 Kunnossapidon teoriaa

### 2.1 Kunnossapito

Kunnossapito on yleisesti määritelty minkä tahansa kohteen ylläpitoon vaadittujen toimenpiteiden kokonaisuudeksi. Tämä kokonaisuus sisältää tekniset, hallinnolliset sekä johtamiseen liittyvät asiat. Kohde pyritään säilyttämään tai palauttamaan sellaiseen tilaan, että se pystyy toimimaan koko elinikänsä ajan vaaditulla tavalla. (PSK 6201 2022, 3.)

Kunnossapito on yksi keskeisimmistä tuotantoa tukevista toiminnoista. Sen keskeisimpiä tavoitteita on varmistaa riittävä käyttövarmuus sekä maksimoida tuotannon kokonaistehokkuus käytettävissä olevilla resursseilla. Näitä resursseja ovat esimerkiksi taloudelliset tekijät sekä henkilöstö. Tavoitteiden kannalta olennaista on myös huomioida turvallisuusvaatimukset sekä ympäristövaikutukset. (PSK 6201 2022, 4; SFS-EN 13306 2017, 4.)

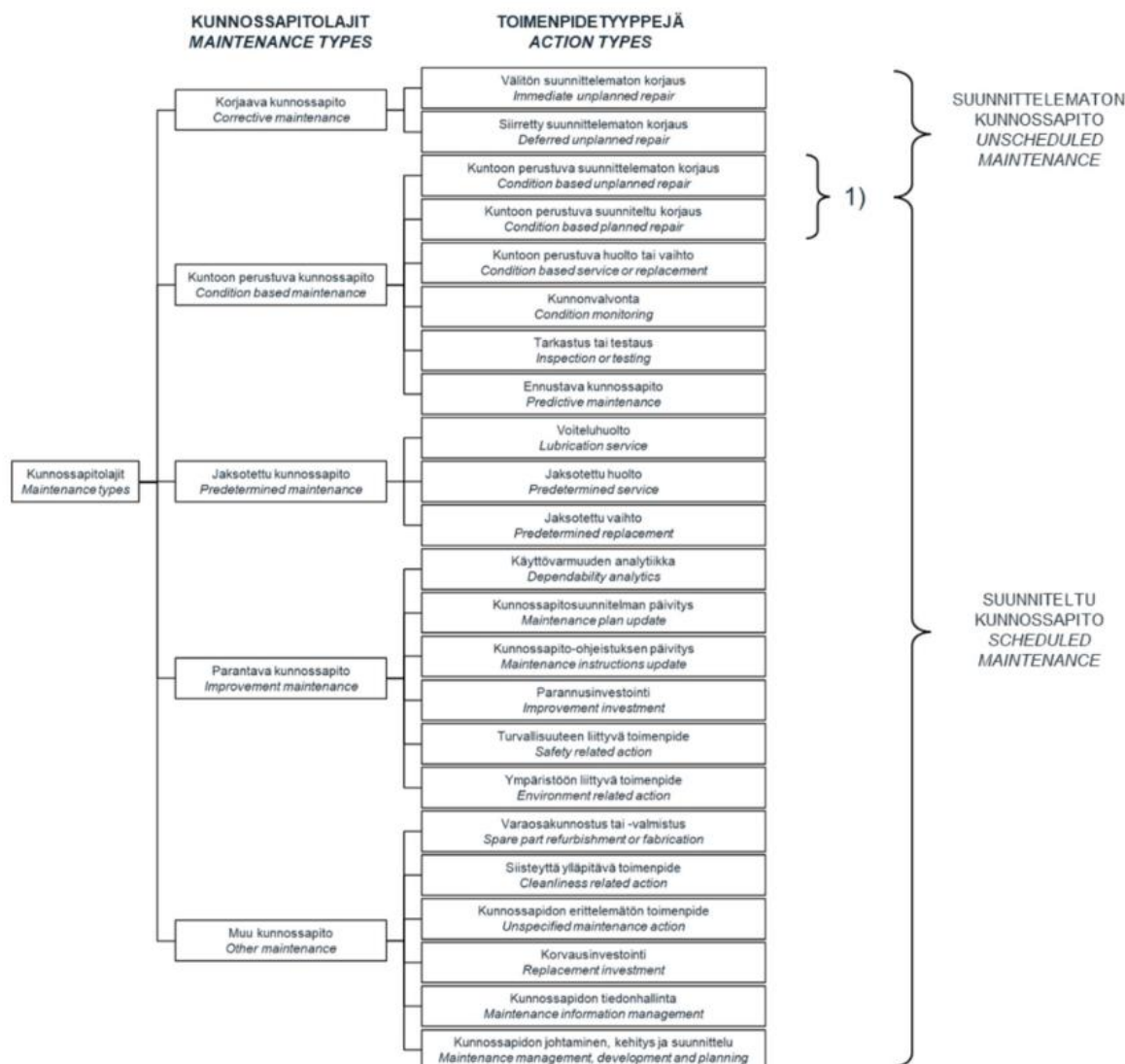
Kunnossapito on nykyään nivoutunut hyvin läheiseksi osaksi tuotantoa. Tuotannon tarpeet määrittelevät hyvin pitkälti sen, mitä kunnossapidolta oikeastaan halutaan. Mikkosen (2009, 28) mukaan tuotannon tarpeet määrittelevät odotetun suorituskyvyn laitteilta, josta päästään kunnossapitostrategian ja kunnossapidon toimenpiteiden määrittelyyn. Nämä määritteet luovat perustaa kunnossapidon suunnitelmalliselle toiminnalle ja ilman näitä kunnossapidon toiminta pitkällä aikavälillä on hyvin haastavaa.

### 2.2 Kunnossapitolajit

PSK 6201 mukaan kunnossapidon toimenpiteet voidaan jakaa viiteen eri kunnossapitolajiin. Nämä lajit ovat:

- Korjaava kunnossapito
- Kuntoon perustuva kunnossapito
- Jaksotettu kunnossapito
- Parantava kunnossapito
- Muu kunnossapito

Kunnossapitolajit sisältävät eri toimenpidetyyppejä, jotka voidaan edelleen kategorisoida suunniteltuun ja suunnittelemattomaan kunnossapitoon. Tässä työssä keskitytään pääosin kuntoon perustuvaan kunnossapitoon. Kuvassa 1 esitetään toimenpidetyypit sekä suunnitellun ja suunnittelemattoman kunnossapidon jaottelu tarkemmin.



Kuva 1. Kunnossapitolajit (PSK 6201 2022)

Perinteisesti kunnossapidon ajatellaan olevan koneiden korjaamista. Kunnossapitoon liittyviä toimia on kuitenkin hyvin montaa muutakin kuten edellä olevassa kuvassa niitä on mainittu. Yksi tärkeimmistä nykyajan kunnossapidon toimista onkin juuri turvallisuuteen liittyvät toimenpiteet. Esimerkiksi Stora Ensolla koko konsernin tasolla on ollut tavoitteena nolla tapaturmaa, ja tämä suhtautuminen on näkynyt työntekijöiden vähentyneinä poissaoloina (Stora Enso 2020).

### 2.3 Kuntoon perustuva kunnossapito

Kuntoon perustuva kunnossapito on yksi viidestä päälajista, jotka on määritelty standardissa PSK 6201. Tämä kunnossapitolaji on kaikkea sitä kunnossapitoa, joka perustuu kohteen kunnon arviointiin eri menetelmillä ja niiden perusteella tehtäviä toimenpiteitä. Kunnon arviointiin kuuluu kaikki kohteen havainnointi, esimerkiksi ihmisaisteilla havaittavat asiat,

mitattavat ominaisuudet sekä erilaisilla analyysillä saatavat tiedot. Kuntoon perustuvalla kunnossapidolla pyritään havaitsemaan alkavat vikaantumiset ennen varsinaista laiterikkoa. Tämä mahdollistaa kunnossapidollisten toimenpiteiden suunnittelun ja toteuttamisen hallitusti ilman häiriöseisokkia. (PSK 6201 2022, 29; SFS-EN 13306 2017, 14.)

Kuntoon perustuva kunnossapito tähtää vikojen korjaamiseen ennen kohteen vikaantumista. Tällä pyritään minimoimaan kohteen eliniän aikaiset kunnossapitokustannukset ajoittamalla korjaavat toimenpiteet laitteen vikaantumishetkeen. Jaksotetussa kunnossapidossa taas laitteita huolletaan määräajoin huolimatta laitteen sen hetkisestä kunnosta ja todellisesta korjaustarpeesta. Tämä voi aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia, sillä laitteen elinikä voi olla todellisuudessa pidempi kuin määräaikainen huoltoväli.

## 2.4 RCM

RCM eli Reliability Centered Maintenance (suom. luotettavuuskeskeinen kunnossapito) on systemaattinen toimintamalli kunnossapidon resurssien kohdistamiseen (Mikkonen 2009, 75). Sen perustana on laitekannan luokittelu priorisointijärjestykseen, jossa otetaan huomioon laitteen vikaantumisen aiheuttamat turvallisuusriskit sekä kustannus-, ympäristö- ja laatuvaikutukset (Moubray 1997, 8–10).

RCM painottaa myös selkeyttä ylipäättään organisaation toiminnassa. Esimerkiksi tehtävänkuvat ja ohjeet olisi hyvä muotoilla niin, että niihin ei jää tulkinnanvaraisuuksia. (Moubray 1997, 218.)

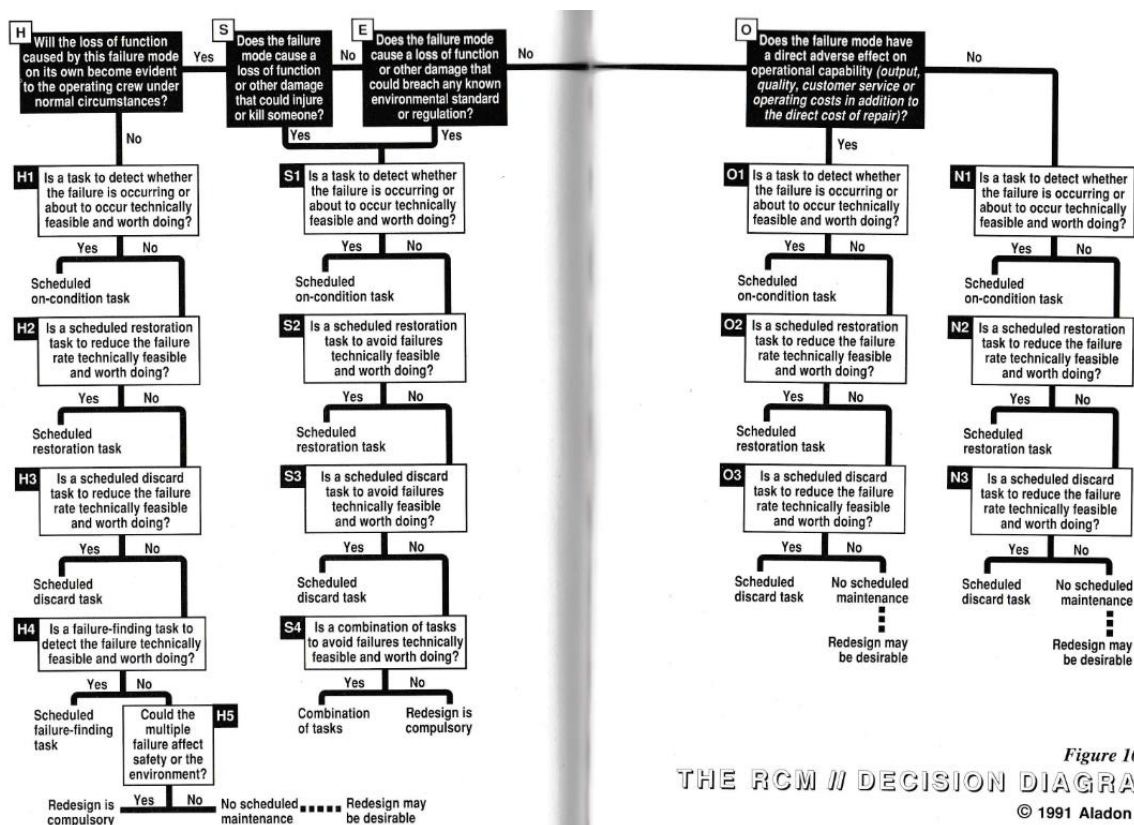
RCM:n perusajatuksena on tavoite kunnossapidon resurssien ohjauksesta sinne, missä niitä oikeasti tarvitaan. Sivujuonteena myös turha työ karsiutuu jopa automaattisesti, kun RCM:ä aletaan hyödyntämään. Resurssien ohjausta voidaan helpottaa Moubrayn (1997, 7) seitsemällä kysymyksellä, joilla määritetään kohteen vikaantumisen seuraksia. Nämä seitsemän kysymystä ovat:

- Mitkä ovat kohteen toiminnot ja siihen liittyvät vaatimukset käyttöympäristössään?
- Millä tavoin kohde epäonnistuu täyttämään toiminnalle asetetut vaatimukset?
- Mikä aiheuttaa minkäkin vikaantumisen?
- Mitä tapahtuu kunkin vian esiintyessä?
- Millä tavoin viat ovat merkityksellisiä?
- Mitä voidaan tehdä vian ennustamiseksi tai sen ehkäisemiseksi?
- Mitä jos sopivaa ennakkoivaa toimenpidettä ei ole?

Kysymykset muodostavat rungon niille asioille, joita kunnossapito voi odottaa vikaantumisesta johtuvan. Vikaantumisen seuraksien selventämisen lisäksi näihin kysymyksiin

voidaan tukeutua kunnossapidon strategisessa suunnittelussa. Samoja kysymyksiä voidaan jossain määrin myös soveltaa isommissa kokonaisuuksissa: ”Mitä tapahtuu, jos lämpölaite rikkoutuu?”

Kuudenteen kysymykseen Moubray pureutuu tarkemmin kuvassa 2 esitettyssä päätöksentekokaaviolla. Sillä voidaan valita käytettävä kunnossapidon menetelmä kohteen ylläpitoa varten.



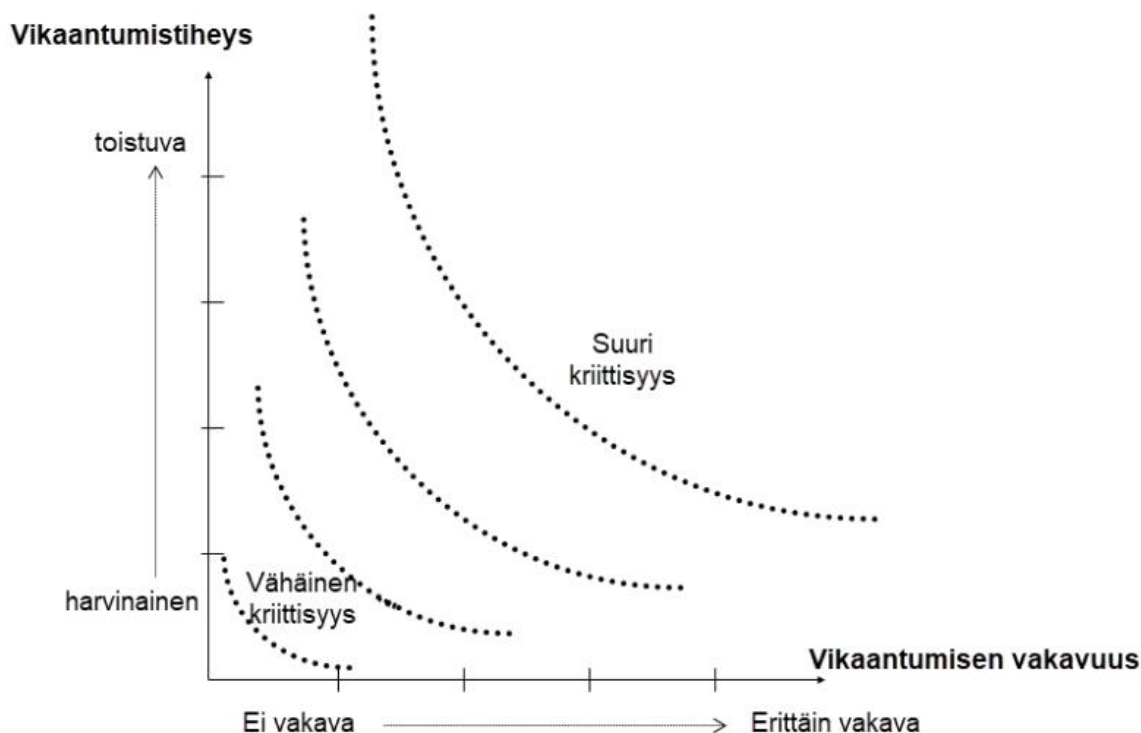
Kuva 2. RCM-päätöksentekodiagrammi (Moubray 1997)

Moubray tähdentää vikaantumisten merkityksen 2 tärkeintä asiaa. Mitä oikeasti tapahtuu ja ovatko henkilövahingot mahdollisia? Vikaantumisen todennäköisyydellä ei oikeastaan ole edes merkitystä, jos se aiheuttaa turvallisuusriskin. Silloin vikaantuminen on aina otettava vakavasti. Tämä sama ajatusmaailma on kriittisyysluokittelun pohjana, joka on osa RCM:ä. (Moubray 1997, 96–97.)

## 2.5 Kriittisyysluokittelu

Kunnossapidossa resursseja on käytössä rajallinen määrä ja ne tulisi kohdentaa kustannustehokkaasti. Tuotannon kunnossapidossa resurssien kohdistamista määrittää kohteen kriittisyys. Kriittisyys koostuu kohteen vikaantumisen vakavuudesta ja vikaantumisen

tiheydestä tai todennäköisyydestä. (PSK 6201 2022, 17; SFS-EN 13306 2017, 12.) Kuva 3 vikaantumisen kriittisyydestä havainnollistaa kriittisyysluokittelun perustaa.



Kuva 3. Vikaantumisen kriittisyys (SFS-EN 13306 2017)

Vikaantuminen tarkoittaa kohteen vaaditun toiminnan suorittamiskyvyn menettämistä. Vikaantumisen vakavuutta arvioidessa otetaan huomioon vikaantumisesta johtuvat oletetut tai todelliset haittavaikutukset. Vakavuuteen voivat vaikuttaa monet tekijät, kuten esimerkiksi kustannukset, ympäristö- ja turvallisuusvaikutukset. (SFS-EN 13306 2017, 10–11.)

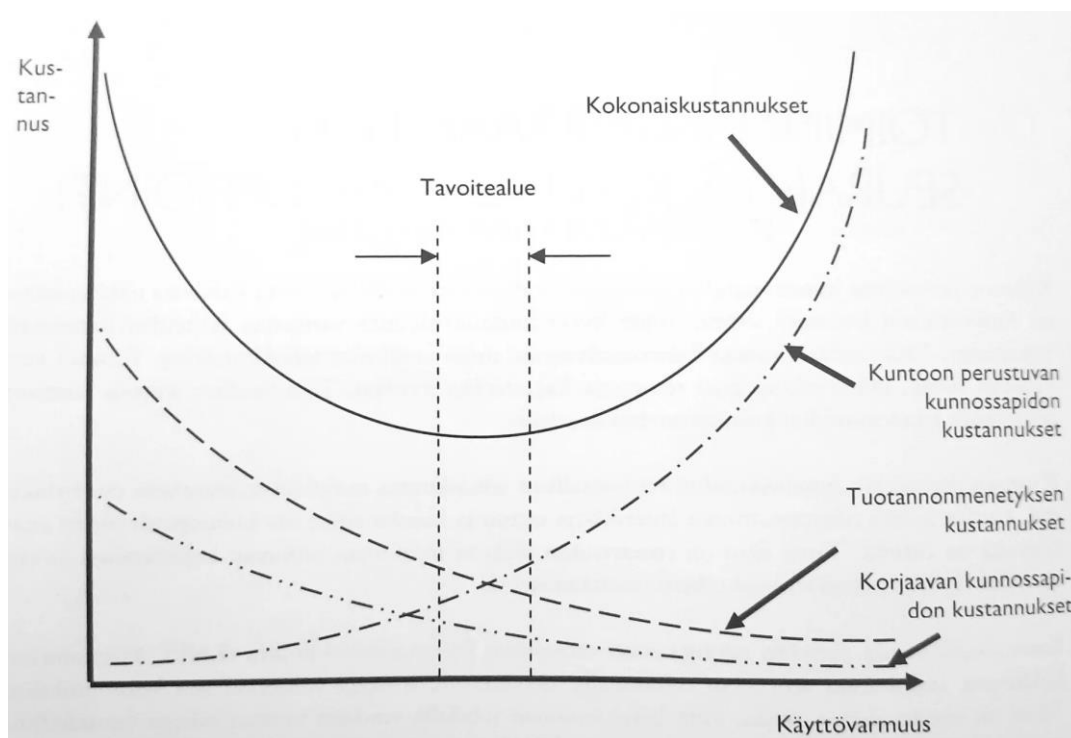
## 2.6 Kunnossapito osana liiketoimintaa

Mikkosen (2009, 70) mukaan kunnossapidon tarkoitus tuotannossa on ylläpitää laitteiden kykyä tehdä tuotantoa. Määritelmä on kiteytettynä selkeä, mutta todellisuudessa se on monimutkaisempaa. Käytännön tasolla määritelmä laitteiden tuotantokyvyn ylläpidosta sisältää vaatimuksen laitteiden kunnosta sekä sen, kuinka paljon kunnossapito saa käyttää ylläpitoon resursseja. Vaaditun kunnostason määrittely voi olla hyvinkin haastavaa, sillä siihen liittyy monia tekijöitä ja laitoskohtaisia muuttujia.

Kunnossapito on aina osa tuotantoteollisuutta ja se muodostaa merkittävän osan laitoksen kuluista. Promaintin (2016) julkaisemassa artikkelissa arvioidaan, että kunnossapidon kokonaiskustannusten osuus yrityksen liikevaihdosta vaihtelee normaalisti 2–20 % välillä. Pienempään päähän sijoittuvat esimerkiksi konepajayritykset ja suurempaan päähän taas

tuotantoteollisuuden yritykset. Kunnossapito on pitkään ollut kustannuserä, jota on pyritty Peltorannan (2019) mukaan minimoimaan vuodesta 2008 talousvaikeuksien aikaan, mutta nykyään kuitenkin hyvin hoidetun kunnossapidon on huomattu vaikuttavan moniin muihin yrityksen mittareihin positiivisesti. Tapoja toteuttaa kunnossapitoa on monta, mutta yhtä ainoa parasta tuskin on. Kunnossapidon toiminta on aina kompromissi hyvien ja huonojen puolien tasapainotuksessa.

Kunnossapidon kustannukset voidaan esittää myös optimointikysymyksenä. Kunnossapidon kustannukset ovat kovin suuret silloin kun laitteet ovat tilassa, jossa ne rikkoutuvat usein ja niiden käyttövarmuus on heikolla tasolla. Toisaalta taas kustannukset ovat suuret myös silloin, jos laitteiden ylläpidolla tavoitellaan 100 % käyttövarmuutta. Kunnossapidon kustannukset ovat pienimmät jossain tällä välillä. Kuvassa 4 esitetään, että optimaaliset kokonaiskustannukset saavutetaan silloin kun tuotannonmenetysten sekä korjaavan kunnossapidon kustannukset ovat yhtä suuret kuin kuntoon perustuvan kunnossapidon kustannukset. (Mikkonen 2009, 497–498.)



Kuva 4. Kustannukset käyttövarmuuden funktiona (Mikkonen 2009)

Tällä logiikalla voidaan todeta, että korjaavalla kunnossapidolla on oma paikkansa tuotannon kunnossapidossa. Jossain pisteessä suuremman käyttövarmuuden tavoittelemisen kustannukset kasvavat niin suureksi, että tuotannonmenetykset ja häiriöseisokit olisivat jopa halvempi vaihtoehto kokonaisuutta ajatellen.

### 3 Kunnonvalvonta

#### 3.1 Kunnonvalvonta yleisesti

Kunnonvalvonta on määritelty Suomen standardisointiyhdistyksen julkaisussa PSK6201 (2022, 26) mukaan valvottavan kohteen kuntoa ilmaisevien tietojen keräämiseksi, analysoinniksi, käsittelyksi ja havaintojen raportoinniksi. Tuotannon kunnossapidossa kunnonvalvonnalla pyritään havaitsemaan tuotantolaitteiden vikoja tai poikkeamia koneen toiminnassa. Tarkoituksena on havaita alkavat laiteviat ennen niiden konkretisoitumista. Vikoja tai poikkeamia voivat olla esimerkiksi mittaamalla havaittava muutos laitteen värähtelyssä tai tuotettavan materian laatu-poikkeamat.

Kunnonvalvonta on yksi perusedellytyksistä kuntoon perustavalle kunnossapidolle. Valvonnalla on tarkoitus saada informaatiota laitteiden tilasta, jotta kunnossapitotoimenpiteet pystytään suunnittelemaan optimaalisiin aikoihin. Kunnonvalvontaa voidaan tehdä jatkuvasti, jaksotetusti tai tarpeen vaatiessa, mutta kuitenkin niin että toiminta perustuu suunnitelmallisuuteen.

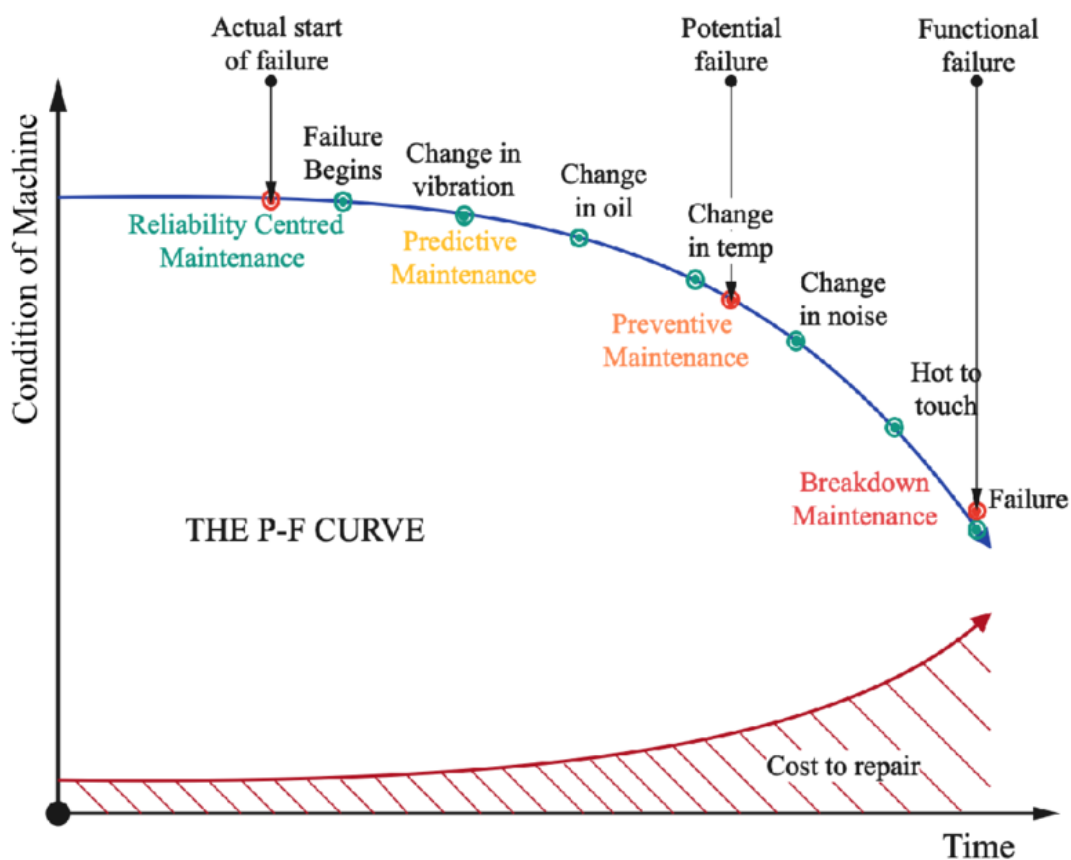
Kunnonvalvonnan hyödyt saattavat jäädä usein pimentoon, kun sen vaikutukset näkyvät erimittareilla vasta vuosien aikavälillä. Kunnossapidon operatiivisen toiminnan mittarointi on suhteellisen selkeää, kuten suoritettujen töiden määrä tai kunnossapidon kustannukset. Kunnonvalvonnan avulla saadut kustannussäästöt ovat kuitenkin vain arvio, kun lähdetään arvioimaan vältettyjen häiriöiden todellisia kustannuksia. Häiriöseisokkien vähenemistä voidaan verrata vasta vuosien kuluttua ja kunnonvalvonta vaatii onnistuakseen pitkäjänteistä toimintaa. (Mikkonen 2009, 175.)

#### 3.2 Kunnonvalvonnan suunnittelu

Kunnonvalvonnan suunnittelussa suurin määrävä tekijä on kunnossapitostrategia ja strategia puolestaan määrittäyty kunnossapidolle asetetuista vaatimuksista yrityksessä. Kunnonvalvonnan suunnittelu pohjautuu pitkälti kunnossapitosuunnitelmaan ja laitteiden kriittisyysluokitteluun. Ensin on tiedettävä kunnossapidolta odotetut vaatimukset laitteiston ylläpidolle. Vasta sen jälkeen voidaan määrittää laitteiden kriittisyys ja kriittisten laitteiden tarve kunnonvalvonnalle. (Mikkonen 2009, 162.)

Kunnonvalvontamenetelmien valinta ja näiden luotettavuuden arviointi tulee toteuttaa tarkoituksenmukaisesti, jotta saadaan havainnoitua olennaisia ilmiöitä vikojen havaitsemiseksi. Kunnonvalvontamenetelmä, joka mittaa vikaantumiseen liittymättömiä asioita, ei kerro olennaisia asioita laitteen tilasta. Vikaantumismekanismi, jota pyritään seuraamaan, tulisi olla myös ajoissa havaittavissa, jotta vikaantumisen ajankohta voidaan ennustaa ja

toimenpiteet sen korjaamiseksi ajoittaa ajoissa. (Mikkonen 2009, 140.) Todellisuudessa suunniteltujen menetelmien ja toimenpiteiden valinta perustuu usein kokemuksen ja teorian yhdistelmään (Heinonkoski 2024, 229). Kuvasta 5 nähdään, minkälaisia muutoksia vikaantumisen aikana voi esiintyä. Esimerkiksi värähtely- sekä voitelumuutokset ovat havaittavissa hyvinkin ajoissa, mutta muutokset käyntiäänessä tai kohteen lämpeminen kuumaksi kosketukselle ovat hyvin lähellä jo varsinaista vikaantumista. Kun ymmärretään vikaantumismekanismin aikaiset mitattavat ilmiöt, päästään mahdollisimman ajoissa kiinni alkaviin vikaantumisiin sekä suunnittelemaan korjaavia toimenpiteitä. Mitä myöhemmin viat havaitaan, sitä kalliimpaa niitä on yleensä korjata.



Kuva 5. Kuntoon perustuvan kunnossapidon suunnittelu (Gawde ym. 2022)

Kunnovalvonta vaatii onnistuakseen pitkäjänteistä sekä suunnitelmallista toimintaa. Mikkosen (2009, 175) mukaan kunnonvalvonnan epäonnistumisen pääsyyt ovat juuri pitkäjänteisyyden puute, organisaation ongelmat sekä puutteellinen raportointi. Kunnonvalvonnan onnistumisen lähtökohdat ovat siis riittävä resursointi, organisaation tuki sekä järjestelmällinen toiminta, kuten huolellinen dokumentointi ja raportointi. Kunnonvalvonnalla saadaan tuloksia vuosien aikavälillä ja perusasioiden kunnossapidon muussa toiminnassa on oltava kunnossa.

### 3.3 Havainnointi- ja mittausmenetelmät

Kunnonvalvontaa voidaan toteuttaa monilla eri havainnointi- ja mittausmenetelmillä, ja nämä eri menetelmät soveltuvat valvontaan vaihtelevasti valvottavan kohteen mukaan. Kunnonvalvonnan onnistumiseksi menetelmän soveltuvuutta ja sen luotettavuutta tulisi arvioida laitekohtaisesti. Arviointi vaatii teknistä asiantuntemusta käytettävistä menetelmistä sekä koneista soveltuvimman menetelmän valintaan. (Mikkonen 2009, 162.)

Yksinkertaisin keino havainnoida on käyttää ihmisen omia aisteja. Esimerkiksi kuuntelemalla voidaan havaita poikkeavia ääniä (Heinonkoski 2024, 191). Hankauksesta johtuvat erinäiset kahinat tai vinkuvat äänet pyörivissä laitteissa voivat kertoa esimerkiksi voitelun puutteesta.

Aistien tukena on nykyään myös paljon erilaisia mittalaitteita, joilla pystytään täsmällisemmin määrittämään poikkeavuuksia. Niillä havainnoidaan mitattavissa olevia ilmiöitä, kuten lämpötilaa, äänen voimakkuutta, painetta tai värähtelyä. (Heinonkoski 2024, 191.) Mittalaitteita on monia erilaisia. Koneisiin voidaan asentaa suoraan mittalaitteet, mutta on olemassa myös käsikäyttöisiä mittalaitteita ja monesti laitteiden mukana tulee valmiiksi asennettuja antureita. Esimerkiksi värähtelymittaukseen on tarjolla yksinkertaisia käsimittauskyiniä, koneisiin kiinteästi asennettavia antureita ja kannettavia mittalaitteita. (Heinonkoski 2024, 191; Mikkonen 2009, 259–262.)

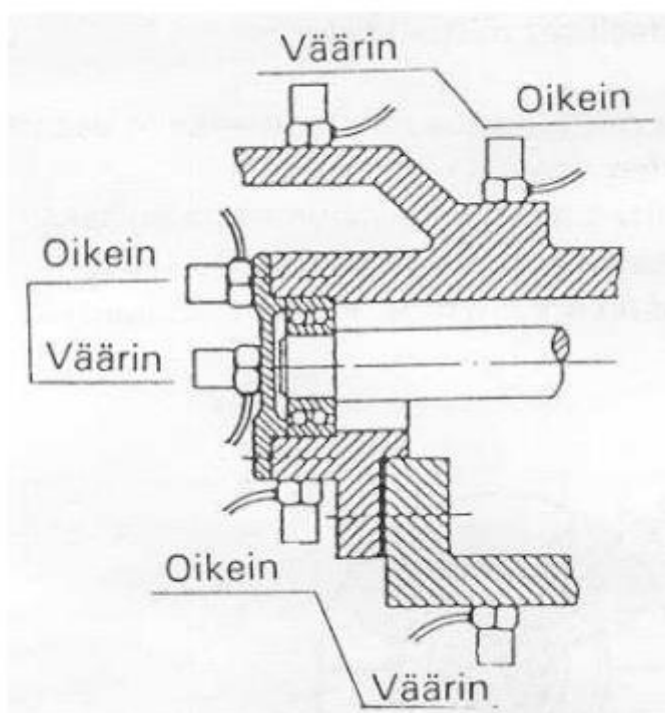
### 3.4 Värähtelymittaus

Värähtelymittaus on yksi käytetyimmistä menetelmistä pyörivien koneiden kunnon selvittämiseksi. Pyörivät koneet värähtelevät aina käydessään. Värähtelyjen perusteella voidaan tehdä erilaisia johtopäätöksiä koneen tilasta. Värähtelyn seurannan avulla pystytään erottamaan eri viat jopa komponenttitasolle asti. (Heinonkoski 2024, 193; Mikkonen 2009, 223–224.) Sillä pystytään esimerkiksi erottamaan hihnäkäytön linjauksen heitto sekä erilaiset laakeriviat.

Voimaa, joka koneen käydessä saa rakenteet värähtelemään, kutsutaan herätteeksi. Herätevoimia tulee esimerkiksi koneen käydessä erilaisista asioista, esimerkiksi epätasapainosta, linjausheitoista, vaurioituneista osista, tai ihan vain normaalista tuotteen työstöstä. (Mikkonen 2009, 224–225.) Esimerkiksi hakkuri, murskain tai muu vastaava laite, jonka tehtävänä on pilkkoa materiaa pienemmäksi, aiheuttaa värähtelyä aina pilkkomistaajuudella. Koska erilaiset tekijät aiheuttavat erilaisia värähtelyitä, eri taajuuksisia eri amplitudilla, värähtelymittauksella voidaan tunnistaa, mikä värähtelyn aiheuttaa. Laitteiston syvempi

tuntemus on aina edellytys sille, että vikoja pystytään tunnistamaan (Mikkonen 2009, 223–225).

Värähtelyä voidaan mitata siirtymä-, nopeus ja kiihtyvyyssantureilla (Heinonkoski 2024, 193). Tyypillisesti teollisuudessa käytetään kiihtyvyyssantureita. Kiihtyvyyssanturit eivät juuri kulu, ne ovat pienikokoisia ja suhteellisen edullisia (Mikkonen 2009, 237–240). Kiihtyvyyssanturi mittaa kohteen kiihtyvyyttä, eli teollisuudessa koneen rungon kautta pintaan johtuvaa kiihtyvyyttä. Kuva 6 havainnollistaa laakerivärähtelyjen mittauksen mittauspisteen valintaa ja sitä, mihin värähtely rungossa johtuu.



Kuva 6. Esimerkki värähtelyanturin sijoituksesta jonkin koneen rakenteeseen (PSK 5702 2024)

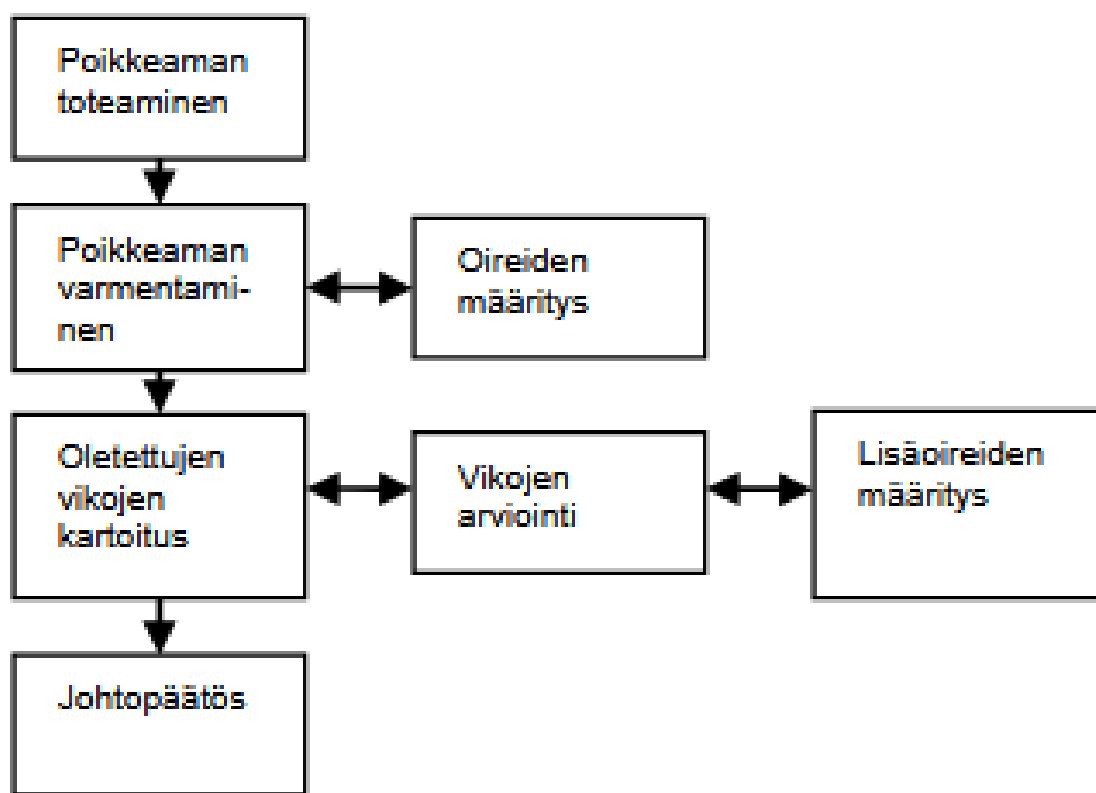
Oikealla mittauspisteen valinnalla saadaan luotettavin data mittauksesta. Huonosti valittu kohta voi johtaa väärään käsitykseen koneen kunnosta, kun piilevät viat jäävät havaitsematta. Mittauksista saatu vääristynyt tieto voi johtaa myös taloudellisiin vahinkoihin, jos erittäin kriittisten laitteiden kuvitellaan olevan paremmassa kunnossa kuin ne oikeasti ovat.

### 3.5 Vianmääritys

Värähtelymittauksen sovelluksista yksi on vianmääritys komponenttitasolla. Vianmääritys perustuu värähtelymittauksesta saatuun tietoon ja vianmääritys käynnistetään, kun

mittauksessa havaitaan poikkeamia. Värähtelymittauksessa tämä tarkoittaa esimerkiksi raja-arvon ylitystä tai poikkeamia taajuusspektrillä. (Mikkonen 2009, 290–291.)

Vianmäärityksen tulisi tapahtua systemaattisesti niin, että määrityksessä aloitetaan poikkeaman todentamisesta. Määrityksen tulisi edetä riittävän yksityiskohtaisesti, jotta viat kohdennetaan oikein ja olemassa olevat vaihtoehdot kartoitetaan ennen varsinaisia johtopäätöksiä. Kartoituksen jälkeen voidaan arvioida kunkin vaihtoehdon ja vian todennäköisyyttä, jolloin saadaan kattavin kuva oireen mahdollisista syistä. Ensisijainen vika saattaa myös aiheuttaa seurannaisoireita, jolloin vian kohdentaminen voi olla hyvinkin haastavaa. Kuva 7 havainnollistaa vianmäärityksen prosessia. (Mikkonen 2009, 290–291; PSK 5707 2024, 4.)



Kuva 7. Vianmäärityksen kulku (PSK 5707 2024)

Värähtelymittauksessa vianmääritys perustuu teoreettisen tiedon ja asiantuntevan arvion yhdistelmään. Analyysilaitteet ja ymmärrys värähtelystä antaa perustan vian kohdentamiselle komponenttitasolla. Kohdentamisen jälkeen on tärkeää myös varmistaa arvion oikeellisuus. Tämä päästään tekemään useimmiten vasta korjaavien toimenpiteiden jälkeen. Esimerkiksi tuotantolaitteiden laakeriviat selvitetään vasta sen jälkeen, kun vikaantuneen komponentin sisältävä laite on saatu korvattua. (Mikkonen 2009, 290–291.)

Vianmääritystä voi ja pitää myös tehdä muutoinkin kuin mittalaitteiden antaman tiedon varassa. Esimerkiksi prosessiolosuhteiden muutokset voivat näkyä värähtelymittauksen

tuloksissa huomattavina poikkeamina normaalista, vaikka todellista laitevikaa ei olisi olemassa. Esimerkiksi keskipakopumpun ylimääräinen kavitointi näkyy värähtelymittauksissa poikkeamana, mutta voi yksinkertaisesti johtua pumpattavan nesteestä tai materiaalin muutoksesta. Tämänkaltaiset asiat saadaan selville riittävällä kommunikaatiolla organisaation sisällä. (Mikkonen 2009, 290–291.)

### 3.6 Kannattavuus

Kunnonvalvonnan kannattavuuden arviointi tulisi olla myös osana kunnonvalvonnan suunnittelua. Valvontaa ei kannata edes tehdä, jos sillä todetaan olevan nettonegatiivinen vaikutus kunnossapidon kustannuksiin. Toisaalta kunnonvalvonta voi onnistuessaan tuoda huomattavia säästöjä etenkin laitoksissa, jossa häiriöseisokin kustannukset ovat suuret. Miljardiluokan yrityksissä, joissa tuotantoa suunnitellaan viikkojen tai jopa kuukausien päähän, häiriöseisokkien kustannukset voivat muodostua kohtuuttoman suuriksi. Kustannuksia voi muodostua menetetyt tuotannon lisäksi esimerkiksi tuotannon ajo-ohjelman uudelleen suunnittelusta tai tuotetun materiaalin kuljetusaikataulujen myöhästymisistä. Pahimmillaan materiaali voi olla raaka-ainetta jatkojalostamiseen ja myöhästyminen toimituksissa voi aiheuttaa tuotannon seisomista jalostuslinjalla raaka-aineen puuttumisen takia. (Niemi 2020, 56–60.)

Kunnonvalvonnan kustannukset muodostuvat siihen käytetyistä resursseista ja ne muodostuvat suurimman osan ajasta henkilöstökustannuksista sekä käytetyistä kunnonvalvonnan työkaluista ja järjestelmistä. Näiden resurssien kannattavuutta voidaan arvioida peilaamalla niitä oletettuun kustannussäästöön, jota saadaan esimerkiksi vältetyistä häiriöseisokeista, seisokkiajan tehokkaammasta käytöstä tai turhilta huolloilta välttymisellä. Kunnonvalvonnasta saadaan kannattavaa silloin kun oletetut kustannussäästöt ylittävät kunnonvalvonnan kustannukset. (Niemi 2020, 56–58.)

Kehittyvät teknologiat ovat tekemässä kunnonvalvonnasta entistä tehokkaampaa ja kannattavampaa. Parhaimmillaan esimerkiksi IoT-pohjaisella kunnonvalvontaratkaisulla on saavutettu 30 % säästöt kunnossapitokuluissa, 35–45 % seisokkiaikojen vähentyminen sekä 20–25 % kasvu tuotantomäärissä. Älykkäillä kunnonvalvontaratkaisulla on saavutettu jopa 10-kertainen ROI (investoinnin tuotto). (Fernandez 2021, 335.)

### 3.7 Turvallisuus

Kunnossapidossa tärkeintä on turvallisuus ja se tulisi ottaa huomioon sekä päivittäisessä tekemisessä työntekijä- että hallinnollisella tasolla. Monet kunnossapidolliset toimenpiteet vaativat erilaisten suojausten käyttöä ja koneiden suojauksesta sekä koneturvallisuudesta

on määräyksiä laissa ja EU-direktiiveissä. Määräyksiä löytyy esimerkiksi työturvallisuuslaista 738/2002 sekä konedirektiivistä 2006/42/EY.

Konedirektiivin mukaiset laitteet ovat nykyaikana niin hyvin suojattuja, että käsin suoritettavat mittaukset eivät ole aina edes mahdollisia. Kone-elimien mittauspisteet voivat olla todella syvällä koneen rakenteessa, joihin ei ole realistista päästä käsimittauslaitteistolla silloin kun koneita käytetään. Koneisiin asennettavien antureiden yksi hyvä puoli on nimenomaan käsimittauksen tarpeen vähentyminen, ja lisäksi antureiden asennus voidaan suorittaa koneen ollessa seis. Antureita voi myös sijoittaa paikkoihin, joissa ihmisen täytyy normaalisti suojautua haitoilta esim. kaivosteollisuuden pölyäviin murskausvaiheisiin, jossa on haitallista kivipölyä.

Säännöllisellä kunnonvalvonnalla voidaan havaita alkavat laiteviat jo todella aikaisessa vaiheessa ja tämä mahdollistaa toimenpiteiden suunnittelun etukäteen ja toimenpiteiden toteutuksen hallitusti huoltoseisokissa. Lisäksi etukäteen suunnittelulla voidaan tehokkaammin ottaa huomioon myös turvallisuuden näkökulma toimenpiteissä. Hallittu korjaaminen huoltoseisokissa on toimenpiteenä rauhallisempi verrattuna häiriöseisokin aikaiseen korjaamiseen. Häiriökorjauksissa ihminen saattaa kokea painetta suoriutua tilanteesta mahdollisimman nopeasti, sillä jokainen minuutti pois tuotantoajasta on menetystä, jota ei saada takaisin. Salmisen & Perttulan (2015) tekemässä selvityksessä saatiin vaihtelevia tuloksia ihmisen kiireen kokemisesta työssä, mutta usein kiireelle altistuvat joutuivat useammin tapaturmiin. Esimerkiksi käynninvarmistuksen tehtävissä, missä pääasiallinen tehtäväkuva on korjata yllättäviä häiriötä, työntekijä saattaa kokea työpäivät kovin kiireisiksi. Jos näitä häiriöitä saadaan kunnonvalvonnalla vähennettyä, saadaan käynninvarmistuksenkin tehtävistä turvallisempia, kun häiriöt ja kiire vähenevät.

## 4 Schaeffler OPTIME

### 4.1 Järjestelmän esittely

Schaeffler OPTIME on Schaeffler Groupin vuonna 2020 julkaisema kunnonvalvontajärjestelmä, joka yhdistää älykkään kunnonvalvonnan ja voitelun. OPTIME on helposti skaalattava kunnonvalvontaratkaisu, joka on kehitetty teollisuuden vaihtelevia tarpeita varten. Järjestelmä on suositeltu käytettäväksi pyöriville koneille, joiden pyörimisnopeus on välillä 120–5000 rpm. (Schaeffler 2024b, 3.)

Järjestelmä koostuu kolmesta ydintoiminnosta: antureista, reitittimistä ja pilvipohjaisista digitaalipalveluista. Akkukäyttöiset anturit asennetaan koneisiin ja ne mittaavat kohteen värähtelyä ja lämpötilaa. Anturit muodostavat langattoman mesh-verkon, eli ne pystyvät lähettämään mittausdataa muiden antureiden kautta reitittimelle. Reitittimet toimivat linkkinä antureiden ja pilven välillä ja yksi reititin pystyy kattamaan 50 anturin klusterin. Pilvipalvelu analysoi reitittimiltä saadun datan automaattisesti ja lähettää analyysien tuloksien perusteella käyttäjälle varoituksen havaituista vioista tai poikkeamista. Tulokset perustuvat Schaefflerin kehittämiin algoritmeihin ja koneoppimiseen. Varoituksia ja datasta saatuja tunnuslukuja voi tarkastella koska tahansa puhelinsovelluksella tai selainpohjaisella käyttöliittymällä. (Schaeffler 2024b, 4–5.) Kuva 8 havainnollistaa edellä mainittua ketjua anturidatan analysoinnista loppukäyttäjän nähtäväksi.



Kuva 8. Schaeffler OPTIME:n toimintaperiaate (Schaeffler 2024b)

OPTIME tarjoaa värähtelymittauksen lisäksi ratkaisun voitelun automatisointiin. Voitelulaitteet yhdistetään värähtelyantureiden tavoin OPTIME-järjestelmään, ja niiden tilatietoja pääsee tarkastelemaan samalla tavalla kuin muutakin pilvessä olevaa dataa. Tarkasteltaviin tietoihin kuuluu muun muassa jäljellä olevan voiteluaineen määrä, akun lataus ja lämpötila. (Schaeffler 2024b, 5.)

#### 4.2 Värähtelyanturit

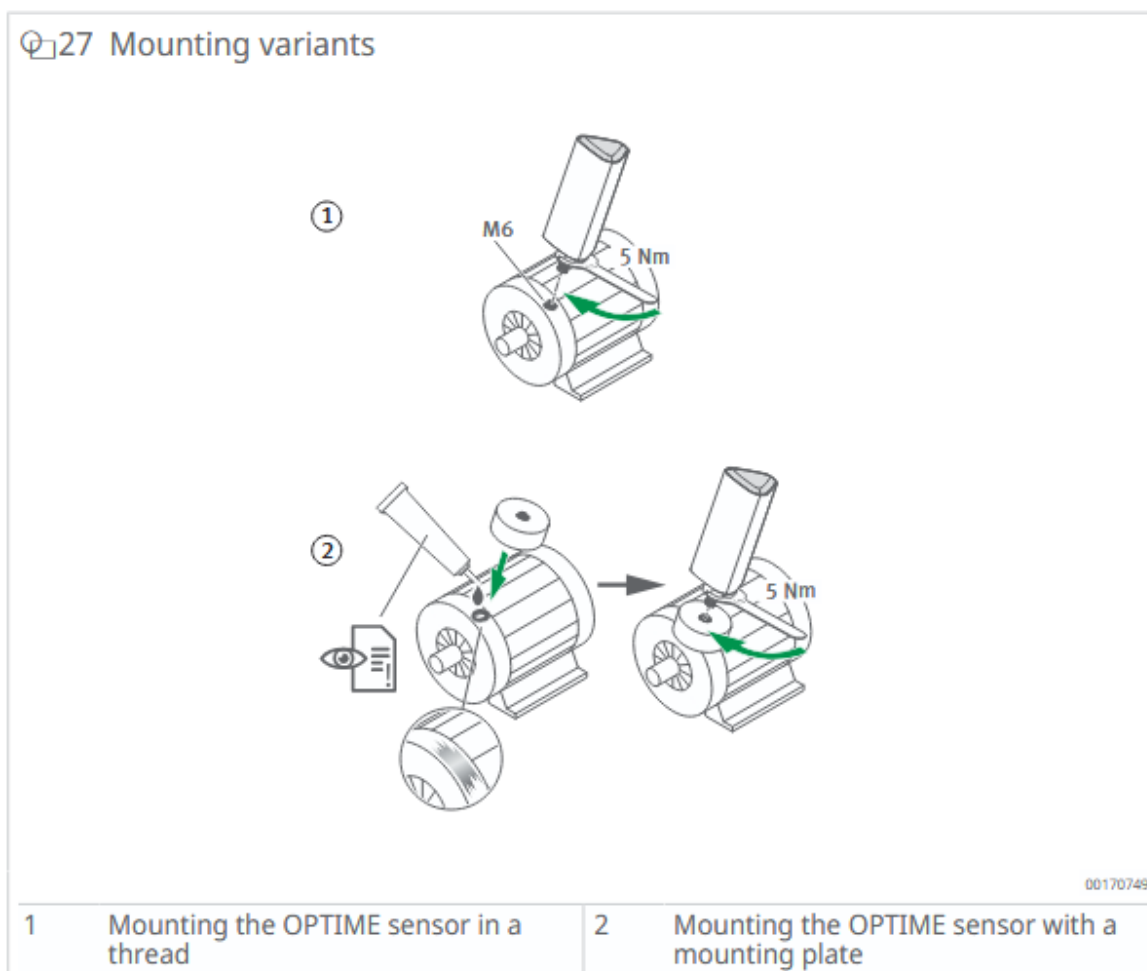
OPTIME-värähtelyanturit mittaavat kohteen kiihtyvyyttä ajan suhteen. Ne ovat akulla toimivia värähtelyantureita, jotka lähettävät tietoa pilveen. OPTIMElla on tarjolla kahta erilaista anturia, joista toisessa on tarjolla myös EX-malli, joka soveltuu myös atex-alueille. Mallit ovat OPTIME 3, OPTIME 5 ja OPTIME 5 EX. OPTIME 3 -antureita on suositeltu käytettävän 120–3000 rpm pyöriville koneille ja OPTIME 5 -anturit soveltuvat 5000 rpm asti. Anturit otetaan käyttöön Schaeffler OPTIME-puhelinsovelluksen avulla. (Schaeffler 2024b, 10.) Kuvassa 9 on esitetty OPTIME 3 -anturi sähkömoottoriin asennettuna.



Kuva 9. Schaeffler OPTIME 3 -anturi asennettuna sähkömoottoriin. (Schaeffler 2024b)

Käyttöönoton yhteydessä antureille määritetään laitteen seurantamoodi. Antureilla on kolme seurantamoodia: standard, dynamic ja high dynamic. Standard on käytössä koneille, jotka ovat käytössä vähintään 4 tuntia yhtäjaksoisesti. Dynamic sopii laitteille, jotka ovat satunnaisesti käytössä vähintään 30 sekunnin ajan ja näiden laitteiden tulisi olla käytössä yli 7 h viikossa. High dynamic on laitteita varten, joita käytetään satunnaisesti 5–30 sekuntia kerrallaan. (Schaeffler 2024a, 37.) Anturit lähettävät sekä raakadataa että valmiiksi käsitellyjä tunnuslukuja.

Anturit kiinnitetään koneeseen joko valmiiseen m6-kierreputukseen tai sellaisen voi koneistaa. Viimeisenä vaihtoehtona on myös käyttää liimattavaa nastaa samalla kierteellä, jos kierteen teko ei ole realistinen vaihtoehto. (Schaeffler 2024a, 36.) Värähtelyanturit tulisi asentaa mitattavaan kohteeseen niin, että värinät johtuisivat kohteen rakenteesta mittauskohtaan mahdollisimman hyvin. Anturit voidaan asentaa suoraan koneessa oleviin valmistajan määrittelemiін mittauskohtiin tai vaihtoehtoisesti johonkin muuhun värähtelymittaukseen sopivaan kohtaan. Muun kuin valmistajan määrittelemän mittauskohdan valitsemisessa tulee ottaa huomioon kohteen tekninen rakenne ja se, millä tavoin värähtelyt johtuvat mitattavasta kohteesta muuhun rakenteeseen. Tämän määrittäminen vaatii riittävää osaamista ja asiantuntemusta näistä aihealueista. Kuvasta 10 nähdään antureiden kiinnitystavat esimerkin sähkömoottoriin.



Kuva 10. Värähtelyantureiden kiinnitys (Schaeffler 2024a)

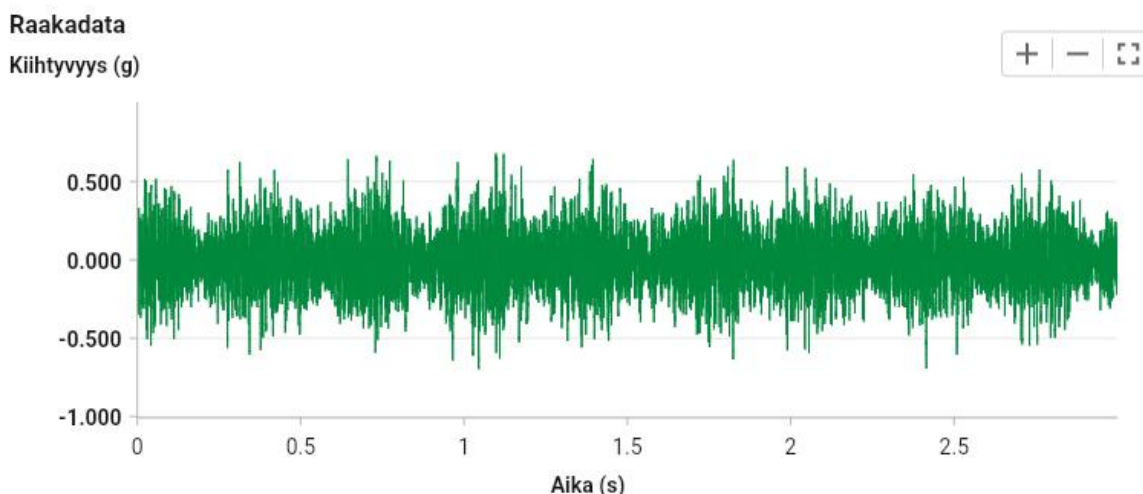
Kiinnitys muihin komponentteihin tapahtuu samalla tavalla kuin sähkömoottoreihin. Ohjetta voidaan soveltaa samalla logiikalla myös esimerkiksi laakeripesiin ja vaihdelaatikoihin. Tärkeintä kuitenkin on se, että pystytään määrittelemään värähtelymittauksen kannalta paras

kohta anturin asennukselle. Värähtelymittauksella pyritään havaitsemaan yksittäisten komponenttien vikoja. Mittaustuloksia on hankala tulkita, jos anturi asennetaan koneen rakenteeseen kohtaan, johon johtuu myös värinöitä muista komponenteista, tai sitten kohtaan, johon värinät johtuvat todella heikosti.

### 4.3 Mittausdatan käsittely

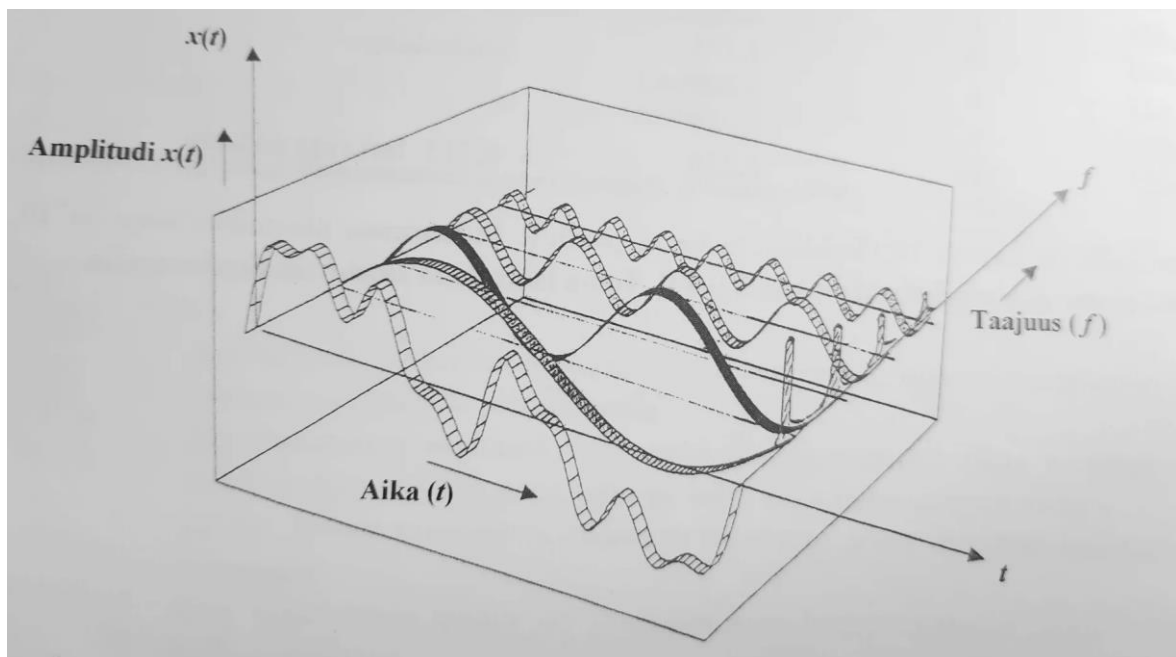
Värähtelymittauksesta saatava raakadata sellaisenaan kertoo vain vähän. Datan käsittelyyn on kuitenkin olemassa useita eri menetelmiä eri tarkoituksiin ja näiden kaikkien tarkoitus on selventää datan luettavuutta ja helpottaa vian kohdentamista.

OPTIME-värähtelyantureilla saadaan absoluuttista kiihtyvyydataa ajan suhteen mittauspisteessä. Sellaisenaan data voidaan esittää aikatasosignaalinä, josta käy ilmi kiihtyvyyden muutokset ajan funktiona. Se voi auttaa joidenkin asioiden, esimerkiksi huojunnan, tunnistamista värähtelyanalyysissä (Mikkonen 2009, 344). Kuvassa 11 on esitettyä aikatasosignaali OPTIMEssa.



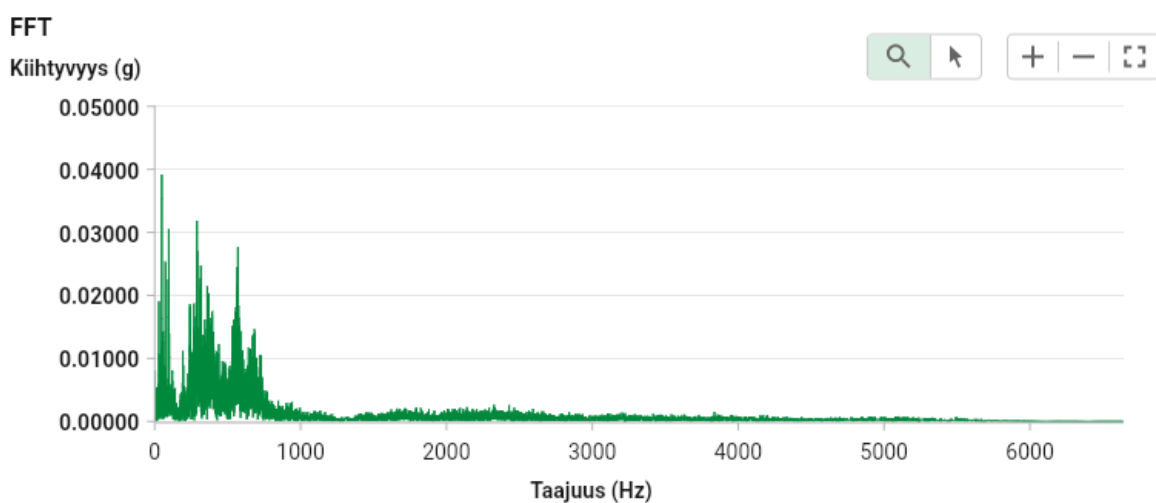
Kuva 11. Esimerkki aikatasosignaalista OPTIMEssa (Schaeffler 2025b)

Aikatasosignaalista sellaisenaan saa vain vajavaisesti tietoa. Syvempää ja kuvaavampaa viestiä mittaustuloksista saadaan Fourier-muunnoksen avulla. Fourier-muunnos on matemaattinen menetelmä, jolla aikatasosignaalista saadaan esitys yksittäisten taajuuksien voimakkuutena. Muunnoksella data saadaan kuvaamaan mittausjakson aikana esiintyvät värähtelyt värinämittauksen kannalta ymmärrettävämpään muotoon. Värähtelymittauksen analyysissä kiinnostavat asiat ovat nimenomaan yksittäisten taajuuksien esiintyminen. (Mikkonen 2009, 190–198.) Yksittäiset taajuudet muodostavat aikatasosignaalin ja muunnoksella pyritään erottelemaan nämä taajuudet tekijöihinsä. Kuva 12 havainnollistaa kuinka perustaajuudet summautuvat aikatasosignaaliiksi, jota Fourier-muunnoksella erotellaan.



Kuva 12. Fourier-muunnoksen periaate (Mikkonen 2009)

Värähtelymittauksessa diagnosointi perustuu värähtelymittauksesta saadun datan ja komponenttien laskennallisiin tietoihin. Komponenteille pystytään määrittämään vikaantumistaajuudet, jotka pystytään erottamaan mittausdatasta syvemmällä analyysillä. Esimerkiksi vierintälaakereille pystytään määrittämään millä taajuudella laakerin ulkokoolissa oleva pintavika tulisi näkyä taajuusspektrillä. Laakerin vierintäelimen ylimeno pintavian kohdalta aiheuttaa herätevoimaa tietyllä taajuudella. Tämä pystytään havaitsemaan analyysimenetelmällä, kun data on ensin muunnettu ymmärrettäväksi Fourier-muunnoksen avulla. (Mikkonen 2009, 190–198.) Kuvassa 13 on esitetty aiemman aikatasosignaalin data muunnettuna taajuusspektriksi Fourier-muunnoksella.



Kuva 13. Esimerkki Fourier-muunnetusta kiihtyvyydatasta OPTIMEssa (Schaeffler 2025b)

Useimmiten vikataajuudet, kuten vierintälaakerien koolien pintaviat tuottavat taajuussignaalia, joka on amplitudimoduloitua. Demoduloimalla Fourier-muunnettua signaalia saadaan verhokäyräsignaali, jota tulkitsemalla voidaan useimmiten havaita laakerivikoja. Metodista on ensimmäisen kerran tutkittu Darlowin (1974) toimesta, kun Yhdysvaltojen puolustusvoimat halusivat selvittää helikoptereidensa roottoreiden vaihdelaatikoiden laakereiden vikaantumista.

Schaeffler käsittelee dataa jo antureilla ja syvemmät analyysit perustuvat pilvilaskentaan. Saatua dataa analysoidaan jatkuvasti pilvessä ja analyysien perusteella OPTIME:n tulee hälytyksiä raja-arvojen ylityksistä. (Schaeffler 2024b, 4.)

#### 4.4 KPI-seurannat

Anturit lähettävät raakadatan lisäksi tunnuslukuja. Nämä tunnusluvut eli KPI-luvut (key performance indicator) ovat yksi keinoista seurata koneen toimintaa pitkällä aikavälillä. Muutokset näissä tunnusluvuissa indikoivat muutoksia koneen tilassa. Nämä Schaeffler OPTIME antureiden keräämät tunnusluvut näkyvät taulukossa 1.

Tunniste	KPI	Kuvaus
ISO	ISO (mm/s)	Standardoitu värähtelytaso (ISO 10816 / ISO 20816)
DeMod	Demodulaatio (m/s <sup>2</sup> )	Demodulaatioarvo iskujen havaitsemiseksi (ensisijainen arvo laakereille)
RMS high	RMS yläkaista	Neliöllisen keskijakauman yläkaista, kiihtyvyys (750 Hz – max taajuus) laakerivaurioiden havaitsemiseen
RMS low	RMS alakaista	Neliöllisen keskijakauman alakaista, kiihtyvyys (2–750 Hz) käytetään epätasapainon ja linjausheiton havaitsemiseen
Kh	Huipukkuus korkea	Korkea huipukkuus (750 Hz – max taajuus) iskumaisuuden havaitsemiseen signaalissa (laakerit, hammaspyörät). Pulssimuodon tunnistamiseen käytetty arvo. Arvo nousee, kun signaalissa on paljon piikkimäisyyttä.
Kl	Huipukkuus matala	Matala huipukkuus (2–750 Hz) iskumaisuuden havaitsemiseen signaalissa (väljyys). Pulssimuodon tunnistamiseen käytetty arvo. Arvo nousee, kun signaalissa on paljon piikkimäisyyttä.
Temp	Lämpötila (°C)	Mittauspisteen lämpötila Celsius-asteissa, mittauskohteen lämpötilan nousemisen havaitsemiseen.

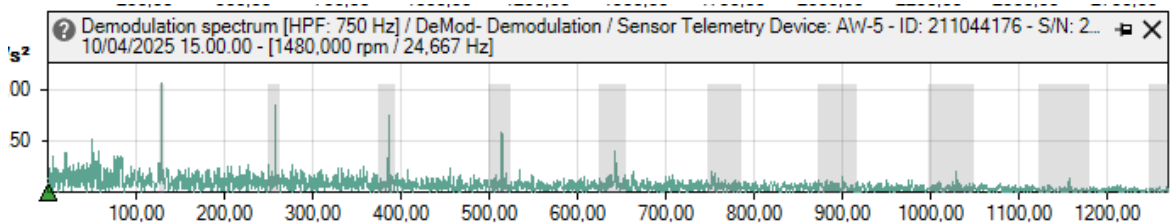
Taulukko 1. KPI-lukujen kuvaukset (Schaeffler 2022)

OPTIMEssa on edellä esitettyihin KPI-lukuihin perustuva hälytysjärjestelmä. Jokaisella mittauspisteellä on omat hälytysrajat näille tunnusluvuille. OPTIMEen tulee konekohtainen hälytys silloin kun hälytysrajat ylittyvät minkä tahansa tunnusluvun osalta. Lisäksi järjestelmä antaa ehdotuksen vian tyyppille, jos Schaefflerin algoritmit pystyvät

kohdentamaan sen. KPI-luvut ja hälytykset ovat näkyvissä käyttäjälle viimeiseltä 6 kuukaudelta pidempiaikaisen kehittymisen seurantaan varten. (Schaeffler 2024b, 8.)

#### 4.5 OPTIME Expertviewer

OPTIME Expertviewer on kunnonvalvonnan asiantuntijoille suunnattu tietokoneohjelma, jolla pystyy analysoimaan värähtelymittausten dataa syvällisemmin verrattuna OPTIME:n verkkoselaimessa toimivaan käyttöliittymään tai puhelinsovellukseen. Expertviewer tarjoaa käyttäjälle kattavat työkalut värähtelyjen juurisyyanalyysiin komponenttikohtaisella tasolla. Expertviewerissa voidaan taajuusspektrille asettaa vikataajudelle havaitsemisalueet, joissa vikaantumiistaajuuksien tulisi näkyä. (Schaeffler 2024b, 9.) Kuvasta 14 nähdään Expertviewerissa asetetut tummennetut alueet, joilla vikataajuus sekä sen kerrannaiset näkyvät.



Kuva 14. Vikataajuuden esiintyminen demoduloidussa taajuusspektrissä (Schaeffler 2025a)

Vikojen täsmällinen ja aikainen tunnistus analyysityökalujen avulla antaa kunnossapidon työsuunnittelulle mahdollisuuden reagoida niihin riittävän ajoissa. Värähtelydatan analyysillä pystytään myös tunnistamaan joitakin koneiden poikkeavia toimintoja. Joissain tapauksissa vikojen etenemistä pystytään myös hidastamaan tai kokonaan estämään, jos värähtelyssä havaitaan esimerkiksi laitteiden linjausvirheitä. Joissain tapauksissa jopa sähköviat sähkökoneissa näkyvät värähtelyissä ja näiden tunnistus vaatii syvempää asiantuntemusta (PSK 5705, 27–32).

## 5 Honkalahden nykytilanteen kartoitus

### 5.1 Tehdasesittely

Honkalahden saha sijaitsee Lappeenrannan Joutsenossa, jossa se on toiminut vuodesta 1906. Toimipaikka on tällä hetkellä osa Stora Enson Wood Products -divisioonaa. Tehdas tuottaa klassista sahatavaraa, erilaisia jatkojalosteita, kuten sormijatkostuotteita sekä erilaisia höylättyjä tuotteita kuten päätypontattuja paneeleita ja ympärihöylättyä puutavaraa. Tehtaan vuotuinen kapasiteetti sahatavaran tuotannossa on 310 000 m<sup>3</sup> ja vastaavasti jatkojalosteiden tuotanto on 70 000 m<sup>3</sup>. Saha työllistää noin 110 ihmistä. (Stora Enso 2025a; Stora Enso 2025b.)

Honkalahdessa tehtaan tuotannon toiminnot on jaettu yhdeksään osastoon. Sahatavara-tuotanto käsittää näistä viisi. Nämä osastot ovat tukkilajittelu, sahaus, dimensio-rimoitus, kuivaamo sekä tasaamo. Jatkojalostuslinjoja on kolme: puristinlinja, komponenttilinja sekä höyläys. Sen lisäksi alueella on biolämpölaitos, joka tuottaa sahatavaran tarvitun lämpöenergian.

Tehtaalla on monenlaisia kunnonvalvottavia kohteita. Sahalinjalla ja jalostuksen prosesseissa on monia erilaisia laitteita. Sahalinjalla kunnonvalvottavia kohteita ovat esimerkiksi pelkkahakkurit ja pyörösahat. Lisäksi sahalinjojen sivutuotteiden käsittelyssä on seuloja ja dimensio-rimoituksessa sekä tasaamalla on suurempia vaihdelaatikoita. Lämpölaitoksella on pumppuja ja puhaltimia, jotka ovat tarkassa seurannassa. Jatkojalostuksessa kunnonvalvonnan piirissä on höyliä sekä vannesahoja ja jokunen sivutuotteiden kone. Lisäksi kaikissa prosesseissa, joissa muodostuu puun sahauksesta tai muusta mitallistamisesta sahanpurua tai kutteria, on pölyasemat.

### 5.2 Kunnonvalvonnan nykytila

Nykytilan kartoitus perustui pitkälti henkilöhaastatteluihin. Työtä varten haastateltiin Honkalahden kunnossapitoinsinöörejä, Stora Enson kunnonvalvonta-asiantuntijaa sekä muita sahan kunnonvalvontaan osallistuvia henkilöitä. Haastattelut olivat keskeisin osa selvitystä, sillä kunnonvalvonta perustuu pitkälti siihen osallistuvien henkilöiden toimintamalleihin ja siitä saataviin tuloksiin.

Honkalahden kunnossapito oli ulkoistettuna vuosina 2012–2021. Aluksi kunnossapito myytiin Empowerille ja yhtiö aloitti pääasiallisena kunnossapidon toteuttajana 2012. Yhtiö vaihtui 2017 Eforaksi ja 2021 kunnossapidosta tehtiin jälleen osa tehtaan omia toimintoja. Eforan aikana kunnonvalvonnasta tuli osa kunnossapidon toimintaa Honkalahdessa, kun käytövarmuuden nosto oli osa kunnossapidon tavoitteita. (Henkilö 3 2025.)

### 5.3 OPTIME-anturoinnin kartoitus

Honkalahdessa OPTIME-värähtelyantureita on asennettu konekantaan tällä hetkellä noin 300 kappaletta (Schaeffler 2025b). Anturoinnin piiriin on valittu koneet, jotka ovat aiemmin kuuluneet laajaan reittimittauskierrokseen. Mittauskierros on nykyään korvattu melkein kokonaan lukuun ottamatta palovesipumppaamoja. Siellä mittaukset tehdään 2 kk välein määrätystä pisteistä. (Henkilö 1 2025.)

Antureita on asennettuna niin sanoittuihin ”pääkoneisiin” eli sahalinjan mittaa tuottaviin koneisiin, kuten vannesahaan, pelkkahakkureihin ja pyörösahoihin. Lisäksi niitä on jatkojalostusprosessien höylissä sekä muissa laitteissa, jotka rikkoutuessaan vaarantaisivat oleellisesti tuotannon toimivuutta. Näitä ovat esimerkiksi lämpölaitoksen polttoaineen syötön koneet, pölyasemat sekä sivutuotteiden koneet. (Henkilö 1 2025.)

Aiempi reittimittauskierros, johon OPTIME:n antureiden asennukset ovat perustuneet, on muodostunut ulkoistetun kunnossapidon aikana. Mitattavat kohteet reittimittauskierrokselle ovat valikoituneet kokemus- ja asiantuntijapohjaiseen arviointiin perustuen. (Henkilö 3 2025.)

Tällä hetkellä Honkalahdessa on meneillään värähtelymittauksen pilottiprojekti, jossa seurataan sahan rumpuhakkurin haketuksen värähtelyjä. Hakkurin vastateräpalkkiin on asennettu värähtelyanturi, joka mittaa haketuksesta aiheutuvaa värinää. Värähtelymittauksen tarkoituksena on seurata haketusterien kuntoa ja terien pitkäikäisyyttä. Seurannalla pyritään optimoimaan hakkurin terien sekä vastateräpalkin vaihtoväliä. Tällä pyritään tuotannossa optimoimaan ja ylläpitämään hakkeen laatua riittävänä sellun valmistukseen. (Henkilö 1 2025.)

### 5.4 Kunnonvalvonnan resursointi

Kunnonvalvontaa on aiemmin tehty Honkalahdessa varsinaisen kunnonvalvojan toimesta. Värähtelymittaukseen perustuva kunnonvalvonta aloitettiin Eforan aikaan vuonna 2019. Nykyisin henkilö ei ole käytettävissä tarvittavissa määrin laadukasta kunnonvalvontaa varten, sillä henkilö toimii kokopäiväisenä kunnonvalvojana nykyään toisella toimipisteellä Stora Enson sisällä. Alun perin jo vuonna 2021 kun OPTIME otettiin käyttöön Honkalahdessa, silloin piti järjestää tehtaan sisältä resurssi järjestelmän seurantaan, mutta organisaatiomuutosten myötä näin ei koskaan tapahtunut. (Henkilö 3 2025.)

Kunnonvalvoja on vielä silloin tällöin tekemisissä Honkalahden OPTIME:n kanssa. Esimerkiksi antureiden vaihdot ja järjestelmän ylläpito on vielä hänen vastuullaan. Antureita henkilö

tulee vaihtamaan vasta kun niitä on enemmän vaihdettavana kerralla (määrä noin 5 tai enemmän). (Henkilö 1 2025.)

Haastattelujen perusteella työnsuunnittelu seuraa OPTIMEa kahden viikon välein. Tämä seuranta keskittyy havaittaviin muutoksiin OPTIMEssa ja mahdollisista huomioista laitetaan sähköpostia kunnonvalvonnan asiantuntijalle. (Henkilö 2 2025.)

Haastatteluissa nousi esille henkilöstön tarve koulutuksesta OPTIME:n käyttöön sekä yleisesti kunnonvalvontaan liittyen. Syvällisempään värähtelymittausten analysointiin koettiin tarvittavan lisäresursointia. Kunnonvalvonnan vastuuhenkilöitä ei organisaatiomuutosten jälkeen ole määritetty ja vastuunjakoon kaivattiin lisäselkeyttä. (Henkilö 2 2025.)

Värähtelymittausten lisäksi kunnonvalvontaa tehdään myös käynninaikaisten sekä mekaanisten tarkastuskierrosten avulla. Kierrokset ja niiden havaintojen pohjalta tehdyt toimenpiteet kirjataan ilmoituksiksi tehtaalla käytettyyn toiminnanohjausjärjestelmään. (Henkilö 2 2025.)

## 5.5 Järjestelmien käyttö

Kunnonvalvontaa varten Honkalahdessa käytetään kahta järjestelmää: Schaeffler OPTIMEa sekä SAP-toiminnanohjausjärjestelmää. Kunnonvalvonnassa käytetään pääasiassa OPTIMEa, kun taas korjaavien toimenpiteiden suunnittelussa käytetään SAPia. SAPiin tehdään kunnonvalvonnan ilmoituksia korjaavien toimenpiteiden tarpeesta tai muista havainnoista, jotka liittyvät kunnossapidon toimintaan. SAPia käytetään tehtaalla muuhunkin kuin kunnossapidon toiminnan ohjaukseen, mutta tässä käsitellään järjestelmän käyttöä pelkästään kunnonvalvonnan näkökulmasta.

Haastattelujen perusteella Schaeffler OPTIMEa Honkalahdessa käyttää pääsääntöisesti 2 henkilöä: Honkalahden aiempi kunnonvalvoja sekä työnsuunnittelija. Kunnonvalvoja tarkastaa satunnaisesti yksittäisiä huomioita, joita Honkalahden kunnossapidossa havaitaan. Tieto näistä havainnoista lähtee yleensä sähköpostilla eteenpäin kunnonvalvojalle. Työnsuunnittelija käy katsomassa OPTIME:n tilanteen satunnaisesti. Tarkastusväli toteutuu arviolta kahden viikon välein. (Henkilö 2 2025.)

SAPia käytetään OPTIMEssa tehtyjen havaintojen seurantaan sekä diagnosoitujen vikojen korjaavien toimenpiteiden suunnitteluun. Kunnonvalvojan havaitsemista poikkeamista, joiden alkuperää ei ole pystytty määrittämään, on tehty ilmoitus SAPiin kunnonvalvonnan työpisteelle. OPTIMEssa havaituista poikkeamista, joille on pystytty määrittämään niiden alkuperä, on tehty ilmoitus korjaavasta toimenpiteestä mekaanisen kunnossapidon työpisteelle. Korjaavista toimenpiteistä, jotka vaikuttavat oleellisesti kohteen värähtelyihin, on tehty

kirjaus OPTIME:n laitekohtaiseen kommenttikenttään sen jälkeen, kun ne on tehty. (Henkilö 1 2025.)

## 5.6 Kunnonvalvonnan tavoitteet

Kunnonvalvonnan tavoitteena Honkalahdessa on vähentää tuotannon häiriöseisokkeja ja lisätä ennakoitavuutta työsuunnittelussa. Kunnonvalvonnan vaikutukset näkyvät pääasiassa käyttövarmuudessa ja häiriöseisokkien vähenemisessä. Sahan pääasiallinen tarkoitus on tuottaa sahatavaraa, eli tehdä tulosta. Kun tuotanto ei häiriöseisokin takia käy, tulosta ei myöskään silloin saada tehtyä. Kunnonvalvonnalla on siis rahallinen merkitys sahan toimintaan. Laitovikojen konkretisoituminen häiriöseisokeiksi on huomattavasti kalliimpaa kuin ajoissa suunnitellusti korjaaminen huoltoseisokeissa tai muiden huoltojen yhteydessä. (Henkilö 3 2025.)

OPTIME:n käyttöä ja sen kehitystä on Honkalahdessa tavoitteena jatkaa. Loput reittimittauskierroksen piirissä olevista laitteista, eli palovesipumppaamon laitteet, on aikomuksena anturoida. Tehtaalla on tunnistettu puutteita kunnonvalvonnan toiminnan järjestelyissä. Toimintaa halutaan kehittää ja selventää kunnonvalvontaan liittyvät vastualueet. (Henkilö 3 2025.)

Kunnossapidossa tehtäviä on jatkuvasti priorisoitava ja priorisointijärjestys voi usein muuttua hetkessä uusien kiireellisempien asioiden ajaessa edelle. Kun hiljaisempia hetkiä tulee, olisi hyvä olla tiedossa ja valmiiksi suunniteltuna tehtävien tärkeysjärjestys. Karkeasti kunnossapidon tärkeysjärjestyksessä ovat ensimmäisinä turvallisuuteen liittyvät asiat. Toisena ovat tekijät tai laiteviat, jotka estävät tuotannon tehokasta toimintaa. Tämä käsittää lopputuotteen laatuun vaikuttavat viat sekä tuotannon pysäyttävät viat. Kolmantena ovat ei vielä konkretisoituneet viat, jotka ovat kuitenkin tiedossa, sekä viimeisenä kunnossapidolliset kehittävät toimenpiteet sekä ennakkohuollot. Kunnonvalvonnan avulla saadaan täytettyä niihin hetkiin, kun häiriökorjauksien osalta on hiljaisempaa. Esimerkiksi sähkömoottoreiden vaihtoja suunnitellaan mielellään yövuoroihin, kun taas häiriökorjauksina ne vievät aikaa usein tunnista kahteen.

Kunnonvalvonnalla on myös tärkeä osuus tuotannon laadun takaamisessa. Sahateollisuudessa koneiden kunto vaikuttaa oleellisesti muun muassa lopputuotteen mittatarkkuuteen ja pinnanlaatuun. Esimerkiksi jatkojalostuksessa sahatavaran höyläyksessä kuttereiden laakeriviit huonontavat pinnanlaatua. Kunnonvalvonnan värähtelymittauksilla vikaantumiset pystytään havaitsemaan jo kehittyvässä vaiheessa, ja korjaavat toimenpiteet ehditään toteuttamaan ennen kuin ne alkavat vaikuttaa lopputuotteen laatuun.

## 6 Yhteenveto ja pohdinta

Työn tarkoituksena oli kehittää kunnonvalvontajärjestelmän käyttöä Stora Enson Honkalahden sahalla. Selvitys tehtiin, sillä muutamat järjestelmässä hälyttäneet oireet pääsivät realisoitumaan vikaantumisiksi asti. Vikaantumiset olisi voitu välttää, jos OPTIME:n hälytyksiin olisi reagoitu ja korjaavat toimenpiteet toteutettu hallitusti. Kattavaa kartoitusta ja kehitysideoita varten työssä tehtiin katsaus kunnossapidon ja kunnonvalvonnan kirjallisuuteen sekä viimeaikaisiin tutkimuksiin IoT-kunnonvalvontajärjestelmien hyödyistä. Nykytilanteen selvitystä varten haastateltiin avainhenkilöitä kunnonvalvontajärjestelmän käyttöön liittyen.

Schaeffler OPTIME on IoT-kunnonvalvontajärjestelmä jatkuvaan koneiden kunnon seurantaan. Se perustuu kiihtyvyyttä mittaaviin antureihin, jotka lähettävät dataa pilveen käsiteltäväksi. Värähtelymittaukseen perustuva kunnonvalvonta on vanhaa tietoa, mutta IoT-pohjaiset ratkaisut ovat tulleet markkinoille vasta viisi vuotta sitten. IoT-pohjaisilla ratkaisulla on saatu tutkimustulosten mukaan selviä säästöjä ja niiden kustannukset ovat suhteellisen matalat. Ne ovat myös käyttäjäystävällisempiä, kun datan analysointi tapahtuu pilvessä tekoälyn avulla. Kunnonvalvonnalla saatava data on myös saatavilla useammille osapuolille kuin aiemmin. Samalla ne myös nostavat ennakoivan kunnossapidon merkitystä ja ymmärrystä yrityksissä, kun useammat henkilöt ovat tietoisia teknologioiden tuomista hyödyistä.

Värähtelymittaus on tehokas tapa seurata pyörivien koneiden kuntoa. Erilaiset viat aiheuttavat erilaisia värähtelyjä, joten värähtelymittauksella saadaan selvitettyä tietyt viat hyvinkin tarkasti. Sillä saadaan myös seurattua hyvin laajasti erilaisia vikaantumistyyppisiä. Uudet teknologiat tekevät tästä helpompaa. Toimiva kunnonvalvonta lisää myös työturvallisuutta. Kun käsin tehtävät mittaukset korvataan anturoinnilla, on vähemmän tilanteita työtapaturmille. Häiriöseisokkien väheneminen ja sitä myötä suunnitelmallisuuden paraneminen ja kiireen väheneminen vähentävät myös tapaturmariskiä.

Työn tuloksena Honkalahdessa tunnistettiin kehitysalueita, joita kunnonvalvontajärjestelmän käytössä on. Kehitettävää olisi vielä resurssien paremmassa hyödyntämisessä sekä niiden ohjauksessa, vastuiden selkeytyksessä ja toiminnan suunnitelmallisuudessa. Honkalahdessa on rakennettu selkeä ja toimiva pohja OPTIMEen, jota pystyy nykyisellään käyttämään ja helposti parantamaan. Anturointi on tällä hetkellä suhteellisen kattava.

Strategiaan perustuva ja suunnitelmallinen toiminta on tehokkaan kunnossapidon perusta. Honkalahdessa kannattaisi tarkastella, onko strategian päivittäminen paikallaan. Pitkällä aikavälillä voidaan seurata toiminnan onnistumista, kun on sovittu tavoitteista ja metodeista, jolla kunnossapitoa toteutetaan. Strategia ohjaa päätöksentekoa päivittäistoiminnassa ja yhtenäistää toiminnan suuntaa.

Honkalahdessa tulisi tarkastella kunnonvalvonnan vastuita uudelleen. Selvityksen perusteella organisaatiomuutosten myötä värähtelymittaukseen varattu resurssi ei ole enää saatavilla. Lisäksi vastuunjaot ovat epäselvät järjestelmien käytön suhteen. OPTIME:n hälytyksien seurantaan tulisi määrittää vastuhenkilö sekä varmistaa kyseisen henkilön riittävä osaaminen värähtelymittauksen analytiikasta. Lisäksi OPTIME:n muuhun ylläpitoon, kuten laitekannan päivittämiseen OPTIME:ssa sekä antureiden vaihtoon on suositeltavaa varata lisää resurssia. Aikasempi kunnonvalvonnan resurssi on nykyisellään käytettävissä ylläpitoon satunnaisesti, mutta laadukkaan toiminnan jatkuvuuden kannalta siihen olisi hyvä saada osoitettu henkilö Honkalahden sisältä.

Selvityksen perusteella saha ei työmäärällisesti työllistä erillistä kunnonvalvojaa täysipäiväisesti, joten kunnonvalvonnan päävastuu voitaisiin esimerkiksi liittää osaksi jonkun kunnossapitoinsinöörin työnkuvaa. Tällöin kuitenkin lisäkoulutusta tarvitaan, sillä nykyisellään tarvittavaa osaamista värähtelymittauksista ja -analytiikasta ei ole.

Kriittisyysluokittelua voisi tarkastella Honkalahdessa uudestaan. Ulkoistetun kunnossapidon ajalta ilmeisesti on vielä olemassa dokumentaatio aiheeseen liittyen, mutta sitä ei ole helposti saatavilla. Tämän työn aikana luokitteluun ei ehditty syventymään tarkemmin. Luokittelu voisi helpottaa resurssien kohdistusta ja muitakin kunnossapidon toimintoja kuin kunnonvalvontaa. Töiden suunnittelu, priorisointi sekä kunnossapidon toiminnan kehitys helpottuu, kun pystytään tukeutumaan valmiiksi selvitettyyn tärkeysjärjestykseen laitekannasta.

RCM:n mukaisesti tuotannon käyttäjäkunnossapitoa voisi aktivoida kunnonvalvontaan liittyen. Koneiden käyttäjät ovat parhaita arvioimaan niiden toiminnan oikeellisuutta sekä valvomaan niiden kuntoa, sillä he ovat tekemisissä niiden kanssa useammin kuin kukaan muu. Honkalahdessa jokaisella tuotannon osastolla on käyttäjäkunnossapitäjiä. Heidät voisi ottaa mukaan OPTIME:n käyttöön ja kouluttaa perusteet värähtelyiden seurannasta. Se lisäisi tietoisuutta ennakoivasta kunnossapidosta ja voisi jopa muuttaa asenteita laitteiston ylläpitoon liittyen, kun käyttöhenkilöstöä sitoutetaan aiheeseen. Esimerkiksi havaituista poikkeamista OPTIME:ssa käyttäjät voisi tehdä kunnossapidolle ilmoituksen SAPIin.

## Lähteet

Darlow, M. 1974. Application of high-frequency resonance techniques for bearing diagnostics in helicopter gearboxes. Army Air Mobility Research and Development Laboratory. Viitattu 19.05.2025. Saatavissa <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA004014>

Elkateb, S., Métwalli, A., Shendy, A., Abu-Elanien, A. 2024. Machine learning and IoT-based predictive maintenance approach for industrial application. Viitattu 09.05.2025. Saatavissa DOI 10.1016/j.aej.2023.12.065

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY

Fernandez, J., Prasetyo, Y., Persada, S., Redi, A. 2021. Automation of Predictive Maintenance Using Internet of Things (IoT) Technology at University-Based O&M Project. International Journal of Information and Education Technology, Vol. 11, No. 7. Viitattu 05.05.2025. Saatavissa DOI 10.18178/ijiet.2021.11.7.1531

Gawde, S., Patil, S., Kumar, S., Kamat, P., Kotecha, K., & Abraham, A. 2023. Multi-fault diagnosis of Industrial Rotating Machines using Data-driven approach: A review of two decades of research. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 123, 106139. Viitattu 19.05.2025. Saatavissa DOI 10.1016/j.engappai.2023.106139

Heinonkoski, R. 2024. Kone- ja prosessiautomaation kunnossapito. Helsinki: Opetushallitus

Henkilö 1. 2025. Stora Enso Oyj. Haastattelu 30.04.2025

Henkilö 2. 2025. Stora Enso Oyj. Haastattelu 08.05.2025

Henkilö 3. 2025. Stora Enso Oyj. Haastattelu 15.05.2025

Lacey, S. An Overview of Bearing Vibration Analysis. Schaeffler Group Viitattu 19.05.2025. Saatavissa [https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/shared\\_media/08\\_media\\_library/01\\_publications/schaeffler\\_2/technicalpaper\\_1/download\\_1/vibration\\_analysis\\_en\\_en.pdf](https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/technicalpaper_1/download_1/vibration_analysis_en_en.pdf)

Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy

Moubray, J. 1997. Reliability Centered Maintenance. Second edition. USA, New York: Industrial Press Inc.

Nieminen, I. 2022. Kuntoon perustuvan kunnossapidon kustannukset ja hyödyt pakkaus-kalvovyrityksessä

Peltoranta, J. 2019. Kunnossapito on tuottavuus- ja kilpailutekijä. Prometalli 1–2/2019, 34–41

Promaint. 2016. Kunnossapito liiketoiminnan osana Viitattu 04.05.2025. Saatavissa <https://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Kunnossapito-liiketoiminnan-osana>

PSK 5702. 2024. Kunnanvalvonnan värähtelymittaus. Mittauspisteen valinta ja tunnistaminen. PSK Standardisointiyhdistys ry

PSK 5705. 2024. Kunnanvalvonta. Värähtelymittaus. Mittaustoiminnan suunnittelu. PSK Standardisointiyhdistys ry

PSK 5707. 2024. Kunnanvalvonta. Värähtelymittaus. Vianmääritys. PSK Standardisointiyhdistys ry

PSK 6201. 2022. Kunnossapito, käsitteet ja määritelmät. PSK Standardisointiyhdistys ry

Salminen, S. & Perttula, P. Työterveyslaitos. 2015. Kiire lisää tapaturmariskiä. Viitattu 06.05.2025. Saatavissa <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-261-516-9>

Schaeffler Group. 2024a. OPTIME Ecosystem: Condition monitoring User Manual. Herzogenrath, Saksa: Schaeffler Monitoring Services GmbH

Schaeffler Group. 2024b. Schaeffler OPTIME Condition Monitoring. What is OPTIME Condition Monitoring and how does it work? Schweinfurt, Saksa: Schaeffler Technologies AG & Co. KG

Schaeffler OPTIME. 2025a. Expertviewer. Ei saatavilla

Schaeffler OPTIME. 2025b. Honkalahti Dashboard. Ei saatavilla

SFS-EN 13306. 2017. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. 3.p. Suomen standardisointiliitto

Stora Enso. 2020. Panostukset työturvallisuuteen ovat kannattaneet Stora Ensossa – pois-saoloihin johtavat tapaturmat vähentyneet selvästi. Viitattu 19.05.2025. Saatavissa <https://www.storaenso.com/fi-fi/newsroom/news/2020/11/digital-safety-innovations-show-agility-in-pandemic-times>

Stora Enso. 2025a. Honkalahden saha. Viitattu 17.05.2025. Saatavissa <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/stora-enso-locations/honkalahti-sawmill>

Stora Enso. 2025b. Saha- ja höylätavara. Viitattu 17.05.2025. Saatavissa <https://www.storaenso.com/fi-fi/products/wood-products/sawn-and-planed-wood>

Työturvallisuuslaki 738/2002