



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SAMI HAUTAMÄKI
BENCHMARKING-MENETELMÄ ÄLYKKÄÄN HUOLLON
KEHITTÄMISESSÄ

Diplomityö

Tarkastaja: prof. Marko Seppänen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty talou-
den ja rakentamisen tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 17. elokuuta
2016

TIIVISTELMÄ

SAMI HAUTAMÄKI: BENCHMARKING-MENETELMÄ ÄLYKKÄÄN HUOLLON KEHITTÄMISESSÄ

Tampereen teknillinen yliopisto

DI-työ, 64 sivua, 3 liitesivua

Syyskuu 2016

Johtamisen ja tietotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Tuotantotalous

Tarkastaja: professori Marko Seppänen

Avainsanat: Ylläpito, Älykäs huolto, Ennakoiva huolto, Teollinen internet, Elinkaarenhallinta, Etävalvonta

Teknologiateollisuuden tuotteiden saavuttaessa tietyn kypsyytason ei voida enää saavuttaa kestävästä kilpailuetua pelkästään tuotetta kehittämällä. Monien korkeanteknologian tuotteita myyvien yritysten tärkeä kilpailutekijä onkin nykyään palvelut. Tulevaisuudessa suuntaus tuskin tulee muuttumaan ja palveluiden osuuden voidaankin nähdä kasvavan.

Kun yritykset lähtevät perinteisten tekijöiden lisäksi kilpailemaan palveluiden tarjonnalla, nousee esille palveluiden tarjoama lisäarvo tuotteelle. Yhden mahdollisen lisäarvoa tuottavan palvelun etenkin prosessiteollisuuden parissa toimiville yrityksille tarjoaa älykäs huolto. Lähitulevaisuudessa älykäs huolto saattaa olla yksi ratkaisevista tekijöistä kilpailutilanteessa ja saattaa jopa siirtyä joillakin aloilla kilpailun kannalta välttämättömäksi tekijäksi. Termi ”älykäs huolto” on seuraava evoluutiotaso ennakoivasta huollosta. Tämä kuvastaa sitä, että huoltotoimintaan avustavassa järjestelmässä on toiminnallista logiikkaa ja älykkyyttä sensoreilta ja muista lähteistä saatavaa tietoa.

Tämän diplomityön tarkoitus oli osaltaan auttaa ymmärtämään, miten yrityksen tuotteelle toteutetaan älykkään huollon järjestelmä. Perusidea oli auttaa tuotteen elinkaarenhallinnassa ja laskemaan huoltokustannuksia sekä toimittajalla että asiakkaalla. Projektia tarkasteltiin palvelun ja tuotteen tuottajan näkökulmasta, asiakkaiden toimiessa paperiteollisuudessa. Älykkään huollon toteutukseen liittyviä ratkaisumalleja tutkittiin toimeksiantajan älykkääseen huoltoon liittyvän pilotihankkeen pohjalta. Hankkeen toimiessa alustana työlle tutkimusta voidaan jatkaa edemmäs suunnaten katseet älykkään huollon laajempiin mahdollisuuksiin ja tulevaisuuden skenaarioihin.

Työssä käsitellään erilaisia ratkaisuja datan hyödyntämisen kannalta sekä kuinka kerätystä tiedosta saadaan analysoitua oleellinen informaatio käytettäväksi. Työssä esitetään myös mikä olisi yrityksen kannalta paras mahdollinen etenemistapa älykkään huoltojärjestelmän kehitysprosessissa. Järjestelmäsuosituksessa huomioidaan niin datan käsittelyn tarpeet kuin myös järjestelmän vaikutuksia yrityksen tuotteeseen ja toimintaan.

ABSTRACT

SAMI HAUTAMÄKI: THE BENCHMARKING METHOD IN THE DEVELOPMENT OF INTELLIGENT MAINTENANCE

Tampere University of Technology

Master's thesis, 64 pages, 3 Appendix pages

September 2016

Master's Degree in Management and Information Technology

Major: Industrial Engineering and Management

Examiner: Professor Marko Seppänen

Keywords: Maintenance, Intelligent maintenance, Predictive maintenance, Internet of Things, Lifecycle management, Remote monitoring

When the products in technology industry reach a certain level of maturity it will no longer be possible to achieve a sustainable competitive advantage merely by developing the product. Services are becoming more-and-more important competitive factor for many companies producing high-tech products.

When companies start competing with services along with the traditional order winning factors, arises the question about added value which those services provide. One possible value-adding service, especially for companies operating in the process industry is intelligent maintenance. Intelligent maintenance might be one of the order winning factors in the future or even becoming a qualifying factor. Intelligent maintenance represents the next step of evolution in proactive maintenance. Intelligent maintenance reflects the fact that the system assisting in maintenance has operational logic and intelligence to analyze the information gathered from sensors and other sources of information.

This thesis contributes for better understanding of adding value for current products with intelligent maintenance. The basic idea was to help the product lifecycle management and lower the maintenance costs for both the supplier and the customer. The project examined the service and product in supplier's point of view, while the customers are operating in the paper industry. Different solutions for the execution of the intelligent maintenance system were studied related to the pilot project taking place in company commissioning the thesis. While the project offered a platform for the research work in this thesis, further studies will be performed studying wider possibilities of intelligent maintenance and looking longer into the future.

The thesis shows a variety of solutions for utilizing the information from the system, as well as how the collected data is analyzed in into essential information ready to be used. The work also suggests what would be the best way for the company to move forward with the development process of the intelligent maintenance. The system recommendation takes into account the processing needs of the data, as well as the effects of the system into the company's performance and operations

ALKUSANAT

Diplomityö on tehty toimeksiantajayritykselle osana yrityksen tuotekehitysprojektia. Työssä tarkastellaan älykkään huoltojärjestelmän hyödyntämistä yrityksen tuotteiden kehittämisessä. Benchmarking-prosessi toimii yhtenä keskeisenä työkaluna tiedon keräyksessä.

Haluan kiittää toimeksiantajayritystä työn aiheesta, sekä kaikkien projektiosapuolten asiantuntijapanosta tässä työssä. Iso kiitos menee myös benchmarking-prosessiin osallistuneelle teknologiateollisuuden vientiyritykselle.

Haluan kiittää myös työni ohjaajaa professori Marko Seppästä asiantuntevasta ja kärsivällisestä ohjauksesta työn eri vaiheissa.

Raumalla 12.9.2016

Sami Hautamäki

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen taustaa.....	1
1.2	Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet	1
1.3	Tutkimuksen rajaus	2
1.4	Tutkimuksessa käytetyt menetelmät ja rakenne	3
2.	TEORIAKATSAUS.....	5
2.1	Elinkaarimalli ja arvonmuodostus huoltopalvelussa.....	5
2.2	Älykäs huolto ja pilvipalvelut	9
2.2.1	Huoltostrategiat	9
2.2.2	Pilvilaskenta ja pilvipalvelut.....	10
2.2.3	Signaalinkäsittely	11
2.3	Benchmarking	15
2.3.1	Kahdenkeskinen benchmarking	16
2.3.2	Benchmarking-etiikka.....	18
3.	MENETELMÄ JA AINEISTO.....	19
3.1	Benchmarking-menetelmän käyttö	19
3.2	Aineisto Case-yrityksittäin	20
3.2.1	Case-yritys 1	20
3.2.2	Case-yritys 2	22
3.3	Analysointiprosessi	25
4.	ÄLYKKÄÄN HUOLLON JÄRJESTELMÄ PROSESSITEOLLISUUDESSA....	28
4.1	Arvon tuottaminen asiakkaalle.....	28
4.2	Datan keräys ja analysointi	29
4.2.1	Värähtelyn mittaus	31
4.2.2	Lämpötila	36
4.3	Koneoppiminen ja tilastolliset menetelmät älykkään huollon järjestelmissä 36	
4.4	Huoltohistorian analysointi ja tulevien huoltotarpeiden ennustaminen	39
4.5	Värinä- ja lämpötilahälytykset	40
4.6	Huollon suorituskyvyn mittaus	41
5.	ÄLYKKÄÄN HUOLLON KÄYTTÖÖNOTTO YRITYKSEN TUOTTEISSA ...	43
5.1	Siirtyminen älykkääseen huoltoon	50
5.2	Asiakasrajapinta	52
6.	YHTEENVETO	55
6.1	Suosituksat	55
6.2	Rajoitteet	59
6.3	Jatkotutkimusaiheet.....	60
	LÄHTEET.....	62

LIITTEET (1KPL) Benchmarking kysymykset

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen taustaa

Prosessiteollisuutta palvelevan laitetoimittajan yksi keskeinen kilpailullinen tekijä on hinnan ja tehokkuuden ohella on myös lisäarvo tuonti asiakkaalle. Yhtenä lisäarvona voi toimia se, että tuotteen toiminta taataan mahdollisimman jatkuvana. Tästä syystä onkin erittäin tärkeää, että laitteen huoltotoimenpiteet vaikuttavat itse tuotantoprosessiin mahdollisimman vähän. On siis tunnettava laitteen toiminta hyvin tarkkaan, jotta voidaan ennustaa sen toiminta tulevaisuudessa. Yhtenä keskeisenä osana jatkuvaa toimintaa ovat käytettyjen varaosien laatu. Tämä voidaan taata käyttämällä laadukkaita alkuperäisvaraosia.

Jo pidemmän aikaa on kehitetty tekniikoita kuten värinämittaus, joilla pyritään ennakoimaan mm. laakereiden rikkoutuminen. Hyödyntämällä teollisen internetin ratkaisuja on mahdollisuus saada erityyppisiltä sensoreilta tietoa laitteen sen hetkisestä tilasta. Tällaisissa ratkaisuissa puhutaan ennakoivasta huollosta, joka pyrkii lyhyellä aikavälillä huomaamaan akuutin korjaus tarpeen. Termien käyttö huoltotoimintojen yhteydessä on suhteellisen kirjavaa ja monesti puhutaan teollisen internetin ratkaisuissa myös etävalvonnasta. Termi etävalvonta ei itsessään ota kantaa siihen osaako järjestelmä mitenkään ennakoida huoltotoimenpiteitä.

Uusimpana kehityssuuntana on ollut tuoda huoltoon älykkyyttä, joka tarkoittaa sitä, että ohjelmistolla on käytössään mm. laitteen eri komponenttien huoltohistoriaa eri olosuhteissa. Tämän datan avulla se osaa tehdä ennustuksia komponenttien rikkoutumisikkunasta jo ennakkoon. Poikkeuksena ennakoivaan huoltoon älykkäässä huollossa pyritään keräämään tietoa, jolla voidaan arvioida komponentin koko elinikä. Ennusteita tehdään eri pituisiksi ajoiksi. Aluksi voidaan pyrkiä arvioimaan, kuinka kauan odotetaan komponentin kestävän ja tämän jälkeen lyhyemmällä aikavälillä pyritään havaitsemaan kulumisen aiheuttamat ilmiöt komponentista, jotta vikaantuminen kyetään havaitsemaan ennen kuin se aiheuttaa merkittävää vahinkoa.

1.2 Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet

Tutkimustyön aihe on saatu toimeksiantajalta, joka toimii paperi- ja kartonkiteollisuuden laitetoimittajana. Tuotteet keskittyvät etenkin prosessin loppupään vaativiin kelaus-, leikkaus- ja logistiikkatoimintoihin. Yrityksen ensisijaisena toimintamuotona on laitteiden myynti asiakkaille. Toisena toiminta muotona on myydä asiakkaalle alkuperäisiä varaosia, jotka takaavat prosessin sulavan toiminnan. Ajan myötä on tullut esille, että tämän

jälkimmäisen osaan liittyen asiakkailta on tarvetta saada suosituksia siitä, milloin ja mitä osia laitteisiin tulisi vaihtaa. Tähän tavoitteeseen pyritään pääsemään keräämällä laitteista tietoa ja oppimalla tätä kautta osien kulumisen dynamiikkaa.

Tutkimuksen tärkein tutkimuksellinen kysymys on: *Kuinka toteuttaa toimeksiantajan älykkään huollon järjestelmä siten että yritys kykenee tehostamaan toimintaansa sekä tuottamaan lisäarvoa asiakkailleen?* Työn lopullisena tavoitteena on tuottaa raportti, jossa kuvataan toimeksiantajalle soveltuva älykkään huollon järjestelmä. Raportissa annetaan suositukset mitä ominaisuuksia järjestelmän tulisi sisältää ja perustellaan näiden ominaisuuksien valinta yrityksen toimintaa tehostavilla tekijöillä. Järjestelmän on tarkoitus aluksi tukea ensisijaisesti toimeksiantajan varaosamyyntiä tarjoamalla asiakkaille huoltosuosituksia vaihdettavista komponenteista. Koska järjestelmän kannalta ei nähdä suurta eroa sille onko kyseessä huoltoon tukeva varaosamyynti vai itse huollon toteutus, käsitellään järjestelmään selkeyden vuoksi puhtaasti älykkäänä huoltojärjestelmänä.

Keskeisenä tuloksena esitetään älykkään huollon järjestelmän karkea rakenne ja menetelmät, joiden avulla järjestelmä kykenee analysoimaan tuotetusta datasta laitteen tilaa. Lisäksi esitetään toimenpiteitä järjestelmän edelleen kehittämiseksi ja datan saannin varmistamiseksi. Samassa yhteydessä esitetään myös joitakin tekijöitä joita yrityksen olisi hyvä huomioida älykkään huollon järjestelmän käyttöönottoa suunniteltaessa.

1.3 Tutkimuksen rajaus

Työssä keskitytään toimeksiantajan Pituusleikkureiden ja Pope-rullainten älykkään huollon järjestelmän toteutuksen suunnitteluun. Yrityksen asiakkaina toimii prosessiteollisuuden yrityksiä jotka toimivat paperi- ja kartonkiteollisuudessa. Tuotteiden elinkaareissa keskitytään toimituksen jälkeiseen ajanjaksoon.

Joissakin tapauksissa benchmarking-prosessi on jatkuva, jolloin toimintaa arvioidaan uudelleen tietyn ajan kuluttua. Työssä käytettävä benchmarking-prosessi on yksivaiheinen, eikä sitä jatketa tämän tutkimuksen puitteissa.

Tutkimuksessa ei oteta kantaa järjestelmän toteuttamisen kannattavuuteen, koska käytävissä ei ole projektin vaatimia investointimääriä. Mittaus on myös osittain hankalaa koska kyseessä on tuotteen toimintaa tukeva järjestelmä, jolla on myös mahdollinen myyntiä edistävä vaikutus. Tästä huolimatta joitakin järjestelmän puitteissa hyödynnettävissä olevia indikaattoreita esitetään.

Tutkimuksessa ei oteta kantaa siihen, kuinka sovelluksen kooditoteutus järjestetään. Tutkimuksen tarkoituksena on tarjota yleisempi kuvaus järjestelmän toiminnasta ja suositeltavista ominaisuuksista perustuen kerättyyn tietoon. Myöskään tiedonkäsittelyä ei esitetä algoritmitasolla asti, vaan toiminta esitetään yleisemmällä periaate tasolla.

Huoltojärjestelmän totutusta ja siihen liittyvissä tekijöissä ei oteta kantaa itse järjestelmän huollettavuuteen, tai siihen miten laitteen huolto toteutetaan. Työn keskiössä on ainoastaan huoltotoimintaa tukevaan järjestelmään liittyvät asiat.

1.4 Tutkimuksessa käytetyt menetelmät ja rakenne

Tutkimuksen keskeisimpänä työkaluna toimii benchmarking-menetelmä, jonka avulla pyritään oppimaan muiden kokemuksista älykkään huoltojärjestelmän luonti prosessissa. Benchmarking toteutetaan eritoimialalla toimivan yrityksen kanssa, jolla on pitkäaikaista kokemusta tuotteidensa etävalvonnasta ja toteutettavan kaltaisen järjestelmän luonnista. Tämän tutkimuksen puitteissa benchmarking-tutkimus suoritetaan vapaamuotoisilla kysymyksillä, jotta kohdeyrityksestä saadaan kerättyä kokemustietoa mahdollisimman tehokkaasti. Tämä on perusteltua myös siksi että kyselyssä ei pyritä hakemaan mitään prosessin suoritustasoa vaan kyseessä on projektin totuttamiseen liittyvä tutkimus. Benchmarking-perusmallina sovelletaan kahdenkeskistä benchmarking-prosessia. Kumppaniksi pyritään saamaan siis paras mahdollinen toimija, jolla on kokemusta älykkäiden huoltojärjestelmien toteuttamisesta. Benchmarking-menetelmän teoria on esitetty tarkemmin kappaleessa 2.3. Menetelmän soveltamista tässä työssä esitetään taas kappaleessa 3.1. Analysoinnin keskeisimpiä tavoitteista on löytää toimintojen samankaltaisuudet ja miten vertailtava yritys on toteuttanut toiminnan näissä tapauksissa. Toimeksiantajalta haastatteleamalla saatuja tietoja käytetään lähteenä muodostettaessa mallia vaadittavasta järjestelmästä.

Toisena merkittävänä menetelmänä työssä toimivat kirjallisuusanalyysit, joiden avulla haetaan syvempää ymmärrystä järjestelmän toiminnasta. Älykkään huollon järjestelmiä käsitteleviä kirjoja on olemassa jo muutamia ja ne tarjoavat laaja-alaisen näkemyksen järjestelmien taustalla oleviin toiminta periaatteisiin. Kirjalliset lähteet tarjoavat myös yleistä näkemystä huolto strategioista, joita yritykset käyttävät toimintaedellytyksiensä maksimointiin.

Lopuksi muodostetaan karkea malli siitä, minkälainen järjestelmä palvelisi toimeksiantajan älykkään huollon järjestelmän tarpeita. Älykkään huollon järjestelmä kuvataan yleisellä tasolla eikä siinä puututa esimerkiksi kooditason toteutukseen. Malli tukee ohjelmistoteknisesti lähinnä ohjelmistovaatimusten muodostamista (Haikala, Märijärvi, 2001, s. 26).

Tutkimuksen rakenne on seuraava. Kappaleessa 2 esitetään työhön liittyvää teoriaa, joka auttaa ymmärtämään työn taustalla olevia tekijöitä. Kappaleessa 3 esitetään benchmarking-prosessiin liittyvät yrityksen ja näiltä kerätyt haastattelu tulokset. Kappaleessa myös analysoidaan haastatteluiden tuloksia, jotta löydetään keskeiset kiinnostuksen kohteet. Kappaleessa 4 esitetään älykkääseen huoltojärjestelmään liittyviä taustatekijöitä. Kappaleessa esitetään erilaisia vaihtoehtoisia menetelmiä, joita voidaan hyödyntää järjestelmän

toiminnassa. Lisäksi esitetään älykkään huollon kaupalliseen hyödyntämiseen liittyviä tekijöitä. Kappaleessa 5 esitetään aiempien kappaleiden avulla koottu järjestelmä malli, joka esittää menetelmiä älykkään huoltojärjestelmän käyttöön ottamiseksi yrityksessä. Mallissa esitetään myös askeleet, joilla kerättyä dataa voidaan alkaa muokata järjestelmässä toimintaa hyödyntäväksi informaatioksi. Lopuksi kappaleessa 6 annetaan loppupäätelmät ja esitetään työn tulokset kootusti. Kappale sisältää myös jatkotutkimusehdotuksia.

2. TEORIAKATSAUS

Tässä kappaleessa esitetään teorioita, jotka vaikuttavat tutkimusmenetelmien ja järjestelmän kehityksen taustalla. Lisäksi tarkastellaan mitkä tekijät vaikuttavat taustalla päätöksissä toteuttaa älykkään huollon järjestelmä.

2.1 Elinkaarimalli ja arvonmuodostus huoltopalvelussa

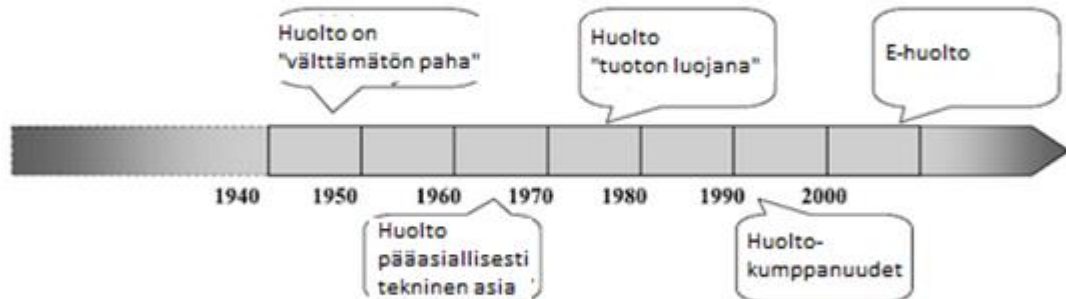
Jokaisella tuotteella ja palvelulla on elinkaari. Tämä elinkaari alkaa siitä, kun markkinat tunnistavat tuotteen tarpeellisuuden ja aika on kypsä sen kaupalliseen julkaisuun (Fedele, 2011, s. 21). Tuotteen elinkaari päättyy siihen, kun tuote poistuu käytöstä. Tuotteiden elinkaaren pituudet vaihtelevat suuresti ja jotkin tuotteet voivat olla markkinoilla vain hetken ja toisten elinkaari kestää kymmeniä vuosia sisältäen erilaisia ylläpitäviä toimenpiteitä ja päivityksiä.

Tässä tapauksessa tarkastelevat tuotteet edustavat jälkimmäistä kategoriaa ja ovat eliniältään erittäin pitkäikäisiä. Palvelu, jolle tässä työssä pyritään löytämään parhaita käytäntöjä, voidaan nähdä yhtenä päivityksenä tuotteeseen ja siten vahvistavana tekijänä kyseisen tuotteen elinkaareen. Keskeisin periaate liiketoiminnallisesti teollisessa internetissä on datan keräys ja tämän datan muokkaaminen arvoa tuottavaan muotoon. Tiedon käsittely tieteilijät ovat muodostaneet termin ”value of perfect information”, eli täydellisen informaation arvon, joka käsittelee kykyä jäsenellä datapisteet, tiedon keräystä ja analyysiä, siten että informaatiolla kyetään tekemään syvällisiä oivalluksia. (Greengard, s. 54) Tähän perustuu myös ajatus älykkään huollon järjestelmän toteutuksesta ja sillä saatavista hyödyistä. Tämän mukaan datasta on järjestelmän avulla saatava esille syvemmin järjestelmää havainnoivaa informaatiota, jotta järjestelmän olemassa olosta on hyötyä.

Tuotteiden elinkaarten pidennystä on harjoitettu huollon avulla jo vuosikymmenten ajan. Korjaavasta huollosta on kehitytty nykyaikaisiin tietoteknisiin järjestelmiin jotka toimivat teollisen internetin periaatteilla. Kuva 1 havainnollistaa hieman huollonhallinnan historiaa.

Muutokset toimintakentässä

Asennusten monimutkaisuus - Kilpailullinen paine - Asiakaskeskeisyys-
Dynaamisesti muuttuva liiketoimintaympäristö



Vaikutus huollon hallintaan

Muuttaa vaatimuksia ja käytäntöjä
Korkeammat odotukset

Kuva 1: Huollon hallinnan historiaa (Pintelon Liliane, Puyvelde Frank Van, 2006, s. 5)

Niin kutsutut tuoteliitännäiset palvelut käsittävät peruspalvelujen osuuden asennukselle, esimerkiksi varaosat, korjaus, tarkastukset ja peruskoulutuksen, joilla varmistetaan laitteen oikeanlainen toiminta. Tuoteliitännäiset palvelut kattavat myös kehittyneempiä palveluita kuten ehkäisevä huolto, prosessin optimointi ja koulutus ja ylläpito sopimukset. (Fischer, Gebauer, Fleisch, 2012, s. 3, Oliva, Kallenberg, 2003 s. 171) Tuoteliitännäisen palvelun tavoitteiksi on määritelty (Fischer, Gebauer, Fleisch, 2012, s. 4):

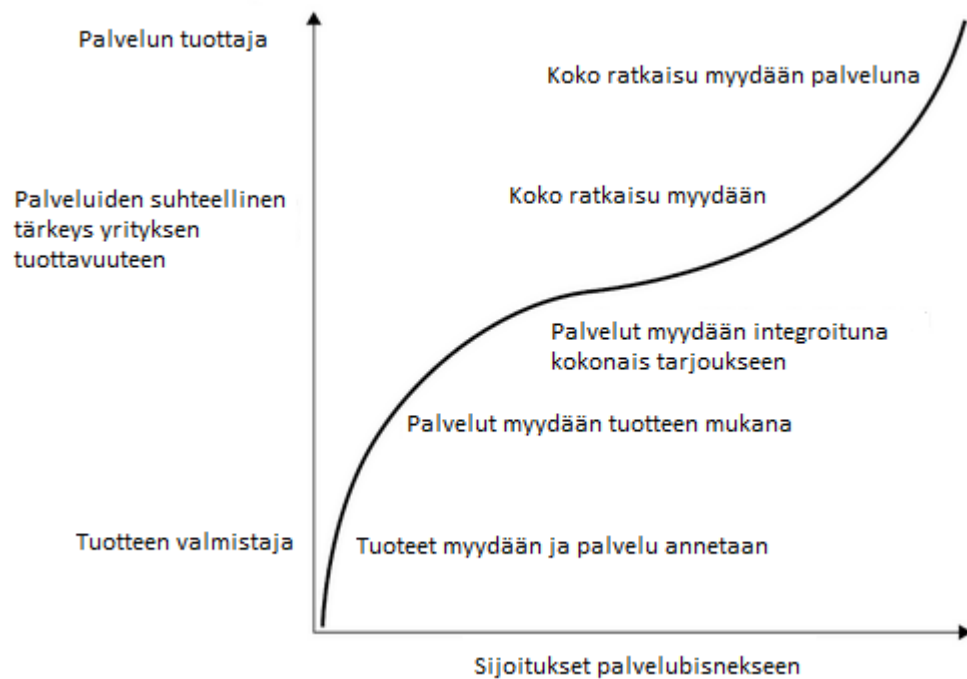
- Varmistaa tuotteen toiminnan. Peruspalvelut mahdollistavat yritysten mahdollisimman nopeammin reagoida tuotteiden hajoamisiin
- Kasvattaa tuotteen hyötysuhdetta ja tehokkuutta. Kehittyneet palvelut tähtäävät tuotteen hajoamisen estämiseen.

Palveluiden tarvitsee venyä asiakkaiden operationaalisten tarpeiden yli (Fischer, Gebauer, Fleisch, 2012, s. 4). Älykkään huollon tapauksessa ollaan kiinnostuneita juuri kehittyneempien tuoteliitännäisten palveluiden tuottamisesta. Jotta älykäs huolto kuitenkin voisi toimia kunnolla on myös peruspalvelun palikoiden oltava olemassa. Palvelubisneksen kehittämien voidaankin nähdä potentiaalisena kilpailustrategiana teknisten mahdollisuuksien vähentyessä, luomaan differentiaatiota. Palvelun tarjoaja ja tuotteen valmistaja näkevät palvelun eri tavoin (Fischer, Gebauer, Fleisch, 2012, s. 5):

- Tuotteen valmistaja näkee palvelun täydentävänä osana tuotetta. Palvelun tuotto on suhteellisen alhainen, suurimman osan tuotosta tullessa tuotteesta ja muutamasta palvelusta, kuten asennus, dokumentaatio ja varaosat.

- Palvelun tuottaja luottaa pääasiassa arvontuottamiseen palveluiden kautta. Palveluiden tuotto ja tulos vaikuttavat yrityksen yleiseen tulokseen. Tarjolla on suuri skaala palveluita, mukaan lukien tuoteliittäisiä palveluita kuin myös asiakastu- kupalveluita.

Toimeksiantaja yrityksen nykyisenä toimintatapana voidaan nähdä tuotelähtöisen toiminnan. Useat yritykset ovat nykyään siirtyneet palvelukeskeiseen toimintaan ja myös kyseisen yrityksen olisi mahdollista tarkastella tämän tyyppistä toimintaa. Yrityksen siirtymistä tuotteiden valmistamisesta palveluiden tarjoamiseen esitetään kuvassa joka kuvastaa Eriksonin palveluiden evoluutiota (Kuva 2). Kuva esittää eri toimintatapojen vaikutuksen tasoon jolla yritys toimii palveluntarjoajan periaatteiden mukaisesti. Palvelukeskeinen toiminta lisää luonnollisesti myös palvelubisneksen vaatimia investointeja.



Kuva 2: Esimerkki palveluiden evoluutiosta Eriksonilla. (Fischer, Gebauer, Fleisch, 2012, s. 8)

Palvelubisneksen kehityksen rationaalisuus voidaan jakaa taloudellisiin ja ekonomisiin argumentteihin (Fischer, Gebauer, Fleisch, 2012, s. 8). Taloudelliset argumentit korostavat palveluiden taloudellista potentiaalia. Palveluiden taloudellinen potentiaali tarkastelee kolmea eri näkökulmaa (Fischer, Gebauer, Fleisch, 2012, s. 9):

- Palveluiden tuoton käyttöä suorituskyky indikaattorina palveluita kohti siirryttäessä.
- Palvelut ovat tuottavampia kuin tuotteet.
- Palveluliiketoiminta on epävakampi kuin tuoteliiketoiminta.

Tällä hetkellä yrityksessä koetaan kilpailu huoltopalveluliiketoiminnassa liian kovaksi. Ongelmana on mainittu kuitenkin kova kilpailu tietyissä maissa huoltopalveluiden hinnoissa. Laitetoimittajat jotka kasvattavat vientiä Kiinan, Intian ja Etelä-Amerikan kehittyville markkinoille kokevat automaattisen palveluiden tuotossa. Palvelut kuten huolto, korjaukset ja asennukset ovat sidoksissa paikallisiin työvoimakustannuksiin. (Fischer, Gebauer, Fleisch, 2012, s. 11)

Liittyen läheisesti strategisiin argumentteihin, että palvelut luovat kilpailullista etua on, että palvelubiznes voi muokata arvонуonnin logiikka. perinteisesti arvонуontilogiikkaa on hallinnut arvoketjun käsite, joka ehdottaa arvонуonnin tapahtuvan vaiheittain arvoketjun varrella (Porter, 1985, s. 35). Nykyään ollaan osittain vapautumassa tästä arvoketju ajattelusta ja tarkastellaan sen sijaan asiakasjärjestelmän arvонуontiprosessia. Tämä tarkoittaa arvонуonnin logiikan siirtymistä tuotannosta käyttäjävaiheeseen: Ei katsota tuotteita ja palveluita ulosantina vaan sisääntulona ja yhdestä liiketoiminnasta pitkä aikaisiin asiakassuhteisiin. (Fischer, Gebauer, Fleisch, 2012, s. 16)

Arvoperusteinen huolto rakentaa sillan perinteisten huolto periaatteiden ja sidosryhmien edunvalvonnan välille. Käsite ei pelkästään yksinkertaista kokousten keskusteluja vaan se myös osoittaa, että kaukana kustannuskeskeisestä huolto voi osoittaa olevansa jopa keskeinen taloudellinen tekijä kokonaistuloksessa. Arvoperustainen huolto perustuu neljään arvон tuottajaan (Pintelon Liliane, Puyvelde Frank Van, 2006, s. 120):

- Hyödykkeen käyttö: Tavoite on kasvattaa teknisen laitteen käyttösuhdetta. Huollon odotetaan luovan arvoa säästöjen kautta, estämällä vikatilanteita, suunnittelemalla ajoitettuja huoltoja ja nopeuttamalla interventio ja tarkistus aikoja.
- Turvallisuus, terveys ja ympäristö: Tämä kasvavan huomion kohde keskittyy valtioiden säännösten ja lakien noudattamisen. Täten tällöin voidaan välttää mahdolliset sakot ja toiminta edellytykset taataan, alentaen liiketoiminnan kokonaisrisiä.
- Kulujen hallinta: Vaikka huoltoa ei nähdä pelkkänä kustannustekijänä liittyy siihen se tosiasia, että siihen liittyy paljon kustannuksia, tekee kaikista mahdollisista kustannus leikkauksista mielenkiintoisia. Tämä voidaan mm. realisoida kehittämällä teknikkojen tuottavuutta, järkevillä materiaalin ja palveluiden ostoilla ja tasapainotetulla organisaatio kaaviolla.
- Resurssien kohdentaminen: Tässä osassa fokus on johtamisessa. Tarkastelun kohteena oleva resurssit ovat henkilöstö, ylläpitomateriaalien hallinta (MRO, Maintenance Repair and Operating supplies), sopimustoimijat ja tieto. Erityisesti paremman ylläpitomateriaalien hallinnan odotetaan tuovan säästöjä.

2.2 Älykäs huolto ja pilvipalvelut

Älykäs huolto on eräänlainen ennakoivan huollon kehittyneempi versio. Kirjallisuudessa käytetään jossain samasta aihepiiristä myös nimityksiä kehittynyt huolto (advanced maintenance), etävalvonta (remote monitoring) ja ennakoiva huolto. Erään määritelmän mukaan älykäs huolto on järjestelmä, jolla hallitaan teknisiä laitoksia ja joka sallii käyttäjän kerätä tietoa ja organisoida kaikkea kerättyä tietoa. Tämä mahdollistaa huolto-operaattoreiden saada teknistä informaatiota järjestelmästä johon huoltotoimenpide halutaan kohdistaa. Järjestelmä on älykäs ja sopeutuva ohjelmisto joka on kykenevä oppimaan ajan kuluessa ja siten koko ajan kykenevä kehittymään tarkemmaksi ja tehokkaammaksi. (Fedele, 2011, s. 173) Erilaisia älykkääseen huoltoon vaikuttavia näkökulmia on useita ja niitä esitetään seuraavissa kappaleissa.

2.2.1 Huoltostrategiat

Paljon edistystä on tapahtunut vanhevien laitteistojen ylläpito käytäntöjen suhteen. Huoltostrategia voidaan määrittellä päätöksenteko sääntönä, joka määrittää sekvenssin huolto toimenpiteille, joita suoritetaan kulumistilanteen ja hyväksyttävien kynnyksarvojen mukaisesti. Jokainen huolto toimenpide koostuu järjestelmän säilyttämisestä tai palauttamisesta tiettyyn tilaan, asian mukaisia resursseja käyttämällä. Jokainen huoltotoimenpide synnyttää sekä kustannuksia että aikatauluvaatimuksia. Huoltostrategiat ovat seuraavanlaiset: (Ben-Daya, Duffuaa, Raouf, Knezevic, Ait-Kadi, 2009, s. 142)

- Vikatilanteiden korjaus (Breakdown Maintenance)
- Ennaltaehkäisevä huolto (Preventive Maintenance)
- Ennustava huolto (Predictive Maintenance)
- Ennakoiva huolto (Proactive Maintenance)

Vikatilanteiden korjaus, huoltostrategialla tarkoitetaan sitä, että ongelmatilanteisiin ei puututa ennekuin ongelma ilmenee. Kone ajetaan toisin sanoen siihen pisteeseen, että sillä ei voida enää jatkaa toimintaa tai vika on jo selkeästi havaittavissa normaalin toiminnan ohessa. Koneella ei välttämättä voida enää suorittaa työtehtävää vaan huoltotoimenpide täytyy suorittaa ennen kuin toiminta voi jatkua. Tämän tyyppinen toiminta ei ole nykyään yleistä varsinkaan isoissa kalliissa laitteissa, koska luonnollisesti tämän tyyppinen toiminta tulee hyvin kalliiksi koska viat voivat muodostua vakaviksi ja tuotannolle voi aiheutua vakavia seisakkeja, laitteiston kriittisyydestä riippuen.

Ennaltaehkäisevä huolto, huoltostrategia tarkoittaa, että laitteisto pyritään huoltamaan enne kuin vikatilanteita ilmaantuu. Tyypillisesti tämä suoritetaan määräaikaishuolloilla ja -tarkastuksilla. Tyypillinen esimerkki tästä ovat tänä päivänä autot joiden huoltokirjassa on merkitty kullekin automerkille ja mallille oma huolto-ohjelma, sisältäen mm. öljynvaihdot, koritarkastukset, jakopäänhihnojen vaihtoajankohdat, jne. Huolto-ohjelman

eri huoltokohteiden toimenpiteet voivat olla niin laitteiston kuormitukseen eli esim. ajomäärään liittyviä tai aikamääräisiä esim. kerran vuodessa.

Ennustava huolto, huoltostrategiassa pyritään varoittamaan, kun jokin komponentti on rikkoutumassa. Tavoitteena on pyrkiä suorittamaan korjaustoimenpiteen vain, kun tarpeellista, kuitenkin siten että vika havaitaan hieman ennen rikkoutumista. Eräs tyypillisimmistä mitatuista kohteista ovat laitteiston laakereissa esiintyvät värinät.

Ennakoiva huolto, huoltostrategia tarkoittaa sitä, kun yritetään ennustaa vikaantumistilanteita esim. aiemman sensoritiedon pohjalta luotujen vikaantumistriggereiden avulla. Tavoitteena on, että korjaus tarpeet havaitaan ajoissa, mutta korjauksia ei suoriteta, kuin vasta tarpeen vaatiessa. Tämäntyyppinen huoltostrategia vaatii toimiakseen kehittyneempää mittausteknologiaa ja mittaustulosten analysointia.

Tässä työssä mallinnettava älykkään huollon järjestelmä toimii kehityksen alkuvaiheessa toimimaan ennustavan huoltostrategian puitteissa etävalvonta järjestelmänä. Analysoitavan datamäärän kasvaessa ja siitä haettavien vikaantumismallin myötä voidaan siirtyä kohti toimivaa älykkään huollon järjestelmää ja ennustavaa huoltostrategiaa. tarkempi kuvaus tästä prosessissa on nähtävissä kappaleessa 5.1.

2.2.2 Pilvilaskenta ja pilvipalvelut

Pilvilaskenta tarjoaa palveluita, joissa yhdistyy kaksi teknologiaa. Ensinnäkin pilvipalveluun liittyy verkkoyhteys, joka tarjoaa tiedolle siirtomedian. Toisena tietotekniikka tarjoaa resursseja laskentaan, sovelluksia ja palveluita. Pilvilaskenta voidaan jakaa neljään osa-alueeseen: pilveen, pilvi palveluihin, pilvi teknologiaan ja pilvi ekosysteemiin. (Chang, Abu-Amara, Sanford, 2010, s. 7) Tässä työssä tarkastelemme lähinnä pilvipalveluita ja niiden luomia mahdollisuuksia.

Pilvipalvelun perimmäisenä tavoitteena on tarjota verkossa oleva resurssi, joka jaetaan virtuaalisten toimijoiden kesken. Tämä tarjoaa mahdollisuuden käyttää fyysisiä tietoteknisiä resursseja tehokkaammin, koska kaikki palvelut tuskin koskaan vaativat maksimi resursseja samaan aikaan, joten fyysistä prosessori-aikaa ja muistikapasiteettia voidaan täten skaalata palveluiden välillä. Yritykset ovatkin yhä laajemmin siirtymässä omien servereiden käytöstä kolmansien osapuolien tarjoamiin pilvipalveluihin. Tämä mahdollistaa yritysten keskittymisen enemmän ydinosaamis alueisiin ja vähentää tietoteknologiaan liittyviä kokonaiskuluja.

Pilvipalvelut jaotellaan tyypillisesti kolmeen luokkaan:

- Infra palveluna, (IaaS, Infrastructure as a Service), palvelu tarjoaa fyysiset puitteet toiminnalle. Palvelu tarjoaa täten vain normaalit tietotekniset laitteet: Konesalin, tietoliikenne yhteyden, mahdollista tallennustilaa. Tämä on erityisesti yritysten suosiossa, sillä tällöin ne välttyvät omilta fyysisiltä serveri hankinnoilta ja

konesaleilta. Palveluita tarjoavat esimerkiksi Amazon EC2, Googlen compute engine. Lisäksi löytyy fyysisiä konesali tarjoajia, joissa voidaan käyttää myös omia laitteita, esim. Ficolo Oy (Amazon, Ficolo).

- Alusta palveluna, (PaaS, Platform as a Service), on tyypillisesti sovelluskehittäjien suosiossa oleva pilvipalvelu tyyppi, jossa tarjolla on kehitysalustoja, joidenka päälle luodaan sovelluksia. Esimerkkinä voidaan mainita Microsoftin Azure palvelu ja Googlen Cloud Platform (Azure, Google)
- Ohjelmisto palveluna, (SaaS, Software as a Service), ovat tavalliselle kuluttajalle verkkokautta tarjottavia sovelluksia. Nämä voivat olla selaimen kautta tarjottavia toimisto ohjelmisto tyyppisiä sovelluksia tai tallennustilaa tarjoavia palveluja. Esimerkkeinä edellisistä voidaan mainita Office 365 ja Google Drive (Google).

Älykkään huollon järjestelmille kyseeseen tulee IaaS ja PaaS palvelumallit, koska kyseessä on laajempi kokonaisuus, joka tarvitsee toimintaa spesifioidun ja mahdollisesti yrityskohtaisesti räätälöidyn sovelluksen.

2.2.3 Signaalinkäsittely

Älykkään huollon järjestelmissä tietotekniikka on avainroolissa. Keskeisenä osana tätä toimintaa on signaalien tulkitseminen. Tavoitteena on tulkita analogista maailmaa digitaalisiin välinein. Sensorien avulla mittaustulokset muutetaan sähköisiksi signaaleiksi, jota ohjelmistot tulkitsevat digitaalisena eli binäärimuodossa. Analogisen ja digitaalisen signaalien eroja havainnollistetaan kuvassa 3. Keskeisiä signaalien tulkitsemiseen liittyviä komponentteja ovat:

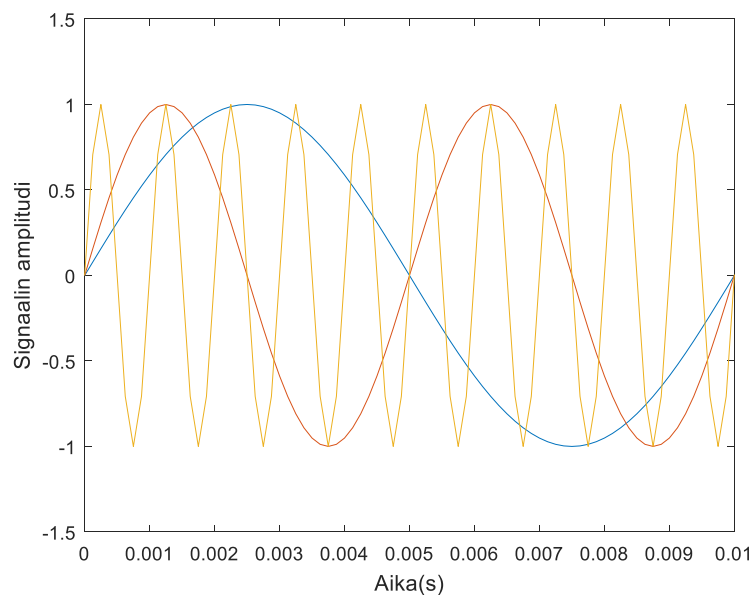
- Signaalin taajuus, Hz
- Signaalin amplitudi, V

Signaalin taajuus kertoo järjestelmässä, sen kuinka usein jokin ilmiö tapahtuu aikayksikköä kohden. Esimerkkinä mainittakoon esim. sen, että sinisignaalin taajuus määrättyy siitä, kuinka nopeaa signaali kulkee esim. amplitudi huipusta huippuun. Signaalin amplitudi kertoo sen mikä on signaalin voimakkuuden maksimiarvo. Voimakkuudella tarkoitetaan tyypillisesti signaalien jännitetasoa. Puhuttaessa jaksosta signaalien yhteydessä tarkoitetaan sitä aikaväliä, jolloin yksi tapahtuma esiintyy signaalissa. Jakso on siis riippuvainen taajuudesta ja onkin suoraan laskettavissa siitä kaavalla $1/f$

Huomioitavaa signaalien havaitsemisessa on mittauskohteen vaatima näytteenottotaajuus, joka asettaa rajat sille millaisia signaaleja kyetään havaitsemaan. Ilmiötä kutsutaan Nyquistin teoreemaksi ja se asettaa rajan sille, että näytteen otto taajuuden tulee olla vähintään kaksinkertainen mitattavan signaalien taajuuteen verrattuna. Tämä johtuu siitä, että

signaalia ei kyetä mallintamaan järjestelmässä, ellei siitä ole vähintään kahta näytettä yhden jakson aikana.

Tyypillisesti signaali ei ole puhdas sinisignaali ja sisällä vain yhtä taajuutta, vaan siinä on useita taajuus komponentteja ja kohinaa. Tyypillisesti signaalit arvioidaan sini ja kosini lausekkeiden lineaarisilla kombinaatioilla. Tällainen signaali voi olla esimerkiksi mekaanisen järjestelmän värinästä mitattu signaali. (Lay, s. 456) Tämän periaatteen taustalla ovat Fourier-sarjat. Kuva 3 antaa muutaman esimerkin erilaisia sinisignaaleista jotka ovat kuvassa esitettyinä eri väreillä.



Kuva 3: Kolme sinisignaalia esitettyinä eri väreillä. Signaalien taajuudet ovat 100, 200 ja 1000 Hz. 1000Hz signaalissa voidaan nähdä Nyquistin teorian mukaista mallinuskarkeutta, joka ilmenee signaalin kärkien terävyytenä.

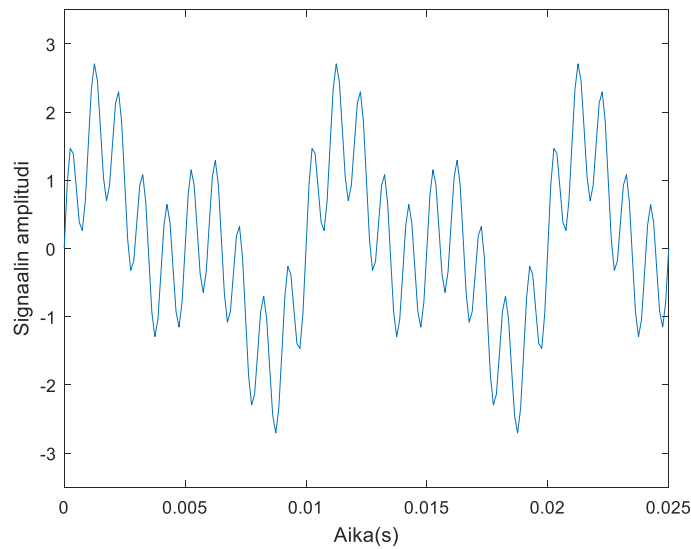
Fourierin sarjoista on johdettu käytännönläheinen matemaattinen malli, jolla signaali saadaan nopeasti taajuustason esitykseksi. Tätä mallia kutsutaan nopeaksi Fourier-muunnokseksi (FFT, Fast Fourier Transform), joka on diskreetti Fourier-muunnos. FFT muunnoksen kaava on seuraavanlainen.

$$\hat{f}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-i\omega x} dx$$

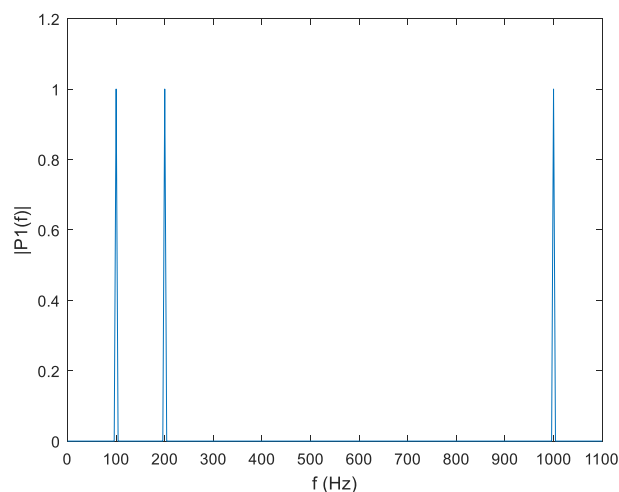
Kaava 1

Kaavassa ω tarkoittaa kulma taajuutta. Äärettömyys tarkoittaa peruskaavassa käytännössä sitä, että signaalin taajuus mitataan koko signaalin matkalta. Todellisissa tietotek-

nisissä toteutuksissa signaalia analysoidaan vain tietyn mittainen pätkä, ehkä vain joidenkin sekuntien mittainen pätkä. FFT muunnoksen avulla on mahdollista seurata mitä taajuuskomponentteja laitteesta mitattu signaali sisältää (Adams, 2010, s. 307). Tämä informaatio on usein hyvin tärkeää, sillä eri taajuus alueiden signaalit kertovat eri asioita. Kuva 4 mallintaa todellista mitattua signaali, sillä erotuksella, että kohinaa ei ole ja taajuuksia on verrattain vähän. Periaatteen esityksessä tämä yksinkertaistu on kuitenkin perusteltua. Kuva 5 esittää FFT-funktion antamaa tulosta, jonka avulla päästään käsiksi taajuustietoon.



Kuva 4: Kuvan 2 signaalit summattuna yhdeksi signaaliksi.



Kuva 5: Kuvan 2 signaalista muodostettu taajuusspektri Matlab sovelluksen FFT-funktion avulla. Taajuudet 100, 200 ja 1000 Hz ovat selkeästi erotettavissa.

Nykyään epästationaariset signaalit mallinnetaan usein Wavelet-menetelmällä FFT:n sijaan, koska Waveletit ovat mittakaava- ja aikavariantteja. Waveletit ovat Fourier-muunnoksen tehokkaita muunnoksia (Adams, 2010, 321). Wavelettien kaksi tärkeää käyttökohdetta vian havainnoinnissa ja tunnistamisessa ovat datan pakkaus ja piirteiden erottaminen. (Staszewski, Worden, Tomlinson, 1997). Datan pakkaus -nimi liittyy datan koodaukseen pakatussa muodossa. Piirteiden avulla voidaan tunnistaa vikatilanteita tarkkailtavista järjestelmistä. Kun Wavelet-muunnos on suoritettu, kertoimet analysoidaan kaikille muunnoksille normaalista signaalista. Vikatilanteiden aiheuttamien kertoimien tunnistaminen on hankalaa ja tässä onkin pyritty hyödyntämään mm. geneettisiä algoritmeja. (Ben-Daya, Duffuaa, Raouf, Knezevic, Ait-Kadi, 2009, s. 346)

Eräs toinen signaalien käsittelyssä usein käytetty menetelmä on yksinkertainen liikkuva keskiarvo (SMA, Simple Moving Average) (kappale 3.2.2). Menetelmässä n määrä edellisiä näytteitä signaalista analysoidaan laskemalla niistä keskiarvo. Tarkastelemalla näistä keskiarvoista muodostunutta käyrää voidaan seurata signaalin voimakkuuden kehitystä. SMA laskennan kaava on seuraavanlainen.

$$SMA = \sum_{i=0}^n \frac{x_i}{n}$$

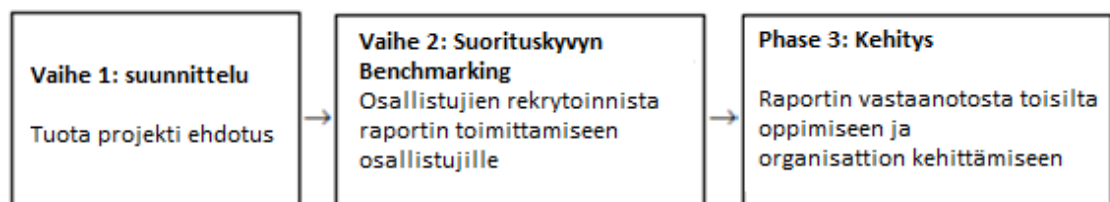
Kaava 2

Jossa n on laskentaan otettavien näytteiden määrää ja x vastaa näytevektoria. Näyteikkunan pituudella on suuri merkitys siihen kuinka paljon yksittäiset piikit signaalissa vaikuttavat kokonaiskäyrään. Liikkuvan keskiarvon laskenta tapoja on muitakin kuten esimerkiksi painotettu (WMA, Weighted Moving Average) ja juokseva (RMA, Running Moving Average). Mikäli ollaan kiinnostuttu vain pidempi aikaisesta trendin muutokset, voidaan käytettyä ikkunaa pitää pidempänä. Tosin rajattoman pituiseksi ei sitä kannata kasvattaa koska turhaa laskentaa tulee aina välttää. SMA tarkastelu perustuu signaalin amplitudin tarkasteluun, kun taas FFT perustuu signaalin taajuustarkasteluun. Lopullinen tavoite johon pyritään, on signaalien taajuuksien tulkitseminen ajan funktiona.

Suodatus on eräs keskeisimmistä toiminnoista, joka suoritetaan signaaleille. Analoginen signaali voidaan suodattaa, jotta estetään näytteen otto taajuuden ylittävien signaalien pääseminen digitaaliseen signaaliin häiriöksi. Tämä toiminto tulee olla mukana jo hankittavissa komponenteissa, joten tämän asian tiedostaminen ja saatavan signaalin taajuus rajojen tuntemus riittää signaalin käsittelyyn. Digitaalisella puolella suodatus tapahtuu jälleen Fourierin sarjojen kertoimia hyödyntäen. Tavoitteena tällä suodatuksella on ottaa lähempään tarkasteluun tietty tai tiettyjä taajuusalueita. Tämän työn puitteissa ei ole tarpeen tutustua tarkemmin suodatin parametrien muodostamiseen, vaan tyydytään toteamaan niiden käyttötarkoituksen. Suodattimen muodostamiseen on olemassa hyvin kehittyneitä työkaluja esimerkiksi Matlab ympäristössä (Matlab, 2016).

2.3 Benchmarking

Benchmarking on työkalu, jonka avulla pyritään oppimaan muilta jotain itselle tärkeää. Keskeisenä tekijänä on se, että yrityksessä tunnustetaan kehitettävä toiminto. Toiseksi yrityksen tulee tunnustaa se tosiasia, että toiset yritykset voivat hoitaa tämän toiminnon paremmin kuin oma yritys. Nämä yritykset tulee tunnustaa ja niihin tulee ottaa yhteyttä benchmarking-prosessin aloittamiseksi. Saatua tietoa on tarkoitus hyödyntää yrityksen omien toimintojen kehittämisessä. Benchmarking ei ole missään tapauksessa toisten yritysten toimintojen vakoilua vaan toiminnan tulee ehdottomasti olla avointa ja läpinäkyvää. Kilpailijoistakin voidaan tehdä benchmarking-tutkimusta, joka perustuu tällöin usein yrityksen ulkoisiin avoimiin lähteisiin, kuten internet sivustoilta löytyvään tietoon. Karkeasti benchmarking-projekti voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen, jotka on esitetty kuvassa 6. Suunnittelu vaihe koostuu kaikista sisäisistä valmistautumisista siihen vaiheeseen, kun mukaa aletaan hakea haastateltavia yrityksiä. Suorituskyvyn benchmarking alkaa tutkimukseen osallistujien rekrytoinnilla ja jatkuu raportin toimittamiseen osallistujille. Lopuksi raporttia hyödynnetään kohdeyrityksissä parannusten toteuttamisessa. Monesti benchmarking nähdään jatkuvana prosessina kuin kerta luonteisena prosessina. (Stapenhurst, 2009, s. 3, Robbins, Decenzo, Coulter, 2013, s. 352)



Kuva 6: Tyypillisen benchmarking-projektin vaiheet (Stapenhurst, 2009, s. Introduction).

Yksikäyttökohde johon organisaatiot voivat käyttää benchmarking-prosessia on tiettyjen ongelmien ratkaiseminen. Osallistuja tutkivat tässä vaihtoehdossa muiden osallistujien työtä samankaltaisissa töissä nähdäkseen miten toiset ovat toimineet ja mitä ongelmia he ovat kohdanneet. Juuri tämä lähtökohta on taustalla tämän tutkimustyön toteuttamiseen benchmarking-prosessin avulla. Toisena tekijänä jossa benchmarking-työkalu tarjoaa apua tämän tyyppisessä projektissa, on päätösten tukeminen.

Benchmarking-prosessin koetaan olevan tehokas keino nopeasti oppia muilta ja täten vähentää tarvittavaa aikaa ja resursseja joita kuluisi vääjäämättä mahdollisten virheiden toistamiseen ja oikeiden toimintatapojen löytymiseen. Benchmarking-prosessi voi kuitenkin myös epäonnistua ja yleisin syy tähän on se, että organisaatiossa ei ollut riittävä

halua tai syytä suorittaa benchmarking-prosessia (Stapenhurst, 2009, s. 15). Benchmarking-prosessin suunnitteluvaiheessa onkin kiinnitettävä riittävästi huomiota siihen, että benchmarking-prosessi palvelee vaatimuksia, joita yrityksellä on tutkittavan asian suhteen. Benchmarking metodeja on useita mm. (Stapenhurst, 2009, s. 19):

1. Julkisten lähteiden benchmarking, eli benchmarking vertailut joita on käytetty esimerkiksi kuluttaja julkaisuissa ja sanomalehdissä.
2. Kahdenkeskinen benchmarking, jossa osallistuja tutustuu toisen osallistujan toimintaan.
3. Katselmus benchmarking toteutetaan tyypillisesti tiimin avulla, joka tutustuu jokaisen osallistujan vahvuuksiin ja heikkouksiin, parhaisiin käytäntöihin ja mahdollisesti tekee suosituksia tai jopa johtaa kehitys aktiviteetteja.
4. Tietokanta benchmarking, jossa osallistujien suoritusarvojen tietoja verrataan tietokantojen avulla.
5. Kokeilu benchmarking toteutetaan kokeilemalla ja/tai testaamalla kilpailijoiden tuotteita ja palveluita ja vertaamalla näitä sitten omiin tuotteisiin.
6. Kysely benchmarking jonka toteuttaa yleensä itsenäinen organisaatio joka kartoittaa asiakkaita selvittääkseen asiakasnäkökulman vahvuuksista ja heikkouksista verrattuna kilpailijoihin.
7. Liiketoiminnan erinomaisuus mallien benchmarking toimii siten että itsenäinen arvioija arvioi organisaation jonkin erinomaisuus mallin kuten Baldrige Award tai European Foundation for Quality Management (EFQM).

Kahdenkeskinen benchmarking on tämän työn keskeinen toimintatapa, joten tutustumme siihen tarkemmin seuraavassa osiossa.

2.3.1 Kahdenkeskinen benchmarking

Kahdenkeskinen benchmarking on alun perin Xeroxin kehittämä menetelmä 1970- ja 1980-luvuilla. Menetelmä on sittemmin ollut luultavammin kirjoitetuin menetelmä kirjallisuudessa (Stapenhurst 2009, s 26). Kahdenkeskistä benchmarking-prosessia kuvasteleekin yleisesti benchmarking-prosessin perustyyppiksi (Kaivos, Laamanen, Salonen, Valpola, 1995, s 14). Toimintatapa kahdenkeskisen benchmarking-menetelmän takana on hyvin suoraviivainen (Stapenhurst 2009, s. 26):

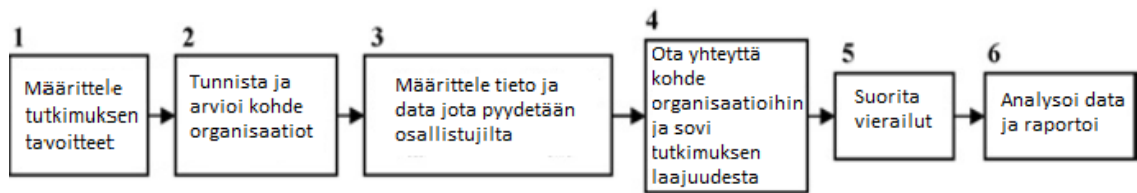
1. Etsitään mitkä yritykset tai yritys on paras tai parhaiden joukossa suorittamaan tehtävää jota halutaan omassa organisaatiossa parantaa.
2. Suoritetaan näihin yrityksiin vierailu, jonka tavoitteena on selvittää heidän suoritustasonsa ja oppia kuinka tämä taso saavutetaan.
3. Tutkitaan heidän käytäntöjään, soveltaen niitä, kun tarpeen ja parantamalla niitä, kun mahdollista.

4. Lopulta ota uudet käytännöt omassa yrityksessä käyttöön.

Harvoin kuitenkaan voidaan olla täysin varma, että tarkasteleva yritys on kaikista paras, tai että parhaaksi kokemamme toimija on halukas benchmarking yhteistyöhön. Ohje-
nuorana voidaankin pitää, että benchmarking kumppanille yleensä riittää, että sen voidaan todeta olevan (Stapenhurst 2009, s 26):

- Suorituskyvyltään selkeästi omaa toimintaa edellä
- Parhaiden joukossa tutkittavalla alueella

Näiden tekijöiden varmistaminen vaatii usein, että täytyy kerätä ja vertailla tietoja laajasta määrästä yrityksiä. Osa tiedosta voi olla saatavilla esim. julkisista lähteistä, mutta tarkemman tutkimustiedon saaminen pelkästään benchmarking kumppanin valintaan voi olla vaikeaa. Kuitenkin on usein mahdollista toiminnan aloittavan yrityksen vierailulla useissa kohdeyrityksissä, joidenka ajatellaan olevan parhaiden joukossa ja vertailla heidän käytäntöjään ja suorituskykyään, valiten käytännöt jotka ovat soveltuvimpia sovellettavaksi, parannettavaksi ja käyttöönotettavaksi. (Stapenhurst 2009, s 26, Kaivos, Laamanen, Salonen, Valpola, 1995, s 11)



Kuva 7: Kahdenkeskisen benchmarking-prosessin vaiheet. (Stapenhurst 2009, s. 30)

Hieman tarkemmin tarkasteltuna voidaan kahdenkeskisessä benchmarking-prosessissa nähdä 6 vaihetta. Nämä vaiheet on esitelty kuvassa 7. Vaiheessa 1 määritellään tavoitteet. Tyypillisesti tässä vaiheessa tunnistetaan parhaat benchmarkattavat käytännöt jotka johtavat ylivoimaiseen suorituskykyyn. Jos kohde organisaation suorituskyky tiedetään merkittävästi paremmaksi benchmarkattavalta osa-alueelta, ei välttämättä ole tarpeellista kerätä tietoa joka osoittaa tämän paremmuuden erikseen. Vaihtoehtoisesti voi olla tarpeen määrittää karkea arvio suoritustasosta. Kuitenkin jos vierailun kohteena on useita kohdeyrityksiä, tulee tiedon keräämisestä ja analysoinnista merkittävämpi, kun halutaan verrata eri toimintatapoja ja ymmärtää niiden vaikutuksia. Kun tutkimuksessa on useita kohdeyrityksiä mukana, siitä tulee hyvin samankaltainen katselmus-benchmarking-prosessin kanssa, sillä poikkeuksella, että tyypillisesti katselmus-benchmarking-prosessissa kaikki osalliset haluavat oppia toisiltaan. (Stapenhurst 2009, s) Alkuperäisessä analyysissä voi jo itsessään ilmetä joitakin alustavia parannuskohteita (Kaivos, Laamanen, Salonen, Valpola, 1995, s 11). Vaiheessa 2 kohdeyritykset tunnistetaan ja asetetaan paremmuus jär-

jestykseen. Joissakin tapauksissa potentiaaliset kohdeyritykset voivat olla ilmiselviä, esimerkiksi suuria teknologian laitteita toimittavat yritykset. Järjestykseen laitolla on lukuisia kriteerejä, kuten: suoritustaso, tarkasteltavan toiminnon samankaltaisuus, kaupalliset tekijät ja sijainti. Kohdassa 3 määritellään informaatio ja tieto vaatimukset, ja dokumentoidaan tarkalleen mitä halutaan oppia ja mitä informaatiota kohde yrityksestä tarvitaan tähän tarkoitukseen. Tämä vaatii sen, että tutkivassa organisaatiossa ymmärretään omien prosessien toiminta ja niiden heikkoudet. Vaiheessa 4 otetaan kohde organisaatioon yhteyttä. Kun ollaan omasta puolesta varmistettu selkeä informaatio ja informaatio tarpeet, seuraava askel on ottaa yhteyttä toivottuihin kohde organisaatioihin ja pyytää heidän yhteistyötään. Tässä vaiheessa on oltava esittää selkeä idea, joka on tiedon keruun taustalla ja mitä tietoa halutaan kerätä. Täten kohde organisaatio osaa tunnistaa soveltuvat henkilöt vastaamaan kysymyksiin ja varmistaa että tarvittavaa dataa, dokumentteja tai mahdollisia demonstraatioita on saatavilla vierailuun. Vaiheessa 5 toteutetaan vierailu ja mikäli käynti on hyvin valmisteltu, sen tulisi tarjota informaatio jota on haluttu. On hyvä noudattaa sopivia toimintatapoja esim. olla ajoissa, kohtelias, kunnioittaa kohde organisaation päätöstä rajoittaa annettua informaatiota tai dataa, ja olla valmis jakamaan saatua informaatiota myös omasta organisaatiosta. Vaiheessa 6 suoritetaan analysointi ja raportointi, jossa vierailun jälkeen toiminnan aloittanut vierailija kirjoittaa raportin jossa kerrotaan, mitä tietoja oli jaettu, päätelmät ja suosituksia jatkotoimenpiteitä varten. Kohde yritys voi pyytää kopion raportista tai ainakin osta jotka liittyvä heihin. (Stapenhurst 2009, s. 30)

2.3.2 Benchmarking-etiikka

Benchmarking-prosessia käsiteltäessä on tärkeää ymmärtää mitkä ovat hyvät eettiset periaatteet, joidenka mukaisesti toimintaa tulee harjoittaa. Lähtökohtana benchmarking yhteistyössä on toimijoiden välinen avoimuus ja läpinäkyvyys. Tämä tarkoittaa sitä, että avoimesti kerrotaan mitä tietoa halutaan, ketkä tietoon pääsevät käsiksi ja ei painosteta benchmarking kumppaneita antamaan mitään tietoa jonka antaminen ei ole heille mielekästä. Teettäjä yrityksen tulisi myös itse olla valmis vastaamaan saman kaltaisiin kysymyksiin mikä yhteistyö kumppani on halukas vastavuoroisesti tarjoamaan benchmarking-prosessiin omia toimintojaan.

Teollisuusvakoilu syytökset ovat kovimpia syytöksiä, joita benchmarking-toimintaa vastaan esitetään. Muutoinkin benchmarking toimintaa saattaa liittyä pelkoa saatujen tietojen väärinkäytöstä. (Kaivos, Laamanen, Salonen, Valpola, 1995, s 83) Tiedonhankinnassa on aivan sallittua käyttää julkisista lähteistä olevaa tietoa kilpailijoista ja näistä tehtyjä analyysseja. Tarkemman tiedon hankkiminen harhauttamalla ja muutoin arveluttavin menetelmin taas ei ole mitenkään benchmarking toiminnan periaatteiden mukaista. Joissakin tapauksissa voi olla tärkeää luoda toiminnasta muodollinen sopimus, ennen yhteistyön aloittamista (Laatukeskus. 1998, s. 29).

3. MENETELMÄ JA AINEISTO

Tässä kappaleessa käydään läpi benchmarking-prosessin toteutusta tämän projektin puitteissa. Kappaleen alussa esitetään, kuinka benchmarking-prosessi toteutettiin ja mitä erityispiirteitä siinä oli. Kappaleessa 3.2 esitetään haastatteluissa saatujen tietojen perusteella kukin case-yritys, joka benchmarking-prosessiin osallistuu. Lopuksi kappaleessa 3.3 analysoidaan älykkään huollon järjestelmän perustarpeita case-yritysten perusteella.

3.1 Benchmarking-menettelyn käyttö

Yrityksen oppimisprosessissa hyödynnettiin benchmarking-työkalua. Tietojen keräyksessä noudatettiin pääosin aiemmin esitettyjä benchmarking periaatteita. Benchmarking tyypiksi valikoitui kahdenkeskinen (one-to-one) benchmarking, osittain vertailukohteiden huollon saatavuuden takia. Toki on huomattava, että kahdenkeskinen benchmarking ei välttämättä tarkoita, etteikö vertailtavia kohteita voisi olla useampi. Haastattelut toteutettiin avoimien kysymysten avulla, jolloin saatiin mahdollisimman laajasti informaatiota kohdeyrityksistä.

Toteutunut benchmarking-prosessi noudatti kuvan 7 mukaista prosessikaaviota, sisältäen seuraavat vaiheet: Ensimmäisessä vaiheessa rajattiin kehitettäväkohde yrityksen toiminnassa. Kehitettäväksi kohteeksi tunnistettiin yrityksen varaosamyynnin kehittäminen ja tietoteknisten apuvälineiden hyödyntäminen tässä kehityksessä. Aihetta käsitellään laajemmin huoltotoimintana koska sähköisen järjestelmän toimintaperiaate tunnistettiin kummassakin tapauksessa hyvin saman kaltaiseksi. Huollonjärjestäminen liittyy enemmän toimintaan millä laitteelta saatuun informaatioon ja analyysiin reagoidaan kuin itse järjestelmän toimintaan. Toisessa vaiheessa tunnistettiin yrityksiä, joilla tiedettiin tai arveltiin olevan tämän kaltaista osaamista ja mahdollisuuksia jakaa tietämystään muiden kanssa. Kolmannessa vaiheessa koottiin kysymykset, joilla voitaisiin saada hyödyllistä informaatiota projektin läpiviennissä. Kysymykset toteutettiin avoimina kysymyksinä, jotta saadaan mahdollisimman hyvä näkemys haastateltavan yrityksen näkemyksistä aiheeseen. Kysymykset käytiin läpi toimeksiantajan projekti henkilöstön kanssa, jotta kysymysten soveltuvuus informaation keräämiseen tuli arvioitua. Kysymykset perustuivat toimeksiantajan kanssa käytyihin keskusteluihin ja niistä analysoituihin mielenkiinnon kohteisiin. Kuvaus toimeksiantaja yrityksen näkökulmista ja tarpeista on esitetty kappaleessa 3.2.1. Tämä mahdollisti yrityksen myös vastata kysymyksiin sillä tarkkuudella kuin he itse kokevat mielekkääksi. Neljännessä vaiheessa yrityksiin otettiin yhteyttä ja kyseltiin heidän halukkuuttaan osallistua benchmarking kyselyyn. Koska aihepiiri edustaa suhteellisen viimeisintä teknologista kehitystä, ei osalla yhteyden otton kohteista ollut vielä kyseisenlaista järjestelmää, vaikka sellaisesta olivatkin kiinnostuneita. Osa taas ei

halunnut jakaa näin uuteen teknologiseen kehitykseen liittyvää osaamistaan, mutta lopulta haastattelu saatiin sovittua erään suuren teknologia vientiyrityksen kanssa.

Benchmarking-prosessissa tyypillisesti luodaan yritysten välille yhteistoimintaa, jonka tavoitteena on tehdä jatkuvasta parantamisesta iteratiivinen prosessi. Työn päättötyöluonteesta johtuen ei tässä benchmarking-prosessissa kuitenkaan lähdetty luomaan pitkäaikaista kehitysyhteistyötä.

3.2 Aineisto Case-yrityksittäin

Tässä osiossa esitellään benchmarking-prosessiin osallistuvat yritykset ja niiden näkemykset älykkään huollon järjestelmistä. Case-yritys 1 on benchmarking-prosessin tehtävän toimeksianto yritys. Case-yritys 2 on teknologiateollisuuden laitteita toimittava yritys, joka on suostunut jakamaan näkemyksiään ja kokemuksiaan benchmarking-prosessin kautta.

3.2.1 Case-yritys 1

Pääosat toimeksiantajan liiketoimintamallista muodostaa koneiden myynti ja varaosien myynti. Lisäksi yritys tekee asiakkaille vaativampia huolto ja laitteiden kalibrointi/muutostöitä töitä tarpeen vaatiessa. Asiakkaan tekemistä vuosi huolloista ei toimittajalla ole tietoa. yrityksen tuotteiden elinkaari on hyvin pitkä ja nähdäänkin että koneiden elinkaareissa on siirrytty lähinnä aina seuraavaan vaiheeseen päivitysten myötä. Koneet on mitoitettu raskaasti, jotta niiden pitkä käyttöikä voidaan varmistaa. Itse laitteiden rungot voivat helposti olla käyttökelpoisia esimerkiksi vielä 50 vuoden kuluttua. Elinkaari mallista puhumista ei asiakkaan suuntaa pidetty edes mielekkäänä sen negatiivisesta teknologian vanhenemiskuvasta johtuen. Eräs toimitus tehtiin yrityksestä 25 vuotta sitten, nyt tuotteeseen on tehty uusinnat ja arvio on, että tällä mennään eteenpäin seuraavat 15-20 vuotta. Elinkaarta ei haluta edes markkinoida asiakkaille koska se antaa kuvan, että laitteen käyttöikä on joskus lopussa. yrityksessä nähdäänkin potentiaalia elinkaaren pitkässä jatkumisessa.

Yrityksessä nähdään, että datan kautta voidaan esittää mitä on tapahtunut ja osataan täten esim. 20 vuoden kuluttua sanoa, että nyt kuuluu vaihtaa puolet liikkuvista osista. Rakenteellista väsymistä yrityksen tuotteissa ei juurikaan tapahdu. Tämä on ainoastaan mahdollista, jos tuotteeseen on jostain syystä päässyt syntymään rakenteellinen vika. Joistakin toimituksista on tietoa, että laite on pyörinyt pysähtymättä 8 vuotta. Tästäkään laitteesta ei kuitenkaan ole tarkempaa tietoa mitä sille on tehty. Tämä voidaan nähdä eräänlaisena ongelmana kattavan tiedonsaannin kannalta. Mahdollisena kuitenkin nähdään, että joiltakin toimijoilta esim. kotimaisilta asiakkailta voitaisiin saada tietoa huoltotoimenpiteistä.

Ratkaisua haetaan lähinnä liikkuvien osien ja pintojen kulumiseen esim. laakerit. Asiakaslähtöisestä näkökulmasta tarkoitus on pystyä tarjoamaan asiakkaalle tieto tulevasta.

Yrityksessä ei ole tarkkaa tietoa, kuinka sen tuotteita on huollettu niiden toimituksen jälkeen. Tämä johtuu siitä, että yrityksellä ei ole mahdollisuuksia kilpailla tehokkaasti perushuoltopalveluilla useissa laitteiden sijaintimaissa. Yritys ei siis profiloidu perusarki-huoltoihin lainkaan. Yritys suorittaa asiakkaille perushuoltojen sijaan enemmän erityisosaamista vaativat toimenpiteet. Esimerkiksi muutostyöt, kun aletaan tuottaa valkoisen paperin sijaan kartonkia. Tällöin konetta täytyy ns. ”tuunata” ja ”virittää”.

Yritys haluaa datankeruulla ensisijaisesti palvella varaosa myyntiä ja palvelua. Asiakkaat haluavat usein hankkia alkuperäisiä varaosia varmistaakseen optimaalisen toiminnan. Tyypillinen kysymys mitä yritys kohtaa kentällä on, että ”antakaa varaosa suositus siitä mitä osia tarvitaan”. Haetaan siis siitä mitä kunkin seuratun laitteen lähitulevaisuuden huoltotarpeet ovat. Pyritään toteuttamaan yritykselle systeemi, jolla pystytään numeerisesti osoittamaan asiakkaalle, että te tarvitsette näitä osia seuraavassa huollossanne tai tämä kohde tarvitsee huoltoa lähitulevaisuudessa.

Yrityksessä nähdään, että asiakasta ei nykyään kiinnosta koneenhallinta, vaan heitä kiinnostaa tuotanto. Kone on vain välttämätön ”paha” tämän tavoitteen saavuttamiseksi. Ennen oli tehtaissa omat tekniset osastot jotka miettivät teknisiä asioita. Nykyään keskitytään tuotantoon, ei tehdä koneita ja juttuja. Koneet vain asiakkaille vain välttämätön paha tuotannon tekemiseen. Tällaiselle palvelulle on siis tarvetta, jotta asiakkaan ei tarvitse murehtia teknistä puolta. Tämä nähdään yrityksessä mahdollisuutena. Tuotettava sovellus käsittelee datan, josta voidaan muodostaa tarvittavat dokumentit, ei kuitenkaan tuoteta vakioitua dokumenttia vaan lopputulokseen voidaan vielä vaikuttaa. Asiakkailla on tehtailla omat järjestelmät joista he saavat tietoja omiin korkeampiin järjestelmiinsä. Tämä mahdollistaa sen, että ei ole tarvetta rajapintaan josta tietoa jaetaan suoraan muille toimijoille muihin järjestelmiin.

Datasta saadaan myös ennakkotapauksia siitä, että jos osa on hajonnut niin se olisi tullut vaihtaa aiemmin. Esitetään myös että, ”Jos hydraulikka venttiili hajoaa paikassa A 10 vuoden jälkeen niin menee se mahdollisesti myös paikassa B” (Tilastollista varmuutta ei väitteellä kuitenkaan ole 1 näytteen perusteella). Datan keruussa on ongelmana, että laitteita on maailmalla vähän. Projekteja on maksimissaan muutama kymmenen per tuote ja joitakin vain muutama kappale. Lisäksi projektit ovat usein asiakaskohtaisesti räätälöityjä kohteen mukaan. Dataa ei lisäksi eri komponenteista ole enakkoon kerätty. Järjestelmä leviää laitteisiin pikkuhiljaa mikä tuo tilanteeseen helpotusta ajan myötä.

Järjestelmän kehitys filosofiana nähdään yrityksessä se, että homma avartuu ajan myötä ja homma halutaan saada nyt nopeasti alkuun. Kun ensimmäinen versio saadaan valmiiksi, niin sitä lähdetään heti kehittämään. Käytössä on siis iteroiva ohjelmistokehitys prosessi.

Nähdään että syyn ymmärtämien kaiken kehityksen oleellinen asia. Virheen tapahtuessa ei ole oikea toimenpide tehdä asia uudestaan samoin. Mittaus datasta saadaan hyvät numeeriset arvot, jotka kertovat todellisen tilanteen. Suurimpia avoimia kysymyksiä järjestelmän kehityksen alkutaipaleella ovat:

- Miten data halutaan esittää?
- Miten data kerätään?
- Mitä tietoa kerätään?

3.2.2 Case-yritys 2

Osana tätä tutkimusta haastateltiin erästä kotimaista teknologia-alan vientiyritystä. Yritys haluaa vastata benchmarking kysymyksiin anonyymisti. Yritys käyttää tuotteistaan keräämäänsä dataa tuotteittensa huoltojärjestelmissä. Järjestelmää luotaessa lähtökohtana yrityksellä on ollut seurata teknologiaa, prosesseja sekä määritelmiä. Yritys käyttää toiminnastaan enemmän ennakoiva huolto kuin älykäs huolto termiä. Muutoin yrityksessä nähdään älykäs huolto termi siten että sillä datan keräyksen lisäksi taataan asiakkaalle turvallinen, tehokas toiminta ja pitkä käyttöikä.

Yrityksessä älykäs huolto on alkanut, sillä että se on määritelty ja harmonisoitu ennakoivan huollon toimenpiteet ja kriteerit joilla ennakoivan huollon toimenpiteitä aikataulutaan. Yrityksen käytössä on MB modular, jolla huoltokohteet on jaettu moduuleihin ja huolloilla on tietty frekvenssi. Huoltomiehillä on myös älypuhelimissa sovellus, jonka avulla huoltomies lähetetään keikalle ja sovelluksesta näkee huollettavat asiat. Huollot yritys toteuttaa tuotteisiinsa pääosin kokonaisuudessaan itse. Etävalvonta (RM, remote monitoring) lähti liikkeelle sitä kautta, kun tuotteisiin tuli osin määräys tehdä tiedonsiirtoon liittyviä osia viranomaismääräyksenä. Datansiirtoon oli siis helppo lähteä mukaan tilaisuuden tarjoaman mahdollisuuden mukana. Aluksi tuotteista lähdettiin siirtämään tiettyjä indikaattoreita tulkittavaksi.

Todisteita toiminnan tehostumisesta on nähty, että keskimäärin vikatilanteiden määrä on tippunut. Järjestelmän aiheuttamia vääriä hälytyksiä pyritään estämään, sillä että hälytyksen sattuessa otetaan myös yhteyttä asiakkaaseen. Jos etämonitoroinnin tieto antaa hälytyksen, mutta tuote on kuitenkin toiminnassa, niin asiakkaalta kysytään, että haluaako tämä huoltomiehen paikalle. Ei siis lähetetä huoltomiestä automaattisesti paikalle, jos tapaus ei ole kiireellinen vaan odotetaan seuraavaan määräaikaishuoltoon ja tehdään silloin ylimääräiset huolto toimenpiteet. Minimoidaan turhaan paikalle lähtemisiä. Jotkut viat kehittyvät hitaasti ja jotkut nopeammin esimerkiksi, jos joku elektroniikka kortti hajoaa ei siitä monesti saada mitään ennakkovaroitusta. Tällainen tapaus on tosin monesti hyvin kriittinen ja laite lopettaa luultavasti toimintansa.

Nähdään että on kaksi tapaa tehdä asia joko lähteä keräämään kaikkea dataa ja katsoa myöhemmin mitä tietoa voidaan hyödyntää tai sitten tehdä pitempiä analyysejä siitä mitkä

mittauskohteet ovat hyödyllisiä. Näistä kohteista tehdään RCA (Root Cause Analysis), SMA (Simple Moving Average) ja mallit. Kun järjestelmää lähdettiin kehittämään, yritys keräsi suurin piirtein kaikkea saatavilla olevaa dataa. Tiedetään että jotkut yritykset ovat lähteneet liikkeelle myös analysoinnin kautta. Tarkasteltavassakin yrityksessä on analysoijia tehty myöhemmin hyödyllisten mittauskohteiden tunnistamiseksi. Etenemistapa nähdään tapauskohtaisena, ehdotetaan kuitenkin suorittamaan SMA ja RCA analyysit, jotta saadaan mallit etsittyä. Lisäksi suositellaan selvittämään mahdolliset tiedot mitä asiakas voisi järjestelmästä haluta.

Datan keräys ei ole älykkään huollon toiminnan perusidea vaan dataa on myös hyödynnettävä. On mietittävä, kuinka dataa hyödynnetään aikataulutuksessa ja kuinka tietoa lähetetään huoltomiehille. Vikatilanteiden syntymistä estetään siten että huoltoon liittyen huoltomiehelle lähetetään ”attention alert”, jossa on listattu huoltokohteet, joihin tulee kiinnittää erityistä huomiota. Tämä perustuu kohteen ohjausjärjestelmältä kerättyyn tapahtuma tietoon, joka keskitetysti analysoidaan älykkäillä algoritmeilla tulkittavaan muotoon, josta ”attention alert” lista voidaan muodostaa. Älykkään huollon järjestelmään nähdään kuuluvan menetelmä, jolla tieto tarvittavista toimenpiteistä saadaan huoltokohteelle.

Mittauskohteita yrityksessä on pyritty tunnistamaan asiantuntijoiden kanssa keskustelemalla, SMA ja RCA analyyseilla sekä huoltohistoriaa ja vikatietoja analysoimalla. Keskeisiä ovat siis olleet data-analyysi, asiantuntijat ja systemaattiset analyysit. Ongelmana tiedonkeruussa on nähty se, että etävalvonta järjestelmässä on monta osaa ja jos se ei jostain syystä toimi vian paikantaminen on joskus vaikeaa. Esimerkiksi voi viedä aikansa selvittää onko järjestelmän toiminta vika kohteella vai operaattorin verkossa. Ennen yritys hyödynsi tiedonsiirrossa lankaliittymiä, nykyään laitteissa on SIM-kortit. Operaattoreiden verkot saattavat olla silloin tällöin jostain syystä kumossa. Tämä asettaa vaatimuksen sille, että täytyy olla hyvin määritelty tuki prosessi sille, jos jokin ei toimi, niin mihin otetaan yhteyttä ja miten sitten toimitaan. (ongelma ainakin isossa järjestelmässä.) Alueiden välillä nähdään yllättäviä eroja siihen kuinka hyvin operaattorien järjestelmät toimivat. Eri operaattoreiden kortit saattavat olla hyvin eri lailla konfiguroituja, tästä syystä toiminta uuden operaattorin kanssa katsottava, että järjestelmän tietoyhteys varmasti toimii.

Yrityksellä on yhä mielessä kohteita, joista haluttaisiin saada tietoja, mutta vielä nämä kohteet eivät ole mittauksen piirissä. Mittauksia ei olla kaikilta osin tarkkaan standardoitu, mutta esimerkiksi kiinnassa on lainsäädännön puolesta määritelty esim. mitä vikatilanteita on kyettävä erottamaan. Datan siirrossa on muutoin keskitytty siihen, että tiedonsiirto on laitteelta toiselle saman kaltaista. Osa hyödystä tulee siitä, että samaa tietoa kerätään monelta eri laitteelta ja tätä tietoa voidaan hyödyntää data-analyysissä koko sisääntulo skaalan laajuudesta. On siis tarkoituksenmukaista pyrkiä siihen, että tietoa tallennetaan jonkin loogisen tavan mukaan mahdollisimman pitkälle. Dataa on yrityksen mukaan voitu hyödyntää myös tuotekehityksessä ja laadunvarmistuksessa. Jos kentältä tulee laatu epäily,

että jossain tuotteessa on mahdollisesti vikaa, niin vastaavia laitteita voidaan laittaa erityisseurantaan. Järjestelmää voidaan siis käyttää laatuongelmien verifiointiin ja tutkimiseen.

Hälytysrajojen määrittämiseen on hyödynnetty etävalvonta datan historia tietoja. Näistä tutkitaan mitä dataa on saatu ennen vikatilanteita, tätä tietoa hyödynnetään todennäköisyyksien laskemiseen. Tällä saadaan arvioitua se, kuinka todennäköistä on vikatilanne, jossa vastaavanlaista dataa saadaan sensorilta. Data-analyysin lisäksi asiantuntia arvioita on hyödynnetty rajojen määrittelyssä. Data kerätään tietokantaan, josta se on hyödynnettävissä. Mikäli jossain tuotteessa on vain vähän tietoa saatavilla huoltoprosessi ei voi olla täysin sama, vaan on luotettava enemmän manuaaliseen huoltoprosessiin. Mittauksia tehtäessä on hyödynnetty hyvin pitkälle olemassa olevia toiminnollisuuksia. Tuotteissa on olemassa olevaa tietoteknologiaa ja antureita, jota on voitu hyödyntää datankeruu tarkoituksiin.

Yritys kerää tuotteisiin liittyen myös muutakin tietoa kuin vain tuotteelta järjestelmän kautta kerätty. Tuotteella on muun muassa ”installed base” dataa, joka kertoo järjestelmälle/käyttäjälle minkälaisesta laitteesta on kyse, josta tietoa kerätään. Tiedossa on siis mikä tuote ja ohjelmisto versiot tarkkailtavassa tuotteessa pyörivät. Analyysissa hyödynnetään huoltohistoria dataa ja yritys tietää tuotteiden huoltohistorian hyvin, jos kyseessä on heidän oma tuotteen, joka on ollut heidän omassa huollossaan. Jos asiakas valitsee jonkun toisen huoltoyrityksen, jossain vaiheessa tuotteen elinkaarta niin luonnollisesti tietoa puuttuu silloin tältä osin. Pääosin yrityksen tuotteet ovat kuitenkin pysyneet yrityksen huollettavana (poikkeuksen ovat yleensä jotkin erityiskohteet).

Tuotteita ei rakenteellisesti ole koettu tarpeelliseksi mallintaa kovinkaan tarkasti järjestelmään. Enemmän on kiinnostuttu huolto moduuleista ja kriittisistä mittauskohteista. Tuoterakenne voi olla karkea eli tyyliin nämä osat koostuvat näistä osista täytyy olla, jotta voidaan esim. tehdä SMA analyysi.

Vaatimuksen järjestelmälle asettaa service business. Eli huolto-operaatiolla ja huoltoliiketoiminnalla on vaatimukset mitä järjestelmän tulee saada aikaiseksi. Korkeamman tason vaatimukset tulevat tästä bisneksestä. Toiminnallisten vaatimusten suhteen tuotekehityksen ja it-kehityksen pitää ymmärtää mitä toiminnollisuuksia tulee olla, että voidaan täyttää nämä palvelu bisneksen edellytykset. Kun tarkastellaan kuinka järjestelmä saa itsessään vikaantua, laatuvaatimukset järjestelmälle tulevat tuotekehitys prosessista. Laadullisia mittauksia tehdään yhteistyössä siihen erikoistuneiden osastojen kanssa.

Kohde yrityksessä on sisäistä osaamista, mutta käyttää järjestelmän toteuttamisessa partnereita. Oman osaamisen tasossa korostetaan sitä, että on löydettävä sen verran sisäistä osaamista, että kyetään toimimaan partnereiden kanssa. Yritys omistaa järjestelmän ohjelmistokomponentit pääosin itse. Ohjelmistossa on paljon eri osia ja näissä osissa on erilainen omistusoikeus. Jotakin ohjelmisto komponentteja ja kirjastoja voidaan käyttää

lisenssien kautta. Osien suhteen tämä on tapauskohtaista, sen suhteen mikä on yrityksen immateriaalioikeuksiin liittyvää (IPR, Intellectual Property Rights) ja ydin osaamista vai kannattaako lisensoida jotain ulkoa päin. Järjestelmässä on myös mukana muita toimijoita mm. esim. eurooppalainen teleoperaattori tarjoaa globaaleja SIM kortteja ja eräs tietoteknologia alan yritys hoitaa serveri puolen.

Asiakkaan suhteen on koettu tärkeimmäksi, että laitteet eivät koskaan pysähtyisi arvaamattomasti vian takia. Tiedonkeräys itsessään ei suurimmalle osalle asiakkaita näy juuri mitenkään, vaan tärkeintä on, että tuotteet toimivat ja pystytään mahdollisimman usein tekemään huollot suunnitellusti. On kuitenkin myös pieni osa asiakkaita, jotka ovat kiinnostuneet näkemään raportteja esim. tuotteen käytöstä ja millaisia häiriötapauksia on ollut. Asiakkaat haluavat keskittyä lähinnä omaan liiketoimintaansa, jota yrityksen toimittama tuote ja palvelu tukevat. Asiakkaalta ei nykyään vaadita juurikaan erityistä panostamista järjestelmän toimintaan, koska nykyään järjestelmän vaatima data yhteyskin tulee toimituksen mukana. Asiakkaan ei tarvitse tehdä järjestelmän osalta käytännössä mitään mitä ei vaadittaisiin ilman järjestelmää.

Kriittisenä tekijänä yritys näkee johdon sitoutumisen projektiin. Keskitetysti voidaan lähteä dataa keräämään, mutta jotta sitä ruvetaan eripuolella organisaatiota käyttämään, on johdon oltava mukana prosessissa. Muutoksen johtaminen on nähty tärkeänä tekijänä, jotta uudet toimintatavat tulevat oikeasti käyttöön eikä data jää vain lojumaan jonnekin serverin perukoille. Yrityksen toiminta ei muuttunut suunnattomasti, mutta muutoksen kohteena olevan yrityksen kohdalla henkilöstöä joihin muutos vaikutti, oli paljon. Tämä en edelleen korostanut sitä, että muutokset on johdettava jämäkästi ja hallitusti.

Yritys näkee, että omassa järjestelmässä ollaan vielä alkutaipaleella, vanhasta järjestelmästä ollaan siirtymässä teollisen internetin tai esineiden internetin (IoT, Internet of Things) alustan käyttöön. Järjestelmässä hyödynnetään myös erään suuren laite- ja ohjelmistotoimittajan kumppanuutta.

3.3 Analysointiprosessi

Tässä osiossa tarkastelemme tässä kappaleessa esiintyvien case-yritysten näkemyksiä ja toimintatapoja älykkään huollon järjestelmiin liittyen. Näiden analyysien pohjalta pyritään rakentamaan kuvaa tekijöistä, joihin tulee kiinnittää erityistä huomioita. Tätä kuvaa hyödynnetään tämän työn myöhemmissä kappaleissa, kun tutkitaan älykkäisiin huoltojärjestelmiin liittyviä tekijöitä ja yritykselle soveltuvaan älykkään huoltojärjestelmän mallia. Benchmarking haastatteluiden tuloksia analysoidaan seuraavia asioita esille.

Eroavaisuudet:

- Vertailtava yritys toteuttaa itse huoltotoimenpiteet ja yritys toimittaa vain varaosia.

- Vertailuyrityksellä paljon enemmän toimituksia
- Vertailtava yritys on kooltaan isompi
- Vertailuyrityksessä järjestelmän käyttöönoton vaikutus henkilöstöön paljon suurempi.
- Toimeksiantajan tuote on osa tuotantoprosessia, kun taas vertailtavan yrityksen tuotteet ovat yhtenäisempi kokonaisuus.

Samankaltaisuudet:

- Tuotteissa paljon samankaltaisuuksia (pitkäikäinen, kiinteä paikkakohtainen asennus, paljon osia)
- Asiakkaiden tarpeet nähdään samankaltaisina
- Molemmat yritykset ovat toteuttamassa palvelunsa pilvipalveluita hyödyntämällä
- Teleoperaattoreiden verkkojen hyödyntäminen tiedonsiirrossa

Keskeisenä samankaltaisuutena voidaan nähdä yrityksen tuote, mikä on vertailun kannalta tärkein ominaisuus. Eroavaisuutena löytyy lähinnä kokoon liittyvä toimitusmäärien pienuus, joka johtaa datansaannin rajoitteisuuteen. Lisäksi tiedonsaannin laajuuteen tuosta haasteita huoltotoiminnan rajoittuneisuus. Vertailtavan yrityksen toimintastrategia vaikuttaa myös palvelukeskeisemmältä, kun taas toimeksiantajan strategia on tuotekeskeisempi. Analysoitaessa toimeksiantajan haastattelua voidaan nähdä seuraavat keskeiset huomionkohteet:

- Laakereiden kunnan mittaus
- Datan esitystapa
- Mittauskohteet
- Mittaustapa
- Varaosa/toimenpide suositukset
- Asiakaspalvelu

Analysoitaessa Teknologia teollisuuden laitteita toimittavan yrityksen haastattelua voidaan nähdä seuraavat keskeiset huomionkohteet, jotka soveltuvat toimeksiantajan järjestelmään:

- Analysointi tekniikat, mm. RCA ja SMA
- Vikojen todennäköisyyksien laskeminen
- ”Attention alert” malli
- ”Installed base” datan luonti
- Järjestelmän toiminnan seuranta ja tunnuslukujen laskeminen
- Globaalit SIM-kortit
- Yrityksen sitoutuminen projektiin
- Arvo tuotto asiakkaalle

Sekä toimeksiantaja yrityksen, että benchmarking kohdeyrityksen avulla saadut huomionkohdat avataan tarkemmin jäljempänä käsiteltävässä teoriassa. Tässä työssä hyödynnetään kirjallisia lähteitä ja näiden tulosten perusteella muodostetaan lopulta malli älykkään huollon järjestelmälle kappaleessa 5.

4. ÄLYKKÄÄN HUOLLON JÄRJESTELMÄ PROSESSITEOLLISUUDESSA

Kappale sisältää yleisiä huollon toteutus periaatteita, joita voidaan hyödyntää älykkään huollon järjestelmän toteutuksessa. Kappaleessa käsitellään niin yleisiä tuotteen arvon lisäykseen liittyviä tekijöitä kuin teknisiäkin lähestymistapoja.

4.1 Arvon tuottaminen asiakkaalle

Jokaisen yrityksen tavoite on kasvattaa arvoaan markkinoilla. Yksi tapa pyrkiä tähän organiseen kasvuun on pyrkiä parantamaan kilpailutekijöitään. Jotta tässä työssä esiteltävä älykkään huollon järjestelmä täyttää tämän tehtävän on sen palveltava asiakkaan tavoitteita ja tuotettava asiakkaalle lisäarvoa. Arvon muodostumista huoltopalveluissa on käsitelty kattavasti jo kappaleessa 4.1. Tässä osiossa tarkennetaan näkökulmia huoltotoimenpiteisiin älykkään huollon järjestelmän kannalta.

On erittäin tärkeää, että konetta operoivat käyttäjät tuntevat toiminnalliset, kestävyys ja luotettavuus muuttujat laitteesta, jo sen operoinnin alkuvaiheista. Jopa tärkeämpää tietoa käyttäjille on saada tietoa joka vastaa seuraaviin kysymyksiin: (Ben-Daya, Duffuaa, Raouf, Knezevic, Ait-Kadi, 2009, s. 550)

- Mitä huoltotoimenpiteitä tulisi suorittaa?
- Milloin Huoltotoimenpiteet tulisi suorittaa?
- Kuinka vaikeaa huoltotoimenpiteen suoritus on?
- Kuinka turvallinen huoltotoimenpide on?
- Kuinka monta henkilö huoltotoimenpide vaatii?
- Kuinka paljon korjaustoimenpide tulee maksamaan?
- Kuinka kauan järjestelmä on vikatilassa?
- Mitä varusteita tarvitaan toimenpiteeseen?
- Mitä taitoja työntekijöiltä vaaditaan työn suorittamiseksi?

Työnrajoituksen mukaisesti älykkään huollon järjestelmällä halutaan ensisijaisesti vastata seuraaviin kysymyksiin. Mitä huoltotoimenpiteitä tulisi suorittaa? Älykkään huollon järjestelmä kykenee antamaan huoltotoimenpide suosituksen, vikatilanteen sattua, tilastollisten vikaantumistodennäköisyyksien kasvaessa tai sitä pyydettyä. Milloin Huoltotoimenpiteet tulisi suorittaa? Mikäli huoltojärjestelmältä ei erikseen pyydetä toimenpide luettelo, niin järjestelmä tekee ilmoituksen, kun havaitaan poikkeamaa sensoritiedoissa, havaitaan vikaantumisprofiilia vastaava tilanne, tilastollinen todennäköisyys vialle ylittää asetetun rajan. Kuinka paljon korjaustoimenpide tulee maksamaan? Järjestelmän avulla

voidaan kertoa toimenpide suositukset, joihin kuuluu suositetut alkuperäisvaraosat. Bisnesmallina järjestelmälle toimii alussa varaosamyynnin tukeminen. Muut kysymykset liittyvät jo olemassa olevan laitteen huolto-ohjeistuksiin eikä niihin nähdä tulevan muutoksia älykkään huollon järjestelmän kautta. Tietoja voidaan luonnollisesti välittää järjestelmän kautta, mikäli niin halutaan.

Pidemmän aikavälin trendinä voidaan nähdä laitteiden tuntemuksen lisääntyessä nähdä pienentynyt tarve varastoida varaosa komponentteja ja täten vähentää varastoihin sidottua pääomaa.

4.2 Datan keräys ja analysointi

Yleisimmät tekniikat mekaanisten järjestelmien seuraamiseen ovat seuraavanlaisia (Ben-Daya, Duffuaa, Raouf, Knezevic, Ait-Kadi, 2009, s. 64):

- Visuaalinen tarkkailu
- Suorituskyvyn tarkkailu
- Äänen ja värähtelyiden tarkkailu
- Kulumisjäämän tarkkailu
- Lämmön tarkkailu

Visuaalinen tarkkailu perustuu nimensä mukaisesti kohteen visuaaliseen tarkkailuun esimerkiksi kameran välityksellä. Suorituskyvyn tarkkailussa seurataan järjestelmän suorituskykyyn liittyviä arvoja kuten esimerkiksi hydraulikkajärjestelmän painetta, pyörimisnopeutta, lämmönsiirron tehokuutta. Äänen ja värähtelyn tarkkailussa kuunnellaan laitteiston aiheuttamaa värähtelyä, esimerkiksi laakerit aiheuttavat tietyn tyyppistä värähtelyä ja kulumisen myötä tämä värähtely muuttuu toisen tyyppiseksi. Kulumisjäämän tarkkailu suoritetaan tyyppillisesti esimerkiksi hydraulikka öljystä etsimällä siitä ylimäärisiä hiukkasia jotka ovat irronneet kuluvasta osasta. Lämmöntarkkailu on yksi keskeisimmistä mitattavista asioista laitteen kuntoa seurattaessa. (Ben-Daya, Duffuaa, Raouf, Knezevic, Ait-Kadi, 2009, s. 66) Laitte joka käyttää jotakin voimalähdettä on aina alttiina jonkin asteiselle lämmön nousulle ja korkea lämpötila voi aina johtaa erinäisiin ongelmiin tilanteisiin. Myös mekaanisten liikkuvien pintojen välinen kitka aiheuttaa lämpenemistä ja tämä ilmiö voimistuu, kun pinnat ovat kuluneet. Tämän lisäksi lämpö usein edelleen kiihdyttää kulumisprosessia.

Kun mittaustuloksia lähdetään keräämään ja niille haetaan analysointi tekniikoita, valittavan on useita. Muun muassa Fedele on luokitellut käytettävissä olevia menetelmiä ja työkaluja mittaustulosten arvioinnissa seuraava, jotka ovat nähtävissä Taulukko 1. taulukko esittelee useita erilaisia tekniikoita, joilla on mahdollista saada mittaustuloksista analysoitua käytettävää informaatiota. Osaa näistä menetelmistä käsitellään esimerkiksi tämän kappaleen aliosioissa 4.2.1 ja 4.2.2. Muutoin taulukoiden tarjoamien työkalujen

myötä on hyvä ymmärtää, että datan käsittelylle on olemassa hyvin monenlaisia työkaluja, joiden tutkiminen voi olla hyödyllistä järjestelmän kehittyessä.

Taulukko 1: Ylläpidon työkalut ja tekniikat (Ben-Daya, Duffuaa, Raouf, Knezevic, Ait-Kadi, 2009, s. 66)

Menetelmä	Työkalu	Mittaustekniikka
Luotettavuus perusteinen huolto	Muuttujien arviointi tekniikka Numeeriset analyysitekniikat Markovin ketju	Värähtely analyysi Termographia Äänen emissio Kuluman/jätteen monitorointi Voiteluaineen analysointi Prosessin mittaukset
Malliperusteinen vikahavainnointi ja tunnistaminen	Tila-avaruus parametrien arviointi Keinotekoiset neuroverkot Tietopohjaiset järjestelmät Sumeanlogiikan järjestelmät Sumeat neurojärjestelmät	
Signaaliperusteinen vikahavainnointi ja tunnistaminen	Fourier-analyysi Wavelet-analyysi Wigner-Ville-analyysi Diagnostinenparametri-analyysi	
Tilastollinen vikahavainnointi ja tunnistaminen	Bayesialaiset arvio/ päättely tekniikat Markovin ketjut Piilotetut Markovin mallit Suhteellisen riskimalli	

Koska laakereiden kunnan seuranta on tunnistettu yhdeksi keskeisimmistä tarpeista, tutustutaan seuraavaksi tarkemmin värinän muodostumisen periaatteisiin laakereissa (Kappale 4.2.1). Värinä on havaittu yhdeksi tehokkaimmista keinoista havaita laakereiden vikaantumistilanteita ennalta.

4.2.1 Värähtelyn mittaus

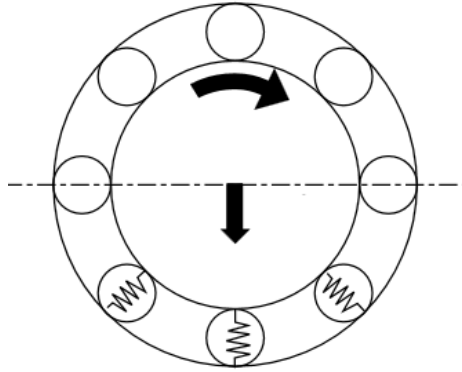
Laite värisee rungon massan ollessa jaksollisen rasituksen kohteena, joka johtuu: (Fedele, 2011, s. 68)

- Rungon kiinteistä kappaleista (Esim. sähkölaitteiden käämitykset)
- Vastavoimasta (Esim. räjähdys polttomoottorissa)
- Tukien kautta roottorilta runkoon kulkeutuvat voimat, jotka voivat olla sentrifugisia (epätasapainosta johtuen) tai impulssisia (johtuen vaihde kytkennöistä tai nesteen kosketuksesta roottorin lapaan).

Tyypillisesti on olemassa useampi syy joka aiheuttaa laitteen värinää. Jokaisella näistä lähteistä on oma taajuutensa, joten voidaan puhua monimutkaisista värähtelyistä ja: (Fedele, 2011, s. 69)

- Hallitsevasta taajuudesta: Taajuus jolla on suurin amplitudi.
- Perustaaajuus: Ensimmäinen (alin) taajuus, joka yleensä liittyy tiettyyn ongelmaan.
- Harmoninen taajuus: Perustaaajuuden kerrannainen jonka taajuus on kokonaisluvulla kerrottuna perustaaajuus.

Tutkinnan alaisissa laitteistossa ensisijainen paino värinän mittauksissa on laakereiden aiheuttama värinä ja siten niiden kunnon arviointi. Säteittäisen ja linjattoman kuormituksen alaisena värinä on laakerin luontainen ominaisuus, vaikka laakeri olisi geometrisesti täydellinen ja täten kyseinen värinä ei ole merkki huonosta laadusta. Tämän tyyppistä värinää kutsutaan yleensä muuttuja mukaiseksi ja se ilmenee koska ulkoista kuormaa tuetaan erillisellä joukolla pyöriviä elementtejä (esim. laakerin kuulat), joiden sijainti suhteessa kuorman vaikutukseen muuttuu jatkuvasti ajan myötä. Tilannetta havainnollistetaan kuvassa 8. Laakerin pyöriessä yksittäiset kuulakuormitukset muuttuvat johtuen elastisista poikkeamista pyörintäelementtien uran kontakteissa ja aiheuttavat suhteellista liikettä sisäisen ja ulkoisen kehän välillä. Liike on jaksollinen vastaten kuormitusalueen ohittavien pyörivien elementtien perustaaajuutta. Liikkeen taajuusanalyysi antaa perus taajuuden sekä sarjan harmonisia taajuuksia. (Lacey, 2008, s. 33)



Kuva 8: Yksinkertainen laakerin mallinnus (Lacey, 2008, s. 33)

Vaikka laakereiden aiheuttaman värinän taajuudet voidaan ilmaista suhteellisen yksiker-
taisilla kaavoilla, voivat ne kattaa hyvin laajan taajuusalueen ja yhdistyä muodostaen erit-
tään monimuotoisia signaaleja. Tilannetta usein monimutkaistaa entisestään läsnä oleva
muut mekaaniset, rakenteelliset tai sähkömekaaniset värinä lähteet. Kiinteän ulkokehän
ja pyörivän sisäkehän tapauksessa laakerin perustaajuudet voidaan laakerin geometriasta
seuraavasti: (Lacey, 2008, s. 35)

$$f_{\frac{c}{o}} = f_r \left[1 - \frac{d}{D} \cos a \right] \quad \text{Kaava 3}$$

$$f_{\frac{c}{i}} = f_r \left[1 + \frac{d}{D} \cos a \right] \quad \text{Kaava 4}$$

$$f_{\frac{b}{o}} = Z f_{\frac{c}{o}} \quad \text{Kaava 5}$$

$$f_{\frac{b}{i}} = Z f_{\frac{c}{i}} \quad \text{Kaava 6}$$

$$f_r = \frac{D}{2d} f_r \left[1 - \left(\frac{d}{D} \cos a \right)^2 \right] \quad \text{Kaava 7}$$

Muuttujien merkitys on seuraava:

f_r = Sisemmän kehän pyörintä taajuus

$f_{\frac{c}{o}}$ = Teoreettinen ulkokehään liittyvä taajuus

$f_{\frac{c}{i}}$ = Teoreettinen sisäkehään liittyvä taajuus

$f_{\frac{b}{o}}$ = Kuulan ohitustiheys ulommalla kehällä

$f_{\frac{b}{i}}$ = Kuulan ohitustiheys sisemmällä kehällä

f_b = Pyörivän elementin pyörintätiheys

D = kallistus ympyrän halkaisija

d = Pyörintäelementtien halkaisija

Z = Pyörintäelementtien määrä

a = Kontaktikulma

Laakeri kaavat olettavat laakereiden pyörivän pyörintäpintaa pitkin eikä liukumista tapahtu. Käytännössä tällaiseen tilanteeseen harvoin päästään johtuen lukuisista tekijöistä jotka vaikuttavat pyöriviin elementteihin. Tästä johtuen varsinaiset vikataajuuden ominaisuudet voivat poiketa ennustetuista. Tämä kuitenkin riippuu paljon laakerin tyypistä, kunnosta ja olosuhteista. yleisesti laakerin ominaistuuudet eivät ole luontaisten lukujen monikertoja sisäkehän pyörintätaajuudesta, mikä helpottaa niiden erottamista muista värinä lähteistä. (Lacey, 2008, s. 33)

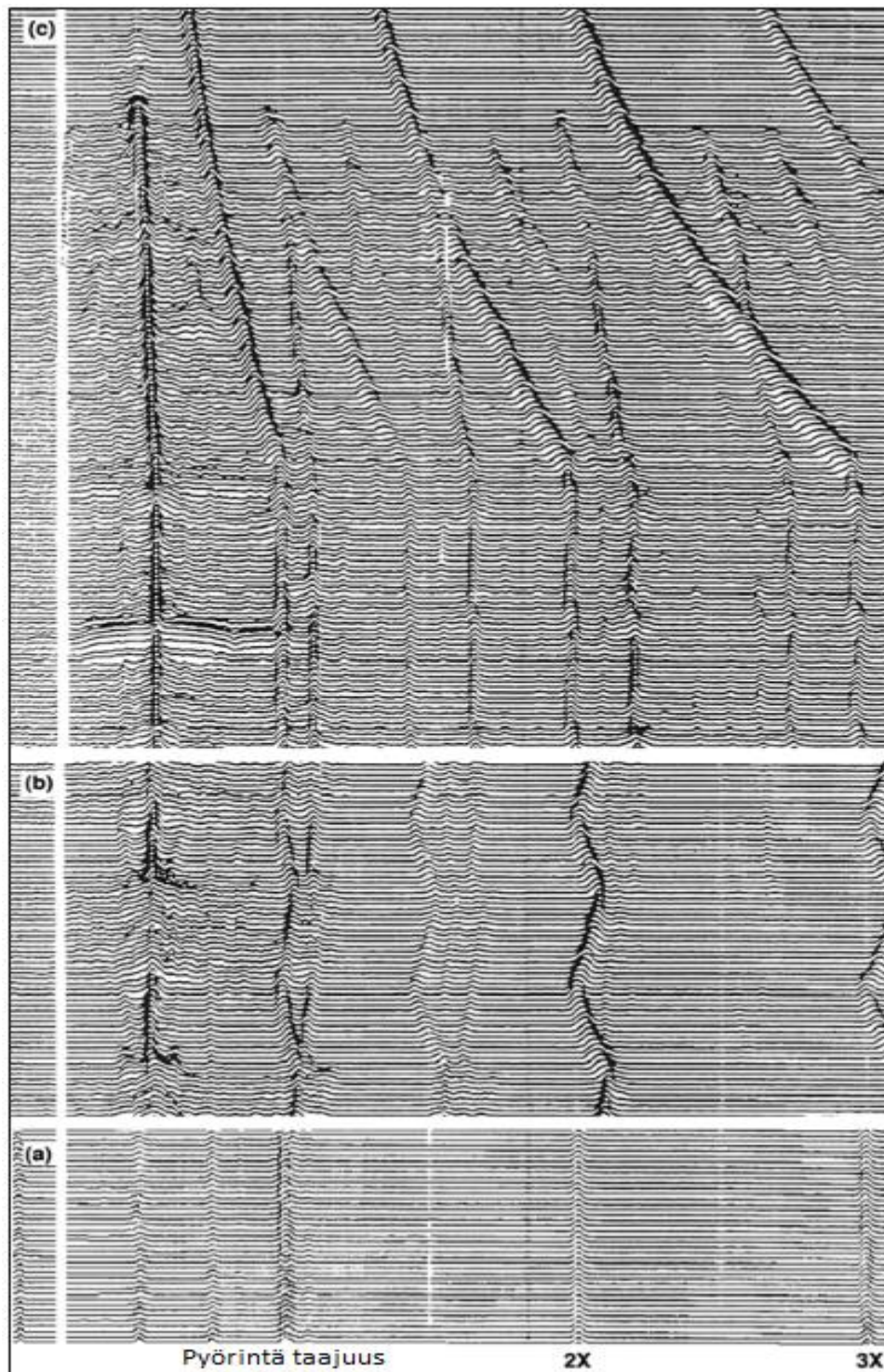
Valitettavasti laakereiden värinäsignaalit ovat harvoin suoraviivaisia ja niitä edelleen mutkistavat muiden komponenttien vaikutus, mutta tätä voidaan usein käyttää hyödyksi pyörintäpintojen kulumisen tai vaurion havaitsemisessa. (Lacey, 2008, s. 36) Diskreetti vika sisärullauspinnalla tuottaa sarjan korkeaenergisiä pulsseja jonka tiheys vastaa kuulun sisemmän kulkupinnan ohitustiheyttä. Tämä aiheutuu sisemmän kehän pyörimisliikkeen aiheuttamasta vikakohdan kulkeutumisesta kuormitus alueelle ja takasin aiheuttaen vaihtelua pyörivän elementin kontaktipintaan kohdistuvassa voimassa. (Lacey, 2008, s. 36) Diskreetti vika ulkorullauspinnassa tuottaa sarjan korkeaenergisiä pulsseja jonka tiheys vastaa kuulun ulomman kulkupinnan ohitustiheyttä. Koska ulompi kehä pysyy paikallaan, pulssin amplitudi pysyy teoriassa samana ja ilmenee täten yhtenä piikkinä taajuusnäkyvässä. Epätasapainoinen roottori tuottaa pyörivän kuormituksen, joten niin kuin sisäkehänkin tapauksessa, seuraava signaali voi olla amplitudi moduloitunutta sisäkehän pyörimistäajuudella.

Vaikka sisemmän ja ulomman vierintäradan vioilla on taipumus käyttäytyä samalla tavalla, sisemmän kehän spektrin amplitudi on yleensä paljon pienempi. Syy tähän saattaa olla, että vika kohta sisemmän kehän vikatilanteissa tulee kuormitusalueelle vain kerran kierroksen aikana ja signaalin täytyy kulkea suuremman rakenne määrän lävitse ennekuin kuin se saavuttaa mittaus pisteen. Käytännössä värinän tulee kulkeutua pyörintäelementtien, öljyn, uloimmankehän ja laakerikehikon kautta ennekuin se voidaan havaita. Tätä vaikeampi kulkeutumistie luultavasti selittää miksi ulomman kehän vikatilanteet on usein helpompi havaita kuin sisemmän. (Lacey, 2008, s. 36)

Yleisesti pyörivät laakerit tuottavat vain hyvin vähän värähtelyä, kun ne ovat vikavapaita ja niillä on erotettavat ominaistuuudet, kun vika ilmenee. Vika joka alkaa yksittäisenä

vikana, kuten pintalohkeamana vierintäradalla, ilmenee yleensä voimakkaina impulssi-
maisina tapahtumina vierintäpinnan ohitustaajuudella johtaen kapeakaistaiseen taajuus-
spektriin. Vian pahentuessa todennäköisesti ilmenee muitakin vikataajuuksia ja sivukais-
toja jatkuen näiden amplitudien laskemiseen ja laajakaistaisen kohinan kasvamiseen lii-
tettynä voimakkaaseen värähtelyyn varren pyörimistaajuudella. Mikäli laitteen pyörimis-
nopeudet ovat pieniä on laakereiden aiheuttamat signaalit heikompia ja vaikeuttavat täten
niiden havainnointia. (Lacey, 2008, s. 38)

Eräs tehokas tapa tarkastella spektrejä ajan funktion on luoda niin kutsuttu vesiputous
taajuus tallenne. Tässä menetelmässä hyödynnetään kappaleessa 2.2.3 esitettyä FFT-
funktioita. Funktionavulla luodaan tietyin aikaväleihin spektrinäkymä ja tämä mahdollistaa
niiden vertailun aikatasossa. Kuva 9 esittää erästä tällaista tilannetta jossa kompressorissa
tapahtuu ajan kuluessa pahanlaatuinen laakeririkko. Kuvasta voidaan selkeästi nähdä
myös harmonisten signaalien esiintyminen. Kuten kappaleessa 4.2.1 esitettiin voi esimer-
kiksi laakeri vioittua hyvin monella tapaa, joten eri taajuus alueiden merkitys tulee ym-
märtää. On myös huomioitava kuormituksen ja pyörimisnopeuden vaikutus värähtelyyn
(Adams, 2010, s. 320, 334).



Kuva 9: Erään kompressorin laakerin vikaantumisesta muodostettu vesiputous taajuustalenne. Kuvassa aika etenee alhaalta ylös. a) Kompressorin toimii normaalisti eikä voimakkaita poikkeamia esiinny. Jotain pientä epätasapainoisuutta voidaan päätellä alimmasta signaalista. b) Kompressorin toiminnassa alkaa tapahtua vaihtelua pyörimisnopeuden suhteen. Vika alkaa näkyä selkeästi ensimmäisellä kriittisellä taajuudella. c) Kriittinen taajuus kasvaa, kunnes laakeri hajoaa. Epätasapaino pysyy kiinnitettyinä ensimmäiseen kriittiseen taajuuteen, kunnes pyörintänopeus laskee merkittävästi. (Mitchell, 2007, s. 5)

4.2.2 Lämpötila

Lämpötila on yksi helpoimmin tunnistettavista mittauskohdeista useimmissa mekaanisissa järjestelmissä. Tyypillisesti lämpöä mitataan jostakin väliaineesta, kuten jäähdytysneste tai öljy. Väliaine voi kuitenkin olla myös esimerkiksi rungon rauta tai ilma. Mittauksista saatava signaali tyypillisesti muuttuu hitaasti koska väliaineen määrästä riippuen lämpötilan muutos vie aikaa. Tämä kuitenkin luonnollisesti riippuu vian laadusta ja äkillisyydestä. Tyypillisesti signaali ei kuitenkaan muutu äkillisesti. Mittaustulos sisältää ainoastaan tietyn aikavälein kerättävän lämpötilan, eikä mittaus sisällä minkäänlaista taa-juusinformaatiota, kuten värinäsignaalin tapauksessa. Huomioituvaa mittaustuloksen hyödyllisyydessä on mittaussensorin sijainti. Mikäli sensori sijaitsee paikassa jonne lämmön siirtyminen ja johtuminen vievät aikaa, voi vakava vikaantumistilanne tapahtua jo ennen kuin järjestelmä edes havaitsee sitä. Esimerkiksi jos jonkin osan öljynkierto estyy ja laite ylikuumenee, ei tätä havaita tällöin öljysäiliöstä.

4.3 Koneoppiminen ja tilastolliset menetelmät älykkään huollon järjestelmissä

Älykkään huollon järjestelmät vaativat toimiakseen datankäsittelyä, tämä voidaan tehdä hyödyntämällä tilastollisia menetelmiä ja koneoppimista. Tässä osiossa tarkastellaan mitkä ovat signaalien tietokonepohjaisen tulkitsemisen teoreettiset taustat ja teknologiat.

Kun signaalit on saatu tulkittavaan muotoon, niistä voidaan pyrkiä asiantuntijan avulla pyrkiä tunnistamaan piirteitä, jotka ilmiantavat tietyn vikatilanteen ilmenemisen. Tämä vaatii kuitenkin jatkuvaa tarkkaa työskentelyä tietoja tarkastelevalta työntekijältä. Myös inhimillisen erehdyksen riski on erittäin suuri. Luonnollisesti voidaan asettaa eri triggerit sen mukaan mitkä piirteet paljastavat parhaiten vikojen ilmenemisen. Tämäkin tekniikka on kuitenkin vahvasti sidoksissa ihmisen kykyyn ymmärtää vian kaikkia ulottuvuuksia ja asettaa rajoja tämänmukaisesti. Usein parhaimpaan tulokseen päästään, kun opetetaan järjestelmä itse tunnistamaan tilanteita, joissa vikaantuminen syntyy komponenttiin.

Yksi uusimmista tekniikoista jota voidaan soveltaa signaalien käsittelyyn, on koneoppiminen. Koneoppimisen keskeisenä ajatuksena on käyttää oikeita piirteitä oikeiden rakenteiden muodostamiseen oikealle tehtävälle (Flach, 2012, s. 13). On tärkeää huomioida koneoppimisongelmista se, etteivät ne tarjoa yhtä oikeaa ratkaisua. Tämä eroaa monista muista tietotekniikan ongelmista. (Flach, 2012, s. 18) Mallit muodostavat koneoppimisen keskeisen periaatteen, sillä ne ovat se mitä datasta opitaan tehtävien ratkaisemiseksi. On

olemassa huomattava määrä koneoppimismalleja valittavana. Yksi syy tähän on ratkaisutavien tehtävien laajuus, johon koneoppiminen pyrkii löytämään vastauksia, mm. luokittelu, regressio, klusterointi, yhteyksien havaitseminen, jne. Näihin voidaan löytää esimerkkejä lähes kaikilta tieteen ja tekniikan alueilta. (Flach, 2012, s. 20)

Yksi tunnetuimpia koneoppimisen työkaluja on neuroverkot. Neuroverkoille voidaan esimerkiksi syöttää spektrianalyysistä saadut piirteet, jotta saadaan selville vikatrendit. Tämä menetelmä on suositeltava koska se kykenee luokittelemaan useamman kuin yhden vikatyypin signaalista. Toinen mielenkiintoinen muunnos neuroverkon rakenteessa, jota käytetään vikojen havainnointiin, on seuraavanlainen. Rakenteessa sisääntulokerros esittää mahdollisia vikatilanteita järjestelmässä ja ensimmäinen piilotettu kerros esittää mahdollisia komponentteja, jotka voivat aiheuttaa mahdollisen vian. Toinen piilotettu kerros tallentaa toimintojen tilat näille koneen komponenteille ja lopulta kolmas piilotettu kerros esittää tämänhetkiset toiminnalliset arvot näille komponenteille. Milloin tahansa nykyiset toiminnalliset arvot ylittävät niille asetetut rajat, diagnosoidaan tämä laitteen toimintahäiriön syyksi. (Ben-Daya, Duffuaa, Raouf, Knezevic, Ait-Kadi, 2009, s. 350)

Tilastollisten menetelmien avulla voidaan tarkastella todennäköisyyksien avulla ilmiöiden esiintymisen todennäköisyyttä tarkasteltavan parametrin suhteen. Mikäli tilastollista menetelmää halutaan käyttää esimerkiksi pitkän aikavälin ennusteen tekemiseen, voidaan hyödyntää huoltohistoriaa. Mikäli tiedossa on esimerkiksi 30 edellisen vikaantumisen tapahtuma ajankohdat, voidaan suorittaa seuraavan esimerkin kaltainen tarkastelu.

Kuvitteelliset mitatut vikaantumisaikojen arvot ovat:

101 84 77 67 87 99 80 82 94 98 64 88 88 83 98

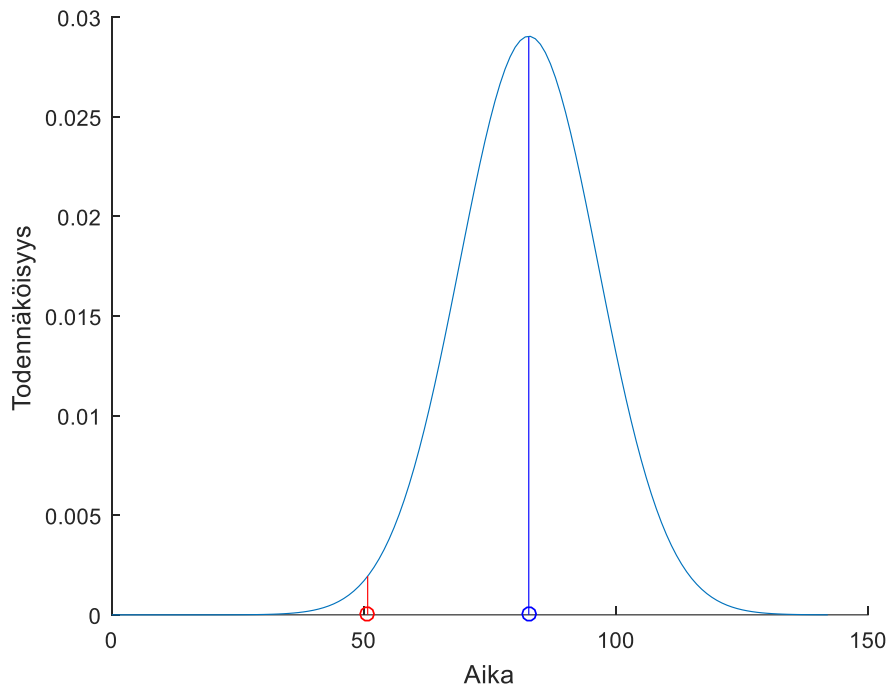
80 73 89 92 82 97 62 69 39 93 70 81 100 86 78

Arvot noudattavat normaalijakaumaa ja niille lasketaan sekä keskiarvo että standardipoikkeama.

Keskiarvo = 82.7

Standardipoikkeama = 13.73

Näiden arvojen avulla voidaan todennäköisyysjakaumaa hyödyntäen hakea aikoja, joilla vikaantuminen tietyn todennäköisyyden mukaan ilmenee. Esimerkiksi jos asetetaan raja, että osa on vaihdettava ennekuin vikaantumistodennäköisyys ylittää yhden prosentin, saadaan tulokseksi laskettua, että osa on vaihdettava 50.7 aika yksikköön mennessä.



Kuva 10: Esimerkkidatan perusteella laskettu todennäköisyys jakauma vikaantumisaikankohdalle. Sininen pystyviiva osoittaa jakauman keskiarvoa [82.7], joka sijaitsee 50% todennäköisyyden kohdalla. Punainen pystyviiva osoittaa 1% vikaantumistodennäköisyyden sijaintia [50.7].

Huomioitavaa on todennäköisyys vaatimusten tiukentamisen vaikutus rajaan siten että raja siirtyy sitä vähemmän mitä tiukemmalle se asetetaan. Lisäksi jakauman laskennassa käytettävä näytämäärä vaikuttaa tarkkuuteen huomattavasti ja täten myös asetetun vaatimusrajan sijaintia. (Walpole, H. Myers, L. Myers, Ye, 2007, s. 326)

Esimerkin tapauksessa esille tulee tilastollinen tarkkuuden altistuminen, sille että esimerkiksi laakerit voivat vikaantua eri tavoin. Tällä ei ole vaikutusta ilmiöön sinänsä, sillä se ei vaikuta tarkasteluun vikaantumisen esiintymisen suhteen. Toisaalta se voi kuitenkin vaikuttaa siihen onko vikaantumisen esiintymistiheys todella t-jakautunut. Lähtötilanteena tämä oletus kuitenkin tehdään. Lisäksi poikkeavat tilanteet voidaan tunnistaa, mikäli vikaantuminen esiintymishetki poikkeaa tilastollisesta mallista. Tällöin voidaan suorittaa tarkempi analyysi vian aiheuttajan havaitsemiseksi.

Tilastollisten menetelmien avulla voidaan myös tarkastella erikohteiden välisten ilmiöiden samankaltaisuutta. Tällöin voidaan mahdollisesti löytää sellaisia mittauskohteita jotka tuottava samankaltaista tietoa ja ovat täten vertailu kelpoisia. Tämä edelleen mahdollistaa laajemman datapohjan yksittäisten ilmiöiden tunnistamiseen. Eri laakerit eri laitteissa voisivat esimerkiksi tuottaa vertailukelpoista dataa. T-testi on eräs matemaattinen työkalu, jolla kyseinen tarkastelu voidaan suorittaa. (Walpole, H. Myers, L. Myers, Ye, 2007, s. 342)

Tilastollisia menetelmiä hyödynnetään usein myös koneoppimisessa ja luokittelussa, jolloin tarkastellaan todennäköisyyksiä siihen, että mihinkä luokkaan tapaus kuuluu. Mikäli käytävissä on dataa vikaantumistilanteista, voidaan niiden avulla mahdollisesti luoda tilastollisia luokkia ja verrata näitä mitattuihin arvoihin. Tämä voi tulla kyseeseen esimerkiksi spektrianalyysin tulosten luokittelun kautta.

4.4 Huoltohistorian analysointi ja tulevien huoltotarpeiden ennustaminen

Tiedonkeräyslähteenä toimivat järjestelmän logiikalta kerättävä informaatio, sekä laitteeseen asennettavat sensorit. Alkuvaiheessa sensoritietoa kerätään laakereilta värinäantureiden avulla. Koska alkutilanteessa ei ole saatavilla dataa joka havainnollistaa laitteen rikkoutumistilannetta, on sensorilla tunnistettava rikkoutumistilanteeseen liittyviä tunnettuja ilmiöitä, sekä tarkkailtava muutoksia sensorien välittämässä datassa. Oletuksena on, että vikaantumistilanne ilmenee sensoritiedoissa ajan myötä muuttuvana trendinä ennemmin kuin äkillisenä piikkinä.

Tässä työssä käytämme huoltotarpeen ennustamisessa seuraavia aikamääreitä:

- Lyhyen aikavälin ennuste
- Keskipitkän aikavälin ennuste
- Pitkän aikavälin ennuste

Lyhyen aikaväline ennusteessa tarkastellaan lähitulevaisuutta, tarkoituksena havaita rikkoutuminen ennen, kuin se tapahtuu. Tämän kaltainen tulos saavutetaan visuaalisilla havainnoilla ja lämpötila mittauksilla. Värinämittauksen heikko toteutus voi laskea ennustuksen myös tähän kategoriaan. Esimerkiksi pelkällä yleisillä signaalin voimakkuustason mittauksilla, kuten esimerkiksi SMA:lla ei päästä parhaisiin mahdollisiin tuloksiin. Keskipitkän aikavälin ennuste pyritään saavuttamaan tehokkailla värinän havainnointi algoritmeilla. Hyvin toteutettuna laakerin vikaantuminen voidaan havaita paljon aikaisemmin. Tällöin voidaan käyttää loppuun hiottua taajuusalueiden analysointi tekniikkaa, tai jopa koneoppimisen työkaluja kuten neuroverkkoja. Pitkiä aikavälejä tehdessä luotetaan enemmän tilastollisiin menetelmiin, joiden avulla koostetaan vikaantumisvälien avulla tilastollinen mallin. Tämän mallin avulla voidaan kertoa vikaantumisaika annetulla luotamusvälillä. Tämä lukema kertoo, kuinka pian osa on vaihdettava, jos todennäköisyyden hajoamiseen saa olla tietyn annetun prosenttien suuruinen. Aikavälejä voidaan luotettavuuden puitteissa luoda niin pitkälle aikavälille kuin halutaan. tilastollisten mallien taustalla vaikuttavia toimintaperiaatteita on käsitelty kappaleessa 4.3.

Todellisten syiden löytäminen ongelmille, jotka tapahtuvat toistuvasti ja ratkaisemalla se mieluummin kuin sietämällä sitä kutsutaan juurisyyanalyysiksi (Root Cause Analysis,

RCA). Oikeiden syiden löytäminen on huoltotoiminnan keskeisiä tuotoksia, joiden avulla toimintaa voidaan jatkossa kehittää. Juurisyyanalyysi on vaiheittainen menetelmä, jota käytetään ongelmien perimmäisten syiden analysointiin. Jokainen laitevika johtuu useista eri syistä. On olemassa selkeä eteneminen tapahtumissa ja seurauksissa jotka johtavat vikatilanteeseen. Juurisyyanalyysi tutkimus seuraa suiden ja vaikutusten sarjaa vikatilanteesta takaisin alkuperäiseen juuri syyhyn, jotta voidaan selvittää mitä tapahtui, miksi tämä tapahtui ja ennen kaikkea selvittää mitä tehdä, jotta voidaan vähentää todennäköisyyttä, että ongelma esiintyy uudelleen. Vikojen ja niiden eliminointi juurisyyanalyysiprosessin avulla on yksi voimakkaimmista työkaluista toimintojen luotettavuuden ja suorituskyvyn parantamiseksi. (Ben-Daya, Duffuaa, Raouf, Knezevic, Ait-Kadi, 2009, s. 83) Joskus ilmiön perimmäisen aiheuttajan havaitseminen saattaa olla helppoa, mutta joissakin tapauksissa etsiminen vaatii systemaattista lähestymistapaa perimmäisen ongelmakohdan löytämiseksi. Perinteisin toimintatapa on varmastikin mahdollisten ongelma-kohtien systemaattinen eliminointi. Tällöin mahdollisten vikakohteiden osuutta poistetaan systemaattisesti, kunnes oikea vian lähde ilmenee.

Tietotekniset järjestelmät kykenevät nykyisten koneoppimisalgoritmien avulla tehokkaasti oppimaan eri vikaantumisskenaarioita, mikäli vikaantumistilanteista vain on riittävästi dataa saatavilla. Voidaan esimerkiksi muodostaa erilaisia päätöspuita, joiden avulla sensoritiedoista voidaan päätellä mitä laiteessa on tapahtumassa.

4.5 Värinä- ja lämpötilahälytykset

Tässä osiossa käsitellään konkreettisia menetelmiä ja työkaluja, joita voidaan käyttää älykkään huollon järjestelmässä havaitsemaan poikkeamia komponenttien toiminnassa. teoriapohjaa mittausten taustalla on käsitelty kappaleessa 4.2, jossa annettiin perustietoa, kuinka mittaukset muokataan käsiteltävään muotoon ja mitkä ovat perus signaalin komponentit. osiossa käsitellään hälytyksiä värinän ja lämpötilojen osalta, koska ne ovat keskeisimpiä mittaushohteita järjestelmässä.

Värinän mittauksen analysoinnissa ja hälytys rajojen määrittelyssä on useita mahdollisuuksia. Niiden soveltuvuutta eri tilanteisiin tarkastellaan tässä osiossa. Nämä kolme vaihtoehtoa ovat yleinen värinätaaso, taajuusspektri ja kirjekuorispektri.

Yleinen värinätaaso, yksi yksinkertainen tapa mitata värähtelyä on mitata värähtelyn juurinelion keskiarvo laakerin kehikosta tai muusta kohtaa konetta, kuitenkin mahdollisimman läheltä laakeria. Tähän tekniikkaan liittyy värähtelyiden mittaus laajalta taajuuskaisalta kuten 10-1000 Hz tai 10-10 000 Hz. Mittauksen trendiä voidaan seurata ajan myötä ja verrata sitä tunnettuihin värähtelytasoihin tai voidaan asettaa hälytystasojia ilmaisemaan muutoksia laitteen tilassa. Vaihtoehtoisesti mittauksia voidaan verrata yleisiin standardeihin, kuten ISO 1132-1 (ISO, 2016, s. 1). Vaikka tämä menetelmä tarjoaa nopean ja pienen kustanteisen tavan värähtelyiden seurantaan, on se vähemmän herkkä havaitsemaan vikoja. Menetelmä ei esimerkiksi kykene havaitsemaan erikoisempia vikoja tai tekemään

viasta tarkempaa diagnostiikkaa. Lisäksi menetelmä on erityisen herkkä muille värähtelyn lähteille, kuten epäbalanssille, epälinjaukselle, sähkömagneettiselle värähtelylle tai väljyydelle. (Lacey, 2008, s. 38)

Taajuusspektri, taajuusanalyysillä on tärkeä osa laitevikojen havainnoinnissa ja diagnoosinnissa. Aikatasossa yksittäisiä ilmiöitä epätasopainosta yleiseen laitteen värinään on vaikea tunnistaa. Taajuustasossa nämä ilmiöt tulevat paljon selkeämmin tunnistettaviksi ja ne voidaan täten paljon helpommin yhdistää johonkin tiettyyn värinän aiheuttajaan. Kuten kappaleessa 4.2.1 esitettiin vian kehittyminen järjestelmässä aiheuttaa laakerin rakenteesta riippuvissa ominaistajuuksissa voimistumista, mikä vian havaitsemisen tekee mahdolliseksi paljon ennemmin kuin yleisen värinätason mittaus. (Lacey, 2008, s. 38)

Kirjekuorispektri, Kun laakerin kunto alkaa heikkenemään, siitä seuraava aikatasoisessa signaalissa on yleensä tunnusomaisia piirteitä, joita voidaan käyttää vian havaitsemiseen. Laakerin vian vakavuus voi myös nopeasti kehittyä pienestä viasta täydelliseen pettämiseen lyhyessäkin ajassa, joten varhainen havaitseminen vaatii herkkyyttä pientenkin muutosten havaitsemiseen värinäsignaalista. Kuten aiemmin mainittu kappaleessa 4.2.1, vian varhaisessa vaiheessa vikaa voi olla vaikea erottaa värinä signaalista pelkän spektrianalyysin avulla, johtuen mm. laitteiston muista värinä signaaleista taustalla. Kirjekuori-analyysin tärkein etu on sen kyky poimia yksittäisiä jaksollisia tapahtumia muutoin kohinaisesta signaalista. Tämä on mahdollista jopa, vaikka vierintä laakerin tuottama signaali on suhteellisen heikkoa ja hautautunut muun laitteiston aiheuttamaan värinään. (Lacey, 2008, s. 38) Tämän analyysin periaatteena on keskittyä tutkimaan niitä kohtia spektristä, joidenka tiedetään kiinnostavan ongelman havaitsemisen kannalta. Suodattimien avulla saadaan suuri osa signaaleista jotka eivät ole kiinnostuksen kohteena poistettua analyysistä. (Courrech, Gaudet, s. 2)

Lämpötilan hälytykset ovat suhteellisen suoraviivaisia, johtuen ilmiön seurausten välittömyydestä. Lämpötilan hälytykselle voidaan asettaa tietty perustaso, operointitaso, sallittu taso ja ei sallittu taso. Pesutason lämpötila on kyseessä silloin kun kone on pysähdyksissä eikä lämpöön vaikuta kuin ympäristö. Operointitaso saavutetaan koneen ollessa normaalisti käytössä. Sallittu taso voidaan saavuttaa hetkellisesti, mutta pitempiaikainen altistuminen aiheuttaa hälytyksen. Ei sallittu taso taas aiheuttaa hälytyksen välittömästi, kun se saavutetaan. Tämän lisäksi voidaan tarkastella värinä signaalin tavoin yleisen lämpötilan kehitystä ja seurata trendin kehitystä.

4.6 Huollon suorituskyvyn mittaus

Huollon suorituskyvyn mittaus on herättänyt huomattavaa kiinnostusta prosessiteollisuudessa viimevuosikymmeninä. Myös benchmarking-prosessin kautta on saatu tietoa, että vertailu organisaatio on mitannut järjestelmän vaikutuksia huoltotoimintaan (kappale

3.2.2). Organisaatiot ovat kiinnostuneita tietämään huoltoon sijoitettujen resurssien tehokkuudesta, samalla kun täytetään liiketoiminnalliset ja strategiset tavoitteet. Teknologian muutosten tuomien haasteiden myötä, sopivan suorituskykymittarin soveltamisella yrityksessä organisaatio varmistaa, että toimenpiteet ovat linjassa sen strategioiden ja tavoitteiden kanssa. Prosessiteollisuudessa käytetään seuraavia huollon suorituskyvyn indikaattoreita (MPI, Maintenance Performance Indicators) (Ben-Daya, Duffuaa, Raouf, Knezevic, Ait-Kadi, 2009, s. 36):

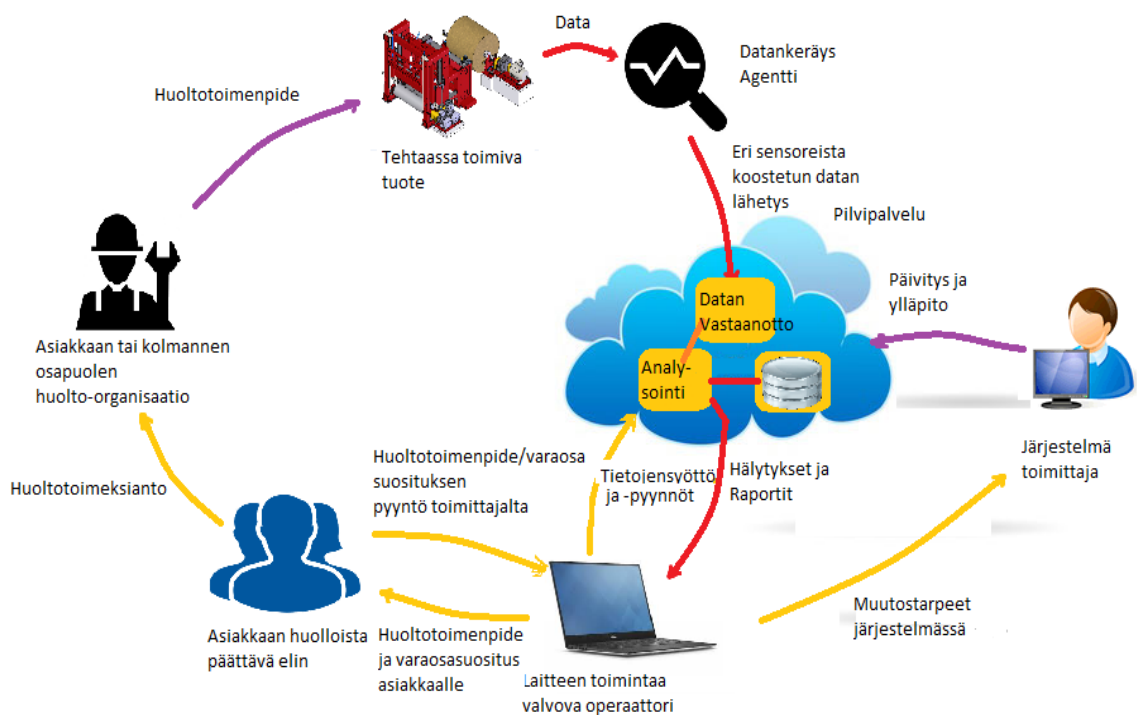
1. Alhaalla olo aika (tuntia)
2. Muutos ajan myötä
3. Suunnitellut huoltotoimenpiteet
4. Ei suunnitellut toimenpiteet
5. Uusien kehitettyjen ideoiden määrä
6. Taidot ja kehittävä koulutus
7. Luotu laatu
8. Työntekijöiden valitukset
9. Ylläpidon kustannukset per tonni

Keskeisimpinä tekijöitä joita älykkään huollon järjestelmän suorituskykyä voitaisiin mitata, olisivat kohdat 1-5, 7 ja 9. Kohdan 1 mittausta perustuu siihen, onko kyetty kasvattaa järjestelmän ylhäällä olo aikaa ja täten parantaa sen tuottavuutta. Kohdan 2 mittauksen peruseriaate on tarkastella muutoksen vaikutuksia ajan myötä. Kohdat 3 ja 4 indikoivat sitä, kuinka on onnistuttu ennustamaan huollontarpeita ja välttämään odottamattomia vikaantumisia. Kohta 5 liittyy siihen, onko havaintojen perusteella pystytty luomaan jotain uutta tai parantamaan olemassa olevaa. Kohdassa 7 otetaan huomioon järjestelmän kyky parantaa laatua havaittujen heikkouksien perusteella. Kohdan 9 mittauksissa korostuu järjestelmän mittauksen bisnes lähtöisyys, eli onko kyetty minimoida ylläpidon kustannuksia suhteessa tuotantoon. Mikäli tuotanto yksikköä kohden tulee vähemmän huoltokustannuksia ja toimittajan kilpailukyky paranee markkinoilla. Kohtien 6 ja 8 näkökulmia koulutuksen, taitojen ja työntekijä tyytyväisyyden kannalta ei tule huollossa aliarvioida, mutta toimittajan kannalta näissä on kyseessä enemmän asiakaspalautteen keräämisestä ja sitä kautta kehittämisestä. Nämä mittaukset ovat indikaattoreita ja ne yhdessä muodostavat kokonaiskuvan järjestelmän suorituskyvystä. mikäli esimerkiksi on onnistuttu estämään yllättäviä vikaantumisia, mutta huoltotoimenpiteiden määrä ja kustannukset ovat tuotanto yksikkö kohden kasvaneet ei järjestelmä toimi luultavasti tehokkaasti.

5. ÄLYKKÄÄN HUOLLON KÄYTTÖNOTTO YRITYKSEN TUOTTEISSA

Perustuen toimeksiantajan henkilöstön haastatteluihin, projektipalaveriinhin, kirjallisiin lähteisiin ja vastaavaa työtä suorittaneen yrityksen benchmarking-prosessiin, muodostuu yrityksen tarpeita vastaavan älykkään huollon järjestelmän malli. Tämän mallin toimintaperiaatteet on esitetty tässä kappaleessa.

Älykkään huollon järjestelmän osat, sidosryhmät ja niiden väliset yhteydet on havainnollistettu kuvassa 11. Järjestelmän tavoitteena on tarjota asiakkaalle ennakoivan huollon strategian etuja älykkään huollon järjestelmän avulla.



Kuva 11: Visuaalinen kuvaus yrityksen tarpeita vastaavan älykkään huollon järjestelmän toiminnasta.

Kuvassa 11 esitetyn järjestelmän toiminta ja komponentit ovat seuraavat. Yrityksen toimittaessa laitteiston tehtaalle, toimituksen mukana asennetaan datankeräys agentti. Datankeräys agentilla tarkoitetaan tässä yhteydessä sensoreiden, tiedonkeruuliikkeen ja tiedonsiirtokomponenttien muodostamaa laitteistokokonaisuutta. Tiedon lähteinä toimivat sekä asennetut sensorit, kuin koneen logiikalta luettavat tiedot. Datankeräys agentti huolehtii siitä, että data kerätään ja lähetetään eteenpäin pilvipalveluun. Tiedon keräys paikalla tapahtuu kiinteitä linjoja pitkin mm. tehdas ympäristössä olevien häiriöiden vuoksi. Tiedonsiirto datankeräysagentilta pilvipalveluun hoidetaan matkapuhelin operaattorien

verkkojen kautta. On olemassa palveluntarjoajia jotka mm. tarjoavat globaaleja SIM-kortteja, jolloin toimita edellytykset paranevat ympäri maailman (kappale 3.2.2). Tiedonkatkoksiin varaudutaan varaamalla laitteistoon muistikapasiteettia riittävästi datan väliaikaiseen tallennukseen matkapuhelinverkkojen katkosten aikana.

Pilvipalvelun pääasiallinen toteutus toimii Azure pilvipalvelussa (kappale 2.2.2). Datan keräys suoritetaan palvelun kautta, joka kuuluu datankeräysagentin komponenttien toimitukseen. Älykkään huollonjärjestelmän ytimeen kuuluu datan käsittelyyn osallistuva analysointikomponentti sekä tallennustilaa datan ja eri tiedostojen tallentamiseen. Sovelluksen kautta välitetään myös asiakasnäkymä, laitetta valvovan operaattorille web-selaimen. mikäli järjestelmässä tapahtuu poikkeamia jotka ylittävät järjestelmässä asetetut raja-arvot, suorittaa järjestelmä hälytyksen joka välitetään operaattorille. Järjestelmä antaa myös huomio-viestejä, jos jokin komponentin vikaantumistodennäköisyys ylittää sille sallitun rajan. Operaattori voi syöttää järjestelmään laitteisiin liittyvää tietoa, tarkastella laitteiden huoltohistoriaa, pyytää tietyn laitteen sen hetkistä huoltotoimenpide suositusta annetulla kriteereillä sekä lisätä ja poistaa laitteita järjestelmästä. Järjestelmä tarjoaa selkeän ja helppokäyttöisen graafisen käyttöliittymän jonka avulla operaattori voi ylläpitää yrityksen laitteistojen informaatiota.

Koska yrityksellä ei ole ydinosaamista verkkopalveluiden tuottamisessa, käytetään palvelun tuottamisessa ohjelmistoyritystä, jolla on kokemusta huoltopalveluita tukevien järjestelmien toimittamisessa. Tällöin välttyään myös ohjelmistokomponenttien tuottamiselta alusta asti, joka tulisi hyvin kalliiksi (Haikala, Märijärvi, 2001, s. 310). Palveluntuottaja toimittaa järjestelmän suoraan pilvipalveluun, jota operaattori voi yrityksessä käyttää selaimen kautta. Järjestelmän ylläpidosta vastaa järjestelmätoimittaja, joka tekee järjestelmään myös muutoksia operaattorin ilmoittamien tarpeiden mukaisesti, mikäli nämä ovat mahdollisia. Järjestelmä on kehitysvaiheessa ja sen on myöhemmässä vaiheessa tarkoitus palvella useampia teknologia teollisuuden yrityksiä.

Asiakkaan suuntaan järjestelmä toimii alkuvaiheessa siten että asiakas on joko yhteydessä laitetoimittajaan ja pyytää huoltotoimenpide-/varaosasuositusta tai laitetoimittaja on yhteydessä asiakkaaseen, mikä laitteen toiminnassa havaitaan poikkeamaa tai komponentin vikaantumistodennäköisyys ylittää asetetun rajan. Asiakas ei täten ole alkuvaiheessa mukana käyttämässä itse sovelluksen käyttöliittymää, vaan tieto toimitetaan esimerkiksi sähköpostin välityksellä. Toimitettava huoltosuositus sisältää toimenpiteet jotka suositellaan suoritettavaksi ja listan varaosista joita suositellaan vaihdettavaksi. (kappale 3.2.1) Huoltosuositus sisältää myös erityisen huomio osion kohteista, joihin huollon tulee kiinnittää erityistä huomiota huollonyhteydessä tehtävissä tarkastuksissa (kappale 3.2.2).

Laitetoimittaja ei tee itse huoltotoimenpiteitä kuin erityistapauksissa, kuten muutokset itse tuotteeseen ja sen konfiguraatioon/säätöihin (kappale 3.2.1). Asiakkaalla on täten joko oma huolto-osasto tai asiakas käyttää kolmannen osapuolen huoltopalveluita fyysisen huoltotoimenpiteiden suorittamiseen. Huolto-organisaation ja toimittajan välillä ei ole

kommunikaatio yhteyttä, ellei tämä ole erityisesti asiakkaan kautta järjestetty. Järjestelmään on tallennettu kullekin laitteelle yhteystiedot, joidenka kautta kommunikointi laitteeseen liittyvien huoltoimenpiteiden suhteen hoidetaan. Ongelmana tämän kaltaisessa toiminnassa liittyy siihen, että laitetoimittajalla ei ole mitään tietoa siihen, kuinka laitetta huolletaan todellisuudessa. Ainoa näkyvä tekijä joka viittaa huollon suoritukseen on varaosatilaukset, jotka asiakas tekee. Ei myöskään ole takeita siitä, että asiakas ei hanki varaosia, kuten laakereita jonkin toisen toimittajan kautta.

Tuote mallinnetaan järjestelmään luomalla sille karkea rakenne, joka kertoo mistä osista kukin alaosa koostuu. Keskeisimpinä tehtävänä on esittää kriittisimmät huoltokohteet ja mistä nämä osat löytyvät. Rakennemaisen kuvauksen avulla on selkeämpää käsitellä tuotetta järjestelmässä. Myös ohjelmistoteknisesti luokkamainen rakenne on mielekästä järjestelmän kannalta (Haikala, Märijärvi, 2001, s. 330). Luokkien avulla luotavat oliot sisältävät informaation mihin kukin osa kuuluu ja yhteyden dokumentteihin, kuviin ja sensoridataan joka kyseistä osaa käsittelee.

Pituusleikkurille luotu rakenne on seuraavanlainen:

- Pituusleikkuri
 - Auki rullain
 - Auki rullaimen vaihde (lämpö + värinä)
 - Johtotela
 - Kantotela
 - laakeripesä oik.
 - laakeripesä vas.
 - Painotela
 - Rullausohjain

Huoltokohteita on luonnollisesti laitteistossa paljon enemmänkin, mutta nämä mallin kohteet on määritelty alkuvaiheessa kaikista kiinnostavimmiksi. Jokaiselle järjestelmään tulevalle tuotteelle luodaan oma malli.

Keskeisimpinä mittauskohteina järjestelmästä on tunnistettu seuraavat kohteet:

- Laakerien värinä
- Lämpötilat, mm. kulmavaihde
- Ohjausjärjestelmistä luettava tieto

Koska laitteessa on paljon pyöriviä teloja ja liikkuvia osia on laitteessa myös useita kriittisiä laakereita. Näiden laakereiden värähtelyiden mittaus on ja seuranta onkin järjestelmän yksi keskeisimmistä tehtävistä. Lämpötilojen seuranta on tärkeää useissa järjestelmissä. Nousevat lämpötilat kertovat yleensä jostain ongelmasta tai voivat johtaa jonkin osan rikkoutumiseen korkeiden lämpötilojen aiheuttaman voimakkaamman kulumisen

myötä. Esimerkiksi ongelmat voitelujärjestelmässä voivat johtaa laakereiden hyvin nopeaan petteämiseen. Tämä näkyy hyvin nopeana lämmön nousemisena kuin värinätedoissakin. Lämpöön liittyvät ongelmat ovatkin usein hyvin kriittisiä ja etenevät nopeasti. Ohjausjärjestelmistä voidaan tyypillisesti lukea laitteen tilaan liittyvää tietoa. Tätä voi esimerkiksi olla pyörimisnopeudet ja eri signaalit jotka ovat aktiivisena, mikä kertoo esimerkiksi jonkin osan asennon. Lisäksi mahdolliset logiikka järjestelmän tuottamat loki-tiedostot voivat tuottaa arvokasta tietoa (Dargie, 2009, s. 333). Työn puitteissa ei kuitenkaan ole tarkasti tiedossa yrityksen tuotteissa käyttämät ohjausjärjestelmät eikä niiden mittausta tarkastella sen vuoksi tarkemmin. Todettavaa kuitenkin on, että esimerkiksi laakereiden tutkimusta tukisi oikean pyörimisnopeuden tietäminen.

Värinämittausten tapauksessa suositellaan kappaleen 4.5 mukaisesti, että ensimmäisenä lähdetään analysoimaan värinän kokonaisvoimakkuutta, joko SMA tai RMA analyysien kautta. Näiden analyysien toiminnassa on pientä eroavaisuutta, mutta ne ovat kumpikin liikkuvan keskiarvon menetelmiä jotka on esitetty edellisissä kappaleissa 2.2.3 ja 4.2.1. Kuten aiemmin onkin jo mainittu menetelmien herkkyys ei ole paras mahdollinen ja niiden tarjoama tuki vian tarkempaan diagnoosiin on myös hyvin rajallinen. Kokonaisvärinään summautuvat myös kaikki muut laitteen kautta välittyvät värinät, mikä edelleen heikentää menetelmän toimivuutta. Myöhäisemmässä vaiheessa datamäärän kasvaessa voidaan analysoida laakereiden värinäprofiileita tarkemmin ja hyödyntää siinä kappaleessa 4.2.1 esitettyjä periaatteita. Lähtökohtaisesti on tarkoitus mallintaa laakereiden värinäspektri ja verrata sitä teoreettiseen laakerin värinä malliin.

Myöhäisemmässä vaiheessa kun laakereiden toiminnasta on opittu enemmän ja saatavilla on kattavasti dataa laakereiden vikaantumistiedoista, voidaan koneoppimisen keinoja hyödyntämällä kehittää järjestelmän kykyä havaita vikatilanteet yhä herkemmin ja itsenäisemmin. Näissä menetelmissä voidaan hyödyntää erityyppisiä luokittelumenetelmiä mm. tilastollisista tai neuroverkkoja. Tyypillisesti tällaiset järjestelmät vaativat vikatilanteita esittävää dataa, jotta ne voidaan opettaa tehokkaasti vastaamaan haluttuun tilanteeseen. Koneoppimisen menetelmiä on esitetty kappaleessa 4.3.

Tiedon tallentaminen järjestelmässä tulee myös toteuttaa hallitusti. Kun järjestelmässä on useita tuotteita ja jokaisessa useita informaatiolähteitä, niin myös tallennusmäärät kasvava nopeasti. Esimerkiksi 44 100 KHz:n näytteenottotaajuudella ja 16 bitin resoluutiolla minuutin mittaukset vaativat pakkamattomana 88,2 KB tallennus tilaan. Vuodessa tämä tietäkin jo 46,36 GB tallennustila vaatimusta. Vaikka pakkaustekniikat laskevatkin tämän tilavaatimuksen murto-osaan on silti syytä kiinnittää huomiota, siihen mitä on järkevää tallentaa ja kuinka usein. Muutoin laite kannan kasvaessa vaaditaan Tera tavujen tallennustiloja lisää joka vuosi.

Keskeisintä on tallentaa kokonaisvärinätason kehittyminen. Tämän tekeminen voidaan aloittaa tallentamalla mittaus tulos minuutin välein. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi 32

bittisen Float-muuttujan avulla. Lisäksi tallennetaan tapahtumat, joissa havaitaan poikkeamaa, joko kokonaisvärinä tasossa tai spektritason esityksessä. Tällöin tallennetaan muutaman minuutin aikaikkunalla koko signaali järjestelmään. Näiden tietojen analysointi on ensiarvoisen tärkeää, jotta järjestelmän tarkkuutta voidaan kehittää. Jotta tämän kaltainen menettely on mahdollista, on järjestelmän kyettävä pitämään muutamien minuuttien signaali historiaa muistissaan. Tämä onnistuu käyttämällä esimerkiksi silmukka- maista muistiosio rakennetta kullekin mitattavalle signaalille. Tällöin luku ja tallennus osoittimet kiertävät silmukkamaista muistiosoitinta joka määrittää luettavat ja ylikirjoitettavat muistipaikat kullakin kierroksella.

Muiden signaalien kuten esimerkiksi lämmön tallennukselle ei ole tarvetta kovin tiheälle tallennusvälille. Tämä johtuu lämpötilan suhteellisen yksinkertaisesta mittaustuloksesta ja tulkinnasta. Jotta mittaustuloksia voidaan käsitellä järkevästi, niin niihin on myös liitettävä aikaleima. Esimerkiksi Unix-aika on yksi laajasti käytetty standardi mittaustulosten aikaleimana (Cushing, French, Bowers, 2011, s. 59).

On kuitenkin huomioitava mitkä käyttöön tulevan järjestelmän signaalinkäsittely kapasiteetit tulevat olemaan ja skaalattava järjestelmän tiedon käsittely ja tallennus vastaamaan näitä rajoituksia. Luultavaa kuitenkin on, että tiedon ja järjestelmässä olevien laitteiden määrän kasvaessa algoritmien kehittymien laskee vaatimuksia tallennettavan tiedon määrälle. Tämä aiheuttaa tiedon tallennusmäärän tarpeen kasvamisen hidastuvan ajan myötä.

Sensoridatan ohella järjestelmällä tulee olla valmius kerätä ja käsitellä eri tietolähteitä. Erilaiset huoltodokumentaatiot sekä -raportit ovat yksi keskeisiä lähteistä, kun halutaan kehittää ymmärrystä laitteisiin vaikuttavista ilmiöistä. Tietojen tallennus on standardoitava niin että niiden käyttö toisiaan hyödyntäen on mahdollista (kappale 3.2.2).

Keskeisimpänä jatkokehitys kohteena on saada itse asiakas mukaan järjestelmän toimintaan (kappale 3.2.2). Asiakkaan tuottama informaatio voi olla arvokasta yrityksen kannalta ja se voi vahvistaa tietämystä laitteiden toiminnasta kentällä. Ajatuksena on luoda asiakkaalle käyttäjätunnukset järjestelmään jonka kautta asiakas voi tarkastella järjestelmän huoltohistoriaa. Lisäksi asiakkaalla on mahdollisuus antaa pääsyoikeus erilliselle huolto-organisaatiolle yrityksen laitteiden tietoihin. Asiakkaan ei ole luultavasti tärkeää päästä kaikkeen informaatioon käsiksi vaan näkymä voi olla suppeampi. Näkymää muodostaessa voisi olla sopivaa suorittaa pienimuotoinen markkinointitutkimus asiakkaiden suuntaan halutuista informaatioista. Asiakkaan valtuuttamalle huolto-organisaatiolle ei ole tarpeen näyttää, kuin sen hetkisiin huoltotoimenpiteisiin liittyvä informaatio ja mahdollisesti huoltohistoria. Tärkeänä osa alueena asiakkaiden ja huolto-organisaatioiden tuomisessa järjestelmään on tiedon liikkumisen saaminen kaksisuuntaiseksi. Huolto-organisaatiot saadaan järjestelmän kautta tuottamaan huoltoraportteja, joita myös laitetoimittaja kykenee näkemään ja käyttämään hyödyksi laitteiston mallintamisessa järjestelmään. Myös asiakkaaseen saadaan järjestelmän avulla pysyvämpi kontakti ja täten edistetään toimivia asiakas suhteita.

Toisena kehityskohteena voidaan nähdä sovelluksen mahdollistamat tilaisuudet lähteä kasvattamaan yrityksen huoltoliiketoimintaa. Joidenkin asiakkaiden kohdalla voisi olla kiinnostusta ”all-in-one” tyyppisestä ratkaisusta, jossa myös huoltopalvelu kuuluu mukaan yhteistoimintaan. Aihetta ei kuitenkaan tutkita tämän työn puitteissa tarkemmin, koska tämä vaatisi laajempaa tutustumista, huolto-organisaatioiden kulurakenteisiin ja liiketoimintamalleihin.

Jotta voitaisiin saavuttaa tarkempi ymmärrys laitteiden vikaantumisen fysiikasta, olisi hyödyllistä päästä käsiksi vioittuneisiin komponentteihin josta data on peräisin. Esimerkiksi vioittuneen laakerin fyysinen tarkastelu ja vikojen peilaus mitattuihin signaaleihin antaisi tarkemman kuvan siitä mitä signaalit kertovat koneen tilasta. Tämän tyyppinen toiminta vaatii jonkin verran asiakkaan sitoutumista siihen, että vaihdettavia osia toimitetaan analysoitaviksi. ajan myötä tarve näille tarkasteluille vähenee tietämyksen kasvessa ja lopulta vain erikoisemman vikaantumistapaukset on syytä tutkia. Analysoinnin resurssi tarpeita voi pienentää yhteistyö jonkin alan oppilaitoksen kanssa, jolla on riittävät laboratorio resurssit.

Koska järjestelmässä on yhtenä keskeisenä toimintona tiedonsiirto, jossa on mukana useita eri toimijoita, niin on mietittävä myös tietoturva näkökulmia. Huonosti järjestetty tietoturva voi aiheuttaa yritykselle merkittävää haittaa menetety luottamuksen myötä. (Kyrölä 2001, s. 32)

Koska kyseessä on laite joka lähettää informaatiota asiakkaan tiloissa asiakkaan laitteesta, on myös asiakasta informoitava siitä mitä tietoa siirretään ja mihinkä sitä käytetään. Asiakaan kannalta kriittisintä voisi olla tieto, jolla voidaan arvioida tämän tuotantomääriin liittyvää tietoa. Järjestelmän toimittajan on huolehdittava, että tämä tieto ei joudu ulkopuolisiin käsiin. Voidaan miettiä, että onko tarpeen toimittaa informaatiota, josta voidaan päätellä laitteen ajomääriä. Suostuuko edes asiakas siihen, että tällaista tietoa lähetetään.

On erittäin tärkeää huomioida, että itse järjestelmä voi myös vikaantua (kappale 3.2.2). Kun tämä huomioidaan jo kehitys vaiheessa, niin voidaan mahdollisesti säästyä järjestelmään liittyviltä kalliilta huolto ja uudelle kehitys toimenpiteiltä. Asian on myös yhteydessä seuraavassa kappaleessa puhuttuihin mainetekijöihin, jotka tulevat asiakastytyvääsyyden kautta. Jos järjestelmää mainostetaan asiakkaalle ja toiminta varmuus on heikko ei vaikut ole hyvä. Tässä osiossa puhuttavat vikatilanteet tarkoittavat älykkään huollon järjestelmässä tapahtuvia vikatilanteita, eivätkä ne suoraan vaikuta itse laitteen toimintaan. Tosin ei voida pois sulkea mahdollisuutta, että laitevika ei voisi aiheuttaa vikaa valvontajärjestelmässä.

Kuten kappaleen 3.2.2 perusteella voidaan havainnoida, pidetään älykkään huollon ja etävalvonta järjestelmien vikaantumisen diagnostiikkaa hankalana. Vikavoi esiintyä sensorissa, tietoliikenneyhteydessä, sensoritietoa koostavassa komponentissa tai pilvipalvelun

koodissa. Vika voi olla lyhytaikainen, kuten esimerkiksi jostain häiriöstä johtuva tai pidempiaikainen, kuten esimerkiksi jonkin komponentin rikkoutuminen järjestelmässä. Yhtenä vikoja havainnollistavana tekniikkana voidaan käyttää lokitietoja ja niiden analysoijaa. Lokitiedot ovat tutuja tietotekniikasta ja niitä käytetään järjestelmässä tapahtuvien toimintojen sekä virheilmoituksen tallentamiseen. (Dargie, 2009, s. 333) Myös RCA:n käyttäminen näiden vikojen jäljittämiseen on hyvä lähtökohtainen tekniikka. Varsinaiset vianetsintä käytännöt vakiintuvat, kun järjestelmän lopullinen muoto on selvillä.

Lähtökohtaisesti järjestelmän tuli olla riittävän helposti vaihdettava kokonaisuus, jotta esimerkiksi kolmannen osapuolen huoltomies voi vaihtaa jonkin yksikön uuteen ja järjestelmä jatkaa toimintaansa. Tämä koskee kaikkia antureita, keräys- ja datanlähetyksyksiköitä. Ellei järjestelmä ole helposti huollettavissa, huoltojen kustannukset kasvavat nopeasti perusteettoman suureksi, mikäli vikaantumisia ilmenee. Järjestelmä voi joutua toimimaan hyvinkin erilaisissa ilmastoissa ja rasisusten alaisena. Täten ei voida varmasti sanoa kuinka kauan kukin järjestelmä luotettavasti toimii missäkin kohteessa. Datankeräys agentit osat eivät ole järjestelmän keskeisin osa ja niiden tarkastelua ei asiakkaan tiloissa muutenkaan kyettäisi estämään, joten tarkka laitteiden hallitseminen ei ole keskeisin asia. Komponentit tulevat joka tapauksessa olemaan valmiita kaupallisia tuotteita, joten asiakkaan puolesta järjestelmässä ei tule olemaan keskeistä järjestelmän ydinosaamista. Täten järjestelmän osien toimittamista huolto-osina ei rajoita kilpailutekniset asiat.

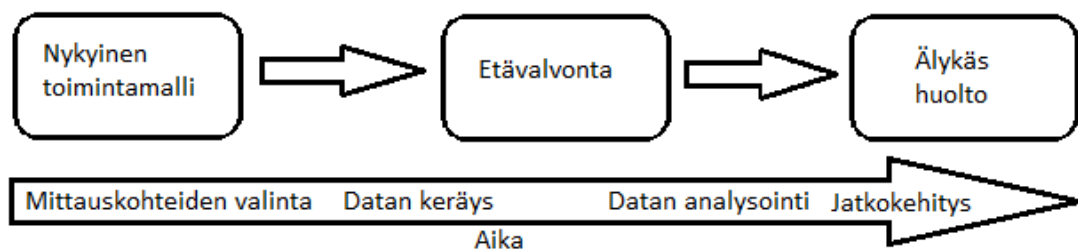
Lisäksi järjestelmään liittyvissä komponenttien vaihdoissa on varmistuttava siitä, että mahdollisimman suuri osa huoltotöistä kyetään suorittamaan siten että siitä ei aiheudu vaikutuksia tuotannolle. tämän lisäksi on huomioitava turvallisuustekijät niin huolto ohjeistuksessa, kuin toimenpiteiden toteutuksessa. Tämä tulee kyseeseen etenkin silloin, jos kone ei ole pysäytettyä ja ollaan tekemisissä liikkuvien osien kanssa. luonnollisesti komponenttien sijoittelu on tällöin keskeisessä asemassa, varmistaen turvallisen ja ripeän huollon.

Yhtenä keskeisenä vikojentuottajan tulee varmasti olemaan teleoperaattorien verkot. Tämä tulee kyseeseen etenkin syrjäisissä sijainneissa, joissa verkko on heikko. Myös maiden välillä on odotettavissa huomattavia eroja verkon kattavuuden ja toimintavarmuuden osalta. Lisäksi myös tehtaankonfiguraatio vaikuttaa signaalin pääsyyn laitteen läheisyyteen ja ympäristön häiriöisyyteen. Itse mittaus agentin välinen signaalinliikenne suoritetaan kiinteillä kaapeloinneilla, jotta häiriöt saadaan minimoitua mittauksista, mutta tiedonsiirto on tälle altista. Viat voivat olla lyhytkestoisia, mutta myös pidempikestoiset katkokset ovat hyvin mahdollisia. Ensisijaisena keinona parantaa häiriökestävyyttä on varmistaa asennusvaiheessa, että lähetyksiantenni asennettu on siten että signaali on mahdollisimman voimakas. Toiseksi on datankeräysagenttiin asetettava muistikapasiteettia keskeisen informaation keräämiseksi, jotta tämä tieto voidaan lähettää yhteyden palaututtua. Signaalin voimakkuuden varmistamisen ja yleisen toiminnan varmistamiseksi kohdalta on varmistettava, että asennushenkilöstöllä on koulutus ja työkalut järjestelmän asentamiseksi ja testaamiseksi.

Koneen ajoon liittyvää tietoa voidaan hyödyntää, kun tarkastellaan millä rasituksella kone on ja milloin koneessa on seisokkeja. Asiakas ei välttämättä itse ole yhteydessä kausihuoltojen aikana, joten aukkoja huoltotiedoissa voidaan pyrkiä paikkaamaan pysäytysten avulla.

5.1 Siirtyminen älykkääseen huoltoon

Siirtyminen älykkääseen huoltoon ei ole välitön tapahtuma. Projektiin kuuluu jatkuvaa tilanteen seuranta ja eläytymistä tilanteen mukaan. Kehitys toiminta onkin parhaimmillaan ketteriä työkaluja käyttämällä. Tämä kuitenkin vaatii kehitysorganisaatiolta vahvaa panostamista kehitystyöhön. Tämän lisäksi datan kerääminen ja analysointi järjestelmän kehitysvaiheessa vie aikaa. Onkin odotettavissa, että järjestelmään panostetut resurssit eivät vielä lähitulevaisuudessa tuota arvoaan takaisin. Kyseessä onkin pidemmän aikavälin kehitykseen tähtäävä projekti. Järjestelmän kehityksen voidaan karkeasti odottaa seuraavan seuraavaa kehityspolkua (Kuva 12). Kuvasta voidaan nähdä siirtyminen nykyisestä toimintamallista etävalvonnan kautta älykkääseen huoltojärjestelmään. Tämä tapahtuu oikeiden mittauskohteiden kautta kerätyn datan analysoinnin kautta etävalvontavaiheessa. Kun älykkään huoltojärjestelmän toimintaperiaatteet on saavutettu, voidaan keskittyä jatkokehityskohteiden ja uusien ilmenneiden kehitystarpeiden lisäämiseen.



Kuva 12: Älykkään huoltojärjestelmän evoluutiopolku nykyisestä toimintamallista tulevaisuuden älykkään huollon järjestelmäksi.

Jotta älykkään huollon järjestelmän käyttöönotto olisi onnistunut tulee yrityksen saada järjestelmä riittävän moneen tuotteeseen, jotta järjestelmän aiheuttamat kustannukset ovat perusteltavissa. On myös varmistettava, että järjestelmällä saavutetaan hyötyä jonka asiakas voi kokea ja että tämä hyöty on myös asiakkaan havaittavissa (kappale 2.1). On esimerkiksi varmistettava, että käytännöt joilla asiakasta informoidaan toimivat moitteettomasti ja asiakkaalle jää palvelusta ammattimainen ja toimiva kuva. Tämä tarkoittaa sitä, että järjestelmän laatu on varmistettava ennen sen laajempaa käyttöön ottoa yrityksen palveluissa. Toiminta ilman palvelua saattaa olla parempi vaihtoehto kuin toiminta toimimattoman järjestelmän kanssa.

Muutosjohtaminen on keskeinen muutoksen ajaja, jolla tarkoitetaan henkilöstön mukaan saamista muutokseen. Tämä yleensä vaatii johdolta panostusta, jotta uudet käytännöt vaikiintuvat yrityksen työntekijöiden keskuudessa. Ilman onnistunutta muutosjohtamista on riski, että muutos jää vain osittaiseksi, kun työntekijät palaavat vanhoihin käytäntöihin tai oikovat prosesseissa omien mieltymystensä mukaisesti. Älykkään huollon järjestelmän käyttöönotto yrityksessä johtaa aina jonkin asteiseen muutokseen. Teknologia on yksi keskeisimmistä muutoksen aiheuttajista yrityksissä. Muutosjohtamisen voimakkuuteen vaikuttaa keskeisesti muuttuvien käytäntöjen määrä, sekä henkilöstö määrä jota muutos koskee (kappale 3.2.2). Muutoksia voi esiintyä niin valmistus prosesseissa kuin asiakkaiden palvelemisessa. Valmistuksessa keskeisenä tulevat esille käytännöt joita uusijärjestelmä vaatii asennuksessa. Käytännöt järjestelmän kehittämiseksi ja testaukselle ovat myös tärkeitä. Järjestelmän käyttöönoton ei odoteta aiheuttavan voimakkaita organisaatio muutoksi toimeksiantaja yrityksessä, johtuen huolto toiminnan rajallisuudesta organisaatiossa. Mikäli organisaatio alkaa laajemmin toimittamaan huoltopalveluita tulee huolto-osaton olla aktiivinen toimija myös älykkään huollon järjestelmän kanssa. Nykyisessä kokoonpanossa vaikutus on lähinnä henkilöstöön, joka vastaa järjestelmän kehityksestä ja toiminnasta sekä myyntityötä tekevään henkilöstöön. On siis muodostettava käytännöt, kuinka järjestelmä tukee myyntityötä sekä jalkautettava nämä käytännöt organisaatiossa.

Kun tarkastellaan tässä työssä esille tulleita asioita, on selkeää, että järjestelmän hallinta on oltava sellaisen henkilön vastuulla, jolla on riittävän laaja käsitys sovelluksen toiminnasta ja sen taustalla olevasta toiminnasta. Ilman riittävää tietämystä sovelluksen hallinnoija ei kykene tarkastelemaan ja ymmärtämään kaikkia ilmiöitä joita mittaukset tuovat esille. Etenkin järjestelmän kehitysvaiheessa nämä tekijät korostuvat ja tulevat heijastamaan siihen mihinkä suuntaan järjestelmä kehittyy. Se vastaako järjestelmän hankkija vai toimittaja ilmiöiden syvällisestä tulkittamisesta on sopimustekninen asia. Henkilöllä on kuitenkin oltava ymmärrys signaalien syntymekaniikasta ja käsittelystä, jotta järjestelmä voidaan asettaa siten että vikatilanteet tulevat mahdollisimman hyvin havaituksi.

Riskien hallinnan näkökulmasta tämä tietämys ei voi olla kuitenkaan vain yhden henkilön varassa, sillä tällöin jokin kyseiseen henkilöön kohdistuva odottamaton menetys voi johtaa koko kehitystyön seisahtumiseen. Tietojohtaminen onkin tässä suhteessa merkittävässä roolissa riskien alentajana. Ongelmana on hiljaisen tiedon siirtäminen rakenteelliseen muotoon sekä muille työntekijöille. Toimenpiteet joilla tätä ongelmaa voidaan lieventää ovat vakinaistuneet dokumentointi käytännöt sekä tehtävien ristiin opiskelu siten että jollakin toisellakin työntekijällä on perus ymmärrys järjestelmästä ja siihen liittyvistä analyyseistä. Henkilöstön osaamisella on suuri vaikutus siihen, minkä laatuista palvelua yritys kykenee asiakkailleen tarjoamaan. (Holden, Glisby, 2010, s. 150)

Kuten aiemmin on tullut esille, järjestelmän toiminnan kannalta on tärkeää, että tietoa saadaan kerättyä mahdollisimman monelta laitteelta. Tällöin voidaan taata riittävän laaja data pohja järjestelmän toiminnan tarkemmalle analyysille. Jotta tässä onnistutaan, on

järjestelmä saatava mahdollisimman moneen laitteeseen. Palvelun fyysisestä asennuksesta laitteeseen tulisi myös tehdä niin helppo prosessi, että sen asentaminen vanhempaan laitekantaan olisi myös mahdollinen muiden huoltotoimenpiteiden tai päivityksen yhteydessä. Palvelun tulee myös aktiivisesti markkinoida jo olemassa oleville asiakkaille. Järjestelmän laitekohtaiset kustannukset pienenevät suhteessa asennettujen järjestelmien määrään, sillä toimintaan liittyy paljon kiinteitä kustannuksia. Laitekohtaisia kustannuksia ovat ensisijaisesti datankeräys agentin rauta ja mahdollinen lisäys laskentakapasiteettiin, jonka vaikutus kokonaiskustannuksiin on marginaalinen.

5.2 Asiakasrajapinta

Kontakti asiakkaan kanssa alkaa tilanteesta jossa asiakkaalle myydään tuote. Myynti prosessi on oma aihealueensa jota emme tässä työssä käsittele, mutta järjestelmällä on kuitenkin oma osuutensa tähän prosessiin. Järjestelmää tullaan ehdottomasti käyttämään yhtenä laiteen myyntiä edistävänä tekijänä. Eri osa-alueiden tärkeyttä asiakkaille voidaan arvioida tilauksia voittavilla (OW, Order Winning), karsivat (Q, Qualifying) ja vähemmän tärkeillä tekijöillä. Tilauksia voittavat tekijät ovat tekijöitä jotka suoraan ja merkittävästi vaikuttavat tilauksen voittamiseen. karsivat tekijät asettavat minimitason hyväksyttävälle ominaisuuksille ja suorituskyvyille. Vähemmän arvokkaat tekijät eivät ole tilauksia voittavia tai karsivia tekijöitä, joten ne eivät merkittävästi vaikuta kilpailulliseen asemaan. (Slack, Chambers, Johnston, 2010, s. 613)

Myyntivaiheessa älykkään huollon järjestelmään liittyvät arvot luodaan asiakkaalle lähinnä mielikuvina. Ajan myötä myös konkreettisempia esimerkki caseja voidaan esittää myynnin tukena. Järjestelmä voidaan onnistuessaan nähdä tuotteen yhtenä OW tekijänä. Varsinaisen toiminnan aikana järjestelmän on myös vastattava sille asetettuihin odotuksiin. Mikäli yritysten kanssa halutaan tehdä onnistunutta kauppaa, esimerkiksi varaosista on toiminnan oltava sujuvaa läpi koko prosessin. Tämä tarkoittaa järjestelmän sujuvaa toimivuutta aina yhteyden ottoihin asiakkaisiin ja tavaroiden toimituksiin. Seuraavassa on esitetty joitakin tämän prosessin onnistumisen kannalta huomion arvoisia tekijöitä.

Jotta älykkään huoltojärjestelmän tuottama palvelu tavoittaa asiakkaan tehokkaasti on mietittävä, kuinka asiakasta palvellaan. Kuten kappaleessa on aiemmin esitetty, järjestelmän alkuvaiheissa asiakkaalla ei ole omaa liittymää järjestelmään. Laite toimittaja hallinnoi myös laitteelta tulevan informaation itsenäisesti ja toimittaa näistä raportin asiakkaalle. Kuten mainittu raportin toimitus voi tapahtua joko asiakkaan pyynnöstä tai tilanteen niin vaatiessa. Asiakkaan palvelutilanteet voidaan karkeasti jakaa seuraaviin skenaarioihin:

- Laitteen välitön rikkoutuminen, laiteen toiminta lakkaa täysin tai heikkene merkittävästi.
- Laiteessa havaitaan pikaista huoltotoimenpidettä vaativan indikaation viasta, laite kuitenkin jatkaa toimintaansa vähintäänkin lähes täydellä kapasiteetilla.

- Havaitaan sensoritiedoista alkavaa indikaatiota kulumisen ilmenemisestä, laite toimii täydellä kapasiteetilla.
- Asiakas pyytää itse suosituksia suoraan, esimerkiksi tulevan huoltoseisokin puitteissa.

Sensoritietojen avulla saatavat ennakkovaroitukset ja hälytykset johtavat siihen, että asiakkaaseen on oltava toimittajan puolelta yhteydessä ja ilmoitettava lähestyvistä huoltotarpeista. Asiakas voit täten tilanteen vakavuudesta riippuen kiinnittää kohteeseen erityistä huomiota ennen seuraavaa huoltoa, tai suorittaa huoltotoimenpiteen pikaisesti, riippuen vian vakavuudesta. Vian laajuudesta riippuu varmasti osin kuinka paljon sen hoitaminen vaikuttaa linjaston toimintaan. Tämä taas edelleen vaikuttaa siihen, kuinka erillään huoltotoimenpiteitä asiakas on halukas tekemään erillään muun linjaston huolloista. On huomioitava, että kyseinen järjestelmä on vain osa tehtaan tai mahdollisesti kyseisen prosessilinjaston laitteistoa (kappale 3.3). Huoltotoimenpiteitä ei siis suoriteta pelkästään kyseisen laitteen tarpeiden perusteella. Tyypillinen skenaario saattaakin täten olla sellainen, jossa asiakas tarvitsee pidemmän ajan ennusteen vaihdettavista osista. Tällöin on luotettava joko riittäviin varmuuskertoimiin tai hallussa on oltava riittävän vahva tilastollinen informaation vikojen esiintymistiheydestä eri komponenteilla (kappale 4.3). Jos asiakas suorittaa esimerkiksi vuosihuollon joka vuosi, on asiakkaalle esitettävä perusteltu tieto siitä minkä osien vikaantumistodennäköisyys ylittää riskirajat ennen, kuin huoltoa seuraava määräaikaishuolto on ajankohtainen. Toisin sanoen tässäkin tapauksessa on osattava ennustaa yli vuoden päähän. Jotta järjestelmän käyttö olisi perusteltu on tärkeää, että sen avulla syntyy myös varaosa myyntiä, jota järjestelmän on haluttu palvelevan. Asiakasta voidaan lähestyä raportin myötä myös suoralla tarjouksella tai pyytää asiakasta tekemään tarjouspyyntö vaihdettavista osista. Asiakkaita lähestyttäessä on yleisesti huomioitava myös kulttuurilliset piirteet, jotta kanssakäyminen koettaisiin mielekkääksi.

Mikäli asia koetaan mielekkääksi, niin asiakkaalle toimitettavassa raportissa voidaan kategorisoida osien kriittisyys niistä tiedetyn informaation perusteella. Tällainen raportti voitaisiin toimittaa asiakkaalle automaattisesti tietyin aikaväleihin ja vikaantumisen ilmetessä, mikäli asiakas niin tahtoo. Tilastollisesti voidaan esittää esimerkiksi 99.9% toimintavarmuus tiettyyn päivään saakka. Laakereiden värinän osalta voidaan esittää muutaman sanan raportti, jossa kuvaillaan laakerin tilaa raportin laadinta hetkellä. Mikäli vian vakavuus sitä vaatii, niin voidaan myös antaa suosituksia esimerkiksi kuormituksen vähentämisestä tai käytön välttämistä seuraavaan huoltoon mennessä. Järjestelmä generoi raportin automaattisesti, mutta yrityksen asiantuntija hyväksyy tai muokkaa sitä ennen lähetystä (kappale 3.2.1). Alkuvaiheen ensimmäisenä toimitustapana raporteille on lähtökohtaisesti sähköposti, mutta mahdollisuus asiakkaan toivomiin toimitustapoihin tulee varata. Mikäli järjestelmässä mahdollistetaan myöhemmin asiakkaan oma portaali, niin tällöin asiakkaat voivat itse päästä laajemmin käsiksi laitteidensa sen hetkisiin tiloihin.

Ehkä keskeisimpiä älykään huollon järjestelmän tuotoksia pelkän varaosa ja huoltotoimenpide suositusten lisäksi on se, että asiakkaalle voidaan datan perusteella antaa konkreettisen numeraaliset perusteet sille miksi näitä suositellaan. Lähtökohtaisesti on odotettavaa, että tämä vakuuttaa asiakkaan toimenpiteiden tärkeydestä ja samalla antaa toimittajasta asiantuntevan kuvan. Yrityksen olisi myös aktiivisesti pyytää asiakkailta kehitysideoita palvelun parantamiseksi. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi asiakkaille ositetun lyhyen markkinointitutkimuksen avulla.

6. YHTEENVETO

Tässä työssä on esitetty keskeisiä toimenpiteitä älykkään huollon järjestelmän toteuttamiseksi toimeksiantajan tuotteissa. Järjestelmän keskeisenä toimintona on suorittaa etämonitorointia yrityksen tuotteiden tilasta ja tuottaa tämän tiedon avulla huoltotoimenpide ja varaosa suosituksia asiakkaille. Yrityksen huoltobisneksenä toimii pääasiallisesti koneiden varaosien myynti. Yrityksen liiketoimintaan eivät kuulu määräaikaishuollot kovasta hintakilpailusta johtuen. Yrityksen suorittamat huoltotoimenpiteet kohdistuvat pääasiassa erilaisiin konfiguraatioiden muutoksiin.

6.1 Suositukset

Työssä esille tulleiden huomiokohtien perusteella esitetään seuraavia toimenpiteitä älykkään huoltojärjestelmän kehittämisessä ja käyttöön otossa:

- Datan keräys ja analysointi (kappaleet 2.2.3, 4.2, 5). On varmistettava tarpeeksi kuvaavan ja laajan data aineiston tallentamisesta. Datan käsittely on suoritettava oikeilla menetelmillä, esim. tilasto-, SMA-, FFT- tai Wavelet-pohjaiset menetelmät.
- Hälytysten järjestäminen (kappaleet 4.5, 5). Data-analyysien pohjalta on löydettävä oikeat hälytykseen johtavat signaali-tasot ja -piirteet.
- Järjestelmän luotettavuuden ja ylläpidettävyyden varmistaminen (kappaleet 5, 5.1). Järjestelmän kehityksessä on huomioitava mahdollisimman korkean saatavuusasteen varmistaminen. Vikadiagnostiikan tarpeet on huomioitava kehityksessä.
- Järjestelmän käytettävyyden ja laadun varmistaminen (kappaleet 4.6, 5). Järjestelmän oltava käytettävyydeltään ja laadultaan riittävän hyvä asiakkaan palvelemiseksi. Järjestelmän toiminta on yksi näkyvä osa asiakkaalle yrityksestä.
- Asiakaspalvelukäytäntöjen kehittäminen älykkään huollon puitteissa (kappaleet 2.1,2.2.1, 4.1, 5.2). Tavat joilla asiakas kohdataan eri tyyppisissä tilanteissa, tulee olla ennalta mietitty. Myös asiakas kohtaiset erot tulee huomioida.
- Järjestelmän ja menetelmien iteroiva kehitys (kappaleet 4.3, 4.4, 5.1). Järjestelmän ja menetelmien kehitys prosessi on pitkä kestoinen. Kehitys tapahtuu parhaiten iteroivalla järjestelmäkehityksellä, jossa kehitystyötä tehdään edellisen ohjelmaversion oppien pohjalta.

Nämä kohdat muodostavat ytimen työssä käsiteltäville asioille. Toimenpide-ehdotukset sisältävä kohtia, jotka käsittelevät älykkään huollon vaikutuksia organisaation toimintaan

kuin myös teknisiä ratkaisumalleja datan käsittelyyn asiakasta palvelevaan muotoon. Tarkemmin kappaleiden sisällön keskeiset kohdat on esitetty työn rakennetta seuraavassa järjestyksessä.

Yhtenä keskeisenä työkaluna älykkään huollon järjestelmän kehitystyöhön on valikoitunut benchmarking-työkalu. Työkalun avulla suoritetaan oppimista muiden yritysten kokemuksiin vastaavanlaisten järjestelmien toteutuksessa. Keskeisimmäksi benchmarking toteutusmuodoksi on valittu kahdenkeskinen benchmarking. Tämän tyyppinen benchmarking on yksisuuntaisempi kuin täysin tasavertaisesti vertaileva ryhmä benchmarking. Benchmarking-työkalun toiminnan teoriaa on esitetty kappaleessa 2.3. Benchmarking-prosessin kohteeksi valikoitui eräs teknologian vientiteollisuuden yritys, jonka toimii eri toimialalla, mutta jonka tuotteilla on paljon yhtäläisyyksiä toimeksiantajan tuotteisiin. Kappaleessa 2.1 on käsitelty työnkannalta keskeistä arvomuodostusta asiakkaalle huoltotoimenpiteiden kautta, joita järjestelmän on tarkoitus tukea. Järjestelmä tuottaa lisäarvo kyvyllään mahdollistaa huollon oikea-aikaisuus, sekä pyrkimällä maksimoimaan koneen ylhäälläoloaika. Kappaleessa 2 käsitellään myös älykkään huollon termin merkitystä ja sen taustalla olevia huoltostrategioita. Kappaleessa tutustutaan myös pilvipalveluihin ja signaalinkäsittelyn perusteihin. Älykäs huolto on ennakoivaan huoltostrategiaa toteuttava järjestelmä, jonka tavoitteena on järjestelmästä kerättävän informaation avulla tukea huollon toteuttamista oikeaan aikaan. Keskeisinä tekijöinä järjestelmässä on tiedon keräys ja analysointi sekä informaation välittäminen oikeille tahoille. Älykkään huollon järjestelmä toimii pilvipalveluiden PaaS tai mahdollisesti IaaS palvelutyypin alaisena. PaaS eli alusta palveluna tarjoaa mahdollisuuden sovelluksen kehittämiseksi suoraan pilvipalvelun tarjoamalle alustalle. IaaS eli Infra palveluna taas tarjoaa pelkän infrastruktuurin palvelun tuottamiseksi ja vaatii laajemmat konfiguroinnit käyttöjärjestelmästä lähtien.

Datan mittaus ja analysointi keskittyvät aina datan muokkaamisesta käsiteltävään muotoon aina sen eri tyyppisiin analysointi muotoihin. Datan muokkauksessa ovat esillä yleiset digitaalisen signaalin mallinnukseen liittyvät tekijät kuten Fourier-muunnos ja Nyquistin teoreema. Näiden avulla tarkastellaan perusteorioita, kuinka signaali mallinnetaan digitaalisessa maailmassa, jotta sitä voidaan tietoteknisesti käsitellä. Esimerkiksi digitaalinen suodatus hyödyntää näitä periaatteita signaalien suodatuksessa. (kappale 2.2.3) Esillä on myös laaja skaala erilaisia työkaluja, joita on myös mahdollista käyttää analysointi työkaluina älykkään huollon järjestelmissä. Näitä työkaluja ei ole tarkemmin esitelty, mutta ne antavat kuvan mahdollisista vaihtoehdoista syvempään tutustumiseen, kun järjestelmä saavuttaa kypsemmän asteen ja kasvava aineisto mahdollistaa laajemman algoritmien kehitystyön. (kappale 4.2)

Analysointi suoritettiin vertailemalla haastatteleamalla saatuja tietoja kummastakin yrityksestä. Toimeksiantajan osalta keskeisimmiksi mielenkiinnon kohteiksi osoittautuivat laakereiden kunnon mittaus, datan esitystapa, mittauskohteet, mittaustapa, varaosa/toimen-

pide suositukset sekä asiakaspalvelu (Kappale 3.3). Työn osalta eniten painoarvoa on annettu laakereiden kunnon, datan esitystavan, varaosa/toimenpide suositusten sekä arvon tuoton tutkimista. Mittauskohteet ja mittaukset vaativat tarkempaa mekaanista tunte-
musta laitteista kuin tämä työn rajoissa on mahdollisuus tutkia. Vertailtaessa teknologian
vientiyrityksen toiminta tapoja ja kokemuksia suhteessa toimeksiantajan tavoitteisiin
esille nousi seuraavat seikat analysointi tekniikat, vikojen todennäköisyyksien laskemi-
nen, ”Attention alert” malli, ”installed base” datan luonti, globaalit SIM-kortit, yrityksen
johdon sitouttaminen projektiin, arvontuotto asiakkaalle sekä järjestelmän toiminnan seu-
ranta ja tunnuslukujen laskeminen (Kappale 3.3). Keskeisimmiksi tekijöiksi näistä nou-
sevat analysointitekniikat sekä arvontuotto asiakkaalle. Muiden kohtien tarjotessa yksi-
löidymiä ratkaisuehdotuksia järjestelmän tekniseen puoleen.

Kappaleessa 4 on esitetty joitakin yleisiä menetelmiä liittyen älykkään huollon järjestel-
män toteutukseen. Tarkasteltavissa kohdissa on kiinnitetty erityistä huomiota benchmar-
king-prosessissa esille tulleisiin asioihin. Benchmarking haastatteluissa esille tulleita asi-
oita on täydennetty hyödyntämällä kirjallisia lähteitä. Kappaleessa 4 on esitetty niin jär-
jestelmän datan analysointiin liittyviä seikkoja kuin myös periaatteita joilla arvonnuo-
dostus asiakkaalle syntyy tämän kokeman palvelun kautta. Järjestelmässä arvon tuotto
asiakkaalle syntyy, kun asiakas joutuu käyttämään vähemmän resursseja järjestelmän yl-
läpitoon. Tämä syntyy siitä, että huollot tehdään silloin kun ne täytyy tehdä, jonka olet-
taan vähentävän turhia ennakoivia huoltoimenpiteitä. Lisäksi järjestelmän avulla pyritään
välttämään odottamattomien pysähdysten määrää, jotka johtuvat vikatilanteista laitteis-
tossa. Koska laite on vai osa tehtaan prosessiketjua on huomioitava tarpeet eripituisille
ennusteille laitteen kunnon kehittämisessä. Mikäli huoltoihin sisältyy seisakkeja, on ky-
ettävä tarjoamaan ennuste vaihdettavista osista, joilla kyetään toiminta varmistamaan aina
seuraavaan huoltoon saakka. Järjestelmän yhteyttä yritysten huoltostrategioihin on tut-
kittu kappaleessa 2.2.1. Pääasiallisesti tarkastellaan lyhyen, keskipitkän ja pitkän ajan en-
nusteita. Periaatteessa järjestelmässä voidaan ajatella olevan myös välittömän ongelman
tila etävalvonnan kautta. Tilanteen hoitaminen on tässä tapauksessa kuitenkin suoravii-
vainen, ongelmasta voidaan yrittää ottaa pikaista yhteyttä, mutta vakavampi vakaantumisen
on varmasti jo havaittu laitteessa paikan päällä.

Datan mittaukset on tarkasteltu tarkemmin kappaleessa 4.2 värähtelyiden ja lämpötilojen
osalta. Koska kappaleessa 3.3 on tunnistettu ongelmaksi datan saannin vähyys, on laake-
rivikojen tunnistamiselle haettu mallinnusperusteisia ratkaisuja. Kappaleessa 4.2.1 esite-
tään yleisiä periaatteita värinän muodostumisesta ja kulkeutumisesta. Lisäksi on esitetty,
kuinka laakeri mallin ja todellisten tapausten avulla on havaittu, että laakereista voidaan
taajuusanalyysin avulla eritellä vikoja ja niiden syitä. Kappaleessa esitetään värinämalli,
jonka avulla voidaan arvioida eri taajuusalueiden liittyminen erinäisiin vikoihin laake-
rissa. Kappaleessa esitetään lämmön mittaamista ja mitkä ovat erityisesti huomioitavia
tekijöitä tässä prosessissa. Huomioitavaa on, että värinän siirtymisen johtuminen raken-

teissa on välitöntä, kun taas lämpötilan siirtymine tapahtuu siirtymän ja johtuminen rakenteiden ja väliaineiden kautta voi viedä aikaa. Sensorin huono sijainti vaikuttaa täten värinän tapauksessa signaalin heikkoa tasoa suhteessa muuhun häiriöön ja lämpötilan tapauksessa huono sijainti aiheuttaa aikaviivettä havainnossa.

Kappaleessa 4.6 esitetään myös joitakin periaatteita järjestelmän suorituskyvyn mittaamiseksi. Suorituskyvyn mittaamisella tarkoitetaan tässä yhteydessä sen kykyä tehostaa asiakkaan huollon resurssitehokkuutta. Tämän kaltaisen tarkastelu on hyödyllistä järjestelmä kehittämisen kannalta ja kun tehdään päätöksiä uusista investoinneista järjestelmään. Mikäli järjestelmä ei ole vastannut odotuksia voidaan hakea syitä mitkä johtavat tähän tulokseen. Näiden syiden perusteella tehdä päätöksiä jatkoon suunnasta järjestelmän suhteen. Suorituskyvyn mittaus ei kuitenkaan ole yksiselitteistä, vaan toimintaan vaikuttaa useita tekijöitä. Kappaleessa on esitetty useita indikaattoreita, joilla tehokkuutta mitataan. Keskeistä asiakkaan kannalta on saada huoltokustannusten osuutta laskettu tuotantoyksikköä kohden. Toimittajan kohdalta keskeiset vaikutukset järjestelmällä voidaan odottaa olevan varaosamyynnissä sekä asiakastytyvyyden nostossa.

Kappaleessa 5 on esitetty malli yrityksen älykkään huollon tuotteeksi. Annetun mallin avulla kerätty data muutetaan asiakas yritystä konkreettisesti palvelevaksi informaatioksi. Kappaleessa käsitellään järjestelmään datan käsittelyyn liittyviä tekijöitä, kuin myös sovelluksen käytettävyyteen ja asiakaslähtöisyyteen liittyviä asioita. tausta-ajatuksena on järjestelmän toteuttaminen siten että asiakkaalle näkyvä palvelu täyttää antamansa lupaukset. Järjestelmän mallin yhteydessä esitetään kaikki toimijat ja näiden väliset yhteydet järjestelmässä. Keskeisessä osassa on laitetoimittajan ja asiakkaan välinen yhteys sekä järjestelmältä haluttu informaatio. Järjestelmän alkuvaiheessa järjestelmällä palvellaan asiakasta järjestelmän operoijan kautta, joka välittää asiakkaalle järjestelmän tuottamat ja operaattorin mahdollisesti muokkaamat raportit. Myöhäisemmässä vaiheessa järjestelmään voisi olla hyödyllistä toteuttaa rajapinta myös asiakkaalle jota kautta huoltotoimien pidesuosituksot voisivat siirtyä suoraan esimerkiksi asiakkaan kolmannen osapuolen huolto-organisaation käytettäväksi.

Yhtenä keskeisenä osa-alueena järjestelmän mallissa on hälytysten järjestäminen mallissa. Kappaleen 4.5 perusteella luodussa mallissa on esitetty, kuinka toimeksiantajan tuotteiden hälytykset voisi järjestää älykkään huollon järjestelmässä. Todennäköisesti ensimmäisessä vaiheessa järjestelmä palvelee enemmänkin etävalvonta periaatteella, kuin itsenäisesti ongelmatilanteita analysoivana järjestelmänä. Järjestelmässä mitataankin alkuvaiheessa suhteellisen yksinkertaisten algoritmien avulla saatuja signaaleja. Tällöin esimerkiksi tarkkaillaan signaalin yleisen voimakkuuden kehitystä, eikä esimerkiksi taa-juusspektriä tarkastella vasta kuin järjestelmän kehitysmielessä. Ajan myötä kerättyjen signaalien sekä laakerimallien avulla kyetään ajan kuluessa luomaan tarkempia malleja, joilla vikatilanteita tunnistetaan. Vikojen tunnistamisen kehittäminen on tärkeää koska vain tällöin kyetään ennustamaan vikoja pidemmällä aikavälillä. Mukaan voidaan myö-

hemmässä vaiheessa ottaa myös koneoppimisen työkalut, yhä tarkempaan tulokseen pääsemiseksi. Edellä mainittu koskee etenkin värinäsignaalien mittaamista. Lämmön mittaus on edelleen suhteellisen suoraviivaista ja sen hälytykset toteutetaan asettelemalla lämpötiloille erilaisia rajoja, joissa lämmön oletetaan olevan, joissa se saa käydä ja jotka aiheuttavat välittömän hälytyksen.

Myös tietoturva-asiat on huomioitava siinä määrin, että mahdolliset tietomurrot eivät aiheuta haittaa yrityksen maineelle. Jos jokin ulkopuolinen taho kykenee seuraamaan järjestelmän lähettämää tietovirtaa, saattaa se aiheuttaa kolauksen järjestelmän toimittajan maineelle, vaikka raakadata ei sinänsä olisikaan kriittistä. Järjestelmän normaali toiminta ei vaadi kuin yhdensuuntaisen liikenteen, kuitenkin mahdollisten ohjelmistoille tehtävät päivitykset ja ylläpito onnistuvat kustannus tehokkaimmin etäyhteyden kautta. Asiakkaalla olisi hyvä olla tiedossa mitä tietoa heidän hankkimastaan järjestelmästä kerätään. Tämä läpinäkyvyys varmistaa, ettei myöhemmässä vaiheessa nouse negatiivisia mielipiteitä informaatiopuutteista johtuen.

Kuten kappaleessa 5 on esitetty, järjestelmän luotettavuudelle on myös asetettava vaatimuksensa. Järjestelmän komponentit voivat vikaantua siinä missä valvottava laitekin. Laitteen toimintaympäristö voi vaihdella suuresti, sillä laitteita toimitetaan lähes kaikille maailmassa. Tilat voivat olla signaalien etenemisen suhteen hyvinkin epäotollisia. Toimintaympäristössä voi lisäksi olla paljon häiriöitä. Näiden seikkojen vuoksi esitetäänkin, että järjestelmän tulee kerätä tapahtumalokia toiminnastaan, järjestelmän komponenttien vaihdon tulee olla riittävän helppoa sekä järjestelmän asennukselle ja testaukselle tulee kehittää toimivat käytännöt, jotka koulutetaan asennushenkilöstölle. Tavoitteena on, että järjestelmän huoltotoimenpiteet eivät vaatisi omien huoltomiesten lähettämistä kaukohteisiin.

Järjestelmäkehityksellisesti toiminnan kehittämisestä oletettavasti vastaa järjestelmän toimittaja joka toimii toimeksiantajan yhteistyökumppanina. Toisena vaihtoehtona on, että laitetoimittaja hoitaa itse varsinaisen signaalien analyysin. Koska tämä ei kuitenkaan ole yrityksen varsinaista ydinosaa voidaan tämä jättää ulkopuolisten tahojen hoidettavaksi. Projektin kannalta kuitenkin vaaditaan, että signaalinkäsittelyalgoritmien ymmärrys on kehitys tiimissä korkealla. yrityksen on myös varmistettava, että järjestelmän käyttö ja siihen liittyvät käytännöt ovat useamman ihmisen hallinnassa, vaikka varsinaisesti yksi henkilö vastaisi järjestelmän operoinnista. Näin voidaan varmistaa järjestelmän toiminta luotettavasti, myös mahdollisten erilaisten henkilöstöriskien realisoituessa.

6.2 Rajoitteet

Rajoituksia työn sisällölle aiheuttavat ainakin seuraavat tekijät. Kerätty benchmarking aineisto on varsin suppea, koska arvioitava oli lopulta mukana vain kaksi yritystä. Tästä johtuen yritysten analysoinnissa saatu informaatio edustaa kapeampaa näkökulmaa.

Haastatteluista saatu informaatio kuvastaa täten muutaman yrityksen näkökulmaa ja saattaa täten poiketa joissakin kohdin todellisesta kokonaiskuvasta. Tietojen tarkastaminen ja verifiointi myös painottuvat tällöin enemmän kirjallisuuslähteisiin kuin haastattelutulojen keskinäiseen vertailuun. Aineistoon vaikuttaa myös yritysten halu kertoa kustakin asiasta ja saadun tiedon tarkkuus voi vaihdella. Myös henkilökohtaiset näkemykset voivat korostua enemmän liittyen edellä mainittuun supeaan benchmarking ryhmään.

Työ on pääosin tehty toimeksiantajayrityksen tarpeita tarkastellen. Tämä korostuu erityisesti yrityksen ratkaisuksi esitetyssä mallissa, joka esitetään kappaleessa 5. Toimintoja on kuitenkin tarkasteltu yleisesti huoltotoiminnan näkökulmasta, joten sen periaatteet soveltuvat yrityksiin jotka toimittavat myös kausihuoltoimenpiteitä omiin tuotteisiinsa.

Työ on valmistunut vuonna 2016 ja edustaa sen ajan tietoa ja ymmärrystä älykkään huollon järjestelmistä. Tällaisten järjestelmien toiminnasta löytyy jo jonkin verran kirjallisia lähteitä, mutta käytännön toteutukset yrityksissä ovat suurilta osin vielä kehitysasteella. Tästä seikasta johtuen on jopa oletettavaa, että järjestelmien kehittyessä tämän työn informaatiot joiltain osin vanhenevat. Perusajatukset järjestelmän toiminnan takana kuitenkin tulevat todennäköisesti pysymään muuttumattomina.

Työhön liittyvä tutkimustyö on tehty yrityksen ulkopuolisen näkemyksen mukaan. Vaikka tällainen lähestymistapa tarjoaa paremman mahdollisuuden löytää uudenlaisia ratkaisuja ja näkemyksiä yrityksen ongelmiin, asettaa se myös omanlaisiaan rajoituksia ratkaisujen esittämiseen. Näiden rajoitteiden puitteissa ei ole ollut mahdollista esittää spesifisempiä konfiguraatoratkaisuja järjestelmän analysoinnissa, vaan on esitetty yleisemmin analysointi tekniikoita, joita konfirmoimalla päästään varsinaiseen ratkaisuun. Myöskään asiakaskunnasta ei ole tarkempaa tuntemusta ja työn puitteissa ei ole kerätty tietoa asiakkailta järjestelmän rakentamiseksi. Myöskään järjestelmän pilottiprojektissa mukana olevien organisaatioiden kuten toimeksiantajan, sensoritoimittajan ja järjestelmätoimittajan keskinäiset sopimussuhteet eivät ole tiedossa. Tästä johtuen järjestelmän kehittämisen ja käyttöön liittyviä roolijakoja ei ole tarkasti määritelty. Myöskään tulevien ohjelmiston ja ohjelmistokomponenttien omistussuhteisiin ei oteta kantaa.

6.3 Jatkotutkimusaiheet

Koska sovelluksen toiminnan kehitykseen liittyy myös paljon näkemyksiä, siitä kuinka asiakkaita palvellaan, olisi perusteltua suorittaa markkinointitutkimus, jossa näitä seikkoja selvitetään. Markkinointitutkimuksen kysely voidaan kohdentaa yrityksen asiakkaisiin. Kysely voisi olla suhteellisen lyhyt ja sisältää väittämiä liittyen asiakkaan kiinnostuksesta tiettyyn palvelun osa-alueeseen, esimerkiksi:

- Koemme älykkään huollon järjestelmän tehostavan huoltotoimenpiteitämme.
- Toimeksiantajan toimittamien laitteiden huoltotoimenpiteet ovat hyvin riippuvaisia muiden laitteiden huolloista.

- Pidämme tärkeänä, että järjestelmän kautta voidaan suorittaa huoltosuosituspyyntöjä omatoimisesti.
- Emme koe rajapintaa järjestelmään tarpeelliseksi, vaan sähköpostitse tapahtuva kommunikointi riittää.
- Olemme kiinnostuneita mobiililiitynnöistä joilla huolto-organisaatiomme voivat hakea ajankohtaiset huoltosuositukset.
- ...

Kysymyksiin annetaan vastausvaihtoehtoiksi: en osaa sanoa, todella paljon, paljon, jonkin verran, vähän, ei lainkaan. Kysely suoritetaan englannin kielellä ja sen tuloksia käytetään palvelun parantamiseksi ja mahdolliseen asiakkaiden informoimisen kehittämässä. Kyselyn ei tule olla liian pitkä, jotta siihen vastaaminen koettaisiin mielekkääksi. Kysymykset kannatta miettiä tarkkaan, jotta kyselyllä savutetaan vastaukset juuri niihin kysymyksiin, jotka halutaan ratkaista. Lähtökohtana on niin omien ideoiden ja näkemysten testaus kuin uusien kehitysideoidenkin ammentaminen asiakkaalta. Loppuun voidaan asettaa muutama avoin kysymys, joilla voidaan kerätä kunkin asiakkaan omia vapaampia ideoita ja näkemyksiä.

Jotta älykkään huoltojärjestelmän vaikutuksia voitaisiin seurata, täytyy miettiä indikaattoreita, joilla tämä voidaan tehdä. Näiden indikaattorien avulla voidaan selvittää, kuinka paljon sovelluksen käyttöönotolla on ollut vaikutusta yrityksen tuottoon. Näiden indikaattoreiden tarkoituksena on toimia päätöksen teon tukena. Tällöin on helpompaa esimerkiksi perutella lisäinvestoinnit tai niiden tekemättä jättäminen järjestelmään. Vaikutusten selvitys on hankalaa ja vaatii jonkin verran asiantuntemusta, koska usein indikaattoreihin voi vaikuttaa useita eri tekijöitä ja näiden keskinäisten suhteiden selvittäminen ei välttämättä ole helppoa tai edes mahdollista. Indikaattoreiden ilmoittamien ongelmien perusteella on myös kyettävä jatkoanalysoimaan mistä vika mahdollisesti johtuu. Eikö jokin perusajatus toimi niin kuin on ajateltu vai onko toteutus mahdollisesti tehty väärin.

On ensiarvoisen tärkeää, että projektissa tutustutaan tarkemmin kerättyyn tietoon, kun sitä on saatavilla. Tämän työn puitteissa on esitetty joitakin tunnettuja analysointitekniikoita laitteiston kunnan arviointiin. Ne tarjoavat hyvän lähtökohdan datan analysointi työlle. Kuitenkin signaalien hälytysten rajojen asettaminen onnistuu vasta aidon datan myötä. Lisäksi syvempi laitteiston ymmärtäminen signaalien kautta syntyy vasta varsinaisen signaalianalyysityön kautta. Eri tilanteita kuvaava aitoa aineistoa kertyy vasta ajan myötä, joten tähän työhön on varattava aikaa ja se tulee olemaan mukana koko järjestelmän elinkaaren tutkimukseen kuuluu mm. mitattujen signaalien spektrien vertaaminen laakerimallin avulla muodostettuihin oletusarvoihin. Myös erilaisten opetusdatojen käyttö koneoppimisalgoritmeilla tarkempien vikojen havainnointitekniikoiden kehittämiseksi on osa tulevia tutkimus tavoitteita.

LÄHTEET

Adams Maurice L., 2010, Rotating Machinery Vibration: From Analysis to Troubleshooting, CRC Press, s. 422, ISBN 978-1-4398-0717-0

Ben-Daya Mohamed, Duffuaa Salih O., Raouf Abdul, Knezevic Jezdimir, Ait-Kadi Daoud, 2009, Handbook of Maintenance Management and Engineering, Springer, s. 735, ISBN 978-1-84882-471-3

Chang William Y, Abu-Amara Hosame, Sanford Jessica Feng, 2010, Transforming Enterprise Cloud Services, Springer Science & Business Media, s. 472, ISBN 978-90-481-9845-0

Courrech Joëlle, Gaudet Mark, Envelope Analysis – the Key to Rolling-Element Bearing Diagnosis, Brüel & Kjaer, s. 4

Cushing Judith Bayard, French James, Bowers Shawn, 2011, Scientific and Statistical Database Management, 23rd International Conference, SSDBM 2011, Portland OR, USA, Springer, ISBN 978-3-642-22350-1

Dargie Waltenege, 2009, Context-Aware Computing and Self-managing Systems, A Chapman & Hall book, CRC Press, s. 382, ISBN 978-1-4200-7772-8

Fedele Lorenzo, 2011, Methodologies and Techniques for Advanced Maintenance, Springer, s. 218, ISBN 978-0-85729-102-8

Fischer Thomas, Gebauer Heiko, Fleisch Elgar, 2012, Service Business Development: Strategies for Value Creation in Manufacturing Firms, Cambridge, s. 297, ISBN 978-1-107-02245-4

Flach Peter, 2012, Machine Learning. The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data, Cambridge University Press, s. 362, ISBN 978-1-107-09639-4

Greengard Samuel, 2015, The Internet of Things, MIT press, s. 209, ISBN 978-0-262-52773-6

Haikala Ilkka, Märijärvi Jukka, 2001, Ohjelmistotuotanto, Talentum Media Oy, 7. painos, s. 372, ISBN 951-762-769-6

Holden Nigel, Glisby Martin, 2010, Creating Knowledge Advantage: The Tacit Dimensions of International Competition and Cooperation, Copenhagen Business School Press, s. 273, ISBN 978-87-630-0230-1

Kaivos Pirjo, Laamanen Kai, Salonen Lauri, Valpola Anneli, 1995, Benchmarking: Huipputasosta Oppiminen - Suomalaisia Käytännön Kokemuksia, Metalliteollisuuden Kustannus Oy, Tammer-Paino Oy. s. 90, ISBN 951-817-634-5

Kyrölä Tuija, 2001, Esimies ja Tietoriskien Hallinta, WSOY, s. 304, ISBN 951-0-25645-5

Laatukeskus. 1998. Benchmarking käsikirja – nopea oppiminen – ylivoimainen kilpailuetu, Esa Print Oy, Lahti. s. 49. ISBN 952-5136-03-5

Lacey Steve. J., 2008, An Overview of Bearing Vibration Analysis, Maintenance & Asset Management, Vol 23 no 6, s. 32-42

Lay David C., 2006, Linear Algebra and Its Applications, Pearson International Edition, 3. painos, ISBN 0-321-31485-9

Mitchell John s., 2007, From Vibration Measurements to Condition Based Maintenance: Seventy Years of Continuous Progress, Sound and Vibration, 40 th Anniversary Issue, s. 15

Oliva Rogelio, Kallenberg Robert, 2003, Managing the transition from products to Services, International Journal of Service Industry Management, ISSN 0956-4233

Pintelon Liliane, Puyvelde Frank Van, 2006, Maintenance Decision Making, Acco, s. 282, ISBN 90-334-6251-6

Porter Michael E., 1985, Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance, The Free Press, s. 536, ISBN 0-684-84146-0

Robbins Stephen P., Decenzo David A., Coulter Mary, Fundamentals of Management, 2013, 8. painos, Pearson, s. 460, ISBN 978-0-13-262053-6

Slack Nigel, Chambers Stuart, Johnston Robert, 2010, Operations Management, 6. painos, Pearson, s. 669, ISBN 978-0-273-73046-0

Stapenhurst Tim, 2009, The Benchmarking Book: A how-to-guide to best practice for managers and practioners, Elsevier, s. 429, ISBN 978-0-7506-8905-2

Staszewski WJ, Worden K., Tomlinson GR, 1997, Time-Frequency Analysis in Gearbox Fault Detection Using the Wigner-Ville Distributing and Pattern Recognition, Mech Syst and Signal Process, 11(5):673-692

Stenvall Jari, Virtanen Petri, 2007, Muutosta Johtamassa, EDITA, Helsinki. s. 149, ISBN 978-951-37-4861-6

Walpole Ronald E., Myers Raymond H., Myers Sharon L., Ye Keying, 2007, Probability & Statistics for Engineers & Scientists, 8. painos, Pearson, s. 793, ISBN 0-13-204767-5

Verkkolähteet:

Amazon EC2, 2016, Amazonin pilvipalvelu EC2, Haettu: <http://aws.amazon.com/ec2/>

Ficolo Oy, 2016, Palvelin tiloja tarjoava Suomalainen yritys, Haettu: www.ficolo.com/palvelut

Google Cloud Products, 2016, Googlen pilvipalvelut, Haettu: <https://cloud.google.com/products/>

ISO, 2016, 1132-1 ISO-standardi, ww.iso.org, Haettu: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:1132:-1:ed-1:v1:en>

Matlab, 2016, Filter Desing Using MATLAB, Haettu: <http://se.mathworks.com/discovery/filter-design.html>

Microsoft Azure, 2016, Azure pilvipalvelu, Haettu: <https://azure.microsoft.com/en-us/>

Raumaster Paper Oy, 2016, Kotisivut, Haettu: <http://www.raumasterpaper.fi/en/home/>

LIITTEET

BENCHMARKING KYSYMYKSET

Toimeksiantajan Älykkään huollon järjestelmän Benchmarking.

Seuraavat kysymykset ovat osa benchmarking tutkimuksessa tehtävää tiedonkeruu prosessia, jonka tavoitteena on oppia parhaita menetelmiä ja käytäntöjä ennakoivan huollon järjestelmien toiminnasta. Vastaajan toivotaan antavan niin laajat vastaukset, kuin toimintansa puitteissa on valmis antamaan. Tuloksia esitellään aiheesta valmistuvassa DI-työssä. Vastaajalle varataan kuitenkin mahdollisuus käydä läpi julkaistava materiaali ennen julkaisua, jottei mitään vastaajan mielestä ei haluttua julkaista.

KYSYMYKSET

Miksi älykäs huolto? Saavutetut hyödyt?

-Mitä teille kertoo termi älykäs huolto?

-Miksi älykkään huollon järjestelmä otettiin käyttöön? Kuinka muutoin hyödynnätte laitteilta kerättyä tietoa?

-Miten älykkään huollon järjestelmä on syntynyt? Mistä prosessi on aloitettu?

-Mitkä ovat olleet keskeisimmät hyödyt älykkään huollon järjestelmän käyttöönotossa yrityksessänne?

-Mitä todisteita on saatu toiminnan paranemisesta? Kuinka merkittävästi järjestelmä on kyennyt estämään odottamattomia vikatilanteita? Onko järjestelmä tuottanut väärää hälytyksiä?

-Mitä tekisitte toisin, jos olisitte nyt aloittamassa älykkään huollon projektia?

-Mitkä asiat näette kriittisimmiksi tekijöiksi älykkään huollon järjestelmän käyttöönoton onnistumiseksi?

-Kuinka huoltojärjestelmä on palvellut varaosamyyntiänne?

-Mikä on tietoteknisen osaamisen tila yrityksen sisällä? Osaamista rauta/softa? In-house osaaminen?

-Kuinka näette älykkään huollon tulevaisuuden? Yrityksessänne? Yleisesti? Vieläkö löytyy parannettavaa, vai onko kaikki saavutettava jo saavutettu?

-Miten järjestelmä palvelee tuotteiden laadunvarmistusta/tuotekehitystä?

Datankeräyksen toteutus

-Miten tunnistatte tärkeimmät tiedonkeruu kohteet tuotteissanne?

-Mitä ongelmia tiedonkeruussa on koettu?

-Kuinka hyvin mittaukset tuottavat haluttua tietoa? Mitkä ovat suurimmat puutteet?

-Miten mitattavasta järjestelmästä tehtävät mittaukset on standardoitu?

-Miten sallitut rajat ja hälytykset on määritelty? Miten hallitaan?

-Kuinka olette ratkaisseet järjestelmän tiedon tallennuksen?

-Kuinka olette varmistaneet toiminnan datamäärän ollessa vähäistä?

-Kuinka paljon mittauksissa on kyetty hyödyntämään olemassa olevaa toiminnallisuutta?

-Käytetäänkö järjestelmässä muita tietolähteitä, kuin itse koneelta kerättävä data? Muut syötteet?

-Kuinka tarkkaan tiedätte laitteen huoltohistorian? Saatteko asiakkaalta kaiken tiedon mitä laitteelle tehdään? Hoidetaanko kaikki huolto kauttanne?

Järjestelmän rakenne

-Kuinka yksityiskohtaisesti olette kokeneet tarpeelliseksi koneen mallintamisen järjestelmään? Mitkä ovat käytetyt tasot?

-Kuka päättää järjestelmään tulevan rakenteen? Millä tasoilla asiaan on käsitelty?

-Kuinka rakenne on muuttunut toiminnan edetessä?

-Mitä vaatimuksia järjestelmälle on asetettu? Laatu? Toiminnallisuudet?

-Kuka omistaa ohjelmiston tai sen osat? Lähdekoodin jne.? Onko toiminta täysin yrityksen hallinnassa?

-Mitä muita toimijoita järjestelmässä on mukana?

Asiakkaiden palaute palvelusta

-Minkä tiedon/palvelun asiakas on kokenut arvokkaimmaksi järjestelmässä?

-Mitä panostuksia asiakkaalta vaaditaan järjestelmän toiminnassa?

Muut tärkeät asiat joita halutaan tuoda esille?

Voidaanko yrityksen nimeä käyttää DI-työssä? Vai halutaanko vastata anonyymisti? Teknologian vientiyritys

-Kyllä/Ei?