

Opinnäytetyö AMK

Tuotantotalous

ATEKNS14

2016

Samuli Elsilä

FMEA TEKNIIKAN KÄYTTÖÖNOTTO MUUNTAJATUOTANNOSSA

– Trafotek AS

OPINNÄYTETYÖ (AMK) TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Tuotantotalous

2016/ 27 sivua

Janne Siivonen

Samuli Elsilä

FMEA TEKNIIKAN KÄYTTÖÖNOTTO MUUNTAJATUOTANOSSA

- Trafotek AS

Tämä opinnäytetyö tehtiin Trafotek Oy:n Raen tehtaalle Virossa. Trafotek Oy valmistaa muuntajia, kuristimia ja suodattimia teollisuuden, uusiutuvan energian, meriteollisuuden ja öljyteollisuuden käyttöön. Raen tehtaalla valmistetaan pieniä muuntajia, kuristimia ja suodattimia. Tämä työ keskittyy muuntajavalmistukseen ja työn tarkoituksena luoda PFMEA muuntajavalmistuksesta.

Tutkimuksen tavoitteena on havaita prosessista kriittiset kohteet ja luoda niille toimenpiteet, joilla riskit voidaan eliminoida tai niitä voidaan hallita.

Työ käynnistyi prosessin kuvaamisella ja tarkkailemalla tuotantoa, sekä havainnoimalla valmistusprosessia. Tämän jälkeen PFMEA:ta lähdettiin toteuttamaan Excel pohjaiseen taulukkoon ja määrittelemään RPN numero havaituille vikaantumismahdollisuuksille.

Työn tuloksena syntyi PFMEA muuntajavalmistuksesta ja toimenpiteitä pystyttiin määrittelemään. Työn myötä tultiin tulokseen, että PFMEA on tehokas työkalu ja sen luomista suositellaan kaikille valmistuslinjoille

ASIASANAT:

Laatu, PFMEA, Laadunhallinta, Riskien hallinta

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Industrial Management

2016/ 27 pages

Janne Siivonen

Samuli Elsilä

TAKING FMEA TECHNIQUE IN USE AT TRANSFORMER PRODUCTION

- Trafotek AS

This study was carried out Trafotek Oy's factory in Rae Estonia. Trafotek Oy produces transformers, chokes and filters for industry, renewable energy, marine industries and oil industries use. Rae plant manufactures small transformers, chokes and filters. This work focuses on the manufacture of transformers and work in order to create PFMEA transformer manufacturing.

The aim of this study is to detect process and critical items and to create measures that risks can be eliminated or they can be managed for them.

The work began by describing and observing the production process, as well as observing manufacturing process. After this, the PFMEA was created to an Excel-based spreadsheet and define the RPN number detected possible error types.

Result of this thesis was PFMEA for transformer manufacturing and actions to eliminate possible error types was defined. The thesis came to the conclusion that the PFMEA is a powerful tool and its creation is recommended for all manufacturing lines

KEYWORDS:

PFMEA, Quality, Risk management, Quality control

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	5
1 JOHDANTO	6
2 LAATU KILPAILUTEKIJÄNÄ	7
2.1 Yleisiä laadun käsitteitä	8
2.2 Laatumuutokset	10
2.3 Laaturiskien tunnistaminen ja hallinta	13
3 FMEA	14
3.1 Erityyppiset FMEA:t	14
3.2 Process FMEA (englanti vai suomi – prosessi FMEA?)	16
4 TYÖN TOTEUTUS	17
4.1 Pisteyttäminen	19
4.2 Levynleikkaus	21
4.3 Kääminta	22
4.4 Kokoonpano	22
4.5 Esikoestus	22
4.6 Kytkeä	22
4.7 Kotelointi	23
4.8 Loppukoestus	23
4.9 Pakkaus ja lähetys	24
5 HAVAINNOT	25
6 POHDINTA	27
LÄHTEET	28

LIITTEET

Liite 1.PFMEA

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

FMEA	Failure Mode and Effects Analysis, vika ja vaikutusanalyysi
RPN	Risk Priority Number

1 JOHDANTO

Trafotek on kuristimia, muuntajia ja suodattimia valmistava suomalainen yritys. Yrityksellä on toimintaa tällä hetkellä Suomessa, Virossa, Kiinassa, Brasiliassa, sekä Saksassa ja Singaporessa. Suomessa yritys toimii Kaarinassa, jossa valmistetaan suuret muuntajat (tehomuuntajat-liiketoimintayksikkö). Viron Raessa toimiva tehdas on tällä hetkellä suurin ja siellä valmistetaan pieniä tehomuuntajia, kuristimia sekä suodattimia teollisuuden ja uusiutuvan energian käyttöön. Kiinassa Trafotek valmistaa tällä hetkellä ainoastaan kuristimia ja suodattimia, pääasiassa Kiinan markkinoille. Saksassa toimii myyntikonttori sekä suunnitteluosasto. Brasilian tehdasta ollaan juuri ajamassa ylös ja tuotannon on tarkoitus alkaa 2016 vuoden ensimmäisellä kvartaalilla. Singaporessa toimii myyntikonttori. Tämä työ tulee koskemaan pienempien tehomuuntajien valmistusta, joka on tällä hetkellä keskittynyt Viron tehtaalle. Tarve tälle työlle tuli loppuvuodesta 2015, kun tuotantoa siirrettiin voimakkaasti Kaarinasta Viroon. Siirron yhteydessä havaittiin, että kaikkia tuotantoprosesseja ei ollut kuvattu riittävän tarkasti ja myöskään riskejä ei oltu arvioitu riittävästi. Kaarinassa tuotanto on nojannut vahvasti tuotannon operaattoreiden osaamiseen. Keskimääräinen kokemus muuntajavalmistuksen operaattoreilla oli noin 12 vuotta. Virossa suurin osa operaattoreista on uusia ja heillä/ ei ole vielä kertynyt käytännön kokemusta, joten tarve prosessin riskien analysoinnille havaittiin. Aloitin muuntajavalmistukseen liittyvän projektin loppuvuodesta 2016 ja rajasin tämän opinnäytetyön liittymään projektin osaan, joka sisältää FMEA:n luomisen muuntajavalmistukseen. Tämä työkalu luodaan yhteistyössä paikallisen henkilökunnan kanssa ja se tulee valmistuttuaan aktiiviseen käyttöön. Työkalu luodaan englannin kielellä, jotta sitä voidaan hyödyntää myös Trafotekin muilla tehtailla globaalisti. Toivon, että tämän työn avulla voidaan mahdolliset riskit laatuvirheiden syntymiseen havaita ja luoda tarpeelliset ehkäisevät toimenpiteet ajoissa.

2 LAATU KILPAILUTEKIJÄNÄ

Laadusta puhutaan paljon, mutta sitä harvoin yritetään yksiselitteisesti selittää. ISO 9000 standardi määrittelee laadun seuraavasti ”aste, jolla joukko ominaisia piirteitä täyttää vaatimukset”. Ennen kuin laatua voidaan mitata tai arvioida, tulee ensin tunnistaa sisäisten ja ulkoisten asiakkaiden näkökulmasta tärkeimmät piirteet ja määrittää niille raja-arvot. Kun tiedetään mitä mitataan ja mitkä raja-arvot ovat, voidaan laatua mitata ja todeta onko prosessi laadukas vai onko laadussa puutteita (Salminen 2014, hakupäivä 2.2.2016)

Laatukäsitteellä on monta erilaista tulkintaa, tarkastelunäkökulmasta riippuen. Yleisesti laadulla ymmärretään asiakkaan tarpeiden täyttymistä yrityksen kannalta mahdollisimman tehokkaalla ja kannattavalla tavalla. Laatuun liittyy myös tarve suoritustason jatkuvaan parantamiseen, niin nopeasti kuin kehitys sen sallii. Kehittämisimpulsseja saadaan paitsi omasta laatutyöstä myös ulkopuolisesta maailmasta. Innovaatiot, kilpailijoiden toiminta markkinoilla ja yhteiskunnalliset muutokset aiheuttavat tilanteita, joiden seurauksena laadulle asetetaan aivan uusia vaatimuksia. Laadun määritelmään on jo alusta alkaen sisältynyt, ettei virheitä tehdä. Asiat tehdään aina oikein jo ensimmäisellä kerralla. Vielä tärkeämpää kuin virheettömyys on kokonaislaadun kannalta oikeiden asioiden tekeminen. Tuote voi olla yrityksen näkökulmasta erinomaisen täydellinen, mutta asiakkaan mielestä se voi olla ylilaaatua, josta asiakas ei ole valmis maksamaan (Lecklin 2002, 20-21)

2.1 Yleisiä laadun käsitteitä

Laatuun liittyy useita ominaisuuksia tarkastelunäkökulmasta riippuen. Nämä ominaisuudet eivät ole toisiaan poissulkevia, vaan enemminkin täydentäviä. Paul Lillarank esittelee kuusi erilaista laadun ominaisuutta.

Valmistuslaatu keskittyy valmistusprosessiin ja varmistaa tuotteiden valmistuksen määritysten mukaan. Perinteinen laadunvalvonta tukeutuu tähän näkökulmaan. Prosessia kehittämällä virheet pyritään ennakoimaan ja välttämään.

Tuotelaatu korostaa suunnittelun osuutta laadun määrittämisessä

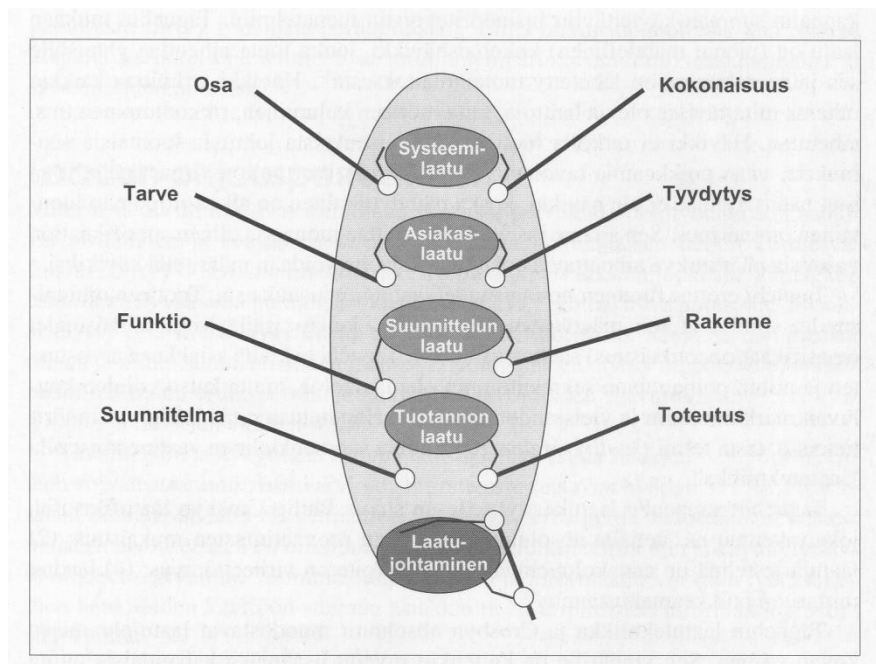
Arvolaadussa korkein laatu on sillä tuotteella, joka antaa parhaimman kustannus-hyötysuhteen eli parhaan arvon sijoitetulle pääomalle

Kilpailulaadussa laatu on riittävä, kun se on yhtä hyvä kuin kilpailijoilla. Tätä parempi laatu on ylilaatua ja resurssien tuhlausta

Asiakaslaadussa asiakkaan tarpeet tyydyttävä laatu on hyvää laatua

Ympäristölaadussa laatua mitataan myös ympäristön ja yhteiskunnan kannalta. Tuotteen suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös elinkaari, resurssien käyttö suunnittelusta hävittämiseen (Lillarank, 1998, 28-39)

Laadunnäkökulmat selventävät sumeaa laatukeskustelua. Näkökulmat ovat kuitenkin rajallisia eikä mikään niistä kerro koko totuutta. Lisäksi jokainen näkökulma perustuu kahden tekijän väliseen suhteeseen. Tätä voi kuvata kuvan 1. tavalla "laadun kirkkoveneenä" tavalla, jossa jokaisen aioparin suhde vie alusta eteenpäin toimitteen, prosessin ja systeemin aalloilla kohti virheettömyyden, tehokkuuden, tyytyväisyyden ja optimoinnin taitaanrantaa (Lillrank, 1998, 28-39)



Kuva 1. "laadun kirkkovene" (Lillrank, 1998, 39)

Laadulla on suppea ja laaja tulkinta. Sellaista todella suppeaa laatunäkemyttä, että laatu olisi vain tarkastamista ja huonojen poisheittämistä, ei juurikaan enää esiinny. Suppea käsitys laadusta keskittyy tuotannon virheettömyyteen ja annettujen spesifikaatioiden toteuttamiseen. Laaja tulkinta taas määrittelee laadun kiemuraisesti markkinoinnin, tekniikan, tuotannon ja huollon tuotteiden ja palveluiden ominaisuuksien kokonaisuudeksi, jolla tuote tai palvelu käytettäessä täyttää asiakkaan odotukset. Laatu ei siis ole vain tulos, vaan myös ketju toimintoja jolla se uskotaan aikaansaattavan. Laadun kirkkoveneessä painopiste siirtyy soutuajista peränpitäjään. Tämä onkin luonnollista, kun tullaan ulapalta karikkoiseen salmeen ja toimintaympäristö muuttuu vaikeammaksi ja arvaamattommaksi. (Lillrank, 1998, 40-41)

2.2 Laatukustannukset

"Laatu on ilmaista" lause on peräisin laatuguru Phil Crosbytä. Tämä pitää paikkansa, mutta vain määrätyissä rajoissa. On nimittäin selvää, peräti luonnonlainmukaisesti itses-täänkin selvää, että on halvempaa tehdä asiat oikein ensimmäisellä kerralla ja varsinkin jos se on tekemisestä kiinni. Väärin tekeminen, vian etsintä, auki repiminen, korjaami-nen, asiakkaan lepyttely ja vahinkojen korjaaminen ovat niin sanottuja puuttuvan laadun kustannuksia, jotka voivat olla kymmeniä prosentteja yrityksen liikevaihdosta. Täsmälli-sempää olisi sanoa, että laadun kehittäminen maksaa, mutta se on yleensä kannattava investointi. Lisäksi voidaan todeta, että laatu on hyvä sijoitus. Ellei se sitä ole, sitä ei ehkä kannata tehdä. Tarvitaan järkevämpi ja segmentoidumpi kuva laadun kustannuk-sista. On tuotannon laatukustannuksia, jotka ovat helposti korjattavissa toimintaa muut-tamalla; on niitä joissa pitää toimintatavan muutosta saarnata ja organisoida vuosikau-sia; on sellaisia, jotka vaativat laite- ja käyttöinvestointeja kohtuullisella takaisinmaksu-ajalla; mutta myös sellaisia, joille pirukaan ei mahda mitään. (Lillrank, 1998, 46-47)

Laatukustannusten määrittämiselle ei ole yleistä standardia tai kaavaa, vaan jokaisen yrityksen on itse arvioitava ja sovittava oma tarkastelutapansa. Laatukustannukset eivät useinkaan ole selvästi luettavissa, vaan niiden seuraaminen edellyttää uudentyyppistä ajattelua ja kustannuslaskentaa. Laatukustannuksia voidaan seurata erilaisilla prosessi-mittareilla.

Ulkoiset virhekustannukset ovat kustannuksia, jotka aiheutuvat siitä, kun asiakkaan ha-vaitsema virhe tai laaduttomuus korjataan. Prosessien laadunvarmistus on pettänyt ja virhe on päässyt asiakkaalle asti. Ulkoiset virheet ovat yrityksen kannalta kaikkein vaa-rallisimpia. Niiden korjaus on kalliimpaa kuin jos virhe havaittaisiin jo syntypaikalla. Niillä on myös negatiivinen kuva yrityksen imagoon. Atk- alalla on käytetty nyrkkisääntöä, että virheen korjaaminen testivaiheessa on 10 kertaa kalliimpaa ja tuotantovaiheessa 100 kertaa kalliimpaa, kuin suunnitteluvaiheessa. Esimerkkejä ulkoisista virhekustannuksista ovat:

- takuukustannukset
- vahingonkorvaukset
- myöhästymissakot
- rästitoimitusten kustannukset
- viivästyskorot

- alennukset tuotevirheistä
- menetetyt tuotot
- asiakkaiden havaitsemien virheiden korjauskustannukset
- valitusten käsittelykustannukset
- palautettujen tuotteiden kustannukset
- luottotappiot

Sisäiset virhekustannukset ovat sellaisia, jotka havaitaan yrityksessä, ennen kuin tuote toimitetaan asiakkaalle. Tähän ryhmään lasketaan myös huonosta suunnittelusta ja muusta epämääräisestä toiminnasta johtuvat kustannukset. Monissa yrityksissä sisäiset virhekustannukset ovat suurin laatukustannusten luokka. Esimerkkejä sisäisistä virhekustannuksista:

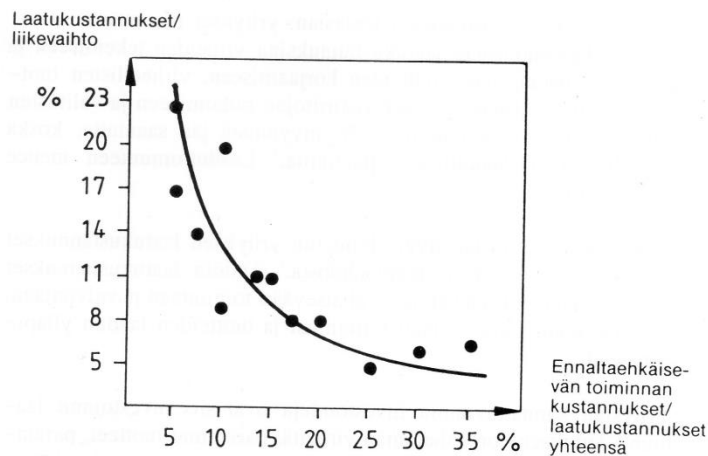
- virheiden tekeminen
- ylityö/joutoaika
- tyhjät toimitilat
- korjauslinjat
- tietojärjestelmähäiriöt
- virhekappaleet
- poissaolot
- materiaalilaatu

Omana ryhmänä käsitellään laadun ylläpitokustannuksia. Jos laatua ei ylläpidettäisi, syntyisi enemmän virhekustannuksia. Laadun ylläpito liittyy lopputuotteiden tarkastamiseen ja laadun varmistamiseen, kun taas huonon laadun ehkäisy liittyy enemmän prosessien suunnitteluvaiheeseen. Esimerkkejä laadun ylläpito -kustannuksista:

- valvonta ja tarkastukset
- katselmukset
- laadunmittaus
- auditoinnit
- testaukset
- laatutiedon keruu ja analysointi
- virheiden käsittelyrutiinit
- valvonta- ja mittauslaitteiden ylläpito.

Ehkäisykustannuksia syntyy, kun pyritään ennakolta ehkäisemään virheiden synty ja laaturiskit. Tavallisia menetelmiä ovat koulutus, suunnittelu ja laadun kehittäminen. Keskitämällä resurssit tähän voidaan muita virheryhmiä pienentää ja silti saavuttaa haluttu laatuaste. Kustannukset maksavat itsensä takaisin vähentyneinä virheinä.

kuva 2.



Kuva 2. kuvaaja laatukustannuksista (Lipponen 1993, 18)

Esimerkkejä ehkäisykustannusten aiheuttajista ovat:

- laatuopetus
- toiminnan suunnittelu
- prosessien kehittäminen
- laatuorganisaation rakentaminen
- laatuorganisaatio
- työolosuhteiden ja työvälineiden kehittäminen
- tiedonkeruun ja analysoinnin kehittäminen
- laaturaporttien kehittäminen
- henkilöstön motivointi

Edellä esitettiin laatukustannukset perinteisen kaavan mukaan. Ajattelua voidaan laajentaa ja kustannuksiksi laskea myös virheinvestoinnit, tuottojen menetykset ja kustannuspotentiaali. Laatukustannuksiin voidaan laskea myös tuotekehityskustannukset tuotteista, joita ei ikinä tuotu markkinoille. (Lecklin, 2002, 177-180)

2.3 Laaturiskien tunnistaminen ja hallinta

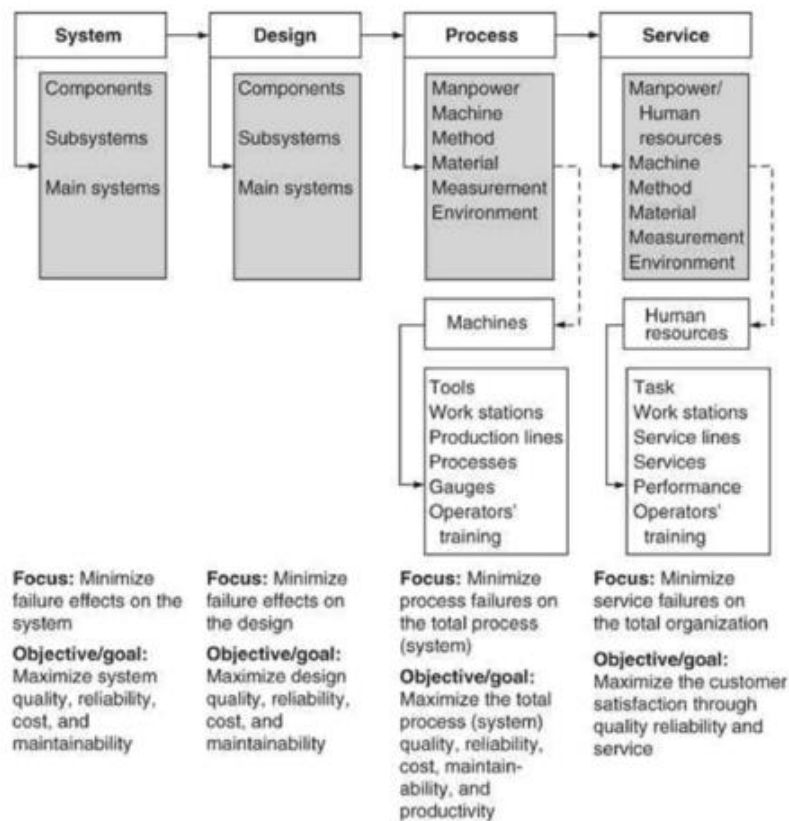
Riskien tunnistaminen liittyy olennaisesti ennaltaehkäisevään laadun käsitteeseen. Riski epäonnistua on aina olemassa. Riskin mahdollisuus kasvaa varsinkin kun puhutaan uudesta tuotteesta, muutoksista tuotteessa tai prosessissa. Riskejä ei voida hallita, jos ei tiedetä mahdollisia riskin paikkoja. Riskien hallittavuus ja sen vaikutus pienenee, mitä aikaisemmin riski havaitaan. Riskien hallinta on hyvä ase ennaltaehkäisevälle toiminnalle ja hyvälle laadulle. Isona ongelmana kuitenkin koetaan ettei riskien hallinnalle löydy aikaa eikä resursseja. Yleensä yrityksissä suositaan reagoivaa toimintatapaa, ellei jopa kannusteta siihen. Tämä tapa kuitenkin syö resursseja ja aikaa ennaltaehkäisevältä toiminnalta. Tämä johtunee siitä, että ennaltaehkäisevän toiminnan hyötyä on todella haastavaa mitata ja sen hyödyt eivät ole selkeästi havaittavissa. Tulipalojen ja nopeiden reaktioiden toimenpiteet taas havaitaan selvästi ja pystytään arvioimaan niiden toimivuutta. Jotta toimintaa voidaan muuttaa enemmän ennaltaehkäisevään suuntaan, on riskien hallinta otettava osaksi suunnittelutyötä. (Piirainen 2007, haettu 11.3.2016)

3 FMEA

FMEA, eli Failure Mode and Effects Analysis. Joskus FMEA:sta käytetään käännöstä vika ja vaikutusanalyysi. Analyysin tarkoituksena on tunnistaa prosessissa syntyvät viikatilat ja niiden vaikutukset. Tavoitteena on löytää mahdolliset vikaantumistavat, virheyyt ja vaaratekijät sekä määrittellä niille ehkäisevät toimenpiteet. Toimenpiteiden toteuttamisen jälkeen vaihe arvioidaan uudelleen ja tarkastellaan toimenpiteiden vaikutus. FMEA:n historia juontaa juurensa Yhdysvaltojen asevoimiin 1940- luvulle, mutta lentokoneiteollisuus ja avaruusteollisuus ryhtyivät hyödyntämään sitä teollisuuskäyttöön. Autoteollisuus on vaikuttanut voimakkaimmin laatutyökalujen kehitykseen ja FMEA onkin ollut vaatimuksena autoteollisuuden alihankkijoille jo 1960- luvulla. Huolimatta FMEA-työkalun helppoudesta ja tehokkuudesta, suomalaiset pk- yritykset eivät ole tehokkaasti hyödyntäneet sitä. FMEA menetelmä on helposti omaksuttava ja nopea ottaa käyttöön, edellyttäen yritysjohton ymmärtävän siihen vaadittavan panostuksen. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 168)

3.1 Erityyppiset FMEA:t

FMEA:t voidaan jakaa neljään eri tyyppiin, System FMEA, Design FMEA (DFMEA), Service FMEA ja Process FMEA (PFMEA). Tämä opinnäytetyö käsittelee ainoastaan PFMEA:ta, joten tämän teoriaa käydään läpi tarkemmin kuin muiden kolmen.



(Stamatis 2003, 40-43)

System FMEA keskittyy tuotteen varhaisessa suunnitteluvaiheessa järjestelmiin ja alijärjestelmiin. Sen tarkoitus on nostaa esiin riskit, jotka voivat aiheuttaa vian myöhemmässä vaiheessa. Systeemanalyysi auttaa vähentämään päällekkäisyyksiä, määrittelemään vi-anmääritysmenettelyn ja tunnistamaan heikkoudet. Analyysi helpottaa tarkastelemaan systeemiä kriittisesti ja mahdollistaa sen parantamisen ja tehostamisen. Perustelut muutoksille saadaan kirjattua ja laitettua tärkeysjärjestykseen. Desing FMEA tehdään suunnitteluvaiheessa ennen tuotantoa ja sen avulla pyritään löytämään heikkoudet ja mahdolliset virhepaikat, ennen varsinaista tuotantoa. Tämä valitettavasti on varsin aliarvostettu työkalu, vaikka sen avulla voitaisiin saada merkittävää hyötyä, ennen prototuotantoa tai jopa mahdollisia asiakaspalautteita. Service FMEA keskittyy analysoimaan virheitä palvelussa, ennen kuin varsinainen tuote lähtee asiakkaalle. Sillä pyritään keskittymään virheisiin, jotka tapahtuvat käytännössä, prosessissa tai systeemissä. SFMEA:n avulla pyritään tunnistamaan merkittävät työtehtävät ja luomaan niille tehostavia toimenpiteitä. (Stamatis 2003, 40-43)

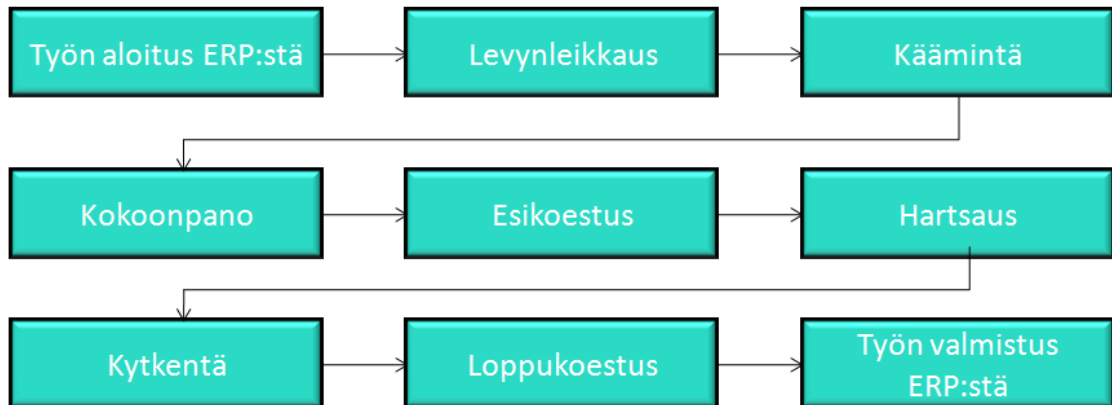
3.2 Process FMEA

Process FMEA:lla pyritään analysoimaan valmistusprosessia. PFMEA olisi hyvä rakentaa pilotti- tai protovaiheessa tuotantoa, koska ennen varsinaisen tuotannon aloitusta muutokset on helpompaa ja edullisempaa toteuttaa. PFMEA:lla tarkastellaan jokaista tuotantoprosessin vaihetta erikseen ja siinä otetaan huomioon myös siihen vaikuttavat tekijät, kuten työkalut, koneet, laitteet, toimintatavat, työvoiman, testauksen ja ympäristön. Jokaisella tarkasteltavalla vaiheella on omat vaikuttavat tekijät, jotka voivat vaikuttaa yhdessä tai erikseen, aiheuttaen mahdollisen virheen. Tuotantoprosessin monimutkaisuudesta riippuen, PFMEA on aikaa vievämpi ja haastavampi rakentaa, kuin muut FMEA:t. (Stamatis 2003, 42, 155-156)

Kaiken kaikkiaan PFMEA on erittäin tehokas, jäsennelty ja joustava työkalu, jota voidaan soveltaa kaikessa teollisuudessa. PFMEA täytyy dokumentoida, katselmoida ja päivittää säännöllisin väliajoin, jotta siitä saadaan paras hyöty organisaatiolle. (Roderick ym. 2008, 40-41)

4 TYÖN TOTEUTUS

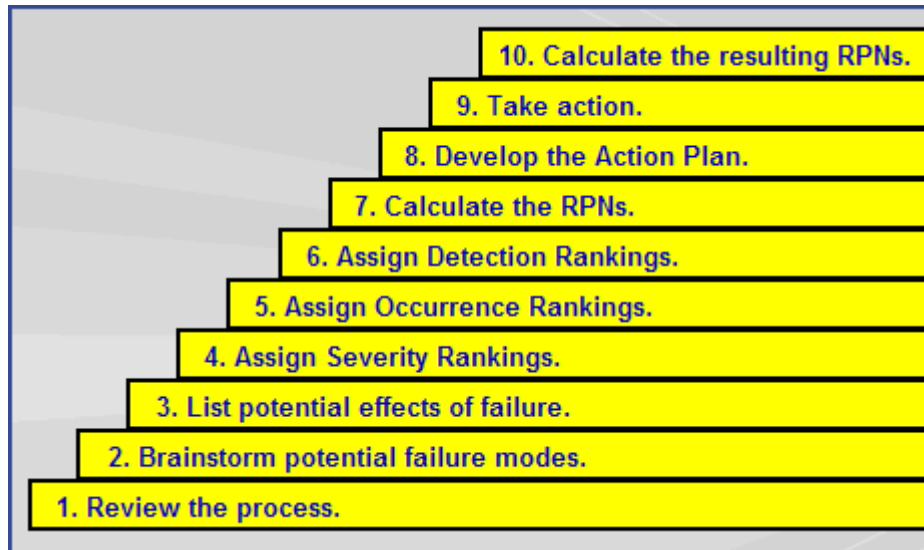
Työtä lähdettiin toteuttamaan tarpeeseen, kun tuotesiirtojen yhteydessä havaittiin, että kaikki kriittinen tieto ei ollutkaan saatavilla dokumenteissa. Valmistelu aloitettiin luomalla prosessikuvaus muuntajavalmistuksesta, jossa määriteltiin kriittiset tarkastuspisteet.



Kuva 3 Muuntajan valmistusprosessi

Valmistusprosessi alkaa työn aloituksesta, koska oletuksena on että materiaalin vastaanotto on tehty oikein ja materiaalit ovat vaatimusten mukaisia ja saatavilla. Myös materiaalin vastaanotolle on tehty oma PFMEA. Tarkastuspisteet ovat sisällä prosessin vaiheissa. Vaiheiden välillä ei ole erillisiä tarkastuspisteitä, vaan jokainen työntekijä on vastuussa, että tuote on vaatimusten mukainen, ennen kuin se siirretään seuraavaan vaiheeseen. Prosessikuvaus vaihe toteutettiin yhteistyössä Liiketoimintayksikön johtajan ja tuotesiirtoprojektin johtajan kanssa.

FMEA:ta lähdettiin rakentamaan olemassa olevaan excel- taulukkoon, jonka olen luonut yhteistyössä Trafotek Oy:n edellisen Laatu päällikön kanssa vuonna 2011 (kts liite 1). Työtä aloitettiin toteuttamaan havainnoimalla ja tarkkailemalla valmistusprosessia vaiheittain ja haastatteleamalla työntekijöitä. Tällä tavalla saatiin rakennettua pohja vaiheisiin ja pystyttiin vertailemaan noudatetaanko olemassa olevia työohjeita ja mistä tällaiset puuttuu. Kun havainnointituotannossa oli tehty, jatkettiin PFMEA:n luontia aivorihellä ja arvioimalla mahdolliset virhetyypit, niiden vaikutukset ja kuinka hyvin ne voidaan havaita. PFMEA toteutettiin käyttämällä kymmenportaista analyysi menetelmää



Kuva 4PFMEA:n vaiheet

Kun prosessi on käyty läpi ja mahdollisille virhetyypeille on annettu pisteytykset, otetaan 10 suurinta numeroa ja niille määritellään toimenpiteet. Toimenpiteiden toteuttamisen jälkeen virhetyyppi pisteytetään uudelleen. Joissain tapauksissa virhemahdollisuutta ei voida eliminoida kokonaan millään toimenpiteillä tai toimenpiteet vaatisivat huomattavia investointeja, jolloin siitä tulee niin sanottu hyväksytty riski. Hyväksytty riski on otettava huomioon työohjeissa ja sille on määriteltävä erilliset seuranta-toimenpiteet. Pisteytyksiä tehdessä on hyvä ottaa myös huomioon virhetyypit joilla on merkittävät seuraukset, mutta ovat epätodennäköisiä.

4.1 Pisteyttäminen

Trafotek käyttää vakavuuden arviointiin alla olevaa taulukkoa, jossa ensimmäisellä vaiheella ei ole vaikutusta ja vakavin aiheuttaa vaaran tai tuotteen tuhoutumisen ilman varoitusta. Tällainen voi olla esimerkiksi muuntajassa se, että ilmaeristysvälit eivät toteudu. Tämä aiheuttaa tuotteen vaurioitumisen heti, kun siihen kytketään jännite.

Effect	Criteria: Severity of Effect Defined	Ranking
Hazardous: Without Warning	May endanger operator. Failure mode affects safe vehicle operation and / or involves noncompliance with government regulation. Failure will occur WITHOUT warning.	10
Hazardous: With Warning	May endanger operator. Failure mode affects safe vehicle operation and / or involves noncompliance with government regulation. Failure will occur WITH warning.	9
Very High	Major disruption to production line. 100% of product may have to be scrapped. Vehicle / item inoperable, loss of primary function. Customer very dissatisfied.	8
High	Minor disruption to production line. Product may have to be sorted and a portion (less than 100%) scrapped. Vehicle operable, but at a reduced level of performance. Customer dissatisfied.	7
Moderate	Minor disruption to production line. A portion (less than 100%) may have to be scrapped (no sorting). Vehicle / item operable, but some comfort / convenience item(s) inoperable. Customers experience discomfort.	6
Low	Minor disruption to production line. 100% of product may have to be reworked. Vehicle / item operable, but some comfort / convenience item(s) operable at reduced level of performance. Customer experiences some dissatisfaction.	5
Very Low	Minor disruption to production line. The product may have to be sorted and a portion (less than 100%) reworked. Fit / finish / squeak / rattle item does not conform. Defect noticed by most customers.	4
Minor	Minor disruption to production line. A portion (less than 100%) of the product may have to be reworked on-line but out-of-station. Fit / finish / squeak / rattle item does not conform. Defect noticed by average customers.	3
Very Minor	Minor disruption to production line. A portion (less than 100%) of the product may have to be reworked on-line but in-station. Fit / finish / squeak / rattle item does not conform. Defect noticed by discriminating customers.	2
None	No effect.	1

Kuva 5 Vakavuus

Taulukossa otetaan myös huomioon asiakasnäkökulma. Vikaantuminen voi näkyä asiakkaalle myöhästyneenä toimituksena tai pahimmassa tapauksessa toimimattomana tuotteena.

Vikaantumisen esiintyvyyttä mitataan seuraavalla taululukolla

Probability of Failure	Possible Failure Rates	Cpk	Ranking
Very High: Failure is almost inevitable	≥ 1 in 2	< 0.33	10
	1 in 3	≥ 0.33	9
High: Generally associated with processes similar to previous processes that have often failed	1 in 8	≥ 0.51	8
	1 in 20	≥ 0.67	7
Moderate: Generally associated with processes similar to previous processes which have experienced occasional failures, but not in major proportions	1 in 80	≥ 0.83	6
	1 in 400	≥ 1.00	5
	1 in 2,000	≥ 1.17	4
Low: Isolated failures associated with similar processes	1 in 15,000	≥ 1.33	3
Very Low: Only isolated failures associated with almost identical processes	1 in 150,000	≥ 1.5	2
Remote: Failure is unlikely. No failures ever associated with almost identical processes	≤ 1 in 1,500,000	≥ 1.67	1

Kuva 6 Esiintyvyys

Ensimmäisellä tasolla virheen mahdollisuus on häviävän pieni ja ylimmällä tasolla joka toinen tuote voi sisältää virheen. Taulukon määrät ovat hieman turhan suuret Trafotekin tuotantoon suhteutettuna, mutta tämä pitää ottaa huomioon arvioita tehdessä.

Löydettävyyttä arvioidaan seuraavan taulukon mukaan

Detection	Criteria: Likelihood the existence of a defect will be detected by test content before product advances to next or subsequent process	Ranking
Almost Impossible	Test content detects < 80 % of failures	10
Very Remote	Test content must detect 80 % of failures	9
Remote	Test content must detect 82.5 % of failures	8
Very Low	Test content must detect 85 % of failures	7
Low	Test content must detect 87.5 % of failures	6
Moderate	Test content must detect 90 % of failures	5
Moderately High	Test content must detect 92.5 % of failures	4
High	Test content must detect 95 % of failures	3
Very High	Test content must detect 97.5 % of failures	2
Almost Certain	Test content must detect 99.5 % of failures	1

Kuva 7 Löydettävyys

Ensimmäisellä tasolla virhe löydetään nykyisellä testausmenetelmällä melkein varmasti. Korkeimmalla tasolla vika on nykyisellä testauksella lähes mahdoton havaita. Tällainen voi olla esimerkiksi, että muuntajaan on käytetty väärää sydänmateriaalia. Tämä havaitaan vasta asiakkaalla käytössä.

4.2 Levynleikkaus

PFMEA aloitettiin ensimmäisestä tuotantovaiheesta, eli levynleikkauksesta. Levynleikkauksessa leikataan muuntajan sydän suunnitellusta materiaalista. Materiaali on muuntajaterästä ja sen koko ja laatu selviää tuotteen rakenteelta ja työohjeesta. Työohjeesta löytyy kaikki tarvittavat mitat, jotta tuotanto voi valmistaa oikean kokoisen sydämen oikeasta materiaalista. Levynleikkauksen havainnot löytyvät PFMEA:n ensimmäiseltä välilehdeltä Liitteestä 1. Vikaantumismahdollisuuksia havaittiin n.30 kappaletta, joista vakavimpina erityyppisen materiaalin käyttö, mitä rakenteella tai ohjeissa on.

4.3 Käämintä

Käämintävaiheessa leikatun sydänpakan päälle käämitään muuntajan käämitys kupari- tai alumiinilangasta. Tuotteen ohjeistuksessa on kerrottu langan materiaali, tyyppi (muoto vai pyöreä lanka), kierrosmäärät sekä käytettävät eristeet. Tätä vaihetta havainnoidessa kävi ilmi, että kääminnän yleisohje, joka ohjeistaa käämintään liittyvät vaiheet oli erittäin puutteellinen. Yleisohje tehtiin kokonaan uudestaan suunnitteluinsinöörin toimesta ja tällä saatiin laskettua monia korkeita RPN lukuja käämintävaiheesta. Käämintävaiheen arvioinnissa oli mukana tuotannon henkilöiden lisäksi tuotesiirtoprojektin asiantuntija, jolla oli kokemusta kääminnästä useita vuosia.

4.4 Kokoonpano

Tämä vaihe on muuntajatuotannossa yksi yksinkertaisimmista vaiheista. Tässä kääminnästä valmistuneet käämit asetetaan alaiეს palan päälle ja asennetaan sideraudat, sekä yläiespala. Tässä vaiheessa havaittiin noin viisitoista vikaantumismahdollisuutta. Myös tässä työvaiheessa havaittiin, että yleisohje oli pahasti puutteellinen. Uusi ohje luotiin laatuinsinöörintoimesta ja tällä saatiin pudotettua RPN lukuja hyväksyttävälle tasolle.

4.5 Esikoestus

Esikoestusvaiheessa muuntajalle suoritetaan ensimmäiset sähköiset testit ennen tyhjiöhartsausta. Tässä vaiheessa havaitut viat ja puutteet ovat vielä helpompaa korjata, koska tyhjiöhartsit kovettuu lasimaiseksi muoviksi ja sitoo tuotteen osat toisiinsa todella tiukasti. Esikoestusvaiheessa ei havaittu merkittäviä riskejä valmistuksen kannalta. Havaintoja tehtiin noin viisitoista kappaletta. Tässä vaiheessa oli arviointia tekemässä myös Trafotekin testi-insinööri, joka vastaa koestuslaitteista ja niiden kehityksestä. Esikoestusvaiheessa havaittiin myös puutteita yleisohjeessa ja uusi ohjeistus luotiin testi-insinöörin toimesta. KytKentä

Hartsausvaihe jätettiin pois tästä PFMEA:sta, koska siinä ei ole suoraan tuotteeseen kohdistuvia riskejä joten seuraava vaihe esikoestuksen jälkeen on muuntajan kytKentä. KytKentävaiheessa muuntaja kytKetään ohjeistuksen mukaan. Muuntajaan voi tulla kaa-

pelikengät tai liittimet. Kytkenässä myös tehdään tähtipistekytkenät tai muut muuntaajaan liittyvät sähköiset kytkenät. Nämä riippuvat muuntajan speksistä ja käyttötarkoituksesta. Kytkenävaiheessa havaittiin noin viisitoista kappaletta mahdollisuuksia virheille. Suurimmat riskit liittyvät puristusliitokseen, langan kytkemiseen liittimelle ja ilmaeristysväleihin. Puristusliitosohjeessa havaittiin puutteita ja se päivitettiin suunnitteluinsinööri-toimesta. Tässä vaiheessa oli mukana havainnoimassa tuotannon henkilöitä Kaarinasta, jotka olivat perehdyttämässä Raen henkilöitä tähän työvaiheeseen. Johtuen useista asiakasreklamaatioista jotka kohdistuivat tähän työvaiheeseen, luotiin myös tarkastuslista joka otettiin käyttöön välittömästi. Lisäksi määriteltiin hyväksytyjen tarkastajien lista, jossa on määriteltynä henkilöt jotka voivat suorittaa tarkastuksen tuotteelle, ennen sen siirtoa seuraavaan vaiheeseen.

4.6 Kotelointi

Tässä vaiheessa muuntaja asennetaan koteloon, jos sellainen on vaatimuksena. Muuntajilla on erityyppisiä kotelointia riippuen käyttökohteesta ja asiakkaan vaatimuksista. Tyypillinen kotelo on IP23, joka käsittää kotelon ja jalat. Tässä vaiheessa havaittiin noin kymmenen mahdollista virhetyyppiä, joista suurimmaksi riskiksi tunnistettiin roskat kotelon sisällä. Tästä johtuen luotiin kotelointivaiheeseen uusi ohjeistus ja työpisteelle hankittiin imuri roskien poistoa varten.

4.7 Loppukoestus

Tässä vaiheessa tuotteelle tehdään määritellyt testit. Testausten määrä ja tyyppi riippuu asiakasvaatimuksista ja käyttökohteista. Meriteollisuuden käyttöön suunniteltuihin muuntajiin tyypillisesti tehdään tarkemmat testit ja joskus testausta voi tulla valvomaan kolmas osapuoli, eli luokituslaitos. Tässä vaiheessa oli jälleen mukana Testi-insinööri tuotannon henkilöiden lisäksi. Havaintoja tehtiin noin kaksikymmentä ja niistä merkittävimmät liittyivät tuotteen merkitsemiseen ja tyyppikilpiin.

4.8 Pakkaus ja lähetys

Viimeisenä tuotantovaiheena on pakkaus ja lähetys. Tässä tuotantovaiheessa tuotteet pakataan asiakkaan vaatimalla tavalla ja hoidetaan lähetys. Lähetystapa riippuu asiakkaasta ja toimitusehdosta. Tuote voidaan pakata yksinkertaisesti lavalle tai sitten voidaan käyttää jykevää merivientipakkausta, jossa on ruostesuojaukset. Pakkaus- ja lähetysvaiheessa tehtiin noin kuusi havaintoa, joista merkittävin oli lähetyksen tekeminen ilman kaikkia tarpeellisia papereita.

5 HAVAINNOT

Vaikka PFMEA ei henkilökohtaisesti ole minulle uusi työkalu, toteutin sen tällä kertaa ensimmäistä kertaa itsenäisesti, joten oppimisprosessi on ollut todella mielenkiintoinen. Huolimatta usean vuoden työkokemuksesta Trafotekillä tuli ilmi täysin uusia asioita, joita en ole aiemmin havainnut. Työkaluna PFMEA on todella tehokas, koska sillä voidaan helposti löytää kehityskohteita ja mahdollisia riskejä. PFMEA:n systemaattinen lähestymistapa tuotantoprosessiin mahdollistaa prosessin tarkan tarkastelun ja havaintojen tekemisen. Menetelmä mahdollistaa prosessin ulkopuolisen ajattelumallin ja työtä tehdessä myös moni muu havaitsi yllätyksekseen, että tällaisiakin virheitä on mahdollista tehdä.

FMEA tekeminen on ryhmätyötä ja oikeiden henkilöiden valitseminen ryhmään on lopputuloksen kannalta kriittistä. Ryhmään kannattaa valita vaiheen asiantuntija, vaiheen työntekijä ja prosessin omistaja. Vaiheen tekijällä on yleensä paras näkemys ja kokemus siitä, miten prosessi tällä hetkellä toimii, asiantuntijalla näkemys siitä, miten sen pitäisi toimia ja prosessin omistajalla pitää olla tieto miten prosessi jatkossa tulee toimimaan.

PFMEA:n käyttö vaatii sitoutumista ja kykyä erottaa kriittinen vikaantumismahdollisuus vähemmän kriittisestä. Menetelmän heikkoutena on se, että merkittäviä riskejä voi jäädä kirjaamatta, koska niiden RPN numero ei nouse korkeaksi, johtuen siitä että niiden esiintyvyys on todella harvinaista. Näihin ääritapauksiin pitääkin suhtautua kriittisesti ja määrittellä niille toimenpiteet tai tarkastuspisteet, (pilkku?) huolimatta siitä että niiden RPN ei nouse korkeaksi. Tuloksia analysoidessa kannattaa käyttää maalaisjärkeä ja nostaa esille oikeasti vakavia ja mahdollisia vikaantumismahdollisuuksia. Vikaantumismahdollisuuksissa kannattaa myös pitää suhteellisuuden taju, eikä lähteä kirjaamaan kaikkea mahdollista. Tulee kuitenkin muistaa, että vikaantumismahdollisuuksia ei pidä vähätellä vaan tuoda rohkeasti esille omasta mielestä tärkeät asiat. Jonkun toisen mielestä vähäiset virheet voivat olla merkittäviä. Kannattaa myös käyttää malttia toimenpiteiden määrittelyssä ja aikatauluissa, jotta toimenpiteet on mahdollista tehdä kunnolla. Tässä työssä määriteltiin jokaisen vaiheen viiden suurimman RPN pisteytyksen saaneelle virhemahdollisuudelle toimenpiteet. Tämä kannattaa tehdä siitä syystä vaiheittain, että määritellyt

toimenpiteet pystytään tekemään kunnolla ja niiden avulla saadaan todella riskiä pienennettyä.

Jatkotoimenpiteiden määrittely ja käytäntöönpano vaatii sitoutumista ja kurinalaisuutta, jotta jo tehty työ ei menisi hukkaan. PFMEA:n isoin vaihe on sen luominen, mutta valmiiksi luodun PFMEA:n ylläpito ei enää ole niin raskasta, koska se voidaan katselmoida pienemmällä ryhmällä. Trafotekillä on käytössä laadunhallintaohjelmisto IMS, joka on käytössä kaikilla Trafotekin tehtailla. Nyt luotu FMEA on tallennettu sinne ja sille on määritetty katselmointiväli. Koska laadunhallinta ohjelmisto on käytössä kansainvälisesti ja nyt luotu FMEA on toteutettu englannin kielellä, voidaan FMEA helposti ottaa käyttöön myös muilla tehtailla, jos niissä aloitetaan muuntajavalmistus.

6 POHDINTA

Laatutyö on yrityksen menestyksen kannalta erittäin tärkeää. Jälkijättöinen laatutyö on huomattavasti vaikeampaa ja kalliimpaa kuin ennaltaehkäisevä. Suosittelen lämpimästi PFMEA:n rakentamista jo tuotteen suunnitteluvaiheesta asti, jotta mahdolliset vikaantumiset pystytään ennakoimaan ja sitämyöden välttämään laatukustannuksia. Viimevuonna käyttöön tullut uusittu ISO 9001 painottaa entistä enemmän ennakoivaan laatuun ja jatkuvaan parantamiseen, joten PFMEA auttaa täyttämään myös ISO 9001:n vaatimukset. Mielestäni yrityksen laatua ei voi saada kerralla kuntoon, vaan laatutyö on pitkäjänteistä ja resursseja vaativaa työtä. Laatutyön pitäisi edetä porras portaalta eteenpäin, jotta siitä saataisiin mahdollisimman suuri hyöty.

Nyt tehtyjen toimenpiteiden kautta virheiden määrää on saatu vähennettyä ja asiakasyytyväisyyttä parannettua. Virheet pystytään ennakoimaan ja virheitä ei tapahdu niin paljoa. Asiakasyytyväisyys on näkynyt parantuneena toimitusvarmuutena ja virheettömyytenä tuotteissa. Tämä on selkeästi näkyvissä tilausmäärien kasvuna ja asiakkaiden tekemässä toimittaja- arvioinneissa.

Trafotekissä on nyt ryhdytty luomaan PFMEA:ta myös Kaarinan tehomuuntaja tuotantoon, jotta mahdolliset vikaantumismahdollisuudet pystytään karsimaan ennaltaehkäisevästi. Kaarinassa on meneillään suuri muutos muuntaja valmistuksessa, kun tuotanto siirtyy valmistamaan CHL- tekniikkaan perustuvia muuntajia vanhan VPI- tekniikan sijaan. Nyt on siis todella otollinen hetki kehittää tuotannon valmistusmenetelmiä ja prosesseja. Tekemästäni työstä Viron tehtaalla on ollut todella suuri apu, koska nyt menetelmä on tuttu ja helppo opastaa myös muille, kun tiedän mitä pitää tehdä.

Tästä työstä jatkotutkimuksen aiheita voisi olla esimerkiksi tarkastussuunnitelman luominen PFMEA:n pohjalta tai työohjeiden tekeminen PFMEA:n pohjalta.

LÄHTEET

Karjalainen, Tanja & Karjalainen, Eero E. 2002. Six Sigma, uuden sukupolven johtamis. ja laatu-
menetelmä.Hollolla: SalpausselänKirjapaino Oy

Leclin, Olli 2002. Laatu yrityksen menestystekijänä. Helsinki: Talentum Media Oy

Lillrank, Paul 1998. Laatuajattelu. Keuruu: Otavan Kirjapaino

Lipponen, Toivo 1993. Laatujohtaminen . Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

Munro A, Roderick, Maio J, Matthew, Nawaz B, Mohamed, Ramu, Govindarajan, Zrymiak J, Da-
niel. 2008. The Certificated Six Sigma Green Belt handbook.Milwaukee: ASQ Quality Press

Salminen, Simo. Mitä laatu on? osaammeko määritellä sen?Hakupäivä 2.2.2016

<<http://www.aaltopro.fi/blog/mita-laatu-osaammeko-maaritella-sen>>

Stamatis, D.H. 2003. Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to Execution. 2nd
edition. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press.

PFMEA



Kopio TRR PFMEA
Wire transformers (er