



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Tomi Mikkola

# Vianetsinnän nykytila taajuusmuuttajien korjauspaikalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

19.11.2019

Tekijä Otsikko	Tomi Mikkola Vianetsinnän nykytila taajuusmuuttajien korjauspaikalla
Sivumäärä Aika	36 sivua 19.11.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	tuotantolinjapäällikkö Timo Eronen lehtori Jukka Karppinen
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää ABB Oy:n Drives-yksikön erään tuotantolinjan taajuusmuuttajien korjauspaikan vianetsinnän nykytilan. Nykytilan kartoittaminen sisälsi sekä henkilöstön osaamisen kartoittamisen että nykyisen laitteiden korjauskäytäntöjen selvittämisen.</p> <p>Tuotantolinjan kehittyessä on ongelmaksi noussut laitteiden korjauspaikan toiminnan vianetsinnän epätarkkuus, jonka myötä korjauspaikka heikentää pullonkaularesurssin käyttöastetta ja sitä kautta koko tuotannon virtausta. Laitteiden vianetsinnän läpimenoajat vaihtelevat korjauspaikan henkilöstä ja vuorosta riippuen useilla tunneilla. Tuotantolinjan laitemäärät ovat kasvaneet ja testauskapasiteetti pysynyt samana, joten tämä on noussut isoksi ongelmaksi, sillä korjattava laite aiheuttaa testausjärjestelmän robotille ylimääräisiä siirtoja ja useat korjattavat laitteet pysäyttävät huonoimmassa tapauksessa tuotannon virtauksen.</p> <p>Haastattelujen ja juurisyyden etsimisen apuna sovellettiin erilaisia lean-menetelmiä, kuten kalanruotokaaviota ja viisi kertaa miksi -kysymystä, joiden avulla saatiin kattava kooste syitä ja seurauksia, jotka vaikuttavat vianetsinnän epätarkkuuteen.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin selvyys korjauspaikan nykyprosessista tuotantolinjan johdolle sekä sidosryhmille. Vianetsinnän epätarkkuuteen vaikuttavat tekijät listattiin ja asetettiin avaintavoitteet, joiden avulla vianetsinnästä tehdään tarkempaa ja tuotannon virtauksen kannalta tehokkaampaa.</p>	
Avainsanat	lean, kalanruotokaavio, viisi kertaa miksi, läpimenoaika

Author Title Number of Pages Date	Tomi Mikkola Current State of Troubleshooting at Drive Repair Station 36 pages 19 November 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Timo Eronen, Production Manager Jukka Karppinen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis work was to clarify the current state of troubleshooting of a frequency converter line repair station at ABB Oy Drives unit. The mapping of the current state included both the mapping of the skills of the personnel and the clarification of current drives repair practices.</p> <p>As the production line has developed, problems have arisen in the inaccuracy of troubleshooting of the device repair, whereby the repair station reduces the utilization rate of the bottleneck resource and thus, the flow of the entire production. Frequency converter troubleshooting lead times vary by repair person and shift over several hours. Production line device numbers have increased, and testing capacity has remained the same, so this has become a big problem, as the repair device causes the robot of the test system to move excessively, and in the worst case, many repair devices stop the flow of production.</p> <p>Various Lean methods, such as a fishbone chart and five times why, were used to assist interviews and search for root causes, which provided a comprehensive package of causes and effects that influence troubleshooting inaccuracies.</p> <p>The result of this work is clarity on the current process of the repair site to the line management and stakeholders. Factors contributing to the inaccuracy of troubleshooting were listed and key objectives set to make troubleshooting more accurate and more efficient in terms of production flow.</p>	
Keywords	lean, fishbone chart, five times why, lead time

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	ABB Suomessa	2
1.2	Taajuusmuuttajien tuotantoalue ja prosessi	2
2	Taajuusmuuttaja	7
3	Lean	10
3.1	Toyotan 4P-malli	13
3.2	Kalanruotokaavio	15
3.3	Viisi kertaa miksi -menetelmä	16
3.4	Gemba-kävely	17
3.5	Läpimenoaika	18
3.6	Testauslaadun mittaaminen (First Pass Yield)	18
4	Testausprosessi	19
4.1	Hipot-esitestaus	19
4.2	Rasitus- ja kuormitustestaus	20
5	Korjauspaikan vianetsinnän nykytila	21
5.1	Haastattelut	21
5.2	Access-tietokanta	22
6	Kalanruotokaavio käytännössä	24
6.1	Prosessi	25
6.2	Menetelmät	26
6.3	Laite	27
6.4	Mittaukset	29
6.5	Ympäristö	30
6.6	Ihminen	30
6.7	Vianetsinnän avaintavoitteet	32

7 Yhteenveto

34

Lähteet

36

## Lyhenteet

ABB	<i>Asea Brown Boweri</i> , Kansainvälinen sähkövoima- ja automaatiokonserni.
AC	<i>Alternating Voltage</i> , Vaihtojännite.
BU	<i>Base Unit</i> , Konfiguroimaton taajuusmuuttajamalli.
DC	<i>Direct Current</i> , Tasavirta.
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i> , Six Sigma -menetelmä.
DTC	<i>Direct Torque Control</i> , Suora momentinsäätötekniikka.
FPY	<i>First Pass Yield</i> , Laitteiden vikaantumismäärää kuvaava luku.
Hipot	<i>High Potential Test</i> , Jännite- ja eristysvastustesti.
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i> , Taajuusmuuttajan puolijohdekomponentti.
OPF	<i>One Piece Flow -linja</i> , Vaiheistettu kokoonpanolinja.
PCE	<i>Process Cycle Efficiency</i> , Prosessin jaksoajan tehokkuus.
PU	<i>Power Unit</i> , Konfiguroimaton taajuusmuuttajamalli, tehoyksikkö.
Pullonkaula	Prosessia hidastava osa.
Raami	Tuotteen kokoluokka.
TPT	<i>Throughput time</i> , Tuotannon läpimenoaika.

## 1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on selvittää taajuusmuuttajien korjauspaikan vianetsinnän nykytila sekä kartoittaa henkilöiden osaaminen korjauspaikalla. Työ toteutetaan ABB Oy:n Drives-yksikölle, joka sijaitsee Helsingissä Pitäjänmäellä. Viime vuosina tuotantolinjojen kehityksessä on tehty suuria kehitystoimenpiteitä, mutta laitteiden korjaus on jäänyt jälkeen kehityksestä. Laitteiden testauksissa ja korjauksissa on huomattu selkeitä eroja, jotka vaihtelevat suuresti tekijä- ja vuorokohtaisesti.

Tuotantolinjan johdolla, kehitystiimillä ja laboratorion henkilöillä ei ole täyttä varmuutta siitä, millä keinoilla ja menetelmillä korjauspaikan henkilöt alkavat etsimään laitteista vikaa, missä vaiheessa vaikeat vikatapaukset eskaloidaan eteenpäin ja miksi joissain tilanteissa vikaa haetaan useasta eri paikasta usealla testauskerralla. Insinööriyön avulla nähdään, mihin resursseja käytetään, miksi läpimenoajat vaihtelevat suuresti ja mikä on henkilöiden osaamistaso korjauspaikalla.

Tuotantolinjalla valmistetaan useita eri pienjännitteisiä taajuusmuuttajia, joista uusimpia tuotepereheitä sekä niiden testausjärjestelmiä ei huomioida tässä insinööriyössä. Työssä ei myöskään liikesalaisuuksista johtuen esitetä tarkkoja lukuja myynnistä, valmistusmäärästä, sekä käytettävistä järjestelmistä.

Insinööriyössä käytetään apuna lean-filosofian eri menetelmiä, joiden avulla saadaan tietoa nykytilasta. Ensimmäisenä työn tavoitteena on haastatella korjauspaikalla työskenteleviä ihmisiä eri vuoroista ja etsiä tietokannasta yleisimpiä haasteita vikojen löytämisessä kerätyn datan perusteella. Seuraavana tavoitteena muodostetaan vikojen löytämiseen vaikuttavia tekijöitä ja analysoidaan tekijöiden juurisyitä. Juurisyitä avataan ja mietitään keinoja vian etsinnän kehitykseksi.

Insinööriyössä esitellään myös taajuusmuuttajan komponentit sekä tuotantolinjan taajuusmuuttajien testausprosessin osat yleisesti.

ABB Oy kuuluu suurimpien teknologiayritysten joukkoon. Yritys on toiminut jo yli 130 vuoden ajan. ABB koostuu viidestä liiketoimintadivisioonasta:

- Electrification
- Industrial Automation
- Motion
- Robotics & Discrete Automation
- Power Grids

Vuonna 2020 Power Grids -liiketoimintadivisioona divestoidaan Hitachille. ABB työllistää noin 147 000 henkilöä ja toimii globaalisti yli 100 maassa. Yritys tarjoaa ratkaisuja teollisuusautomaatioon, sähköverkkoihin, liikkeenohjaukseen, sähköistystuotteisiin sekä robotteihin. ABB:n pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissä. [1.]

### 1.1 ABB Suomessa

Suomen ABB työllistää noin 5300 henkilöä eri puolilla Suomea. Suurimmat tehdaskeskitymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa, Porvoossa sekä Haminassa. Helsingin Pitäjänmäessä valmistetaan mm. moottoreita ja generaattoreita (Motors and Generators) sekä taajuusmuuttajia (Drives). Helsingin Vuosaarella sekä Haminassa valmistetaan Azipod<sup>®</sup> -ruoripotkurijärjestelmiä. Porvoon tehdas valmistaa sähköasennustuotteita ja Vaasassa mm. muuntajia sähköverkon ohjaus- ja suojauslaitteita, sähkönsiirto- ja jakelujärjestelmiä. [1.]

### 1.2 Taajuusmuuttajien tuotantoalue ja prosessi

Helsingissä toimivan Drives-yksikön tuotantoalueella valmistetaan isotehoisia taajuusmuuttajia useista eri tuoteperheistä. Taajuusmuuttajien teholuokat vaihtelevat laitekohdasta. Tuotettavat laitteet alueella ovat raamikooltaan R6–R11. Raamikoko tarkoittaa laitteen fyysistä kokoa.

Valmistettavia tuoteperheitä ovat muun muassa:



- ACS880-01 (kuva 1)
  - Seinälle asennettava teollisuustaajuusmuuttaja, jonka tehoalueena on 0,55 – 220 kW ja jännitealueena 230 – 690 V
  - Suora momentinsäätötekniikka (DTC) moottorin tarkkaan ohjaukseen
  - Integroidut turvatoiminnot, nopeusohjatut puhaltimet sekä joustava ohjelmoitavuus



Kuva 1. ACS880-01 R7-R9-taajuusmuuttajat [2.]

- ACS880-04 (kuva 2)
  - Pyörillä varustettu moduuli kaappiasennukseen joustavaan tilankäyttöön
  - Taajuusmuuttajan tehoalue 200–630 kW [3.].

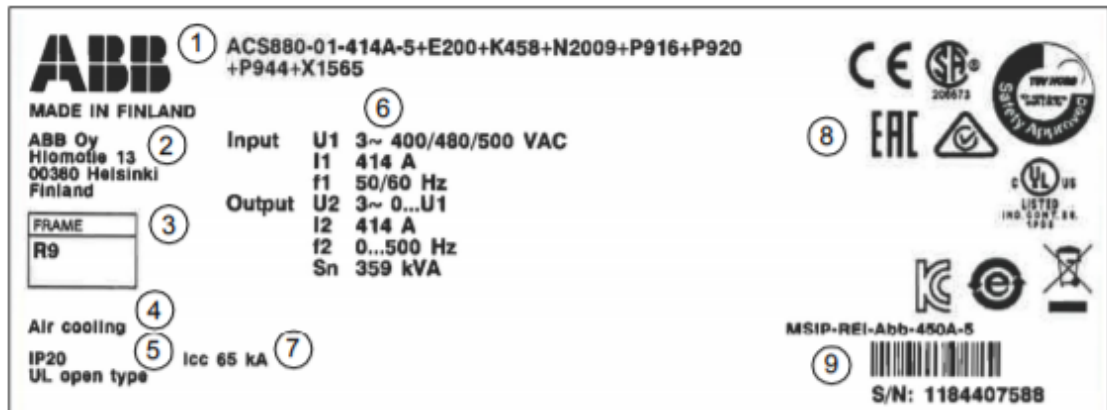


**Kuva 2. ACS880-04 taajuusmuuttaja [3.]**

Edellä mainittujen taajuusmuuttajien lisäksi tuotantolinjalla valmistetaan ns. Power Unit- (PU) sekä Base Unit (BU) -malleja. Ne ovat perusmalleja, jotka konfiguroidaan vasta Saksassa tai Singaporessa sijaitsevalla keskusvarastolla vastaamaan asiakkaan tarvetta lopputuotteeksi.

Tuotantolinja valmistui 2000-luvun alussa, jonka jälkeen sen eri työpisteitä on muokattu ja muovattu moneen eri suuntaan. Tuotantolinjan peruspilarit, kuten robottisolut ja testausjärjestelmä, ovat toistaiseksi vielä pysyneet paikoillaan, mutta tulevaisuudessa ne tullaan korvaamaan nykyaikaisemmilla järjestelmillä sekä menetelmillä digitalisaation myötä.

Tuotantoprosessi käynnistyy asiakkaan tarpeesta tilata laite, jolloin tilaus päättyy SAP-järjestelmän kautta tuotannosuunnittelulle ja sitä kautta tuotantolinjalle valmistettavaksi. Suurin osa laitteista räätälöidään asiakaskohtaisesti, joka ilmenee tuotannossa valmistuskilvessä olevina plussakoodeina. Asiakas voi haluta laitteeseensa esimerkiksi jarrukatkojan (+D150), EMC-suotimet (+E202) tai tietyn kielen manuaalit (+R7xx), jossa x ilmaisee vaihtuvaa lukua. Esimerkiksi +R701-koodi tarkoittaa englanninkielistä manuaalia. Plussakoodit havainnollistettuna kuvassa 3 kohdassa 1.

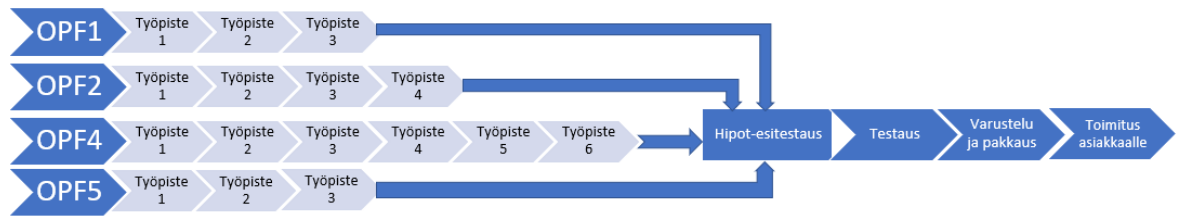


Kuva 3. Taajuusmuuttajan tyypikilpi [4.]

Numero 2 kertoo valmistajan osoitteen, numero 3 laitteen runkokoon, numero 4 jäähdytysjärjestelmän, numero 5 suojausluokan, numero 6 syöttöjännitealueen arvot, numero 7 oikosulkukestoisuuden, numero 8 merkinnät, jotka ovat voimassa, numero 9 laitteen sarjanumeron [4.].

Laitteiden tuotantomuotona toimii nykyään One Piece Flow (OPF) -malli. One Piece Flow -termi tarkoittaa suomeksi yhden kappaleen virtausmuotoa, joka mukailee lean-filosofiaa. Kokoonpanolinjat ovat siis vaiheistettuja tuotetyypistä riippuen ja yhden työvaiheen kesto on noin 15 minuutista puoleen tuntiin. Vaiheistetuilla linjoilla päästään parempiin laitteiden läpimenoaikoihin, eli tuotteen toimitusaika lyhenee asiakkaan tilauksesta toimitukseen.

Pienemmille taajuusmuuttajamalleille on rakennettu useampi linja (OPF1,4,5), jotka tarvittaessa pienellä muokkauksella muuttuvat palvelemaan suurempia raameja. OPF4-linjan työvaiheet on jaettu kuuteen osaan. Kuvassa 4 on esiteltyä tuotantolinjojen prosessikuvaus.



Kuva 4. Tuotantolinjan prosessi.

Jokainen OPF-linja noudattaa lähes samanlaista kaavaa, esimerkiksi OPF1-linjan työpisteellä 1 laitteen kokoonpano alkaa sarjanumeron luonnilla SAP-järjestelmässä ja laitteen tarrojen tulostamisella. Tämän jälkeen suoritetaan runkokokoonpano, johon kuuluu kuristimien, jäähdytys-elementin ja IGBT-moduulien lisäksi tyristorien asennus. Johdotus, kondensaattorien sekä virtakiskojen asennus tapahtuu työpisteellä 2. Viimeisellä työpisteellä ennen Hipot (High Potential Test) -esitestausta laitteeseen asennetaan piirikortit, viimeiset johdotukset sekä kannet.

Kokoonpanon ollessa valmis kuljetetaan laite lähetyspisteelle ja panostetaan robottisolun testipaletille, jolloin robotti kuljettaa laitteen Hipot-työpisteelle. Ennen testiä laitteeseen asennetaan vielä muistiyksikkö, testaus- ja maadoituskaapelit sekä testipaneeli. Hipot-esitestauksen jälkeen laite lähetetään testiuuniin, jossa laitteelle suoritetaan mm. rasisusajo, jolla testataan laitteen kuormituksen kesto ja toiminnot. Laitteen testausta käsitellään tarkemmin luvussa 5.

Testauksen jälkeen robotti siirtää testipaletilla olevan laitteen loppuvarustelun kuljetinhihnalle, jolloin testaus- ja maadoituskaapelit voidaan purkaa laitteesta. Suurin osa pienistä laitteista voidaan varustella kuljetinhihnalla asentamalla niihin kannet sekä keräämällä tarvittavat manuaalit. Suuremmat taajuusmuuttajat vaativat enemmän työstöä, jolloin laitteet nostetaan nostimella rullaradalle ja lähetetään kokoonpanopisteille. Varustelun jälkeen laitteet pakataan, niille luodaan lähetystunnukset ja lähetetään asiakkaalle, joko maa-, ilma-, tai meriteitse. Mikäli laite vikaantuu testeissä, päättyy se testiuunista ”repstalle” eli korjauspaikalle, jota tämä insinöörityö käsittelee.

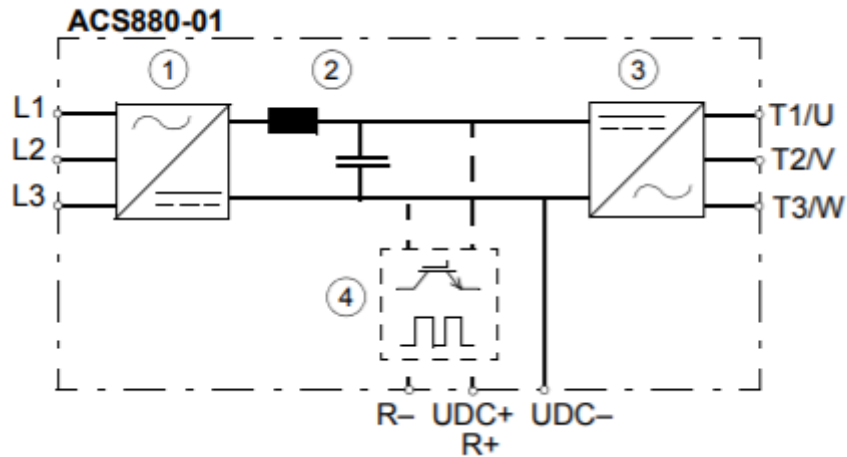
## 2 Taajuusmuuttaja

Tehoelektroniikan laitetta, jolla oikosulkumoottorin nopeutta säädetään portaattomasti moottorin syöttöjännitteen taajuutta muuttamalla, kutsutaan nimellä taajuusmuuttaja. Ilman taajuusmuuttajaa on vaihtovirralla toimivien sähkömoottoreiden (oikosulkumootto- reiden) pyörimisnopeus hankalasti säädettävissä. [5.]

Perinteisesti sähkömoottoreiden pyörimisnopeutta on muutettu moottorin napaparilukua muuttamalla sekä vaihteistojen ja jarrujen avulla. Liukurengasmoottoreissa pyörimisnopeuden muuttaminen on tapahtunut jättämällä muuttamalla. Taajuusmuuttaja mahdollistaa oikosulkumoottorin säädön niin, että pyörimisnopeutta muutetaan prosessin tarpeiden mukaan, jolloin saadaan huomattavat energiansäästöt. Taajuusmuuttajalla voidaan vähentää työkoneiden mekaanista rasitusta ja sähköverkon kuormitusta käynnistettäessä pienemmillä käynnistysvirroilla.

Taajuusmuuttajan avulla voidaan saavuttaa maksimivääntömomentti matalilla kierrosnopeuksilla. Tyypillisimpiä käyttökohteita erilaisissa tuotanto- ja prosessiautomaatiojärjestelmissä ovat pumput, puhaltimet, paperikoneet, hissit, kompressorit, kuljettimet sekä nosturit. Prosessien säätö sekä ohjaus helpottuu taajuusmuuttajan avulla. [5.]

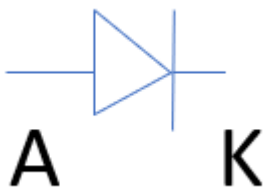
Taajuusmuuttaja koostuu neljästä eri osasta (kuva 5): tasasuuntaajasta (1), tasajännitevälipiiristä (2), vaihtosuuntaajasta (3) sekä jarrukatkojasta (4). Tasasuuntaaja muuntaa vaihtojännitteen ja -virran tasajännitteeksi ja -virraksi. Tasajännitevälipiiri on tasasuuntaajan ja vaihtosuuntaajan välinen tasajännitepiiri. Vaihtosuuntaaja muuntaa tasajännitteen ja -virran vaihtojännitteeksi ja -virraksi. Jarrukatkojan tehtävänä on johtaa ylimääräinen energia tasajännitevälipiiristä jarruvastukseen. Jarrukatkoja aktivoituu, kun tasajännitevälipiirin jännitteen maksimiraja ylittyy. Tavallisesti jännitteen nousu aiheutuu suuren hitausmassan moottorin hidastuksesta. Jarruvastus hankitaan sitä tarvittaessa. [4.]



Kuva 5. Taajuusmuuttajan pääpiiri [4.]

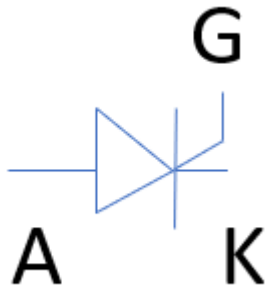
Taajuusmuuttaja koostuu tehoelektronikan puolijohdeista, joita ovat diodit, tyristorit, IGBT-transistorit (Insulated Gate Bipolar Transistor) sekä GTO-tyristorit (Gate Turn-Off). Laite sisältää myös kondensaattorit, johdotukset sekä piirikortit.

*Diodin* tehtävänä on päästää positiivinen virta kulkemaan anodista (Anode=A) katodiin (Cathode=K) ja estää virran kulku päinvastaisesta suunnasta. Virranvoimakkuus diodissa ei ole säädettävissä. Diodi alkaa johtaa, kun anodiin syötettävä jännite on isompi kuin diodin kynnyksjännite. Puolijohdemateriaali on ratkaiseva tekijä diodin kynnyksjännitteessä. Diodin käyttökohteet ovat ohjaamattomat tasasuuntaajat. Diodin piirrosmerkki näkyy kuvassa 6. [6, s.14.]



Kuva 6. Diodi [6.]

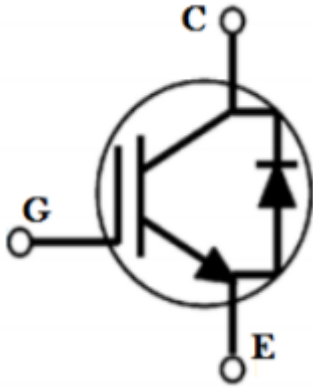
*Tyristori* on komponentti, jonka tehtävänä on päästää positiivinen virta kulkemaan anodista katodiin ja estää virran kulku päinvastaisesta suunnasta. Tyristorin läpi menevän virranvoimakkuus ei ole säädettävissä. Tyristorissa on anodin ja katodin lisäksi hila (Gate=G), jolla se saadaan johtavaksi. Positiivinen ohjausvirtasignaali muuttaa tyristorin johtavaksi. Johtava tyristori pysyy johtavana, vaikka sen signaali katkeaa. Vähentämällä läpi kulkevaa virtaa pitovirtaa pienemmäksi, saadaan tyristori sammutettua. Tyristorin piirrosmerkki näkyy kuvassa 7. [6, s.14–15.]



Kuva 7. Tyristori [6.]

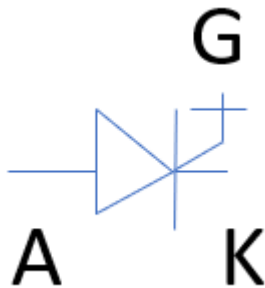
#### IGBT-transistori

*IGBT-transistori* koostuu bipolaaritransistorista ja Mosfet-tyyppisestä kanavatransistorista, jonka hila on eristetty kanavasta. Näiden yhdistelmällä on saatu hyödynnettyä niiden parhaat ominaisuudet, jonka ohjausteho on pieni, kytkentänopeus erittäin suuri ja se soveltuu suuritehoisiin suuntaajalaitteisiin. Kuvassa 8 on havainnollistettuna IGBT-transistorin piirrosmerkki. Komponentin virran kulku kollektorilta (C) emitterille (E) voidaan katkaista halutulla hetkellä ohjausjännite hilan (G) ja emitterin välillä joko nollassi tai negatiiviseksi. IGBT-transistori kestää suuren jännitteen auki-tilassa. Kiinni-tilassa se kestää suuren virran. [5.]



Kuva 8. IGBT-transistori [5.]

*GTO-tyristori* poikkeaa tavallisesta tyristorista vain hieman. Sen ohjaus tapahtuu samalla tavalla kuin tavallisella tyristorilla, mutta sen lisäominaisuus on sammuttaminen. Hilalle annettava negatiivinen ohjausvirtasignaali sammuttaa tyristorin. Sammutuspulssi on virran suuruudeltaan jopa satoja ampeereja, mutta kestoaltaan vain kymmeniä mikrosekunteja, tällöin kokonaisenergia jää pieneksi. Ohjausteho *GTO-tyristorilla* voi olla jopa useita megawatteja (MW), sammumisaika on lyhyempi kuin tyristorilla, joten sen käyttökohteet ovat erittäin suuritehoiset vaihtosuuntaajat. Kuvassa 9 on esitettyä *GTO-tyristorin* piirrosmerkki. [5.]



Kuva 9. *GTO-tyristori* [5.]

### 3 Lean

Lean on prosessijohtamismalli, joka perustuu asiakaslähtöiseen toimintaan. Virtauksen maksimointi ja hukkan eli menetetyin ajan poistaminen on sen avaintekijöitä. Lean on ajattelu- ja toimintatapa, millä pyritään laadukkaaseen tuotantoon sekä minimaalisilla kustannuksilla että lyhyillä läpimenoajoilla. Lean-mallissa keskitytään tarkastelemaan



yrittystä ja sen toimitusketjua kokonaisuudessaan eikä vain sen yksittäistä osaa. Leanin tavoitteena on tuottaa mahdollisimman paljon arvoa asiakkaalle, joka käytännössä tarkoittaa asiakas- ja tuottajatytyväisyyden maksimointia. John Krafickia pidetään lean-nimityksen kehittäjänä vuonna 1987. Lean-tuotanto päätyi eri kansojen tietoisuuteen Daniel Roosin ja James Womackin kirjan ”The Machine That Changed the World” perusteella vuonna 1990. [7.]

Lean-mallin juuret ovat Japanissa, ja se perustuu Toyotan tuotantojärjestelmään ja sen filosofiaan (engl. Toyota Production System, TPS). Toisen maailmansodan aikainen Toyota Motor Corporationin johto antoi tehtäväksi pääinsinööri Taiichi Ohnolle tuottavuuden ylösnoston. Toyotalla puuttui lähes kokonaan pääoma ja konekanta oli vanhanai-kaista. Hänen piti siis keksiä toimenpiteitä, joilla saataisiin tehtyä enemmän vähemmällä. Taiichi Ohno vieraili Memphisissä perustetussa Piggly Wigglyn supermarketissa ja sai sieltä idean tavaraohjauksesta, jossa asiakas sai juuri sitä mitä halusi, silloin kun se halusi ja sellaisen määrän kuin halusi. TPS-järjestelmä kehitettiin Taiichi Ohnon toimintamallin perusteella, jossa kaikki turha poistettiin tuotannosta, työkuormat tasattiin ja erä-kokoja pienennettiin. Myös laatu oli osatekijä, jolla Japani myöhemmin valtasi maailman. Aluksi toimintamallia käytettiin vain autoteollisuudessa, josta se on levinnyt lähes kaikkiin toimialoihin. [7.]

#### Viisi peruseriaatetta

Leanin viisi periaatetta kuvasivat James P.Womack ja Daniel T. Jones ensimmäisen kerran vuonna 1997. Periaatetta sovelletaan lean-ajattelussa, jonka mukaan organisaatiossa tulisi määrittää tarkasteltavasta prosessista yhteensä viisi peruseriaatetta (kuva 10).



Kuva 10. Leanin viisi peruseriaatetta [13.]

*Arvon tunnistaminen.* Yrityksen tuoton määrittävät asiakkaat. Täytyy olla ymmärrys asiakkaan tarpeista eli mitä asiakas todella haluaa ja tarvitsee.

*Arvoketjun havainnollistaminen.* Prosessi tulee mallintaa eli luoda arvoketju, jonka avulla organisaatio voi määrittää prosessin vaiheet, jotka tuovat tai eivät tuo lisäarvoa asiakkaalle. Arvoketjun havainnollistamisen avulla saadaan karsittua toiminnot, jotka ovat tarpeettomia.

*Virtauksen luominen.* Prosessin läpivirtausta saadaan tehostettua pienentämällä asiakkaalle arvoa tuottamatonta välivarastoinnin aiheuttamaa työtä.

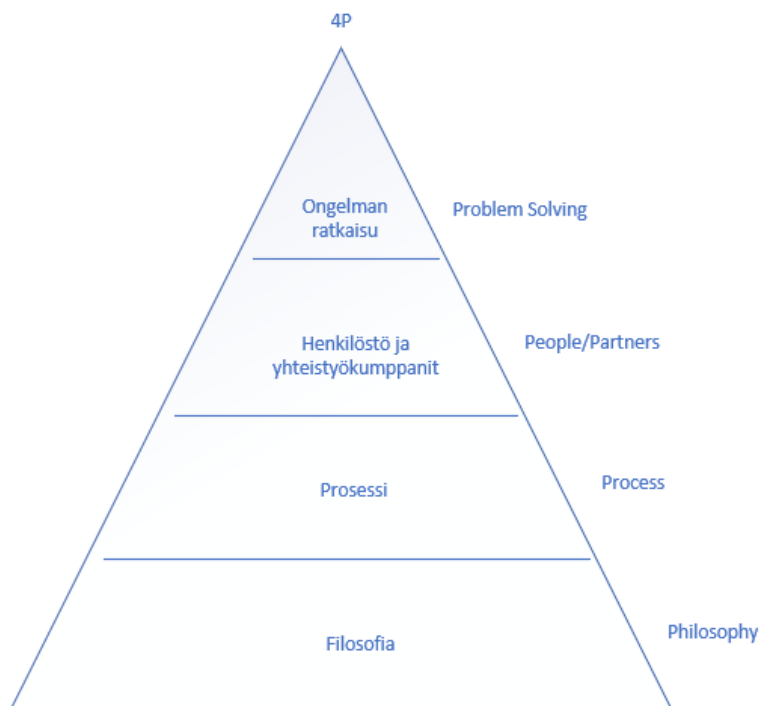
*Imuohjauksen perustaminen.* Imuohjauksen avulla saadaan läpivirtausta tehostettua. Imuohjauksen idea on toimittaa prosessin sisäiselle asiakkaalle tarvitsemaansa asia tai esine ilman välivarastointia. Tällä säästetään aikaa, rahaa, resursseja ja tilaa.

*Täydellisyyden etsintä.* Arvon tunnistamisen, arvoketjun havainnollistamisen, virtauksen luomisen ja imuohjauksen perustamisen jälkeen jatketaan prosessin tehostamista siihen

asti, kunnes täydellinen arvoa tuottava prosessi on kehitetty. Kuitenkin tämä ei ole mahdollista, mutta jatkuvan parantamisen avulla päästään lähelle sitä. [13.]

### 3.1 Toyotan 4P-malli

Toyotan johtamismalli voidaan jakaa neljään eri peruseriaatteeseen (4P), filosofiaan (Philosophy), prosessiin (Process), henkilöstöön ja yhteistyökumppaneihin (People and Partners) sekä ongelmanratkaisuun (Problem Solving) (Kuva 11).



**Kuva 11. Toyotan 4p-malli [12.]**

Toyotan malli sisältää 14 periaatetta, jotka jakautuvat neljän eri pääkohdan alle seuraavasti:

#### **”1P: Pitkän tähtäimen filosofia”**

Periaate 1: Perusta päätöksentekosi pitkän tähtäimen filosofiaan, jopa lyhyen tähtäimen taloudellisten tavoitteiden kustannuksilla.

### **”2P: Kunnollinen prosessi tuottaa oikeita tuloksia”**

Periaate 2: Luo jatkuva prosessivirtaus tuodaksesi ongelmat ilmi.

Periaate 3: Käytä imuohjausjärjestelmiä (kanban) ylituotannon estämiseksi.

Periaate 4: Tasoita työmäärä (heijunka). Työskentele kuin kilpikonna, ei jänis.

Periaate 5: Rakenna pysähtymiskulttuuri ongelmien korjaamiseksi ja laadun kerralla oikein saamiseksi.

Periaate 6: Vakioidut tehtävät ovat jatkuvan parantamisen ja työntekijöiden voimaantumisen perusta.

Periaate 7: Käytä visuaalista johtamista, jotta mikään ongelma ei ole piilossa.

Periaate 8: Käytä vain luotettavaa ja perusteellisesti testattua tekniikkaa, jotka palvelevat ihmisiä sekä prosesseja.

### **”3P: Lisää arvoa organisaatiolle kehittämällä henkilöstöä ja yhteistyökumppaneita”**

Periaate 9: Kasvata johtajia, jotka ymmärtävät perusteellisesti työn, elävät filosofiaa ja opettavat sitä muille.

Periaate 10: Kehitä poikkeuksellisia ihmisiä ja tiimejä, jotka seuraavat yrityksesi filosofiaa.

Periaate 11: Kunnioita laaja-alaista kumppanien ja toimien verkostoa haastamalla heitä ja auttamalla heitä kehittymään.

### **”4P: Jatkuva ongelmien juurisyiden ratkaiseminen ohjaa organisaation kehittämistä”**

Periaate 12: Mene itse katsomaan ja ymmärtämään tilannetta perusteellisesti (genchi genbutsu eli gemba).

Periaate 13: Tee päätökset hitaasti ja yksimielisesti ottaen perusteellisesti huomioon kaikki muutkin vaihtoehdot. Implementoi päätökset nopeasti.

Periaate 14: Kehity jatkuvasti oppivaksi organisaatioksi hellittämättömällä pohdinnalla (hansei) ja jatkuvalla parantamisella (kaizen). [12.]

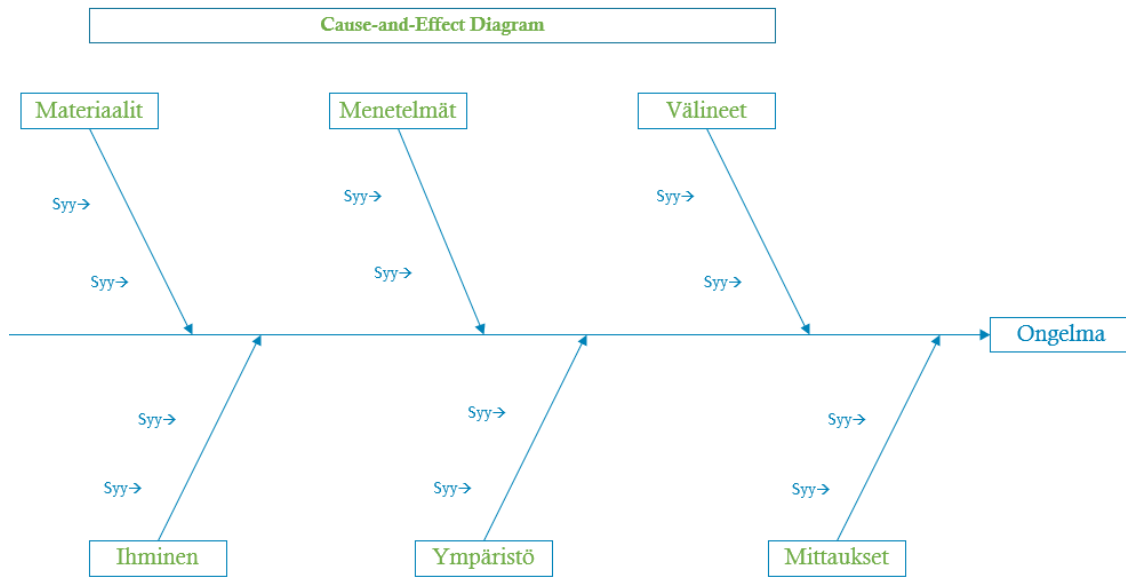
Insinööriyö keskittyy 4P-mallissa kohtaan ongelmanratkaisu, jonka osia ovat seuraavissa luvuissa käsiteltävät kalanruotokaavio, viisi kertaa miksi -menetelmä sekä gemba.

### 3.2 Kalanruotokaavio

Yhtenä lean-filosofian osana voidaan käyttää Kaoru Ishikawan 1960-luvulla kehittämää työkalua nimeltä Ishikawa-diagram. Työkalusta käytetään myös nimityksiä kalanruotokaavio (engl. Fishbone Diagram) sekä syy-seurauskaavio (Cause-Effect Diagram). Kalanruotokaavio on prosessinkehittämisen ja laatujohtamisen työkalu, jota käytetään yleensä ongelmien syiden etsimisessä ja analyysissä, kausaalisuuden (syy-seuraussuhde) selvittämisessä sekä ryhmätyön apuvälineenä. Kalanruotokaavio tarjoaa visuaalisen tavan tarkastella syitä ja seurauksia. Työkalun tavoitteena on löytää mahdollisimman monta syytä tai seurausta prosessin ongelmalle. Aluksi kuvataan ongelma, joka tarvitsee ratkaisua (kalanruodon pää), jonka jälkeen lähdetään muodostamaan pääkategorioita, joita tavallisesti on kuusi kappaletta fyysisessä prosessissa:

- Ympäristö
- Menetelmät
- Ihminen
- Materiaalit
- Välineet
- Mittaukset

Jokaiseen pääkategoriaan etsitään kysymällä tekijöitä, jotka ongelmaan vaikuttavat ja miten ne ilmenevät. Kalanruotokaavio sopii parhaiten käytettäväksi ryhmässä, jossa on useampi henkilö sekä monimutkaisemmissa prosessin haasteissa. [8. s. 96–98]. Kuvassa 12 on esiteltyä perinteinen kalanruotokaavio.



Kuva 12. Kalanruotokaavio [8.]

### 3.3 Viisi kertaa miksi -menetelmä

Viisi kertaa miksi on osa leanin jatkuvan parantamisen tekniikkaa, jota käytetään Six Sigma DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) -menetelmän analysointivaiheessa. Viisi kertaa miksi -menetelmän hyötyjä ovat ongelmien perimmäisten syiden selvittäminen ja eri ongelmien välinen suhde. Työkalu on todella yksinkertainen käyttää, eikä se vaadi tilastollisia analyysyjä. Kalanruotokaavio ja viisi kertaa miksi -menetelmä toimivat yhdessä; kun kaikki syyt ovat löytyneet kalanruotoon, voidaan kysyä miksi-kysymyksiä niin kauan, että ongelman juurisyy selviää. Joskus ongelman juurisyyntä löytämiseen tarvitaan enemmän kuin viisi miksi-kysymystä, toisinaan selvittää vähemmällä. [9.] Seuraavassa on esimerkki viisi kertaa miksi -menetelmästä.

Ongelma: Asiakkaat ovat tyytymättömiä, koska heille lähetetään tuotteita, jotka eivät täytä heidän vaatimuksiaan.

1. Miksi asiakkaille toimitetaan huonoja tuotteita?

- Koska tuotanto rakensi tuotteet, jotka eroavat siitä, mitä asiakas ja myyjä sopivat.

2. Miksi tuotanto rakensi tuotteet erilaiselle määritelmälle verrattuna myyntiin?

- Koska myyjä nopeuttaa työtä myymäläkerroksessa soittamalla suoraan valmistuspäällikölle ja pyytää häntä aloittamaan työn. Teknisten tietojen ilmoittamisen tai kirjoittamisen yhteydessä tapahtui virhe.

3. Miksi myyntihenkilö soittaa valmistuspäällikölle suoraan ja pyytää aloittamaan työn sen sijaan, että noudattaa yrityksessä vahvistettua menettelytapaa?

- Koska "aloita työ" -lomake vaatii myyntijohtajan hyväksynnän ennen työn aloittamista ja hidastaa valmistusprosessia (tai pysäyttää sen, kun johtaja on poissa toimistosta).

4. Miksi lomake sisältää myyntijohtajan hyväksynnän?

- Koska myyntijohtajan on päivitettävä jatkuvasti myyntiä keskustellakseen toimitusjohtajan kanssa. [9.]

Kyseisessä tapauksessa vain neljä miksi-kysymystä riitti ongelman juurisyyn selvittämiseen.

### 3.4 Gemba-kävely

Sana "gemba" tulee japanin kielestä ja se tarkoittaa todellista paikkaa. Gemba on osa lean-filosofian "juuri oikeaan aikaan" (Just-in-time, JIT) -tuotantoa ja se toimii keskeisenä prosessin kehittämis- ja ongelmanratkaisuvälineenä. Käytännössä gemban ideana on mennä tarkastelemaan sekä tutkimaan ongelmaa prosessia käytännössä, siellä missä itse työ tapahtuu. Gemba-kävely on tehokas tapa päälliköille sekä muille johtajille ymmärtää prosesseja ja niiden haasteita. Yksityiskohdat ja ongelmakohdat paikannetaan viestinnän avulla yhdessä asentajien kanssa. Gemba-kävelyn ideana on kunnioittaa eri työtehtäviä tekeviä henkilöitä, eikä osoittaa heitä syyttävällä sormella. Ajatuksena on etsiä prosessin heikkoudet, ei ihmisten. [10.]

Gemba-kävelyn yhteydessä voidaan hyödyntää edellisessä luvussa esiintynyttä viisi kertaa miksi -menetelmää, jolloin ongelmien juurisyöt paremmin selviävät. Tässä insinööri-työssä toteutettiin useita gemba-kävelyjä ja niistä luettavissa lisää luvussa 5.1.

### 3.5 Läpimenoaika

Laitteen valmistukseen tai työn suorittamiseen kuluu aikaa. Lean-ajattelun mukaan on olemassa arvoa tuottavaa aikaa (Value Added Time) ja arvoa tuottamatonta aikaa (Non Value Added Time). Arvoa tuottava aika merkitsee virallisesti sitä aikaa, mistä asiakas maksaa. Arvoa tuottamaton aika on taas vastakohta arvoa tuottavalle. Läpimenoaika (engl. Lead time) kertoo ajan, joka pitää sisällään koko tilaus-toimitusketjun asiakkaalle. Läpimenoajan ja arvoa lisäävän ajan suhde käsittää sanan virtaustehokkuus tai prosessin jaksoajan tehokkuus (PCE, Process Cycle Efficiency). Leanin päätavoitteena on poistaa hukkaa prosessista, jonka myötä tuotteiden läpimenoaikoja parannetaan. Läpimenoaikoja lyhentämällä resurssien ja tuotannon tehokkuus paranee ja tämä tarkoittaa asiakkaalle lyhempää toimitusaikaa. [7.]

### 3.6 Testauslaadun mittaaminen (First Pass Yield)

Tuotannon laatua mitataan eri tavoin. Yksi mittareista on FPY-mittari eli First Pass Yield. Se tunnetaan myös nimellä Throughput Yield (TPY), joka ilmaisee miten hyvin testattavat laitteet kulkevat prosessin läpi vikaantumatta. Kun laite vikaantuu, vaikuttaa se negatiivisesti FPY-lukuun. FPY-luku määräytyy kaavan 1 mukaisesti:

$$\frac{\text{Vikaantuneet laitteet}}{\text{Laitteiden kokonaismäärä}} = \text{FPY} \quad (1)$$

Esimerkiksi laitteiden kokonaismäärä tuotannossa 100 kappaletta, joista viisi vikaantuu testeissä, saadaan FPY-luvuksi 95 %.

FPY-mittari mittaa vain koko prosessin yhtä osaa, testausta, joten se ei kerro todellisesta laadusta paljoakaan. Todellisen laadun mittaamiseksi pitäisi ottaa huomioon myös logistiikka, asennus, sekä laitteiden pakkaus.



## 4 Testausprosessi

Taajuusmuuttaja tulee testata ennen sen päätyä asiakkaalle. Vialliset laitteet voivat aiheuttaa suurta tuhoa asiakkaalla, kuten tuotantokatkoksia, erilaisia viivästyksiä tai omaisuus- ja henkilövahinkoja. Tämän takia laitteelle tehdään erilaisia testauksia, joilla saadaan vialliset tuotteet kiinni jo tehtaalla, eivätkä ne päädy asiakkaalle asti. Testaus koostuu kahdesta eri osasta: Hipot-esitestauksesta sekä rasisus- ja kuormitustestauksesta.

### 4.1 Hipot-esitestaus

Jännite- ja eristysvastustestin eli Hipot-esitestauksen (High Potential Test) tehtävänä on tarkastella, että laitteen eristykset ovat kunnossa eivätkä ne aiheuta henkilö- tai laitevaaraa. Hipot-esitestaus käy maksimissaan yhdeksän eri testivaihetta läpi, jotka määräytyvät laitteiden plussakoodien mukaan. Vaihteita ovat muun muassa:

- Reading DUT (Drive Under Test) information from PLC: Laitteen sarjanumero, laitetyypitiedot ja paletin sarjanumerotiedot haetaan logiikalta.
- Reading of Parameters and Limits from database: Haetaan parametrit ja asetetut raja-arvot tietokannasta.
- Insulation test 1: Laitteen pääpiirille tehdään eristysvastusmittaus 1000 V:n jännitteellä. Läpäisemiseen vaaditaan vähintään 10 M $\Omega$ . Testivaiheen kesto kolme sekuntia.
- Withstanding Voltage test 1: Laitteen pääpiirille tehdään jännitekestävyyskoe 2,5 kV jännitteellä. Vuotovirran maksimi saa olla enintään 60 mA. Testivaiheen kesto 3 sekuntia.
- Insulation test 2: Toistetaan samat toimenpiteet kuin kohdassa Insulation test 1. Mikäli laite on Marine-tyyppinen, tekee järjestelmä sille useampia eristysvastus- ja jännitekoestuksia.
- DC Voltage Measurement test

Viimeisessä vaiheessa taajuusmuuttajalle nostetaan DC-jännitteet, aluksi 50 volttia ja mitataan. Mittauksen on pysyttävä 40–60 V alueella. Kesto aika testillä on kymmenen sekuntia. Seuraavaksi jännite nostetaan 400 V:iin. Mittauksen alaraja on 160 V ja yläraja on 240 V. Testin kesto aika 60 sekuntia. Lopuksi jännitteet puretaan laitteesta, jotta sille on turvallista tehdä loput toimenpiteet ennen varsinaista kuormitustestiä. Mikäli laite viikaantuu joihinkin edellisistä kohdista, päättyy se manuaalisesti käskytettynä korjauspaikalle tutkittavaksi.

#### 4.2 Rasitus- ja kuormitustestaus

Taajuusmuuttajaa testataan varsinaisessa rasitus- ja kuormitusajossa eri tavoin. Taajuusmuuttajaa käskytetään käynnistymään, pyörimään tietyllä nopeudella sekä pysähtymään. Rasitusajon vaiheita ovat mm. AC-jännitetesti, jossa laitteeseen kytketään AC-syöttö sekä moottori ja mitataan jännitteet. Softan latauksessa ohjauskortille ja muistitikulle ladataan parametrit ja tunnistetaan taajuusmuuttajatyypin ja tarkastetaan annetut parametrit. Taajuusmuuttajalle asetetaan moottorin arvot: virrat, jännitteet, taajuus ja nopeus. Asetetaan kuorman parametrit. ID-ajon aikana tunnistetaan moottorin ominaisuudet ja luetaan parametrit.

Tämän jälkeen käynnistetään taajuusmuuttaja ja mitataan virrat sekä jännitteet. Taajuusmuuttajalle tehdään seuraavaksi kevyt kuormitustesti ja käskytetään moottoria pyörimään myös toiseen suuntaan. Testataan puhaltimen toiminta ja tehdään ylivirta- ja -jännitelaukaisut. Tehdään jarrukatkojatesti, jos sellainen on laitteessa. Laitteen turvatoiminnot testataan laitekohtaisesti.

Laitetta kuormitetaan myös suuremmalla kuormalla ja lämpötilalla. Lähes jokaisessa vaiheessa tarkastetaan laitteen antamat informaatiot (vikakoodit) siltä varalta, että testi keskeytyy järjestelmän huomattaessa jotain normaalista poikkeavaa testin aikana. Testin lopussa ladataan vielä asiakaskohtaiset sovellukset taajuusmuuttajan ohjauskortille käyttökohteesta riippuen. Viimeisenä taajuusmuuttajasta puretaan jännitteet, jonka jälkeen se on valmis loppuvarusteltavaksi.

## 5 Korjauspaikan vianetsinnän nykytila

Vikaantuva taajuusmuuttaja päätyy testausuunista korjauspaikalle joko manuaalisesti käskytettynä tai automaattisesti, jonka jälkeen siitä aletaan etsimään vikaa. Vikaantumiseen voi olla monia syitä. Asennusvirheet, komponenttiviat, kommunikointiviat, oikosulku- ja maasulkuviat, puhallinviat sekä läpilyönnit ovat yleisimpiä vikojen aiheuttajia. Harvemmissa tapauksissa vian aiheuttaja on muu kuin laite.

Korjauspaikan kehitys on jäänyt jälkeen muista linjaston osista. Globaalin kilpailun kiristyessä ja laitemäärien kasvaessa tuotannossa, on korjauspaikan toiminnan kehittämistä tullut todella ajankohtaista. Korjauspaikasta käytetään tutummin nimitystä ”repsta”, joka tulee englannin kielen sanasta Repair Station. Isoimmiksi ongelmakohtiksi repstalla on noussut sen puutteelliset prosessit ja toiminta. Eri henkilöiden käytännöt eroavat ja laitteiden korjauksien laadussa on paljon eroja. Yksittäisten laitteiden läpimenoajat saattavat kasvaa useilla tunneilla, sillä korjauksessa kestää niin kauan. Tätä kautta laitteiden läpimenoajat kasvavat ja suuremmaksi ongelmaksi se tulee silloin, kun kyseessä olisi kiireellinen toimitus, eikä laitetta saada testeistä läpi.

Repstan vianetsinnän kehittämisessä on tarvetta myös siksi, koska laboratorioon päätyy ehjiä komponentteja, jotka aiheuttavat resurssien tuhlausta. Myös roskalavalle päätyy piirikortteja ja komponentteja, jos korjaukset tehdään huolimattomasti. Tällöin on kyse taloudellisista menetyksistä. Testauskapasiteetin rajallisuus sekä testaussolun robotti ylityöllistettynä aiheuttavat sen, että vikaantuvat laitteet tulisivat saadaan korjattua ensimmäisellä kerralla. Nykytilanteessa korjattu laite saatetaan kierrättää testi-uunin kautta useaan kertaan, jos vikaa ei löydetä. Tällöin se hidastaa tai estää seuraavaa testiä tulossa olevaa laitetta pääsemättä testeihin, syntyy siis pullonkaula. Aihetta lähdettiin tutkimaan tarkemmin.

### 5.1 Haastattelut

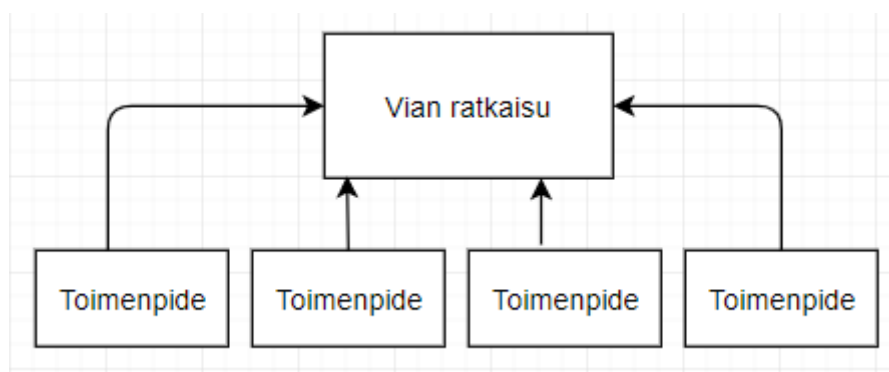
Korjauspaikan henkilöiden haastattelut suoritettiin gemba-kävelynä. Haastateltavina oli jokaisesta vuorosta vähintään pari henkilöä. Tavoitteena oli selvittää, mitä käytännössä korjauspaikalla tapahtuu, kun laite vikaantuu testeissä. Testausjärjestelmä on yhdistetty Microsoft Access -ohjelman tietokantaan, jolloin taajuusmuuttajan vikaantuminen

testeissä jättää jäljen. Myös kaikista korjauksista jää kantaan jälki. Korjauspaikalla hyödynnettiin myös viisi kertaa miksi -menetelmää kysyttäessä toimintatavoista vian etsinnässä. Taajuusmuuttajan antamasta vikalokin koodista voidaan nähdä, miten laite on testeissä vikaantunut. Vikakoodeja on useita ja ne toimivat avaimena vikaa tutkimaan lähdeittäessä.

Käytännössä gemba-kävelyn aikana kysyttiin korjausprosessin eteneminen taajuusmuuttajien antamien vikakoodien avulla, joilla saatiin muodostettua jokaiselle yleiselle vikatapaukselle oma vikalokku. Samalla saatiin korjauspaikalla työskentelevien henkilöiden osaaminen kartoitettua, sillä vastauksista voitiin päätellä, miten henkilöä on perehdytetty eri vikojen kohdalla. Korjauspaikan henkilöiden haastattelujen jälkeen haastateltiin eri sidosryhmiä ja kysyttiin heiltä mielipiteitä korjauspaikan toimintaan liittyen. Heiltä saatiin tärkeää viestiä sekä palautetta.

## 5.2 Access-tietokanta

Haastattelujen yhteydessä selvitettiin korjattujen laitteiden tietokantaa tammikuusta 2016 alkaen. Tietokannan läpikäynnillä selvisi, että samat virheet laitteiden korjauksissa toistuvat useita kertoja. Kuitenkin yhteinen nimittäjä löytyi suurimpaan osaan tapauksista. Kuvassa 12 on havainnollistettuna toistuvat toimenpiteet, joihin löydettiin yhteinen ratkaisu. Myös kirjausten perusteella tuotannon testereissä oli reilusti vikoja, jotka saatiin tietokannan läpikäynnin perusteella kumottua, sillä usein juurisyyinä testin keskeytymiselle oli viallinen laite.



Kuva 12. Toistuvat viat

Avattaessa kuvan 13 esimerkitapausta 1 on alimpana ensimmäinen korjaustoimenpide ja ylimpänä viimeinen, jonka jälkeen laite on läpäissyt testauksen. Taajuusmuuttaja on antanut vikakoodin #2281, joka viittaa laitteen kalibrointiin (ACS880 -01 Laiteopas.). Laitteeseen on vaihdettu useampi komponentti ja jokaisen välissä laitetta on käytetty testauksessa. Lopputuloksena laite saatiin korjattua, kun huomattiin lähtökiskojen eristeen olleen väärässä välissä. Oikosulku olisi todennäköisesti todettu jo ensimmäisellä korjauskerralla, jos laitteelle olisi tehty kaikki ohjeistetut mittaustoimenpiteet.

Lähtökiskon eriste asennettu väärin. W1 ja V1 oikosulussa.
#2281 Calibration. Vaihdettu virtamuuntimet.
2281 Calibration. Vaihdettu ZCU.
2281 Calibration. Vaihdettu ZINT.

Kuva 13. Esimerkitapaus 1.

Laitteen läpimenoaikaa ovat kuvan 13 korjaustoimenpiteet pidentäneet noin viidellä tunnilla, joka vastaa noin vastaavan taajuusmuuttajan kokoonpanoa alusta loppuun saakka testaus mukaan lukien.

Myös kuvan 14 esimerkissä 2 alimpana on ensimmäinen korjaustoimenpide ja ylimpänä viimeinen, jonka jälkeen laite on läpäissyt testauksen. Esimerkitapauksen kirjauksien perusteella ei voida päätellä, mikä vikakoodi on laitteessa ollut. Puutteellinen kirjaus tuottaa ongelmia jälkeensä selvitettäessä mistä viasta on ollut kyse. Kirjauksen arvo on siis olematon. Esimerkin viimeisellä korjauskerralla on todettu, että hilapiuha on asennettu väärinpäin tyristorille. Kunnollisella laitteen tarkastelulla, läpikäynnillä ja mittauksilla oltaisiin kyseinen vika voitu myöskin todeta jo ensimmäisellä korjauskerralla.

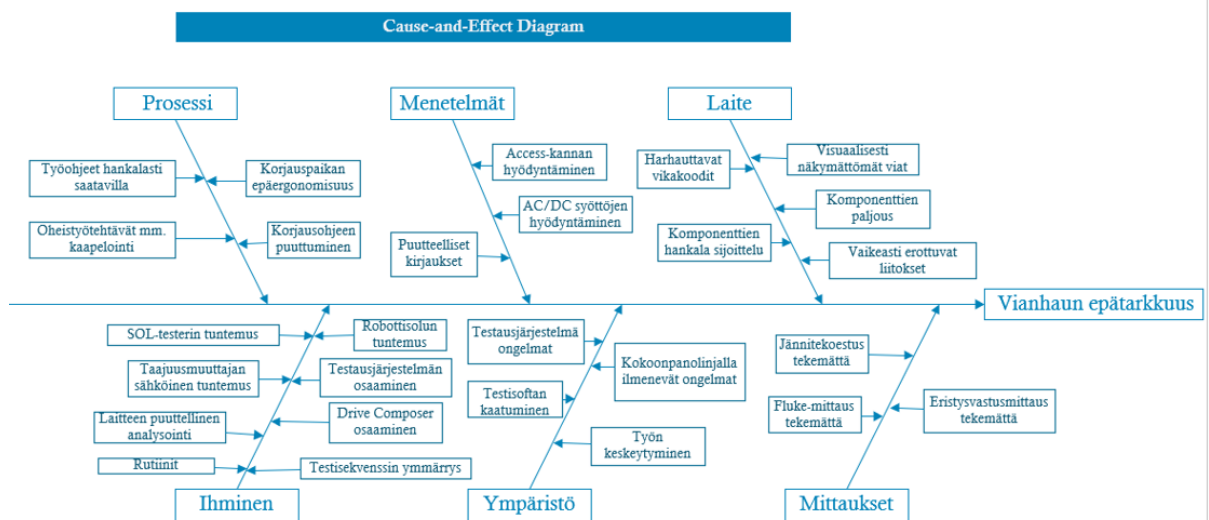
Hilapiuha lipsahtanut väärinpäin tyristorille.
Vaihdettu ZINT.
Vaihdettu AIBP.
Vaihdettu AINP.

Kuva 14. Esimerkitapaus 2.

Kyseisen laitteen läpimenoaika kasvoi turhien korjausten myötä noin kuudella tunnilla. Esimerkkitapauksissa vaihdettiin useita komponentteja. Huonolla tuurilla nämä ehyet komponentit saattoivat päätyä joko roskikseen tai laboratorioon tutkittavaksi, josta aiheutui taloudellisia tappioita.

## 6 Kalanruotokaavio käytännössä

Tietokannan läpikäynnin ja haastattelujen jälkeen lähdettiin soveltamaan Lean-työkaluja käytännössä. Ajatuksena oli tuoda ilmi, miksi vianetsinnän tulokset vaihtelevat asentaja- ja vuorokohtaisesti niin paljon. Menetelmänä käytettiin luvussa 3.2 esiintyvää kalanruotokaaviota sekä luvussa 3.3 esiintyvää viisi kertaa miksi-menetelmää. Kalanruodon päähän laitettiin mahdollisimman hyvin ongelmaa kuvaava sana ja keskusteltiin asiasta yhdessä asentajien kanssa. Tuloksena saatiin hyvin kattava kooste eri syistä ja seurauksista, jotka vaikuttavat vianetsinnän epätarkkuuteen. (Kuva 15.)



Kuva 15. Kalanruotokaavio

Seuraavassa luvussa avataan edellisen kuvan 15 osa-alueita, joilla on vaikutusta vianhaun epätarkkuuteen.

## 6.1 Prosessi

Alla on esiteltynä prosessin tuomat ongelmat korjauspaikalla, jotka vaikuttavat vianetsinnän tarkkuuteen negatiivisesti:

Työohjeet ovat hankalasti saatavilla

Tietokoneet, joiden kautta työohjeet avataan, sijaitsevat kaukana korjattavasta laitteesta. Tämä tuottaa ongelmia erityisesti henkilölle, jolla ei ole kokoonpanokokemusta korjattavasta laitemallista. Tällöin on hankala hahmottaa, mistä vikaa lähdetään hakemaan, jos komponenttituntemus puuttuu. Toisena syynä voidaan pitää jokaiselle raamille olevaa erikseen avattavaa työohjetta, joka jää helposti tekemättä, sillä se vie runsaasti aikaa. Työohjeen avulla nähdään uusimmat revisiomuutokset laitteessa ja komponenttien asennuksessa.

Korjauspaikan epäergonomisuus

Työskentelyetäisyys on epäergonominen. Laitetta ei saa lähemmäksi asentajaa, koska laite makaa paletilla. Korjattavaa laitetta pääsee tutkimaan vain yhdeltä puolelta ja jotkin liitokset näkyisivät paremmin, jos laitetta voisi käänellä. Myös joissain tapauksissa laitetta pitää väkisin kääntää, jotta esimerkiksi puhaltimen saa irrotettua. Laitetta purettaessa kertyy paljon komponentteja, jolloin tila loppuu helposti kesken. Tällöin myös ESD-vauriot ovat mahdollisia piirikorteilla.

Oheistyötehtävät

Riippuen korjauspaikan henkilöresurssista, joutuu henkilö keskeyttämään vianetsinnän toisen laitteen testikaapeloinnin ajaksi ja palaamaan tämän jälkeen korjattavan laitteen pariin. Laitteessa on kymmeniä liitoskohtia kaapeleilla sekä kiskoilla. Liitokset saattavat jäädä kiinnittämättä tai ne kiinnitetään huonosti, jos työ keskeytyy.

Korjausohjeen puuttuminen

Ainoa käytössä oleva korjausohje on paperilla oleva ACS880-ohjelmointiopas, joka koskee yleisimmin asiakkaalla vikaantuneita laitteita. Ohjelmointiopas ei palvele tuotannon korjauspaikan tarpeita ja sen korjaustoimenpiteet saattavat helposti ohjata väärään paikkaan. Prosessin puute aiheuttaa sen, että jokainen toimii tietyn vian kohdatessa vähän eri tavalla.

## 6.2 Menetelmät

Perehdytyksen puute aiheuttaa usein vian löytymistä helpottavien menetelmien käytön. Seuraavaksi esiteltynä menetelmien tuomat ongelmat, jotka vaikuttavat vianetsintään negatiivisesti:

### Access-kannan hyödyntäminen

Jokainen vikaantunut laite jättää jäljen tietokantaan. ”Vikaantuneet koodilla” -kyselyä ei hyödynnetä tarpeeksi, joka helpottaisi vian etsintää, sillä sen avulla voidaan hakea koodiperusteisesti tietoa mitä toimenpiteitä on aikaisemmin tehty. Kaikki eivät ole edes tietoisia kyseisestä ominaisuudesta.

### Puutteelliset kirjaukset

Tietokannasta on vaikea saada myöhemmin vastausta, jos kirjaus ei ole tarpeeksi kattava. Ohjelmassa oleva tila on liian pieni, johon analyysi kirjoitetaan. Tällöin tila loppuu kesken ja sen takia analyysi jää puutteelliseksi. Myös korjaajan nimen puute vaikeuttaa lisätiedon tarpeessa.

### AC/DC-syöttöjen hyödyntäminen

Laitteen testaamisessa käytetään laitetyypistä riippuen joko 230 V, 400 V tai 690 V jännitesyöttöjä. Jännitesyötöt voidaan toteuttaa joko tasajännitteellä tai vaihtojännitteellä.

Kytkemällä laitteeseen sopivat jännitteet voi laitetta purkamatta nähdä syttyykö tarvittaviin komponentteihin valot, jotka kertovat saavatko piirikortit virtaa. Mikäli komponentteihin ei syty valot, on virransyötössä häiriö tai se on poikki kokonaan.



### 6.3 Laite

Taajuusmuuttaja on monimutkainen laite, joka vaatii hyvän sähkötekniikan tuntemuksen, jotta vikojen etsintä onnistuu sujuvasti. Laitteen tuomat ongelmat, jotka vaikuttavat viansintään negatiivisesti:

#### Harhauttavat vikakoodit

Taajuusmuuttajan vikaantuessa järjestelmä antaa viitteen siitä, minkä tyyppinen vika on kyseessä. Vaihtoehtoja on kymmeniä ja ne voivat viitata esimerkiksi syötön vaihekatkokseen, korkeaan lämpötilaan tai puhaltimen liian suureen kierrosnopeuteen. Laitteesta riippuen voi laitteen vikalokiin ilmaantua useampi vikakoodi, joista ei voi päätellä mikä sen on aiheuttanut tai mikä vikakoodeista on todenperäinen.

#### Visuaalisesti näkymättömät viat

Kyseinen ongelma viittaa komponenttien sisäisiin vikaantumisiin. Korjauspaikalla ei ole tarvittavia työkaluja piirikorttien tutkimiseen, esimerkiksi oskilloskooppi, jota laboratorio käyttää. Käytössä oleva mittari on yleismittari, jonka avulla ei päästä kovin syvälle komponenttitasolle tutkimaan vian syytä.

Oskilloskooppi on elektroniikan mittalaite, joka piirtää mitattavan sähkösignaalin kuvaajan ajan funktiona. Kuvaajan X-akselilla on aika, jota voidaan säätää laajalla skaalalla. Y-akseli näyttää signaalin amplitudin eli värähdyslaajuuden, joka on yleensä jännite. Oskilloskooppia käytetään mittaamaan aaltomuotoa, signaalin amplitudia ja taajuutta ja sen avulla havaitaan mahdolliset signaalin häiriöt ja kohinat. [14.] Kuvassa 16 esiintyy tyypillinen oskilloskooppi.



Kuva 16. Oskilloskooppi [14.]

Komponenttien paljous ja hankala sijoittelu

Taajuusmuuttaja koostuu kuristimista, tyristoreista, IGBT-moduuleista, erikokoisista kondensaattoreista, diodeista, suuresta määrästä johtoja, piirikorteista (esimerkki kuvassa 15) sekä sadoista ruuveista.

Komponentteja on useita, ja ne yhdistettynä hankalaan sijoitteluun laitteessa tuottavat ne hankaluuksia erityisesti ilman kokoonpano-osaamista olevalle sekä työhön perehtyvälle. On vaikea etsiä vikaa laitteesta tuntematta kokoonpanojärjestyksiä, sekä komponenttien nimityksiä tai käyttötarkoituksia.



Kuva 15. Taajuusmuuttajan piirikortti

## 6.4 Mittaukset

Mittauksilla poistetaan vaaratekijöitä, todetaan laitteiden toimivuus ja varmistetaan niiden turvallinen käyttö. Mittausten puuttumisten tuomat ongelmat, jotka vaikuttavat viaretsintään negatiivisesti:

### Oikosulkumittaus tekemättä

Oikosulkumittauksen tehtävänä on tutkia, ettei mikään komponentti ole yhteydessä toisiinsa eri potentiaaleissa, jotka voivat aiheuttaa pahimmassa tapauksessa räjähdysten. Oikosulkumittaus toteutetaan yleismittarilla asettamalla asteikko ohmi ( $\Omega$ )-alueelle ja mittaamalla plus- ja miinusnapojen sekä vaiheiden välit. Jos selkeä yhteys löytyy, voi esimerkiksi eriste puuttua vaiheiden väliltä. Oikosulut voivat jäädä huomaamatta ja ne näkyvät vasta testatessa. Oikosulut voidaan todeta purkamatta laitetta mittaamalla.

Myös latausvastuksen toimivuus varmistetaan mittauksella asettamalla mittari diodiasentoon ja asettamalla mittarin positiivisen puolen laitteen miinusnapaan ja negatiivisen puolen L1-vaiheen kanssa. Jos yleismittari ei näytä lukemaa, on yhteys katkennut.

### Jännitekoestus tai eristysvastusmittaus tekemättä

Jännitekoestuksen tarkoituksena on varmistua siitä, että taajuusmuuttajan komponentit kestävät tarpeeksi kovat jännitteet sähköpiirien ja maadoituspiirin välillä. Eristysvastusmittauksen avulla varmistetaan, että sähköiset komponentit ovat riittävästi eristettyjä maasta.

Näillä menetelmillä nähdään, onko vuotovirtaa runkoon tai maihin. Voidaan todeta ovatko eristeet kunnossa tai puuttuvatko ne. Laitteessa voi olla myös maasulku, jolloin jännitteinen osa on yhteydessä maihin ja voi aiheuttaa henkilö- ja laitevahinkoja.

## 6.5 Ympäristö

Ympäristö tuo omat häiriötekijänsä, jotka yleensä keskeyttävät laitetta korjaavan henkilön työskentelyn. Ympäristön tuomat ongelmat, jotka vaikuttavat vianetsintään negatiivisesti:

### Testausjärjestelmäongelmat

Luvussa 5 käsitellyn testausprosessin eri osissa voi esiintyä ongelmia, joiden tunnistaminen on hankalaa. Sähkökatkon tapahtuessa testi keskeytyy, joten se voidaan helposti tulkita laiteviaksi, sillä vikakoodi ei välttämättä ole tällöin nähtävissä.

### Testisoftan kaatuminen

Testisofta ei anna kaatuessaan mitään signaalia. Tällöin laite on testeissä niin kauan, kunnes huomataan katsoa näytöltä testausaika. Testausaika pääsee näissä tapauksissa venymään useisiin tunteihin. Myös UPS-katkokset aiheuttavat testisoftan kaatumisen.

### Työn keskeytyminen

Työ voi keskeytyä useasta syystä. Kokoonpanolinjalla ilmenevät ongelmat keskeyttävät laitteen korjausta suorittavan henkilön. Ongelmat liittyvät yleisesti työkaluihin sekä komponentteihin. Toisen laitteen vikaantuminen testiunissa samanaikaisesti keskeyttää työn. Robottisolut voivat jumiutua ja korjauspaikan henkilö on vastuussa prosessin ylläpidosta, joten tällöin työ keskeytyy.

## 6.6 Ihminen

Kalanruotokaavion kohtaan ihminen saatiin useita tekijöitä, joilla on vaikutus vianetsintään epätarkkuuteen. Tekijöitä ovat:

### Rutiinit

Laitteita ei tutkita tarpeeksi, vaan ne laitetaan takaisin testiin liian helposti ja vasta toisella kerralla tutkitaan vika oikeasti. Laitemäärät ovat olleet pienempiä, eikä tähän ole kiinnitetty huomiota, sillä testaus ei ole ollut pullonkaulana, eikä mitattava kohde. Testausjärjestelmä on ollut optimoitu paremmin vanhalle tuotteelle, jolloin korjauksien jälkeen laitteet laitettiin suoraan testiuuniin. Tulevaisuudessa testauksen suorittaminen on tarkoitus tapahtua jo korjauspaikalla, jotta testiuunin kuormitusta saataisiin vähennettyä.

#### Robottisolun tuntemus

Testiuunin laitteita liikuttelee robotti eri testipaikkojen ja kuljettimien välillä. Mikäli robotin käskytyksissä tulee häiriöitä voi laite jumiutua testipaikalle, eikä testaus välttämättä lähde käyntiin. Robottisolun koulutuksista ei ole huolehdittu tarpeeksi joka vuorossa, vaan osaaminen on keskittynyt vain tietyille henkilöille. Tämä aiheuttaa sen, että näiden henkilöiden poissa ollessa voidaan luulla vikojen olevan laitteessa.

#### Testausjärjestelmän osaaminen

Kuten robottisolun tuntemuksella, voi testausjärjestelmässä tulla yllättäviä ongelmia, jotka ovat helposti tulkittavissa laitevioiksi, jos laitteen testi keskeytyy. Henkilöiden koulutus ja tiedonkulku ei ole riittävä kaikkien korjauspaikalla työskentelevien osalta.

#### Drive Composer PC-työkalun osaaminen

Drive Composer PC-työkalu on ABB:n kehittämä sovellus taajuusmuuttajien ylläpitoon, käynnistykseen sekä vian paikantamiseen. Sen avulla voidaan asettaa taajuusmuuttajalle parametrejä, pyörittää moottoria halutulla nopeudella molempiin suuntiin, testata puhaltimen toiminta, nähdä taajuusmuuttajan antamat informaatiot, esimerkiksi jännitteet, virrat, tehot sekä laitteessa ilmenevät vikakoodit.

Kaikkia henkilöitä ei ole koulutettu testaamaan esimerkiksi puhaltimen sekä moottorin pyörittämistä korjauspaikalla, jonka vuoksi testaus tapahtuu testiuunissa. Näillä toimenpiteillä nähtäisiin viat jo korjauspaikalla ja voitaisiin tehdä korjaavat toimenpiteet kuormittamatta testiuunia.

#### Taajuusmuuttajan sähköinen tuntemus

Taajuusmuuttajan riittävä sähköinen tuntemus auttaa henkilöitä hahmottamaan miten jokin vika ilmenee ja voitaisiin suoraan rajata jotkin komponentit vian etsinnän ulkopuolelle. Henkilöiden koulutuksen puute aiheuttaa sen, että vikaa lähdetään hakemaan täysin väärästä paikasta ja vaihdetaan komponenttia ilman syvempää tietämystä mitä ollaan tekemässä.

#### Testisekvenssin ymmärrys

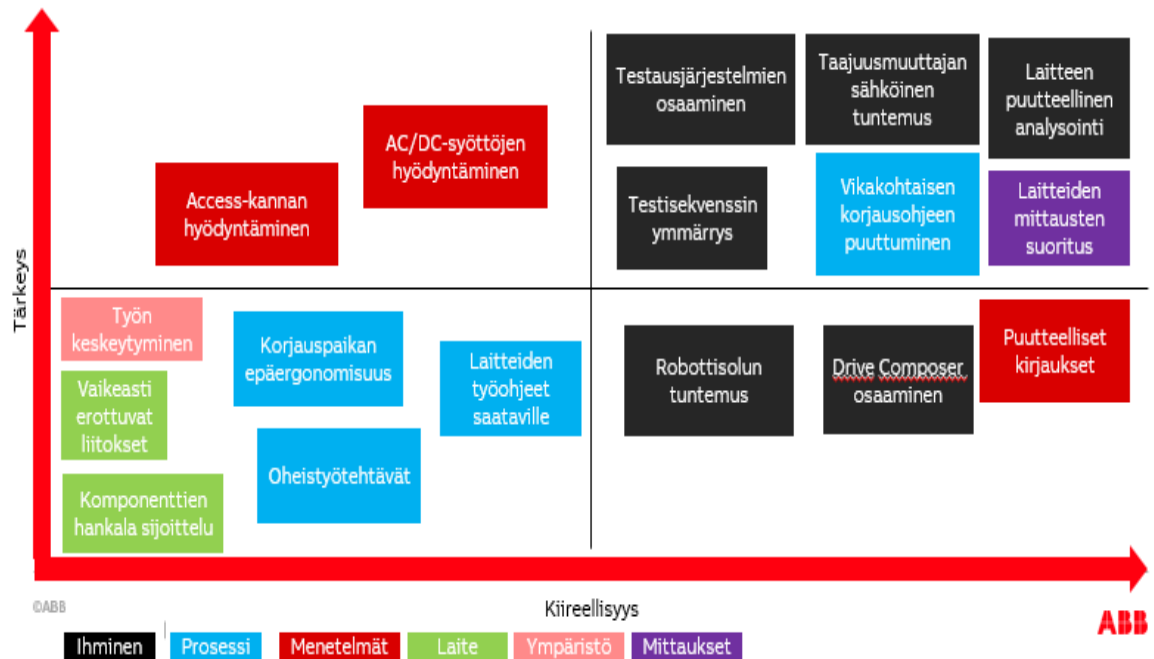
Testisekvenssi liittyy luvussa 5.2 esiintyneeseen rasitus- ja kuormitustestaukseen. Ymmärtämällä tarpeeksi testisekvenssiä voidaan nähdä missä kohtaa testiä laite vikaantuu. Vian paikannus onnistuu helpommin, kun ymmärretään, onko laite vikaantunut esimerkiksi moottorin pyörittämisessä.

#### 6.7 Vianetsinnän avaintavoitteet

Vianetsinnän analysoinnin viimeissä vaihessa oli tarkoitus muodostaa kalanruodon eri osista koostuva kuvaaja (kuvio 16) ja asettaa avaintavoitteet, joiden avulla vianetsintää lähdetään kehittämään. Avaintavoitteiden avulla on helpompi visualisoida syitä

ulkopuolisille, mistä vianetsinnän epätarkkuus johtuu. Kuviota luetaan siten, että oikealla ylhäällä on tärkein ja kiireellisin asia mikä vaikuttaa vianetsintään.

Mitä ylempänä asia on kuviossa, sitä tärkeämpi se on korjata. Korjattavan asian kiireellisyys on määritetty vaaka-akselille.



Kuvio 16. Vianetsinnän avaintavoitteet

### Tärkeimmät kehityskohteet

Kuten taulukosta nähdään, on syytä lähteä panostamaan eri henkilöiden koulutukseen korjauspaikalla, sillä se on suurin tekijä vianetsinnän epätarkkuudessa. Henkilöiden kouluttamisella saadaan parempi ymmärrys laitteen toiminnasta ja sen sähköisistä ominaisuuksista. Testausjärjestelmästä on suotavaa pitää perehdytyskoulutuksia, johon kaikki korjauspaikalla työskentelevät osallistuvat. Kaikille henkilöille pitää saada sama tieto mittausten suorittamisesta ja määrittää ne tulevaan korjausprosessiin, jonka avulla saadaan selkeät standardit työskentelylle. Osana korjausprosessia vikakohtaisella

korjausohjeella saadaan eri vioille selkeä vikapolku, johon voitaisiin sisällyttää kaikki tarvittavat toimenpiteet ennen laitteen uusintatestausta.

Vaikutukset tuotannon tehokkuuteen

Tehostamalla vianetsintää korjauspaikalla, saadaan vapautettua henkilöresursseja muihin työtehtäviin. Arvioitu laitteen korjausaika on noin puoli tuntia. Huonoimmassa tapauksessa korjauskertoja voi tulla jopa viisi, jolloin korjauksen läpimenoajaksi tulee noin 2,5 tuntia. Mahdollisuus on jopa 80 % tehokkaampaan vianetsintään, jos testauskertoja on viisi. Laitteen testaus kestää keskimäärin noin tunnin. Läpimenoaika kasvaa valtavaksi, jos vika ilmenee vasta esimerkiksi asiakassovellusta ladattaessa testauksen lopussa (testausaika noin 80 minuuttia) ja sama vika toistuu useamman kerran. Vikakohtaisen korjausohjeen avulla saadaan testauskertoja vähennettyä jopa kahteen, jonka jälkeen laite lähtee laboratorion tutkittavaksi. Tällä saadaan merkittäviä taloudellisia säästöjä, kun testauskapasiteettia vapautuu käyttöön.

Materiaalia romutetaan viikoittain sadoilla euroilla ja henkilöresursseja käytetään ehjien komponenttien tutkimiseen. Suuri säästöpotentiaali syntyy, kun komponentteja ei vaihdella enää mielivaltaisesti, vaan komponentit tutkitaan kunnolla. Selkeällä prosessilla myös tuotannonsuunnittelu voi reagoida nopeammin uusintatilauksiin, jos laite päättyy romutukseen.

## 7 Yhteenveto

Insinööriyö käsitteli ABB Drives -yksikön taajuusmuuttajien korjauspaikkaa, jonka kehitys on jäänyt jälkeen muista tuotantolinjaston osista. Taajuusmuuttajien korjaus toimii pullonkaulana, eikä virtaus ole sujuvaa. Laitteiden korjausten läpimenoajat vaihtelevat suuresti ihmis- ja vuorokohtaisesti. Työssä tehtyjen selvitysten avulla saatiin kattava tietopaketti siitä, mistä vianetsinnän epätarkkuus johtuu.

Syitä on niin testausjärjestelmässä, prosessissa, menetelmissä, kuin ihmisessäkin. Selvitykset toteutettiin erilaisten Lean-menetelmien avulla. Eniten kehityskohteita tämän insinööriyön mukaan on ihmisten koulutuksessa, johon panostamalla tulevaisuudessa saadaan korjausten läpimenoaikaa parannettua. Tiedonkulkuun panostaminen ja tiedon



jakaminen on myös avainasemassa tulevaisuuden korjauspaikkojen toiminnan kehittämisessä.

Työn aikana pidettyjen palavereiden myötä eri sidosryhmät ymmärsivät korjauspaikan kehitystarpeet ja saivat informaatiota, jonka perusteella oletukset menetelmistä ja osamisista saatiin muutettua. Vianetsinnän avaintavoitteet -kuvion myötä saatiin näkemys, mitkä ovat tärkeimpiä asioita, joihin täytyy puuttua nopeimmin laadun ja läpimenoajan parantamiseksi. Kun oikea prosessi saadaan, helpottuu uuden henkilön perehdyttäminen ja viat löydetään tehokkaammin. Uusien testausjärjestelmien kehityksessä huolehditaan paremmin henkilöiden perehdytyksestä sekä koulutuksen ylläpidosta.

## Lähteet

- 1 ABB lyhyesti. 2019. Verkkoaineisto. <<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>>. Luettu 14.10.2019
- 2 ACS880-01 quick installation guide for frames R6 to R9. 2019. Verkkoaineisto. <<https://bit.ly/2VNj4nE>>. Luettu 17.10.2019
- 3 ACS880-taajuusmuuttajamoduulit. 2019. Verkkoaineisto. <<https://new.abb.com/drives/fi/pienjannitetaajuusmuuttajat/teollisuustaajuusmuuttajat>>. Luettu 16.10.2019
- 4 ACS880-01 Laiteopas. 2017 Rev.M. Verkkoaineisto. <<https://bit.ly/32nvRzv>>. Luettu 17.10.2019
- 5 SähköNet. Verkkoaineisto. <<https://bit.ly/35KuuND>>. Luettu 18.10.2019
- 6 Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto. 1997. Taajuusmuuttajat: käyttö, asennus, häiriöt.
- 7 Tätä on Lean. Verkkoaineisto. <<https://bit.ly/2JaJElv>>. Luettu 21.10.2019
- 8 Andersen, Björn, Fagerhaug, Tom. (2006). Root Cause Analysis, Simplified Tools and Techniques. 2. painos.
- 9 iSixSigma.2019. Verkkoaineisto. <<https://bit.ly/2bbvEao>>. Luettu 21.10.2019
- 10 Kanbanize.2019. Verkkoaineisto. <<https://bit.ly/32DdJBU>>. Luettu 22.10.2019
- 11 Six Sigma Material.2019. Verkkoaineisto. <<https://bit.ly/3443K9j>>. Luettu 24.10.2019
- 12 Management System. Verkkoaineisto. <<https://bit.ly/332y5ok>>. Luettu 30.10.2019
- 13 The 5 Principles of Lean.2019. Verkkoaineisto. <<https://bit.ly/2N0bq6w>>. Luettu 30.10.2019
- 14 Introduction to Oscilloscopes. Verkkoaineisto. <<https://bit.ly/2NBOjzJ>>. Luettu 11.11.2019