

**Sari Suonsyrjä**

**VIRHEELLISTEN STAATTOREIDEN LAATUONGELMIEN  
ANALYSOINTI**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto  
Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelma  
Toukokuu 2015**

## TIIVISTELMÄ

<b>Yksikkö</b> Kokkola-Pietarsaaren yksikkö	<b>Aika</b> Toukokuu 2015	<b>Tekijä</b> Sari Suonsyrjä
<b>Koulutusohjelma</b> Teknologiaosaamisen johtaminen		
<b>Työn nimi</b> Virheellisten staattoreiden laatuongelmien analysointi		
<b>Työn ohjaaja</b> KTT Pekka Nokso-Koivisto, TkL Eero Pikkarainen		<b>Sivumäärä</b> 64 + 3
<b>Työelämäohjaaja</b> Insinööri (AMK) Jani Palssi		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella sähkömoottoreiden tuotantoprosessissa staattorin uudelleentilaukseen johtaneita syitä sekä keskittyä tutkimuksen suurimman syylokituksen eli staattoreiden sulkujen vähentämiseen. Kyseessä oli laadullinen tutkimus. Tutkimuksen toimeksiantajana oli Vaasassa sijaitseva sähkömoottoritehdas ABB Oy Motors &amp; Generators.</p> <p>Tutkimuksen pohjana oli vuoden 2013 aikana kerätty yrityksen sisäisten palautteiden materiaali kaikista staattorin uudelleentilaukseen johtaneista tapauksista. Tutkijan tilastoi tapaukset palautejärjestelmän avulla luomalla määritellyt syylokitukset, joiden ansiosta tarkempi kuvaus uudelleentilauksiin johtaneista syistä. Sulut osoittautuivat merkittävimmäksi syyksi tuotannossa tapahtuvista staattorin uudelleentilauksista. Tutkimus suoritettiin asiantuntijaryhmän aivoriihityöskentelynä. Aivoriihiryhmään osallistui kymmenen tarkoin valittua asiantuntijaa. Työskentely suoritettiin yhden päivän aikana ja siinä alustuksessa hyväksi käytettiin käsiteltyä tutkimusmateriaalia, johon työskentely perustui</p> <p>Tutkimuksessa kävi ilmi, että löytyi useita staattorin uudelleen tilaukseen johtavia sulkujen juurisyyitä. Näistä syistä mainittavan arvoisia ovat työntekijöiden ammattitaito, viallisten staattoreiden tutkimus- sekä tilausprosessin kuntoon saattaminen, toimittajien auditointien ammattitaitoisuus sekä tuotannossa käytettävien mittalaitteiden uusiminen.</p> <p>Tämän tutkimuksen pohjalta nousi uusia tutkimuksen aiheita, kuten hartsaamattomien staattoripakettien toimintatapa, eristehjeiden riittävyys sekä runkoon puristamisen toimintatavan muuttaminen.</p>		
<b>Asiasanat</b> Aivoriihi, kalanruotokaavio, laatu, laatutyökalut, maasulku, staattori, Pareto-analyysi, vyyhtisulku.		

## ABSTRACT

<b>CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</b>	<b>Date</b> May 2015	<b>Author</b> Sari Suonsyrjä
<b>Degree programme</b> Master`s Degree for Technology Competence Management		
<b>Name of thesis</b> Quality problem analysis of defective stators		
<b>Instructor</b> Pekka Nokso-Koivisto, Eero Pikkarainen		<b>Pages</b> 64 + 3
<b>Supervisor</b> Jani Palssi		
<p>The main purpose of this thesis was to examine the causes that have led to the stator re-orders in the electric motor production process and also to focus on the biggest cause classification that is the reduction of the stator faults. This is a qualitative study. The ordering party of this study was an electric motor manufactory ABB Oy Motor &amp; Generators, sited in Vaasa.</p> <p>Basis of the study was the internal feedback material, gathered during the year 2013, regarding all the cases that have led to the stator re-orders. These cases were mapped to the statistics by the examiner with the help of the internal feedback system. Defined cause classifications were created in order to get more clear description of the re-order root causes. The most significant factor causing the stator re-orders were proved to be the stator faults. The study was carried out as an expert group brainstorming. Ten well selected experts were participating to this brainstorming work. The job was done during one day and in the introduction processed study material was exploited as a basis of the work.</p> <p>In this study several fault root causes leading to the stator re-order were found. Worth mentioning are the workers professional skills, restoring the faulty stator study and order process, the professional character of the supplier audits and the renovation of the measuring devices in production.</p> <p>From the basis of this study new subjects for the further examination were raised, as the way of action unimpregnation stator packages, adequacy of the insulation instructions and the change of frame press workings.</p>		
<b>Key words</b> Brainstorming, fish bone diagram, quality, quality tools, earth fault, stator, Pareto analysis, coil fault		

TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
SISÄLLYS  
KUVIOLUETTELO

1 JOHDANTO .....	1
2 TUTKIMUKSEN VIITEKEHYS .....	3
3 SÄHKÖMOOTTORI .....	6
3.1 Sähkömoottorin rakenne .....	7
3.2 Staattori .....	10
3.3 Staattorin maa-, vaihe- ja vyyhtisulut.....	12
4 SÄHKÖMOOTTORIN TUOTANTOPROSESSI .....	16
4.1 Tuotannonohjausjärjestelmä .....	16
4.1.1 Tilaus-toimitusprosessi.....	17
4.1.2 Notifikaatio eli sisäinen palaute.....	18
4.2 Tuotantoprosessi .....	19
4.2.1 Komponentin valmistus.....	19
4.2.2 Staattorinvalmistus.....	19
5 LAATUTYÖKALUT .....	21
5.1 Laatu käsitteenä .....	21
5.2 Laatukustannukset .....	22
5.3 Laatutyökalut .....	23
5.3.1 Tilastoimistapa .....	23
5.3.2 Pareto-analyysi .....	25
5.3.3 Aivoriihi .....	28
5.3.4 Syy-seurausdiagrammit .....	31
5.3.5 4Q.....	33
6 ABB OY MOTORS & GENERATORS VAASA .....	36
7 TUTKIMUKSEN TARKOITUS SEKÄ TEKEMINEN .....	38
7.1 Tutkimusongelma .....	38
7.2 Tutkimuksen rajaus .....	38
7.3 Tutkimuksen suorittaminen.....	39
7.3.1 Tilastojen luonti .....	39
7.3.1 Pareto-kuvaajan käyttäminen .....	40
7.3.1 Aivoriihityöskentely.....	43
7.4 Tutkimuksen pätevyys ja luotettavuus .....	53
7.5 Tutkimustulosten yhteenveto .....	56
7.5.1 Maasulut .....	56

7.5.2 Vaihesulut .....	58
8 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	62
LÄHTEET .....	63
LIITE 1: Sulkujen tutkimusaineisto .....	65

## KUVIOLUETTELO

KUVIO 1. Tutkimuksen viitekehys tuotantoprosessissa .....	3
KUVIO 2. Staattorin maa- ja vaihesulkuja aiheuttavat syyt .....	4
KUVIO 3. Kolmivaiheinen suljettu oikosulkumoottori poikkileikattuna .....	6
KUVIO 4. Roottorin häkkikäämityksen rakenne .....	8
KUVIO 5. Uritettu staattorilevy .....	10
KUVIO 6. Puolivalmis staattorirauta .....	11
KUVIO 7. Kaksi hartsaamatonta staattoria .....	12
KUVIO 8. Toistokoestuslaitteen näyttö .....	13
KUVIO 9. Esimerkki maasulkukäyrästä .....	13
KUVIO 10. Esimerkki vaihesulkukäyrästä .....	14
KUVIO 11. Esimerkki vyyhtisulkukäyrästä .....	15
KUVIO 12. Tilaus-toimitusprosessi.....	17
KUVIO 13. Pareto-diagrammi .....	27
KUVIO 14. Kalanruotokuvion rakenne .....	31
KUVIO 15. 4Q seurantalomake.....	33
KUVIO 16. Tehtaat ja keskusvarastot ABB.....	36
KUVIO 17. Valmistettavat Ex-moottorit akselikorkeuksittain .....	37
KUVIO 18. Uudelleen tilatut staattorit kappalemäärän mukaisesti .....	40
KUVIO 19. Uudelleen tilatut staattorit kustannusten mukaisesti .....	41
KUVIO 20. Kalanruotokaavio yleisimmistä syylokituksista .....	42
KUVIO 21. Sulkujen lukumäärä kokoonpanolinjoittain .....	44
KUVIO 22. Sulkujen kustannukset kokoonpanolinjoittain.....	45
KUVIO 23. Kalanruotokaavio maasulkujen juurisyistä .....	47
KUVIO 24. Kalanruotokaavio vaihesulkujen juurisyistä.....	52
TAULUKKO 1. Sulkutapaukset kokoluokittain sekä eristysohjeittain.....	46
TAULUKKO 2. Sulkutapaukset kokoluokittain sekä napaluvuittain .....	46
TAULUKKO 3. Maasulkujen työlista.....	56
TAULUKKO 4. Vaihesulkujen työlista.....	59

# 1 JOHDANTO

Yritysten välinen kilpailu kiristyy jatkuvasti, koska markkinat muuttuvat, teknologia kehittyy, kilpailijat saavat markkinaosuuksia alhaisimmilla kustannuksilla ja asiakkaat ovat entistä vaativampia niin laadun kuin toimitusaikojen suhteen. Kilpailutilanne kuulostaa hyvin negatiiviselta, mutta elinvoimainen yritys voi nähdä tässä tilanteessa hyvän mahdollisuuden kehittää omaa toimintaansa. Aina on mahdollista tehostaa yrityksen sisäistä toimintaa esimerkiksi kehittämällä tilaus-toimitusprosessia sekä parantamalla laatua ja toimitusvarmuutta. Yritysten kannattaa hakea erilaisia kustannussäästöjä toiminnassaan, kun paineet tuotteen hinnankorotuksille kireässä kilpailutilanteessa eivät ole mahdollisia. Laatua voidaan pitää yhtenä tärkeimmistä kilpailukeinoista. Tuotantokustannuksista laatuerojen kustannusvaikutuksilla on suuri merkitys siihen mitä jää tuotteen katteeksi ja tähän voi vain yritys itse vaikuttaa omalla toiminnallaan. Tässä työssä keskitytään yhden laatuerojen aiheuttavan syyn eli staattorissa esiintyvien sulkujen vähentämiseen tuotannossa.

Päätutkimusongelmana on uudelleen tilattujen staattoreiden sulkujen vähentäminen. Tutkimuskohteena on sähkömoottorin sydän eli staattori. Opinnäytetyöni tarkoituksena on tarkastella sähkömoottoreiden tuotantoprosessissa uudelleen tilattavien staattoreiden syitä sekä keskittyä tutkimuksen suurimman syyn eli staattoreiden sulkujen vähentämiseen. Tutkimuksessa keskitytään tuotantoprosessin osalta staattoreiden valmistuksen suurimpaan laaduttomuuteen eli sulkuihin.

Opinnäytetyölle perusta saadaan sähkömoottorin pääkomponenttien sekä toimintamekanismin esittelystä. Lisäksi perehdytään sähkömoottorin tuotantoprosessiin sekä niihin vaiheisiin mitkä ovat uudelleen tilattavien staattoreiden syitä. Teoriaosuudessa keskitytään laatuun sekä tässä työssä käytettyihin laatu työkaluihin.

Tässä tutkimuksessa kartoitetaan vuonna 2013 tuotannossa uudelleen tilattujen staattoreiden virheiden syitä sekä kohdepaikkaa. Tämän opinnäytetyön yhtenä tärkeänä antina on se, miten kohdeyritys voi tulevaisuudessa hyödyntää

opinnäytetyössä esitettyjä laaduttomuuden syitä vuosittain tehtävässä analyysissä ja näin kohdentaa kehitystoimenpiteitä laadunparannukseen tarkemmin. Tämän vuoksi laatukustannusten kartoitus tehdään ennen rajatun tutkimuksen aloittamista.

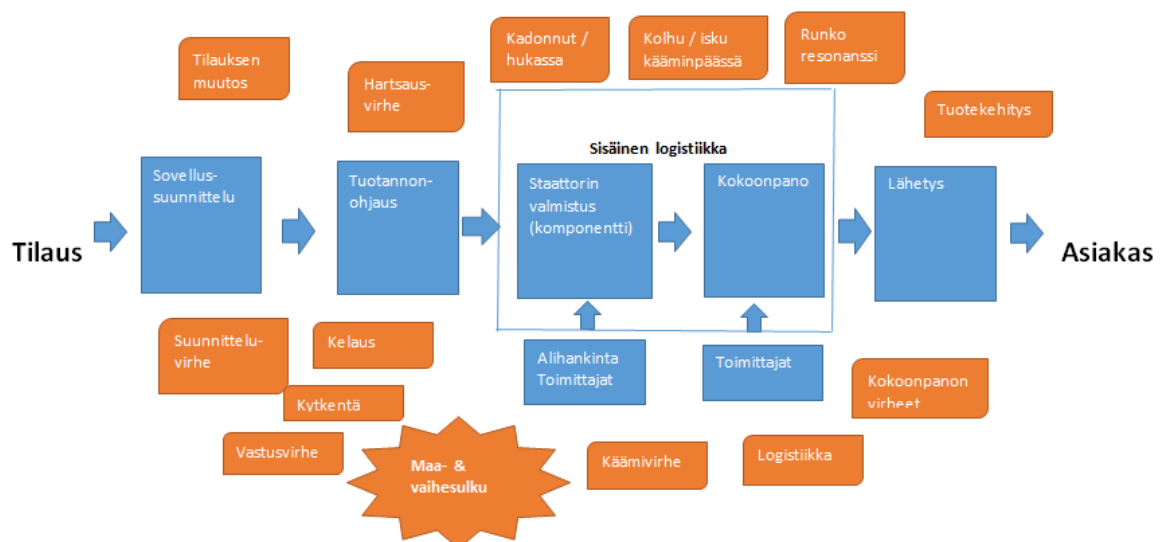


## 2 TUTKIMUKSEN VIITEKEHYS

Teoreettinen viitekehys määrittää sen millainen aineisto tutkimukseen kannattaa kerätä ja millaista määritelmää sen analyysissä käytetään. Voi myös käydä niin, että aineiston luonne asettaa rajat sille, millainen tutkimuksellinen viitekehys voi olla ja millaisia metodeja voi käyttää. (Alasuutari 2007, 83) Tässä tutkimuksessa aineiston luonne asetti rajat tutkimukselliselle viitekehykselle.

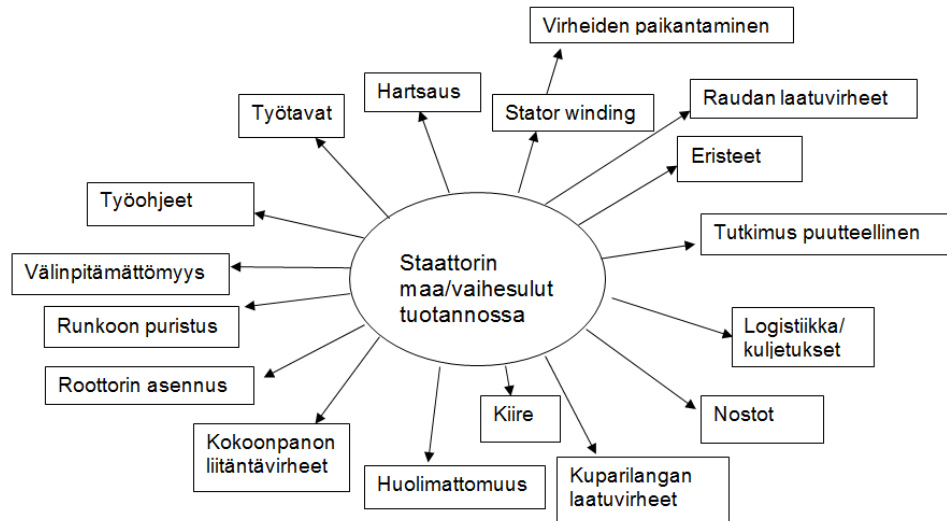
Tutkimuksen aineisto koostuu vuoden 2013 aikana kerätystä Excel-tiedostosta. Aineisto on kerätty käämintöosastolla. Tiedosto sisälsi kaikki vuonna 2013 staattorin uudelleentilaukseen johtaneet laatutapaukset. Näitä staattorin uudelleentilaukseen johtavia syitä oli alle kaksikymmentä. Oli jo lähtökohtaisesti selvää, että tutkimusta oli rajattava sen laajuuden vuoksi.

Kuviossa 1 on esitetty tutkimuksen viitekehys. Kuviossa sinisillä laatikoissa on kuvataan tuotantoprosessin eri vaiheet tilauksesta alkaen. Oranssilla värillä merkityissä laatikoissa on näkyvissä tutkimuksessa esiin tulleet syyt, jotka aiheuttavat tuotannossa staattorin uudelleentilauksen. Tutkimus rajoitetaan yhteen syykohtaan, joka on merkitty kuvioon räjäytyskuvana. Kyseessä oleva syy on maa- ja vaihesulut. Tutkimuksessa keskitytään maa- ja vaihesulkujen syiden selvittelyyn sekä etsimään mahdollisia kehitysehdotuksia syiden vähentämiseen.



KUVIO 1. Tutkimuksen viitekehys tuotantoprosessissa

Tutkimuksen viitekehystä voidaan esittää tarkennettuna staattoreiden maa- ja vaihesulkujen syiden osalta. Tämä on nähtävissä kuviossa kaksi, jossa keskellä ympyrässä on esitetty tutkimuksen kohde eli staattoreiden maa- ja vaihesulut tuotannossa. Ympyrän ympärille on koottu niitä syitä, jotka aiheuttavat näitä staattorin sulkuihin johtavia syitä.



KUVIO 2. Staattorin maa- ja vaihesulkuja aiheuttavat syyt

Tutkimuksen tarkoituksena on järjestelmällisesti kerätä kaikki tiedot staattorin uudelleentilaukseen johtaneista tapauksista ja tehdä niistä helpommin tutkittava taulukko. Analysoimalla taulukkoa päästiin selville millaisia uudelleentilaukseen johtavat tapaukset olivat ja mitä niille olisi tehtäviä, jotta niiden esiintymistä voitaisiin vähentää. Aiempaa vastaavaa tutkimusta ei ole tehty, mikä aiheutti tutkimuksen menetelmien valintaan omat haasteensa. Tarkoituksena olisi, että kyseinen tutkimus voidaan uusia seuraavana vuonna ja tarkastella näin kahden eri vuoden tutkimustuloksia.

Tarvitaan selkeä tutkimusmetodi, jolla aineistosta voidaan hakea tutkimuksen kannalta oikeat havainnot. Metodi koostuu niistä tehtävistä ja toimenpiteistä, joiden avulla tutkija tuottaa havaintoja. On oltava säännöt, joiden avulla näitä havaintoja voidaan edelleen muokata ja tulkita mahdollisiksi johtolangoiksi. Esimerkiksi tilastollisessa tutkimuksessa tutkija täsmentää käyttämänsä säännöt sille, miten hän on esimerkiksi muodostanut erilaisia muuttujia ja koodannut muuttujan saamia arvoja. (Alasuutari 2007, 82)

Tutkimusmetodeina tutkimuksessa käytetään tilastointia, Pareto-analysointia sekä asiantuntijaryhmän aivoriihiyöskentelyä. Aivoriihiyöskentelyn tuloksista kootaan työlistalle kehitys- ja parannusehdotuksia, jota lähdetään kehittämään yhdessä eri yhteistyötahojen kanssa. Näiden parannusehdotusten uskotaan tuottavan tulosta ja vähentävän staattorin tuotannonaikaisia sulkutapauksia. Vähentämällä uudelleen tilattavien staattoreiden tarvetta parannetaan samalla tuottavuutta sekä toimitusaikoja.

### 3 SÄHKÖMOOTTORI

Tässä luvussa käydään läpi sähkömoottorin rakennetta ja historiaa. Lisäksi perehdytään tutkimuksen kohteena olevaan staattoriin lähemmin. Käydään läpi staattorin valmistusta sekä selvitetään staattorin vikatyypeistä maa- vaihe- ja vyyhtisulkutapaukset.

Sähkömoottorin pääasiallinen tarkoitus on muuttaa sähköenergia mekaaniseksi energiaksi. Sitä tarvitaan teollisuudessa erilaisten tuotantolaitteiden ja koneiden voimanlähteeksi. (Mäkinen, Kallio & Tattarimäki 2009, 116)

Sähkömoottorilla on merkittävä rooli yhteiskunnassamme. Teollisuus kuluttaa kaksi kolmasosaa kaikesta sähköenergiasta ja kaksi kolmasosaa teollisuuden käyttämästä sähköenergiasta kulutetaan sähkömoottoreissa. Sähkömoottoreissa kulutetaan yli 40 prosenttia kaikesta käytetystä sähköenergiasta. (ABB 2009)

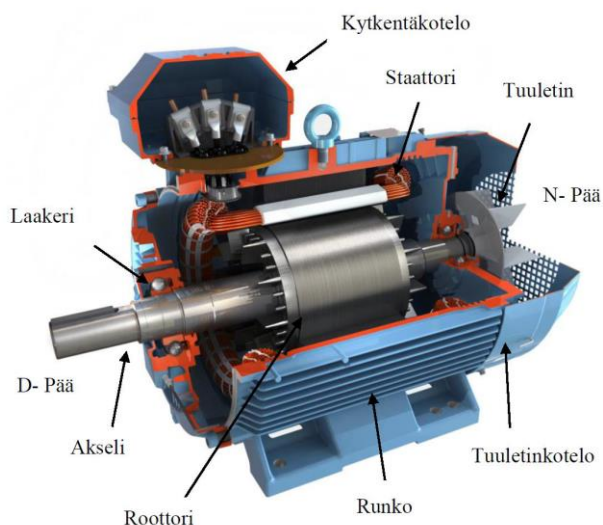
Näitä sähkökoneita on useaa eri tyyppiä. Tärkeimmät tyypit ovat epätahti-, tahti- ja tasavirtakoneet. Epätahti- ja tahtikoneet ovat vaihtovirtakoneita, joiden toiminta perustuu pyörivään magneettikenttään koneen sisällä. Jokainen konetyyppi voidaan toteuttaa monella eri tavalla, jolloin niiden ominaisuudet ja rakenne poikkeavat toisistaan. Lisäksi on olemassa lukuisia erikoiskoneita. (Korpinen 2006)

Perinteisesti oikosulkumoottorit ovat hallinneet sähkömoottorimarkkinoita. Kyseessä on teollisuudessa yleisesti käytetty vaihtovirtasähkömoottorityyppi. Oikosulkumoottori on erittäin suosittu moottori yksinkertaisen rakenteensa ansiosta. Tämän moottorityypin etuina muihin moottorityyppeihin verrattuna on se, ettei oikosulkumoottorissa ole erillisiä magnetointikämmityksiä, vaan ainoastaan suhteellisen yksinkertaiset staattori- ja roottorikämmitykset. Moottorin toiminnan kannalta tärkeimmät osat ovat staattorin kämmitykset levypaketteineen ja roottorin kämmitys levypaketteineen. Näin käytännössä ainoat moottorin kuluvat osat ovat laakerit. (Korpinen 2006)

### 3.1 Sähkömoottorin rakenne

Oikosulkumoottorin keksijänä voidaan pitää Nikola Teslaa, joka 1880-luvulla kehitti ja patentoi pitkälti nykymoottoreissakin käytössä olevan rakenteen. Moottori oli rakenteeltaan hyvin yksinkertainen, mutta pyörimisnopeuden ja akselimomentin säätämiseksi ei ollut aluksi hyviä keinoja. Tehoelektroniikan kehittymisen ja taajuusmuuttajasovellutusten avulla vaihtovirtamoottori on korvannut tasavirtamoottorin sellaisissakin käytöissä, joissa vaaditaan suurta käynnistysmomenttia ja tarkkaa nopeudensäätöä. ( Mäkinen ym 2009, 116)

Mekaaniselta rakenteeltaan sähkömoottori on varsin yksinkertainen sisältäen pyörivän roottorin akseleineen, staattorin käämityksineen, laakeroinnin, rungon ja tarvittavat sähköiset liitännät. (ABB 2009) Sähkömoottorin toiminta perustuu magneettikentän ja siinä olevan virrallisen johtimen välisiin voimavaikutuksiin. Koneiden käämityksistä puhuttaessa erotetaan usein toisistaan magnetointikäänitys ja työvirtakäänitys. Magnetointikäänityksellä luodaan koneen toiminnalle välttämätön magneettikenttä. Koneen työvirtakäänityksessä kulkee koneen "varsinainen sähköteho". (Korpinen 2006)

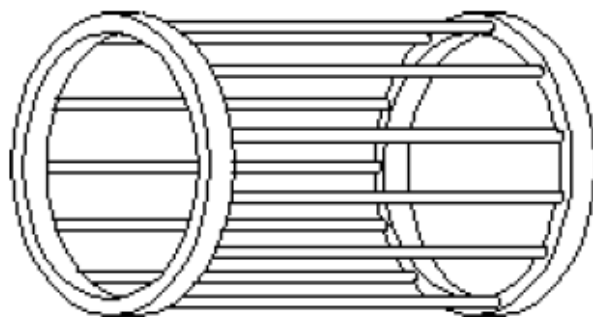


KUVIO 3. Kolmivaiheinen suljettu oikosulkumoottori poikkileikkattuna (Aura & Tonteri 1996)

Kuviossa 3 nähdään poikkileikattu oikosulkumoottori. Moottorin valmistaja on ABB. Kuvasta on nähtävissä pääkomponentit, jotka ovat staattori, roottori, runko, kilvet sekä laakerit. Kuviossa 4 voidaan nähdä moottorin D-pää, josta käytetään nimitystä akselipää sekä N-pää, josta käytetään nimitystä vapaa pää. Tuuletin on normaalisti N-päässä. Yleensä kytkentäkotelo on rungon päällä, mutta tarvittaessa kytkentäkotelo voi olla myös sivulla.

Normaalirakenteisissa sähkömoottoreissa on seuraavat perusosat: pyörivä roottori (pyörijä) akseleineen, staattori (seisoja), laakerikilvet, runko ja laakerit. Roottorin akseli lepää laakereiden varassa staattoriaukossa. Roottorin ja staattorin välissä on ilmarako niin, että roottori voi pyöriä vapaasti. Laakerit on kiinnitetty laakerikilpiin, jotka kannattavat roottoria. Laakerikilvet ovat kiinni rungossa, johon on sisään puristettuna staattori. Staattoriin ja roottoriin on sijoitettu käämitykset, joiden muoto ja rakenne vaihtelevat konetyypin mukaan. Moottorin päällä on yleensä myös liitinkotelo, johon syöttökaapeli liitetään. (Korpinen 2006)

Oikosulkumoottorin roottorin käämitys on ns. häkkikäämitys, joka on sijoitettu roottorin uriin ja suljettu molemmista päistä oikosulkurenkaalla. Tämä on nähtävissä kuviossa neljä. Yleensä roottorikäämityksessä on yksi sauva yhtä uraa kohti, mutta haluttaessa muuttaa moottorin ominaisuuksia sauvan muoto ja lukumäärä vaihtelevat. Yleensä roottorikäämitys valmistetaan alumiinista painevalamalla. Roottorikäämiä ei ole erikseen eristetty roottoriraudasta. (Korpinen 2006)



KUVIO 4. Roottorin häkkikäämityksen rakenne (Korpinen 2006)

Sähköisesti oikosulkumoottorin toiminta perustuu magneettikentän ja siinä olevan virrallisen johtimen välisiin vuorovaikutuksiin. Staattoriin sijoitettujen

kuparikäämitysten ja verkkotaajuudella vaihtelevan vaihtovirran avulla voidaan induktiolain mukaisesti indusoida virta roottoriin. Roottori on valmistettu ohuista sähkölevyistä siten, että levyihin on meistettäessä jätetty reiät roottorisauvoja varten. Roottorisauvat on valettu sulasta alumiinista ja suljettu molemmista päistä oikosulkurenkailla. Näin roottorivirtapiiriin muodostuu induktiolain mukainen virta, joka puolestaan aiheuttaa magneettikentässä ollessaan voimavaikutuksen ja tempaa roottorin akseleineen pyörimään staattorin magneettikentän mukana. (ABB 2009)

Oikosulkumoottorista käytetään myös nimitystä epätahtimoottori, koska moottorin roottorin pyörimisnopeus on aina staattorin magneettikentän pyörimisnopeutta pienempi. Matemaattisesti oikosulkumoottorin vääntömomentti on päävuon ja roottorivirran vektoritulo. Mikäli roottorin pyörimisnopeus saavuttaisi staattorin magneettikentän pyörimisnopeuden, roottoriin ei syntyisi sähkömotorisen voiman aiheuttamaa vääntömomenttia, koska staattorin magneettikenttä pysyisi roottorin suhteen paikallaan ja vuoleikkausta ei syntyisi. (ABB 2009)

Sähkömoottorin käydessä sen käämityksissä ja rautaosissa syntyy häviöitä, jotka lämmittävät konetta. On tärkeää, että nämä häviöt poistetaan moottorista, jotta sen lämpötila ei nousisi yli suurimman sallitun. Tavallisesti moottorin luonnollinen lämmön siirtyminen ympäristöön ei riitä, joten lämmönsiirtoa on tehostettava. Tämä tehdään normaalisti käyttämällä tuuletinta tai puhallinta. Tuuletin voi olla sijoitettuna koneen akselille, jolloin koneen pyöriessä tuuletin kierrättää ilmaa. Koneen jäähdytys voidaan hoitaa myös erillisellä apumoottorin pyörittämällä puhaltimella. (Korpinen 2006)

Tuotannossa sähkömoottorit luokitellaan akselikorkeuden mukaisesti. Kohdeyrityksessä pienimmät valmistettavat moottorit ovat akselinkorkeudeltaan 71 ja suurimmat ovat akselikorkeudeltaan 450 kokoluokan moottoreita. Valmistettavat moottorit ovat 0,25 - 1000 kW:n tehoisia.

### 3.2 Staattori

Tämän tutkimuksen kohteena on staattori, jota tässä luvussa käydään läpi tarkemmin. Staattorin paketti valmistetaan 0,5 mm:n paksuisista sähkölevyistä, jotka ladotaan päällekkäin staattoripaketiksi. Kuviossa 5 on nähtävänä yksittäinen uritettu sähkölevy.



KUVIO 5. Uritettu staattorilevy

Alla olevassa kuviossa kuusi on nähtävänä puolivalmis staattorirauta. Kuviossa 5 staattorirauta on 800 mm pitkä eli sen valmistamiseen on käytetty 1600 staattorilevyä. Staattorilevyt ladotaan päällekkäin ja tämän jälkeen kone puristaa pakettia suurella voimalla. Seuraavaksi puristettu paketti sidotaan metallisella paketinsidontanauhalla kiinni. Tämän jälkeen staattoriraudan ulkopinta sorvataan vielä mittaansa. Sorvauksen jälkeen valmis staattoripaketti toimitetaan käämintään. (ABB 2014b; ABB 2014c)



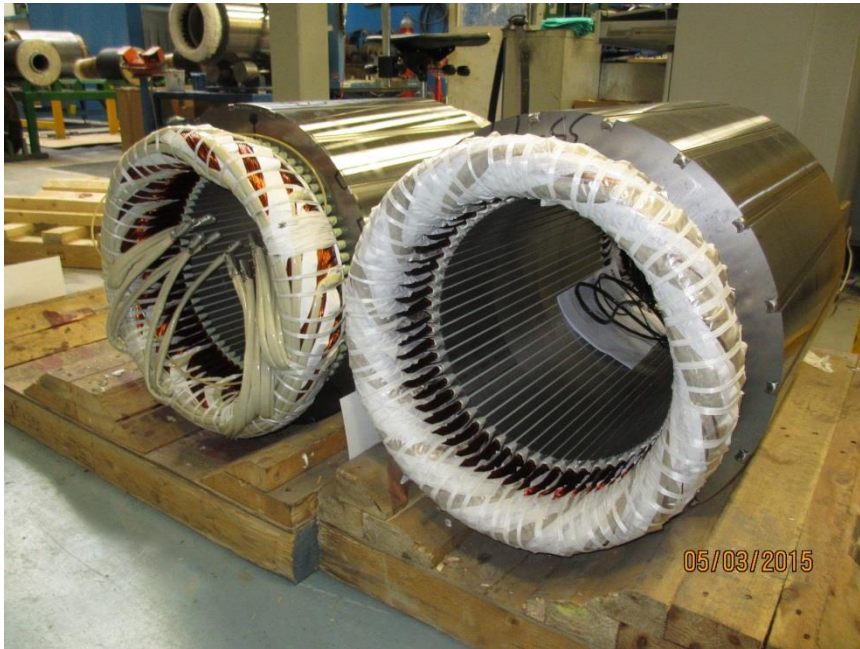


KUVIO 6. Puolivalmis staattorirauta

Kääminnässä staattoriraudan uriin asetetaan eristeet sekä kuparilankavyyhdyt. Tämä työ tehdään suurimmissa kokoluokissa käsikäimityksenä. Staattori valmistetaan työkortin mukaan

Staattorissa on kuparinen emalilankakäämitys, joka on kyllästetty hartsilla käyttäen valutuskyllästysmenetelmää. Tällä menetelmällä johdinvälit täyttyvät hyvin, sillä hartsii sitoo käämitystä, josta tulee mekaanisesti luja sekä kosteuden- ja tropiikinkestävä. Suuritehoisten moottoreiden käämitykseen sijoitetaan termistoreita, joita voidaan käyttää normaalin ylivirta- ja oikosulkusuojan lisäksi suojaamaan käämitystä liialliselta lämpiämiseltä. (Aura & Tonteri 1996, 204–205)

Laadukkaasti käämityssä moottorissa staattoriuran täyttöaste on korkea eli ura on mahdollisimman täynnä kuparia. Korkea täyttöaste parantaa metallien välistä lämmönjohtavuutta ja alentaa siten moottorin käyttölämpötilaa. Mitä alhaisempi käytön aikainen lämpötila puolestaan on, sitä pidempään moottorin eristysjärjestelmä kestää ja moottori toimii. Myös uraeristys, vaihe-eristys ja käytetty kyllästysmenetelmä vaikuttavat moottorin laadukkuuteen. Korkean hyötysuhteen voidaankin katsoa tarkoittavan moottorin yleistä laadukkuutta. (ABB 2009)



KUVIO 7. Kaksi hartsaamatonta staattoria

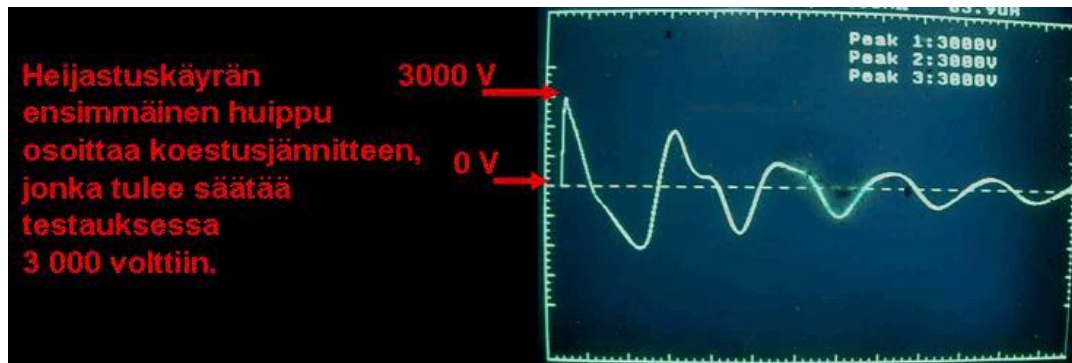
Kuviossa 7 on nähtävänä kääminnästä valmistuneet staattorit, jotka ennen hartsausta tarkistetaan silmämääräisesti. Tässä vaiheessa voidaan vielä tehdä mahdollisia korjauksia tai muutoksia staattoriin, mikä on hartsausken jälkeen suurimmalta osin mahdotonta. Hartsausken jälkeen valmis staattori toimitetaan kokoonpanolinjalle.

### 3.2 Staattorin maa-, vaihe- ja vyyhtisulku

Staattorin yleisimpiä laatutapauksia ovat maa- ja vaihesulut. Nämä voidaan todentaa staattorista toistoaaltoestauksella. Seuraavaksi käydään läpi toistoaaltoestuksen suorittaminen. Huomionarvoista on, että mittauksen saa suorittaa vain tehtävään koulutettu ja perehdytetty henkilö, jolla on sähköisiin koestuksiin ja niihin liittyviin laitteistoihin tarvittava sähköturvallisuusmääräysten tuntemus.

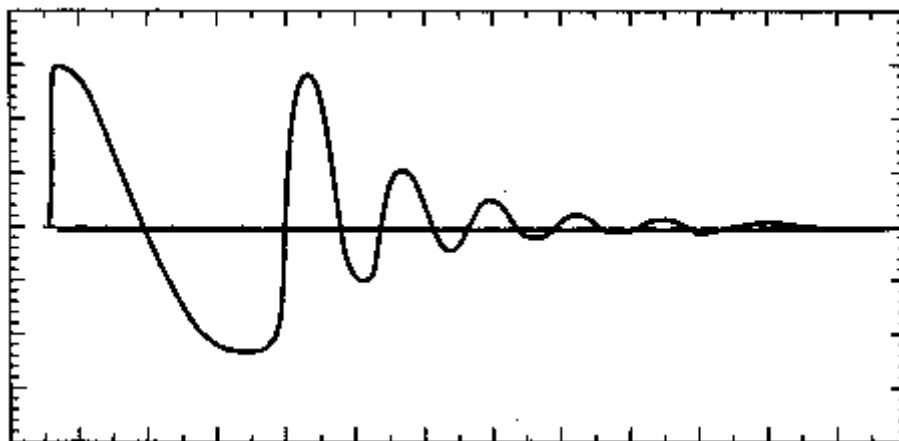
Toistoaaltoestuksessa käämitykseen lähetetään nopea jännitepulssi, jonka heijastuminen ja vaimeneminen mitataan sekä kuvataan toistoaaltoestuslaitteen näytöllä. Vaihekäämien virheetömyys todetaan aina vertaamalla eri vaiheiden koestustuloksia toisiinsa. Yleisimmät mittauslaitteet koestavat kahta vaihetta

samanaikaisesti. Jotkut laitteet koestavat yhden vaiheen kerralla. Tällöin eri vaiheiden heijastuskäyrät talletetaan koestuslaitteeseen ja käyriä verrataan lopuksi toisiinsa. Vaihekäämien virheettömyys todetaan vertaamalla eri vaiheiden heijastuskäyriä toisiinsa. Kun eri vaihekäämien heijastuskäyrät ovat täysin samanlaiset, on käämitys ehjä, kuten esimerkiksi kuvion 8 käyrästä on nähtävissä. Koestusjännite nostetaan tasaisella nopeudella nolasta 3000 volttiin niin, että heijastuskäyrän ensimmäinen huippu osoittaa mitattavaa jännitettä. (ABB 2005)



KUVIO 8. Toistokoestuslaitteen näyttö (ABB 2005)

**Maasulku** on yhden tai useamman vaiheen metallijohtimella saatu yhteys maan kanssa. Maasulussa tyypillisesti kuparilangan emali sekä uraeriste ovat rikki samasta kohtaa. Vika voi olla myös liitäntäkaapelin tai päittäisliittimen ja moottorin rautaosien välisessä eristyksessä. (ABB 2005)



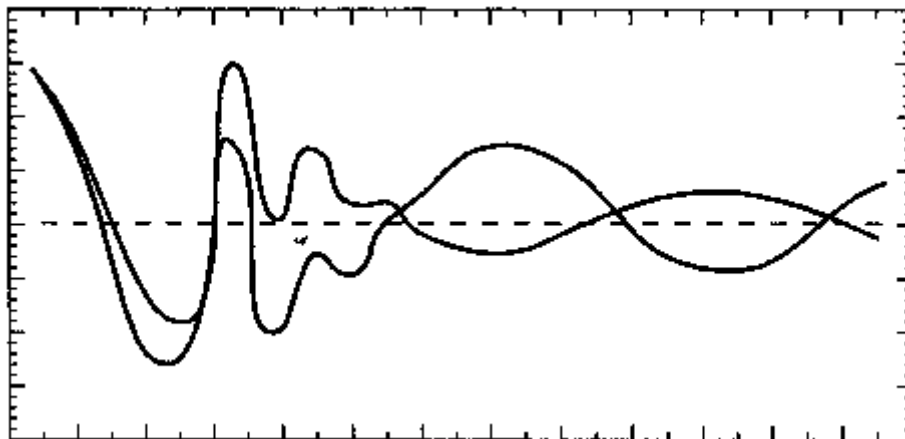
KUVIO 9. Esimerkki maasulkukäyrästä (ABB 2005)

Yleensä maasulkuvaiheen käyrä on suora tai lähes suora. Kuviossa 9 näkyy myös

ehjän vaihekäämin heijastuskäyrä. Maasulkutapauksissa maasulkuvaiheen käyrä ei ole välttämättä täysin suora. Käyrän muoto vaihtelee vian suuruuden mukaan. (ABB 2005)

Maasulku löytyy yleensä sellaisesta paikasta, ettei sitä voida korjata. Tällaisia paikkoja ovat staattorin urat, joista eriste on voinut pettää usean eri syyn takia. Näissä tapauksissa joudutaan tilaamaan uusi staattori. Maasulku voidaan korjata joissakin tapauksissa, jos vuotava kohta on sellaisessa paikassa staattoria, että siihen on mahdollista päästä kunnolla käsiksi. Tällöin vuotava kohta eristetään eriste- ja lankavauriotyöohjeen FIMOT0305 mukaisesti. Ohje on tarkoitettu hartsaamattomien staattoripakettien virheiden korjaamiseksi. Hartsattujen staattoripakettien korjaaminen on aina kyseenalaista, sillä hartsauksen on tarkoitus suojata ja vahvistaa eristettä. Korjauksen saa suorittaa vain komponenttitehtaan laatuinsinöörin valvonnassa ja kyseinen korjaustoimenpide on dokumentoitava.

**Vaihesulussa** kaksi eri vaihdetta on yhteydessä toisiinsa. Tällöin kahden eri vaiheen välinen eristys on rikki. Toisin sanoen kuparilangan emalissa sekä vaihevälieristeessä on vaurio. (ABB 2005)

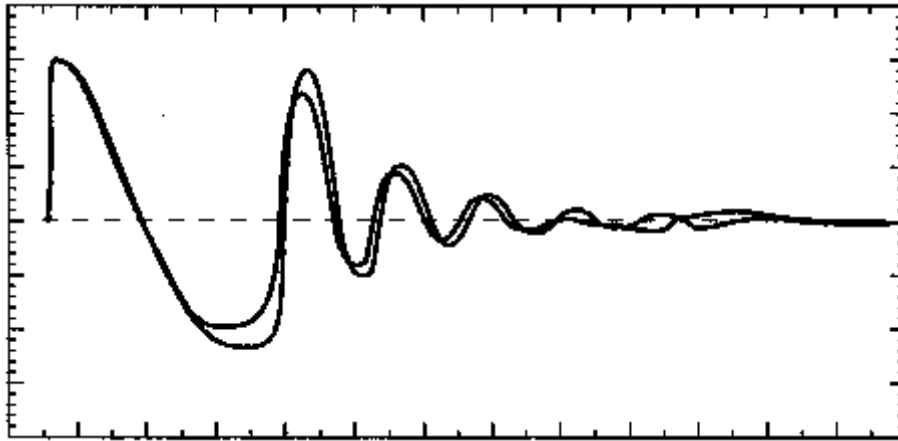


KUVIO 10. Esimerkki vaihesulkukäyrästä (ABB 2005)

Kuviossa 10 nähdään molempien vaihesulussa olevien käämien heijastukset. Nämä poikkeavat täysin hyvän käämin heijastuskäyrästä, mikä on nähtävänä aiemmin esitetystä kuviossa 9. Vaihesulku aiheutuu yleensä välivaiheeneristeen

pettämisen seurauksena. Staattori on tällöin jo hartsattu, joten korjaustoimenpiteet ovat mahdottomat. Näin vaihesulun toteaminen aiheuttaa staattorinuudelleen tilauksen. (ABB 2005)

**Vyyhtisulussa** saman vaiheen kahden eri vyyhdin välillä tai yksittäisen vyyhdin eri kierrosten välillä eristys on rikki. Kyseessä on kuparilangan emalipinnan vaurio. Tämä vaurio on voinut syntyä jo langanvalmistajan tuotantoprosessissa tai jossain muussa käämintäprosessin vaiheessa, jossa lanka on saanut jonkinlaisen mekaanisen kosketuksen. (ABB 2005) Vyyhtisulun käyrät on nähtävillä kuviossa 11.



KUVIO 11. Esimerkki vyyhtisulkukäyrästä (ABB 2005)

Kun vaihekäämissä on kierrossulku, heijastuskäyrä poikkeaa ehjän käämin heijastuskäyrästä vain vähän. Mittauskäyrissä on pientä eroa amplitudissa ja vähän vaihesiirtoa. Vyyhtisulullisen vaihekäämin heijastuskäyrän amplitudissa on selvä ero ehjän käämin heijastuskäyrään. Heijastuskäyrän loppupäässä värähtelyssä on myös vaihesiirtoa. (ABB 2005)

Vyyhtisulku on huomattavasti harvinaisempi vika kuin maa- tai vaihesulku. Vyyhtisulku saadaan yleensä kiinni kääminnän toistoaltotestauksessa, jolloin voidaan vielä tehdä tarvittavia korjaustoimenpiteitä staattorille. Hartsauksen jälkeinen vyyhtisulku voi olla vaikeampi erottaa vaihesulusta, jos kääminpää on sulun yhteydessä palanut. Vyyhtisulusta voi kehittyä vaihesulku, jos sulku pääsee rikkomaan vaihevälieristeen.

## 4 SÄHKÖMOOTTORIN TUOTANTOPROSESSI

Tässä kappaleessa käydään läpi sähkömoottorin tuotantoon liittyviä asioita. Näitä ovat käytössä oleva tuotannonohjausjärjestelmä, jossa perehdytään tarkemmin tilaus-toimitusprosessiin sekä käytössä olevaan sisäiseen palautteeseen. Lisäksi selvitetään sähkömoottorin tuotantoprosessimalli.

### 4.1 Toiminnanohjausjärjestelmä

Toiminnanohjausjärjestelmän tarkoituksena on käytännössä toteuttaa halpa ja hyvälaatuinen tuote asiakkaalle. Sen kohteena ovat yrityksen perustoiminnot, kuten hankinta, varastointi, tuotanto, jakelu, myynti ja laskutus. Toiminnanohjausjärjestelmä helpottaa huomattavasti yhtenäisen ja oikeellisen tiedon jakamista välittömästi koko yrityksessä. Lisäksi sen tarkoituksena on hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti teollisen yrityksen resursseja: ihmisiä, koneita ja laitteita. Järjestelmän avulla voidaan hallinnoida systemaattisesti sellaisia tieto- ja tapahtumamääriä, joiden käsitteleminen käsin olisi käytännössä mahdotonta. (Lehtonen 2004, 128)

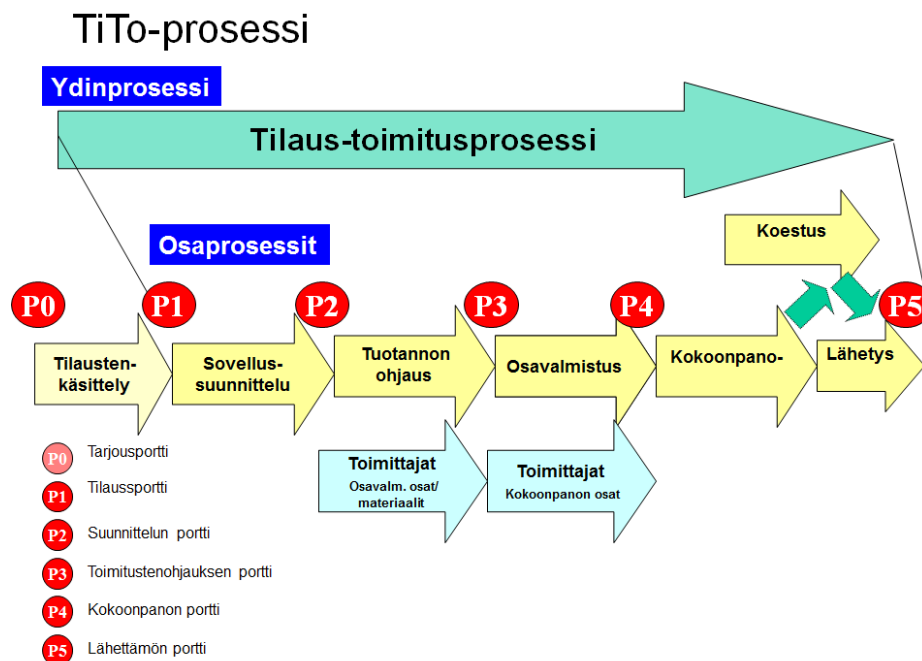
Tutkimuksen kohdeyrityksessä on käytössä tunnetun toiminnanohjausjärjestelmien toimittajan saksalainen SAP-järjestelmä. SAP on otettu käyttöön syyskuussa vuonna 2009 ja se on räätälöity yrityksen käyttöön.

#### 4.1.1 Tilaus-toimitusprosessi

Tilaus-toimitusprosessin tavoitteena on tuottaa asiakkaalle tuotetta, josta asiakas on valmis maksamaan. Ongelmana on usein prosessin kokonaisuuden vaikea hahmottaminen, yksittäiset työvaiheet tai se, että yksittäinen osasto ei voi lisäarvoa taata. Todellinen arvonlisäys asiakkaalle syntyy silloin, kun prosessi on hyvin suunniteltu ja toiminnot ovat linkittyneet toisiinsa. Tämän vuoksi on hyvin tärkeää miettiä missä prosessin vaiheissa arvonlisäys asiakkaalle syntyy ja siirtyy

lopputuotteeseen. Toinen tilaus-toimitusprosessin suuri haaste on sen vaihtelevuus. Täytyy pystyä reagoimaan kysynnän muutoksiin sekä mahdollisten toimittajien aiheuttamiin yllätyksiin. Myös yrityksen sisäiset poikkeustilanteet luovat haasteita tilaus-toimitusprosessin onnistuneelle ja tehokkaalle läpiviemiselle. Vaihtelevuutta pyritään yrityksissä yleisesti vaimentamaan puskureiden avulla, kuten varastoilla ja pitkillä toimitusajoilla. (Karrus 2001, 210–212)

Yrityksessä käytössä olevan tilaus-toimitusprosessin tavoitteena on toimittaa asiakkaan määrittelyjen mukainen, virheetön tuote ajallaan. Lisäarvoa asiakkaalle prosessi tuottaa joustavalla toiminnalla, kuten esimerkiksi tehokkaalla tilausmuutosten sekä kapasiteetin hallinnalla ja lyhyillä toimitusajoilla. (ABB 2006)



KUVIO 12. Tilaus-toimitusprosessi (ABB 2006)

Kuviossa 12 nähdään tilaus-toimitusprosessi, jossa osaprosessit on eriytetty keltaisella nuolella. Portit ovat merkityt punaisina ympyröinä. Näiden porttien tarkoituksena on varmistaa se, että voidaan siirtyä tilaus-toimitusketjussa seuraavaan vaiheeseen. Porttitarkastelu tehdään, koska halutaan varmistua siitä, että prosessin jatkumiselle ei ole käytännön esteitä.

Prosessin tavoitteena on toimittaa asiakkaan määrittelyjen mukainen, virheetön

tuote ajallaan. Lisäarvoa asiakkaalle prosessi tuottaa joustavalla toiminnalla (mm. tehokas tilausmuutosten hallinta ja kapasiteetin hallinta) ja lyhyillä toimitusajoilla. (ABB 2006)

Prosessin kriittisinä menestystekijöinä voidaan pitää seuraavia asioita. Osaprosessien toimintaa koko tilaus-toimitusprosessi huomioon ottaen sekä tietojärjestelmien toimivuutta sekä kykyä hyödyntää niitä tehokkaasti. Tässä kyseeseen tulee osaaminen. Lisäksi tärkeää on asiakastarpeiden ymmärtäminen ja tarpeiden huomioiminen. Tulee huolehtia valmistusprosessien ja -teknologian hyvästä hallinnasta. Lisäksi on huolehdittava toimittajaverkoston suorituskyvystä, johon kuuluvat laatu, tuottavuus sekä nopeus. (ABB 2006)

Asiakasohjautuvassa tuotannossa valmistuksen aloittaminen perustuu asiakkaan tilaukseen. Tällaisten tuotteiden konstruktio määrittää vasta tilausvaiheessa, joten tuotetta ei voida valmistaa varastoon. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Miettinen 2009, 354)

#### **4.1.2 Notifikaatio eli sisäinen palaute**

Tuotannossa laaduttomuustilanteesta tehdään tuotantolinjalta laatunotifikaatioilmoitus laatuinsinöörille. Notifikaatio on prosessin sisäinen palautejärjestelmä. Laatuinsinöörin tehtävänä on tutkia ilmoitettu notifikaatio välittömästi, jotta tarvittavat korjaustoimenpiteet saadaan käynnistettyä mahdollisimman nopeasti. Sisäisen palautteen antaminen avataan yleensä suoraan tuotannon työjonosta. Näitä sisäisiä palautteita tehdään kaikista mahdollisista poikkeamista tuotantolinjalla. Pitkän ajan kuluessa laatufunktiolle kertyy tietoa erilaisista laaduttomuustapauksista ja näitä tietoja voidaan hyödyntää kehitys- sekä parannusehdotuksia tehtäessä. (ABB 2014a; ABB 2013)



## 4.2 Tuotantoprosessi

Sähkömoottorin tuotantoprosessi jakautuu kahteen eri prosessiin: komponentinvalmistukseen sekä tuotannon kokoonpanoon. Komponenttipuolen osastot jakautuvat tuotantoprosessin mukaan urittamoon, runkokoneistukseen, staattoripaketin-, roottorin- sekä staattorinvalmistukseen. Kokoonpanossa tuotanto jakautuu runkokoon mukaan eri tuotantolinjoihin. Moottorit valmistetaan tuotantolinjoilla AL1, AL2 ja AL3. Kokoonpanolinjojen nimet ovat muuttuneet kuluneen vuoden aikana, joten AL1 on tutkimuksessa käytetty vanhalta nimeltään AL30 linja. AL2 on Falco-linja ja AL3 on yhdistettynä AL10 sekä AL15 linja. Kokoonpanolinjalla AL1 valmistetaan moottoreita runkokooltaan 280–315 mukaan. Linjalla AL2 valmistetaan taas runkokoolta 355–450 mukaan ja AL3 linjalla pienmoottoreita runkokooltaan 71–250.

### 4.2.1 Komponentin valmistus

Tuotantoprosessi alkaa komponenttien valmistuksella. Yrityksellä on oman komponentinvalmistuksen lisäksi myös ulkopuolisia alihankintaverkostoja. Omaan komponentin valmistusta on runkokoneistuksessa, staattori- ja roottorilevyjen urituksessa, staattorinpaketin- ja roottorinvalmistuksessa sekä staattorinvalmistuksessa.

Oma staattorinvalmistus tapahtuu käämintäosastolla, jossa valmistetaan runkokoon 280–450 staattoreita. Tällä hetkellä noin 95 % staattoreista ostetaan ulkopuolisilta käämitoimittajilta. Staattorin valmistus käydään tarkemmin läpi luvussa 3.2.

### 4.2.2 Kokoonpano

Sähkömoottorin kokoonpano jakautuu kuuteen eri tuotantovaiheeseen: runkoon puristukseen, liitäntään, kokoonpanoon, rutiinikoestukseen, maalaukseen sekä lopputäydennykseen. Kokoonpanoaika riippuu moottorin kokoluokasta, mutta normaali valmistusaika moottorille on noin kaksi päivää.

Kokoonpano alkaa runkoon puristamisesta. Staattori puristetaan pelkän voiman avulla runkoon. Staattori pysyy rungon sisällä siis pelkän kitkavoiman avulla. Tämän jälkeen siirrytään liitäntään, jossa staattorin kytkentäkaapelit liitetään rungon liitinalustoihin. Tarvittaessa saatetaan tehdä lisälaitetekeloiden asennuksia, jos asiakas on sellaisia tilannut.

Liitäntän jälkeen moottori menee kokoonpanoon, jossa staattoriaukkoon laitetaan roottori. Samalla asennetaan laakerit sekä kilvet. Roottorin akseli jää lepäämään laakereiden päälle. Roottorin ja staattorin väliin jää pieni ilmaväli. Kokoonpanon jälkeen moottori on sähköisesti toimiva ja menee rutiinikoestukseen. Rutiinikoestuksessa moottori testataan, jotta se on sähkösuunnittelijan asettamien tarkastusarvojen mukainen. Hyväksytysti koestettu moottori siirretään seuraavaksi maalaukseen, jossa se pintakäsitellään työkortin mukaisesti. Moottorit pohjamaalataan ennen pintavärin maalaamista.

Maalattu moottori menee lopputäydennykseen, jossa moottoriin asennetaan tuuletin, tuuletinsuoja, liitäntäosat, sekä moottorin arvokilpi. Arvokilpi on tärkeä moottorin tunniste, sillä siinä on moottorin sarjanumeromerkintä. Jokaisella moottorilla on oma yksilöllinen sarjanumeronsa. Lopputäydennys on yksi tärkeimmistä kokoonpanon työvaiheista, sillä sen aikana on viimeinen mahdollisuus vaikuttaa siihen, että asiakas saa juuri sellaisen moottorin kuin mitä on tilannut. Lopputäydennyksen jälkeen moottori toimitetaan lähettämöön, josta se toimitetaan keskusvarastoon asiakkaalle toimittamista varten.

## 5 LAATUTYÖKALUT

Seuraavassa luvussa käsitellään laatua. Ensin tutustutaan laatuun käsitteenä. Tämän jälkeen käydään läpi laatukustannuksia sekä esitellään tutkimustyössä käytettyjä laatutyökaluja.

Laadulla ymmärretään yleisesti asiakkaan tarpeiden täyttämistä yrityksen kannalta mahdollisimman tehokkaalla ja kannattavalla tavalla (Lecklin 2002, 18). Laadusta keskustellaan usein hyvin usein hyvin tunteellisesti eikä määrällisesti. Tämä johtuu yleensä siitä, ettei tunneta laadun määritelmää. Tuotteet voi olla valmistettu yhdenmukaisesti, mutta silti jokin tuote ei toimi tai se ei myy. Tällöin on epäonnistuttu laadun suunnittelussa. Jos tuote toimii ja se myy, mutta siihen syntyy vikoja valmistuksen aikana tai tulee paljon asiakasvalituksia, tällöin valmistuksen laatu on ollut huonoa. (Piirainen 2014, 80)

### 5.1 Laatu käsitteenä

Laatu on käsitteenä hyvin moniulotteinen, suhteellinen ja siksi vaikea hahmottaa. Siinä ei kuitenkaan ole mitään perinjuurin epäselvää, mystistä tai edes vaikeaa, kun pitää mielessään muutamia eri näkökulmia ja ymmärtää suhteellisuutta. Suhteellisuudella tarkoitetaan sitä, että laatu ilmaisee erilaisten vertailujen tuloksia: toteumaa, rakennetta suorituskykyyn ja tarvetta tyydytykseen. Mitä lähempänä ne ovat toisiaan, sitä parempi laatu. (Lillrank 1998, 19)

Mitä ei voi määritellä, ei voi myös mitata; mitä ei voi mitata ei voi johtaa. Johtaminen on tavoitteiden asettamista, keinojen kehittämistä ja sitten keinojen ja tavoitteiden välisen suhteen jatkuvaa seuranta. Ensimmäisenä on siis ymmärrettävä mikä on hyvä. Seuraavaksi on luotava mittari, joka osaa erottaa hyvän huonosta ja kertoa miten lähellä tavoitetta olen ja menenkö edes oikeaan suuntaan. Tämän pohjalta voi sitten miettiä ja testata menetelmiä ja toimenpiteitä. (Lillrank 1998, 19)

Hyvä laatu merkitsee tuotteiden virheettömyyttä ja alhaisia laatukustannuksia ja niiden seurauksena kustannustehokkuutta. Näin se vaikuttaa yrityksen katteeseen ja kannattavuuteen positiivisesti. (Lecklin 2002, 25)

## 5.2 Laatukustannukset

Laatukustannukset ovat huonosta laadusta tai laatutason varmistamisesta aiheutuneita kustannuksia. Laatukustannuksia käytetään hyväksi analysoitaessa yrityksen toiminnan laatuvirheiden ja laatuerojen kustannusvaikutuksia. Laatukustannusten kartoitus tehdään ennen laadun kehittämissuunnitelman aloittamista. Laadun kehittämisen vaikutuksia sekä laadunkehittämissuunnitelman kannattavuutta voidaan arvioida laatukustannusten avulla. Merkittävää on, että laatukustannukset eivät ota huomioon virheellisten tuotteiden aiheuttamia välillisiä kustannuksia. Tällaisia ovat asiakkaiden tyytymättömyys laatuun, mikä voi johtaa kauppojen menetyksiin sekä yrityksen ja sen tuote merkin maineen laskuun. (Haverila ym 2009, 375)

Laatukustannuksena nähdään ne kustannukset, jotka syntyvät yrityksen valmistuksessa tuotteiden vastaavan asiakkaiden vaatimuksia. Näitä kustannuksia on kahta päätyyppiä, joko laatua edistäviä kustannuksia tai huonosta laadusta johtuvia kustannuksia. Laatua edistäviä kustannuksia ovat laadun kehittämiseen tehdyt investoinnit, kuten laatujärjestelmän rakentaminen. Huonosta laadusta johtuvat kustannukset aiheutuvat siitä, että tehdään virheitä tai vääriä asioita. (Lecklin 2002, 175)

Laatukustannuksille ei ole määritelty mitään yleistä standardia, vaan jokaisen yrityksen on itse arvioitava oman yrityksensä laatukustannusten mitattavuus ja luotava oma tarkastelutapansa tähän. Laatukustannusten seuraaminen edellyttää yritykseltä uutta ajattelutapaa sekä kustannuslaskentaa. Tutkimuksissa on kuitenkin voitu osoittaa, että laatukustannukset ovat 15–30 % yrityksen liikevaihdosta. Periaatteessa yritys voi lisätä liikevaihtoa tai pienentää kustannuksia. Kustannusrakenteen pysyessä samanlaisena on liikevoiton kaksinkertaistamiseksi myös liikevaihto tuplattava. Useille yrityksille

markkinaosuuden kasvattaminen vaatisi panostuksia ja näin saattaisi muuttaa kustannusrakennetta epäedulliseen suuntaan. Yritykselle on huomattavasti helpompaa kehitystoimenpitein puolittaa laatukustannuksia, jolloin aikaan saadaan positiivinen tulosvaikutus. (Lecklin 2002, 175–176)

Laatukustannusten taloudellisen puolen lisäksi on hyvä muistaa, että näillä laadullisilla parannushankkeilla on myös positiivisia vaikutuksia asiakastyytyväisyyteen ja tätä kautta tuottoihin (Lillrank 1998, 182). On hyvin oletettavaa, että tyytyväinen asiakas ostaa uudestaan.

### **5.3 Laatutyökalut**

Laatutyökalut ovat tärkeä osa laadun kehittämisen kannalta. Tässä luvussa käydään läpi tutkimuksessa käytettyjä laatutyökaluja. Näitä ovat esimerkiksi tilastot, Pareto-analyysi, aivoriihi sekä syy-seurausdiagrammit. Lisäksi käydään läpi yrityksessä käytössä olevaan 4Q-juurisyyanalyysi, mikä on kohdeyrityksen käyttämä ongelmanratkaisumalli.

#### **5.3.1 Tilastoimistapa**

Tilastollinen tutkimus itsessään on empiiristä tutkimusta, jossa havaintoaineisto analysoidaan tilastollisia analyysimenetelmiä käyttäen. Tilastollisten menetelmien avulla voidaan tutkia otosten pohjalta saatujen tulosten tilastollista merkitsevyytensä ja tutkittavien ilmiöiden varianssien lähteitä sekä tehdä yleistyksiä otoksesta tutkimuskohteeseen. Tavoitteena on löytää tutkimuksen kohteena olevasta ilmiöstä säännönmukaisuuksia ja todentaa eri ilmiöiden välisiä suhteita. Tilastomenetelmien avulla voimme järjestää määrällisiä aineistoja ymmärrettävämpään ja selkeämpään muotoon. (Tähtinen, Laakkonen & Broberg 2011, 16)

Tilastollisen tutkimuksen kohteena on tietty kokonaisuus, joka on osa reaali maailmaa. Tutkimuksen kohde on nimeltään perusjoukko eli populaatio.

Joissakin tilanteissa populaation kaikkia yksiköitä ei ole mahdollista tutkia. Esimerkiksi tehtaan tuotantoa tutkittaessa voidaan mitata vain sellaisia yksilöitä, jotka on jo valmistettu, mutta populaatioon sisällytetään myös tulevaisuudessa valmistettavat yksiköt. Tällainen populaatio on hypoteettinen. (Laininen 2007, 7)

### **Tietojen laadunvarmistus**

Pystyäkseen hyödyntämään tietoa, on osattava arvioida sen laatua. Virheetöntä tietoa ei ole edes olemassa. Tilastokin on altis monenlaisille virheille ja harhaisuuksille. Pitkä tuotantoprosessi korjaa joitakin virheitä mutta saattaa samalla tuottaa uusia virheitä. Tutkimusasetelma ja menetelmiin liittyvät ratkaisut vaikuttavat siihen, kuinka oikean kuvan tiedot antavat tarkastelun kohteesta. Myös liikaa yksinkertaistava havainnollistaminen saattaa antaa harhaanjohtavan kuvan asioista. (Simpura & Melkas 2013, 103)

### **Tilastonkäyttäjän muistiluettelo**

Voidaan sanoa monien tilastojen ja niiden käyttöä koskien, että tilastojen lukemisen taito on tervejärkistä varovaisuutta. Esimerkiksi amerikkalainen sosiologi ja numerotiedon kriitikko Joel Best on esittänyt neljän kohdan luettelon, jota jokaisen tilastonkäyttäjän on hyvä pitää mielessä. Ensimmäiseksi tilastot ovat aina jonkun henkilön tai tahon tuottamia. Toiseksi tilastolukuina voidaan esittää myös huonosti perusteluja tietoja. Kolmantena kohtana julkisissa keskusteluissa tilastolukuja voidaan tulkita tai jopa vääristellä. Viimeisenä neljäntenä kohtana tilastolukujen vertailussa on monenlaisia virhetulkinnan mahdollisuuksia. (Simpura & Melkas 2013, 19)

Tilastojen lukemisessa esiintyy monenlaisia ongelmia. Usein käsitteitä ei ymmärretä oikein tai ne ymmärretään väärin. Tilastossa esitettyä perusjoukkoa ei määritellä riittävän tarkoin tai aineistojen harhaisuuksia ei oteta huomioon riittävän tarkasti. Lisäksi voidaan tarkkailla satunnaisvaihtelua tai annetaan tilastografiikan johtaa harhaan. Tilastojen todennäköisyyksiä ei osata verrata tai tulkitsijalla saattaa olla ongelmia prosenttilaskuissa ja niiden tulkinnoissa. (Simpura & Melkas 2013, 21)

### 5.3.2 Pareto-analyysi

Italialainen monitieteilijä Vinfredo Pareto ryhtyi vuonna 1897 tutkimaan vaurauden ja tulojen hahmoja 1800-luvun Englannissa. Tuolloin oli Marxin aika ja vaurauden jakautumisen ongelma oli ajankohtainen. Pareto totesi tutkimuksessaan, että Englannissa vaurauden jakauma oli epäoikeudenmukainen, sillä suurin osa siitä oli kansan vähemmistöllä. Kun hän laski tarkat suhteet, hän huomasi, että 20 prosenttia väestöstä omistaa 80 prosenttia vauraudesta. Hän oivalsi, että vaurauden ja väestöjen hahmoissa on ennustettava matemaattinen suhde. Tuo Pareton epäoikeudenmukaisuuden jakautumisen teoria tunnetaan nykyään 80/20-sääntönä. (Anderson 2006, 141)

Laatuongelmat ilmenevät hävikkinä. On erittäin tärkeää selvittää hävikin jakaumamalli. Suurin osa hävikistä johtuu vain muutamasta virhetyypistä ja näiden virhetyyppien voidaan katsoa aiheutuvan vain muutamasta syystä. (Kume 1985, 21)

#### Pareto-diagrammit

Seurauksiin kohdistuvat Pareto-diagrammit koskevat ei-toivottuja tuloksia ja niitä käytetään etsittäessä vakavia ongelmia, kuten virheettömyyttä, kustannuksia, toimitusta sekä turvallisuutta. Esimerkkeinä virheettömyydestä voidaan pitää viallisia tuotteita, virheitä, laiminlyöntejä sekä korjauksia. Kustannuksen osalta näitä vakavia virheitä ovat hävikin suuruus sekä kulut. Toimitusten osalta esimerkkeinä virheistä ovat varaston puutteet, maksujen sekä toimitusten viivästyminen. Turvallisuuden osalta kysymykseen tulevat onnettomuudet, erehdykset sekä konerikot. (Kume 1985, 25)

Syihin kohdistuvat Pareto-diagrammit koskettavat prosessissa olevia syitä ja sitä käytetään etsittäessä vakavaa ongelman aiheuttajaa. Näitä ongelman aiheuttajia voivat olla koneenkäyttäjä, kone, raaka-aine sekä käyttömenetelmät. Koneenkäyttäjän osalta ongelman aiheuttaja voi olla esimerkiksi ikä, kokemus, taito tai työvuoro. Koneiden osalta taas kyse voi olla koneen varustuksesta, työkaluista, organisaatioista, malleista tai välineistä. Raaka-aineen kohdalta kysymykseen tulee valmistaja, tehdas, erä tai laji. Käyttömenetelmien osalta

huomioitavia asioita ovat olosuhteet, määräykset, järjestelyt sekä menetelmät. (Kume 1985, 25)

### **Pareto-kuvaajan tekeminen ja tulkitseminen**

Pareto-kuvaajan tekeminen käsin etenee yhdeksänvaiheisen ohjeistuksen mukaan. Vaiheessa yksi määritetään, mitä ongelmia tutkitaan ja kuinka tutkimustiedot kerätään. Tämän vuoksi on ensin päätettävä millaisia ongelmia halutaan tutkia. Näitä voivat olla esimerkiksi vialliset tuotteet tai rahallinen menetys. Seuraavaksi on päätettävä mitä tietoja tarvitaan ja miten ne luokitellaan, esimerkiksi virheen tyyppin, sijainnin, menetelmän mukaan. Epäsäännöllisesti esiintyvät yksityiskohdat viedään sarakkeet Muut alle. Lopulta määritellään tietojen keräämismenetelmä sekä ajanjakso, jolloin tiedot kerätään.

Seuraavassa vaiheessa suunnitellaan tiedonkeräyslomake tekemällä luettelo tarvittavista yksityiskohdista ja jätetään tilaa arvojen yhteismäärien merkitsemiselle. Kolmannessa vaiheessa täytetään tiedonkeräyslomake ja lasketaan kokonaismäärät. Neljännessä vaiheessa laaditaan Pareto-diagrammin yhteenvetolomake, jossa luetellaan tutkittavat yksityiskohdat, niiden esiintymismäärät, kumulatiiviset summat, prosenttiosuudet kokonaismäärästä sekä kumulatiiviset prosenttiosuudet.

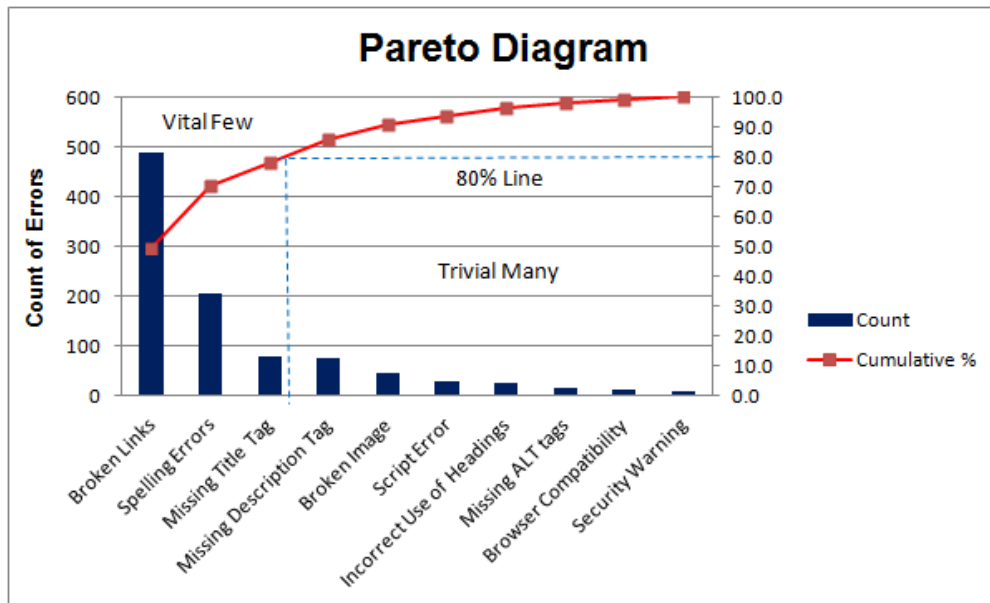
Vaiheessa viisi järjestetään virhetyypit esiintymislukumäärän mukaan järjestykseen ja täytetään yhteenvetolomake. Virhetyyppi Muut sijoitetaan viimeiselle riville riippumatta siitä, miten suuri se on.

Vaiheessa kuusi piirretään pysty- ja vaaka-akseli. Vasemmalle puolelle pystyakselille merkitään asteikko nollasta kaikkien virheiden esiintymislukumäärien yhteissummaan ja oikeanpuoleisen pystyakselin asteikoksi merkitään 0...100 %. Vaaka-akseli jaetaan osiin siten, että jokainen osa vastaa yhtä virhetyyppeä.

Vaiheessa seitsemän laaditaan pylväsdiagrammi. Seuraavassa vaiheessa piirretään kumulatiivinen käyvä (Pareto-käyrä). Merkitään kumulatiiviset arvot (kumulatiivinen summa tai prosenttiosuus) jokaisen virhetyypin alueen oikeanpuoleiseen reunaan pisteellä ja yhdistä pisteet jatkuvalla viivalla.



Viimeisessä eli vaiheessa yhdeksän kirjoitetaan kaikki tarvittavat yksityiskohdat diagrammiin. Tällaisia ovat diagrammia koskevat asiat: nimitys, merkitsevät määrät, yksiköt sekä tarvittaessa piirtäjän nimi. Lisäksi diagrammiin lisätään kerättyjä tietoja koskevat asiat: aikajakso, tutkimuksen paikka ja aihe, tietojen kokonaismäärä. (Kume 1985, 21–23)



KUVIO 13. Pareto-diagrammi (Haughey 2014)

Kuviossa 13 näemme esimerkin valmiista Pareto-diagrammista. Tässä kuvaajassa lasketut virheet (Count of Errors) näkyvät tummansinisinä pylväinä X-akselilla. Vasemman puoleinen Y-akseli ilmoittaa tutkinnassa ilmenneiden virheiden kokonaismäärän ja oikean puoleinen Y-akseli kertoo kumulatiivisen virheprosentin. Punaisella viivalla ilmoitetaan kyseessä olevan virheen kumulatiivisen virheprosenttimäärä koko tutkimusaineistosta. Vasemmanpuoleisesta Y-akselista 80 prosentin kohdalta vedetyn vaakasuoran sinisen katkoviivan leikkauskohta punaisessa viivassa on tärkeä kohta. Tässä kohdassa X-akselin vasemmanpuoleiset virhesyyt ovat tärkeämpiä syitä kuin katkoviivan oikealle puolelle jääneet syyt. Näihin vasemmanpuoleisiin syihin tulisi kohdistaa parannusehdotukset.

Pareto-kuvaajan laadinnassa kannattaa tarkistaa eri luokitustavat ja suunnitella

erilaisia diagrammeja. On helpompi ymmärtää ongelman ydintä tutkimalla sitä eri näkökannoilta. Erilaisten luokitusmenetelmien kokeilu on välttämätöntä, jotta voi tunnistaa ne harvat, mutta merkitykselliset seikat tutkimuksen kannalta. (Kume 1985, 25)

Tutkimuksen kannalta ryhmä 'Muut' ei saa nousta prosenttiosuudeltaan suurimmaksi. Jos näin käy, tutkittavien asioiden luokittelu on epäonnistunut. Tällaisissa tapauksissa pitäisi harkita erilaista luokittelumenetelmää. (Kume 1985, 26)

Rahallisia arvoja katsottaessa kuvaajasta on parasta piirtää Pareto-kuvaaja siten, että rahamäärät ovat pystyakselilla. Mikäli ongelman rahallista merkitystä ei korosteta riittävästi, tutkimus saattaa jäädä tehottomaksi. Kustannukset ovat tärkeä mittausasteikko yritysjohton kannalta. (Kume 1985, 26)

### **5.3.3 Aivoriihi**

Aivoriihi on suomenkielinen vastike brainstormingille, joka on yksi luovassa ongelmanratkaisussa käytettävä tekniikka. Aivoriihi-tekniikan luoja voidaan kiistatta pitää Alex Osbornia, jonka useat teokset ovat voimakkaasti vaikuttaneet luovan ongelmanratkaisun menetelmien yleistymiseen ja niiden vaatimien ajattelun periaatteiden sekä tekniikoiden menestymiseen. Tämä menetelmä on selvimminkin ollut edustettuna teollisuudessa ja liike-elämässä. Tällä tekniikalla voidaan tuottaa ideoita hyvin erilaisista aiheista. (Heikkilä 1981, 111)

Muutokseen ja uusien näkökulmien löytämiseen pyrkivän luovuuden edellytys on jatkuva tiedon halu, jota tässä voidaan kutsua myös uteliaisuudeksi. Ilman vahvaa sisäistä motivaatiota ja intohimoista tiedonhalua ei yleensä voida tuottaa uusia merkittäviä oivalluksia. Jotta tilanteessa voisi kehittyä luovaa prosessia, on uskallettava kohdata sellaistaakin informaatiota, joka on meille täysin uutta ja hämmentävää. On hyväksyttävä sellainen psyykinen pelottomuuden tila, joka tarjoaa mahdollisuuden kohdata tuntematonta. Jokainen näin syntynyt prosessi on luova oppimistilanne, vaikka se synnyttäisi negatiivisia epäonnistumisen tunteita.

Luovaan oppimiseen kuuluu aina myös virheistä oppiminen. (Heikkilä 2010, 35)

### **Esivaihe**

Esivaiheen aikana ongelma valmistellaan käsiteltävään kuntoon asianomaisten kanssa. Aivoriihityöskentelyn onnistumisen kannalta on erittäin tärkeää, että ongelman määrittelyssä ollaan erittäin kriittisiä. Määrittelyn tulee olla yksiselitteinen ja mahdollisuuksien mukaan tavoitesisältöinen. (Heikkilä 1981, 113–114)

Aivoriihityöskentelyn onnistumisen kannalta tärkeää on se, että ryhmään valitaan oikeanlaiset henkilöt. Ryhmään valittavien henkilöiden valinnassa tulisi kiinnittää huomiota seuraaviin tekijöihin: kokemus, taustatiedot, persoonallisuus, virkaikä, asiantuntemus sekä ryhmän kokoon. Ratkaistavan ongelman mukaan voidaan koota tarkoituksenmukainen ryhmä, joka voi tuoda oman kokemuksensa ja asiantuntemuksensa koko ryhmän käytettäväksi. (Heikkilä 1981, 124)

Näin ollen voidaan sanoa, että aivoriihityöskentelyä voidaan tehostaa onnistuneilla henkilövalinnoilla. Aivoriiheen osallistuu ryhmänjohtajan lisäksi tarvittava määrä ryhmän jäseniä. Ihanteellinen ryhmänkoko on 8-12 henkilöä. (Marsh 1995, 15)

### **Lämmittelyvaihe**

Itse aivoriihityöskentelyyn pitää varata runsaasti aikaa, sillä pelkästään lämmittelyvaiheeseen voidaan käyttää jopa 1,5 tuntia. Tämän vaiheen lopussa saatetaan joskus määritellä vielä ongelmat uudelleen. Pääsääntönä kuitenkin pidetään sitä, että etukäteen hyvin määriteltyjen ongelmien ratkaisumahdollisuudet kasvavat, jos lämmittelyistuntoa voidaan käyttää muuhun kuin ongelman määrittelyyn. Tämän vaiheen tarkoituksena on luoda ryhmän jäseniin valmiudet vapautua ennakkoluuloista ja ryhmän toimintaa hajottavista kiinnostuksen kohteista. (Heikkilä 1981, 117)

Lämmittelyvaiheessa ryhmänjohtaja esittää ryhmälle toimintaohjeet sekä aikataulutuksen. Nämä ohjeistukset voidaan jättää ryhmän nähtäväksi työskentelyn ajaksi.

### **Aivoriihityöskentely**

Aivoriihityöskentelyn säännöt Osbornin mukaan englanniksi ovat: Postpone Judgment, Freewheel, Hitch Hike & Quantily Breeds Quantity. Vapaasti suomennettuna: älä arvostele tuotettuja ideoita, vapaudu ja anna ideoiden tulla omalla painollaan, kuuntele muita ja kehittele edelleen toisten esittämiä ideoita sekä mitä enemmän ideoita tuotetaan, sitä enemmän niissä on hyviä ideoita. (Heikkilä 1981, 119)

Esitettyihin ideoihin ei tässä vaiheessa saa kohdistaa hylkääviä arviointeja. Istunnon tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman paljon ideoita ja tämä on mahdollista vain silloin, kun ryhmänjäsenet tuntevat olonsa turvalliseksi ideoita tuettaessaan. Kriittisyydellä estetään sekä oma että muiden ryhmänjäsenten vapaa ideointi. Arvostelusta pidättäytyminen luo istuntoon joustavuuden ilmapiiriin. Näin voidaan hyväksyä jokainen jäsen persoonana ilman, että hän tuottaa määrärahdot täyttäviä ideoita. Tätä voidaan kutsua eräänlaiseksi persoonan kunnioittamiseksi, jolloin jokainen hyväksytään työskentelemään omien mahdollisuuksiensa mukaan. (Heikkilä 1981, 120)

### **Työskentelyn tulokset sekä jatkotoimenpiteet**

Aivoriihityöskentelyn tulokset saattavat olla joskus hyvin hajanaisia. Aina työskentelyllä ei saada tuotettua selkeää lopullista ratkaisua ongelmaan. Työskentelyn tuloksena saatetaan tuottaa aineksia erilaisiin suunnitelmiin, kuten esimerkiksi koulutusohjelmaan. Lisäksi voidaan saada aikaiseksi asialuetteloita tai työlistoja, joita voidaan viedä organisaatiossa eteenpäin. Istunnoissa saatetaan myös tuottaa uusia lähestymistapoja myöhempiä ongelmanratkaisutilanteita varten. Näin on yleensä asianlaita esim. teknologia-alaan liittyvissä monitahoisissa ongelmissa. Läheskään aina ei pidä heti odottaa lopullisia ratkaisuja. (Heikkinen 1981, 134)

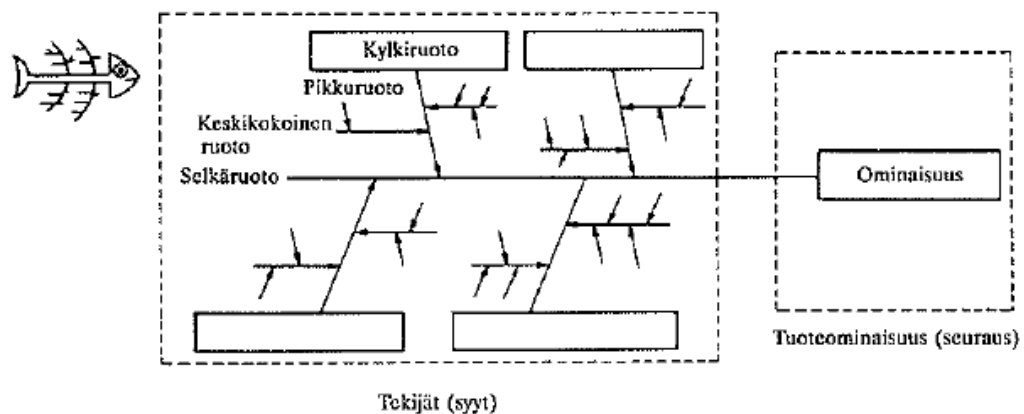
### 5.3.4 Syy-seurausdiagrammit

Prosessin saannon tai tuloksen voidaan katsoa johtuvan suuresta joukosta tekijöitä ja syy-seuraussuhde voidaan löytää niiden tekijöiden joukosta. Voimme määrittää syy-seuraussuhteen rakenteen tutkimalla prosessia systemaattisesti. On vaikea ratkaista monimutkaisia ongelmia tarkastelematta rakennetta, joka muodostuu syiden ja seurausten ketjusta. Syy-seurausdiagrammi on menetelmä asian ilmaisemiseksi yksinkertaisesti ja helposti. (Kume 1985, 28)

Vuonna 1953 professori Kaoru Ishikawa teki yhteenvedon erään tehtaan insinöörien mielipiteistä syy-seurausdiagrammina, kun insinöörit keskustelivat laatuongelmista. Tämän on sanottu olleen ensimmäinen kerta, kun käytettiin tätä lähestymistapaa. Aiemmin professori Ishikawan henkilökunta oli käyttänyt menetelmää järjestäessään asioita tutkimustoimissaan. Käytännössä diagrammi osoittautui hyvin käyttökelpoiseksi ja sitä alettiin käyttää laajalti japanilaisissa yrityksissä. Se sisällytettiin JIS:n (Japanese Industrial Standards) laadunohjausterminologiaan seuraavasti: Syy-seurausdiagrammi: diagrammi, joka osoittaa laatuominaisuuksien ja -tekijöiden välisen suhteen. (Kume 1985, 28)

#### Kalanruotokaavio

Syy-seurausdiagrammia kutsutaan myös kalanruotokuviksi, koska se näyttää kalanruodolta, kuten kuviosta 14 käy ilmi. (Kume 1985, 29)



KUVIO 14. Kalanruotokuvion rakenne (Kume 1985)

Ruotojen nimien valitseminen on tärkeä vaihe. Tuotantoympäristössä on käytetty yleisesti seuraavia nimityksiä: ihmiset, koneet, mittarit, ympäristö, työtavat ja materiaalit. Se on hyvin visuaalinen tapa esittää ja ryhmitellä asioita. Havainnointia helpottaa se, että jokainen ryhmä esitetään omalla ruodolla. Tämän vuoksi se on hyvä apuväline ongelmanratkaisussa. (Marsh 1995, 90)

### **Kalanruotokaavion laatiminen**

Ensimmäisenä määritellään laatuominaisuudet, minkä jälkeen valitaan yksi laatuominaisuus, joka merkitään paperiarkin oikeaan reunaan. Piirretään kalanruodon selkäranka vasemmalta oikealle ja suorakaide laatuominaisuuksien ympärille. Merkitään seuraavaksi ensisijaiset laatuominaisuuteen vaikuttavat syyt pääruotojen kärkiin suorakaiteiden sisälle.

Merkitään toissijaiset syyt, jotka vaikuttavat pääruotoihin ja keskikokoisten ruotojen kärkiin. Tämän jälkeen kirjoitetaan näihin vaikuttavat syyt pikkuruotoina. Tässä kohdassa kirjataan kaikki tarvittavat tiedot. (Kume 1985, 31)

On tärkeää tunnistaa kaikki asiaan vaikuttavat tekijät tutkimalla sekä keskustelemalla asiasta useiden henkilöiden kanssa. Laatuominaisuus tulee kuvata mahdollisimman konkreettisesti. On hyvä laatia yhtä monta syy-seurausdiagrammia kuin laatuominaisuksiakin on. Saman tuotteen painossa ja pituudessa esiintyvillä virheillä on erilainen syy-seurausrakenne ja nämä olisi analysoitava erillisillä diagrammeilla. Yritettäessä ahtaa kaikki asiat yhteen diagrammiin saadaan tulokseksi hyvin vaikeaselkoisen laaja ja monimutkainen kaavio, joka tekee ongelman ratkaisemisen hyvin vaikeaksi. (Kume 1985, 33)

On valittava mitattavissa olevia ominaisuuksia ja tekijöitä. Kun kalanruoto on valmiiksi täytetty, on tärkeää, että syy-seuraussuhteen voimakkuus nähdään objektiivisesti kirjattujen tietojen perusteella. (Kume 1985, 34)

### 5.3.5 4Q

Prosessien kehittäminen ja jatkuva parantaminen syntyvät onnistuneista ongelmanratkaisuksista. Yrityksellä on käytössä tarpeisiin räätälöity 4Q Basic -analysointityökalu, joka auttaa tunnistamaan, priorisoimaan ja viemään läpi jatkuvan parantamisen kehitysprojekteja ja näin saadaan hyvät lähtökohdat prosessien kehittämiseen. Tähän 4Q Basic -analysointityökalun käyttämiseen on mahdollista kouluttautua yrityksen Laatujohtamispalveluyksikön QMS kautta. Tämän kaksipäiväisen koulutuksen käytyään sekä 4Q-projektin läpi vietyään kyseinen henkilö saa 4Q Basic -sertifikaatin. (ABB intranet 2014)

4Q on yrityksen tietopohjainen ongelmanratkaisuprosessi. 4Q tarkoittaa neljää neljänestä: "Mittaa, analysoi, kehitä ja vakiinnuta." Yritys käyttää 4Q-menetelmää erilaisissa parantamisprojekteissaan. Tämä jatkuvan parantamisen menetelmä on kehitetty, koska ongelmia ei ratkaista pikaisesti. Ongelmanratkaisu ilman järjestelmällistä menetelmää ei ole tehokasta. Käytetty kehitysjärjestelmä sisältää aina toistuvat mallit, joita on helppo käyttää. 4Q projekteissa käytetään kuvion 15 mukaista seurantalomaketta. (ABB intranet 2015)

<b>Q1 - Mittaa</b>	<b>Q2 - Analysoi</b>
Määritä mahdollisuus. Tutki ymmärtääksesi nykytila perinpohjin.	Tunnista ja varmista ongelman juurisyyt.
<b>Q4 - Vakiinnuta</b>	<b>Q3 - Kehitä</b>
Vakiinnuta parannukset standardoimalla työmenetelmät tai prosessit.	Kehitä, testaa ja ota käyttöön ratkaisuja, jotka poistavat juurisyyt.

KUVIO 15. 4Q seurantalomake (ABB intranet 2015)

4Q-menetelmässä edetään askel kerrallaan. Seuraavaan vaiheeseen ei voi ryhtyä ennen kuin edellinen vaihe on kokonaan käyty läpi ja määriykset tehty. Ensimmäisessä Q1-vaiheessa eli mittausvaiheessa tavoitteena on tunnistaa ja käyttää niitä prosessimittareita, jotka edestävät ongelmatilanteen tunnistamista.

Seuraavassa Q2-vaiheessa eli analyysivaiheessa tavoitteena on tunnistaa ongelman todelliset juurisyyt. Jatkuvasti toistuva ongelma voidaan poistaa ainoastaan eliminoimalla juurisyyn aiheuttajan. Huolellinen juurisyiden analysointi on avaintekijä tämän projektin onnistumiselle.

Kolmannessa Q3-vaiheessa eli kehitysvaiheessa tavoitteena on luoda ja toteuttaa toimenpideluettelo, jonka avulla juurisyyt voidaan eliminoida. Nämä tulokset täytyy ensin testata. Testauksen jälkeen päätetään ovatko tulokset riittävän hyvät, jotta seuraavaan vaiheeseen voidaan siirtyä ja tehdä muutoksista pysyviä. Jos testitulokset eivät ole asetettujen tavoitteiden suuntaisia, on tarvittaessa palattava takaisin Q2-vaiheeseen selvittämään juurisyyt paremmin.

Neljännessä Q4-vaiheessa eli vakiinnuttamisvaiheessa tavoitteena on muuttaa prosessi Q3-vaiheessa testatun ratkaisun mukaiseksi. Saavutetut hyödyt säilyvät, kun ihmiset työskentelevät uuden prosessin mukaisesti. Tämä vaihe voi olla kaikkein haasteellisin. Lisäksi toiminnan muutos saattaa aiheuttaa sen, että on asetettavat uudet mittarit Q1-vaiheeseen, jotta voidaan varmistua siitä, että muutos on pysyvä. Tässä vaiheessa jatkuvan parantamisen kehitysympyrä sulkeutuu, mutta mittarointia jatketaan mahdollisten uusien ongelmien havaitsemiseksi. Tämän viimeisen vaiheen asianmukainen toteuttaminen on tärkeää, jotta parannukset jäisivät organisaatioon pysyvästi. (ABB intranet 2015)

Näissä eri vaiheissa käytetään hyväksi yleisesti tiedossa olevia laadunparantamistyökaluja. Näitä ovat Pareto-analyysi, erilaiset syy-seurausanalyysien käyttäminen, kuten kalanruotokaavio, 5 x miksi, Lean, aivoriihi sekä 5S. Laadunparantamistyökaluja käytetään sen mukaan, mitkä ovat parhaita kyseiseen kehittämissprosessiin. Työkalujen käyttämiseen on mahdollista saada apua 4Q-sertifioiduilta kouluttajilta. (ABB intranet 2015)



Tiivistettynä voidaan sanoa, että 4Q-ongelmanratkaisumenetelmä on käytännönläheinen ja järjestelmällinen prosessi, joka auttaa tunnistamaan ja ratkaisemaan ongelmien perimmäiset syyt ja parantamaan toiminnan laatua.

## 6 ABB OY MOTORS & GENERATORS VAASA

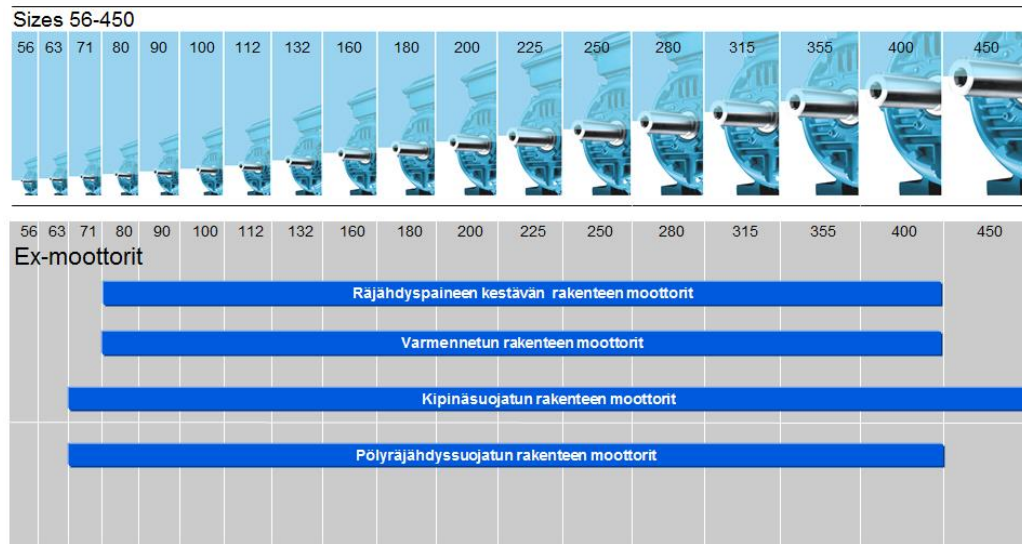
ABB on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissä. ABB:n palveluksessa on noin 145 000 henkilöä, joista Suomessa työskentelee noin 5400. Yrityksen osakkeilla käydään kauppaa Zürichin, Tukholman ja New Yorkin pörseissä. Vuonna 2013 tämän globaalin yrityksen liikevaihto oli 42 miljardia USD. ABB muodostettiin 1988 sulauttamalla yhteen ruotsalaisen Asean ja sveitsiläisen Brown Boverin sähkötekniset liiketoiminnot. ABB:n liiketoiminta koostuu viidestä divisioonasta, jotka puolestaan jakautuvat asiakassegmenttien ja teollisuudenalojen mukaan. Motors & Generations kuuluu Discrete Automation and Motion divisioonaan. (ABB Oy 2014)

Vaasan tehtaiden juuret ovat Gottfrid Strömbergin Helsinkiin vuonna 1889 perustamassa sähköliikkeessä. Toisen maailmansodan aikana valtioneuvosto katsoi, että Strömbergin sähkökonepajatehdas on kansallisesti tärkeä toimija ja sitä on suojeltava mahdolliselta pommitusuhalta. Näin toinen toimipaikka löytyi Vaasasta, jossa on valmistettu sähkömoottoreita vuodesta 1944 alkaen. Sodan jälkeen Strömberg osallistui myös Suomen sotakorvauksien maksuun muuntaja-, moottori-, generaattori- sekä konetoimituksiin.



KUVIO 16. Tehtaat ja keskusvarastot ABB Motors & Generators (ABB 2009)

ABB Motors & Generatorsilla on useassa maassa tehtaita ja keskusvarastoja. Suomen lisäksi tehtaita löytyy Ruotsista, Virosta, Puolasta, Intiasta, Kiinasta, Brasiliasta ja Etelä-Afrikasta. Keskusvarastot sijaitsevat Ruotsissa, Saksassa, Kiinassa ja Singaporessa. Kuviossa 16 on nähtävillä tummansinisillä merkittynä yrityksen tehtaat maanlaajuisesti sekä vaaleansinisellä värillä merkittynä keskusvarastojen sijainnit. (ABB 2009)



KUVIO 17. Valmistettavat Ex-moottorit akselikorkeuksittain (ABB 2009)

Kuviossa 17 esitetään ABB Motors & Generators Vaasassa valmistettavien sähkömoottoreiden kokoluokkia. ABB on edelläkävijä energiatehokkaiden moottoreiden kehittämisessä. Suomen ABB:n Motors and Generators -yksikkö panostaa vahvasti korkean hyötysuhteen moottoreiden ja generaattoreiden tutkimukseen ja tuotekehitykseen. Yksikkö kehittää ja valmistaa moottoreita ja generaattoreita kaikille teollisuudenaloille ja sovelluksiin maailmanlaajuisesti. Tehtaat sijaitsevat Helsingissä ja Vaasassa. Vaasassa valmistetaan akselikorkeudeltaan 71 – 450 kokoluokan moottoreita. Moottorit ovat 0,25 - 1000 kW tehoisia. (ABB Oy 2014)

Vuonna 2014 tehtaalla oli 550 työntekijää ja siellä valmistettiin 43 000 moottoria. On myös huomionarvoista, että Vaasan tehtailla on yrityksen globaali vastuu räjähdysvaarallisten tilojen pienjännitemoottoreista. (ABB Oy 2014)

## **7 TUTKIMUKSEN TEKEMINEN**

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

### **7.1 Tutkimusongelma**

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

### **7.2 Tutkimuksen rajaus**

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

## **7.3 Tutkimuksen suorittaminen**

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

### **7.3.1 Tilastojen luonti**

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

### **7.3.2 Pareto kuvaajan käyttäminen**

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.



### **7.3.3 Aivoriihityöskentely**

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.



Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

## **7.4 Tutkimuksen pätevyys ja luotettavuus**

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

## **7.5 Tutkimustulosten yhteenveto**

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

### **7.5.1 Maasulut**

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

## 7.5.2 Vaihesulut

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.



Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen pääongelmana oli tuotannossa sulussa olevien uudelleen tilattavien staattoreiden syiden kartoittamien. Tämän kartoituksen pohjalta haettiin ne juurisyyt, jotka aiheuttavat tuotannossa suluista johtuvia staattorin uudelleentilaustarpeita.

Tutkimuksessa löydettiin useita eri jatkotutkimuksia tai kehitystoimintaa tarvitsevia aiheita. Yleisesti tutkimuksessa todettiin, että käämijöiden ammattitaito on kaiken perusta. Työntekijän tulee ymmärtää, miksi jokin tietty asia tulee tehdä ohjeistuksen mukaan. Vain ohjeita noudattamalla voidaan puhua laadukkaasta toiminnasta.

Tutkimuksen perusteella yhdeksi tärkeimmistä toimenpiteistä nousi kaikkien sulkutapausten tarkempi tutkimus ja syiden järjestelmällinen analysointi. On luotava tutkimustoimille puitteet, mikä merkitsee investointia tutkimuspaikalle sekä – laitteille. Tutkimuspaikan loogisin sijoituspaikka olisi käämintäosasto, jossa työntekijöillä on vankka tietotaito alalta. Hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että samaa tutkimuspaikkaa on mahdollista hyödyntää myös asiakkailta tulleiden reklamaatiotapausten sekä tuotekehityksen tukena.

Lisäksi esille nousi toimittajien asiantunteva auditointi. Tutkimuksessa todettiin, että auditoinnissa olisi hyvä hyödyntää oman kääminnän ammattitaitoisia käämijöitä. Heiltä löytyy sellaista hiljaista tietoa, jota on mahdotonta kirjoittaa auki auditointilistoille. Tehtaan oman kääminnän ammattitaitoa olisi hyödynnettävä myös alihankinnan toiminnan kehittämisessä sekä mahdollisissa toimittajien toistuvissa laatutapauksissa. On huolehdittava, että alihankintakääminnän taso on sillä tasolla, että voidaan puhua laadusta.

Tämä tutkimus asetti uusia tutkimuksen kohteita, kuten hartsaamattomien staattoripakettien toimintatavan, eristeohjeiden riittävyden sekä runkoonpuristuksessa käytetyn nostimen kehittämisen. Tämän tutkimuksen loppu on uusien tutkimusten alku.

## LÄHTEET

- Alasuutari, P. 2007. Laadullinen tutkimus. Gummerus Kirjapaino Oy: Vaajakoski.
- Anderson, C. 2006. Pitkä häntä: Miksi tulevaisuudessa myydään vähemmän enempää. Terra Cognita: Helsinki.
- Aura, L. & Tonteri, A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. WSOY: Porvoo.
- Haverila, E., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. 6. painos. Infacs Oy: Tampere.
- Heikkilä, J. 1981. Luovan ongelmanratkaisun didaktiikka. WSOY: Juva.
- Heikkilä, J. 2010. Luovasta ideasta innovaatioon. Oy Enostone LTd: Turku.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 1996. Tutki ja kirjoita. 19., painos. Tammi: Helsinki.
- Karrus, K. 2001. Logistiikka. WSOY: Helsinki.
- Kume, H. 1985. Laadun parantamisen tilastolliset menetelmät. Metalliteollisuuden Kustannus Oy: Helsinki.
- Laininen, P. 2007. Tilastollisen analyysin perusteet. Hakapaino Oy: Helsinki.
- Lecklin, O. 2002. Laatu yrityksen menestystekijänä. 4., uudistettu painos. Talentum Media Oy: Jyväskylä.
- Lehtonen, J. 2004. Tuotantotalous. WSOY: Helsinki.
- Lillrank, P. 1998. Laatuajattelu. Otava: Keuruu.
- Marsh, J. 1995. Laatutyökalut A:sta Ö:hön. Oy Rastor Ab: Helsinki.
- Mäkinen, M., Kallio, R. & Tantarimäki, R. 2009. Prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatioasennukset. Otavan kirjapaino Oy: Keuruu.
- Piirainen, A. 2014. Vaihtelu. Aldus Oy: Lahti.
- Simpura, J. & Melkas, J. 2013. Tilastot käyttöön. Gaudeamus: Helsinki.
- Tähtinen, J., Laakkonen, E. & Broberg, M. 2011. Tilastollisen aineiston käsittelyn ja tulkinnan perusteita. Pallosalama Oy: Turku.
- Uusitalo, H. 2001. Tiede, tutkimus ja tutkielma. 7., painos. WSOY: Helsinki.

## SÄHKÖISET LÄHTEET

ABB 2002. ABB Motors. Korjaustavat eriste- ja käämilankavaurioissa, FIMOT0305. Ohjeet. Luettu 2.3.2015

ABB 2005. ABB Motors. Käämityksen testaus toistoaltokoestuksella, FIMOT0883. Ohjeet. Luettu 2.3.2015

ABB 2006. ABB Motors. Tilaus-toimitusprosessi, FIMOT0096. Ohjeet. Luettu 28.2.2015

ABB 2013. ABB Motors. Sisäisen palautteen tekeminen koestamossa, FIMOT1701. Ohjeet. Luettu 28.2.2015

ABB 2014a. ABB Motors. Laatunotifikaation (QN) teko tuotannossa, FIMOT1655. Ohjeet. Luettu 28.2.2015

ABB 2014b. ABB Motors. Staattoripakettien ladonta ja tarkastus, FIMOT0148. Luettu 2.3.2015

ABB 2014c. ABB Motors. Staattoripakettien sorvaus ja mittaus, FIMOT0192. Ohjeet. Luettu 2.3.2015

ABB 2009. Power & Automation. Sähkömoottorin hyötysuhteella on väliä. Saatavissa:

<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/9324577570fc2313c125765e002bfcd2.aspx>

Luettu 21.2.2015

ABB intranet 2014. ABB Motors & Generators intranet, 4Q. 2014. Saatavissa:

<http://fi.inside.abb.com/cawp/gad00195/fb1b9cf264df6708c1257705002ae26e.aspx> Luettu 1.3.2015

ABB 2014. ABB Motors & Generators. Yleisesittelykalvot. Saatavissa:

<http://fi.inside.abb.com/cawp/gad00092/76c35e2b5047905fc12575630046b5a7.aspx> Luettu 23.2.2015

ABB Oy 2014, Motors and Generators, Vaasa. Yrityksen yleisesittely. Luettu 23.2.2015

ABB intranet 2015. ABB Motors & Generators intranet, 4Q . Saatavissa:

<http://fi.inside.abb.com/cawp/gad00742/813ad3f2a8882c73c12578f6002e177c.aspx> Luettu 1.3.2015

Haughey, D. 2014. Pareto analysis step by set. Saatavissa:

<http://www.projectsart.co.uk/pareto-analysis-step-by-step.php> . Luettu 1.3.2015

Korpinen, L. 2006. Sähkökoneet 1. Saatavissa:

[www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/10sahkokoneet\\_1osa.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf) . Luettu 1.3.2015

Tämä osio on poistettu liikesalaisuus syistä.

