



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mikael Lehtonen

FMEA:n KÄYTTÄMINEN
LOHKOKONEISTUKSESSA

Wärtsilä Oyj Abp

Tekniikka
2017

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Mikael Lehtonen
Opinnäytetyön nimi	FMEA:n käyttäminen lohkokoneistuksessa
Vuosi	2017
Kieli	suomi
Sivumäärä	38 + 1 liite
Ohjaaja	Marko Rantasalo

Vuosina 2014-2015 Wärtsilässä määriteltiin kahdeksalle kriittisimmälle komponentille laatu- ja tarkastusvaatimukset uusiksi. Näistä komponenteista neljää valmistetaan Wärtsilän Delivery Centre Vaasassa (DCV), jotka ovat moottorilohko, kiertokanki, runkolaakerin satula ja sylinterikansi. Kriittisten komponenttien vaatimuksien määrittelyn jälkeen omassa tuotannossa valmistettaville kriittisille komponenteille päätettiin suorittaa Part Quality Assurance Plan-projektit (PQAP). Nämä projektit aloitettiin vuoden 2016 lopulla. Tässä opinnäytetyössä tehtiin W31-moottorilohkon valmistusprosesseista Failure Mode and Effects Analysis-projekti (FMEA), joka on yksi PQAP:n 14 työvaiheesta. DCV:llä on tehty FMEA-taulukko aikaisemmin sylinterikannesta, mutta taulukkoa ei ole käytetty enää tekemisen jälkeen. Tässä työssä olikin tarkoituksena saada FMEA:sta elävä työkalu, jota käytetään päivittäisessä työssä.

Työn teoreettisessa osuudessa käsitellään ensiksi laadunhallintaa ja laatujohtamista sekä käydään läpi kaksi yleisintä laatujärjestelmää. Seuraavassa osiossa tarkastellaan syvällisemmin PQAP:ta ja pureudutaan erityisesti PQAP:n FMEA-vaiheeseen. Tämän jälkeen kerrotaan FMEA-ohjelmistosta, jonka käytettävyyttä verastosolosuhteissa tässä opinnäytetyössä selvitetään. Työtä lähdettiin toteuttamaan siten, että valittiin ensin työryhmä, joka koostui eri uratasolla olevista henkilöistä. Työryhmän kesken pidettiin kokouksia, joissa FMEA-taulukkoa täytettiin.

Wärtsilän alkuperäisessä FMEA-taulukossa oli verastosolosuhteisiin sopimaton sarake. Taulukkoa muokattiinkin paremmin verastosolosuhteisiin sopivaksi. Sen täyttöä oli mietittävä uudestaan, sillä mukana oli työntekijöitä, jotka tekivät 5-vuorotyötä. Taulukkoa täytettiin siten, että jokainen työntekijä pääsi olemaan taulukon jokaisen sarakkeen täytössä mukana. Projektin myötä prosessiin saatiin jo nyt tehtyä monia parannuksia ja niitä on myös suunniteltu tehtäväksi tulevaisuudessakin.

ABSTRACT

Author	Mikael Lehtonen
Title	The Usage of FMEA in Engine Block Machining
Year	2017
Language	Finnish
Pages	38 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Marko Rantasalo

In Wärtsilä, there were defined new quality and inspection requirements for the eight most critical components in the years 2014-2015. From these components four are produced in Wärtsilä Delivery Centre Vaasa (DCV). These are engine block, connecting rod, main bearing cap and cylinder head. After defining the requirements of the critical components, there was conducted a Part Quality Assurance Plan project for the components produced in the own production. The implementation of these projects was started in the end of the year 2016. In this thesis work, was made a Failure Mode and Effects Analysis project (FMEA) for the manufacturing processes of the W31 engine block. FMEA is one of the phases of the PQAP. In DCV, there was earlier made an FMEA table of cylinder head, but it was not used after it was made. Thus, in this thesis work the main purpose was to make the FMEA tool, which is used in daily work.

In the theoretical framework, is first discussed about the quality management and two most generic quality systems are introduced. Thereafter, is discussed what is PQAP and especially one of its phase FMEA. Lastly in the theory part, is explained an FMEA-program and the usability of the program is studied in this thesis work. The actual implementation of this work was initiated in such a way that first was chosen a work group, which consisted of people from different career levels. The work group had meetings, where the FMEA table was filled in.

In the original FMEA table of Wärtsilä was an inappropriate column for its usage in workshop conditions. The table was modified to be more suitable in workshop conditions. It was considered, that there where employees involved, who worked in five shifts. Thus, the table was filled in so, that every employee was able to be involved in the filling of every column of the table. There were many improvements done after the project and more improvements have been planned to do also in the future.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	10
2	WÄRTSILÄ OYJ.....	11
3	LAATU	12
	3.1 Laadunhallinta ja laatujohtaminen	12
	3.2 Laatujärjestelmät	13
4	PQAP JA FMEA.....	14
	4.1 Part Quality Assurance Plan (PQAP).....	14
	4.2 Failure Mode and Effects Analysis (FMEA).....	18
	4.2.1 FMEA:n tyypit ja lähestymistavat	19
	4.2.2 FMEA:n toteutus.....	20
	4.3 FMEA-ohjelmisto.....	22
5	PROJEKTIN KULKU	26
	5.1 Lohkon valmistusprosessi	26
	5.2 Projektin valmistelu.....	27
	5.3 Projektin tekeminen.....	31
6	YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT.....	35
	LÄHTEET.....	38

LIITTEET

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. PQAP:n 14 vaihetta.	14
Kuva 2. Toisiinsa liittyvät vaiheet PQAP:ssa.	15
Kuva 3. Esimerkki vuokaaviosta.	16
Kuva 4. FMEA:n jatkuva prosessi.	21
Kuva 5. FMEA:n työvaiheet FMEA-ohjelmassa.	23
Kuva 6. Kuva ohjelmaan tehdystä puurakenteesta.	24
Kuva 7. Lohkokoneistuksen prosessikaavio.	27
Kuva 8. Alkuperäisen FMEA-pohjan neljä ensimmäistä otsikkoa.	29
Kuva 9. Muokatun FMEA-pohjan neljä ensimmäistä otsikkoa.	30
Kuva 10. Tämän projektin FMEA:n täyttöjärjestys.	32
Kuva 11. Alkuperäinen FMEA:n täyttöjärjestys.	32
Kuva 12. SWOT-analyysi ohjelmiston käytöstä.	34
Taulukko 1. FMEA-taulukko tässä ohjelmassa.	25
Taulukko 2. Wärtsilän alkuperäinen Excel-pohja.	28
Taulukko 3. Vakavuuden vaikutustaulukko.	30
Taulukko 4. Vian esiintymistodennäköisyys.	31
Taulukko 5. Vian tunnistamisen todennäköisyys.	31

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Osio tehdystä FMEA-työkalusta

LYHENTEET

PQAP	Part Quality Assurance Plan, 14 vaihetta sisältävä laadunvarmistussuunnitelma.
FMEA	Failure Mode & Effects Analysis, vika- ja vaikutusanalyysi.
ISO	International Organization for Standardization, laatujärjestelmä.
VVA	Vika- ja vaikutusanalyysi, Suomessa käytetty lyhenne FMEA:lle.
S	Severity, vikatyypin vakavuusluokitus.
O	Occurrence, vikatyypin toistuvuus.
D	Detection, vikatyypin havaittavuus.
RPN	Risk Priority Number, vikatyypin vakavuuden, vikatyypin toistuvuuden ja vikatyypin havaittavuuden yhteenkerrottu luku.
CTQ	Critical to Quality, prosessivaiheen laadulle kriittiset asiat.
ITP	Planning of Inspection and Testing, tarkastuksen ja testauksen suunnitelma.
EFQM	European Foundation for Quality Management, laatujärjestelmä.
TQM	Total Quality Management, kokonaisvaltaisen laatujohtamisen malli.
DFMEA	Design Failure Mode & Effects Analysis, FMEA:n tyyppi.
PFMEA	Process Failure Mode & Effects Analysis, FMEA:n tyyppi.
SFMEA	System Failure Mode & Effects Analysis, FMEA:n tyyppi.
IDM	Intelligent Document Management, dokumenttien hallintajärjestelmä.
AIAG	Automotive Industry Action Group, voittoa tavoittelematon järjestö.
VDA	Verband Der Automobilindustrie, autonvalmistajien järjestö.
FAT	Factory Acceptance Test, tehdastesti.
DCV	Delivery Centre Vaasa, Wärtsilän Vaasan tehdas.

SWOT Strengths (vahvuudet), Weaknesses (heikkoudet), Opportunities (mahdollisuudet), Threats (uhat).

1 JOHDANTO

Wärtsilä on vaatinut PQAP:n ja FMEA:n tekemistä alihankkijoilta jo pitkään. DCV:llä ei kuitenkaan ole omasta tuotannosta FMEA:ta tehty muista kuin sylinterikannesta, joka on valmistumisen jälkeen jäänyt pöytälaatikkoon, eikä sitä ole sen koommin käytetty.

Vuosina 2014-2015 Wärtsilässä määriteltiin kahdeksalle kriittisimmälle komponentille laatu- ja tarkastusvaatimukset uusiksi. Näistä komponenteista neljää valmistetaan Wärtsilän Delivery Centre Vaasassa. Yksi näistä kriittisimmistä tuotteista on moottorilohko. Lohkokoneistuksen PQAP-prosessi aloitettiin 2016 loppuvuodesta Control Planin tekemisellä. Tammikuussa 2017 aloitettiin FMEA-projektin tekeminen lohkokoneistukselle. Tämä opinnäytetyö koskee FMEA-projektin tekemistä lohkokoneistukselle, joka tehtiin laatuorganisaation toimesta. Opinnäytetyössä tutkitaankin nimenomaan FMEA:n käytettävyyttä lohkokoneistuksessa.

Työn tarkoituksena oli tehdä W31-moottorin lohkokoneistusprosessista kokonaisvaltainen FMEA-projekti, jota voidaan hyödyntää tulevaisuudessa lohkon laatuun liittyvissä asioissa. FMEA tehtiin Excel-pohjalle, jota muokattiin käytettävyyden kannalta parempaan suuntaan. Opinnäytetyössä selvitettiin myös prosessinkehittäjien käyttämää FMEA-ohjelmistoa ja sitä kuinka se toimisi verstasolosuhteissa.

2 WÄRTSILÄ OYJ

Wärtsilä perustettiin vuonna 1834 Tohmajärvelle. Tuolloin Wärtsilä toimi pelkästään sahana. Vuonna 1851 Wärtsilä muuttui sahasta rautatehtaaksi. Nykyään Wärtsilä on kansainvälinen edistyksellisen teknologian ja kokonaislinkaariratkaisujen toimittaja merenkulku- ja energia-alalla. /1/. Wärtsilässä on nykyään kolme eri organisaatiota, jotka ovat Marine Solutions, Energy Solutions ja Services /2/.

Marine Solutions tarjoaa erilaisia ratkaisuja meriteollisuudelle sekä öljy- ja kaasuteollisuudelle. Energy Solutions toimittaa polttomoottorikäyttöisiä voimalaitoksia ja isoja aurinkovoimaloita sekä nesteytetyn maakaasun terminaali- ja jakelujärjestelmiä. Services puolestaan huolehtii toimitetun järjestelmän huollosta järjestelmän koko elinkaaren ajan. /2/

3 LAATU

Laadun määrittelemisen on harvoin yksiselitteistä. ISO 9000-laaturjestelmän standardissa se on määritelty seuraavasti: ”aste, jolla joukko ominaisia piirteitä täyttää vaatimukset”. /3/

Ennen laadun mittausta ja arviointia on tunnistettava niin ulkoisten kuin sisäistenkin asiakkaiden tärkeät ominaisuudet ja niille määritellyt tavoitearvot. Kun tämä on tehty, voidaan mitata oloarvot ja verrata niitä tavoitearvoihin. On tärkeää siis tietää mitä pitäisi olla, jotta voidaan mitata sitä mitä on. Tällöin pystymme määrittelemään onko laadussa puutteita vai ei. /3/

Laadun määritelmää voidaan hyödyntää myös prosessin ja johtamisen laadun määrittämisessä sekä mittaamisessa. Jos ongelmia ilmenee tuotteen laadussa, niin juurisyyt löytyvät usein itse prosessista ja sen johtamisesta. Laadun määrittäminen on siis johdon tehtävä ja heidän tulee viestiä se henkilöstölle. /3/

3.1 Laadunhallinta ja laatujohtaminen

Laadunhallinnassa on kyse tuotteen tai palvelun laadun ylläpidosta ja hallinnasta sen laatuvaatimusten mukaisesti. Puhuttaessa kokonaisvaltaisesta laadunhallinnasta voidaan käyttää myös termejä laatujohtaminen ja kokonaisvaltainen laatujohtaminen. Kokonaisvaltainen laatujohtaminen (Total Quality Management, TQM) nähdään avainasiana liiketoimintastrategian parantamisessa ja tulevaisuuden johtamisessa. Se nimittäin lisää tehokkuutta ja vahvistaa kilpailuasemaa. /4, 5/

Organisaatio, joka korostaa laatua ja sitoutuu siihen, noudattaa laatujohtamisen toimintamallia. Laatujohtamisen toimintamallissa pyritään pieniin ja jatkuviin parannuksiin, jossa laatu rakennetaan osaksi toimintaprosesseja ja toiminnasta poistetaan epäkohdat sekä virheet. Tärkeää on myös pyrkiä lyhyisiin läpimenoaikoihin, sillä sitä kautta saavutetaan nopeutta, joustavuutta sekä vähennetään sidotun pääoman määrää. Investoimalla kokonaisvaltaiseen laadunhallintaan yritykset pystyvät parantamaan ennen kaikkea

tuotteiden/palveluiden laatua, tehokkuutta, tuottavuutta, asiakaspalvelua sekä lisäämään myös markkinaosuutta. Mikäli kokonaisvaltainen laadunhallinta on toteutettu hyvin, on myös mahdollista saavuttaa muitakin etuja, kuten lisää joustavuutta, tyytyväisemmät työntekijät ja asiakkaat sekä varastojen ja virheiden väheneminen. /4/

3.2 Laatu järjestelmät

Useimmilla organisaatioilla on käytössään laadunhallintajärjestelmistä ISO 9000 tai European Foundation for Quality Management, EFQM. ISO 9000 on maailmanlaajuinen standardi, josta löytyvät laadunhallintajärjestelmän sanasto ja perusteet. ISO-laatustandardissa kohta 9001 sisältää vaatimukset tuotteelle, jotka sen on täytettävä. Kohta 9004 puolestaan sisältää ohjeet organisaatiolle, joka pyrkii jatkuvaan menestykseen. /4/

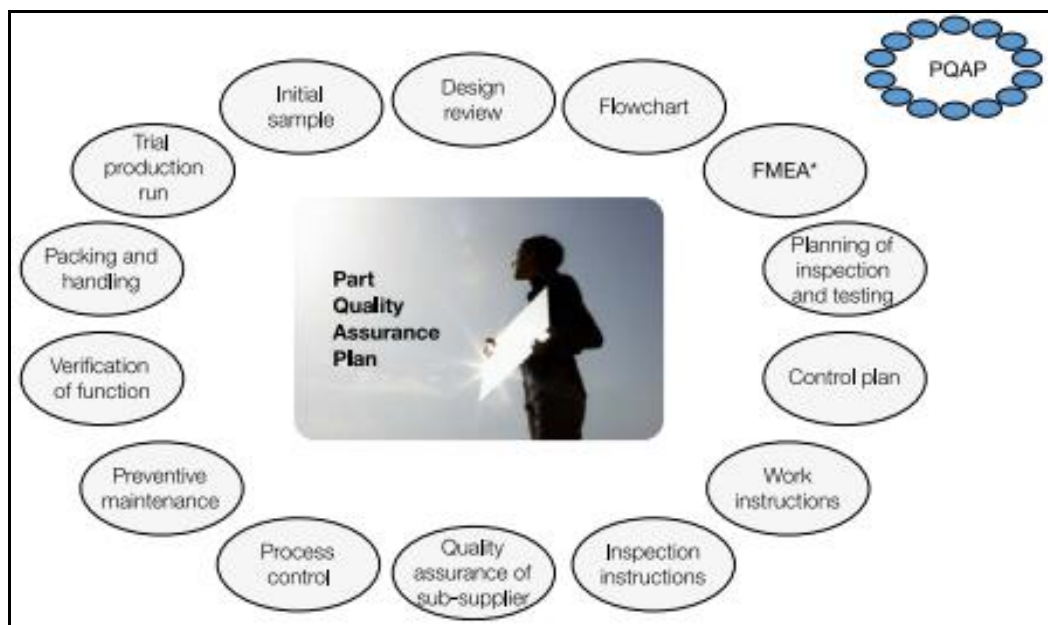
European Foundation for Quality Management on kehittänyt erinomaisuuden itsearviointimallin (The EFQM Excellence Model). EFQM-järjestelmästä on tullut yleisin Euroopassa käytetyin organisatorinen viitekehys. Sitä käytetään perustana alueellisille sekä kansallisille laaturahastoille. Järjestelmän hyviä puolia ovat sen joustavuus sekä soveltuvuus kaikille organisaatioille. EFQM-mallia käytetään laajasti eri tarkoituksiin, esimerkiksi itsearvioinnissa sekä perustana yrityksen johtamisjärjestelmässä. /4/

4 PQAP JA FMEA

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) eli vika- ja vaikutusanalyysi on yksi vaihe PQAP:n 14 vaiheesta. Seuraavaksi käsitellään ensin yleisesti PQAP:ta, jonka jälkeen käydään läpi tarkemmin mistä FMEA:ssa on kyse.

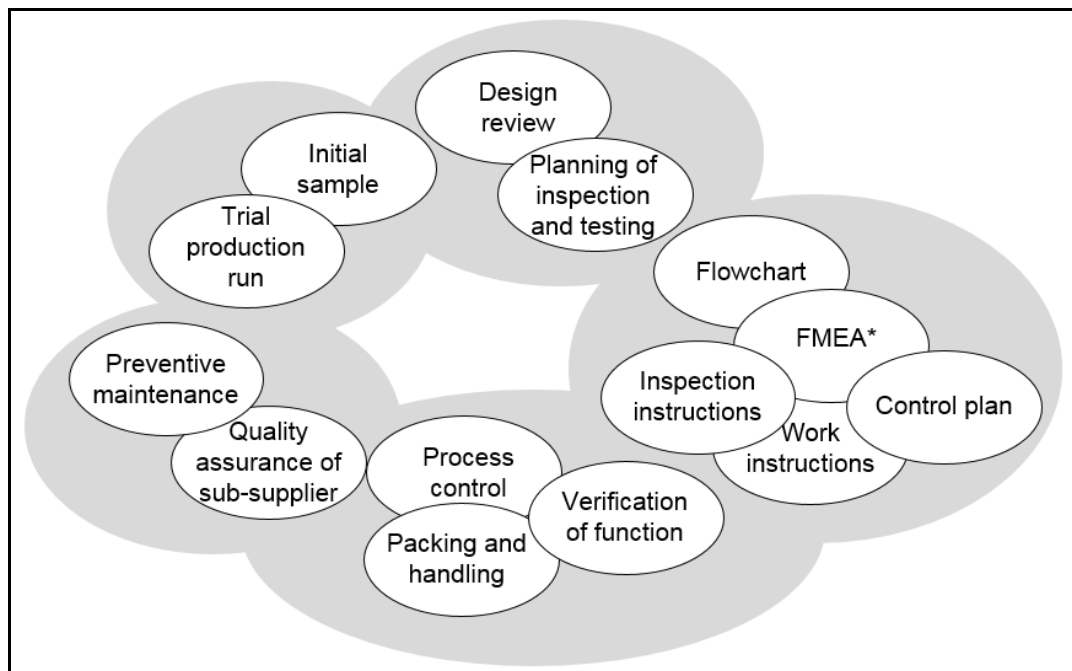
4.1 Part Quality Assurance Plan (PQAP)

PQAP koostuu 14 osa-alueesta (**Kuva 1.**), jotka ovat: Design Review, Flowchart, FMEA, ITP (Planning of Inspection and Testing), Control Plan, Work Instructions, Inspection Instructions, Quality Assurance of Sub-Supplier, Process Control, Preventive Maintenance, Verification of Function, Packing and Handling, Trial Production Run sekä Initial Sample. /6/



Kuva 1. PQAP:n 14 vaihetta.

Näistä PQAP:n 14 vaiheesta osa vaihteista liittyy toisiinsa (**Kuva 2.**). /6/



Kuva 2. Toisiinsa liittyvät vaiheet PQAP:ssa.

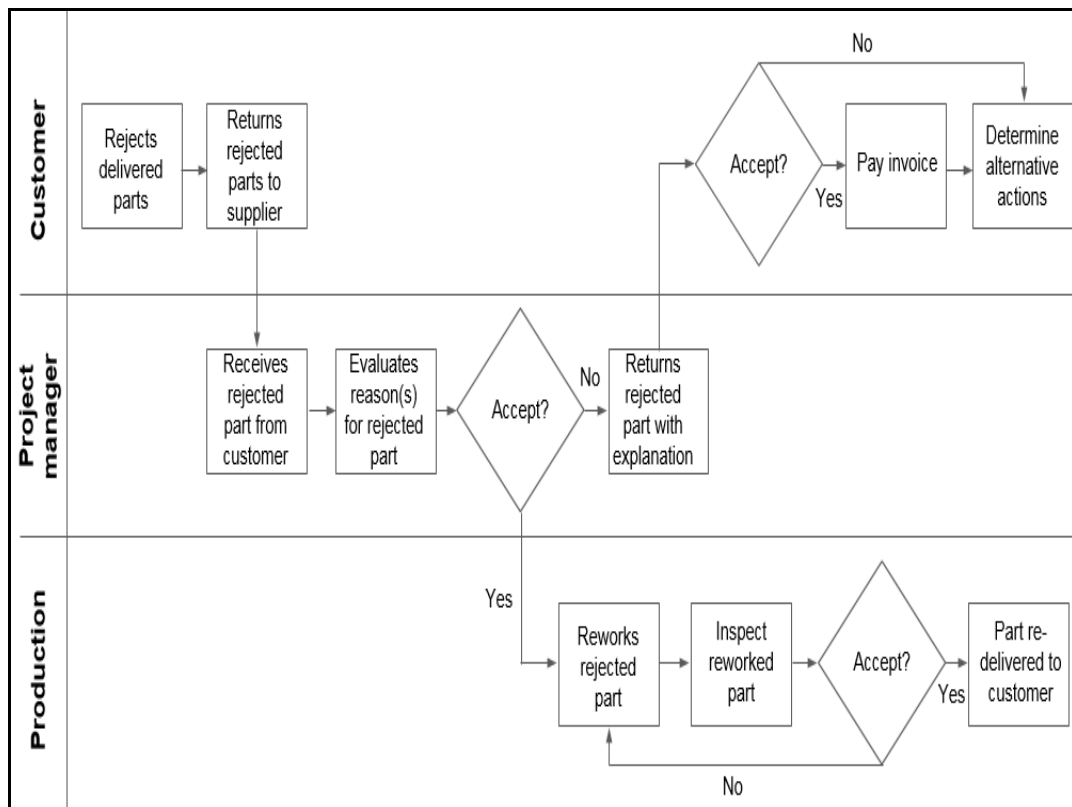
Seuraavaksi käsitellään PQAP:n käsitteet lyhyesti Wärtsilä Supplier Handbookin mukaan. /6/

Design Review

Tässä vaiheessa tarkastellaan tuotteen muotoilua, toimivuutta ja valmistettavuutta. Tarkastelun kohteena on esimerkiksi geometriset mitat ja toleranssit.

Vuokaavio (Flowchart)

Vuokaavio esittää prosessin kaikki vaiheet loogisesti ja sen miten vaiheet liittyvät toisiinsa. Seuraavalla sivulla on esimerkki vuokaaviosta (**Kuva 3.**).



Kuva 3. Esimerkki vuokaaviosta.

Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Suomessa käytetty termi FMEA:lle on vika- ja vaikutusanalyysi (VVA). Se on menetelmä, jossa tuotteiden ja prosessien ongelmia tunnistetaan sekä pyritään estämään ennen kuin ongelmia syntyy.

Planning of Inspection and Testing (ITP)

Tässä vaiheessa yrityksen on analysoitava kykyään tarkistaa ja testata sitä, että tuote ja prosessi vastaavat teknisissä dokumentaatioissa esitettyjä vaatimuksia.

Control Plan

Control Plan sisältää dokumentaation kaikista laadunvarmistukseen liittyvistä mittauksista tuotantoprosessissa sekä kuvailee kuinka toimintoja kontrolloidaan. Siihen on tärkeää sisällyttää kaikki prosessin vaiheet.

Work Instructions

Työohjevaiheessa tehdään ja dokumentoidaan ohjeistukset sellaisiin prosesseihin, joissa on mahdollista syntyä laatuongelmia.

Inspection Instructions

Kaikissa tarkastus- ja testausvaiheissa on oltava dokumentoidut tarkastusohjeet. Tarkastusohjeista selviää mitä mitataan/testataan, millä menetelmillä ja kriteereillä sekä kuinka tarkastus/testaus todennetaan.

Quality Assurance of Sub-Supplier

Mikäli alihankkijoita käytetään, tulee varmistaa kuinka he korjaavat laaturvirheet ja varmistavat oikea-aikaisen toimituksen.

Process Control

Prosessinohjausvaiheessa tunnistetaan tuotantovaiheen kriittiset ominaisuudet. Näille tunnistetuille ominaisuuksille määritellään miten kontrolli suoritetaan. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi tilastollisella prosessinohjauksella.

Preventive Maintenance

Tuotantolaitteet on pidettävä hyvässä kunnossa ja niiden ylläpito on tehtävä ennaltaehkäisevästi.

Verification of Function

Tämä työvaihe tehdään vain niille tuotteille, joissa on erityisiä toimintoja. Tässä siis testataan, kuinka toiminnot varmistetaan. Monimutkaisemmille tuotteille tehdään tehdastesti eli Factory Acceptance Test (FAT).

Packing and Handling

Tässä vaiheessa suunnitellaan tuotteen pakkaamiseen ja käsittelyyn liittyvät toiminnot, jotta voidaan välttyä tuotteeseen kohdistuvilta vahingoilta.

Trial Production Run

Trial Production Run-vaiheessa todistetaan, että pystytään tuottamaan vaaditun laadun ja volyymin mukaisesti.

Initial Sample

Ensimmäinen näyte tuotetaan samoilla menetelmillä ja laitteilla, joilla se tulevaisuudessakin tehdään. Tämän tuotteen mukana toimitetaan myös ensimmäisen näytteen tarkistusraportti sekä tarkistus- ja testaussuunnitelma. Jos kyseessä on monimutkainen tuote, on myös tarkistettava tuotantovälineiden kunto ennen seuraavan tuotteen toimitusta.

4.2 Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

Virheistä oppiminen voi olla kallista ja aikaa vievää. FMEA:ta käytetäänkin mahdollisten virheiden löytämiseen ennaltaehkäisevästi. Se on systemaattinen metodi identifioida ja estää ongelmien syntymistä. FMEA on alun perin otettu käyttöön 1940-luvun loppupuolella Yhdysvaltain puolustusvoimissa. Sitä käytettiin myöhemmin myös lentokone- sekä avaruusteollisuuden kehityksessä. Vaikka se on kehitetty armeijaympäristöön, niin tänä päivänä se palvelee useita eri toimialoja, kuten autoteollisuutta, terveydenhuoltoa ja metalliteollisuutta. /7/. Insinööriyössä on aina analysoitu tuotteiden ja prosessien mahdollisia virheitä, ja FMEA tarjoaa tähän yleispätevän työkalun /8, s. 1/.

FMEA:n avulla pystytään määrittelemään etukäteen millaisia riskejä muutoksilla on ja miten ongelmat voidaan estää ennen kuin ne syntyvät. Toiminnan parantamisessa FMEA:n ajantasaisuus on yksi FMEA:n tärkeimmistä tekijöistä sen menestyksessä toteutuksessa. Tarkoituksena siinä on nimenomaan pyrkiä ennaltaehkäisevään toimintaan. FMEA olisi hyvä toteuttaa aina ennen tuotteen tai prosessin implementointia, jotta sillä saavutettaisiin parhaat lopputulokset. FMEA:n avulla voidaan estää toimimattomien muutosten täytäntöönpano. Lisäksi sen avulla voidaan tehdä tietokanta ongelmien kartoittamiseen. /7/

4.2.1 FMEA:n tyypit ja lähestymistavat

FMEA voidaan luokitella eri tyyppeihin: System FMEA (SFMEA), Design FMEA (DFMEA) ja Process FMEA (PFMEA). System FMEA:ta käytetään järjestelmän ja ala-järjestelmien analysoimiseen siinä, kuinka järjestelmän pitäisi toimia ja mitä tapahtuu, jos se ei toimi. Sen lopputuloksena saadaan lista vikatyypeistä järjestettynä RPN-luvun mukaan sekä lista järjestelmän toiminnoista, jotka voivat aiheuttaa vian. SFMEA:n etuja on muun muassa se, että sen avulla saadaan valittua optimaalinen järjestelmärakenne ja pystytään identifioimaan järjestelmän vikoja ja niiden yhteyttä muihin järjestelmiin/alajärjestelmiin.

Design FMEA on analysointimetodi, joka keskittyy tuotteen/osan suunnitteluun ja sen vaatimukseen. Tätä käytetään ennen kuin tuotteet laitetaan tuotantoon. Tämänkin lopputuloksena saadaan lista vikatyypeistä RPN-luvun mukaan järjestettynä ja lisäksi voidaan listata tuotteen kriittiset ominaisuudet sekä tuotteen turvallisuuteen vaikuttavat tekijät. Process FMEA:ssa keskitytään tuotantoprosessin analysointiin. Sen lopputulemana saadaan myös lista vikatyypeistä RPN-luvun mukaan järjestettynä sekä voidaan osoittaa kriittiset ja merkittävät tekijät kyseisessä tuotantoprosessissa. /7/

Wärtsilässä FMEA:han on luokiteltu kaksi eri lähestymistapaa: Prevention Approach (PA FMEA) ja Early Warning Approach (EW FMEA). PA FMEA:ssa on kyse siitä, että vika yritetään estää, eliminoida tai vähintäänkin minimoida turvallisilla suunnitteluratkaisuilla. Tässä lähestymistavassa keskitytään siis riskeihin suunnitteluvaiheessa. Tarkoitus on pyrkiä miettimään mikä voi mennä pieleen järjestelmässä tai komponentissa huonojen suunnitteluratkaisujen vuoksi. Tämän FMEA-lähestymistavan avulla pystytään miettimään ennakoivia toimia, jos suunnittelussa ilmenee heikkouksia. PA FMEA:ta voidaan käyttää sekä SFMEA:ssa että DFMEA:ssa.

EW FMEA:ssa keskitytään riskeihin operatiivisessa vaiheessa ja perusoletuksena on, että virhe tapahtuu järjestelmän/komponentin ollessa toiminnassa. Tässä tärkein asia on pystyä näyttämään kyky reagoida virheisiin vahvalla ja

turvallisella lähestymistavalla. Kun on olemassa vahva automatisoitu järjestelmä, pystytään välttämään vakavat seuraukset järjestelmässä. EW FMEA-lähestymistapaa käytetään tyypillisesti SFMEA:ssa. /7/

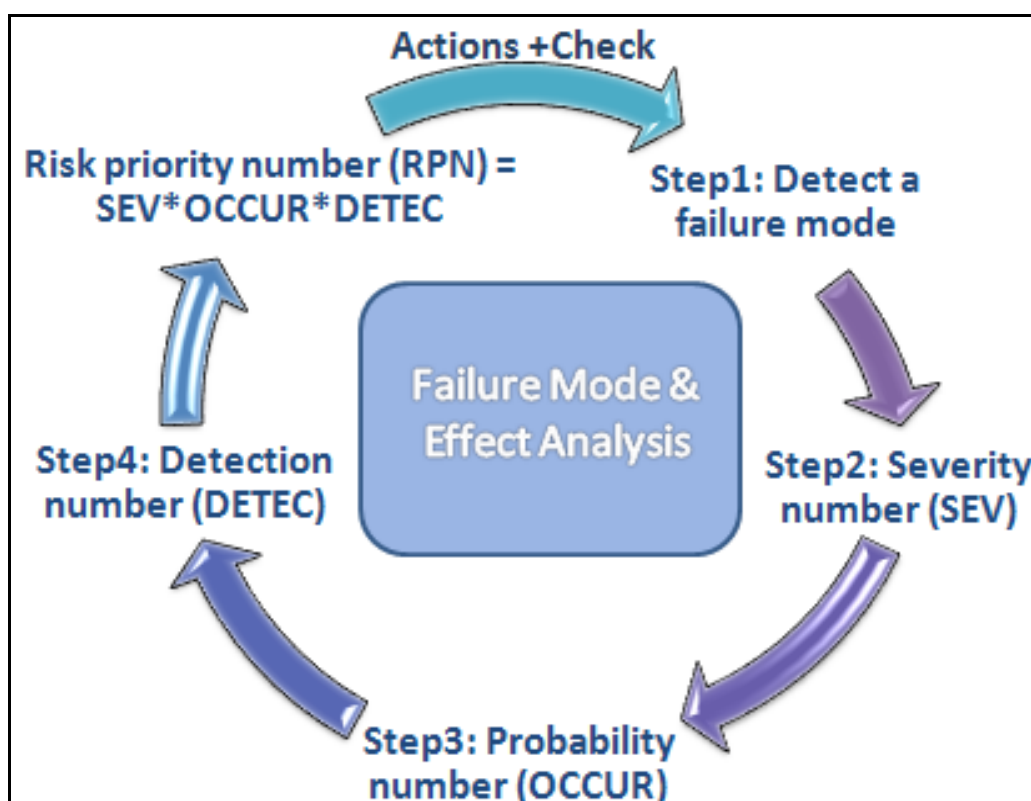
4.2.2 FMEA:n toteutus

FMEA tulee toteuttaa systemaattisesti. Stamatisin mukaan FMEA:n toteutuksessa on kahdeksan vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa valitaan soveltuva tiimi FMEA:n toteuttamiseen. Tiimin on hyvä olla moniulotteinen, joten siihen on hyvä ottaa mukaan jäseniä eri organisaatioista ja eri uratasoilta. Kun tiimi on muodostettu, tulee priorisoida mitkä ovat kehitysalueet ja miettiä keskitytäänkö järjestelmään, designiin vai prosessiin. SFMEA:ssa ja DFMEA:ssa käytetään apuna toiminnallista lohkokaaaviota (Functional Block Diagram) kun taas PFMEA:ssa käytetään vuokaaviota (Flowchart). Ideana tässä vaiheessa on se, että kaikki tiimin jäsenet saadaan ymmärtämään FMEA:n kohteena oleva järjestelmä/toiminto/prosessi samalla tavalla. Kun käytetään toiminnallista lohkokaaaviota, keskustelu keskittyy järjestelmään ja designiin. Vuokaaviota käytettäessä keskustelu keskittyy puolestaan prosessiin. Molemmat näistä työkaluista kuitenkin auttavat antamaan kattavan yleiskuvan tutkimuksen kohteena olevasta asiasta. /9/

Kolmannessa vaiheessa eli priorisointivaiheessa, kun tiimi on ymmärtänyt ongelman, aloitetaan itse analysointi. Tiimin pitää miettiä mikä osa on tärkeä ja mistä tiimin pitäisi lähteä liikkeelle. Priorisoinnin jälkeen aloitetaan datan kerääminen. Tällöin tiimi kerää tietoa virheistä ja kategorisoi ne asianmukaisesti sekä aloittaa myös täyttämään FMEA-työkalua. Virheet, jotka identifioidaan ovat siis FMEA:n vikatyyppejä. Seuraavaksi on vuorossa kerätyn tiedon analysointi, jossa voidaan hyödyntää esimerkiksi brainstorming-metodia. Analysoitua tietoa käytetään FMEA-työkalun vikatyypin vaikutussarakkeen ja olemassa olevat kontrollit-sarakkeen täyttämiseen. Samalla keskustellaan tutkimuksen kohteena olevan FMEA-työkalun pisteyttämisperiaatteista. Analyysin perusteella vedetään yhteen tulokset, joista voidaan muodostaa numeeriset arvot vakavuudelle (severity), toistuvuudelle (occurrence),

havaittavuudelle (detection) ja RPN-luvulle. Kyseiset kolumnit täytetään sitten FMEA-taulukko. /9/

Sen jälkeen, kun FMEA-taulukon asianmukaiset kohdat on täytetty, mietitään suositeltuja toimenpiteitä RPN-luvun pienentämiseksi. Toimenpiteiden täytäntöönpanon jälkeen arvioidaan ja mitataan kyseisen toimenpiteen vaikutusta pisteisiin. Koska FMEA:n tarkoituksena on pyrkiä jatkuvaan parantamiseen, on tiimin käytävä FMEA-taulukon kohdat uudestaan läpi huolimatta siitä, että mitatut ja arvioidut tulokset olisivatkin olleet jo hyviä. FMEA:n tarkoitus onkin pitkällä tähtäimellä pystyä poistamaan jokainen yksittäinen virhe kun taas lyhyellä tähtäimellä pyritään vähentämään virheiden esiintyvyyttä ja vakavuutta ellei niitä pystytä kokonaan poistamaan. /9/. Myös Wärtsilän FMEA-materiaalista otetussa kuvassa on havainnollistettu FMEA-prosessin jatkuvuutta (**Kuva 4.**) /7/.



Kuva 4. FMEA:n jatkuva prosessi.

FMEA:n valmistumisen jälkeen on varmistettava, että FMEA:n tarkoitus ja tavoitteet on saavutettu sekä tarkoituksenmukaiset toimet ovat joko tuotu esiin tai

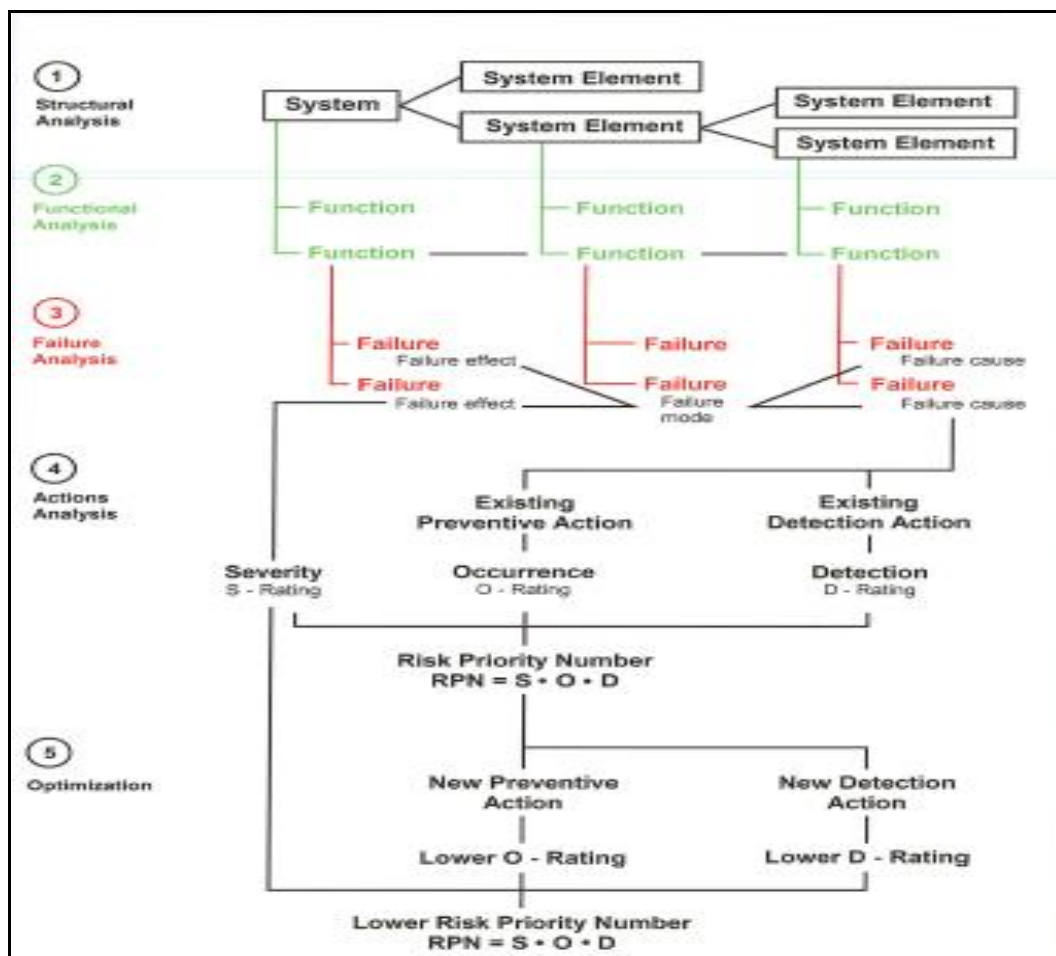
jo pantu täytäntöön. Vakavuussarake (severity) ja RPN-sarake identifioidaan korkean riskin alueiksi. Näille sarakkeille voidaan määritellä korkean riskin rajat. Vakavuussarakkeessa korkean riskin rajana voidaan pitää lukua seitsemän tai suurempi. RPN-sarakkeessa korkean riskin rajana voidaan pitää lukua 100 tai suurempi. Lisäksi on myös varmistettava, että Control Plan on olemassa ja sitä seurataan. Sen avulla varmistetaan tuotteen käytettävyys/turvallisuus asiakkaalle. /9/

4.3 FMEA-ohjelmisto

Projektin alussa palaverissa tuli esiin ohjelma, jolla prosessin kehittäjät ovat tehneet FMEA-projekteja. Wärtsilällä on käytössään neljä lisenssiä kyseiseen ohjelmaan. Tässä projektissa olikin yhtenä tehtävänä selvittää ohjelman mahdollinen käyttö W31-lohkokoneistuksen FMEA-projektissa sekä nostaa esiin ohjelman hyviä ja huonoja puolia liittyen sen käytettävyyteen verstasolosuhteissa.

Ohjelma on saksalainen, jota käytetään FMEA:n tekemiseen. Se lanseerattiin vuonna 1992. Vuosien mittaan sitä on kehitetty ja siihen on lisätty monenlaisia ominaisuuksia. Ohjelmassa on paljon muitakin ominaisuuksia kuin vain FMEA. Siitä löytyy muun muassa Functional Safety Analysis, Fault Tree Analysis, Design Review by Failure Mode sekä Bareto. /10/

Ohjelman toimintaperiaatteeseen FMEA:ta tehtäessä liittyy viisi eri työvaihetta (**Kuva 5.**). Työvaiheet ovat Structural Analysis (rakenneanalyysi), Functional Analysis (toiminnallinen analyysi), Failure Analysis (vikatyypianalyysi), Actions Analysis (toiminta-analyysi) sekä Optimization (optimointi). /11/

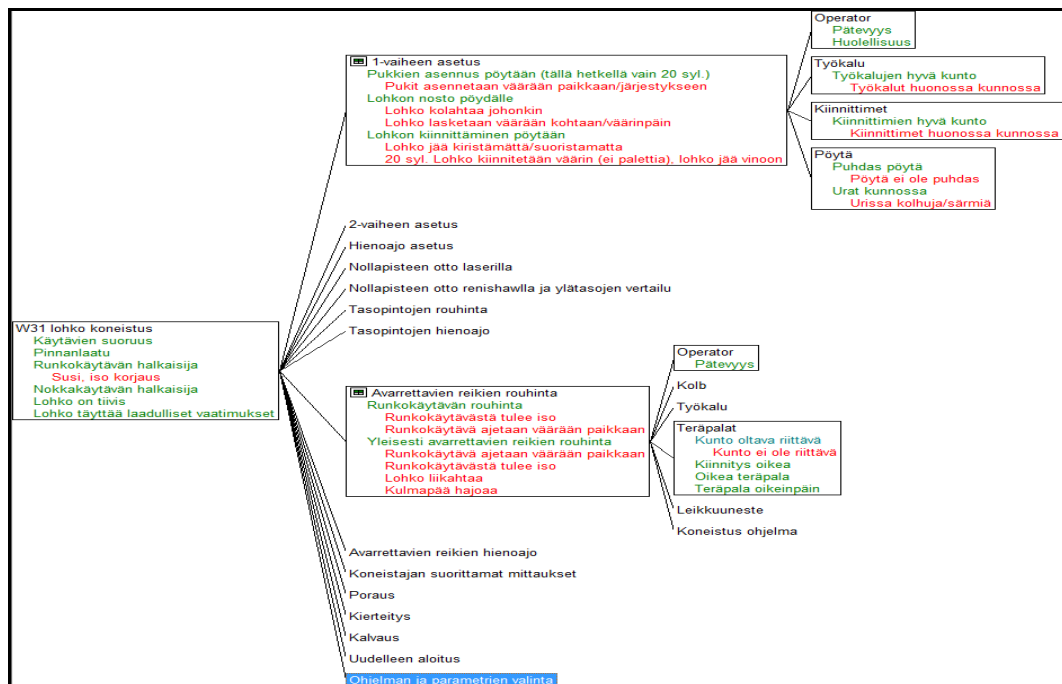


Kuva 5. FMEA:n työvaiheet FMEA-ohjelmassa.

Ensimmäisessä eli rakenneanalyysissä tutkittavasta kohteesta tehdään puurakenne. Vasempaan laatikkoon tulee tutkittava prosessi eli W31-lohkokoneistus (**Kuva 6**). Ensimmäiseen laatikkoon linkittyviin keskimmäisiin laatikoihin laitetaan prosessissa tarvittavat osaprosessit esimerkiksi 1-vaiheen asetus. Viimeisiin laatikoihin, jotka linkittyvät keskimmäisiin laatikoihin, laitetaan kussakin osaprosessissa tarvittavat resurssit esimerkiksi operator. /11/

Toisessa vaiheessa lisätään toiminnallisuuksia (vihreät kohdat) ensimmäisessä vaiheessa tehtyihin laatikoihin. Vasempaan laatikkoon lisätään toimintoja, jotka valmiin tuotteen tulee täyttää eli esimerkiksi käytävien suoruus. Keskimmäisiin laatikoihin lisätään osaprosessissa tapahtuvat toiminnot eli esimerkiksi pukkien asennus pöytään. Viimeisiin laatikoihin tässä vaiheessa lisätään asioita, joita resurssit vaativat onnistuakseen eli esimerkiksi pätevyys. /11/

Kolmannessa eli vikatyypianalyysissä (punaiset kohdat) vasempaan laatikkoon lisätään vihreiden kohtien alle virheen seurauksia eli susi, iso korjaus. Kesimmäisiin laatikoihin lisätään vihreiden kohtien alle niissä mahdollisesti tapahtuvat virheet eli esimerkiksi pukit asennetaan väärään paikkaan/järjestykseen. Viimeisiin laatikoihin lisätään resurssien vaatimuksien alle vikatyyppejä eli esimerkiksi työkalut huonossa kunnossa. /11/



Kuva 6. Kuva ohjelmaan tehdystä puurakenteesta.

Kun kolme ensimmäistä vaihetta on tehty, valitaan ohjelmasta FMEA-taulukko (**Taulukko 1.**). Useimmiten käytetään taulukkoja AIAG tai VDA. Ohjelma täyttää automaattisesti taulukkoon ensimmäisessä, toisessa ja kolmannessa vaiheessa kirjoitetut kohdat. Tämän jälkeen siirrytään neljänteen työvaiheeseen eli toiminta-analyysiin. /11/

Taulukko 1. FMEA-taulukko tässä ohjelmassa.

N O.	Function	Customer consequence	Disturbed function	C	Potential Failure Mode	Potential Cause(s) of Failure	Action	S	O	D	RPN	Recommended Actions	R/D	Actions Taken	S	O	D	RPN	
Failure Modes, their Effects and Criticality Analysis																			
		Component:	Vehicle:	FMECA:		Analysts:				Created:	Page:								
		References:								Modified:									
N O.	Function	Potential Failure			Potential Failure Mode	Potential Cause(s) of Failure	Action	S	O	D	RPN	Recommended Actions	R/D	Action plan		Result			
	Customer consequence	Effects	Disturbed function	C										Actions Taken	S	O	D	RPN	
Process Element: 10.8 Avarrettavien reikien rouhinta																			
10.8.4	10.8.a Runkokäytävän rouhinta (1)		10.c.1 Susi, iso korjaus (1)		10.8.a.1 Runkokäytävästä tulee iso (2)	10.8.4.a.1 Kunto ei ole riittävä (1)		8	8	5	320							8	6
					10.8.a.2 Runkokäytävä ajetaan väärään paikkaan (2)														
	10.8.b Yleisesti avarrettavien reikien rouhinta (1)				10.8.b.1 Runkokäytävä ajetaan väärään paikkaan (2)														
					10.8.b.2 Runkokäytävästä tulee iso (2)														
					10.8.b.3 Lohko likahtaa (1)														
					10.8.b.4 Kulmapää haioaa (1)														

Neljännessä eli toiminta-analyysissä keskitytään toimenpiteiden löytämiseen, joilla saadaan pienennettyä sitä kuinka usein vikatyypin esiintyy sekä löytämään parempia kontrolleja, joilla vika voitaisiin havaita/ehkäistä. Toimenpiteille laaditaan myös aikataulut ja vastuuhenkilöt. Viidennessä eli optimointivaiheessa käydään läpi suoritettuja toimenpiteitä ja pisteytetään kohdat uudestaan, sillä parannustoimenpiteet vaikuttavat alentavasti vikatyypin esiintyvyyss pisteisiin sekä virheen havaitsemis-/ehkäisemispisteisiin. /11/

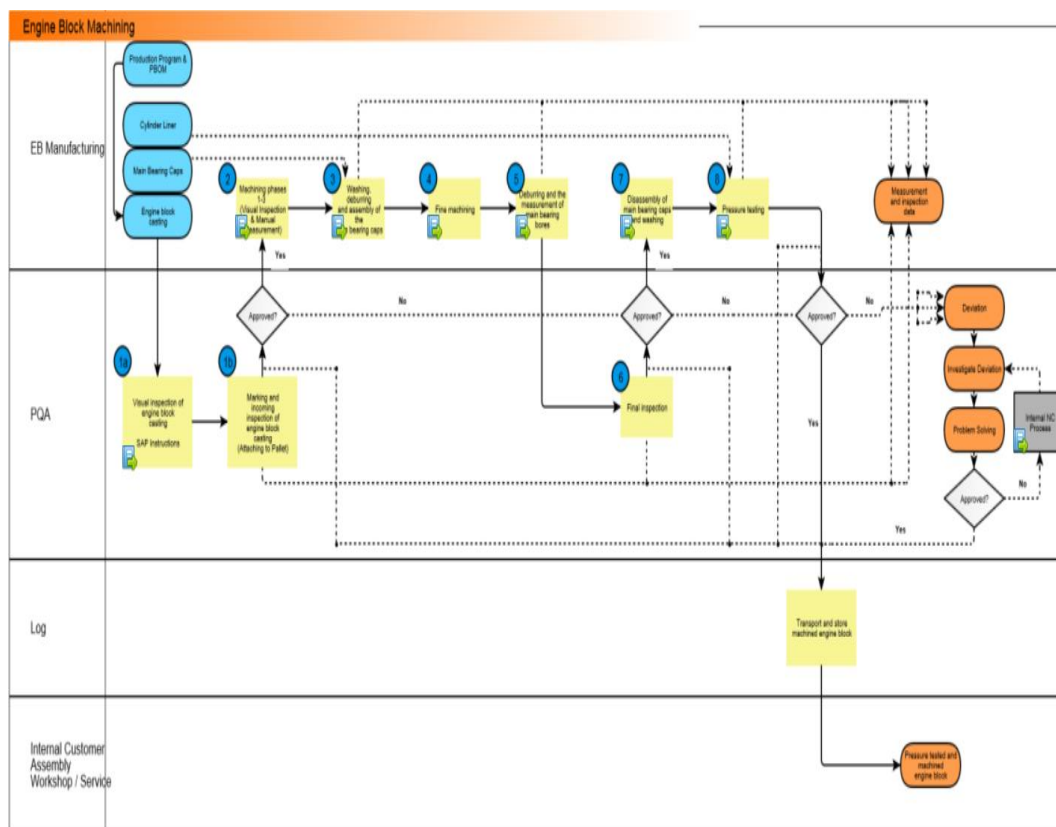
5 PROJEKTIN KULKU

Projektin tarkoituksena oli tehdä FMEA W31-moottorilohkon kaikista valmistusvaiheista, joita moottorilohkolle tehdään lohkokoneistusverstaalla. W31 on Wärtsilän uusi moottori, jonka lohkon koneistamisesta ei ole vielä paljon kokemusta. FMEA:n tarkoitus on löytää virheet ennaltaehkäisevästi, jonka vuoksi projektin kohteeksi valittiin W31-moottorilohko. Näin saatiin koneistuksen kriittisiä kohtia nostettua esiin jo alkuvaiheessa, ja siten koneistuksesta saadaan tulevaisuudessa mahdollisimman virheetön prosessi.

Projektin tavoite oli saada W31-lohkon FMEA:sta käytännöllinen ja helppokäyttöinen jokapäiväinen työkalu, jota käytetään prosessiin liittyvissä ongelmatilanteissa ja prosessin mahdollisissa muutoksissa. Taulukkoa on tulevaisuudessa tarkoitus käyttää yhtenä työkaluna laatuun liittyvissä asioissa, laatupalaverissa sekä mallina muille osastoille FMEA:n tekemisestä. FMEA:n käyttäminen tuo osastolle paljon hyötyä, sillä siitä on helppo löytää, missä ongelma on esiintynyt ja minkälaisia parannuksia on tehty sekä minkälaisia parannuksia olisi hyvä tehdä. FMEA:ssa olevat pisteet antavat konkretiaa parannusten tehokkuudesta ja näin parannuksia pystytään arvioimaan tehokkaasti.

5.1 Lohkon valmistusprosessi

Lohkon valmistusprosessin työvaiheisiin kuuluu yhteensä kuusi eri vaihetta, jotka ovat piirroitus, koneistus, jäystäminen, tarkastus, pesu ja koeponnistus. Lohkon valmistaminen aloitetaan piirroituksella, jossa raakavalulohko mitataan 3D-mittauslaitteella. Seuraavaksi lohko menee työstökoneelle koneistukseen, jossa ajetaan työstön 1- ja 2- vaiheet. Siitä lohko menee jäystepesuun ja edelleen jäystepaikalle, jossa suoritetaan lohkon jäystäminen. Tämän jälkeen lohko palaa koneelle hienoajoon, jonka jälkeen lohkolle tehdään vielä hienoajon jälkeiset käsityöt. Seuraava vaihe prosessissa on lohkontarkastus, jossa lohkoa tarkastetaan kaikki kriittiset mitat sekä suoritetaan yleistarkastus. Lopuksi lohko menee vielä pesuun ja siitä koeponnistukseen. Seuraavaksi esitetään lohkokoneistuksen prosessi vuokaaviona (**Kuva 7**).



Kuva 7. Lohkokoneistuksen prosessikaavio.

5.2 Projektin valmistelu

Projekti aloitettiin tammikuun 2. päivänä vuonna 2017. Projektin alussa pidettiin aloituspalaveri, johon osallistuivat koneistusorganisaation päälliköt, laatuorganisaation päälliköt sekä kehitysorganisaation henkilöitä. Palaverissa käytiin läpi projektin aikataulutusta, resursseja ja henkilöitä, joita projektiin tarvitaan sekä valittiin projektin kohteeksi W31-moottorilohko. Projektin FMEA:n valmistumispäiväksi sovittiin maaliskuun viimeinen päivä ja päätettiin, että projektin aikana pidetään seurantalavereja projektin etenemisestä. Palaverissa mietittiin myös keiden tulisi olla mukana projektissa, jotta saadaan mahdollisimman laajaa asiantuntijuutta FMEA:n tekemiseen. Tämän takia päätettiin, että FMEA-palaverissa on hyvä olla verstpäällikkö, työntekijöitä, työnjohtoa, laatupuolen henkilöstöä sekä kehitysorganisaation henkilöstöä. Palaverissa päätettiin myös, että FMEA-taulukot tehdään jokaisesta W31-moottorilohkon prosessin vaiheesta sekä lisäksi myös työkalun esiasetuksesta.

Projektin alussa oli tärkeää perehtyä PQAP:n ja FMEA:n tarkoitukseen. Tämän takia tutkittiinkin ensiksi PQAP:n ja FMEA:n periaatteita Wärtsilän tähän aiheeseen tehdystä koulutusmateriaalista sekä Wärtsilä Wikistä. Näin päästiin erittäin hyvin tietoisiksi PQAP- ja FMEA-menetelmistä ja siitä mitä niillä haetaan. Wärtsilän alihankkijoilta on vaadittu PQAP:n tekemistä jo pitkään, joten oli luonnollista tutkia kuinka he ovat tehneet PQAP:n vaiheet ja erityisesti FMEA:n. Tämän takia pidettiin palaveri Supplier Development Engineer-henkilön kanssa, jolta saatiin alihankkijoiden PQAP-taulukot. Niistä saatiinkin hyviä esimerkkejä. Niitä ei voinut kuitenkaan suoraan käyttää tässä projektissa, koska ne oli tehty yksinkertaisesti eikä niitä käytetty päivittäisessä työssä, mikä taas oli keskeinen tavoite tämän työn FMEA:n rakentamisessa. Tässä vaiheessa tutkittiin myös Wärtsilän kehityspuolen tekemiä Design-FMEA-taulukoita, mutta ne oli tehty DFMEA:n mukaan, joka on hieman erilainen kuin PFMEA, kuten teoria osuudessa kerrottiin.

FMEA päätettiin tehdä Excel-pohjalle (**Taulukko 2.**), joka löytyi Wärtsilältä jo valmiina.

Taulukko 2. Wärtsilän alkuperäinen Excel-pohja.

Prosessin vaihe/toiminto	CTQ Mikä on kriittistä tässä vaiheessa	Mikä voi mennä väärinpieleen? Yikatyyppi	Pahin mahdollinen vaikutus griitksellefasia kkaalle jos vika tapahtuu? Yikatyyppi	S e v s	C l ä h t ö k o h t a i s t i	Mikä on lähtökohdaisesti todennäköisin syy ongelman/vikatuun	U c c u	Mitä nykyisiä kontrolleja on olemassa vian ehkäisyyn tai tapahtuman havaitsemiseen	D e f e N.	Recommened Action(s) & Target Completion Date	Responsibility	Action Results					
												Actions Taken	S t a t e s	T i m e	F r e q u e n c y		

Pohjasta piti saada helppokäyttöisempi ja selkeämpi, joten asiaa lähestyttiin tutkimalla nykyistä FMEA-pohjaa ja sen käytettävyyttä lohkokoneistuksessa. Alkuperäisestä FMEA-pohjasta otetussa kuvassa näkyy taulukon neljä ensimmäistä otsikkoa (**Kuva 8.**)

Prosessin vaihe/toiminto	CTQ Mikä on kriittistä tässä vaiheessa	Mikä voi mennä väärin/pieleen? Vikatyyppi	Pahin mahdollinen vaikutus yritykselle/asiakkaalle, jos vika tapahtuu? Vikatyyppin vaikutus
--------------------------	---	--	--

Kuva 8. Alkuperäisen FMEA-pohjan neljä ensimmäistä otsikkoa.

Excel-pohjasta päätettiin ottaa CTQ-kohta kokonaan pois, sillä se teki siitä sekavan oloisen ja olisi aiheuttanut turhaa työtä. Esimerkiksi, jos tietyssä prosessivaiheessa laadun kannalta kriittistä olisi puhtaus, tällöin vikatyyppeihin tulisi puhtauden vastakohta eli likaisuus. Tätä muokattua pohjaa käytettiin kaikissa muissa prosessivaiheissa paitsi koneistus- ja tarkastusvaiheessa. Näin tehtiin siksi, koska koneistusvaihe on itsessään todella iso kokonaisuus ja siitä piti saada selkeä ja helposti luettava. Koneistuksen FMEA-taulukon pohjasta järjestettiin palaveri kehitysorganisaation henkilöiden kanssa, sillä heillä on paras tieto W31-moottorilohkon koneistuksesta. Palaverissa tutkittiin Excel-pohjaa ja sitä kuinka koneistusprosessin vaiheet saataisiin selkeästi jaoteltua. Excel-pohjaan tehtiinkin yksi muutos verrattuna aikaisemmin suunniteltuun pohjaan. Siihen lisättiin prosessin vaihe-/toimintokohtaan ja vikatyypin kohdan väliin osaprosessivaihe. Tämän takia saatiin ensimmäiseen kohtaan laajempia kokonaisuuksia, mikä helpottaa huomattavasti taulukon käyttöä jatkossa. Tätä käytettiin pelkästään koneistuksen ja tarkastuksen FMEA:n tekemiseen. Muokatusta FMEA-pohjasta otetussa kuvassa on esitetty sen neljä ensimmäistä otsikkoa (**Kuva 9**).

Prosessin vaihe/toiminto	Osaprosessi	Mikä voi mennä väärin/pieleen? Vikatyyppi	Pahin mahdollinen vaikutus yritykselle/asiakkaalle, jos vika tapahtuu? Vikatyyppin vaikutus
--------------------------	-------------	--	--

Kuva 9. Muokatun FMEA-pohjan neljä ensimmäistä otsikkoa.

FMEA-taulukossa on tarkoitus pisteyttää kolme eri kohtaa, jotka ovat vakavuus (severity), todennäköisyys (occurrence) sekä havaittavuus (detection). Vikatyyppin vakavuus-kohdassa annetaan numeerinen arvo sille, kuinka vakavasta seurauksesta puhutaan, jos vikatyyppi tapahtuu. Todennäköisyys-kohdassa puolestaan annetaan numeerinen arvo sille, miten usein vikatyyppi tapahtuu. Havaittavuus-kohdassa annetaan numeerinen arvo sille, kuinka todennäköisesti vikatyyppi huomataan olemassaolevilla kontrolleilla. RPN-luku saadaan, kun kerrotaan yhteen vikatyyppin vakavuus, todennäköisyys ja havaittavuus. Seuraavissa taulukoissa on nähtävissä minkälaisia vakavuuden, toistuvuuden sekä tunnistettavuuden asteikoita tässä FMEA-projektissa käytettiin. (**Taulukot 3-5**).

Taulukko 3. Vakavuuden vaikutustaulukko.

	Vakavuusluokitus
10	Vikatyyppi vaikuttaa turvallisuuteen varoittamatta
9	Vikatyyppi vaikuttaa turvallisuuteen
8	Susi koneistuksessa tai sen jälkeen, kustannukset erittäin korkeat
7	Koneistus viivästyy, lisätyötä vaaditaan, kustannukset korkeat
6	Lisätyötä vaaditaan ennen asennusta, kustannukset huomattavia
5	Läpimenoaika kasvaa ja/tai vaatii pitkää lisätyötä, kustannukset huomattavia
4	Voi vaatia pitkää lisätyötä, kustannukset ovat vielä hyväksyttävissä
3	Voi vaatia pientä lisätyötä, kustannukset alhaiset
2	Alhaiset kustannukset, helppo valmistaa
1	Vähäinen/mitätön vaikutus

Taulukko 4. Vian esiintymistodennäköisyys.

Vian todennäköisyys	Esiintymislukitus	Luokitus
Erittäin korkea	Päivittäin	9-10
Korkea	Viikoittain tai kuukausittain	7-8
Keskiverto	Kerran kvartaalissa	5-6
Matala	Vuosittain	3-4
Erittäin matala	Tapahtuu 1-2 kertaa seuraavan 5 vuoden aikana	1-2

Taulukko 5. Vian tunnistamisen todennäköisyys.

Tunnistamisen todennäköisyys		Määrittäminen	Luokitus
Miltei mahdoton	Ei kontrollia	Ei tiedossa tunnettuja kontrolleja vian havaitsemiseen	9-10
Matala	Reagointi	Matala tai vähäinen todennäköisyys havaita vika nykyisillä kontrolleilla	7-8
Keskiverto	Reagointi	Kohtalainen todennäköisyys, että nykyinen valvonta havaitsee vian	5-6
Korkea	Ennaltaehkäisy	Suuri todennäköisyys, että nykyinen valvonta havaitsee vian	3-4
Miltei varma	Ennaltaehkäisy	Nykyinen valvonta lähes varmasti havaitsee vian. Luotettava tunnistuksen valvonta on olemassa samanlaisten tuotteiden tai prosessien kanssa	1-2

5.3 Projektin tekeminen

Projektia lähdettiin tekemään 2-3 kertaa viikossa kahden tunnin palaverina kerrallaan. Palaveriin osallistuvat työntekijät vaihtuivat usein, sillä he tekevät vuorotyötä. Tämän takia päätettiin täyttää Exceliä hieman erijärjestyksessä kuin mitä ohjeissa sanotaan. Näin henkilöt pääsivät olemaan mukana tekemässä taulukon kaikkia vaiheita eikä esimerkiksi pelkästään ensimmäistä ja toista saraketta. Ensimmäiseksi täytettiin prosessin vaihe yksi kerrallaan. Tämän jälkeen

mietittiin aina yhdelle prosessivaiheelle mahdolliset vikatyypit. Vikatyypien jälkeen täytettiin jokainen vikatyypin erikseen RPN-sarakkeeseen saakka sekä mietittiin parannusehdotuksia, mikäli sellaisia tuli mieleen. Kuvassa ilmenee FMEA:n täyttöjärjestys (**Kuva 10.**).

Prosessin vaihe/toiminto	Mikä voi mennä väärin/pieleen? Vikatyypin vaikutus	Pahin mahdollinen vaikutus yritykselle/asiakkaalle, jos vika tapahtuu? Vikatyypin vaikutus	S e v	Mikä on lähtökohtaisesti todennäköisin syy ongelman aiheutumiselle	O c c u r	Mitä nykyisiä kontrolleja on olemassa vian ehkäisyyn tai tapahtuman havaitsemiseen?	De t e c t i o n	RPN
1.	2.	3. →						

Kuva 10. Tämän projektin FMEA:n täyttöjärjestys.

FMEA:n täyttöohjeissa taulukko täytettäisiin siten, että kaikki prosessin vaiheet täytetään ensin, jonka jälkeen vikatyypin ja sen vaikutussarakkeet täytetään kokonaan (**Kuva 11.**). Tämän jälkeen aloitettaisiin vasta taulukon täyttäminen rivi kerrallaan lähtökohtainen syy-kohdasta eteenpäin.

Prosessin vaihe/toiminto	Mikä voi mennä väärin/pieleen? Vikatyypin vaikutus	Pahin mahdollinen vaikutus yritykselle/asiakkaalle, jos vika tapahtuu? Vikatyypin vaikutus	S e v	Mikä on lähtökohtaisesti todennäköisin syy ongelman aiheutumiselle	O c c u r	Mitä nykyisiä kontrolleja on olemassa vian ehkäisyyn tai tapahtuman havaitsemiseen?	De t e c t i o n	RPN
1. ↓	2. ↓	3. ↓		4. →				

Kuva 11. Alkuperäinen FMEA:n täyttöjärjestys.

Kun FMEA-taulukko saatiin RPN-lukuun saakka valmiiksi, otettiin toimenpiteiden läpikäyntipalaveri, jossa käytiin läpi yksitellen jokaisen prosessivaiheen suositellut toimenpiteet ja mietittiin mahdollisia muita toimenpiteitä, joita edellisissä palavereissa ei ollut tullut esille. Toimenpiteille laadittiin aikataulu sekä vastuuhenkilöt. Jos toimenpiteissä oli investointiehdotuksia, lisättiin myös arvioitu hinta-arvio kyseiselle investoinnille. Wärtsilässä aikaisemmin tehdyissä DFMEA-projekteissa on käytetty RPN-luvun riskimarginaalina lukua 100 tai 80 riippuen siitä, mikä vakavuusluku on vikatyypille tullut. Vakavuusluvuilla 8-10 on RPN-luvun riskimarginaalina käytetty lukua 100, kun taas luvuilla 6-7 on RPN-luvun riskimarginaalina käytetty lukua 80. Tässä projektissa valittiin riskimarginaaliksi 100, sillä korkein esiin

tullut vakavuusluku oli tässä projektissa 8. Riskimarginaalin valinnan tarkoituksena on, että prosessista huomataan sen kriittisimmät vaiheet. Nämä vaiheet vaativat erityishuomiota sekä parannustoimenpiteitä. Tässä projektissa, joissa RPN-luku nousi yli 100:an, korostettiin se punaisella ja käytiin erityisen tarkasti läpi. Lisäksi niille pyrittiin löytämään parannustoimenpiteitä. Myös kohdille, joissa RPN-luku jäi alle 100:n mietittiin parannustoimenpiteitä, mutta vain sellaisia, jotka olisivat helppoja ja nopeita toteuttaa.

FMEA:n tekeminen aloitettiin työkalun esiasetuksesta, jossa käytiin läpi koneella käytettäviin työkaluihin ja teräpaloihin liittyviä asioita. Tämän jälkeen aloitettiin lohkon koneistusprosessin FMEA:n teko, joka oli laajin FMEA. Koneistusvaiheen FMEA:n tekeminen jatkuikin maaliskuun loppuun asti, ja sitä tehtiin kaksi kertaa viikossa kaksi tuntia kerrallaan. Koneistus oli niin laaja prosessi, että jouduttiin ottamaan aina kerran viikossa vielä yksi ylimääräinen kahden tunnin palaveri, jossa käytiin läpi muiden lohkoprosessien vaiheet. Näin saatiin tehtyä suurin osa FMEA-taulukoista valmiiksi maaliskuun loppuun mennessä. Ainoastaan koeponnistus-FMEA:n valmistuminen jäi huhtikuun ensimmäiselle viikolle.

Työssä toimin projektinjohtajana sekä vastasin siitä, että projekti saadaan vedettyä läpi suunnitellun aikataulun mukaisesti. Vastuullani oli myös projektin tavoitteiden täyttyminen. Johdin palavereita pitämällä keskustelun käsiteltävän aiheen ympärillä sekä toin omia mielipiteitä ja näkökulmia käsiteltäviin asioihin. Palaverien aikana täytin myös Excel-taulukkoa. Tärkeää FMEA:n teossa on, että projektin vetäjä ei liikaa sido keskustelua, jotta jokaisen ääni tulee kuulluksi ja käsittelyssä olevaan aiheeseen saadaan mahdollisimman monta näkökantaa. Näin saadaan paras lopputulos FMEA:ssa. Annoinkin FMEA-tiimille vapauksia keskustella laajasti käsiteltävistä asioista kuitenkin niin, että pysyimme projektissa aikataulussa ja palaverille asetettu eteneminen saavutettiin. Palaverien jälkeen jäsentelin esiin nousseet asiat järkevästi taulukkoon, jonka jälkeen uusin taulukko laitettiin aina nähtäville IDM:ään sekä työntekijöiden kahvihuoneeseen.

Lohkokoneistuksen FMEA-projekti tehtiin Excel-pohjille, mutta projektin aikana selvitettiin myös FMEA-ohjelmiston käytettävyyttä verstaolosuhteissa. Ohjelman

käytettävyyden selvittämisessä käytettiin apuna SWOT-analyysiä. SWOT-lyhenne tulee englanninkielien sanoista strenghts (vahvuudet), weaknesses (heikkoudet), opportunities (mahdollisuudet) ja threats (uhat). Seuraavaksi esitetään ohjelmiston käytettävyyden SWOT-analyysiä hyödyntäen (**Kuva 12.**).

Strenghts	SWOT	Weaknesses
<ol style="list-style-type: none"> 1. Wärtsilässä käytössä 2. Laajat toiminnot 3. Automaattiset ilmoitukset 		<ol style="list-style-type: none"> 1. Lisenssien hankkiminen 2. Koulutuksen tarpeellisuus 3. FMEA siirto excel -> ohjelmisto
Opportunities		Threats
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tuotekehitysorganisaatio mukana vaiheissa 1 ja 2 		<ol style="list-style-type: none"> 1. Monimutkaisempi kuin excel, joten riittääkö verstailla aikaa perehtyä ohjelmaan

Kuva 12. SWOT-analyysi ohjelmiston käytöstä.

Jos ohjelmalla tehdään tulevaisuudessa FMEA-projekteja, olisi järkevää aloittaa tekeminen suoraan FMEA-ohjelmalla. Sen käyttö vaatii paljon perehtymistä ja olisikin järkevää, että yksi henkilö, joka ohjelman hallitsee, vetäisi koko FMEA-projektin alusta loppuun.

Mahdollisuus Exceliin kirjoitettujen asioiden siirtämiseen tähän ohjelmaan piti myös selvittää, jos aikaisemmin Excel-pohjalle tehty FMEA haluttaisiin siirtää siihen. Tämän takia otettiin palaveri tätä ohjelmaa paljon käyttäneen henkilön kanssa, jossa testattiin kuinka helposti Excel-pohjaan tehdyn työn saisi järkevästi siirrettyä siihen. Palaverissa huomattiin, että Excelille tehdyt vaiheet saataisiin suhteellisen järkevästi sijoitettua ohjelmaan, mutta työmäärä olisi todella iso, sillä siirrettäviä asioita on todella paljon. Tässä projektissa ohjelmaa ei vielä otettu käyttöön. On kuitenkin mahdollista, että se tulee jossain vaiheessa käyttöön, kun Wärtsilässä tehdään muiden osien valmistusprosessien FMEA-projekteja.

6 YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT

Wärtsilässä DCV:llä on tarkoitus tehdä PQAP-projekti kaikista omassa tuotannossa olevista kriittisimmistä komponenteista. Lohkokoneistuksen PQAP-projekti alkoi 2016 lopulla Control Planin tekemisellä. Tämä W31-moottorilohkosta tehty FMEA-projekti alkoi tammikuussa 2017 ja oli ensimmäinen toteutettu FMEA-projekti Wärtsilän omassa tuotannossa olevista kriittisistä komponenteista. Tämä työ tehtiin DCV:llä laatuorganisaation toimesta lohkokoneistukselle. Työn tarkoituksena oli tehdä FMEA jokaisesta lohkokoneistuksen prosessivaiheesta. FMEA:sta tuli saada elävä työkalu, jota käytetään päivittäisessä työssä. Työ rajattiin koskemaan W31-moottorilohkon prosessivaiheita, sillä se on Wärtsilän uusiin moottori ja FMEA:n tarkoituksena on nimenomaan pyrkiä ennaltaehkäisemään virheitä.

Työn teoriaosuudessa käytiin ensiksi läpi laadunhallintaa ja laatujohtamista sekä kaksi yleisintä laaturjestelmää. Sitten esiteltiin PQAP:n 14 vaihetta. Tämän jälkeen käytiin läpi mikä FMEA on, sen tarkoitus, tyypit, lähestymistavat ja kuinka se teoriassa tulisi toteuttaa. Lopuksi teoriaosuudessa käytiin läpi FMEA-ohjelmistoa, jonka soveltuvuutta verastosuhteisiin tässä opinnäytetyössä selvitettiin.

Itse projekti aloitettiin valitsemalla tiimi, jonka kanssa FMEA-taulukkoja aloitettiin täyttämään. Kuten teoriaosuudessa mainittiin, niin tiimin tulee olla eri osastoilta ja eri uratasoilta. Myös Wärtsilässä tiimiin valittiin monimuotoinen kokoonpano. Näin saimme laajaa asiantuntijuutta FMEA-taulukon täyttämiseen. Ennen FMEA-taulukon täyttämistä tiimille järjestettiin koulutus koskien FMEA:n historiaa sekä lisäksi käytiin läpi mikä FMEA:n tarkoitus on ja kuinka sitä teoriassa tulisi täyttää. Oli myös tärkeää ottaa jokainen työntekijä mukaan projektiin, jotta saimme työntekijät olemaan täysillä mukana projektissa. Tämän jälkeen Wärtsilän jo olemassa olevaa FMEA-taulukkoa muokattiin paremmin tähän projektiin sopivaksi sekä valittiin arviointitaulukot, joilla FMEA-taulukkoa pisteytettiin.

FMEA:n täytössä hyödynnettiin tiimin laajaa asiantuntijuutta moottorilohkon valmistuksesta sekä vapaamuotoista keskustelua jokaisesta kulloinkin käsiteltävästä asiasta. Kun sarakkeet ja pisteytykset oli täytetty, valittiin riskimarginaaliksi luku 100 Wärtsilän DFMEA-projekteissa käytetyn menetelmän perusteella. Nämä kohdat korostettiin punaisella värillä, jotta huomattiin vaiheet, jotka vaativat erityishuomiota. Lopuksi käytiin vielä kaikki kohdat läpi. Kaikille kohdille mietittiin parannustoimenpiteitä, kuitenkin keskittyen enemmän yli 100 pisteen nousseisiin kohtiin. Näille yli 100 pisteen kohtien parannustoimenpiteille valittiin vastuuhenkilöt ja toteutusaikataulu. Myös alle 100 pisteen parannustoimenpiteille valittiin vastuuhenkilöt ja toteutusaikataulu, jos toimenpiteet olivat helppoja, nopeita ja halpoja toteuttaa.

Tämä FMEA-projekti jatkuu esiin nousseita parannustoimenpiteitä seuraamalla kuukausittain pidettävissä toimenpiteiden seurantalavereissa. Näissä palavereissa on tarkoituksena seurata parannustoimenpiteiden etenemistä ja niiden sen hetkistä tilannetta. Kun parannustoimenpide on tehty, otetaan FMEA-tiimin ja vastuuhenkilön kanssa palaveri, jossa pisteytetään toimenpiteen kohteena ollut asia uudestaan. Näin pystytään arvioimaan parannustoimenpiteen vaikutuksia prosessiin. Opinnäytetyön aikana selvitettyä FMEA-ohjelmistoa ei vielä tässä projektissa otettu käyttöön. Selvityksessä saatiin kuitenkin hyvä käsitys siitä kuinka ohjelma toimisi PFMEA-projekteissa.

Lopuksi voi vielä todeta, että projekti onnistui erittäin hyvin ja sille asetetut tavoitteet saavutettiin. Prosessista onnistuttiin löytämään heikkoja kohtia, jotka ilman tätä projektia olisivat jääneet huomaamatta. Näille kohdille saatiin jo projektin aikana tehtyä parannuksia ja tulevaisuudessa niitä on tulossa W31-moottorilohkon valmistusprosessiin paljon lisää tämän projektin myötä. Taulukoista onnistuttiin tekemään käytännöllisiä ja helposti luettavia. Sen vuoksi projektissa tehtyjä FMEA-taulukoita hyödynnetään nykyään laatuun liittyvissä asioissa, kuten lautupalavereissa sekä prosessissa esiintyvien ongelmien ratkaisemisessa. Myös projektille laaditussa aikataulussa pysyttiin hyvin. Tulevaisuudessa tässä projektissa kehitetty FMEA-taulukko onkin yksi laadun parantamiseen ja prosessin ongelmakohtiin liittyvä päivittäinen työkalu Wärtsilän

lohkokoneistuksessa. DCV:llä PQAP-projektit jatkuvat kiertokangen, runkolaakerin satulan ja sylinterikannen osalta. Näiden komponenttien FMEA-projektien teossa käytetäänkin apuna tästä projektista saatuja tuloksia ja kokemuksia.

LÄHTEET

/1/ Wärtsilä historia. Viitattu 27.3.2017.

<https://www.wartsila.com/fi/wartsila/historia>

/2/ Wärtsilä strategia. Viitattu 27.3.2017.

<https://www.wartsila.com/fi/wartsila/strategia>

/3/ Salminen, S. 2014. Mitä laatu on? Osaammeko määrittellä sen?, Viitattu 5.4.2017. <http://www.aaltopro.fi/blog/mita-laatu-osaammeko-maaritella-sen>

/4/ Logistiikan Maailma. Laadunhallinta, laatujohtaminen ja –järjestelmät. Viitattu 6.4.2017. <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/laatu/laadunhallinta-laatujohtaminen-ja-jarjestelmat/>

/5/ Peratec. 1994. Total Quality Management. The Key to Business Improvement. Lontoo. Chapman & Hall. 3.

/6/ Wärtsilä Supplier Handbook. Viitattu 15.4.2017. <http://cdn.wartsila.com/docs/default-source/About-us/supplier-handbook.pdf?sfvrsn=0>

/7/ Wärtsilä Wiki.

/8/ Mikulak, R., McDermott, R. & Beauregard, M. 2008. The Basics of FMEA. 2. painos. New York. Taylor & Francis Group.

/9/ Stamatis, D.H. 2003. Failure Mode and Effects Analysis: FMEA from Theory to Execution. 2. painos. Milwaukee. Quality Press. 37-40.

/10/ APIS about us. Viitattu 20.4.2017. <https://www.apis-iq.com/company/about-us/>

/11/ Wärtsilä APIS.

LIITE 1

Osio tehdystä FMEA-tilukosta.

Prosessin vaihe/toiminto	Osaprosessi	Mikä voi mennä väärin/pieleen? Vikatyypit	Pahin mahdollinen vaikutus yritykselle/asiakkaalle jos vika tapahtuu? Vikatyypin vaikutus	S e v s	C i a s s	Mikä on lähtökohtaisesti todennäköisin syy ongelman/vikatyyppin aiheutumiseen?	O c c u r	Mitä nykyisiä kontroleja on olemassa vian ehkäisyyn tai tapahtuman havaitsemiseen	D e t e r
1-vaiheen asetus	Pukkien asennus pöytään (tällä hetkellä vain 20 syl.)	Pukit asennetaan väärään paikkaan/järjestykseen	Viivästys/tuotannon seisahtuminen	3		Ohjeet puuttuu, tietämättömyys, kokemusta vähän	3	Piirrotajat avustavat asennuksessa	2 18
	Lohkon nosto pöydälle	Lohko kolahtaa johonkin	Susi, viivästys/tuotannon seisahtuminen, joudutaan korjaamaan (hissaus)	8		Huolimattomuus, kiire, tilanahtaus	1	Nosturi koulutus, perehdyttäminen, nosturin käyttäjän oma huolellisuus	2 16
		Lohko lasketaan väärään kohtaan/väärinpäin	Viivästys/tuotannon seisahtuminen	3		Kiire, huolimattomuus, tietämättömyys, ohjeet puuttuu?	2	Koneistajan oma tietotaito	2 12
	Lohkon kiinnittäminen pöytään	Lohko jää kiristämättä/suoristamatta	Susi, viivästys/tuotannon seisahtuminen, joudutaan korjaamaan	8		Kiire, huolimattomuus	1	Koneistajan oma jälkitarkastus	1 8
		20 syl. Lohko kiinnitetään väärin (ei palettia), lohko jää vinoon	Susi, viivästys/tuotannon seisahtuminen, joudutaan korjaamaan	8		Ohjeet puuttuu, puutteelliset menetelmät, tietämättömyys, kokemusta vähän	4	Ei ole nykyisiä kontroleja	9 288