

Kokoonpanolinjan kunnossapitosuunnitelma

Pasi Poikonen

Opinnäytetyö

Huhtikuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma

Tehdaskunnossapito

Tekijä(t) Poikonen, Pasi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2016
	Sivumäärä 58	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Kokoonpanolinjan kunnossapitosuunnitelma		
Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantoktekniikka		
Työn ohjaaja(t) Kirsi Niininen		
Toimeksiantaja(t) Valtra Oy Ab, Terävä, Tommi		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin Valtra Oy:n kokoonpanotehtaan tarpeisiin Suolahteen. Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä huolto-ohjelmat kymmenelle kriittisimmälle laitteelle, jotka ovat suoraan sidoksissa kokoonpanolinjaan, ja selvittää kaikkien kriittisten laitteiden huolto-ohjelmien määrittämiseen kuluva aika.</p> <p>Lisäksi työssä luotiin kriittisyysanalyysi, päivitettiin yrityksen laiteluettelo, määriteltiin yhdeksälle laitteelle tarvittavat ennakkohuoltotoimenpiteet sekä luotiin huolto-ohjeet valituille laitteille. Opinnäytetyön tekemisessä hyödynnettiin laadullisen tutkimuksen menetelmiä. Työssä asetetut tavoitteet täyttyivät siltä osin, että ennakkohuolto-ohjelmien tekemiseen kuluva aika saatiin määritettyä, vaikka huolto-ohjelmia valmistui vain yhdeksälle laitteelle tavoitteessa asetetun kymmenen sijaan.</p> <p>Kriittisyysanalyysin luomiseksi tutustuttiin tietoperustaan, kuten esim. PSK 6800 -standardiin. Laiteluettelon päivittämiseksi yrityksen laitekanta käytiin läpi yhdessä kunnossapitohenkilöstön sekä tuotannon johdon kanssa. Ennakkohuoltotoimenpiteitä määritettäessä kerättiin kunnossapitohenkilöstön ns. hiljainen tieto laitteiden huoltamisesta haastatteluin. Haastattelujen ja aikaisemmin opittujen tietojen perusteella toteutettiin RCM-ajattelumallin mukainen vika- ja vaikutusanalyysi ennakkohuoltotoimenpiteiden selvittämiseksi. Tehdyissä huolto-ohjeissa on huomioitu vika- ja vaikutusanalyysillä kerätty tieto, haastatteluilla kerätty kokemusperäinen tieto, valmistajien suositukset toimenpiteistä ja vaihtoväleistä sekä kunnossapitojärjestelmän ylläpidettävyys ja käyttö.</p> <p>Työssä saavutettuja tuloksia Valtra Oy Ab voi hyödyntää huoltoiseisokkien suunnittelussa sekä huolto-ohjeiden laatimisessa muille laitteille.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Kunnossapitosuunnitelma, huolto-ohje, kunnossapito, RCM, VVA		
Muut tiedot		

Description

Author(s) Poikonen, Pasi	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 58	Permission for web publication: X
Title of publication Maintenance program for assembly line		
Degree programme Mechanical engineering		
Supervisor(s) Niinen, Kirsi		
Assigned by Valtra Oy Ab, Terävä Tommi		
<p>Abstract</p> <p>This thesis was assigned by Valtra Inc. and was tailored for the needs of their assembly plant in Suolahti. The goal of this study was to create a preventive maintenance program for the ten most critical pieces of equipment and determine how much time it takes to create PM programs for all of the critical equipment in the facility. To achieve this goal, criticality analysis was created, the company's machine registration was updated and, preventive maintenance tasks and a maintenance program was created for the nine most critical pieces of equipment. Qualitative research methods were implemented in the process. The goal of determining how much time it takes to create PM programs for every critical piece of equipment was achieved even though the goal of creating PM programs for all ten was not fully achieved but lacking one piece.</p> <p>To create criticality analysis, some theories such as PSK 6800 were studied. The information needed to update the machine registration was collected in the field with the maintenance personnel and production engineers. The maintenance crew were interviewed in order to gather the silent information about maintaining this equipment. According to these interviews and the pre-acquired knowledge, RCM based failure mode and effects analysis was used to define the preventive maintenance tasks for the equipment. The maintenance programs summarize the information from FMEA-analysis, the maintenance crew's experience and the manufacturers' recommendations for the maintenance tasks and schedule. The maintenance programs have been made easy to use and maintain in the maintenance system used by Valtra Inc. maintenance crew.</p> <p>As a result of this thesis Valtra Inc. can plan their maintenance more efficiently and form new maintenance programs using the standards created in this thesis.</p>		
Keywords/tags (subjects) Maintenance program, maintenance tasks, maintenance, RCM, FMEA		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto.....	6
2	Valtra Oy Ab	6
3	Tutkimusongelma ja kohteen rajaus.....	7
	3.1 Tutkimusongelma.....	7
	3.2 Kohteen rajaus.....	7
4	Kunnossapidon terminologia	8
	4.1 Kunnossapitolajit.....	8
	4.2 Laitetason kunnossapitostrategia	12
	4.3 Kriittisyysluokittelu.....	12
5	Kunnossapidon työkalut.....	14
	5.1 Pareto-analyysi	14
	5.2 Reliability Centered Maintenance - RCM.....	16
	5.3 Vika- ja vaikutusanalyysi - VVA.....	17
	5.4 Aistit kunnossapidon työkaluna	21
	5.4.1 Aistinvarainen kunnonvalvonta.....	21
	5.4.2 Näköaisti	22
	5.4.3 Näköaistin käyttö kunnossapidon työkaluna	23
	5.4.4 Kuuloaisti	24
	5.4.5 Kuuloaistin käyttö kunnossapidon työkaluna	25
	5.4.6 Tuntoaisti	26
	5.4.7 Tuntoaistin käyttö kunnossapidon työkaluna	27
	5.4.8 Hajuaistin käyttö kunnossapidon työkaluna	28
6	Opinnäytetyön toteutus.....	29
	6.1 Perehtyminen	29
	6.2 Kriittisten laitteiden määrittely	31
	6.3 Vikadatan keruu ja analysointi	32
	6.3.1 Vikadatan tarkastelu.....	32

6.3.2	Vikadatan lajittelu.....	34
6.3.3	Vikadatan analysointi	38
6.3.4	Vikadatan luotettavuuden arviointi	39
6.4	Vika- ja vaikutusanalyysi.....	42
6.5	Ennakkohuoltoimenpiteen määrittäminen.....	44
6.6	Huolto-ohjelman luominen toiminnanohjausjärjestelmään.....	46
6.7	Jälkiseuranta.....	46
7	Tulokset ja tulosten luotettavuuden arviointi	47
7.1	Tulokset	47
7.2	Tulosten luotettavuuden arviointi	49
8	Pohdinta ja jatkotutkimukset.....	51
8.1	Tavoitteiden toteutuminen	51
8.2	Laiteluettelo	52
8.3	Rajaus	53
8.4	Kriittisyysanalyysi	53
8.5	Jatkotutkimukset.....	54
	Lähteet.....	56
	Liitteet	58
	Liite 1 Kokoonpanolinjan toimintolohkokaaviot	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 2 Kriittisyysanalyysi	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 3 Laiteluettelo	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 4 Vikadatan käsittelyn 1. vaihe vuoden 2015 vikadatalle.....	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 5 Vikadatan käsittelyn 2. vaihe vuoden 2015 vikadatalle.....	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 6 Vikadatan käsittelyn 3. vaihe vuoden 2015 vikadatalle.....	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Liite 7 Vikadatan käsittelyn 1. vaihe vuoden 2014 vikadatalle.....**Virhe.**
Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Liite 8 Vikadatan käsittelyn 2. vaihe vuoden 2014 vikadatalle.....**Virhe.**
Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Liite 9 Vikadatan käsittelyn 3. vaihe vuoden 2014 vikadatalle.....**Virhe.**
Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Liite 10 Vika- ja vaikutusanalyysi- taulukot**Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.**

Liite 11 Ennakkohuoltotoimenpiteen määritys- taulukko.**Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.**

Liite 12 Huolto-ohjeet..... **Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.**

Kuviot

Kuvio 1. Standardin PSK 7501 mukainen kunnossapitolajien jaottelu (PSK 7501, 2010, 32).....	9
Kuvio 2. Standardin SFS-EN 13306 mukainen kunnossapitolajien jaottelu (SFS-EN 13306, 2010, 34).....	11
Kuvio 3. Laitetason strategian valintataulukko (Mikkonen, 2009, 123)	12
Kuvio 4. Esimerkki Pareto-diagrammi (alkup. kuvio ks. Haughey N.d.)	15
Kuvio 5. Ishikawa-kalanruotokaavio (Blanchard ym. 1995, 241, muokattu)	19
Kuvio 6. Pareto-analyysi vuoden 2015 vioista	38
Kuvio 7. Pareto-analyysi vuoden 2014 vioista	39
Kuvio 8. Esimerkki huolto-ohje	45
Kuvio 9 Eri työtilaukset yhdessä huoltokortissa.....	46

Taulukot

Taulukko 1. Kunnossapitolajien selitteet standardin PSK 6201 mukaan (PSK 6201, 2011, 22-24)	10
Taulukko 2. Kunnossapitolajien selitteet standardin SFS-EN 13306 mukaan (SFS-EN 13306, 2010, 20-24)	11
Taulukko 3. Standardin PSK 6800 mukainen laitteiden kriittisyysluokittelu (Loukonen & Salminen, 2014, 17)	14
Taulukko 4. Standardin SAE J1739 mukainen VVA-lomake (alkup. taulukko ks. SAE J1739 N.d.).....	20
Taulukko 5: RCM-ajattelumallin mukainen VVA-tilauslomake (alkup. taulukko ks. Smith 1993, 85).....	21
Taulukko 6. Esimerkki vikadatan käsittelyvaiheesta	33
Taulukko 7. Vikadatan käsittelyn vaihe 1, lajittelu aseman mukaan	35
Taulukko 8. Vikadatan käsittelyn vaihe 2, lajittelu laitteen mukaan	35
Taulukko 9. Vikadatan käsittelyn vaihe 3, lajittelu työkalun mukaan.....	37
Taulukko 10. Vikadatan vertailu 2014 vs. 2015	40

Taulukko 11: Eniten vikoja aiheuttaneet laitteet vuosina 2014 ja 2015.....	40
Taulukko 12. VVA, Informaatio lomake	43
Taulukko 13. VVA, Toimenpide lomake	43
Taulukko 14. Esimerkki ennakkohuoltotoimenpiteenmääritys-tiluksesta.....	44
Taulukko 15. Lopullinen kriittisyysanalyysi	48

1 Johdanto

Yrityksen tuloksen ja tuottavuuden kannalta on olennaista, että yritys kykenee ylläpitämään toimintakykynsä ilman tuotantokatkoksia. Tämä edellyttää tuotannon kannalta olennaisten laitteiden jatkuvaa kunnossapitoa ja huoltamista. Kunnossapidon toteuttaminen systemaattisesti sekä ennakkoon laaditun suunnitelman mukaisesti on avain yrityksen kilpailukyvyn säilyttämiseen.

Tässä opinnäytetyössä toteutettiin kokoonpanolinjan laitteiden kunnossapitotoimenpiteiden valinnat perusteluineen traktorivalmistaja Valtra Oy Ab:lle. Tämä toteutettiin siten, että linjaston eniten tuotantokatkoksia aiheuttaneille kriittisille laitteille laadittiin huolto-ohjeet. Työssä toteutettu kokoonpanolinjan kunnossapitosuunnitelma pohjaa alan keskeisiin menetelmiin. Tarve kokoonpanolinjan laitteiden kunnossapitotoimenpiteiden valitsemiseksi oli, koska Valtralta puuttui ajantasainen kunnossapitosuunnitelma.

Vaikka menetelmiä kunnossapitosuunnitelman tekemiseksi on paljon, on yrityksen laitekanta silti oma yksilönsä eikä valmiita menetelmiä voida suoraan hyödyntää. Menetelmiä täytyikin soveltaa ja yhdistää toisiinsa parhaan mahdollisen tuloksen saamiseksi. Tämän vuoksi yhtenä tutkimuksen tavoitteena oli luoda analyysityökalut, joiden avulla kohdeyrityksessä voitiin määrittää paras mahdollinen kunnossapitosuunnitelma kriittisille laitteille. Näin pyrittiin saamaan kunnossapitosuunnitelma vastaamaan tämän päivän teollisen kunnossapidon vaatimuksia. Ennakkohuoltosuunnitelman luomisessa hyödynnettiin kvalitatiivisen tutkimusmenetelmän keinoja.

2 Valtra Oy Ab

Valtra Oy on osa AGCO Corporationia, joka on maailmanlaajuinen maatalouskoneiden suunnittelija, valmistaja ja myyjä. Valtralla on toimipisteitä Suomessa ja Brasiliassa. Yritys on aloittanut toimintansa traktorivalmistajana vuonna 1951 Tourulan kivääritehtaalla Jyväskylässä. Opinnäytetyö tehtiin Valtran Suolahden toimipisteellä, jonne yritys siirsi toimintansa vuonna 1969. Valtra Oy työllistää noin 2100 henkilöä ja vuonna 2014 yrityksen liikevaihto oli noin 90 milj. (Valtra n.d.)

Suolahdessa yrityksellä on kaksi erillistä tehdashallia: kokoonpanotehdas ja voimansiirtotehdas. Kokoonpanotehdas käsittää traktoreiden kokoonpanon ja kaikki siihen liittyvät aputoiminnot. Kokoonpanotehtaassa ei siis ole valmistavia koneita, vaan laitekanta muodostuu kokoonpanoa varten tarvittavista laitteista. Pääelementti kokoonpanotehtaassa on kokoonpanolinja, joka on noin 230 metriä pitkä ja käsittää noin 20 kokoonpanovaihetta. Kokoonpanolinjaan kiinteästi sidoksissa on muutama osakokoonpanosolu. Opinnäytetyö tehtiin kokoonpanotehtaassa. Voimansiirtotehtaassa valmistetaan Valtran traktoreiden voimansiirrot. Tämän vuoksi voimansiirtotehdas on konekannaltaan koneistamo, jossa on lastuavia metallintyöstökoneita.

3 Tutkimusongelma ja kohteen rajaus

3.1 Tutkimusongelma

Valtralla on uusittu kunnossapidon vastuualueita siten, että yrityksen oman kunnossapitotiimin vastuulle on tullut voimansiirtotehtaan lisäksi myös kokoonpanotehdas. Voimansiirtotehtaan laitteille on aikaisemmin tehty kunnossapitosuunnitelma, mutta kokoonpanotehtaan laitteille sellaista ei kirjallisessa muodossa ole. Kokoonpanotehtaan tarvittavat ennakkohuoltotoimenpiteet ovat olleet täysin kunnossapitäjien hallinnassa siten, että he ovat tehneet ne huoltotoimenpiteet, jotka ovat kokemuksensa perusteella havainneet tarvittaviksi ja seisokkijassa ehtineet toteuttaa. Yrityksessä on käytössä tuotannonohjausjärjestelmä, johon on kirjattu joitain ennakkohuoltoja, mutta siellä ei ole lähellekään kaikkia. Nekin jotka sinne on kirjattu, on kirjattu puutteellisesti.

3.2 Kohteen rajaus

Yrityksessä oli jo valmiiksi ajateltu rajausta siten, että kokoonpanotehtaan kunnossapitostrategia kattaisi laitteet, jotka ovat suoraan sidoksissa kokoonpanolinjaan. Muut laitteet analysoidaisiin vasta myöhemmässä vaiheessa.

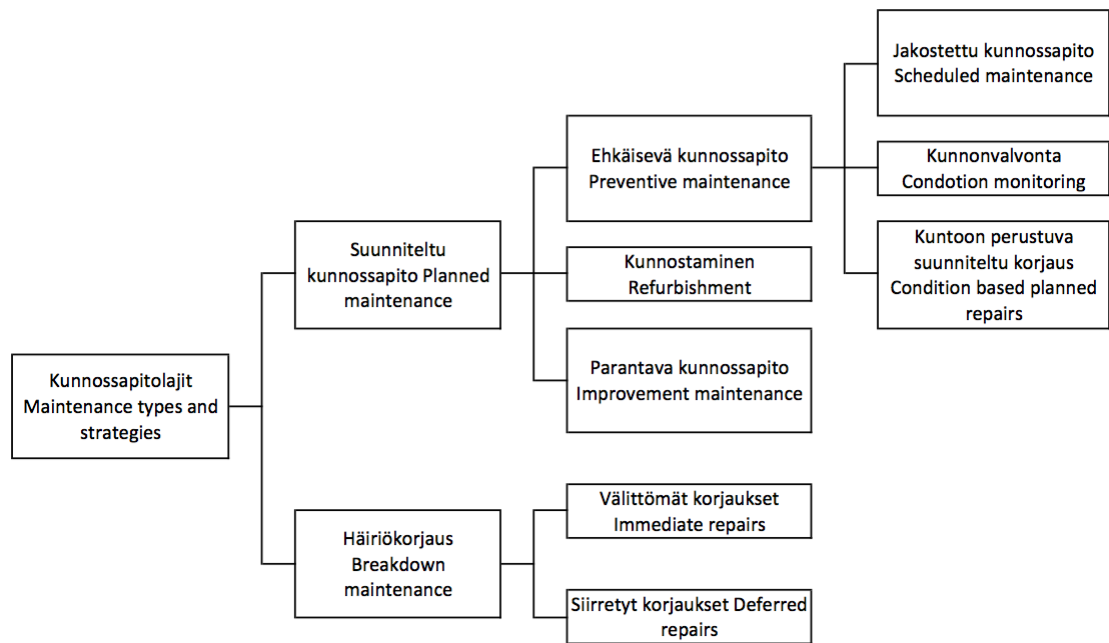
Kokoonpanolinja on noin 230 metriä pitkä ja se käsittää noin 20 kokoonpanovaihetta. Tästä voidaan arvioida laitteiden määrän olevan niin suuri, että täysimittaisen RCM-

ajattelumallin mukaisen vika- ja vaikutusanalyysin tekeminen veisi paljon enemmän aikaa kuin mitä opinnäytetyön tekemiseen voi varata. Tämän vuoksi analysoitavia laitteita oli tarpeen rajata vielä lisää. Yhdessä yrityksen henkilöstön kanssa päätettiin, että analysoitavat laitteet on priorisoitava. Priorisointi päätettiin suorittaa laitteen kriittisyyden mukaan. Kriittisyyden määrittämiseksi laitteille tehtiin kriittisyysanalyysi, jossa selvisi, että kriittisiä laitteita kokoonpanolinjassa on noin 130 kpl. Tämä oli vieläkin suuri määrä aikatauluun nähden. Tämän vuoksi päätettiin, että analyysi tehdään ensin kymmenelle tärkeimmälle laitteelle ja mitataan työhön kuluva aika. Tämän perusteella arvioidaan, kuinka kauan loppujen laitteiden analysointi kestää.

4 Kunnossapidon terminologia

4.1 Kunnossapitolajit

Kunnossapitolajeihin liittyvä terminologia ei ole täysin yksiselitteistä, vaan niiden määrittelyt ja käyttö vaihtelevat paljon. Vaihtelun vuoksi termien käyttö on haasteellista ja väärinymmärryksiä pääsee syntymään. Termien käyttöä koskevat hankaluudet vaikuttavat niin suomen kuin englannin kielessäkin. Yleisimmin käytössä olevat kansalliset ja kansainväliset standardit, jotka määrittelevät kunnossapitolajit, ovat PSK 7501 Prosessiteollisuuden tunnusluvut, PSK 6201 Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät sekä SFS-EN 13306 Maintenance. Maintenance terminology. (Mikkonen H. 2009, 98) Kuviossa 1 on esitelty standardin PSK 7501 mukainen kunnossapitolajien jaottelu, joka perustuu standardin PSK 6201 mukaiseen kunnossapidon määritelmään.



Kuvio 1. Standardin PSK 7501 mukainen kunnossapitolajien jaottelu (PSK 7501, 2010, 32)

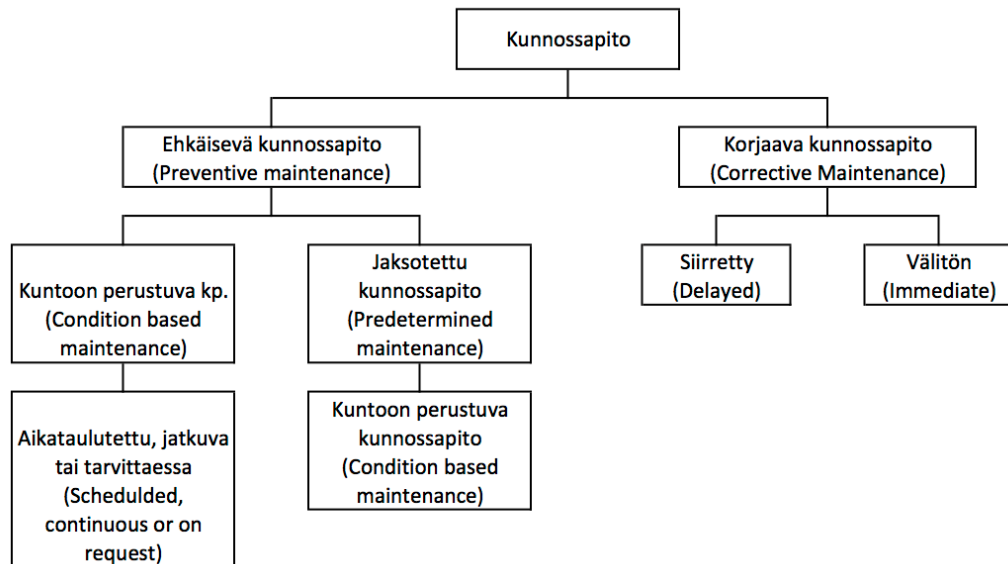
Standardin PSK 6201 mukaan ”Kunnossapidolla tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla toimitaan kohteen toimintakunto, pidetään kohde halutussa toimintakunnossa tai saadetaan se haluttuun toimintakuntoon”. (PSK 6201, 2011, 21) Tässä standardissa kunnossapito jaetaan kahteen osaan, jotka ovat suunniteltu ja suunnittelematon kunnossapito eli häiriökorjaus. Taulukossa 1 on standardin -PSK 6201 mukaiset selitteet kuvion 1 kunnossapitolajeille.

Taulukko 1. Kunnossapitolajien selitteet standardin PSK 6201 mukaan (PSK 6201, 2011, 22-24)

Kunnossapitolaji	Kuvaus
Ehkäisevä kunnossapito	Ehkäisevällä kunnossapidolla pidetään yllä kohteen käyttöominaisuuksia, palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen vian syntymistä tai estetään vaurion syntyminen
Jaksotettu kunnossapito	Ehkäisevän kunnossapidon toimenpide, joka tehdään suunnitelluin jaksotuksin esimerkiksi käyttötuntien, kalenteriajan, tuotantomäärän tai energian käytön mukaisesti.
Huolto	Jaksotetun kunnossapidon toimenpide, joka sisältää kohteen tarkastamisen, säädön, puhdistamisen, rasvauksen, öljynvaihdon, suodattimen vaihdon ja muut vastaavat toimenpiteet.
Tilanteenmukainen huolto	Jaksotetun kunnossapidon toimenpide, joka tehdään kohteen, tuotannon tai organisaation tilan salliessa.
Kunnonvalvonta	Kunnonvalvonnalla määritellään kohteen toimintakunnon nykytila ja arvioidaan sen kehittyminen mahdollisen vikaantumis-, huolto- ja korjausajankohdan määrittämiseksi. Kunnonvalvonnan toimenpiteitä ovat aistein sekä mittalaittein tapahtuvat tarkastukset ja valvonta sekä mitaustulosten analysointi. Kunnonvalvonta tuottaa lähtötietoja ehkäisevän kunnossapidon ja korjauksen suunnitteluun.
Kuntoon perustuva suunniteltu korjaus	Kunnonvalvonnalla, aistinvaraisesti ja tarkastustoiminnalla havaittujen kohteiden suunniteltu korjaus, kohteita ei havaita, niitä esim. tarkkailaan, viat havaitaan
Kunnostaminen	Kuluneen tai vaurioituneen käytöstä pois otetun kohteen palauttaminen käyttökuntoon
Parantava kunnossapito	Parantavan kunnossapidon tarkoituksena on parantaa kohteen luotettavuutta ja/tai kunnossapidettävyyttä muuttamatta kohteen toimintoa.
Häiriökorjaukset	Häiriökorjauksella palautetaan vikaantunut kohde toimintakuntoon ja käyttöturvallisuudeltaan alkuperäiseen tilaansa
Välitön häiriökorjaus	Välitön korjaus suoritetaan heti vian havaitsemisen jälkeen, jotta voidaan palauttaa toimintakunto tai rajoittaa vian aiheuttamat seuraukset hyväksyttävälle tasolle
Siirretty häiriökorjaus	Korjaus, jota ei suoriteta välittömästi vian havaitsemisen jälkeen, vaan se on siirretty tehtäväksi kohteen, tuotannon tai organisaation tilan salliessa
Korjaava kunnossapito	Korjaava kunnossapito on häiriökorjausten, kunnostamisen ja kuntoon perustuvan suunnitellun korjauksen summa
Kuntokartoitus	Kuntokartoituksen tuloksena saadaan kokonaiskuva kohteesta. Kuntokartoituksella selvitetään merkittävimmät korjaustarpeet sekä esimerkiksi muiden tarkempien tutkimusten tarve. Kuntokartoituksen terminologia on määritelty tarkemmin standardissa PSK 6202.

Standardissa SFS-EN 13306 toimenpiteet jaotellaan vian havaitsemisen mukaan.

Viialla tarkoitetaan tilaa, jossa kohde ei kykene suorittamaan vaadittua toimintoa. Ehkäisevään kunnossapitoon kuuluu kaikki ne toimenpiteet, joilla pyritään ehkäisemään komponentin pysäyttävät viat. (SFS-EN 13306, 2010, 34) Kyseisen standardin mukainen kunnossapitolajien jaottelu on esitetty kuviossa 2. Selitteet kuvion termeille on esitetty taulukossa 2.



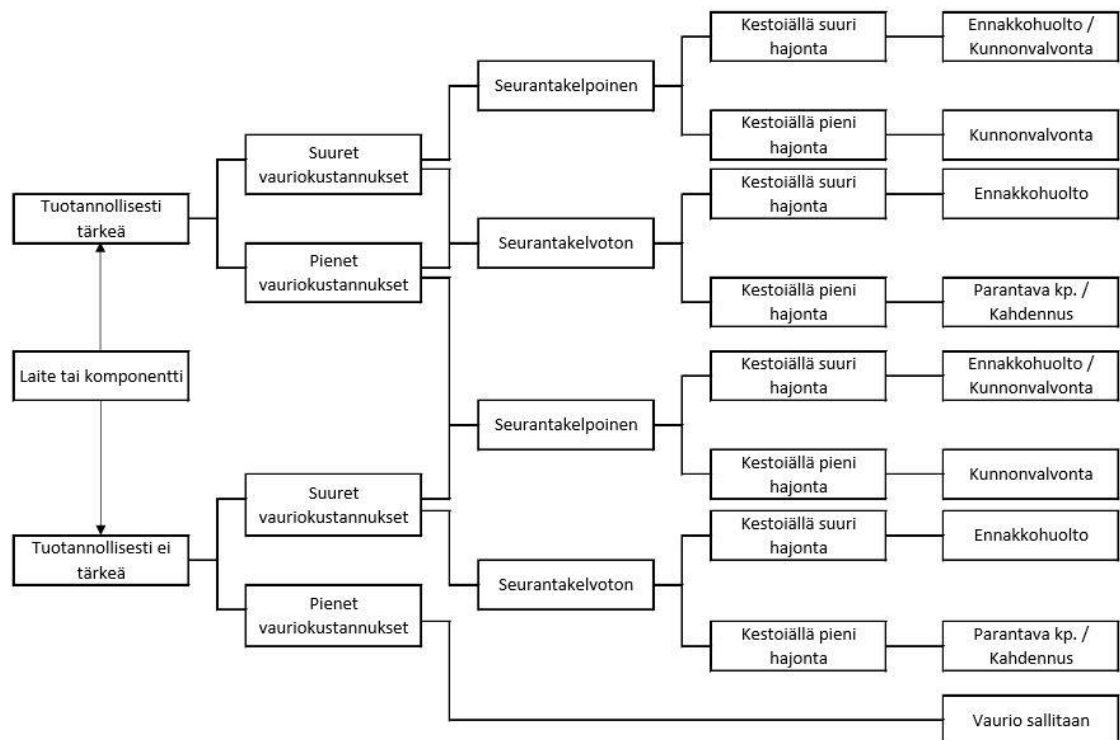
Kuvio 2. Standardin SFS-EN 13306 mukainen kunnossapitolajien jaottelu (SFS-EN 13306, 2010, 34)

Taulukko 2. Kunnossapitolajien selitteet standardin SFS-EN 13306 mukaan (SFS-EN 13306, 2010, 20-24)

Kunnossapitolaji	Kuvaus
Ehkäisevä kunnossapito (Preventive Maintenance, PM)	Ehkäisevää kunnossapitoa tehdään säännöllisin välein tai asetettujen kriteerien täytyessä. Tavoite on vähentää rikkoontumisen mahdollisuutta tai toimintakyvyn heikkenemistä
Aikataulutettu kunnossapito (Scheduled Maintenance)	Ehkäisevää kunnossapitoa, jossa tehtävien jaksottaminen perustuu aikatauluun tai työjaksojen lukumäärään
Jaksotettu kunnossapito (Predetermined Maintenance)	Ehkäisevää kunnossapitoa, jaksotus perustuu kalenteriaikaan tai käytön määrään (työjaksojen lukumäärä). Koneen kunto ei vaikuta tehtäviin toimenpiteisiin
Kuntoon perustuva kunnossapito (Condition Based Maintenance)	Ehkäisevää kunnossapitoa, jossa seurataan kohteen suorituskykyä tai suorituskyvyn parametreja ja toimitaan havaintojen mukaisesti. Seuranta voi olla aikataulutettua, jatkuvaa tai sitä tehdään tarpeen mukaan.
Ennakoiva kunnossapito (Predictive Maintenance)	Kuntoon perustuva kunnossapito, joka perustuu niiden tekijöiden tarkkailuun ja analysointiin, jotka kuvaavat kohteen suorituskyvyn heikkenemistä. Joskus käytetään myös ennustava kunnossapito.
Korjaava kunnossapito (Corrective Maintenance)	Korjaava kunnossapito, suoritetaan vikaantumisen havaitsemisen jälkeen. Tarkoitus on palauttaa toimintakunto.
Etäkunnossapito (Remote Maintenance)	Kauko-ohjattu kunnossapito, joka tehdään siten, että kunnossapitohenkilökunta ei ole suoraan tekemisissä kohteen kanssa.
Siirretty kunnossapito (Deferred Maintenance)	Viivästetty korjaava kunnossapito, joka suoritetaan vikaantumisen havaitsemisen jälkeen viivästettynä (viive sovittujen ohjeiden mukaisesti).
Välitön kunnossapito (Immediate Maintenance)	Välitön kunnossapito, suoritetaan heti vian havaitsemisen jälkeen, jotta vältytään hyväksymättömiltä seurauksilta.
Käynnin aikainen kunnossapito (On Line Maintenance)	Käynnin aikainen kunnossapito
Lähikunnossapito (On Site Maintenance)	Paikanpäällä tehtävä kunnossapito (samassa paikassa kuin kohde)
Käyttäjäkunnossapito (Operator Maintenance)	Koneen käyttäjän suorittama kunnossapito

4.2 Laitetason kunnossapitostrategia

Laitetason kunnossapitostrategialla vaikutetaan yksittäisen laitteen kunnossapidon tasoon ja siihen, millaiset toimintatavat laitteelle suunnitellaan. Laitekohtaisen kunnossapitostrategian valintaan liittyvät olennaisesti kyseisen laitteen taloudelliset, tuotannolliset ja tekniset näkökulmat sekä ympäristö- ja turvallisuusasiat. Valittavissa olevat kunnossapitostrategiat voidaan jaotella kunnossapitolajien mukaan ehkäisevään tai korjaavaan kunnossapitoon. Toimenpiteet, jotka kuuluvat ehkäisevään kunnossapitoon, ovat ennakkohoito, kunnonvalvonta ja parantava kunnossapito. Korjaavan kunnossapidon toimenpiteenä on vian salliminen. Laitetason kunnossapitostrategian valintaan vaikuttavat tekijät on esitetty yksinkertaistettuna kuviossa 3. (Mikkonen, 2009, 103; PSK 6201.)



Kuvio 3. Laitetason strategian valintataulukko (Mikkonen, 2009, 123)

4.3 Kriittisyysluokittelu

Kriittisyysluokittelun avulla voidaan arvioida järjestelmän toimintojen ja siinä käytettyjen laitteiden kriittisyys. Kriittisyysluokittelu antaa kunnossapidon, suunnittelun ja

hankinnan tarvitsemia lähtötietoja. Kriittisyysluokittelussa tulee määrittää, mikä laitteen ominaisuus on tärkein ja priorisoida laitteet sen ominaisuuden mukaan. Laitteen tärkeimpiä ominaisuuksia voivat olla esimerkiksi turvallisuus, taloudellisuus tai laki- tai ympäristövaatimukset. (Laitteiden kriittisyysluokittelu, 2012, 3.)

Laitteiden arvottamiseen on olemassa erilaisia tapoja. Yksi lähestymistapa laitteiden kriittisyyden määrittämiseksi on esittää neljä kysymystä:

1. Tapahtuuko vikaantuminen siten, että käyttöhenkilöstö ei havaitse vikaantumista normaalin käytön aikana?
2. Aiheuttaako vikaantuminen turvallisuusriskin?
3. Onko vikaantumisella merkittävä vaikutus laitteen toimintaan?
4. Onko vikaantumisella merkittävä ympäristövaikutus?

Jos yhteenkin edellä kysytyyn kysymykseen vastaus on kyllä, on kyseinen laite kriittinen. Tällaista kriittisyysmäärittelyä käytetään lentokoneteollisuudessa. (Reliability Basics 2007.)

Toinen menetelmä kriittisyyden määrittämiseksi perustuu siihen, että eri kriittisyystekijöille annetaan arvosana sen mukaan, miten todennäköinen kyseinen riski on arvioitavassa laitteessa. Kriittisyystekijöille, kuten turvallisuus, huollettavuus, käytettävyys, ympäristövaikutukset, laadun vaikutus jne., annetaan painoarvo. Saadut arvostat kerrotaan kyseisen kriittisyystekijän kanssa. Näin saadut tulot lasketaan yhteen, ja summa muodostaa kokonaispisteet laitteen kriittisyydelle. Näitä arvoja keskenään vertailemalla nähdään suoraan pisteistä kriittisimmät ja vähiten kriittiset laitteet. PSK 6800 -standardissa tämä menetelmä on esitetty perusteellisesti valmiina taulukkona kriittisyystekijöillä painoarvoineen (ks. taulukko 3). (Reliability Basics 2007.)

Taulukko 3. Standardin PSK 6800 mukainen laitteiden kriittisyysluokittelu (Loukonen & Salminen, 2014, 17)

Toimintopöytäkirjan tunnus	Toimintopöytäkirjan aihe	Väliaikais- tunnus (1..8)	Tunne- suus (0...18)	Yhteinen 0...18	Tudon- omien 0..4)	Loppu- tuotteen 0..4)	Korpu- tuotteen 0..4)	Kriittisyysluokitus		Kriittisten osien luokitus							
								K	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉
KO-246	3.PÄRISTIN YLÄTIE	3	8	0	3	2	2	2	1980	720	0	900	180	180			
KO-247	3.PÄRISTIN ALATIE	3	8	0	3	2	2	2	1980	720	0	270	180	180			
KO-250	2.KUULUUSRYHMÄN KÄYTTÖ	3	3	4	3	2	2	2	1620	540	0	270	180	120			
KO-244	1.PÄRISTIN YLÄTIE	3	4	0	3	2	3	3	1520	360	0	900	180	180			
KO-243	1.PÄRISTIN ALATIE	3	4	0	3	2	2	3	1480	380	0	900	180	180			
KO-242	2.PÄRISTIN ALATIE	2	2	8	4	2	2	2	1220	240	0	600	180	120			
KO-241	2.PÄRISTIN ALATIE	2	2	8	4	2	2	2	1080	180	0	600	180	120			
KO-239	3.PÄRISTIN KÄYTTÖ	3	2	0	2	2	2	2	1080	180	0	600	180	120			
KO-233	3.PÄRISTIN KÄYTTÖ	3	2	0	2	2	2	2	1080	180	0	600	180	120			
KO-210	VIIRAN ALATIE	2	2	4	2	2	2	2	1000	240	150	120	120	80			
KO-208	VIIRAN ALATIE	2	2	4	2	2	2	2	800	120	80	60	120	80			
KO-228	VIIRAN ALATIE	2	2	2	2	2	2	2	500	240	80	400	120	80			
KO-229	VIIRAN VETOTIE	2	2	2	2	2	2	2	560	120	80	60	120	40			
KO-234	KK 13N PÄRISTIN	2	2	2	1	2	1	1	560	60	80	60	120	40			
KO-236	3.KUULUUSRYHMÄN KÄYTTÖ	2	2	2	2	2	1	1	520	60	80	60	120	40			
KO-200	KK 1 PÄRISTIN	2	0	0	2	2	0	0	500	120	80	200	60	40			
KO-264	VIIRAN NÄRISTIN 2.KUULUUSRYHMÄ	1	4	4	2	2	2	2	470	60	80	200	90	40			
KO-257	KUULUUSRYHMÄN NÄRISTIN	1	2	4	2	2	2	2	470	60	80	200	90	40			
KO-258	KUULUUSRYHMÄN NÄRISTIN	1	2	4	2	2	2	2	470	60	80	200	90	40			
KO-251	VIIRAN JOHTOTIE	1	2	4	2	3	2	2	480	60	80	200	0	80			
KO-238	VIIRAN JOHTOTIE	2	2	2	2	0	2	2	800	240	80	120	0	80			
KO-232	VIIRAN PAJUTUSTIE	2	4	2	2	2	2	2	700	120	80	120	80	40			
KO-226	VIIRAN PAJUTUSTIE	2	2	2	2	1	1	1	700	60	80	120	80	40			
KO-225	VIIRAN PAJUTUSTIE	2	2	2	2	1	1	1	700	60	80	120	80	40			
KO-225	VIIRAN NÄRISTIN 2.PÄRISTIN	1	2	4	1	1	1	1	290	60	80	100	30	20			
KO-214	VIIRAN NÄRISTIN 3.KUULUUSRYHMÄ	1	2	2	1	2	2	2	300	60	40	100	80	40			
KO-206	VIIRAN NÄRISTIN 2.PÄRISTIN	1	2	2	1	1	1	1	250	60	40	100	30	20			
KO-210	VIIRAN NÄRISTIN 2	1	0	0	0	0	4	1	80	0	0	0	0	80			
KO-208	VIIRAN NÄRISTIN 2	1	0	0	0	2	0	0	50	0	0	0	0	80			

5 Kunnossapidon työkalut

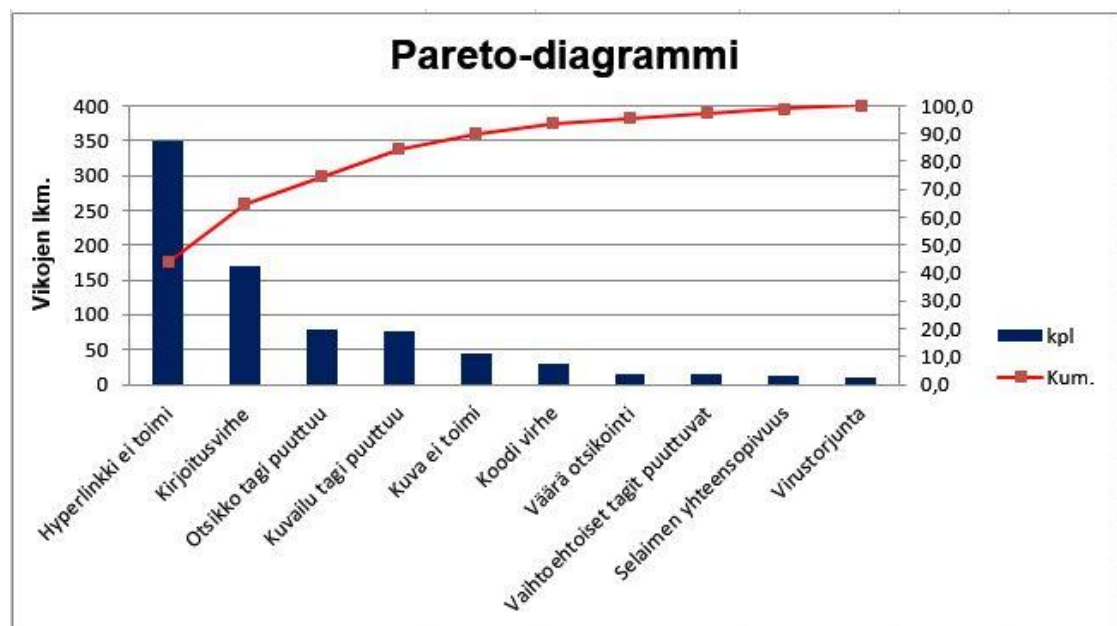
5.1 Pareto-analyysi

Sana Pareto tulee italialaisen taloustutkijan Vilfredo Paretin nimestä. Pareto oli paneutunut tutkimuksissaan syvästi hyvinvoinnin jakautumiseen. Mallinnettuaan

hyvinvoinnin jakautumisen hän havaitsi, että hyvinvointi jakautuu erittäin epätasaisesti, jopa siten, että väestöstä kahdellakymmenellä prosentilla on käytössään kahdeksankymmentä prosenttia yhteisössä olevista varoista. Pareto-diagrammi kuvaa tätä epätasaisuutta. (Karjalainen 2007.)

1940-luvulla laadun guru, J.M. Juran, käytti termiä kuuluisassa kirjassaan Quality Control Handbook ja siten toi termin laatutekniikkaan. Hän esitti, että muutamat tekijät (20 %) hallitsevat suurta määrää tekijöitä (80 %) – "the vital few and the trivial many". Ilmiö tunnetaan myös nimellä 20:80-sääntö. Juran siis yleistä Pareton periaatteen ja loi säännön. Sen mukaan esimerkiksi vain muutama laite aiheuttaa suuren määrän vikaantumisia. Tästä syystä kysymys on tärkeästä priorisointisäännöstä. Johdtopäätöksenä 20:80-säännöstä voidaan sanoa, että kaikki tekijät eivät vaikuta kaikkeen, vaikka näin usein sanotaankin. (Karjalainen 2007; Stamatis 2010, 60.)

Pareto-analyysin avulla voidaan määrittää huoltokohteet, joihin jatkuvan parantamisen toimenpiteet kannattaa keskittää parhaiden tulosten saamiseksi. Analyysi soveltuu parhaiten toiminnassa olevan järjestelmän arvioimiseen. Pareto-analyysin avulla saadaan selkeä ja helppolukuinen pylväskaavio, josta selviävät kohteen yleisimmät viat, kuten kuviosta 4 voidaan nähdä.



Kuvio 4. Esimerkki Pareto-diagrammi (alkup. kuvio ks. Haughey N.d.)

Analyysin tehokkuutta jatkuvan kehittämisen työkaluna aliarvioidaan usein sen yksinkertaisen rakenteen vuoksi. Yleinen olettaimus on, että näin yksinkertainen työkalu ei

kykene vikadatan kriittiseen tarkasteluun. Kuitenkin analyysin hyvänä puolena on se, että sillä saadaan koottua muista jatkuvan kehittämisen työkaluista saatu vikadata yhteen, ja sitä kautta sillä saadaan oikea tieto kohteen yleisimmistä vioista. Tällä tavoin saadaan aiemmin tehtyjen analyysien aikana syntyneet olettamukset ja arviot kohteen yleisimmästä vioista oikaistua vastaamaan todellista tilannetta. (Stamatis 2010, 106.)

Pareto-diagrammin käytössä on oltava tarkkana, sillä yksinkertaisuudestaan huolimatta (tai juuri sen ansiosta) diagrammia on mahdollista tulkita väärin. (Karjalainen E.2007) Diagrammia tulkitessa on mahdollista mennä sekaisin 20:80-säännön eri tekijöissä. On totta, että 20:80-sääntö voidaan muotoilla myös toisinpäin, eli suurta määrää tekijöitä (80 %) hallitsevat muutamat tekijät (20 %). Tämän vuoksi Pareto-analyysin käytössä pitää olla tarkkana, etteivät hallitsevat ja hallittavat tekijät mene keskenään sekaisin. Muutoin tulkitsija perustaa päätöksensä virheellisen tiedon varaan. Tämä voi johtaa siihen, että hankkeella tavoitellut päämäärät eivät täyty.

Mikäli Pareto-analyysin tulokseksi saadaan reilu poikkeama 20:80-sääntöön verrattuna, on tällöin Pareto-analyysissä jotain pahasti pielessä. Asioita, jotka aiheuttavat Pareto-diagrammiin suurta poikkeumaa 20:80-säännöstä, voidaan kutsua analyysissä tehtäviksi virheiksi. Näitä virheitä voi syntyä siitä, miten diagrammin syyluokittelu on toteutettu tai miten vikoja on mitattu. (Karjalainen E. 2007)

5.2 Reliability Centered Maintenance - RCM

RCM on lyhenne sanoista Reliability Centered Maintenance, joka tarkoittaa suomeksi luotettavuuskeskeistä kunnossapitoa. Sen tarkoituksena on luoda kunnossapito-ohjelma, jonka avulla laitteiston turvallisuus, käytettävyys ja taloudellisuus paranevat.

RCM muodostuu perusaskelista ja niiden suorittamisesta tietyssä järjestyksessä.

Nämä perusaskleet ja niiden järjestys ovat seuraavat:

1. Määrittele järjestelmän ja/tai osajärjestelmän rajat.
2. Määrittele jokaisen järjestelmän/osajärjestelmän toiminnot.
3. Tunnista toiminnallisesti merkittävät kohteet.
4. Tunnista jokaisen kohteen osalta toiminnallisen vikaantumisen syyt.

5. Arvioi vikaantumisen vaikutukset ja niiden todennäköisyys.
6. Luokittele toiminallisesti merkittävien kohteiden vikaantumisen vaikutukset päätöslogiikan avulla.
7. Määritä soveltuvat ja tehokkaat kunnossapitomenetelmät, jotka muodostavat kunnossapito-ohjelman.
8. Jos soveltuvaa menetelmää ei löydy, suunnittele uudelleen laitteet tai prosessi.
9. Muodosta dynaaminen kunnossapito-ohjelma, jonka päivittäminen on systemaattista ja rutiininomaista ja jota kehitetään valvomalla, keräämällä ja analysoimalla kunnossapitotietoja.

(Moubray J., 1997, 7; Smith A. & Hinchcliffe G. 2004, 71.)

Olennainen osa RCM:ää on Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi (VVKA), joka käsittää RCM:n perusaskeleet 2 – 5. Tätä analyysia tarkastellaan myöhemmin lisää. Kohdan kuusi määrittämiseksi tarvittava päätöslogiikka on osa RCM-teoriaa. Päätöslogiikan tarkoituksena on selvittää, onko vika näkyvä vai piilevä ja onko siitä aiheutuvien seurausten vaikutukset taloudellisia, ympäristöllisiä vai turvallisuutta vaarantavia. (Moubray J. 1997, 127.) Soveltuvat kunnossapitomenetelmät voidaan valita luvussa 4.2 esitetyn kuvion 3 mukaisesti.

5.3 Vika- ja vaikutusanalyysi - VVA

RCM-analyysin yhteydessä suoritettava vika- ja vaikutusanalyysi on suunnittelun työkalu, jolla voidaan systemaattisesti tunnistaa kohteen heikkoudet. Vika- ja vaikutusanalyysillä pyritään nimensä mukaisesti löytämään kaikki mahdolliset tavat, joilla kohde voi vikaantua sekä arvioimaan niiden vaikutukset kohteen toimintaan. Vika- ja vaikutusanalyysia on mahdollista laajentaa Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysiksi (VVKA, FMECA), jolloin analyysissä huomioidaan myös kohteen kriittisyys ja turvallisuusriskit. Kriittisyysanalyysi (Criticality Analysis - CA) on myös mahdollista tehdä omana analyysinä. Tässä opinnäytetyössä kohteen rajauksen yhteydessä on tehty erillinen kriittisyysanalyysi, minkä vuoksi VVKA:n tekeminen aiheuttaisi turhaa työtä. Tämän vuoksi tässä työssä käytetään VVA:ta.

VVA:n näkyvin hyöty on se, että sen avulla saadaan tunnistettua toimenpiteet, joilla saadaan mahdolliset vikaantumiset joko eliminoitua kokonaan tai ainakin niiden esiintymisen todennäköisyyttä ja seurausten vakavuutta saadaan vähennettyä. Tämän lisäksi VVA tarjoaa mahdollisuuden tutustua prosessiin tarkasti ja VVA:n avulla saavutetulla kohteen paremmalla tuntemisella osataan paremmin arvioida kohteen käyttäytymistä erilaisissa tilanteissa. Oikein suoritettuna VVA tarjoaa paljon arvokasta tietoa kustannustehokkaan kunnossapitosuunnitelman ja keskitetyn huolto-ohjelman tekemiseen.

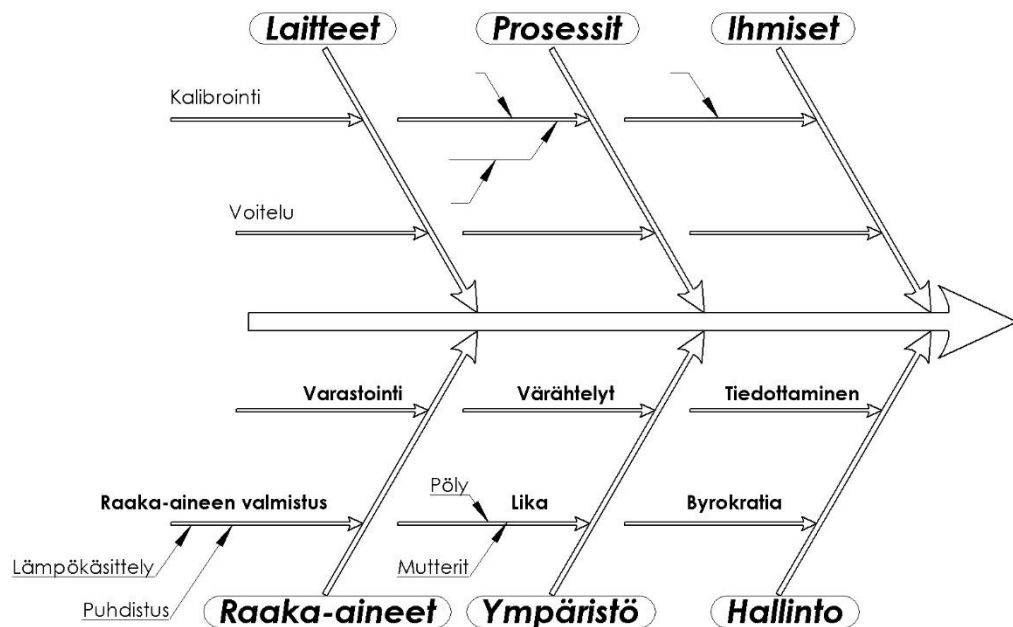
Vaikka VVA on parhaimmillaan suunnitteluvaiheessa, jossa kohdetta voidaan helposti muokata analyysissä havaittujen puutteiden perusteella, soveltuu VVA aivan yhtä hyvin myös valmiin järjestelmän jatkuvaan parantamiseen, kun analyysi tehdään aina uudestaan kohteen tai kohteeseen vaikuttavien asioiden muuttuessa. Tällä tavoin saadaan parannettua kohteen tehokkuutta, vähennettyä kunnossa- ja ylläpitokustannuksia sekä kasvatettua tuottavuutta. Näistä seikoista seurauksena on se, että kansainvälinen kilpailukyky paranee. (Blanchard, Verma & Peterson 1995, 236.)

Ennen varsinaista vika- ja vaikutusanalyysin ensimmäisen vaiheen tekemistä tulee analysoidun järjestelmän toiminta ymmärtää hyvin. Järjestelmän toiminnan ymmärtämiseksi tulee selvittää, mitä jokaisen järjestelmässä olevan toiminnon halutaan tekevän. Tämän lisäksi on tärkeää selvittää toimintojen ei-halutut toiminnot. Tämän lisäksi järjestelmästä voidaan tehdä toimintolohkokaavio (Function Block Diagram - FBD), josta selviävät toimintojen keskinäiset vaikutukset toisiinsa ja niiden hierarkkinen järjestys. Toimintolohkokaavion tarkoituksena on selkeästi kuvata prosessin eri vaiheet. FBD:n avulla uuteen prosessiin tutustuminen helpottuu, koska siitä nähdään helposti eri laitteiden keskinäiset suhteet ja prosessijärjestys. (Smith & Hinchcliffe 2004, 176)

Vika- ja vaikutusanalyysin ensimmäisessä vaiheessa selvitetään laadullisin tutkimusmenetelmin analysoidun kohteen yksittäisten osien tai osakokoonpanojen erilaiset potentiaaliset vikaantumistavat. Vikaantumistapoja kutsutaan yleisesti vikamuodoksi, joilla pyritään kuvaamaan vikaantuneen laitteen tila. Venttiilin vikamuoto voi siis esimerkiksi olla vaikka ”ei aukea” tai ”ei sulkeudu”. Vikamuodolla pyritään kuvaamaan, mitkä laitteen toiminnan kannalta välttämättömät toiminnot on menetetty. Vikamuoto tulisi määrittää riittävän tarkasti, jottei vikaantumisen syyn määrittämisestä

koituisi ongelmaa analyysin etenemiselle. Jos vikamuodon kuvaus on tasoa ”ei toimi” tai ”rikki”, on melko mahdoton tehtävä määrittää, mistä se voisi johtua. Aivan toisin on asia, jos vikamuodon kuvaus olisi esimerkiksi ”venttiili jumissa”. (Smith A. & Hinchcliffe 2004, 52; Blanchard Ym. 1995, 240.)

Analyysin seuraavassa vaiheessa määritellään tapahtumat, jotka voivat aiheuttaa vikamuodon. Tarkoituksena on tunnistaa kaikki mahdolliset vian aiheuttajat. Tätä vaihetta suoritettaessa aikaisempi kokemus samanlaisesta järjestelmästä on hyödyksi. Aikaisemman kokemuksen lisäksi muita tapoja erilaisten vikaantumistapausten selvittämiseksi on esimerkiksi Ishikawan syy-seurausdiagrammi, joka tunnetaan myös nimellä kalanruotokaavio. Se on esitelty kuviossa 5. Ishikawa-diagrammi voi osoittautua hyvinkin tehokkaaksi työkaluksi vikojen syitä määrittettäessä. Se on systemaattinen lähestymistapa sekä graafinen esitystapa, joka esittää erilaiset vikaantumiseen vaikuttavat tekijät.



Kuvio 5. Ishikawa-kalanruotokaavio (Blanchard ym. 1995, 241, muokattu)

Kun vikojen syyt ovat selvinneet, on analyysin seuraavassa vaiheessa päämääränä selvittää vikaantumisen seuraukset. Vikaantuminen vaikuttaa usein sekä laitteen että koko kohteen suorituskykyyn ja tehokkuuteen. Vika- ja vaikutusanalyysia tehtäessä onkin syytä ottaa huomioon vian vaikutus seuraavan tason toimintaan sekä koko kohteen toimintaan määrittämällä vikaantumisten seuraukset sen prosessin kan-

nalta, jossa vikaantuva laite on, sekä valmiin tuotteen loppukäyttäjän kannalta. Tämän jälkeen analyysissä on tarkoituksena määrittää tavat, joilla vikaantuminen havaitaan. (Blanchard Ym. 1995, 240.) Standardissa SAE J1739 on taulukko, jonka avulla voidaan suorittaa vika- ja vaikutusanalyysi prosessiteollisuudessa. Kun edellä kuvatun RCM-analyysin yhteydessä tehtävässä vika- ja vaikutusanalyysissä ajatellaan toimien ja toiminnallisten vikojen kautta vikamuotoja, standardin SAE J1739 esittelemä VVA-tilauslomake alkaa puolestaan komponenttien vikamuotojen määrittelystä. Tämä taulukko on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Standardin SAE J1739 mukainen VVA-lomake (alkup. taulukko ks. SAE J1739 N.d.)

Kohde:		Vastuu henkilö:		Sivu		1 / 1								
Vuosimalli/ajoneuvo:		Takaraja:		Tekijä:		VVA luotu (alkup.) (Ver.)								
Tiimin jäsenet:														
Kohde	Vikamuoto	Vian vaikutus	Huo- n- o- s- m-	Vian aiheuttaja	Tehdyt analyysit	Havaittujen vikojen luokitus	Suositellut toimenpiteet	Toteuttaja & Koska valmis	Toimenpiteen vaikutus					
									Todennäköisyys	Havaittujen vikojen luokitus	Käytettävissä	Käytettävissä		

Taulukko ei täysin vastaa RCM-ajattelumallin mukaista VVA:ta, joten sitä ei voida suoraan hyödyntää. Tämän vuoksi tässä opinnäytetyössä luodaan RCM-ajattelumallin mukainen VVA-tilauslomake. VVA-tilauslomaketta luotaessa voidaan hyödyntää standardin SAE J1739 mukaisen VVA-lomakkeen ulkoasua soveltuvin osin sekä Smithin luomaa RCM-ajattelumallin mukaista VVA-tilauslomaketta, joka on esitetty taulukossa 5. Tätä työtä varten luotu taulukko esitellään luvussa 6.4 Vika- ja vaikutusanalyysi.

Taulukko 5: RCM-ajattelumallin mukainen VVA-tilaus (alkup. taulukko ks. Smith 1993, 85)

RCM-Järjestelmän analyysi						
Askel 5: Vika- ja vaikutusanalyysi		Ver. nro.:	Pvm:			
Toiminnallinen vika nro.:		TV:				
Tehtas:		Tehtaan ID:				
Järjestelmän nimi:		Järjestelmän ID:				
Analyysin tekijä:						
Komponentti	Vikamuoto	Vian syy	Vikaantumisen vaikutukset			Onko vika piilevä?
			Paikallinen	Järjestelmä	Tehdas	

5.4 Aistit kunnossapidon työkaluna

5.4.1 Aistinvarainen kunnonvalvonta

Ihmisellä on viisi aistipiiriä, jotka ovat näkö, kuulo, haju, maku ja tunto. Näiden lisäksi ihmisellä on liike- ja tasapainoaistit. Kunnossapidon kannalta tärkeitä aisteja ovat näkö-, kuulo-, haju- ja tuntoaisti. (Mikkonen H. 2009, 419)

Kunnonvalvonnassa on pitkään käytetty hyödyksi aistihavaintoja. Aistihavaintoja voidaan hyödyntää mm. kuuntelemalla laakeriääniä kepin avulla, kokeilemalla koneenosien lämpöä ja tunnustelemalla jaloilla tai kädellä koneen värähtelyä. Vaikka nykyisin kunnonvalvontaan käytetään paljon tekniikaltaan kehittyneitä työkaluja, ei silti tule aliarvioida aistihavaintojen merkitystä nykyaikaisessa kunnossapidossa. Automaattisen kunnonvalvonnan lisäksi laitetta kannattaa valvoa myös aistinvaraisesti. Yhä nykyäänkin lukumääräisesti suuri osa koneista on pelkästään aistinvaraisen valvonnan piirissä, osittain siitä syystä, että kunnonvalvonnan automatisointi on kallista, sekä siitä syystä, että aistinvaraisesti voidaan havaita laitteen toimintakunto riittävän hyvin käyttökohteen olosuhteet huomioiden. Koska aistinvaraista valvontaa käytetään yhä laajasti, ovat siinä käytettävät apuvälineet kehittyneet. (Mts. 418.)

Aistinvaraisessa kunnonvalvonnassa on hyvä tuntee aistien toiminnan pääpiirteet, aistien herkkyyteen vaikuttavat tekijät, aistien käyttötavat kunnonvalvonnassa, apuvälineiden käyttö aistien tukena sekä koneiden toimintatavat. Hyvä on myös ymmärtää aistien ja apuvälineiden käytön rajoitteet, apuvälineiden toiminta ja koneiden viikaantumisasiömiöt. Aistinvaraisen kunnonvalvojan tulee osata suorittaa aistinvaraista kunnonvalvontaa, käyttää apuvälineitä, tulkita aistinvaraisia havaintoja ja oireita sekä niiden muutoksia, yhdistää eri lähteistä saamia tietoja ja havaintoja sekä raportoida havaintoja. Aistinvaraisen kunnonvalvojan ammattitaidon lisäksi tarvitaan kunnonvalvontasuunnitelma. Suunnitelmassa tulee huomioida seuraavat asiat: kuka valvontaa toteuttaa, mitä koneita valvotaan, miten valvonta tehdään, mitä apuvälineitä käytetään, miten havainnot raportoidaan ja miten raportointia hyödynnetään. (Mts. 427.)

5.4.2 Näköaisti

Asiat, joita näemme heijastavat tai säteilevät valon eri aallonpituuksia. Kun aallot saapuvat silmän verkkokalvolle, reagoi tähän ärsykkeeseen silmän aistinsolut lähettämällä signaaleja eteenpäin aivoihin. Silmän verkkokalvolle tulee jatkuvasti uusia asioita, mutta vain pieni osa näistä aistimuksista nousee tietoisuuden tasolle. Katseen kohdistaminen onnistuu vain yhteen asiaan kerrallaan, mutta samanaikaisesti aivot käsittelevät näkökentän reuna-alueelta tulevaa informaatiota tiedostamattamme sitä. (Sinkkonen, Kuoppala, Parkkinen & Vastamäki 2006, 70.)

Yksityiskohdat ihminen näkee vain noin viiden asteen alueelta. Tämän vuoksi näköhavaintojen tekeminen perustuu silmien liikutteluun sekä pään ja vartalon kääntämiseen. (Mts. 70.)

Ihmisen ikääntyessä näkö alkaa heikentyä. Jo keski-iässä kyky kohdistaa katse eri etäisyyksille alkaa heiketä. Tästä seuraa ikänäkö eli pitkänäköisyys. Ikääntymisen myötä myös näkö tarkkuus heikkenee. Näkö tarkkuuden heikentymistä voidaan kompensoida varmistamalla riittävä tekstin ja taustan välinen kontrasti. Paras kontrasti saavutetaan mustalla tekstillä valkoisella pohjalla. Ohuet viivat sulautuvat helposti taustaan, jolloin ne häviävät näkyvistä. Tämän vuoksi fonttikoon tulee olla riittävän

iso ikääntyneelle ihmiselle. Erityisesti näöntarkkuutta heikentää huono valaistus. Ääreisnäkö alkaa heiketä jo keski-iässä, mutta vasta yli 75-vuotiailla se alkaa olemaan ongelma. (Mts. 70-71.)

5.4.3 Näköaistin käyttö kunnossapidon työkaluna

Aistien käyttöä kunnossapidon työkaluna voidaan tehostaa käyttämällä apuvälineitä aistien tukena. Näköaistille tukena voidaan käyttää valoa, vettä, öljyä tai muuta nestettä, suurennuslasia, jauhetta, suurikontrastista paperia (esim. valkoinen), peilejä, endoskooppia sekä kameroita tai suurnopeuskameroita. (Mikkonen 2009, 422.)

Näköaistia voidaan hyödyntää kunnonvalvonnassa melko laajasti. Näköhavainnoilla voidaan havaita laitteessa esiintyvä ei-haluttu vuoto. Aluksi vuoto näkyy laitteen pinnassa olevana vuotokohdan kosteutena. Hieman pidemmälle edennyt vuoto näkyy tiputuksena. Jos tiputtavaa vuotoa ei voida korjata, voidaan sitä kuitenkin tarkkailla pitämällä kirjaa siitä, montako tippaa tulee minuutissa. Tiputtamista isompaa vuotoa voidaan tarkkailla keräämällä neste mitta-astiaan. (Mts. 422.)

Myös liitoksia voidaan tarkkailla näköaistin avulla. Jos liitos alkaa löystyä, voi sen nähdä irtoavana maalina, ruosteena tai mutterina. Apuvälineenä liitoksen tarkkailussa voidaan käyttää nestettä, kuten vettä tai öljyä. Nesteen levittäminen liitoskohtaan aiheuttaa sen, että liitoksen löystyessä neste alkaa väräillä ja nesteen väräily voi havaita suhteellisen helposti verrattuna irronneeseen maalin tai ruosteeseen. Laitteen ympäristöä tarkkailemalla on myös mahdollista havaita laitteesta irronneita osia. (Mts. 422.)

Jotta näköhavainnot olisivat vertailukelpoisia, on syytä ottaa huomioon seuraavat asiat: valaistuksen on oltava riittävä ja jokaisella havaintokerralla yhtä voimakas ja samasta suunnasta, valaistuksen suuntauksen tulee olla oikeasta suunnasta siten, etteivät heijastukset hankaloita havainnointia tai peitä vikoja sekä tarkkailun tulee olla oikealta etäisyydeltä kohteesta huomioiden sen, että tarkka näkökenttä on vain viisi astetta. (Mts. 422.)

Vaakasuoran pinnanvärähtelyn havainnointiin voidaan käyttää jauhetta siten, että levitetään pinnalle erottuvan väristä jauhetta tasaiseksi levyksi. Tämän jälkeen annetaan jauheen ajan kuluessa kerääntyä pinnalle juoviksi. Näin syntyneiden juovien kohdalla pinnanvärähtely on heikompaa kuin muualla pintaa. Kohtia, joissa värähtely on verrattain pientä, voidaan hyödyntää mm. suunniteltaessa lisätuentaa tai asennettaessa värähtelylle herkkiä laitteita kyseiselle pinnalle. (Mts. 422.)

Näköhavainnoin voi tehdä myös yksinkertaista öljynlaadun tarkkailua. Öljystä voidaan näköaistin avulla tarkkailla määrää, virtausta, väriä, vaahtoamista ja epäpuhtauksia. Epäpuhtauksia voidaan tarkkailla laittamalla öljyä valkoisen paperin päälle, jolloin epäpuhtaudet erottuvat paremmin. (Mts. 422.)

Stroboskoopilla voidaan tarkkailla käynnissä olevan koneen pyöriviä osia, jotka ovat näkyvissä ilman suojarakenteiden purkamista. Kun stroboskooppivalon välkkymistaajuus asetetaan samalle taajuudelle tarkasteltavan kohteen pyörimistaajuuden kanssa, näyttää pyörivä laite pysähtyvän, jolloin sen kunnan näkee helposti vaikka laite on käynnissä. Kun stroboskooppivalon välkkymistaajuutta alentaa hieman, näyttää kohde siltä, kuin se alkaisi hiljaa pyöriä. Tällöin voi käydä visuaalisesti pyörivän kohteen kokonaisuudessaan läpi. Stroboskooppia voi hyödyntää mm. akselikytkimien, puhaltimen siipipyörien ja hihnakäyttöjen kunnonvalvonnassa. (Mts. 422.)

Ihmisen pimeänäköä voidaan hyödyntää kunnonvalvonnassa. Menetelmä perustuu siihen, että mahdollisimman pimeässä annetaan silmän adaptoitua noin 10 - 15 minuuttia hämärään, jonka aikana silmän pimeänäköherkkyys paranee. Tämän jälkeen ihminen pystyy havaitsemaan pieniäkin määriä valoa tuottavia partikkeleita, joita ei muilla menetelmillä voida havaita. (Mts. 423.)

5.4.4 Kuuloaisti

Ääni on erilainen media kuin kuva ja siksi se pystyykin välittämään sellaista informaatiota, jota kuva ei pysty. Äänen avulla ihminen kykenee tunnistamaan tapahtumia, kuten sade ropisee katolle, kiilahihna luistaa, alkava laakerivika ja voimakas sähköpurkaus. Ihminen kuulee kaikki ympärillään olevat äänet, joten ääniltä välttyminen on mahdotonta. Ääni on aikaan sidottua, joten sitä ei voi pysäyttää tai ainakaan py-

säytetystä äänestä ei ole mitään hyötyä. Kuuloaisti on ääniä erotteleva, joten taustamelusta huolimatta ihminen kykenee erottamaan yksittäisiä ääniä, kuten esimerkiksi linnun laulun, tai keskittymään keskusteluun puheen sorinan keskellä. (Sinkkonen ym. 2006, 72.)

Näkö- ja kuuloaistit eivät ole toisiaan poissulkevia vaan ne päinvastoin täydentävät toisiaan. Työmuistin yhteydessä ihmisellä on visio-spatiaalinen varasto, johon tallentuu mielessä oleva kuva. Fonologiseen silmukkaan taasen tallentuu puhe. Luetun tekstin ihminen käsittelee eräänlaisena sisäisenä puheena. Tämän vuoksi tekstin lukeminen ja toisen kuunteleminen yhtä aikaa ei onnistu, koska ne häiritsevät toisiaan. (Mts. 73.)

Kuulo heikkenee iän myötä. Koetut kuulovauriot nopeuttavat kuulon heikkenemistä. Huonokuuloisuus voi olla muutakin kuin sitä, että kuulee äänet hiljaisempina kuin mitä ne todellisuudessa ovat. Tämän lisäksi saattaa olla, että korkeat äänet vääristyvät tai jopa voimistuvat. Huonokuuloiselle erityisen hankalaa on erottaa yksittäiset äänet taustamelusta. Sävelkorkeuden ja äänilähteen paikantaminen vaikeutuu iän myötä. (Mts. 73.)

5.4.5 Kuuloaistin käyttö kunnossapidon työkaluna

Kuuloaistin hyödyntäminen kunnonvalvontaan edellyttää paljon tietoutta ja kokemusta. Kunnonvalvonnassa kuuloaistin tukena käytetään melko usein apuvälineitä, kuten keppiä, stetoskooppia, akustista koetinta, ultraäänikoetinta tai nauhuria. Apuvälineet mahdollistavat kuuloaistin käytön muutoin mahdottomissa ympäristöissä. (Mikkonen 2009, 424.)

Ihmiselle luontaista on se, että ihmisen muistiin tallentuu kaikki aikaisemmin kuullut äänet. Uuden äänen kuullessaan vertaa ihminen sitä aikaisemmin kuultuihin ääniin, jotka ovat tallentuneet muistiin. Kunnonvalvonnassa tästä ominaisuudesta on hyötyä. Kuuloaistin varassa tapahtuvassa kunnonvalvonnassa on syytä ottaa huomioon seuraavat asiat:

- Ympäristöstä tulevat haittaäänet hankaloittavat oikeiden äänien kuulemista.

- Ympäristön muutokset vaikuttavat tilan akustiikkaan, jolloin äänimaisema muuttuu ja asiat voivat kuulostaa hyvinkin erilaiselta.
- Sääolosuhteiden muutokset vaikuttavat ääniin.
- Kuulosuojainten käyttö on monissa paikoissa pakollista melun takia.
- Äänen kuuntelussa on pyrittävä systemaattisuuteen, jotta ainut muutos äänessä eri kuuntelukertojen välillä johtuisi vain kuunneltavasta kohteesta ja sen muutoksista.
- Äänien tulkintaa varten pitää tutkittavan laitteen rakenne ja sen toiminta tuntea tarkkaan. (Mts. 424.)

Kuuntelun apuvälineistä yksinkertaisin on kuuntelukeppi, joka voi olla esimerkiksi puukeppi tai ruuvimeisseli. Kun kepin toinen pää painetaan valvottavaan kohteeseen ja toinen korvaan, välittyy kohteen värähtelyt keppiä myöten suoraan korvaan. Tällöin myös ympäristöstä aiheutuva meluhaitta vähenee. (Mikkonen 2009, 424.)

Kuuntelukepistä kehittyneempi versio on stetoskooppi. Stetoskoopissa on vaihdettava koetinkärki, joka painetaan kuunneltavaa kohdetta vasten. Kohteen värähtelyt välittyvät stetoskoopin letkuja pitkin korvaan, jolloin korva tunnistaa värähtelyt äänenä. (Mts. 424.)

Stetoskooppia parempi kuuntelulaite on akustinen koetin, jossa vaihdettavasta koetinkärjestä värähtely johdetaan korvan sijasta vahvistimeen, jonka avulla saadaan äänenvoimakkuus säädettyä halutulle tasolle. Tällä tavoin saadaan ympäristöstä aiheutuva meluhaitta minimoitua ja voidaan keskittyä valvottavan kohteen äänen kuunteluun. (Mts. 424.)

5.4.6 Tuntoaisti

Tuntoaistilla ihminen havaitsee mm. kosketuksen, lämpötilan, paineen, kivun ja kehon asennon. Mekaaninen solukalvojen painuminen aiheuttaa tuntoaistimuksen, joten tuntoaistisolut kuuluvat mekanoreseptoreihin. Mekanoreseptoreja, jotka aistivat tuntoaistia ovat iholla, lihaksissa, nivelissä ja sisäelimissä. Niiden määrä vaihtelee kehonosien välillä, joten esimerkiksi selässä niitä on huomattavasti harvemmassa kuin sormissa. (Mikkonen 2009, 421-422.)

Meissnerin keräset ovat iholla olevia mekanoreseptoreja, jotka havaitsevat kaikkein kevyimmät kosketukset ja ne tottuvat kosketukseen herkästi. Tämä on oleellista esimerkiksi sen vuoksi, ettemme jatkuvasti aistisi vaatteiden kosketusta ihollamme. Tämän Meissnerin kerästen ominaisuuden vuoksi yleensä pyörittelemme esineitä kädessämme, ettemme lakkaisi tuntemasta niiden pintaa. Näin kävisi, mikäli pitelsimme niitä paikallaan. (Mts. 422.)

Merkelin kiekot ovat iholla olevia mekanoreseptoreja, jotka aistivat pidempiaikaista kosketusta ja mukautuvat kosketukseen hitaammin kuin Meissnerin keräset. Pacinin keräset ovat hivenen syvemmällä ihossa ja ne aistivat herkästi värinää, mutta myös tottuvat siihen nopeasti. Pacinin keräsiä on myös syvemmällä kehossa. (Mts. 422.)

5.4.7 Tuntoaistin käyttö kunnossapidon työkaluna

Tuntoaistijärjestelmä on ihmisellä kovin monimutkainen. Kunnonvalvonnassa tuntoaistia voidaan käyttää erityisesti värinän, lämpötilan ja kaasuvuotojen tarkkailuun. Tuntoaistin tukena voidaan käyttää apuvälineitä, kuten lämpötarra, lämpöliitu, vesi ja kolikko. Tuntoaistin käytössä on syytä ottaa huomioon seuraavat ominaisuudet ihmisen tuntoaistijärjestelmässä: tuntoaistin herkkyys on erilainen kehon eri osissa, tuntoaisti ihon pinnassa toimii vain lyhyen kosketusajan, kylmässä tuntoaistin toiminta heikkenee, tuntoaisti reagoi herkemmän matalataajuiseen kuin korkeataajuiseen värähtelyyn, värähtelyn valvontaan tuntoaisti on harvoin riittävä menetelmä, lämpötilan valvonnassa tuntoaistin yläraja on 50 °C ja vuotojen valvonnassa täytyy tietää vuotavan aineen vaarallisuus. (Mikkonen 2009, 425.)

Lämpötilojen valvonnassa tuntoaisti on hyvä menetelmä oikein käytettynä ja sitä käytetäänkin paljon kunnonvalvonnassa. Valvottaessa lämpötilaa tulee kosketuksen olla kevyt ja hetkellinen, koska ihon pinnassa olevat Meissnerin keräset ovat herkäät ja niiden kautta tuleva aistimus häipyä nopeasti. Kun lämpimään kohteeseen kosketaan ensimmäistä kertaa, on syytä ensin kostuttaa käsi, jottei iho palaisi. Kun lämpötila on noin 50 °C, tuntuu kosketus polttavalta. Tämä on hyödyllinen raja koneiden kunnonvalvonnassa, sillä esimerkiksi laakeripesän lämpötilan pysyessä alle tämän rajan on tilanne yleensä hyvä. Lämpötilan noustessa yli tämän rajan tarvitaan lämpötilan val-

vontaan muita menetelmiä työturvallisuus näkökohdista johtuen. Apuvälineenä voidaan käyttää mm. lämpötarraa tai lämpöliitua. Niiden toiminta perustuu siihen, että ennalta määritetyn lämpötilan ylittyessä lämpöliitu/-tarra vaihtaa väriään. (Mts. 425.)

Kaasuvuotojen havaitsemisessa voidaan hyödyntää kämmenen selkäpuolen herkkää tuntoaistia. Tuntoherkkyyttä voidaan parantaa kostuttamalla iho. Värähtelyä voidaan arvioida tuntoaistin avulla jonkin verran. Parhaiten tuntoaistilla havaitaan taajuudeltaan alle 200 Hz:n värähtelyt. Tuntoaistilla voidaan koneesta hakea kohtaa, joka värähtelee voimakkaimmin. Myös koneiden kiinnityskohtia voidaan tutkia kiinnitysten rajakohtia koskettamalla. (Mts. 426.)

Vaakasuuntaisin värähtelyn arvioimisessa voidaan apuvälineenä käyttää eri paksuisia kiekkoja. Kiekkoja voidaan hyödyntää siten, että asetetaan kiekko kyljelleen tarkkailtavalle pinnalle ja katsotaan, kuinka ohut kiekko pysyy pystyssä pinnan päällä. Kiekoille voidaan ennalta määrittää värähtelyn raja-arvot mittaamalla taajuus, jolla tietyn paksuinen kiekko kaatuu. Vaakasuuntainen värähtely koneissa on yleensä voimakkaampaa kuin pystysuuntainen. Tämän vuoksi vaakasuuntainen värähtely kertoo koneen toimintatilasta enemmän kuin pystysuuntainen värähtely. (Mts. 426.)

5.4.8 Hajuaistin käyttö kunnossapidon työkaluna

Hajuaisti luokitellaan kemialliseksi kaukoistiksi. Jotta haistamista tapahtuisi, täytyy hajumolekyylin liikkeessaan ärsyttää hajusoluja. Hengitysilmassa olevat kemialliset aineet joutuvat limakalvolle ja ärsyttävät hajusoluja. Aistirata alkaa hajuaistinsoluista ja päättyy isoivojen kuorikerroksen hajualueelle, mikä on osa tunne-elämää säätelevää keskusta. Hajusoluja ihmisellä on noin tuhat erilaista, joista jokaisessa on vain yhtä hajureseptoria. (Mikkonen 2009, 421.)

Hajuaistin avulla voidaan havaita vuotoja ja tunnistaa vuotava aine. Vuotavan aineen tunnistamisesta on se hyöty, että siitä voidaan päätellä, mistä vuoto on peräisin sekä miten vaarallista se on. Myös ylikuumennut kone voidaan tunnistaa hajun perusteella. Hajuaistin käyttöön kuitenkin liittyy turvallisuus riskejä ja sen vuoksi on tunnettava hajuaistin avulla tunnistettavien aineiden terveydelle haitalliset ominaisuudet sekä huomioitava työturvallisuus näkökohdat. (Mts. 427.)

6 Opinnäytetyön toteutus

Opinnäytetyö aloitettiin perehdytysjaksolla, jonka aikana tutustuttiin tehtaan toimintaan ja layouttiin sekä selvitettiin pääpiirteissään käytettävissä olevan datan laajuus. Tämän jälkeen tehtiin laiteluettelo ja kriittisyysanalyysi. Kriittisistä laitteista selvitettiin Pareto-analyysillä eniten vikoja aiheuttaneet laitteet yrityksessä kirjatun vikadatan avulla. Vikadataa täytyi kuitenkin ensin analysoida, jotta sitä saatiin käsiteltyä siten, että vikadatasta selvisi jokaisen yksittäisen laitteen aiheuttama katko-aika. Tämän tiedon avulla voitiin Pareto-analyysin avulla määrittää laitteet, joille tehtiin vika- ja vaikutusanalyysi. Jotta VVA:lla saataisiin luotettavia tuloksia, pitäisi siinä käytettävän datan olla luotettava. Tämän vuoksi ennen VVA:n tekemistä arvioitiin käytettävissä olevan vikadatan luotettavuus. VVA:n tuloksista koostettiin ennakkohuoltotoimenpiteet omaan taulukkoonsa. Tämän tiedon perusteella jokaiselle laitteelle määritettiin oma huolto-ohjeensa. Huolto-ohjeet aikataulutuksineen syötettiin kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmään kunnossapito henkilöstön työn helpottamiseksi sekä jälkiseurannan mahdollistamiseksi.

6.1 Perehtyminen

Opinnäytetyön toteuttaminen aloitettiin kaksi viikkoa kestäneellä perehtymisjaksolla, jonka aikana tutustuttiin linjan toimintaan ja layouttiin sekä käytettävissä olevaan dataan. Linjan toiminnan selvittäminen aloitettiin tekemällä toimintolohkokaaviot linjan eri osioista. Toimintolohkot ovat nähtävillä liitteessä 1. Toimintolohkokaavioissa ei ole esitetty kaikkia linjan toimintoja, sillä niiden tarkoituksena on selvittää linjan toiminnot ja aputoiminnot pääpiirteissään.

Ensimmäisen perehtymisviikon aikana selvisi, että kaikista linjan laitteista koostuvaa laiteluettelo yrityksessä ei ole valmiina saatavilla, vaan sellainen täytyisi tehdä. Toisin jonkinlainen laiteluettelo löytyi yrityksen kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmästä. Kovin hyödyllinen se ei opinnäytetyön kannalta ollut, sillä laiteluettelo oli puutteellinen ja laitehierarkia oli sekava.

Sekavuutta hierarkiassa aiheutti se, että laitteiden nimeämisessä ei ollut havaittavissa selkeää logiikka. Toisinaan jokaiselle laitteelle oli annettu yksilöllinen nimi ja toisinaan taas laiteryhmä oli yhdistetty saman nimen alle. Esimerkiksi siirtosylinterit, joita yrityksessä on seitsemän, oli nimetty asiallisesti tyyllillä K4245/Siirtosylinteri 1 ja K4246/Siirtosylinteri 2 jne., kun taas kokoonpanovaunut, joita yrityksessä on 46 kappaletta, oli nimetty K4613/Kokoonpanovaunut.

Yrityksen kokoonpanolinja on jaettu alueittain alkunauhaan, keskinauhaan, välinauhaan ja loppunauhaan. Kyseisen laiteluettelon hierarkiassa taasen kokoonpanolinja, alkunauha, keskinauha, välinauha ja loppunauha ovat kaikki samalla tasolla. Mielestäni alkunauhan, keskinauhan, välinauhan ja loppunauhan olisi pitänyt olla kokoonpanolinjan tason alla, jotta hierarkia olisi ollut tältä osin looginen. Laiteluettelon jaottelua kuitenkin perusteli hieman se, että toiminnanohjausjärjestelmässä nauhoilla viitataan vain fyysiseen ketjukuljettimeen, jonka tarkoituksena on kokoonpanovaunun kuljettaminen linjalla, ja se, että jokainen nauha muodostaa oman koneensa. Edelleen hämmennystä kuitenkin jäi aiheuttamaan se, että kokoonpanolinjatason alta löytyy laite, jonka nimi on K4022/Kokoonpanolinja. Myöhemmin selitykseksi tälle selvisi, että kyseinen laite kuvastaa koko linjaa ohjaava logiikka. Edellä mainittujen ongelmien lisäksi käytössä olevassa hierarkiassa oli mukana myös käytöstä poistuneita laitteita. Näiden syiden takia ei aiempi laiteluettelo ollut käyttökelpoinen tätä työtä varten.

Toisen perehtymisviikon alussa aloitettiin laiteluettelon tekeminen käymällä linja yksityiskohtaisesti läpi osio kerrallaan. Mahdollisimman kattavan laiteluettelon saamiseksi käytiin linjan jokainen osio läpi kahdesti: ensin linjan siitä osiosta vastuussa olevan tuotannon esimiehen kanssa ja sen jälkeen vielä kunnossapitäjän kanssa. Tällä tavoin saatiin talteen sekä tuotannon että kunnossapidon näkemykset eri laitteista sekä niiden tärkeydestä ja toiminnasta. Laiteluettelo tehtiin käymällä linja läpi yhdessä kunnossapitohenkilön ja tuotannon esimiesten kanssa. Linja käytiin läpi kolmessa osassa tuotannon esimiesten vastualueiden mukaan.

Laiteluetteloä tehtäessä luotiin laitehierarkia. Tehty laitehierarkia pohjaa standardiin PSK 7102. Laiteluetteloä tehtäessä jotkin laitteet jouduttiin nimeämään. Laitteen nimeämisessä pyrittiin kiinnittämään huomiota siihen, että nimi olisi mahdollisimman kuvaava.

6.2 Kriittisten laitteiden määrittely

Opinnäytetyön alkuvaiheessa oli suunniteltu, että kunnossapitosuunnitelma tehtäisiin kaikille kokoonpanolinjan laitteille, koska yhdellekään kokoonpanolinjassa olevalle laitteelle ei ole aiemmin tehty kunnossapitosuunnitelmaa. Kokoonpanolinja muodostuu useista prosesseista ja aliprosesseista. Joidenkin prosessien vikaantumisen aiheuttaa suurempia henkilö-, ympäristö- tai aineellisia vahinkoja kuin toisten laitteiden vikaantuminen. Koska kokoonpanolinjassa on vikaantumisen seurausten kannalta kriittisiä ja vähemmän kriittisiä laitteita eikä aikaisempia ennakkohuolto-suunnitelmia ole, tulee uudet kunnossapitosuunnitelmat tehdä laitteiden kriittisyysjärjestyksessä.

Samaan aikaan yrityksessä oli meneillään toinenkin opinnäytetyö, jonka tarkoituksena oli selvittää kriittisten varaosien varastointistrategia sekä kokoonpano- että voimansiirtotehtaan laitteille. Laitteiden kriittisyyden määrittämiseksi päätettiin luoda systemaattinen tapa, jota voitaisiin hyödyntää molemmissa opinnäytetöissä. Tarkoituksena olisi kyetä arvioimaan yrityksen kaikki laitteet nopeasti ja tasavertaisesti ottaen huomioon niin aineelliset kuin henkilö- ja ympäristövahingotkin.

Systemaattisen arviointitavan luomiseksi päätettiin pitää palaveri, johon osallistuivat molempien opinnäytetöiden tekijät sekä yrityksen kunnossapitopäällikkö. Palaverissa päätettiin kriittisyyden luokitteluksi luoda taulukko, jonka avulla laitteiden kriittisyys voitaisiin määrittää mahdollisimman yksinkertaisesti ja kaiken kattavasti. Kokoonpanotehdas muodostuu pääosin kokoonpanolinjasta, kun taas voimansiirtotehdas muodostuu pääosin koneistussoluista. Tämän vuoksi näiden hallien konekannat ovat täysin erilaiset.

Valmiiden kriittisyysanalyysien, kuten esimerkiksi standardin PSK 6800 mukaisen kriittisyysanalyysin, käyttäminen tässä yhteydessä koettiin liian monimutkaiseksi. Valmiit analyysit muodostuvat monista eri vaiheista ja jokaisessa vaiheessa on monta kohtaa. Molempien tehtaiden yhteenlaskettu laitemäärä on useita satoja, joten monivaiheinen analyysi veisi liikaa aikaa opinnäytetyölle asetettuun aikatauluun nähden. Tämän lisäksi valmiit analyysit pyrkivät käsittelemään kokoonpanolinjaa prosessin omaisesti ja koneistamoaa kappaletavaramaisesti. Tässä tapauksessa niitä haluttiin käsitellä mahdollisimman samanlaisesti kriittisten varaosien määrittämistä varten.

Näistä syistä palaverissa päädyttiin räätälöimään edellä määritetyt vaatimukset täytävä kriittisyysanalyysi.

Kriittisyysanalyysin luomisessa ensimmäiseksi määritettiin, mitä kriittisyydellä tarkoitetaan tässä yhteydessä. Sen jälkeen voitiin asettaa raja kriittisen ja ei-kriittisen vikaantumisen seurauksen välille. Raja määritettiin tuotantolinjan käynnin kannalta. Mikäli laite vikaantuessaan pysäyttää tuotantolinjan ja näin ollen aiheuttaa tuotantokatkon, on laite kriittinen.

Se, kuinka pitkäksi aikaa linja pysähtyy vikaantumisen vuoksi, vaikuttaa siihen, miten kriittinen laite on kyseessä. Vikaantumisen seuraus voi olla muutakin kuin se, että laite on rikki eikä kykene suorittamaan siltä vaadittua toimintoa. Vikaantumisen seurauksena voi esimerkiksi työturvallisuus tai ympäristö vaarantua niin pahasti, ettei tuotantoa voi jatkaa. Tämä johtaa kokoonpanolinjan pysähtymiseen, minkä vuoksi kyseinen laite nousee kriittiseksi. Tällä tavoin kriittisyysanalyysi pyrkii huomioimaan mahdollisimman laajasti kaikki vikaantumisen eri seuraukset, jotta kriittisiksi laitteiksi tulisivat laitteet, joiden vikaantumisen seuraukset ovat edes vähissä määrin vakavia.

Vaikka kokoonpanotehdas ja voimansiirtotehdas ovat fyysisesti eri halleissa, voitiin voimansiirtotehtaan laitteiden kriittisyys silti määrittää kokoonpanotehtaan kokoonpanolinjan toimivuuden mukaan. Tämä tukee tavoitetta tehdä kriittisyysanalyysistä soveltuva yrityksen kaikille laitteille. Kriittisyysanalyysi kokonaisuudessaan on esitetty liitteessä 2. Kriittisyysanalyysiä tehtäessä tarkentui jo aiemmin aloitettu laiteluettelo liitteen 3 mukaiseksi.

6.3 Vikadatan keruu ja analysointi

6.3.1 Vikadatan tarkastelu

Yrityksessä oli vikadataa kerätty puolentoista vuoden ajalta. Taulukossa 6 on esitetty esimerkki yrityksessä kerätystä vikadatasta. Vikadata sisältää tiedot vikaantumisen ajankohdasta, kestosta, paikasta, vian syystä ja mahdollisesti vian ehkäisemiseksi suositelluista toimenpiteistä. Nämä asiat hyvälaatuisesta vikadatasta pitäisikin selvittää.

Vikadataa tarkemmin tarkasteltaessa huomataan siinä olevia puutteita. Kun taulukosta 6 tarkastellaan tarkemmin 9.3.2015 alkunauhalla tapahtunutta vikaa ”alkunauha jumi”, voidaan havaita, että vika on tapahtunut asemalla ”alkunauha” ja vian syy on ”alkunauha jumi”. Korjaavista toimenpiteistä voidaan päätellä alkunauhan jumittumisen johtuneen ylimääräisistä tavaroista. Vikadatasta ei kuitenkaan selviä, että missä nämä ylimääräiset tavarat sijaitsivat ja minkä laitteen toiminnan ne estivät. Linjan tunteva voi kuitenkin päätellä, että linjalla ollut ylimääräinen tavara on jumittunut kokoonpanovaunun pyörän eteen tai nauhaa pyörittävän vetoaseman hammasrattaan ja ketjun väliin tai jotenkin muutoin jumittanut alkunauhan liikkeen siten, että vetoaseman momenttivahti on pysäyttänyt linjan ja täten aiheuttanut tuotantokatkon. Tästä huolimatta esimerkin vikailmoitus on huonolaatuinen, koska siitä ei yksiselitteisesti ole selvitettävissä vioittunut laite eikä vikaantumistapa. Tämä hankaloihtaa oikean ennaltaehkäisevän huoltotoimenpiteen määrittämistä.

Taulukko 6. Esimerkki vikadatatista

Linjan häiriöt 2015				VTAA VTAL VTAO			
Päivämäärä	Alkoi	Loppui	Kesto	Asema	Luokitus	Syy	Korjaavat toimenpiteet / What
					1= osan laatuviika 2= osapuute 3= vajaa miehitys 4= osaaminen 5= vika rakenteessa 6= tekniikka / työkalu 7= muu 8= IT / tiedonsiirto		
2.3.2015	8:19:56	8:20:21	0:00:25	VTAA-L-07	6	momenttiavain oli kotiasemassa huonosti, asennettava jäykemmät jouset	asennettava jäykemmät jouset
2.3.2015	14:41:27	14:43:36	0:02:09	Maalaamo	6	T4 kuormain konetta maalattaessa robotti otti johonkin kiinni ja teki Limit 4:en	ohjelman pisteet otettu ylös ja seurataan mihin ottaa kiinni
9.3.2015	8:46:46	8:47:32	0:00:46	Alkunauha	6	Alkunauha jumi	siisteys ja järjestys
10.3.2015	7:24:13	7:28:47	0:04:34	VTAL-L-16B	6	Rengasvääntimelle tuli OSE error, ja sitä ei saanut siirrettyä kotiasemaan, aseman kuittauksen käytettiin haulottea	Pidetty väännintä hetken aikaa sammuksissa ja käynnistetty uudestaan jolloin se alkoi toimimaan
8.4.2015	11:41:16	11:42:25	0:01:09	VTAA-L-01	6	momenttiavain ei ollut kotiasemassa	
8.4.2015	14:37:56	14:40:54	0:02:58	OP 8	6	Jarrukone saatiin huollettua ja jarrujen teko alkoi myöhässä	
9.4.2015	8:03:25	8:12:42	0:09:17	Maalaamo	6	lakkapumppu ei pysynyt päällä	ilmattu

Vikadatatassa on myös hyvälaatuisia vikailmoituksia. Esimerkiksi taulukossa näkyvä 9.4.2015 maalaamolla tapahtunut vika ”lakka pumppu ei pysynyt päällä”, joka on korjaantunut ilmaamisella, on esimerkki hyvästä vian kirjauksesta. Tästä ilmoituksesta

selviää, että lakkapumppu on vikaantunut eli toisin sanottuna saadaan selville vikaantunut laite. Lisäksi ilmoituksesta selviää tapahtuma, joka on aiheuttanut vikaantumisen, eli ylimääräisen ilman päätyminen järjestelmään. Näiden tietojen avulla osataan kyseisen vikaantumisen ennaltaehkäisemiseksi miettiä tapoja, joilla ilman päätyminen järjestelmään voidaan estää.

Kun verrataan esimerkkejä hyvästä ja huonosta tavasta ilmoittaa vikaantuminen, huomataan yksi selkeä ero niiden väliltä. Hyvästä ilmoituksesta selviää vikaantunut laite, kun taas huonosta ilmoituksesta selviää se laite, jonka toiminta on estynyt jonkun toisen laitteen vikaantumisen takia. Toisin sanottuna huonosta ilmoituksesta selviää vian syyn sijaan vian aiheuttama oire. Huonolaatuista vikadataa sokeasti seuraamalla päädytään hoitamaan vian oireita eikä niiden aiheuttajaa. Tämän vuoksi on tärkeää, että vikadatasta saadaan selville vikaantunut laite.

Aina vian juurisyy ei ole nopeasti saatavilla ja joskus sen selvittämiseen vaaditaan erillinen analyysi. Tässä tapauksessa asiaa kuitenkin veisi eteenpäin jo se, jos päästäisiin eroon siitä, että vikadatan perusteella potentiaalisia vian juurisyytä voi olla useita. Huomattavasti tätä hyödyllisempää on tietää se, että juurisyytä ei tiedetä. Tämän tiedon avulla osattaisiin tarvittaessa lähteä selvittämään juurisyytä tarkemmin. Äskettäin esitettyjen tavoitteiden saavuttamiseksi voitaisiin kyseisen lomakkeen ”asema” sarake nimetä uudelleen tai sen rinnalle voitaisiin luoda uusi sarake ”laite”. Tämä varmistaisi sen, että jokaisesta viasta tiedettäisiin vikaantunut laite, mikä rajaa mahdollisuutta päätyä hoitamaan vikaantumisen oireita. Tämän lisäksi kohdan ”syy” täyttämiseksi voitaisiin lisätä ohjeistus, että siinä kohdassa pitäisi käydä ilmi tapahtuma, joka on aiheuttanut vian. Jos kyseistä tapahtumaa ei osata määrittää, tulisi siihen kohtaan kirjoittaa ”ei tiedossa” siitä syystä, että sen tiedon avulla osataan kyseisen vikaantumisen juurisyyhyn paneutua tarkemmin tarvittaessa. Näillä toimenpiteillä vähennettäisiin vikadatan jatkotarkastelussa tarvittavan arvailun määrää ja todennäköisesti päädyttäisiin parempiin tuloksiin.

6.3.2 Vikadatan lajittelu

Vikadatan lajittelu tehtiin siten, että ensimmäiseksi vikadatasta poimittiin vain tekniset viat datassa olevan luokituksen mukaan. Tämän jälkeen tekniset viat lajiteltiin ja

värikoodattiin aseman mukaan. Lajittelu ja värikoodaus on esitetty taulukossa 7, johon on koottu pieni otanta koko vikadatasta. Liitteistä 4-9 nähdään vikadata ja sen käsittelyn vaiheet kokonaisuudessaan. Vikadatan lajittelu ja värikoodaus tehtiin tässä vaiheessa siitä syystä, että ne selkiyttivät vikadatan lukemista. Jaottelu tehtiin aseman mukaan, koska sen tiedon perusteella osattiin vikaantumisen sijoittaa tehtaan layouttiin.

Taulukko 7. Vikadatan käsittelyn vaihe 1, lajittelu aseman mukaan

PHASE 1						
Päivämäärä	Alkoi	Loppui	Kesto	Asema	Luokitus	Syy
29.1.2015	13:08:53	13:09:40	0:00:47	Etuakselin asennus	6	akselinostin ei kultaantunut automaattisesti
15.1.2015	12:01:17	12:02:17	0:01:00	Etuakselin asennus	6	Etuakselinostin jumissa jättopaikalla, jouduttiin ajamaan alas jotta saatiin toimimaan. Tämän seurauksena etuakselin asennus viivästyi
13.1.2015	7:17:43	7:22:08	0:04:25	Etuakselin asennus	6	Etuakselinostin herkesi nostamasta, kun nostettavana oli painavin akseli paketti, säädettiin nostorajaa suuremmaksi.
1.4.2015	6:18:06	6:22:01	0:03:55	VTAL-L-16	6	Renkaan kiristin sähkövika / nauhan tiellä
10.3.2015	13:42:47	13:43:34	0:00:47	VTAL-L-16	6	Takarengasnostin ei ollut kotiasemassa, korjaus toimenpiteet käynnissä
6.3.2015	14:11:21	14:13:05	0:01:44	VTAL-L-16	6	rengasväännin oli kotiasemassa huonosti
27.1.2015	13:35:31	13:36:32	0:01:01	VTAL-L-16	6	rengasväännin ei ollut kotiasemassa
6.5.2015	14:06:45	14:07:32	0:00:47	VTAL-L-16A	6	rengasväännin ei ollut kotiasemassa
10.3.2015	7:24:13	7:28:47	0:04:34	VTAL-L-16B	6	Rengasvääntimelle tuli OSE error, ja sitä ei saanut siirrettyä kotiasemaan, aseman kuittauksen käytettiin haulottea
5.5.2015	11:54:59	11:57:29	0:02:30	OK 5	6	OK 5 taajuusmuuntaja häiriö
9.4.2015	11:56:44	11:59:09	0:02:25	OK 5	6	OK 5 taajuusmuuntaja häiriö
2.4.2015	9:28:55	9:31:21	0:02:26	OK 5	6	OK 5 taajuusmuuntaja häiriö
15.1.2015	9:42:59	9:43:28	0:00:29	OK 5	6	OK 5 taajuusmuuntaja häiriö
6.5.2015	13:48:42	13:51:26	0:02:44	OP 8	6	vaihteistoolijyn täytössä viivettä
8.4.2015	14:37:56	14:40:54	0:02:58	OP 8	6	Jarrukone saatiin huollettua ja jarrujen teko alkoi myöhässä
4.5.2015	11:54:09	11:54:27	0:00:18	VTAL-L-11	6	jäähdytysnesteiden täyttö myöhässä laitteiden tempuilun vuoksi
3.3.2015	12:25:06	12:26:12	0:01:06	VTAL-L-11	6	momenttiavain oli kotiasemassa huonosti
23.2.2015	8:33:59	8:38:03	0:04:04	P&F1	6	keräilykuljetin ei liikkunut
28.5.2015	12:11:57	12:17:57	0:06:00	P&F1	6	Keräilykuljetin jumissa 1 SY 11
20.2.2015	11:39:12	11:40:25	0:01:13	VTAA-L-06	6	vaihe ei valmistunut vaiheajassa, jono haastava
20.2.2015	14:27:38	14:27:59	0:00:21	VTAA-L-06	6	Momenttiavain oli kotiasemassa huonosti
23.4.2015	7:14:48	7:15:54	0:01:06	VTAA-L-07	6	Momenttiavain oli kotiasemassa huonosti
2.3.2015	8:19:56	8:20:21	0:00:25	VTAA-L-07	6	momenttiavain oli kotiasemassa huonosti, asennettava jäykemmät jouset
18.2.2015	11:21:18	11:21:38	0:00:20	VTAA-L-07	6	Momenttiavain oli kotiasemassa huonosti
23.1.2015	7:29:08	7:30:31	0:01:23	VTAA-L-07	6	Momenttiavain oli kotiasemassa huonosti
20.1.2015	8:44:30	8:44:59	0:00:29	VTAA-L-07	6	Momenttiavain oli kotiasemassa huonosti

Tämän jälkeen värikoodausta ja järjestystä muutettiin siten, että sama väri yhdistää saman vikaantuneen laitteen sekä samat vikaantuneet laitteet ovat lähekkäin. Tämä vaihe täytyi tehdä käsin, koska samanlainen laite on voinut vikaantua monella asemalla eikä vikadatatassa ole seurattu erikseen vikaantuneita laitteita, vaan vikaantuneen laitteen voi päätellä vian syyn kuvauksesta. Taulukossa 8 on esitetty tämän vaiheen aiheuttamat muutokset taulukon 7 vikadatalle.

Taulukko 8. Vikadatan käsittelyn vaihe 2, lajittelu laitteen mukaan

PHASE 2						
1.4.2015	6:18:06	6:22:01	0:03:55	VTAL-L-16	6	Renkaan kiristin sähkövika / nauhan tiellä
10.3.2015	13:42:47	13:43:34	0:00:47	VTAL-L-16	6	Takarengasnostin ei ollut kotiasemassa, korjaus toimenpiteet käynnissä
6.5.2015	14:06:45	14:07:32	0:00:47	VTAL-L-16A	6	rengasväänin ei ollut kotiasemassa
10.3.2015	7:24:13	7:28:47	0:04:34	VTAL-L-16B	6	Rengasvääntimelle tuli OSE error, ja sitä ei saanut siirrettyä kotiasemaan, aseman kuittauksen käytettiin haulottea
20.2.2015	14:55:27	14:57:12	0:01:45	OK 5	6	OK 5 taajuusmuuntaja häiriö
11.2.2015	8:11:54	8:13:29	0:01:35	OK 5	6	OK 5 taajuusmuuntaja häiriö
15.1.2015	9:11:44	9:19:06	0:07:22	OK 5	6	OK 5 taajuusmuuntaja häiriö
15.1.2015	9:42:59	9:43:28	0:00:29	OK 5	6	OK 5 taajuusmuuntaja häiriö
6.5.2015	13:48:42	13:51:26	0:02:44	OP 8	6	vaihteistodijujen täytössä viivettä
8.4.2015	14:37:56	14:40:54	0:02:58	OP 8	6	Jarrukone saatiin huollettua ja jarrujen teko alkoi myöhässä
4.5.2015	11:54:09	11:54:27	0:00:18	VTAL-L-11	6	jäähdytysnesteiden täyttö myöhässä laitteiden tempuilun vuoksi
3.3.2015	12:25:06	12:26:12	0:01:06	VTAL-L-11	6	momenttiavain oli kotiasemassa huonosti
12.5.2015	11:43:33	11:45:46	0:02:13	Loppunauha	6	Jarrujen ilmauslaitteen korjausta
12.5.2015	12:30:55	12:34:35	0:03:40	Loppunauha	6	Jarrujen ilmauslaitteen korjausta
23.2.2015	8:33:59	8:38:03	0:04:04	P&F1	6	keräilykuljetin ei liikkunut
28.5.2015	12:11:57	12:17:57	0:06:00	P&F1	6	Keräilykuljetin jumissa 1 SY 11
20.2.2015	11:39:12	11:40:25	0:01:13	VTAA-L-06	6	vaihe ei valmistunut vaiheajassa, jono haastava
20.2.2015	14:27:38	14:27:59	0:00:21	VTAA-L-06	6	Momenttiavain oli kotiasemassa huonosti
23.4.2015	7:14:48	7:15:54	0:01:06	VTAA-L-07	6	Momenttiavain oli kotiasemassa huonosti
2.3.2015	8:19:56	8:20:21	0:00:25	VTAA-L-07	6	momenttiavain oli kotiasemassa huonosti, asennettava jäykemmät jouset
8.4.2015	11:41:16	11:42:25	0:01:09	VTAA-L-01	6	momenttiavain ei ollut kotiasemassa
23.1.2015	11:28:01	11:30:19	0:02:18	VTAA-L-01	6	liitoksen kiristämiseen tarvittava työkalu oli jumissa
3.3.2015	9:20:26	9:20:55	0:00:29	VTAA-L-04	6	momenttiavain lakkasi toimimasta se ei enää kiristänyt
17.2.2015	14:05:47	14:06:06	0:00:19	VTAA-L-04	6	Momenttiavain oli kotiasemassa huonosti
12.1.2015	7:55:49	8:03:22	0:07:33	VTAA-L-04	6	AGV pyöri piruettia paikallaan ja ei tuonut etuakselia jättöpaikalle -> akseli ajettiin käsiajolla jättöpaikalle ja AGV rupesi toimimaan virtojen katkaisemisen jälkeen.
27.4.2015	12:53:02	12:54:38	0:01:36	Etuakselin asennus	6	AGV jumissa ja kaksi tyhjää palettia jättöpaikalla
17.4.2015	9:28:52	9:29:45	0:00:53	Etuakselin asennus	6	tyhjän akselin pukin tiedot oli hävinnyt palautusasemalta
8.4.2015	9:50:31	9:51:44	0:01:13	Etuakselin asennus	6	AGV oli jumissa

Kun vikadata on lajiteltu laitteiden mukaan, tarkennettiin sen jälkeen lajittelua siten, että laitteessa olevat eri komponentit merkitään omalla värillään. Tämän toteuttaminen käytännössä taulukon 8 laitteille selviää taulukosta 9.

Taulukko 9. Vikadatan käsittelyn vaihe 3, lajittelu työkalun mukaan

Renkaan kokoonpano						
pvm	Alkoi	Loppui	Kesto	Asema	Luokitus	Syy
1.4.2015	6:18:06	6:22:01	0:03:55	VTAL-L-16	6	Renkaan kiristin sähkövika / nauhan tiellä
10.3.2015	13:42:47	13:43:34	0:00:47	VTAL-L-16	6	Takarengasnostin ei ollut kotiasemassa, korjaus toimenpiteet käynnissä
6.3.2015	14:11:21	14:13:05	0:01:44	VTAL-L-16	6	rengasväännin oli kotiasemassa huonosti
27.1.2015	13:35:31	13:36:32	0:01:01	VTAL-L-16	6	rengasväännin ei ollut kotiasemassa
6.5.2015	14:06:45	14:07:32	0:00:47	VTAL-L-16A	6	rengasväännin ei ollut kotiasemassa
10.3.2015	7:24:13	7:28:47	0:04:34	VTAL-L-16B	6	Rengasväänntimelle tuli OSE error, ja sitä ei saanut siirrettyä kotiasemaan, aseman kuittauksen käyttöön haloitte
OK 5						
5.5.2015	11:54:59	11:57:29	0:02:30	OK 5	6	OK 5 taajuusmuuntaja häiriö
9.4.2015	11:56:44	11:59:09	0:02:25	OK 5	6	OK 5 taajuusmuuntaja häiriö
2.4.2015	9:28:55	9:31:21	0:02:26	OK 5	6	OK 5 taajuusmuuntaja häiriö
Nestetäytöt						
6.5.2015	13:48:42	13:51:26	0:02:44	OP 8	6	vaihteistoöljyn täytössä viivettä
8.4.2015	14:37:56	14:40:54	0:02:58	OP 8	6	Jarrukone saatiin huollettua ja jarrujen teko alkoi myöhässä
4.5.2015	11:54:09	11:54:27	0:00:18	VTAL-L-11	6	jäähdytysnesteen täyttö myöhässä laitteiden tempuilun vuoksi
12.5.2015	11:43:33	11:45:46	0:02:13	Loppunauha	6	Jarrujen ilmauslaitteen korjausta
12.5.2015	12:30:55	12:34:35	0:03:40	Loppunauha	6	Jarrujen ilmauslaitteen korjausta
P&F Keräily						
23.2.2015	8:33:59	8:38:03	0:04:04	P&F1	6	keräilykuljetin ei liikkunut
28.5.2015	12:11:57	12:17:57	0:06:00	P&F1	6	Keräilykuljetin jumissa 1.SY 11
Momenttiavain						
20.2.2015	14:27:38	14:27:59	0:00:21	VTAA-L-06	6	Momenttiavain oli kotiasemassa huonosti
23.1.2015	11:28:01	11:30:19	0:02:18	VTAA-L-01	6	liitoksen kiristämiseen tarvittava työkalu oli jumissa
9.4.2015	10:26:57	10:27:16	0:00:19	VTAA-L-04	6	momenttiavain ei ollut kotiasemassa
3.3.2015	9:20:26	9:20:55	0:00:29	VTAA-L-04	6	momenttiavain lakkasi toimimasta se ei enää kiristänyt
Rocla AGV						
27.4.2015	12:53:02	12:54:38	0:01:36	Etuakselin asennus	6	AGV jumissa ja kaksi tyhjää palettia jättöpaikalla
17.4.2015	9:28:52	9:29:45	0:00:53	Etuakselin asennus	6	tyhjän akselin pukin tiedot oli nävinnyt palautusasemalta
8.4.2015	9:50:31	9:51:44	0:01:13	Etuakselin asennus	6	AGV oli jumissa

Rengasväännin
Rengasnostin

Taajuus-
muuntaja OK5

Vaihteistoöljy
Jarrukone
Jäähdytysneste
Jarrujen
ilmauslaite

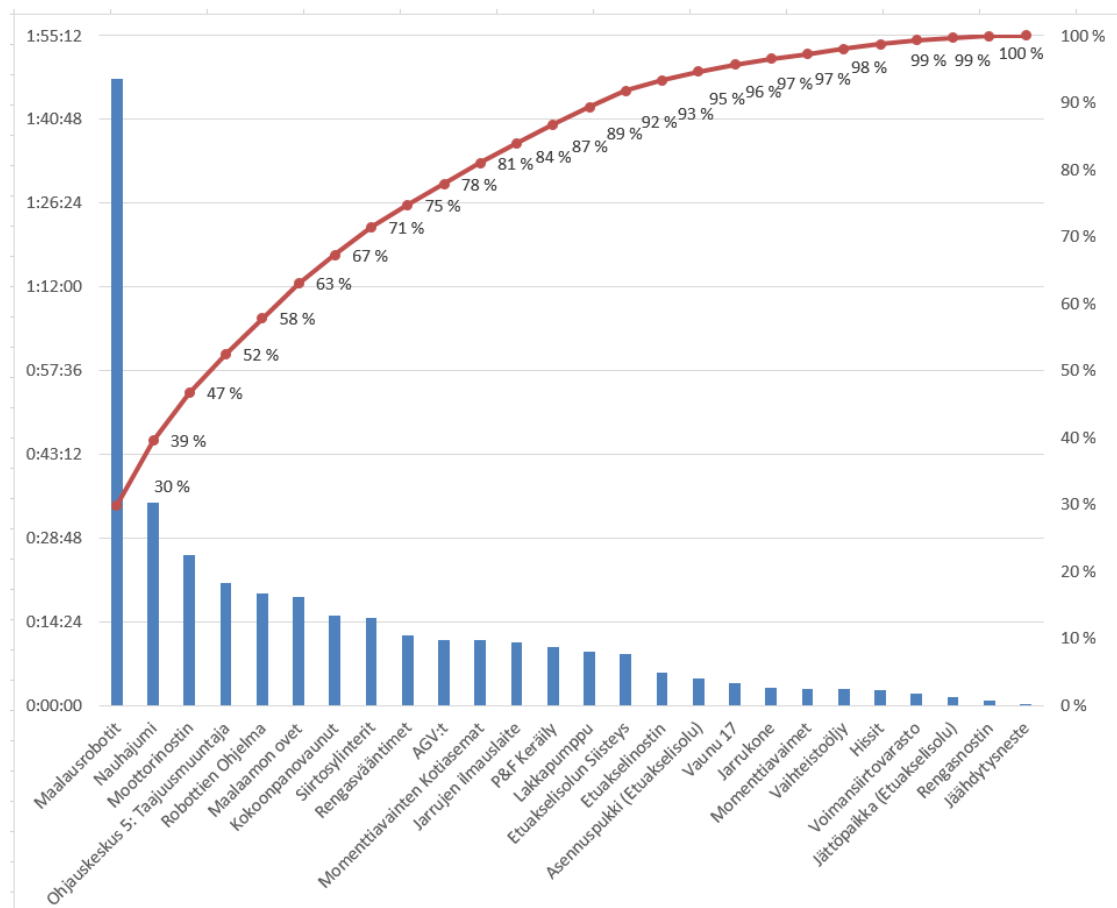
P&F Keräily

Momenttiavain
Kotiasema

AGV

6.3.3 Vikadatan analysointi

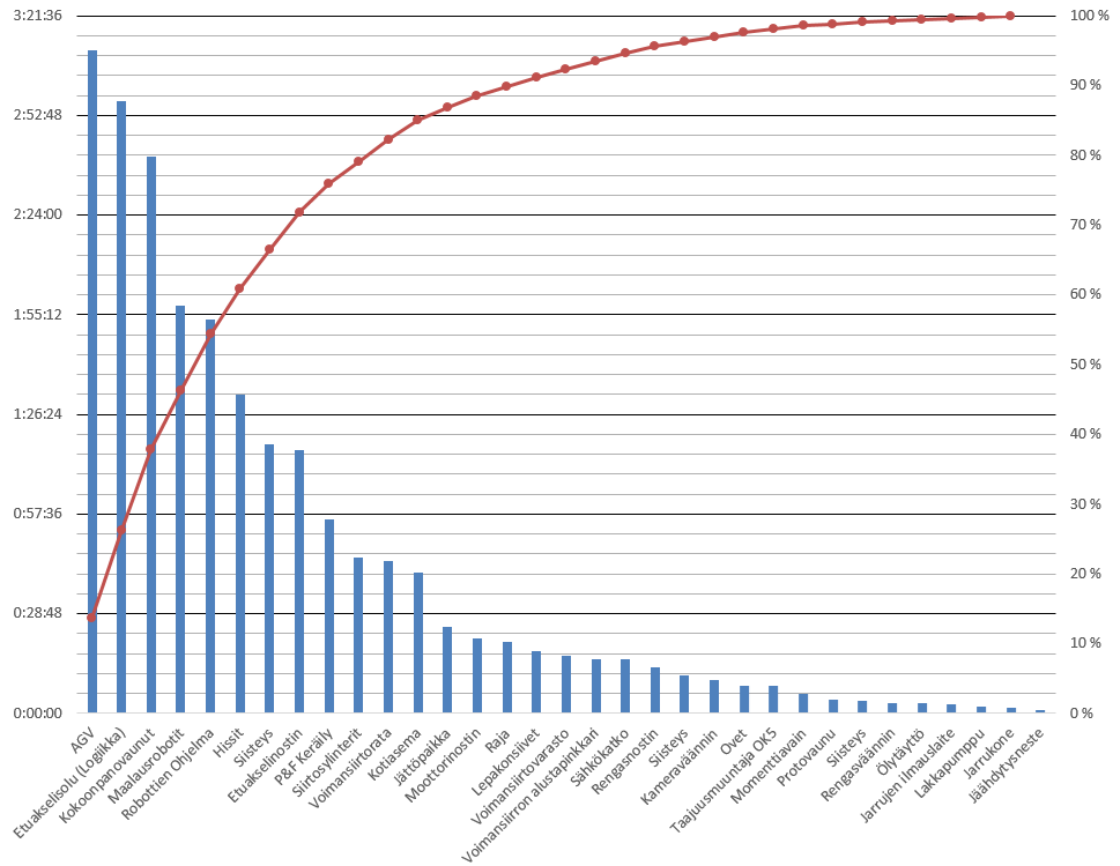
Kun vikadata on saatu jaoteltua siten, että siitä on saatu selville kaikki vikaantuneet laitteet, voitiin vikadataan merkityn katkoajan keston perusteella määrittää, kuinka paljon katkoaikaa kukin vikaantunut laite on aiheuttanut seurantajakson aikana. Katkoajien pohjalta selvitettiin Pareto-analyysin avulla (ks. tämä työ luku 3.5) laitteet, jotka ovat aiheuttaneet eniten tuotantoseisokkia. Tämän tiedon avulla määritettiin ongelmallisimmat laitteet. Kuviosta 6 nähdään vuoden 2015 vikadatan pohjalta tehty Pareto-analyysi.



Kuvio 6. Pareto-analyysi vuoden 2015 vioista

Pareto-analyysin tuloksena tuli lista laitteista, jotka ovat aiheuttaneet eniten katkoajaa linjalla kuluvan vuoden aikana, eli noin puolen vuoden ajalta. Vikadata, jonka pohjalta analyysi tehtiin, sisältää kuitenkin jonkin verran tulkintaa ja päättelyä. Mahdollisten tulkintavirheiden ja lyhyen tarkastelujakson kompensoimiseksi verrattiin vuoden 2015 vikadataa vuoden 2014 vikadataan. Tällä menettelyllä pyrittiin määrittämään eniten vikaantumisia aiheuttaneet laitteet mahdollisimman luotettavasti.

Jotta vuosien 2014 ja 2015 vikadatoja voitiin verrata keskenään, tehtiin vuoden 2014 vikadatalle täsmälleen samat käsittelyn vaiheet, kuin vuoden 2015 vikadatalle. Tehdyt vaiheet näkyvät liitteissä 7-9. Vuoden 2014 vikadatan käsittelyn pohjalta tehtiin Pareto-analyysi vuoden 2014 vioille samaan tapaan, kuin mitä aiemmin on esitetty. Pareto-analyysi vuoden 2014 vikaantumisten syistä on esitetty kuviossa 7.



Kuvio 7. Pareto-analyysi vuoden 2014 vioista

6.3.4 Vikadatan luotettavuuden arviointi

Kuvioiden 6 ja 7 tietojen pohjalta muodostuu taulukko 10. Taulukon avulla vertailtiin eri vuosien vikadatta ja näin varmennettiin vikadatan oikeellisuutta. Taulukkoon kerättiin Pareto-analyysin 20/80 sääntö -ajattelumallin mukaan tiedot vain niistä laitteista, jotka ovat aiheuttaneet 80 % teknisistä vioista. Taulukossa olevat laitevikojen syyt merkittiin värein siten, että molempina vuosina yleisimmin esiintyvät viat merkittiin samalla täyttövärillä. Jos vastaavuutta molempien vuosien yleisimpinä vikoina ei löydy, ei täyttöväriä ole. Jos tietty vika esiintyi vain yhtenä vuotena, merkittiin se taulukkoon punaisella fontilla.

Taulukossa 10 esiintyvien vikaantumisen kestojen vertaamisessa tulee huomioida se, että vuoden 2015 vikojen kesto muodostuu vain puolen vuoden ajalta, kun taas vuoden 2014 vikojen kesto on kertynyt koko vuodelta. Tämän vuoksi vuoden 2015 tuotantokatkoajat kerrottiin kahdella, jotta ne vastaisivat laskennallisesti koko vuoden vikadataa. Tällä tavoin laskettuna saatiin vain hyvin suuntaa antava tulos, koska tämä tapa olettaa loppuvuoden olevan täysin samanlainen kuin mitä alkuvuosi oli. Todellisuudessa alku- ja loppuvuosi voivat erota hyvinkin paljon toisistaan. Tähän tarkoitukseen kahdella kertominen antaa riittävän tarkan tuloksen, koska tarkoituksena on kyetä osoittamaan se, onko vikadata käyttökelpoinen.

Taulukko 10. Vikadatan vertailu 2014 vs. 2015

2014		2015		
Katkojen syyt	Vian kesto	Katkojen syyt	Vian kesto	Laskennallinen
AGV:t	3:11:32	Maalausrobotit	1:47:43	3:35:26
Etuakselisolu (Logiikka)	2:57:04	Nauhajumi	0:34:50	1:09:40
Kokoonpanovaunut	2:40:55	Moottorinostin	0:25:50	0:51:40
Maalausrobotit	1:57:52	OK 5: Taajuusmuuntaja	0:21:00	0:42:00
Robottien Ohjelma	1:53:40	Robottien Ohjelma	0:19:10	0:38:20
Hissit	1:32:08	Maalaamon ovet	0:18:44	0:37:28
Nauhajumi	1:17:46	Kokoonpanovaunut	0:15:29	0:30:58
Etuakselinostin	1:16:03	Siirtosylinterit	0:14:59	0:29:58
P&F Keräily	0:56:05	Rengasvääntimet	0:12:01	0:24:02
Siirtosylinterit	0:44:58	AGV	0:11:15	0:22:30
		Momentin kotiasema	0:11:12	0:22:24

Taulukon 10 tietoja analysoimalla muodostettiin taulukko 11, josta selviää laitteet, jotka ovat molempina vuosina aiheuttaneet eniten vikoja. Taulukossa on myös vertailtu saman laitteen aiheuttaman häiriöajan poikkeavuutta vuosien 2014 ja 2015 välillä.

Taulukko 11: Eniten vikoja aiheuttaneet laitteet vuosina 2014 ja 2015

Poikkeama 2014 vs 2015	
AGV	851,26 %
Kokoonpanovaunut	519,64 %
Maalausrobotit	182,78 %
Robottien Ohjelma	296,52 %
Nauhajumi	10,42 %
Siirtosylinterit	33,36 %

Taulukosta 11 havaitaan, että AGV:n aiheuttamat vika-ajat poikkeavat toisistaan yli 850 % suhteessa vuosien 2014 ja 2015 välillä. Näin suuri poikkeama vika-ajoissa eri vuosien välillä antaa viitteitä siitä, että vikadata ei olisi luotettavaa. Toisaalta ero selittyi sillä, että kokoonpanolinjalla tehdään usein melko suuriakin muutoksia. Vuonna 2014 linjalla oli käytössä neljä AGV:tä kun taas vuonna 2015 käytössä oli vain yksi AGV. Tämä selitti poikkeavat katkoajat, joten AGV:n suuren poikkeavuuden avulla ei vikadataa voitu todentaa epäluotettavaksi.

Myös kokoonpanovaunuja tarkasteltaessa voitiin todeta, että niiden aiheuttaman katkoajan välinen poikkeama on noin 520 %, mikä, kuten edellä, antaisi viitteitä vikadatan epäluotettavuudesta. Kuitenkin liitteiden 7-9 vikadatan selviää, että vuonna 2014 kokoonpanovaunuja on uusittu ja uutta prototyyppiä on testattu. Tämä liitteissä 7-9 mainittu protovaunu on saatu vuoden 2014 aikana valmiiksi ja otettu käyttöön vuodelle 2015. Vertaamalla vuosien 2014 ja 2015 kokoonpanovaunujen katkoajia keskenään nähtiin, että kokoonpanovaunujen uusiminen on ollut hyvä projekti, koska katkoajat ovat vähentyneet merkittävästi. Kokoonpanovaunujen uusiminen selitti poikkeaman vikadatan seisokkijassa, eikä tässäkään tapauksessa syynä suureen poikkeamaan ollut vikadatan epäluotettavuus.

Nauhajumin ehkäisemiseksi ei ole tehty merkittäviä toimenpiteitä vuoden 2014 aikana. Jotta vikadata voisi pitää paikkaansa, tulisi tämän vikamuodon osalta katkoajan poikkeaman vuosien 2014 ja 2015 välillä olla suhteellisen pieni. Nauhajumin poikkeama on vain 10 %, joten tämän perusteella vikadata näytti luotettavalta.

Myöskään siirtosylinterien osalta ei vuosien 2014 ja 2015 välillä ole tehty linjasto-muutoksia, jotka selittäisivät poikkeavuudet katkoajoissa. Kuitenkin siirtosylinterien vika-aikojen välinen poikkeavuus vertailtavien vuosien välillä on noin 33 %. Tätä poikkeamaa voi selittää se, että siirtosylinterit ovat vikaantuneet hyvin epätasaisesti ja vuonna 2014 ne ovat parhaimmillaan toimineet viisi (5) kuukautta vikaantumatta ja

pahimmassa tapauksessa ne ovat vikaantuneet 10 minuutin sisään useasti. Kun huomioidaan se, että vuoden 2015 vikadata käsittää vain puoli vuotta, on mahdollista, että tarkasteluajanjaksoon ei mahdu tiheämmän vikaantumisvälin jaksoja. Tämän lisäksi vuoden 2014 vikadatatassa on useita yksittäisiä perättäisiä vikoja, joiden kesto on vain alle puoli minuuttia. Tämä voi johtua siitä, että vian juurisyy on muualla kuin siirtosylinterissä. Jos näin olisi, ei näiden useiden perättäisten häiriöiden kuuluisi olla mukana tässä vertailussa. Näiden häiriöiden poisjättäminen alentaisi vuoden 2014 aikana siirtosylinterien aiheuttamaa katkoaikaa 2 min 53 s, jolloin vertailtavien vuosien välinen katkoaikojen poikkeama olisi enää 28 %. Kuitenkin suurehko poikkeama voi olla merkki vikadatan epäluotettavuudesta.

Yhteenvetona vikadatan luotettavuudesta todettiin, että vikadata antaa oikean suuntaisia tuloksia. Tämän perusteella vikadataa pidettiin käyttökelpoisena eli riittävän luotettavana kokoonpanolinjan kunnossapitosuunnitelman tekemiseen.

6.4 Vika- ja vaikutusanalyysi

Vika- ja vaikutusanalyysin (VVA) tekemisessä käytettiin apuna tähän tarkoitukseen luotua VVA-lomaketta. VVA-lomake on jaettu kahteen osaan: informaatiolomakkeeseen (ks. taulukko 12) ja toimenpidelomakkeeseen (ks. taulukko 13).

Taulukko 12. VVA, Informaatio lomake

	Toiminto	Toiminnallinen vika	Laite / komponentti	Vikamuoto	Vian aiheuttaja	Vian aiheuttaja (tarkennus)	Arvioitu vikaväli MTF	Vian luonne	Vian vaikutus	
Kone	Laite	Mitä kohteen odotetaan tekevän ja millä suorituskyvyllä?	Millä tavalla tämä toiminto häiriintyy tai estyy?	Mikä laite tai komponentti aiheuttaa toiminnallisen vian?	Mikä tapahtuma aiheuttaa toiminnallisen vian (laite + vika)	Mistä syystä vikamuoto syntyy?	Tarkenna tarvittaessa vian juurisyitä	Mikä on vikaväli?	Onko vika Satunnainen vai Toistuva	Mitä tapahtuu vikamuodon vuoksi? (esim. miten operaattori havaitsee vian, mitä hän joutuu tekemään)

Taulukko 13. VVA, Toimenpide lomake

Suosittelava toimenpide	Huoltoväli	Resurssit	Muuta huomioitavaa	Muutosehdotus	VVA:n tekemiseen käytetty aika		
					Alkoi	Loppui	kesto
Soveltuin ja tehokkain ennakkohuoltotoimenpide, jotta ko. vikamuodon riskiä voidaan alentaa	Kuinka usein toimenpide pitää tehdä?	Kuka toimenpiteen suorittaa ja montako tuntia siihen menee?	Mitä muuta tulee huomioida?				0:00
							0:00

Taulukoiden täyttämiseen tarvittavat tiedot kerättiin valmistajan käyttöohjeista sekä haastattelemalla kunnossapidon ja tuotannon työntekijöitä. Haastattelujen avulla varmistuttiin siitä, että analyysiä varten kerätty tieto on ajan tasalla. Haasteena tässä oli se, että analyysiin osallistuvat kunnossapidon työntekijät vastaavat kokoonpanolinjan toiminnasta, joten pitkien ennalta varattujen istuntojen järjestäminen oli käytännössä mahdotonta, koska vikaantumisen sattuessa täytyy kunnossapitohenkilön mennä korjaamaan vika. Tämän vuoksi työntekijän haastattelu tapahtui työn ohessa ja tehtävät haastattelut usein keskeytyivät linjan häiriöiden vuoksi.

Vika- ja vaikutusanalyysi tehtiin kymmenelle eniten häiriöaikaa aiheuttaneelle kohteelle, jotka ovat suoraan kokoonpanolinjaan sidoksissa. Tämän jälkeen keskusteltaessa tuotannon työntekijän kanssa kävi ilmi, että laite, joka ei analyysissä nousut esille ollenkaan, on todellisuudessa hyvin häiriöherkkä. Kyseinen laite otettiin myös mukaan VVA:han. Näin ollen VVA tehtiin yhdelletoista kohteelle. Kohteet ovat näkyvissä liitteessä 10, jossa vika- ja vaikutusanalyysi on esitetty kokonaisuudessaan. Kyseisestä liitteestä käy ilmi se, että VVA on käytännössä toteutettu komponenttitasolla. Komponentti tasoon päädyttiin, koska analysoitavilla laitteilla on yhteisiä komponentteja ja vikojen juurisyiden kohdentamiseen kyseinen taso soveltuu tässä tapauksessa oikein hyvin. Aikaa VVA-lomakkeiden täyttämiseen kului yhteensä noin 15h. Tämä on nähtävissä liitteestä 10.

6.5 Ennakkohuoltoimenpiteen määrittäminen

VVA lomakkeiden tiedoista muodostettiin liitteen 11 mukainen taulukko. Taulukkoa tehtäessä kohdennettiin VVA:ssa esille tulleet komponenttien ennakkohuoltotoimenpiteet oikeaan laitteeseen. Esimerkki taulukosta on esitetty taulukossa 14 ja kokonaisuudessaan kyseinen taulukko on nähtävissä liitteestä 11.

Taulukko 14. Esimerkki ennakkohuoltotoimenpiteenmääritys-taulukosta

Toimenpide	Tekijä	Intervalli	yks	Peruste
Moottoritarrain				
Karan lukitusmoottorin yläkorvakkeen kiinnityksen välyksen tarkistus	Ulkoistettu	6 kk		Valmistajan suositus
Tasapainotukselle UPS / logiikka tallentaa viimeisimmän paikkatiedon -> ME tiimi kyselee Jucatilta	Säku			Kalibrointi nopeutuu
Työskentelyalueen siistiminen	Operator	1 d	6s	
Tärinöiden, äänten ja lämmön tarkkailu	Operator	1 d		Työn ohessa
Rakenteellisten vikojen silmämääräinen tarkastaminen	Operator	6 kk		Valmistajan suositus
Nostosilmukan kiinnityksen ja kuluneisuuden tarkastaminen	Operator	1 d		Työn ohessa
Revolverien kuluneisuuden ja rakenteellisten vikojen tarkastaminen	Ulkoistettu	6 kk		Valmistajan suositus
Kiinnityspulttien kireyden tarkastaminen	Ulkoistettu	6 kk		Valmistajan suositus
Laakereiden kuuntelu ja lämpötila	Ulkoistettu	6 kk		Valmistajan suositus
Laakereiden kiinnityksen tarkastaminen	Ulkoistettu	6 kk		Valmistajan suositus
Laakereiden rasvaaminen	Ulkoistettu	6 kk		Valmistajan suositus
Lineaarien kireyden ja kunnan tarkastaminen	Ulkoistettu	6 kk		Valmistajan suositus
Lineaarien puhdistaminen	Ulkoistettu	6 kk		Valmistajan suositus
Trapetsiruuvien (spiraalien) kunnan ja puhtauden tarkastaminen	Ulkoistettu	6 kk		Valmistajan suositus
Trapetsiruuvien rasvaaminen	Ulkoistettu	6 kk		Valmistajan suositus
Ketjujen kireyden tarkkailu	Operator	1 d		Työn ohessa
Ketjujen epänormaalin äänen kuulostelu	Operator	1 d		Työn ohessa
Ketju ja hammaspyörien kunnan ja kiinnityksen tarkkailu	Meku	6 kk		Valmistajan suositus
Lukituspalan kunnan ja kiinnityksen tarkkailu	Operator	1 d		Työn ohessa

Ennakkohuoltoimenpiteiden määritystaulukon tekemisen jälkeen tarkistettiin taulukossa olevat tiedot yhdessä kunnossapito henkilöstön kanssa. Tämä vaihe oli tarpeen, sillä vielä tässä vaiheessa esille tuli tarvittavia ennakkohuoltotoimenpiteitä, jotka muutoin olisivat jääneet analyysistä pois. Tämän vuoksi ennakkohuoltotoimenpiteen määritystaulukossa (liite 11) on joitain toimenpiteitä jotka eivät näy vielä liitteen 10 VVA:ssa. Kun ennakkohuoltotoimenpiteen määritystaulukko saatiin tarkistettua, koostettiin siinä esiintyvistä huoltotoimenpiteistä huolto-ohjeet kyseisille laitteille. Vaikka VVA:ssa analysoitiin yksitoista kohdetta, ei niistä saanut koostettua kuin vain yhdeksän laitetta johtuen siitä, että analyysi oli kohdistettu komponentti tasolle. Laitteille määritetyt huolto-ohjeet löytyvät liitteestä 12.

Tehtyihin huolto-ohjeisiin koottiin tiedot kaikista laitteelle tehtävistä huolloista mukaan lukien mekaaniset- ja sähköhuollot sekä käyttäjäkunnossapidon. Lomakkeeseen eriteltiin, onko kyseinen huoltotyö mekaanisen kunnossapidon (Meku) vai sähkökunnossapidon (Säku) vastuulla. Tämä näkyy käytännössä kuviossa 8. Huolto-ohje suunniteltiin siten, että yhtä laitetta varten ei tarvitse tehdä montaa eri lomaketta, vaan

kaikki tarvittavat tiedot ovat samassa lomakkeessa. Tällä saavutettiin se etu, että yrityksen kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmässä tapahtuva kunnossapitotöiden hallinta sekä ennakkohuoltoa tehtäessä huolto-ohjeen käytettävyys helpottuvat. Tarvittaessa tehtävien kunnossapitotoimenpiteiden tekemisestä kunnossapitaja päättää arvioimalla kohteen kunnossapitotarpeen aistinvaraisin menetelmin.



Huolto-ohje, Loppuhissin apunostin

5 vuoden välein

Kulmavaihde

Vaihda kulmavaihteen öljy

Tekijä

Meku

Vuosihuollossa

Kulmavaihde

Tarkista kulmavaihteen öljyn määrä ja lisää tarvittaessa.

Meku

Nostoruuvi

Lisää rasvaa nostoruuvien rasvausnipoihin.

Tarkista nostoruuvien ja -mutterin hammasväli. Vaihda tarvittaessa.

Lisää rasvaa tukilaakereiden laakeriyksikköihin (4 kpl).

Meku

Meku

Nostopöytä

Tarkista nostopöydän reunalistan kumitiivisteiden kunto. Vaihda tarvittaessa.

Meku

Sähkömoottori

Tarkista sähkömoottorin kytkentäkopan kunto

Tarkista sähkömoottorin läpivientien kunto

Tarkista maadoitusten kunto

Puhdista huolella moottorin jäähdytysrivat ja tuulettimen propelli

Säku

Säku

Säku

Säku

Kesä- ja talviseisokissa

Sähkömoottori

Kuuntele, ovatko moottorin käyntiäänet normaalit

Meku

Valtra Oy Ab

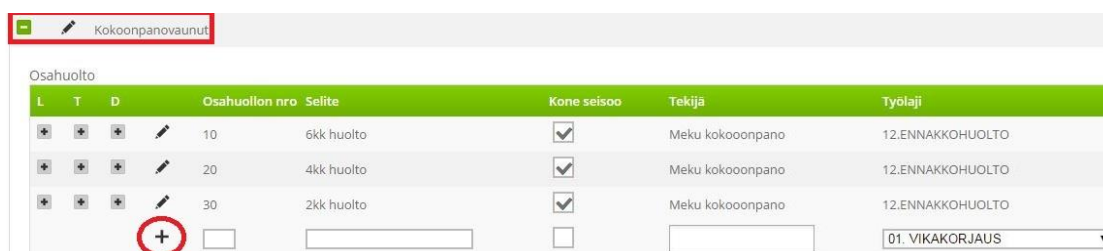
Valmetinkatu 2 44200 Suolahti

Puhelin: 02045 501 Fax:02045 0533 www.valtra.fi

Valtra on AGCO:n kansainvälinen tuotemerkki.

6.6 Huolto-ohjelman luominen toiminnanohjausjärjestelmään

Kun vika- ja vaikutusanalyysin pohjalta muodostettiin huolto-ohjeet kaikille laitteille, luotiin seuraavassa vaiheessa huolto-ohjelmat yrityksen toiminnanohjausjärjestelmään. Huolto-ohjelmia luotaessa noudatettiin seuraavia periaatteita. Ensimmäisenä periaatteena on se, että jokaiselle laitteelle on oma huoltokortti. Yhdessä huoltokortissa on erikseen työtilaus eri työn tekijöille sekä eri ajankohtina tapahtuvalle huololle. Tästä on esimerkki kuviossa 9.



L	T	D	Osahuollon nro	Selite	Kone seisoo	Tekijä	Työlaji
*	*	*	10	6kk huolto	<input checked="" type="checkbox"/>	Meku kokoonpano	12.ENNAKKOHUOLTO
*	*	*	20	4kk huolto	<input checked="" type="checkbox"/>	Meku kokoonpano	12.ENNAKKOHUOLTO
*	*	*	30	2kk huolto	<input checked="" type="checkbox"/>	Meku kokoonpano	12.ENNAKKOHUOLTO
			<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	01. VIKAKORJAUS

Kuvio 9 Eri työtilaukset yhdessä huoltokortissa

Toisena periaatteena on se, että eri ajankohtina tapahtuville huolloille on oma työtilaus. Näin on mahdollista automatisoida toistuvat työtilaukset siten, että ne tulevat oikeana ajankohtana. Kolmantena periaatteena tehdyt huolto-ohjeet ladataan järjestelmän tietokantaan työtilauksen alle, jottei työntekijän tarvitse työtilauksen saatuun etsiä huolto-ohjetta kaukaa. Huolto-ohjelmien koostamiseen aikaa kului noin yhdeksän tuntia.

6.7 Jälkiseuranta

Tällaisen projektin jälkeen jälkiseuranta on erityisen tärkeä. Luotujen huolto-ohjeiden aikavälit ovat enemmän viitteellisiä kuin absoluuttisia ja laitteissa tapahtuu muutoksia ajan myötä. Tämän vuoksi huolto-ohjeita täytyy päivittää vastaamaan todellisuutta niin huoltovälien kuin niissä esiintyvien laitteidenkin suhteen.

Huolto-ohjeiden ylläpidon lisäksi jälkiseuranta mahdollistaa myös kunnossapidon jatkokkehityksen. Oikein toteutettuna jälkiseurannalla saadaan kerättyä hyvälaatuista vikadataa, jonka pohjalta voidaan edelleen kehittää tehtyjä huolto-ohjeita paremmiksi. Hyvälaatuudessa vikadatatassa tulisi seurata laitteiden toimintaa, niiden käyttöä ja vikaantumista. Vikaantumista tulisi seurata lukumäärää, ajankohtaa ja syitä. Tämän

lisäksi on hyvä seurata myös laitteille tehtyjä kunnossapitotoimia. Tätä varten yritykseen palkataan erillinen huoltosuunnittelija.

7 Tulokset ja tulosten luotettavuuden arviointi

7.1 Tulokset

Työn tuloksena yrityksen toiminnanohjausjärjestelmään luotiin yrityksen n. 130 laitteesta yhdeksälle laitteelle huolto-ohjelmat ja määritettiin jäljelle jääneiden laitteiden huolto-ohjeiden tekemiseen kuluva aika. Kymmenen laitteen tavoite näin ollen jäi täyttymättä. Syynä tähän oli se, että vaikka VVA tehtiin yhdelletoista kohteelle, oli siinä olevista kohteista osa komponentteja laitteiden sijaan. Tämän vuoksi tehdyn VVA:n pohjalta saatiin koostettua huolto-ohjelmat vain yhdeksälle laitteelle. Huolto-ohjelmat koostuvat noin 250 huoltotoimenpiteestä ja niiden aikataulutuksesta. Huoltotoimenpiteet koostuvat pääasiassa aistinvaraisista tarkastuksista ja öljyjen tai osien vaihdoista (ks. liite 12). Huolto-ohjeet sisältävät myös laitteiden käyttäjäkunnossapidon. Yhdeksän laitteen VVA:n tekemiseen kului noin 15 tuntia ja huolto-ohjeiden koostamiseen sekä toiminnanohjausjärjestelmän päivittämiseen kului noin 9 tuntia. Tämän perusteella loppujen noin 120 kriittisen laitteen VVA:n tekemiseen kuluisi noin 320 tuntia, mikä vastaa 40 työpäivää.

Opinnäytetyön toteuttamista varten tarvittavan laiteluettelon tekemisen yhteydessä syntyi noin 230 laitteen laitehierarkia, jolla voidaan korvata nykyinen toiminnanohjausjärjestelmän laitehierarkia. Laitehierarkia päivittyi vastaamaan nykytilannetta paremmin. Laitehierarkia on luotu standardin PSK 7102 määritelmien mukaisesti. Hierarkiaan on otettu mukaan standardin tasot laitos–tuotantoyksikkö–tuotantosolu–työpiste–toiminto–laite–komponentti. Tämän vuoksi logiikka, jolla hierarkiaa käytetään, on yksiselitteinen ja selkeä. Näiden ominaisuuksien vuoksi myös hierarkian käytettävyys paranee. Laitehierarkia on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 3.

Laitteiden rajaamiseksi työssä luotiin kriittisyysanalyysi. Kriittisyysanalyysiä määritettäessä päädyttiin muutaman eri version jälkeen taulukossa 15 esitettyyn ratkaisuun. Tehdyssä kriittisyysanalyysissä kriittisyyden arviointi tapahtuu seuraavalla tavalla: En-

simmäiseksi arvioidaan se, aiheuttaako laitteen vioittuminen kokoonpanolinjan pysähtymisen alle neljän tunnin kuluessa. Jos näin on, laitetaan kyseisen laitteen kohdalle rasti kohtaan " $1A \leq 4h$ " ja siirrytään seuraavaan laitteeseen. Laite, joka merkitään kohtaan " $1A \leq 4h$ ", on luokituksestaan "kriittinen A", joka on korkein kriittisyyden luokka analyysissä.

Jos laite ei aiheuta kokoonpanolinjan pysähtymistä neljän tunnin kuluessa vioittumisesta, niin arvioidaan se, aiheuttaako laitteen vioittuminen kokoonpanolinjan pysähtymisen sitä seuraavan neljän tunnin aikana. Vioittumishetkestä laskien arvioidaan siis sitä, pysyykö tuotanto käynnissä vähintään neljä tuntia vioittumisesta ja pysähtyykö kokoonpanolinja kahdeksan tunnin aikana vioittumisesta. Tämä kuvataan taulukossa merkinnällä " $4h \leq 1B \leq 8h$ ". Jos laite täyttää tämän kriteerin, tulee sen kriittisyysluokaksi "kriittinen B".

Kriittinen A- ja kriittinen B-luokituksen laitteet ovat molemmat kriittisiä laitteita.

Koska oletettavasti kriittisten laitteiden määrä kasvaa suureksi, on mahdollista, että kunnossapidolle varattuun vuoden 2015 budjettiin eivät mahdu kaikki kriittisille laitteille tarvittavat toimenpiteet. Tämän vuoksi kriittiset laitteet on jaoteltu A- ja B-luokkiin, jotta joka tapauksessa kaikkein välttämättömimmille laitteille saataisiin tarvittavat toimenpiteet tehtyä jo vuoden 2015 aikana. Muille laitteille tarvittavat toimenpiteet tehdään tulevana vuosina niiden kriittisyys järjestyksessä.

Taulukko 15. Lopullinen kriittisyysanalyysi

LAITE	1. Kriittinen laite		2. Tärkeä laite	3. Muu tuotantoa tukeva laite
	$1A \leq 4h$	$4h \leq 1B \leq 8h$		

Jos laitteesta todetaan, ettei se ole kriittinen, koska sen vikaantuminen ei aiheuta kokoonpanolinjan pysähtymistä saman päivän aikana, siirrytään pohtimaan sitä, aiheuttaako se pysähtymisen tuonnempana. Jos se jossain vaiheessa aiheuttaa kokoonpanolinjan pysähtymisen, tulee laitteesta tärkeä laite. Mikäli laitteen vikaantuminen ei aiheuta kokoonpanolinjan pysähtymistä, on kyseessä muu tuotantoa tukeva laite.

Kun analyysiä tehtäessä arvioidaan laitteen vikaantumisen seurauksena tapahtuvaa kokoonpanolinjan pysähtymistä, tulee huomioida viasta aiheutuvien suorien pysähtymiseen vaikuttavien tekijöiden lisäksi myös epäsuorat tekijät. Tällaisia epäsuoria vaikutuksia voivat olla esimerkiksi vikaantumisesta aiheutunut työturvallisuuden heikentyminen sellaiselle tasolle, ettei loukkaantumisen riskiä voida hyväksyä. Tällöin töitä ei voida jatkaa, ennen kuin vika on korjattu. Vastaavasti vikaantumisen seurauksena voi mahdollisesti ympäristö vaarantua. Lisäksi vikaantumisen aiheuttama ketjureaktio saattaa vaikuttaa siihen, että jonkun toisen laitteen vikaantuminen aiheuttaa kokoonpanolinjan pysähtymisen. Tällöinkin kyseessä on kriittinen laite.

Vikaantumisen seurauksia arvioidessa tulee huomioida myös se, onko mahdollista muilla toimenpiteillä estää kokoonpanolinjan pysähtyminen. Jos laitteen toimintaa korvaavia menetelmiä hyödyntäen voidaan linja pitää käynnissä päivän loppuun asti, niin on koko ilta aikaa korjata laite seuraavaksi päiväksi toimintakuntoon. Tällöin kyseessä on enää vain tärkeä laite kriittisen sijaan.

7.2 Tulosten luotettavuuden arviointi

Huolto-ohjelmissa olevat huoltotoimenpiteet perustuvat kunnossapitohenkilöstöä haastatteleamalla tehtyyn vika- ja vaikutusanalyysiin sekä yrityksessä kerättyyn vikadataan. Haastatteluun kerätty tieto on pääsääntöisesti kokemusperäistä. Kokemusperäisessä tiedossa hyvänä puolena on se, että se vastaa parhaiten todellisuutta. Liika luottamus kokemusperäiseen tietoon voi puolestaan johtaa siihen, että asioita katsotaan kapeasti vain sen tiedon perusteella, mitä on jo tapahtunut eikä välttämättä muisteta huomioida sitä, mitä voisi tapahtua.

Koska kunnossapitohenkilöstöä on haastateltu työn ohessa, on mahdollista, että analyysistä on jäänyt jotain pois kiireen vuoksi. Tämä herättää epäilyksiä analyysin luotettavuudelle. Mikäli analyysin tekemiseen olisi varattu tarpeeksi aikaa, olisi laitteiden käsittelyyn voitu paneutua vielä astetta syvällisemmin. Tosin melko syvällisesti analyysi saatiin toteutettua työn ohessa tehdyillä haastatteluilla. Tämän vuoksi epäilykset haastatteluun kerätyn tiedon luotettavuudesta ovat pienehköt.

Vikadatan luotettavuus on lähinnä suuntaa antava. Täysin tarkkana sitä ei millään voi pitää. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi siitä, että vikaantunutta laitetta ja/tai vian aiheuttanutta syytä ei aina tiedetä varmaksi.

Työssä tehtyjen Pareto-analyysien luotettavuuden arviointia voidaan lähestyä tarkastelemalla 80/20-säännön toteutumista. Vuoden 2014 vikadastasta saadaan laskettua, että tuolloin 33 % laitteista on aiheuttanut 82 % vioista. Vuonna 2015 42 % laitteista on aiheuttanut 81 % vioista. 80/20-säännön mukaan 20 %:n laitteista pitäisi aiheuttaa 80 % vioista. Tähän verrattuna vuoden 2014 on lähempänä tavoitearvoa kuin 2015 vuoden vikadata. Vuoden 2014 vikadata näyttäisi tämän perusteella olevan siellä päin, mutta 2015 vuoden vikadata poikkeaa tavoitearvosta huomattavan suuresti. Tämä herättää epäilyksiä vikadatan luotettavuudesta.

Aiemmin käsitellyn tiedon perusteella tiedetään se, että vikadastasta vikojen kohdentaminen oikeisiin laitteisiin on haasteellista (ks. luku 6.3.1). Vuoden 2015 kohdalla on syytä huomioida myös se, että vikadata käsittelee vain puolta vuotta. Näistä ensimmäinen on selkeästi Karjalaisen (2007) mainitsema analyysissa tehtävä virhe vikojen mittauksessa. Puutteellisesta tiedosta johtuen analyysin on mahdoton päästä ideaalitulanteeseen 80/20-säännön toteutumisesta. Tästä johtuen tuloksen täytyy poiketa 80/20-säännöstä, jotta vikadataa voitaisiin pitää luotettavana. Kuitenkaan tulos ei saa poiketa liiaksi, vaan poikkeaman täytyy olla suhteessa vikojen mittauksen laadun kanssa.

Vuoden 2014 vikadataa on kerätty koko vuodelta ja sen poikkeama 80/20-säännöstä on 82/33 mikä vastaa noin 11 %:a liikaa laitteita. Vuoden 2015 vikadataa on kerätty vain puolen vuoden ajalta ja sen poikkeama 80/20-säännöstä on 81/42 mikä vastaa noin 21 %:a liikaa laitteita. Mittauksessa vikana on oikean laitteen paikantaminen. Tästä syystä johtuen on mahdollista, että yksi laite on vikaantuessaan aiheuttanut oireita monilla laitteilla ja nämä oireilevat laitteet ovat päätyneet vikadataan. Tämän ilmiön vuoksi poikkeaman tulisi olla sen suuntainen, että laitteita on liikaa eikä liian vähän. Vuoden 2014 poikkeama on oikean suuntainen ja 11 % poikkeamaa voidaan pitää kohtuullisena suhteessa vikojen mittauksessa tapahtuneeseen virheeseen. Vuoden 2015 poikkeama 21 % liikaa laitteita on oikean suuntainen, mutta suuruus on edellistä vuotta 10 % suurempi. Tätä poikkeamaa voitaneen selittää sillä mahdollisuudella, että lyhempi tarkastelujakso aiheuttaa vääristymää vikadatojen välille.

Tästä huolimatta vikadatan poikkeama tavoite arvosta on liian suuri vuoden 2015 osalta. Tämä aiheuttaa mielestäni epäluotettavuutta, jonka vuoksi huolto-ohjeissa olevia huoltovälejä ja huoltotoimenpiteitä tulee jatkossa päivittää vastaamaan todellisuutta paremmin.

Koska vuoden 2015 vikadata on vain yksi informaation lähde huolto-ohjeita tehtäessä ja suuri osa ohjeista perustuu kunnossapitäjien kokemukseen, voidaan huolto-ohjeita kuitenkin alustavasti noudattaa koko sen ajan, kunnes on saatu kerättyä tarpeeksi paljon luotettavaa vikadataa huolto-ohjeiden päivittämiseksi.

8 Pohdinta ja jatkotutkimukset

8.1 Tavoitteiden toteutuminen

Keskeisenä tavoitteena opinnäytetyössä rajauksen jälkeen oli määrittää ennakkohuoltosuunnitelma kymmenelle tärkeimmälle laitteelle, laitekohtaisten ennakkohuoltosuunnitelmien kirjaaminen ja aikataulutus kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmään sekä mitata toimenpiteiden tekemiseen kuluva aika ja määrittää loppujen 120 kriittisen laitteen ennakkohuoltosuunnitelmien tekemiseen kuluva aika. Työssä huolto-ohjelmat tehtiin yhdeksälle laitteelle ja niiden tekemiseen kului noin 24 tuntia (VVA 15h, huolto-ohjelmien koostaminen 9h). Tämän perusteella kaikkien kriittisten laitteiden huolto-ohjelmien tekemiseen kuluisi noin 40 työpäivää. Todennäköisesti huolto-ohjelmia määritettäessä prosessin teko nopeutuu sen edetessä. Tämän vuoksi arvioitu projektin todellinen kesto olisi 30 työpäivää.

Kymmenen laitteen tavoitteesta jäätin yhden laitteen päähän. Tämän vuoksi laitteita, joille täytyy tulevaisuudessa määrittää huolto-ohjelmat on yksi enemmän. Laitteiden kokonaismäärän ollessa noin 120 kpl yhden laitteen aiheuttama työmäärä suhteessa kokonaistyömäärään on erittäin pieni. Vaikka kymmenen laitteen tavoite ei täyttynytkään, siitä huolimatta projektin kokonaiskesto saatiin määritettyä. Näistä syistä johtuen voidaan projektin päätavoitteen täyttymisen katsottavan toteutuneen onnistuneesti.

Yhtenä työn tavoitteena oli luoda ennakkohuoltotoimenpiteiden määrittämiseksi analyysi-työkalut, jotka soveltuvat kohdeyritykseen sekä noudattavat opinnäytetyössä esitellyn RCM-analyysin määrittämiä periaatteita. Tämän tavoitteen toteuttamiseksi työssä luotiin kriittisyysanalyysi sekä muokattiin standardin SAE J1739 esittämä VVA-lomake tämän työn asettamiin vaatimuksiin soveltuvaksi.

Opinnäytetyön tekeminen antoi minulle hyvän kuvan siitä, mitkä ovat yrityksen asettamat vaatimukset kunnossapitosuunnitelman tekemiseen. Tämän tiedon ja opinnäytetyön tekemisessä oppimieni asioiden avulla koen pystyväni toteuttamaan vastaavanlaisen projektin myös muille yrityksille. Tämä edesauttaa työllistymistäni opintojen jälkeen.

8.2 Laiteluettelo

Laiteluetteloä tehtäessä ei toteutettu muita vaiheita samaan aikaan, vaikka esimerkiksi kriittisyysanalyysi olisi voitu toteuttaa samanaikaisesti. Tähän vaikuttaa se, että tehtaalla layout on kovin tiivis ja ensinäkemältä sekavan oloinen. Sekavuutta layoutissa aiheuttaa se, että laitteita on paljon, eivätkä kaikki laitteet ole näkyvillä vaan osa on joko osittain tai kokonaan näkymättömissä. Tämän vuoksi kaikkien olemassa olevien laitteiden muistamiseksi ja niiden löytämiseksi sekä hierarkkisen sijainnin määrittämiseksi tarvitaan paljon keskittymistä kuin myös kriittisyysanalyysin tekemiseenkin. Tämän vuoksi opinnäytetyössä päätin keskittyä yhteen asiaan kerrallaan parhaan mahdollisen lopputuloksen varmistamiseksi.

Koska kriittisyysanalyysiä ei tehty yhtä aikaa laiteluettelon kanssa, käytiin laitteet uudestaan läpi kriittisyysanalyysiä tehtäessä. Tämä laitteiden kaksinkertainen läpikäyminen vei ylimääräistä aikaa siihen nähden, että kriittisyysanalyysi olisi tehty laiteluettelon tekemisen yhteydessä. Tästä kaksinkertaisesta laitteiden läpikäymisestä tosin oli se etu, että sillä tavoin laiteluetteloon tuli toisella kierroksella mukaan sellaisia laitteita, jotka olivat ensimmäistä kierrosta tehtäessä jääneet pois laiteluettelosta. Näin laiteluettelosta tuli kattavampi kuin mitä siitä olisi tullut, jos laitteet olisi käyty läpi vain kertaalleen ja kriittisyysanalyysi olisi tehty siinä samalla.

8.3 Rajaus

Tässä opinnäytetyössä tutkittavana kohteena oli Valtra Oy Suolahden kokoonpanotehdas. Koska kyseessä oli suuri kokonaisuus, oli sitä tarkoituksenmukaista rajata pienemmäksi. Tutkimuksen rajausta oli mahdollista lähestyä kahdesta eri näkökulmasta. Rajaus voidaan toteuttaa joko tekemällä suppeampi analyysi tai analysoitavien laitteiden määrää vähentämällä. Suppeamman analyysin tekeminen tosin tarkoittaisi sitä, että kunnossapitostrategian valintaan vaikuttavia tekijöitä saataisiin selvitettyä vähemmän kuin mitä laajemmalla analyysillä. Tässä vaarana on se, että kunnossapitostrategian optimoiminen ei välttämättä onnistu parhaalla mahdollisella tavalla, koska strategian valintaan vaikuttavat päätökset voivat perustua puutteelliseen tietoon. Kun taas jos analyysia nopeutetaan vähentämällä analysoitavien laitteiden määrää, on mahdollisena ongelmana se, että eniten analysointia tarvitseva laite jää analysoimatta. Pahimmassa tapauksessa tämä voi johtaa siihen, että kohteen kokonaistoiminnan kannalta katsottuna kyseisen laitteen toimimattomuus vie kaiken hyödyn.

8.4 Kriittisyysanalyysi

Tätä työtä varten kehitetty kriittisyysanalyysi on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen PSK 6800 standardin mukaiseen kriittisyysanalyysiin tai standardin SAE J1739 mukaisen vika- ja vaikutusanalyysin sisältämään kriittisyysanalyysin verrattuna. Tätä työtä varten räätälöidyssä kriittisyysanalyysissä kuitenkin analyysin tekijän tulee ottaa huomioon kaikki samat kriittisyyteen vaikuttavat tekijät, kuin mitä mainituissa standardoiduissa kriittisyysanalyyseissä huomioidaan.

Huonona puolena itse tehdyssä analyysissä verrattuna muihin mainittuihin analyysihin on se, että siinä ei eri kriittisyyteen vaikuttavia tekijöitä ja niiden vaikutuksia kriittisyyteen pääse vertailemaan keskenään. Standardoiduissa kriittisyysanalyyseissä tämä on mahdollista niissä esiintyvien kriittisyys tekijöiden pisteytysjärjestelmän vuoksi.

Itsetehdyn analyysin etuna on sen yksinkertaisen rakenteen mahdollistama nopea analyysin läpivientiaika. Rakenteeltaan yksinkertaisemmalla analyysillä saavutettava ajallinen säästö on tämän opinnäytetyön kannalta merkittävä.

8.5 Jatkotutkimukset

Tässä opinnäytetyössä tehdyt huolto-ohjeet on tehty laitteiston tämän hetkisen tilanteen mukaan. Jotta huolto-ohjelmat säilyisivät käyttökelpoisina tulevaisuudessakin, täytyy niitä ylläpitää eli päivittää jatkuvasti. Huolto-ohjeiden päivittämiseksi tulee laitteiston toiminnasta kerätä dataa riittävällä tarkkuudella, jotta kyseisen vikadatan perusteella voitaisiin tehdä oikeat päätökset huoltotoimenpiteiden määrittämiseksi.

Koska tässä opinnäytetyössä käytetyn vikadatan laajuus oli vain puolitoista vuotta ja sen laatu on joiltain osin kyseenalainen, on mahdollista, että tehdyissä huolto-ohjelmissa on puutteita niin huoltotoimenpiteiden kuin huoltovälienkin suhteen. Tästä huolimatta tehdyt huolto-ohjelmat antavat yrityksen kunnossapidolle hyvän lähtökohdan jatkuvaan parantamiseen, sillä sitä nämä huolto-ohjeet vaativat, jotta ne saataisiin optimoituja täydellisiksi. Tämän lisäksi opinnäytetyön aikana on viljelty jatkuvan parantamisen toimintaperiaatteita kunnossapitoyksikön jokaiselle tasolle. Tämä näkyy siinä, miten kunnossapitäjiä on ohjeistettu toimimaan huoltokortteja täyttäessään kuin myös siinä, miten huolto-ohjelmat ovat rakennettu kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmään.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli paitsi kehittää ja saattaa ajan tasalle Valtra Oy:n kokonpanolinjan kunnossapito myös vahvistaa omaa osaamistani tulevana kunnossapitoon erikoistuneena koneinsinöörinä. Mielestäni opinnäytetyöni tarjoaa minulle loistavan pohjan kartuttaa ammattitaitoani ja osaamistani sillä tulevaisuudessa joudun hyvin todennäköisesti toteuttamaan vastaavia projekteja työelämässä. Koen, että työn suorittaminen ja sen aikana kohtaamani haasteet ja niiden ratkaiseminen, parantavat valmiuksiani työelämää silmällä pitäen. Tutkimukseni toteuttaminen tarjoaa minulle mahdollisuuksia lähteä markkinoimaan itseäni muillekin yrityksille, joilla, kuten Valtra Oy:llä, on tarvetta kunnossapitostrategioiden päivittämiseen.

Tehty opinnäytetyö on hyvä ponnahduslauta jatkuvan parantamisen projektien eteenpäin viemiseksi. Opinnäytetyön aikana huomattiin, että kunnossapidon yksikössä muutosvistarinnan sijaan on kohdattavissa ennemminkin muutoksen halukkuutta kunnossapidettävyyttä kohentavia asioita kohtaan. Opinnäytetyössä perustettua kunnossapidon seurantamenetelmää voitaisiin jatkokehittää esimerkiksi Kaizenin tai Tuottavan kunnossapidon (TPM) esittämien periaatteiden mukaisesti. Yksi lähestymistapa olisi tehdä käytettävyyttä parantava OEE analyysi, jossa voitaisiin tehtyä kunnossapidon seurantamenetelmää hyödyntää luomalla sinne analyysin vaatimia kunnossapidon mittareita. Myös muita tapoja kunnossapitotoiminnan kehittämiseksi on olemassa.

Lähteet

- Blanchard, B., Verma, D. & Peterson, E. 1995. Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Haughey, D., N.d. Viitattu 31.10.2015. <https://www.projectsmart.co.uk/pareto-analysis-step-by-step.php>
- Järviö, J. 2000. Luotettavuus keskeinen kunnossapito. Hamina: Oy Kotkan Kirjapaino Ab.
- Karjalainen, E. 2007. Pareto histogrammi ja ohjauskortti 3.10.2007. Viitattu 24.8.2015. <http://www.gk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/laadun-perustyoekalut-pareto-histogrammi-ja-ohjauskortti>
- Laine, H. 2010. Tehokas kunnossapito. 1. painos. Helsinki: KP-Media.
- Laitteiden kriittisyysluokittelu, 2012. Elmas-ohjelmiston esittelylehtinen 8.2.2012. Ramentor Oy. Viitattu 27.8.2015. <http://ramentor-com-bin.al-done.fi/@Bin/7ff83a32ab99bca5b1ffa6e98c075f8b/1440683512/application/pdf/1600410/ELMAS%20-%20Kriittisyysluokittelu.pdf>.
- Loukonen, P. & Salminen, K. 2014. Opinnäytetyö. Viitattu 19.2.2016. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/72328/Loukonen_Petteri%20Salminen_Kyosti.pdf?sequence=1
- Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. 1. painos. Kerava: Savion Kirjapaino Oy.
- Moubray, J. 1997. Reliability-centered Maintenance. 2. edition. New York: Industrial Press Inc.
- PSK 6201. 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 3.p. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys. Viitattu 17.8.2011. <http://opinto-oppaat.jamk.fi>, Kirjasto, Tekniikan ala, PSK-standardit.
- PSK 7501. 2010. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. 2.p. Helsinki: Prosessiteollisuuden standardoimiskeskus. Viitattu 5.2.2015. <http://www.jamk.fi/kirjasto>. Nelli-portaali, PSK Standardit.

Reliability Basics. 2007. Reliability HotWiren julkaisema verkkolehti. 2.2007. Viitattu 24.4.2015. <http://www.weiull.com/hotwire/issue72/relbasics72.htm>.

SAE J1739, N.d. Viitattu 21.8.2015. www.docstoc.com/docs/115259659/process-fmea-sae-j1739

SFS-EN 13306. 2010. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. 2. p. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 19.8.2015. <http://opinto-oppaat.jamk.fi>, Kirjasto, Tekniikan ala, SFS Online.

Sinkkonen, I., Kuoppala, H., Parkkinen, J., & Vastamäki, R. 2006. Käytettävyyden psykologia. 3., uudistettu painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

Smith, A. 1998. Reliability Centered Maintenance. USA: McGraw-Hill.

Smith, A. & Hinchcliffe, G. 2004. RCM - Gateway to world class maintenance. USA: Elsevier Inc.

Stamatis, D. 2010. The OEE Primer Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability, and Maintainability. New York: Productivity Press.

Tietoa Valtrasta N.d. Valtra Oy Ab:n nettisivut Viitattu 26.8.2015. <http://www.valtra.fi/tietoa-valtrasta.aspx>

Liitteet