Toni Velama

Taajuusmuuttajien korjauspaikan standardointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

1.12.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Toni Velama
Otsikko:	Taajuusmuuttajien Korjauspaikan Standardointi
Sivumäärä:	30 sivua + 2 liitettä
Aika:	1.12.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine:	Koneautomaatio
Ohjaajat:	Production Process Engineer Ina Jouppila Lehtori Pekka Hirvonen

---

Insinöörityön tavoitteena oli standardoida taajuusmuuttajien korjaus- / testauspaikan työ- ja toimintatapoja sekä työohjeita ABB Oy:n Drives-yksikön Large Drives -tuotantolinjalla. Näiden tavoitteiden taustalla oli virheiden merkittävä määrä korjaus- / testauspaikalla.

Standardointi aloitettiin nykytilan kartoittamisella, johon sisältyi korjauspaikan päätehtävien, vastuualueiden, laatudatan ja työvirheiden läpikäynti sekä työohjeistuksien sen hetkisen tilanteen tutkiminen. Työhön kuului myös ideointi- sekä implementointivaiheet. Ideointivaiheessa suoritettiin kysely työntekijöille kehitysehdotuksien löytymiseksi ja ongelmakohtien kartoittamiseksi. Havaittujen ongelmien, puutteiden ja ideoiden pohjalta todettiin tarve luoda uusia työohjeita ja -tapoja sekä toteuttaa työskentelyä helpottavia muutoksia implementointivaiheessa. Muutoksien seurauksena työvirheiden määrä vähentyisi ja laatu kehittyisi paremmaksi.

Insinöörityön lopputuloksena saatiin ajankohtaiset standardoidut työohjeet korjaus- / testauspaikan työpisteille. Kattavan alkukartoituksen, henkilöstön kyselyn sekä teorian pohjalta tehtiin useita parannuksia ja toimenpiteitä työympäristön kehittämiseksi. Ohjeiden saatavuutta helpotettiin digitaalisia sijainteja vähentämällä ja erottamalla ne muista linjan ohjeista. Fyysiset ohjeet sijoitettiin työpisteiden välittömään läheisyyteen. Työympäristöä kehitettiin muun muassa testausvälineistön visualisoinnilla sekä virheitä estävillä ja ehkäisevillä muutoksilla. Osa muutoksista loi myös pohjaa tuleville kehitystoimenpiteille esimerkiksi Poka-Yoke-menetelmän käyttöönottamiselle tietyissä työvaiheissa.

Avainsanat: Korjauspaikka, Standardointi, Standardisointi, Työtavat, Vakiointi, LEAN, 5S, Poka-Yoke

Abstract

Author:	Toni Velama
Title:	Standardization of Frequency Converter Repair Station
Number of Pages:	30 pages + 2 appendices
Date:	1 December 2022
Degree:	Bachelor of Engineering
Degree Programme:	Mechanical Engineering
Professional Major:	Machine automation
Supervisors:	Ina Jouppila, Production Process Engineer Pekka Hirvonen, Senior Lecturer

---

The goal of the Bachelor's thesis was to standardize the work and operating methods of the frequency converters repair / testing station, as well as work instructions on the Large Drives production line of ABB Oy Drives unit. Why the need for the standardization work had been found necessary was the significant number of mistakes at the repair / testing station.

Standardization started with analyzing the current state, which included an investigation of the main tasks, areas of responsibility, quality data, work mistakes and examining the current state of the work instructions of the repair station. The thesis also included brainstorming and implementation phases. In the brainstorming phase, a survey was conducted for employees to discover development proposals and to find problem areas. Based on the observed problems, shortcomings and ideas, a need was identified to create new work instructions and methods and implement changes that facilitate work during the implementation phase. As a result of the changes, the number of work mistakes would decrease and the quality would improve.

As the result of the thesis, current standardized work instructions were created for the repair / testing station of the workstations. Based on a comprehensive initial survey, personnel survey and theory, several improvements and measures were taken to develop the work environment. The availability of instructions was improved by reducing the number of digital locations and separating them from other instructions of the production line. Physical instructions were placed in the immediate vicinity of the workstations. The work environment was developed, among other things, by visualizing the testing equipment and by making changes that prevent and avoid mistakes. Some of the changes also laid the foundation for future development measures, for example when introducing the Poka-Yoke method in certain work phases.

Keywords: Repair station, Standardization, LEAN, 5S, Poka-Yoke

Sisällys

Lyhenteet

1 Johdanto 1

1.1 ABB 1
1.2 ABB Suomessa 2

2 Taajuusmuuttaja 2

3 Lean 3

3.1 5S / 6S 4
3.2 Jatkuva parantaminen – Kaizen 5
3.3 Standardointi / Standardisointi 6
3.4 Standardisoitu työtapa 7
3.5 Poka-Yoke 8

4 Large Drives (LD) 10

4.1 First Pass Yield (FPY) / Throughput Yield (TPY) 11
4.2 Korjauspaikka (Repair station, Repsta) 12
4.3 HIPOT (High Potential Test) 13
4.4 LD1-testausjärjestelmä 13
4.5 LD 2 14

5 Korjauspaikan nykytilan kartoitus 14

5.1 Laatudata 14
5.2 Laiteraamit 17
5.3 Virheluokat ja työvirheet 19
5.4 Työympäristö ja työohjeet 21
5.5 Työtavat ja henkilöstön kysely 22

6 Toimenpiteiden ideointi ja suunnittelu 24

7 Toimenpiteiden implementointi 26

8 Lopputulokset ja jatkosuunnitelmat 28

9 Yhteenveto 30

Lähteet 1

Liitteet

Liite 1: Kyselylomake Korjauspaikan Työntekijöille (vain työn tilaajan käyttöön)
Liite 2: Uudet työohjeet korjauspaikalle (vain työn tilaajan käyttöön)

Lyhenteet

ABB: Asea Brown Boveri; ruotsalaissveitsiläinen teollisuuden liikeorganisaatio, joka toimii laajasti teknologian alueella.

FPY: First pass yield (FPY), numeerinen arvo, joka saadaan jakamalla prosessiin menevät yksiköt prosessista ulos tulevilla yksiköillä määritellyn ajanjakson sisällä.

CPM: Collaborative Production Management; Menetelmä erilaisten, mutta toisistaan riippuvaisten tuotantojärjestelmien yhdistämiseksi tuottavuuden optimoimiseksi. Tietokoneistetut CPM-ratkaisut ovat ohjelmistosovelluksia, joiden avulla prosessivalmistajat voivat suunnitella, seurata, analysoida ja ohjata toimintaansa.

5S Seiri (Sorteeraus), Seiton (Systematisointi), Seiso (Siivous), Seiketsu (Standardisointi), Shitsuke (Seuranta).

6S 5S + Safety (Turvallisuus) / Self-discipline (Itsekuri).

LD: Large Drives; ABB Pitäjänmäen Drives-yksikössä toimiva tuotantolinja. Linja on jaettu kahteen erilliseen alueeseen LD1 ja LD2.

OPF One Piece Flow; Yhden kappaleen virtaus, jossa tuote siirtyy eteenpäin prosessissa ilman varastointeja tai eriksi jakamista.

Repsta: Repair Station; LD-osaston korjauspaikka.

PE: Product Engineering; Tuotesuunnittelu

RD: Research & Development; Tutkimus ja kehitys

SAP: System Analysis Program Development; saksalainen yritys, joka on erikoistunut yritysten tuotannonohjausjärjestelmiin liittyviin tuot-teisiin.

HIPOT: High Potential Test; sähköinen testi, joka suoritetaan komponenteille tai tuotteille eristyksen toimivuuden varmistamiseksi.

EMC: Electromagnetic Compatibility; elektronisen laitteen tai järjestelmän kyky toimia luotettavasti luonnollisessa toimintaympäristössään.

1 Johdanto

Insinöörityön tavoitteena oli standardoida taajuusmuuttajien korjaus- / testauspaikan työ- ja toimintatapoja sekä työohjeita, sillä korjauspaikan virheiden määrän huomattiin olevan merkittävä verrattuna muihin työvirheisiin ABB Oy:n Drives-yksikön Large Drives-tuotantolinjalla. Työstä rajattiin pois korjaus- / vikatilanteiden ohjeistus sekä perehdytysohjeet. Työ toteutettiin ABB Drives -yksikön Large Drives -tulosyksikön ja Operations Development -osaston alaisuudessa.

Standardointi suunniteltiin alkavaksi nykytilan kartoittamisella, johon sisältyi korjauspaikan päätehtävien, vastuualueiden, laatudatan ja työvirheiden läpikäynti sekä työohjeistuksien sen hetkisen tilanteen tutkiminen. Työhön kuului myös ideointi- sekä implementointivaiheet. Ideointivaiheessa suoritettiin kysely työntekijöille kehitysehdotuksien löytymiseksi ja ongelmakohtien kartoittamiseksi. Havaittujen ongelmien, puutteiden ja ideoiden pohjalta luotiin uusia työohjeita ja -tapoja sekä toteutettiin työskentelyä helpottavia muutoksia viimeisessä vaiheessa, joilla työvirheiden määrä vähentyisi ja laatu kehittyisi paremmaksi tämän seurauksena. Tehtyjen toimenpiteiden hyötyä tullaan mittaamaan laatudataa, työvirheprosenttia sekä tuotantolinjan FPY:tä (First Pass Yield) seuraamalla.

1.1 ABB

ABB on globaali teknologiayritys, jonka tarjontaan kuuluu muun muassa sähköistystuotteet, prosessiautomaatio, robotit ja liikkeenohjaus sekä Motion divisioona, johon sisältyy moottorit, generaattorit, taajuusmuuttajat sekä huolto- ja elinkaaripalvelutuotteet [1].

Yhtiö palvelee maailmanlaajuisesti energia-, teollisuus-, liikenne- ja infrastruktuurialojen asiakkaita. ABB kehittää sähköistä liikennettä kansainvälisen autoliiton kanssa täysin sähköisen Formula E -sarjan nimikkopartnerina. ABB:n historia ulottuu yli 130 vuoden taakse ja se toimii yli 100 maassa työllistäen noin 105

000 henkilöä. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissä. [1.] Globaali liikevaihto oli 26,1 miljardia dollaria vuonna 2020 [2].

1.2 ABB Suomessa

Suomessa ABB on yksi maan suurimpia teollisia työnantajia ja pääkaupunkiseudun suurin. Suomen ABB on perustettu 1989, kun Sveitsin ABB osti Oy Strömberg Ab:n. [3.] ABB Oy:n liikevaihto oli vuonna 2019 noin 2 miljardia euroa [4]. Työntekijöitä Suomessa on noin 5000 ja toiminta on jakautunut noin 20 paikkakunnalle. Tuotantokeskittymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa, Porvoossa ja Haminassa. [3.]

- Helsinki, Pitäjänmäki: moottorit, generaattorit, taajuusmuuttajat, CPM-energianhallintajärjestelmät ja paperikonekäyttöratkaisut
- Helsinki Vuosaari, Hamina: Azipod® -ruoripotkurijärjestelmät
- Vaasa: moottorit, pienjännitetuotteet ja -järjestelmät, sähkön siirto- ja jakelujärjestelmät, voimantuotannon järjestelmät, prosessiteollisuuden kokonaisprojektointi
- Porvoo: sähköasennustuotteet. [3.]

2 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja (Kuva 1) on tehoelektroniikkalaite, jonka nimi tulee sen käyttötarkoituksesta säätää oikosulkumoottorin nopeutta portaattomasti moottorin syöttöjännitteen taajuuden muuttamisella. Ilman taajuusmuuttajaa oikosulkumoottorin, jota myös vaihtovirtasähkömoottoriksi kutsutaan, tehokas ja tarkka säätäminen ei onnistu. Napaparilukua tai jättämää muuttamalla on perinteisesti voitu muuttaa sähkömoottoreiden pyörimisnopeutta. Tämä onnistuu myös erilaisten mekaanisten vaihteistojen sekä jarrujen avulla. [5.]

Taajuusmuuttajan käytön etuna saavutetaan huomattavia energiasäästöjä, koska se mahdollistaa oikosulkumoottorin pyörimisnopeuden säätämisen prosessin tarpeen mukaan. Tämän tekniikan avulla pystytään pienemmillä käynnis-

tysvirroilla vähentämään sekä työkoneiden mekaanista rasitusta käynnistettäessä että sähköverkon kuormitusta. Uudet teknologiat ja sovellusohjelmat ovat parantaneet taajuusmuuttajien käyttötarkoituksia huomattavasti sekä taajuusmuuttajan suunnittelua asiakkaalle muuttamatta komponentteja. [5.]

Kun taajuusmuuttaja yhdistetään osaksi automaatiojärjestelmää, saadaan prosessien ohjausta sekä säätöä yksinkertaistettua. Tämän ansiosta taajuusmuuttajan sopiminen osaksi teollisuusautomaatiota, -koneita ja laitteita on erinomainen. Yleisiä käyttökohteita taajuusmuuttajille ovat niin puhaltimet ja pumput kuin nosturit, vinssit, kelaimet, kuljettimet, kompressorit, ilmastointilaitteet, paperikoneet sekä hissit. [5.]

Kuva 1. ABB ACS880-taajuusmuuttajia

3 Lean

The Machine that Changed the World (1990) -kirja teki tunnetuksi termin Lean Production eli Lean-tuotanto. Kirja kuvaa MIT:n professoreiden kertomana

kuinka japanilaiset paransivat tuottavuutta Yhdysvalloissa sijaitsevissa autotehtaissaan erittäin menestyksekkäästi. Leanin perusta on kuitenkin Toyotan kehittämässä tuotantofilosofiassa (Toyota Production System, TPS), joka taas on alkujaan lähtenyt Fordin tuotantoideasta vuodelta 1900. [6.]

Lean on laatujohtamisen malli, jonka periaatteita sovelletaan tuotantoon. Yksittäisten asioiden sijaan keskitytään yritykseen ja toimitusketjuihin kokonaisuutena ja sen optimoimiseen. Käytännön merkitys on siis virtaus- ja resurssitehokkuuden maksimoimista parhaan arvon tuottamiseksi asiakkaalle. [6.]

Tarkemmin tarkasteltuna Lean alkaa asiakaslähtöisyydestä ja toimii mallina prosessijohtamiselle. Lean ymmärretään usein hukan poistavana menetelmänä mutta sen syvempi merkitys on läpimenoaikojen lyhentämisessä ajattelutapana sekä toimintana, jossa maksimoidaan virtaukset ja parannetaan taloudellista jalostusarvoa hukan poistamisella. Työn tuottavuus laskee ja läpimenoaika pitenee, kun resursseja käytetään muuhun kuin arvoa tuottavaan työhön, jonka takia virtaustehokkuuden sekä nopeuden kasvattaminen läpimenoaikaa lyhentämällä on Leanin keskeisiä tavoitteita. [6.]

3.1 5S / 6S

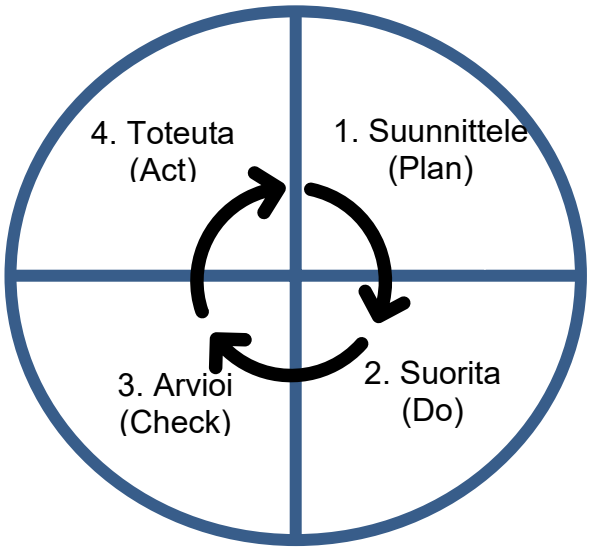
5S on työpaikalla käytettävä organisointimenetelmä, joka mahdollistaa turvallisimman ja parhaan työympäristön vakauttamalla, ylläpitämällä ja parantamalla. 5S nimi tulee japanilaisista sanoista Seiri (整理) (Sorteeraus), Seiton (整頓) (Systematisointi), Seisō (清掃) (Siivous), Seiketsu (清潔) (Standardisointi), Shitsuke (躾) (Seuranta). 5S muuttuu 6S-menetelmäksi, kun siihen lisätään kuudes elementti Safety (Turvallisuus) tai Self-discipline (itsekuri). [7.]

Alun perin 5S oli Toyotan kehittämä jäsennelty ja systemaattinen optimisointimalli, jonka tarkoitus on hukan (Muda) tunnistus ja hävittäminen tehokkuuden ja virtauksen parantamiseksi. Puhtaat, standardoidut tilat helpottavat ongelmien löytämisessä sekä kehittävät tapoja, joilla työtilat pysyvät organisoituina pitkällä aikavälillä. [7.]

5S-menetelmän hyötyjä ovat selkeän ulkoasun tai pohjan ja prosessien luominen. Se tekee hukasta ja ongelmista näkyviä sekä tarpeettomien toimintojen poistamisella parantaa tehokkuutta ja lisää turvallisuutta. Motivoi myös työntekijöitä työympäristön yksinkertaistamiseen. Varmistaa, että kaikki materiaalit ja tarvittavat työkalut ovat saatavilla välittömästi. Tuo vaadittavat tiedot kuten työmenetelmät ja -järjestykset visuaalisesti saataville sekä vähentää jätettä ja hukkaa. [7.]

3.2 Jatkuva parantaminen – Kaizen

Systemaattinen sekä jatkuva parantaminen on Lean-toiminnan keskiössä. Jokainen työntekijä on vastuussa kehitystyöstä sekä tuotteiden ja toiminnan laadusta. Yksinkertaisilla kysymyksillä työtä koskien voidaan löytää yllättäviä ongelmia. Esimerkki kysymyksestä voisi olla ”Miten voisin helpottaa työtäni?” tai ”Mitkä asiat haittaavat työntekoa?”. Löytyneet ongelmat ovat mahdollisuus prosessien toimivuuden kehittämiseen, joka parantaa tehokkuutta, turvallisuutta ja laatua sekä vaikuttaa kannattavuuteen ja toimintaan kokonaisvaltaisesti yrityksessä. Kuvassa 2 nähdään jatkuvan parantamisen vaiheet. [8.]



Kuva 2. Jatkuva parantaminen käytännössä

3.3 Standardointi / Standardisointi

Kielitoimiston sanakirja määrittelee standardin seuraavasti:

> normi, normaali-, vakiotyyppi
>
> määrämenettelyllä laadittu ja vahvistettu normatiivinen asiakirja, jossa esitetään esim. teollisuustuotteiden ominaisuuksia, valmistus- ja testausmenetelmiä, luonnontieteellisiä suureita ja yksikköjä tms. koskevia sääntöjä, ohjeita t. määritelmiä. [9.]

SFS (Suomen Standardisoimisliitto – Finlands Standardiseringsförbund) puolestaan määrittää standardin näin:

> Standardi on kirjallinen julkaisu, jossa määritetään esimerkiksi tuotteiden ja palvelujen ominaisuuksia ja vaatimuksia tai järjestelmien toimintaa.
>
> Standardisointi on yhteisten toimintatapojen – hyvien käytäntöjen, ratkaisujen ja vaatimusten – laatimista. Standardisointiin saa osallistua kuka tahansa alan asiantuntija, ja standardisoinnin tuloksena syntyy edellä mainittuja asiakirjoja. [10.]

Tässä työssä tarkoituksena oli luoda ja uudistaa vain yrityksen sisäiseen käyttöön tarkoitettuja normeja, ohjeita sekä yhteisten toimintatapojen menetelmiä. Luonnollinen jatko Lean-johtamisessa 5S-menetelmän käyttöönottamiselle on standardoitu työ. Standardoitu työ toimii tuotannon tasapainottajana sekä luo perustan uusien työntekijöiden perehdyttämiselle. Tämä mahdollistaa 5S-menetelmän mukaisen jatkuvan parantamisen. [11.]

Työn standardoiminen tehdään yhteistyössä työntekijöiden kanssa. Tiiviillä yhteistyöllä saavutetaan seuraavanlaisia etuja. Vaadittava työkuorma jakautuu koko tuotannon henkilökunnalle kohdistumatta ainoastaan muutamalle toimihenkilölle. Työn standardoimiseen osallistaminen tukee sitoutumista uusiin työohjeisiin. Työntekijöillä on paras tieto työn suorittamisesta sekä siihen liittyvistä ongelmista. Heiltä saattaa löytyä myös ratkaisuja työn tekemiseen liittyviin on-

gelmiin. Työn standardien ylläpitäminen on tärkeä komponentti jatkuvassa parantamisessa. Standardien ylläpitäminen helpottuu, kun ne laaditaan yhdessä työntekijöiden kanssa. [11.]

3.4 Standardisoitu työtapa

Työtavan standardisoinnilla tarkoitetaan tehtävän jakamista loogisiin sekä toisistaan erotettaviin työvaiheisiin. Jokaisesta työvaiheesta luodaan tarvittavat ohjeet, joissa esitetään työvaiheen kannalta merkittävimmät turvallisuus- ja laadunvarmistusnäkökulmat sekä työtä helpottavia ohjeistuksia. Visuaalinen ohjeistus on aina selkeämpi kuin kirjallinen. [11.]

Standardoi

Työohjeiden standardointi on syytä aloittaa alustavien työohjeiden laatimisella. Työtä suorittavat henkilöt luonnostelisivat tehtävistään alustavan työohjeen. Toimihenkilöiden tehtävänä on ohjeiden laatimisen tukeminen palautetta antamalla sekä tarkentavilla kysymyksillä ohjeiden sisältämistä yksityiskohdista. Standardien dokumentointi suoritetaan katselmoiduista luonnoksista osallistuvien henkilöiden toimesta. [11.]

Ylläpidä

Jatkuva parantaminen on Lean-ajattelun keskiössä. Esimiesten vastuulla on valvoa, että työ suoritetaan suunnitelman mukaisesti. Uusien työntekijöiden perehdyttäminen tulee suorittaa laadittuja työohjeita noudattaen. Kehittymisen ylläpitäminen vaatii sitoutumista jatkuvan parantamisen toimintamalleihin, erityisesti johdon osalta. Mikäli tarvittavia resursseja ei ohjata jatkuvaan parantamisen ylläpitoon, se saattaa johtaa kehittymisen pysähtymiseen tai pahimmassa tapauksessa vanhoihin tapoihin palaamiseen. Etenkin tuotantojärjestelmän toimintakyvyn ylläpitäminen on osoitus sitoutumisesta. [11.]

Standardisoinnin hyötyjä

Standardisoinnilla saavutetaan seuraavia hyötyjä. Työskentelyn tehostuminen johtaa lyhyempiin läpimenoaikoihin. Tämä saavutetaan täsmällisellä perehdytyksellä sekä tarkoituksenmukaisilla työohjeilla. Standardisoidut työtavat helpottavat poikkeamien havaitsemista. Näin poistetaan tuotannon virtausta haittaavaa vaihtelua sekä virheiden aiheuttama hukka minimoidaan. Tämä mahdollistaa myös standardin kehittymisen juurisyyt löytämällä, jonka avulla eliminoidaan virheiden toistaminen. Standardit tukevat käyttäjäkunnossapitoa sekä huoltoa. [11.]

3.5 Poka-Yoke

Leaniin sisältyy useita työkaluja ja Poka-Yoke on yksi yleinen prosessianalyysin työkalu. Poka-Yoke on japania ja sen käännös on suurin piirtein vahingossa tapahtuvien virheiden (Poka) ehkäisemistä (Yoke). Virhe on määritelty seurauksesi psyykkisestä tai fyysisestä toiminnasta, joka poikkeaa siitä, mitä alun perin oli tarkoitus tehdä. [11.]

Poka-Yoken keskellä on ajatus virheiden alkulähteen täydestä tutkimisesta. Poka-Yoke onkin järjestelmä poikkeamien tunnistamiseksi, jotta voidaan suorittaa korjaavia toimenpiteitä. Tärkeä osa tätä on tarkastuksien suorittaminen poikkeuksien havaitsemiseksi. Kaikkia vahinkoja ei voida välttää inhimillisistä syistä, mutta tavoitteena on estää ja välttää vahinkojen päätyminen asiakkaalle suunnittelemalla laitteita tämän mukaan. Järjestelmä on kategorioitu kahteen luokkaan, estävään ja varoittavaan, jotka molemmat käyttävät kolmea menetelmää, kosketus-, vakioarvo- sekä työvaihemenetelmä. [11.]

Kosketusmenetelmää määräävät fyysiset ominaisuudet kuten muoto, paino, koko ja väri. Vahingon tapahtuminen estetään muodoilla tai tuotteen kosketuksella. Erilaisia käytettäviä keinoja ovat esimerkiksi ohjaustapit ja/tai -levyt sekä tunnistimet, anturit ja rajakytkimet. Menetelmän käyttö sopii etenkin nopeisiin työvaiheisiin, kun vahingon tapahtuminen on todennäköistä sekä jos työolosuhteet eivät ole optimaaliset. [11.]

Vakioarvomenetelmällä seurataan vaadittavien liikkeiden tai työvaiheiden määrän saavuttamista. Menetelmä voi käyttää esimerkiksi laskureita tai osien määrää seuraavia ohjaimia. Käyttäjää hälytetään tai prosessi pysäytetään, jos tavoitearvot eivät täyty. [11.]

Työvaihemenetelmällä varmistetaan, että työpisteen tarvittavat työvaiheet on suoritettu vaaditussa järjestyksessä ennen prosessin jatkumista. Tämä on hyödyllinen etenkin, kun työpiste sisältää useita perättäisten vaiheiden tekemistä. Järjestelmä voi seurata esimerkiksi kappaleiden jäljitystietoja tai sisältää tarkastuslistan, jonka perusteella prosessi saa luvan jatkua. Menetelmä ehkäisee ylimääräisten, prosessiin kuulumattomien vaiheiden tekemistä. [11.]

Virheen tapahtuessa käytetään Viisi kertaa miksi -tekniikkaa virheen alkuperän ja syyn selvittämiseksi. Sen tarkoituksena on jatkuvasti kysyä "miksi?" ja siten edetä tasojen läpi kohti juurisyytä aina kun uusi syy on löytynyt. Jokaisen tunnistetun syyn kohdalla kysytään, onko se oire, alemman tason syy vai juurisyy. [12.] Tämän jälkeen tutkitaan Poka-Yoken soveltamismahdollisuuksia pohtimalla virheen sijaintia, syytä, toimenpidettä sekä virheen ominaispiirteitä. Kun virheen juurisyy on selvinnyt, tehdään tarvittavat muutokset ja testataan prosessin toimivuus. Jos prosessi todetaan toimivaksi, käyttöönotetaan muutokset virallisesti. [11.]

Poka-Yoken hyötyjä ovat esimerkiksi resurssien vapautuminen perehdytyksestä ja laadunvalvonnasta, viallisten tuotteiden tai kappaleiden määrä laskee ja ne eivät päädy asiakkaalle, vahingot jäävät kiinni ja virheet estetään. Näillä tekniikoilla laaduntarkkailu ja -hallinta kehittyy sekä tuotantojärjestelmän luotettavuus kasvaa. Tämä on olennainen osa jatkuvaa parantamista. Poka-Yokea voidaankin käyttää, kun on olemassa virheen mahdollisuus tai kun jotain voidaan tehdä virheellisesti, eli kaikkialla. Metodia voidaan hyödyntää kaikenlaisissa prosesseissa tuotanto- ja palveluteollisuudessa estämään useita erilaisia virheitä. [11.]

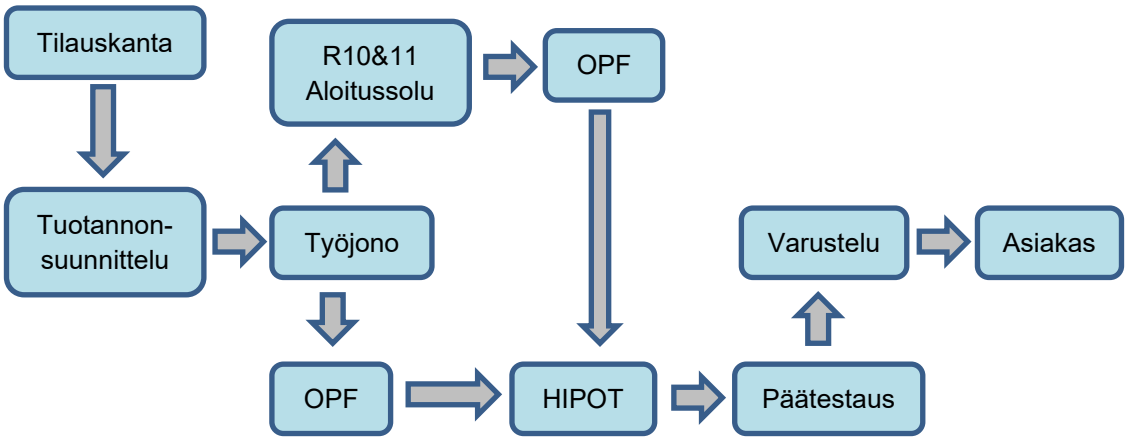
4 Large Drives (LD)

Large Drives (LD) tarkoittaa ABB:n Pitäjänmäen elektroniikkatehtaan Drives-yksikössä toimivaa tuotantoaluetta. Large Drives -osasto on jaettu kahteen tuotantoalueeseen, jotka on nimetty LD1 ja LD2.

Taulukko 1. Large Drives -tuotantoalueen tuotetyypit ja raamikoot

Tuotetyyppi	ACx880/SBU/ACx580/CBU -01	ACx880/SPU/ACx580/QPU -04	ACx880/QPU -11/31	ACx880/QPU -14/34	ACS880 -04F
Raamikoko	R7, R8 ja R9	R10 ja R11	R6 ja R8	R11	R11

LD valmistaa Taulukon 1 mukaisesti tuotetyyppejä ACS, ACH ja ACQ (ACx) sekä konfiguroimattomia perustyyppejä SBU, CBU, SPU ja QPU (Base Unit, Power Unit). Nämä tuotetyypit jaetaan luokkiin -01, -04, -04F, -11/31, -14/34. Tuoteperheinä ovat 880 ja 580 taajuusmuuttajat varioivilla teholuokilla ja laiteraameilla. Laiteraami eli raamikoko on laitteen fyysinen koko. Koon mukaan laite on seinälle asennettava (-01, -11/31) tai kaappimoduuliin asennettava (-04, -14/34, -04F). R6 on pienin LD:lla valmistettava koko ja R11 suurin. [13.]



Kuva 3. Large Drives -tuotantoprosessi

Large Drives -osaston tuotantoprosessi nähdään kuvassa 3 ja se alkaa tuotannonsuunnittelijoiden vapauttaessa tilauskannasta laitteita tuotannon työjonoon. R6-R9 laiteraamien tuotanto aloitetaan yhden kappaleen virtaus (One-Piece-Flow) -linjaston alusta. Yhden kappaleen virtaus on filosofia, jossa tuote siirtyy

eteenpäin linjalla ilman varastointeja tai eriksi jakamista [14]. R10-R11 raamien tuotanto käynnistyy aloitussolusta, jossa keräilykärryyn poimitaan laitekohtaiset komponentit ja kärry toimitetaan OPF-tuotantolinjalle LD2-alueelle. LD1-alueella kokoonpantu R6-R9 laite siirtyy tuotantolinjalta robottisolujen ja kuljettimien siirtämänä testaukseen, jossa on kaksi vaihetta; HIPOT-testi (High Potential Test), sekä päätesti testausjärjestelmässä. LD2-alueella kokoonpantu R10-R11 laite siirretään testaus- / korjauspaikalle, jossa työntekijät suorittavat HIPOT- ja päätestin modulaarisilla testereillä. Vikaantuessaan LD1-testissä laite tilataan korjauspaikalle robottisolusta ja LD2-alueella laite siirretään korjauspaikalle. Testin läpäistyään se siirtyy loppuvarusteluun, jossa suoritetaan varustelu, tarvittavien lisämateriaalien ja ohjeiden keräys sekä pakkaaminen. Varustelusta pakattu laite siirtyy lähetyslaiturille ja asiakkaalle. LD käyttää yhtenä laatumittarinaan FPY:tä (First Pass Yield), joka vertaa testiin menneiden laitteiden määrää ensimmäisellä kerralla testin läpäisseiden laitteiden määrään.

4.1 First Pass Yield (FPY) / Throughput Yield (TPY)

Throughput Yield (TPY) on toinen nimi FPY:lle ja se kuvaa prosessista ulos tulevien laitteiden määrää jaettuna prosessiin menevien laitteiden määrällä, jolloin saadaan TPY / FPY -prosentti. FPY ei kuvaa todellista laatua vaan se toimii vain yhden prosessin mittarina, joka on tässä työssä testaus. [15.]

$$\frac{Prosessin\ läpäisseet\ laitteet}{Prosessiin\ menneet\ laitteet} = FPY$$

Kaava 1. First Pass Yield

Kaavan 1 mukaan esimerkiksi, jos 100:sta prosessiin menneestä laitteesta 85 ei vikaannu. Silloin prosessin FPY = 85 / 100 = 0,85 = 85.0 %. [15.]

4.2 Korjauspaikka (Repair station, Repsta)

Korjauspaikan tehtävänä on automaattisen testauksen aikana vikaantuneen laitteen vianetsintä, korjaaminen ja testaaminen sekä korjausdatan kirjaaminen tietokantaan. Työ pitää sisällään myös tuotteiden visuaalisen tarkastuksen ja asennuslaatupalautteen antamisen työntekijöille, sekä tarvittaessa lisätietojen välittämisen työnjohtajille.

Työalueena tehtävässä on joko laitteiden kiinteä korjauspaikka tai testauspaikat tuotantoalueen LD1- ja LD2-alueilla. Tehtävä pitää sisällään sekä automaattisen, että manuaalisen testauslaitteiston käyttöä.

Työssä pitää tuntea tuotannon työvälineet sekä työmenetelmät ja lisäksi fysikaalisten suureiden mittaamiseen käytettävät mittalaitteet. Välineitä pitää osata käyttää turvallisesti ja luotettavasti.

Tehtävään kuuluu tuote- ja asennuslaatuun liittyvien välitarkastusten tekeminen ja tarvittaessa ongelmien selvittäminen PE (Product Engineering, tuotesuunnittelu) / RD (Research & Development, tutkimus ja kehitys) asiantuntijoiden kanssa, sekä komponenttien normaali tuotannon sisäinen reklamointi. Reklamaatioprosessin avulla raportoidaan komponenttitoimittajan laatuongelmat. Työhön kuuluu myös tuotannon automaattisten järjestelmien vikojen havainnointi ja korjaustarpeen analysointi (mm. testerit, kuljettimet, robotit) sekä tuotantolinjan turvallisuuteen ja virtaukseen vaikuttavien häiriöiden raportointi tiedonkeruujärjestelmiin. Lisäksi korjaajat toimivat kyseisten järjestelmien tuotannon asiantuntijoina osallistuen käyttäjäkunnossapitoon, huolto- ja muutostöihin.

Työ vaatii teknistä osaamista kokoonpanon, kuljetinjärjestelmien, hajautetun automaation, kenttäväylien, robottien ja testerin tietokantojen osalta. Työntekijän vastuulla on oikeiden työvälineiden ja nostinten käyttö, sekä omasta työergonomiasta huolehtiminen. Työntekijä noudattaa työvaiheelle määriteltyjä prosessiohjeita.

4.3 HIPOT (High Potential Test)

HIPOT (High Potential Test) suoritetaan laitteen kokoonpanon jälkeen ennen varsinaista testiä. Myös dielektroniseksi kestotestiksi kutsuttu testi suoritetaan laitteille niiltä vaadittavan eristyksen toimivuuden tarkastamiseksi, jotta voidaan määrittää laitteen kyky toimia turvallisesti nimellissähköolosuhteissa.

Testissä suoritetaan laitteelle eristysvastusmittaus 1000 voltin jännitteellä, jossa kestovaatimus on minimissään 10 MΩ. Seuraavaksi suoritetaan jännitekestävyystesti 2500 voltin jännitteellä ja sallittava vuotovirta on maksimissaan 60 mA. Eristevastusmittaus suoritetaan toisen kerran ja laitteen tyypin mukaan kumpaakin testiä suoritetaan useampaan kertaan. Lopuksi laitteelle tehdään DC-jännitemittauksia maksimissaan 400 voltin jännitteellä, jonka jälkeen jännitteet puretaan ja sille voidaan suorittaa laitekohtaiset EMC-asennukset (Electromagnetic Compatibility; elektronisen laitteen tai järjestelmän kyky toimia luotettavasti luonnollisessa toimintaympäristössään).

4.4 LD1-testausjärjestelmä

HIPOT-testien jatkeeksi laite siirtyy lopulliseen testausjärjestelmään, jonka tarkoituksena on kuormittaa laitetta ajossa erilaisilla rasitustesteillä laitteen vaatimusten mukaisesti. Näihin lukeutuu AC-jännitetesti, moottorikuormitustesti, jarrukatkojatesti, ylivirta ja -jännitetestit sekä erilaiset turvaominaisuustestit. Laitteeseen asennetaan lisäksi asiakaskohtaisia sovelluksia taajuusmuuttajan käyttötarkoituksen sekä asiakkaan tilauksen perusteella. Läpäistyjen testien jälkeen robotti siirtää laitteen pois testaussolusta varusteluun, jossa suoritetaan varustelu, pakkaus sekä lähetys. Tämän jälkeen laite kuljetetaan eteenpäin asiakkaalle.

Laitteen vikaantuessa, robotti siirtää sen korjauspaikalle tarvittavia tutkimuksia ja korjauksia varten. Vianetsintä tapahtuu vikakoodien sekä testausdatan perusteella ja käyttäen ABB:n sisäistä Fault tool -ohjelmaa tai vikakoodien puuttuessa

etsimällä Access-ohjelmasta testisekvenssin samassa kohdassa vikaantuneiden laitteiden korjausdataa. Kokeneet työntekijät osaavat myös paikantaa mahdollisia virheitä kokemuksen mukaan.

4.5 LD 2

LD2-alueella testaamiseen käytetään tilaustyönä ulkopuolisen valmistajan rakentamia HIPOT- ja päätestereitä. Vikaantuneen laitteen vianselvitykseen sekä korjaukseen käytetään erillistä Repair Station -solua. Vianetsintä tapahtuu vikakoodien sekä testausdatan perusteella ja käyttäen ABB:n sisäistä Fault tool -ohjelmaa tai vikakoodien puuttuessa etsimällä Access-ohjelmasta testisekvenssin samassa kohdassa vikaantuneiden laitteiden korjausdataa. Kokeneet työntekijät osaavat myös paikantaa mahdollisia virheitä kokemuksen mukaan.

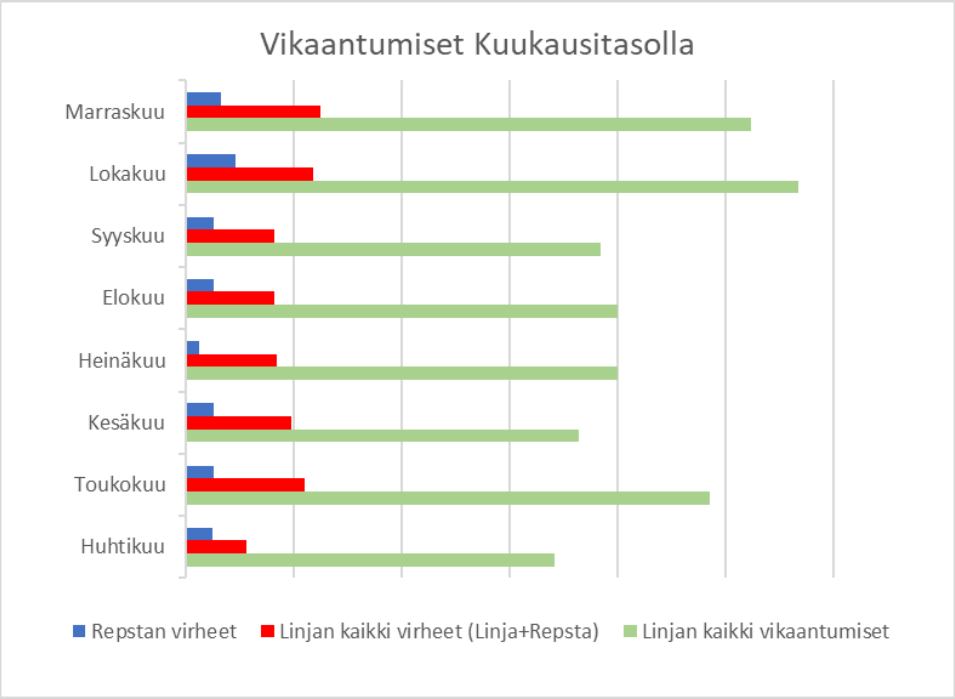
5 Korjauspaikan nykytilan kartoitus

Kartoitus aloitettiin käymällä läpi Repstan päätehtävät sekä vastuualueet. Seuraavaksi suoritettiin nykytilan selvitys käymällä läpi kaikki työpisteet, joilla korjauspaikan henkilöstö toimii. Korjauspaikan henkilöstölle toimitettiin myös kohdennettu kyselylomake työympäristöstä, ohjeista, työtavoista sekä mahdollisista kehitysideoista. Laatudataa tutkittiin ja käsiteltiin muiden alkukartoituksen vaiheiden ohessa. Data on poimittu Excel-muodossa Microsoft Access -ohjelmasta, johon kerätään kaikki vikatiedot. Tutkimista suoritettiin myös Power BI -ohjelmalla.

5.1 Laatudata

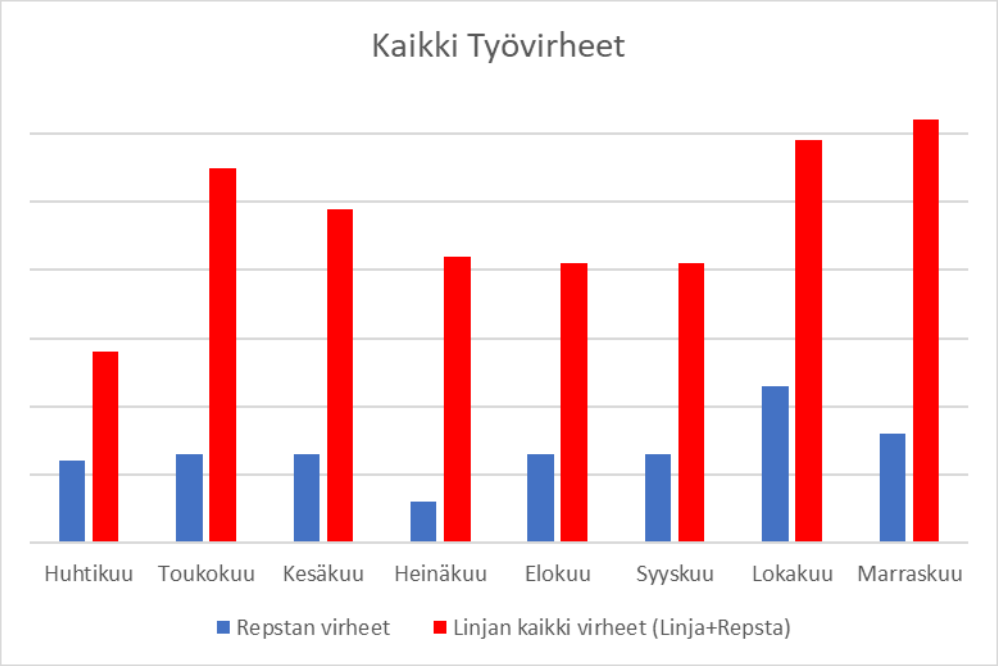
Työhön käytetty laatudata sisälsi kaikki tuotantolinjalla syntyneet ja testauksessa esiintyneet työvirheet sekä vikaantumiset kaikkien laiteraamien osalta. Tarkastelu suoritettiin kahdeksan kuukauden ajanjaksolta vuonna 2021. Data jaettiin kuukauden mittaisiin jaksoihin sekä eriteltiin tuotantolinjalla, Repstalla

sekä testausjärjestelmässä syntyneisiin vikaantumisiin (Kuva 4). Testausjärjestelmässä syntyneisiin vikoihin sisällytettiin muut poikkeukselliset viat, kuten esimerkiksi testiohjelmisto- ja komponenttiviat sekä sähkökatkot.

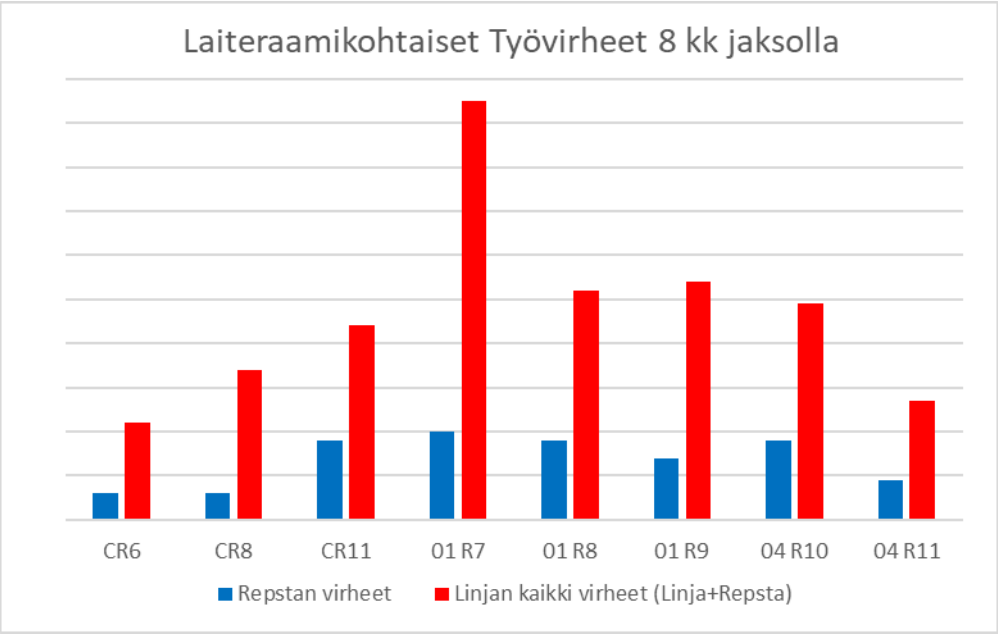


Kuva 4. LD Kaikki vikaantumiset kuukausitasolla

Seuraavissa kaaviossa (Kuva 5, Kuva 6) vertailtiin visuaalisesti tuotantolinjan sekä Repstan virheitä kaikkien työvirheiden osalta sekä laiteraamikohtaisesti kahdeksan kuukauden mittaisen tarkastelujakson ajalta.



Kuva 5. Kaikki työvirheet



Kuva 6. Laiteraamikohtaiset työvirheet

Seuraava kaavio (Kuva 7) esittää korjauspaikan henkilöstön tekemiä virheitä prosentuaalisesti kaikista tuotantolinjalla tehdyistä virheistä. Taulukoita tarkastellessa tulee huomioida, että tuotannon lopullisia valmistusmääriä ei ole otettu

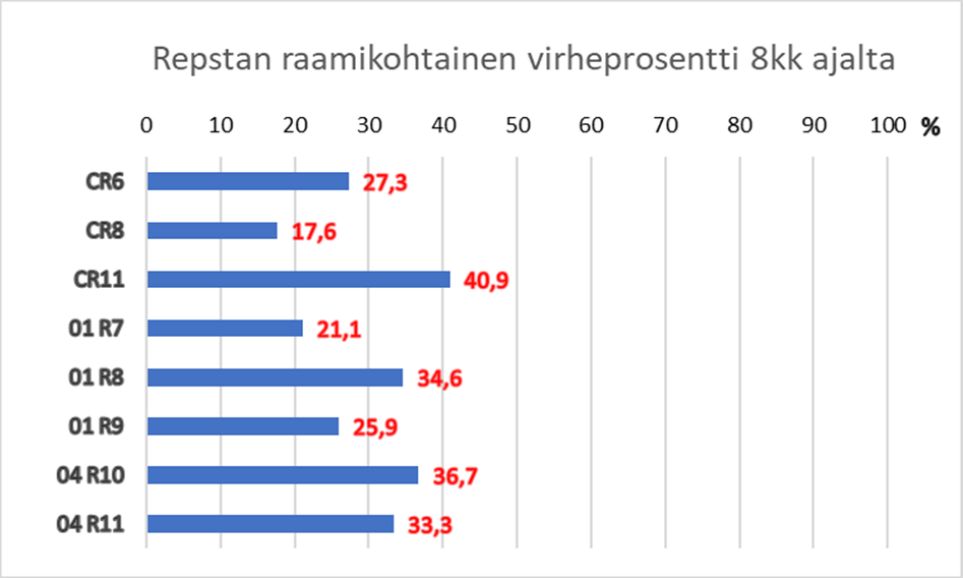
huomioon vaan luvut koskevat vain virheitä. Tiettyinä kuukausina Repstan virheet ovat olleet määrällisesti vähäisiä, mutta riippuen tuotannon virhemääristä prosentuaaliset erot kuukausien välillä vaihtelevat suuresti ja tämä on tärkeä muistaa dataa tarkasteltaessa.

Kuva 7. Repstan kokonaisvirheprosentti kaikista virheistä

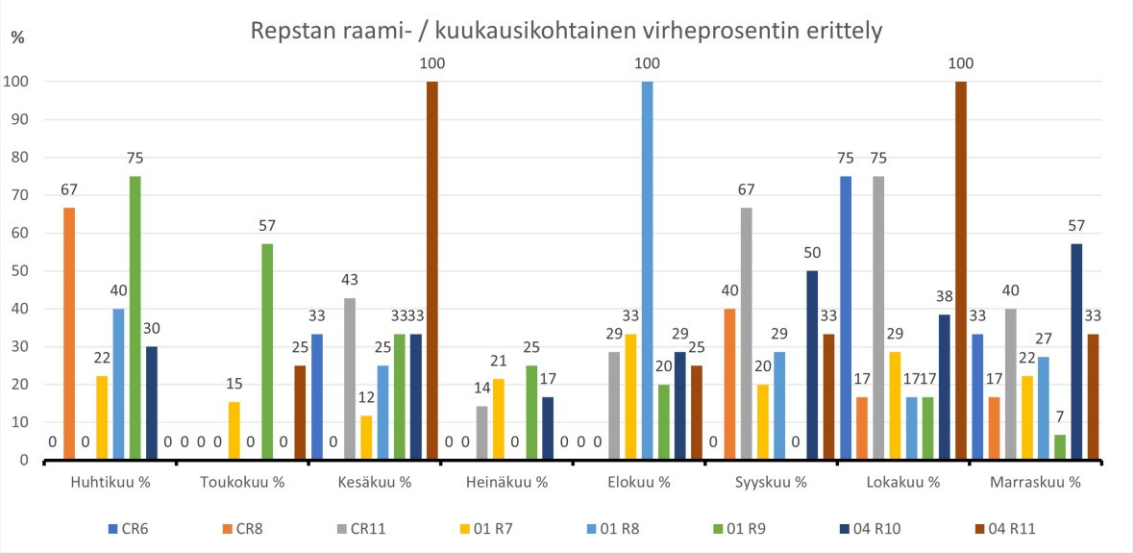
Esimerkiksi jos tuotantolinjalla on tehty yksi virhe ja Repstalla neljä, nostaa se heti Repstan virheprosentin 80 %:iin, vaikka kokonaisvirhemäärä on vain viisi eli erittäin pieni. Kokonaisvirheprosenttien keskiarvo oli 29,4 %. Tästä voitiin päätellä Repstan virheiden osuuden olleen merkittävä verrattuna kaikkiin tehtyihin työvirheisiin. Päätelmät osoittivat kehitystyön ja standardoinnin tarpeellisuuden.

5.2 Laiteraamit

Kuvassa 8 esitellään korjauspaikan raamikohtaiset virheet verrattuna kaikkiin linjan virheisiin. Keskiarvo oli 29,7 % eli noin kolmasosa kaikista virheistä. Suurimmat prosentit olivat raameissa CR11, R10, R8 ja R11, josta voitiin päätellä LD2-alueen tarvitsevan enemmän kehitystä kuin LD1-alue raamien valmistusalueen perusteella.



Kuva 8. Repstan raamikohtainen virheprosentti kaikista virheistä

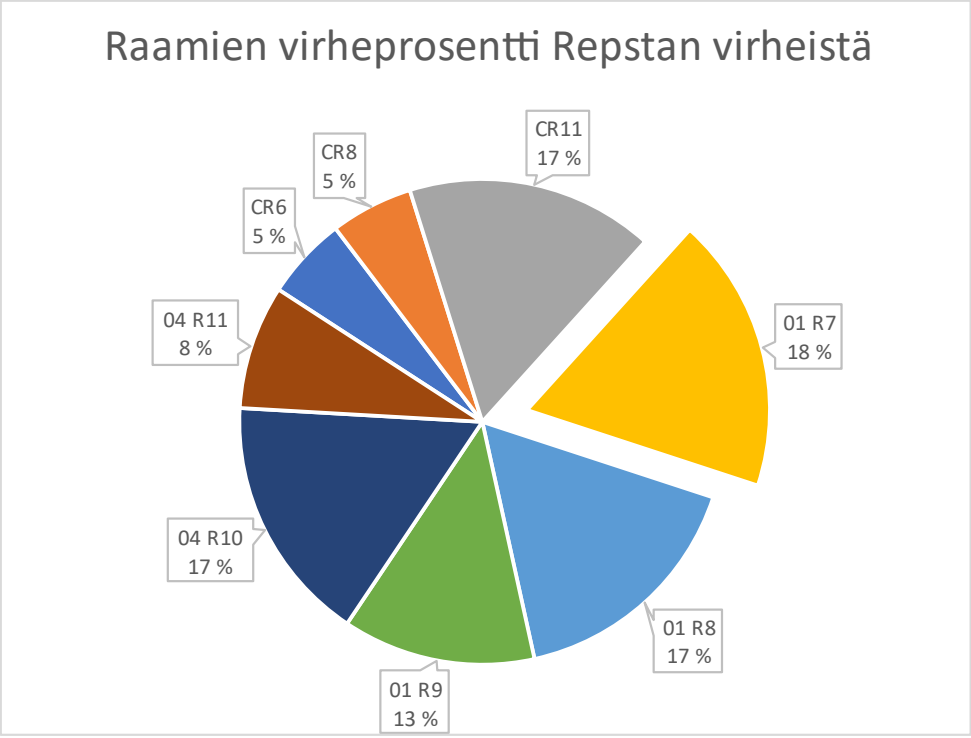


Kuva 9. Repstan raami- / kuukausikohtainen virheprosentin erittely

Kuvan 9 kaaviossa eritellään Repstan virheprosentit kaikkien raamien virheistä eri kuukausina. Nolla prosenttia: Ei yhtäkään Repstan virhettä kyseisessä raamissa. 100 prosenttia: Kaikki kyseisen raamin virheet Repstan virheitä.

5.3 Virheluokat ja työvirheet

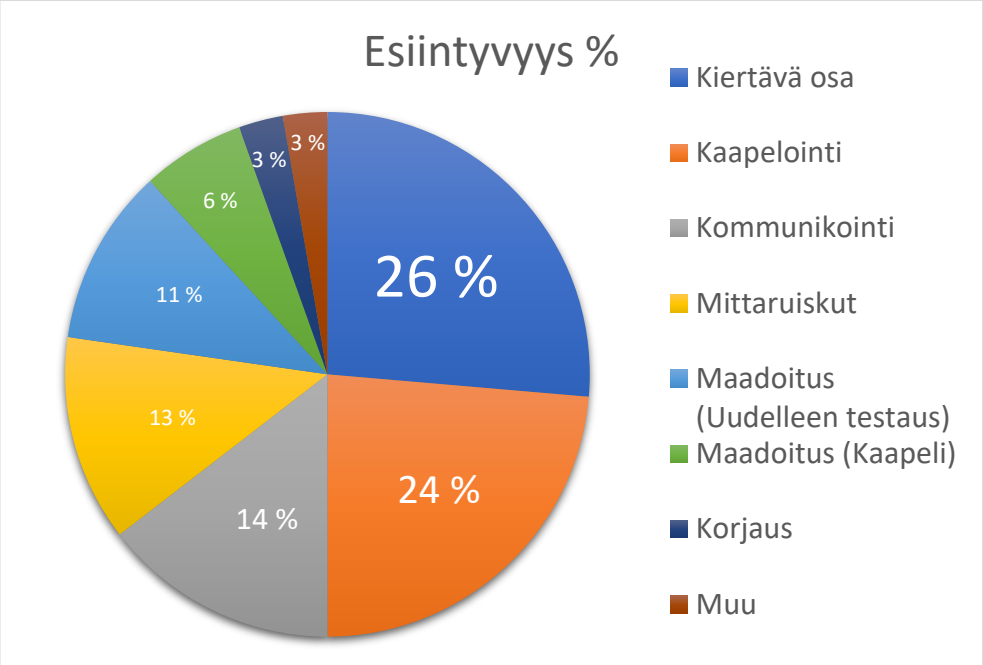
Kuvassa 10 on esitetty raamien prosentuaalinen virhemäärä 8 kuukauden ajalta. Tämän perusteella voitiin eritellä merkittävimmät raamit tarvittavien kehitystoimenpiteiden suunnittelemiseksi. 01 R7 nousi virheiden osalta merkittävimmäksi raamiksi. Kuvasta nähdään aikaisemman sukupolven (01 R7-R9, 04 R10-R11) laitteiden virhemäärän olevan huomattavasti uudempia raameja suurempi. Tämä selittyy osittain vanhan ja uuden testausjärjestelmän eroilla. Vanhassa testausjärjestelmässä on paljon yksittäisiä muistettavia ja varioivia komponentteja, joille ei ole ajankohtaisia työohjeita työpisteillä. Myös Poka-Yoke-menetelmän puuttuminen testausvalmisteluissa vaikuttaa virhemääriin. Uusissa modulaarisissa testereissä on käytetty Poka-Yoke-menetelmää enemmän sekä kehitetty testausjärjestelyjä.



Kuva 10. Raamien virheprosentti Repstan virheistä

Virheluokat luotiin ja jaettiin Kuvan 11 mukaisiin kategorioihin Repstalla tapahtuvien työvirheiden mukaan. Tämän perusteella voitiin eritellä merkittävimmät on-

gelmakohdat tarvittavien kehitystoimenpiteiden suunnittelemiseksi. Merkittävimmät virheet osoittautuivat tapahtuvan ennen HIPOT-testausta suoritettavista esivalmisteluista. Etenkin kiertävien osien ja kaapeloinnin osuus oli huomattavasti muita korkeampi.

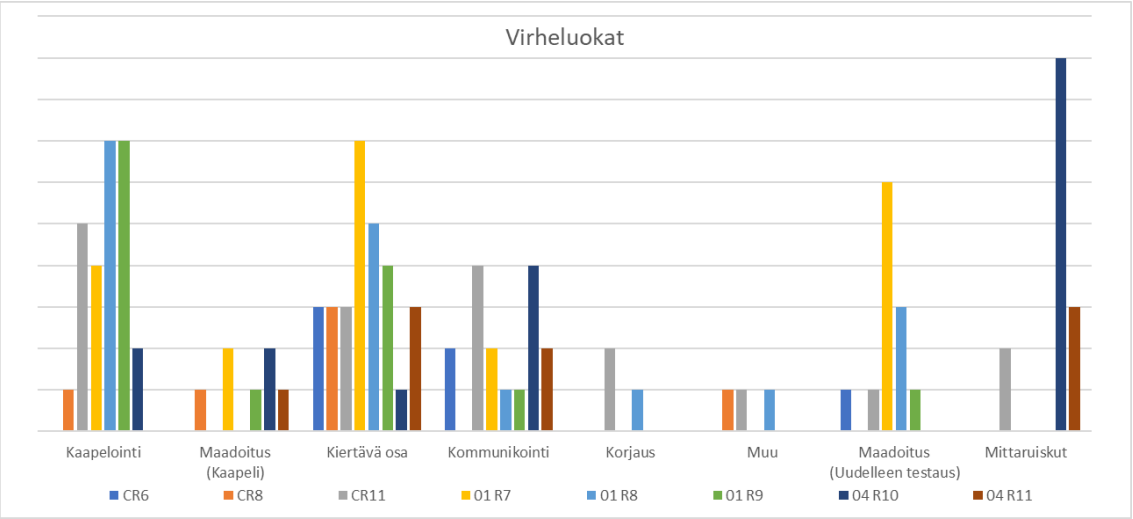


Kuva 11. Virhetyyppien esiintyvyysprosentti

Virheluokkien selitykset

- Kaapelointi; Työvirhe tapahtunut tehokaapeleiden, LCL-liittimien, DC+ ja DC- kaapeleiden kytkemisessä.
- Maadoitus (Kaapeli); Työvirhe tapahtunut maadoituskaapelin ja -johdon kytkemisessä.
- Kiertävä osa; Työvirhe tapahtunut erikseen kytkettävän testauksen vaatiman varioivan osan asentamisessa.
- Kommunikointi; Työvirhe tapahtunut kommunikointikaapelin (RJ-45) kytkemisessä.
- Korjaus; Työvirhe tapahtunut vikaantuneen laitteen korjauksen aikana.
- Muu; Vaikeasti luokiteltava yksittäinen virhe.

- Maadoitus (Uudelleen testaus); Työvirhe tapahtunut laitteelle, joka on jouduttu testaamaan uudestaan varioivista syistä esimerkiksi osan vaihtamisen vuoksi, ja johon on jäänyt EMC-ruuveja kiinni.
- Mittaruiskut; Työvirhe tapahtunut ruiskumallista mittapäätä kytkettäessä.



Kuva 12. Virheluokat Raamikohtaisesti

Kuvassa 12 eritellään virheluokkien raamikohtaiset määrät visuaalisesti. Tästä voidaan nähdä selkeästi yksittäisten virheluokkien erot, joka auttaa kehittämään parannuksia raamin mukaan.

5.4 Työympäristö ja työohjeet

Korjauspaikan työskentelytilat ja -ympäristöt ovat pääpiirteittäin tarkoituksenmukaiset. LD1-alueella 6S-toimenpiteet ovat olleet onnistuneita. Kiertävien osien sijoittelussa on vielä parannettavaa sekä kehitettävää. LD2-alueen kehittäminen on verrattain keskeneräistä. Tämä näkyy etenkin tarvittavien työkalujen, 5S-merkintöjen ja korjauskärryjen sekä tilojen puutteena.

Fyysisten ohjeiden osalta oli käytössä useampia eri ohjeformaatteja. Asennusohjeista tulostettuja valvomattomia kopioita, erilaisia kansioita, epämääräisiä

taulukoita ja muita ohjeita, joiden tekijöistä ei ole tietoa sekä käsin korjattuja ohjeita. Monet ohjeista ovat vanhentuneita ja turhia, mutta heikon dokumenttienhallinnan sekä valvonnan puutteen takia edelleen esillä sekä saatavilla.

Digitaalisten ohjeiden sijainteja oli useampi ja tarvittavien dokumenttien löytäminen osoittautunut usein erittäin haasteelliseksi ja hitaaksi. Ohjeiden sijainteja oli SAP:n DMS (Document Management System), Sharepoint Electrical Safety-kansio, Repstan tietokoneiden työpöydät sekä ABB:n sisäiset dokumenttiarkistot.

5.5 Työtavat ja henkilöstön kysely

Työtapoja tutkittiin seuraamalla useiden eri henkilöiden työntekoa kaikilla tarvittavilla työpisteillä ja kirjaamalla havainnot. Selvisi, että suurin osa ennen testiä suoritettavista työvaiheista tehtiin vaihtelevassa järjestyksessä ja varioivilla tavoilla työn suorittajasta riippuen. Kyseisten ongelmien juurisyyt olivat nimenomaan puutteet työn standardoinnissa sekä puuttuvissa työohjeissa. Tämän lisäksi olemassa olevat ohjeet olivat vanhentuneita tai tyyliltään erilaisia. Myös perehdytettävien työntekijöiden oppiminen kärsii rutiininomaisten työtapojen vaihdellessa perehdyttävän henkilön mukaan.

Työntekijöiden sisäisessä työnkierrossa havaittiin ongelmia. Osa työntekijöistä sijoittui LD2-puolen korjauspaikalle muita useammin, jonka seurauksena työpisteiden välinen tasainen kierto ei toteudu. Tämä johtaa osaamisen pirstaloitumiseen sekä rutiinien heikentymiseen.

Työntekijäresurssit vaihtelevat ajoittain ja jos vajausta syntyy, tämä vaikuttaa työskentelyyn heikentävästi. Esimerkiksi työntekijän korjatessa vikaantunutta laitetta saattaa hän joutua keskeyttämään työskentelyn valmistellakseen testiin lähetettävää laitetta ja palaamaan edellisen työn pariin suoritettuaan toimenpiteen. Korjauksen keskeytyessä työvirheiden mahdollisuus kasvaa.

Korjauspaikan kysely ja vastausten yhteenveto

Osana insinöörityötä korjauspaikan henkilöstölle toteutettiin kyselylomake työvaiheiden kehittämiseksi ja henkilöstön osallistamiseksi mukaan kehitykseen. Lomakkeessa on käyty läpi yleisimpiä kehitysalueita koskien korjauspaikan työskentelyalueita, työ- ja toimintatapoja sekä ohjeita. Tämän lisäksi pyydettiin henkilöstöä esittämään vapaamuotoisia ideoita ja ajatuksia potentiaalisista kehityskohteista työhön liittyen.

Työntekijöiden mielestä työtavat varioivat työn suorittajan mukaan. Tähän kaivattiin työtapojen yhtenäistämistä. 6S on helpottanut työskentelyä monilla osa-alueilla, koska työkalujen ja -välineiden paikat on standardoitu.

Virhekirjauksen järjestys toivottiin olevan vikakoodi/vianmääritys, vikapolku, korjaustoimenpiteet ja tekijän nimikirjaimet. Palautteenanto suoritetaan 4Q-lapun toimittamisella työvirheen tekijälle. 4Q (4 quadrants) on datapohjainen ongelmanratkaisuprosessi, jonka vaiheet ovat mittaa, analysoi, paranna ja ylläpidä. Virheen tapahtuessa omassa vuorossa osoitetaan virhe tekijälle ja annetaan mahdollisia vinkkejä. On huomioitava, että palautteenannon sävy täytyy olla neutraali tai mahdollisimman kohtelias ja asiallinen. Jos virheentekijä ei ole omassa vuorossa, 4Q-lappu jätetään keskeneräisten 4Q-raporttien laatikkoon.

Mittaruiskujen asennus suoritetaan CR11-raamissa huoltoluukun viereisten ruuvireikien läpi pitkillä ruiskuilla. Mittaruiskuille on tehtävä aina kevyt veto kiinnityksen varmistamiseksi. Mittaruiskujen taipumista on vältettävä. Lyhyet mittaruiskut käyvät -04 ja CR11-laitteisiin ja pitkät mittaruiskut vain CR11-laitteisiin.

Asennus- ja perehdytysohjeita koskien toivottiin perehdytysohjeisiin lisättävän enemmän yleisiä vikatilanteita. Työpisteiden läheisyydessä olevat ”pikaohjeet” laitettava kaikille työpisteille esimerkiksi testerin kylkeen. Lisättävä ”pop-up ikkuna” -ominaisuus testerin tietokoneelle, joka antaa kyseisen laitteen testausohjeet sarjanumeron perusteella.

Kyselyn vastauksista kävi ilmi, että työvaiheiden ja -pisteiden tarvittavat työkalut on sijoitettava niitä vaativille paikoille esimerkiksi LD2 kaipaa lisää järjestämistä. Yleinen ergonomia on myös työntekijöiden mukaan otettava paremmin huomioon kehityksessä ja muutoksissa. Ennen uusien menetelmien käyttöönottoa toivottiin kunnon testausta eli ei vain tuotaisi uusia välineitä tuotantoon ilmoittamatta.

Kaapeloinnin ja johdoksen osalta toivottiin kaapeloinnin poistamista korjauspaikan työntekijöiltä tuotannon tehtäväksi niiltä osin kuin mahdollista. Kaapelointi on tarkastettava aina ennen seuraavaa vaihetta tilanteen salliessa sekä tarkastus suoritettava aina ennen HIPOT-testiä. Asennusjärjestys ja -tapa standardoidaan ja kun tehdään aina samalla tavalla, syntyy rutiini. LD2-alueella muistisääntönä on, että kohtele kaikkia testattavia laitteita kuin CR11 eli aina on tehtävä LCL-liittimen ja kommunikointikaapelin tarkistus.

Laitteen korjaukseen liittyen SAP-työohjeet toivottiin olevan saatavilla korjattavan laitteen lähellä turhan kulkemisen välttämiseksi. Virheen tekijän selvittämistä on vastauksien perusteella helpotettava esimerkiksi laittamalla työvaiheiden konfirmointien numeroinnin näkyville työpisteille sekä ohjeisiin. Työnjohdon toivottiin myös päivittävän uudet työntekijät access-kantaan heti työntekijän aloittaessa linjalla.

6 Toimenpiteiden ideointi ja suunnittelu

Tässä osiossa käydään läpi alkukartoituksen pohjalta esiin nousseiden puutteiden korjaus- ja kehitysideoita sekä ehdotuksia. Ideoita saatiin käymällä läpi virhedataa ja perehtymällä virheiden syihin. Laatudatan tarkastelussa työvirheiden kannalta merkittävimmiksi alueiksi nousivat kiertävät osat sekä kaapelointi. Työntekijöille suoritetun kyselyn vastauksia käytettiin mahdollisimman paljon kehitysehdotusten ja ideoiden kehittämisessä. Korjauspaikan työpisteillä suoritettiin useita visuaalisia tarkistuksia ja henkilöstöä haastateltiin työn ohessa kehitykseen liittyen. Ehdotukset on jaettu kahteen aihealueeseen, työohjeet ja työympäristö.

Työohjeet: Korjauspaikan kaapelointi, HIPOT ja testaus työpisteille tullaan tekemään fyysisten työohjeiden standardointi sekä esillepano. Laitteiden visuaalisen tarkastuksen vaiheet tullaan standardoimaan ja niiden fyysiset versiot laitetaan esille tarvittaville työpisteille. Visuaaliseen tarkastukseen kuuluu laitteiden tarroituksien läpikäynti sekä näkyvien liitosten ristiintarkastus. Kommunikointikaapeleiden pituuksille ja häiriönpoistoferriittien etäisyyksille sekä reitityksille tullaan tekemään ohjeistukset, jotka standardoidaan ja laitetaan esille tarvittaville työpisteille. Korjauspaikan ohjeet erotettiin linjan asennusohjeista ja niille luotiin omat ohjeet selkeyden, yhtenäistämisen sekä nopeamman työskentelyn mahdollistamiseksi. Digitaalisille työohjeille tullaan valitsemaan yhteinen sijainti SAP:iin, koska tällä hetkellä ohjeita on useissa sijainneissa. Työohjeiden sisällön ja ajankohtaisuuden ylläpidosta huolehtiva henkilö tullaan määrittämään korjauspaikan henkilöstöstä. Korjauspaikan työskentelytilat tullaan läpikäymään vanhentuneiden ohjeiden poistamiseksi. Sidos- ja jakeluryhmien välistä tiedonkulkua tullaan parantamaan fyysisellä ohjeella.

Työympäristö: Oikosulkulenkit tullaan jättämään kiinni testauspaletin adapterille, koska HIPOT 2 on pois käytöstä ja irrotukselle ei näin ole tarvetta, jolloin tästä aiheutuneilta virheiltä vältytään. ACx-580-laitteiden kiertävään testaukseen käytettävässä kolmijalassa on kaksi RJ-45-naarasliitintä, joista vain toista käytetään kommunikointiin. Käyttämättömiin RJ-45-naarasliittimiin tullaan asentamaan irtonaiset urosliittimet virheasentamisen estämiseksi. Kaikkien tehokaapeleiden isot liittimet tullaan vaihtamaan pieniin, jotta testauskaapeleiden liittimet saadaan yhtenäistettyä ja Poka-Yoke-menetelmän käyttö mahdollistetaan kaapeloinnissa. DC+ -kaapelit tullaan merkitsemään punaisella kutistesukalla sekä BR-kaapelit (Break, jarru) sinisellä kutistesukalla visuaalisuuden parantamiseksi sekä ristiinkytkennän ehkäisemiseksi. Paletin adapteripäähän tullaan päivittämään värikoodausmerkinnät DC+:lle punainen ja BR-:lle sininen. Tämän lisäksi DC+ ja DC- kaapelit sekä johdot tullaan yhdistämään pareina Poka-Yoke-menetelmällä esimerkiksi 3D-tulostetulla liitinterminaalilla ristiin kytkennän ehkäisemiseksi. Vaihtoehto tälle olisi kokonaan uudet vaihekaapelit, joissa liitinterminaali on valmiina. U, V, W sekä T1, T2 ja T3 vaihekaapelit tullaan yhdistämään rinnakkain esimerkiksi 3D-tulostetulla liitinterminaalilla tai kutistesukilla. Myös

tälle vaihtoehtona olisi kokonaan uudet vaihekaapelit, joissa liitinterminaali on valmiina. Matalat (10 cm) kaapelilaatikot tullaan vaihtamaan korkeampiin irrotettavien kaapeleiden asettamista sekä laatikoiden liikuttelua helpottamaan. LD2 korjauspaikalle tullaan hankkimaan tarvittavat työkalut ja korjausta helpottavat kärryt sekä 5S-merkinnät korjataan. Älyväännin tullaan lisäämään tuleviin kaapelointipisteisiin ergonomian parantamiseksi sekä työkalujen vähentämiseksi. Työntekijänumeron jäljitys kaapeloinnin jälkeen / ennen testausta mahdollistaisi, että virheen tapahtuessa saadaan tästä tieto tekijälle.

7 Toimenpiteiden implementointi

Tässä kappaleessa käydään läpi suunnittelun ja ideoinnin pohjalta nousseita ehdotuksia, jotka todettiin hyödyllisiksi ja työskentelyä kehittäväksi. Parhaiksi todetut ehdotukset päädyttiin toteuttamaan korjauspaikan työskentelyalueille. Osa ehdotuksista tullaan toteuttamaan vasta tulevaisuudessa insinöörityön rajallisten aikamääreiden vuoksi. Implementoidut toimenpiteet on käyty läpi tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

Työohjeet: Korjauspaikan kaapelointi-, HIPOT- ja testaustyöpisteille toteutettiin fyysisten sekä digitaalisten työohjeiden standardointi ja esillepano. Laitteiden visuaalisen tarkastuksen vaiheet standardoitiin ja niiden fyysiset versiot sijoitettiin tarvittaville työpisteille. Digitaaliset versiot siirrettiin SAP:iin. Visuaaliseen tarkastukseen kuuluu laitteiden tarroituksien läpikäynti sekä näkyvien liitosten ristiintarkastus. Kommunikointikaapeleiden pituuksille ja häiriönpoistoferriittien etäisyyksille sekä reitityksille tehtiin ohjeistukset, jotka standardoitiin ja sijoitettiin tarvittaville työpisteille sekä digitaaliset versiot SAP:iin. Tämä parantaa testauksen kommunikointia työtapojen yhtenäistämisellä. Korjauspaikan ohjeet erotettiin linjan asennusohjeista ja niille luotiin omat ohjeet selkeyden, yhtenäistämisen sekä nopeamman työskentelyn mahdollistamiseksi. Lähetyspisteelle lisättiin myös kaapelointiohje ristiintarkastuksen helpottamiseksi. Digitaalisille työohjeille valittiin yhteinen sijainti SAP:iin, koska ohjeita oli useissa sijainneissa, mikä hidasti sekä hankaloitti työskentelyä. Huolto-ohjeita ja vastaavia

muita tärkeitä dokumentteja jätettiin kuitenkin Sharepoint:iin, koska niitä ei tarvita jokapäiväisessä työskentelyssä. Sidos- ja jakeluryhmien välistä tiedonkulkua parannettiin fyysisillä ohjeilla, jotka sijoitettiin niitä tarvitseville työpisteille.

Työympäristö: DC+ -kaapelit merkittiin punaisella kutistesukalla visuaalisuuden parantamiseksi sekä ristiinkytkennän ehkäisemiseksi ja myös BR-kaapelit tullaan merkitsemään sinisellä kutistesukalla samoilla perusteluilla kuin DC+ -kaapelit. Oikosulkulenkit jätettiin kiinni testauspaletin adapterille, koska HIPOT 2 on pois käytöstä ja irrotukselle ei näin ole tarvetta, jolloin tästä aiheutuneet virheet estetään. ACx-580 laitteiden kiertävään testaukseen käytettävässä kolmijalassa (Kuva 13) on kaksi RJ-45-naarasliitintä, joista vain toista käytetään kommunikointiin. Käyttämättömiin RJ-45-naarasliittimiin asennettiin irtonaiset urosliittimet virheliitoksen estämiseksi. Irtonainen asennettu urosliitin merkattu kuvassa 13 keltaisella ruudulla.

Kuva 13. Kiertävä kolmijalka

Kuva 14. Tehokaapeleiden liittimet ennen yhtenäistämistä. Vasemmalla vanhat isot liittimet ja oikealla yhtenäistetty pieni liitin

Matalat (10 cm) kaapelilaatikot vaihdettiin korkeampiin irrotettavien kaapeleiden asettamista sekä laatikoiden liikuttelua helpottamaan. Kaikkien tehokaapeleiden isot liittimet vaihdettiin pieniin, jotta testauskaapeleiden liittimet saatiin yhtenäistettyä (Kuva 14) ja Poka-Yoke-menetelmän hyödyntäminen olisi mahdollista tulevaisuudessa. LD2 Korjauspaikalle hankittiin tarvittavia työkaluja, työkaluseinä ja korjauskärry sekä suoritettiin muita pienempiä 5S parannuksia sekä merkintöjä.

8 Lopputulokset ja jatkosuunnitelmat

Insinöörityön tuloksena luotiin korjauspaikan kaapelointi-, HIPOT- ja testaustyöpisteille uusia standardoituja työohjeita digitaalisessa sekä fyysisessä muodossa. Ohjeita luotiin yhteensä 19 kappaletta. Nämä ohjeet sijoitettiin työpisteiden välittömään läheisyyteen, jotta niiden käyttö olisi mahdollisimman nopeaa ja vaivatonta. Työohjeiden lisääminen työpisteille parantaa ja helpottaa myös uusien työntekijöiden perehdyttämistä tulevaisuudessa. Uusien visuaalisten ohjeiden voidaan olettaa vähentävän virheitä standardisoidun työtavan teorian mukaan, mutta tuloksista ei voida olla varmoja ennen kuin uusien ohjeistuksien käyttö on vakiintunut sekä ajankohtainen työvirhedata ja FPY (First Pass Yield) on saatavilla. Kaksi viikkoa toimenpiteiden implementoinnista työvirheiden määrässä ei vielä ollut näkyvää muutosta. Korjauspaikan kaikkien ohjeiden sijainti

SAP:ssa määritettiin yhteen paikkaan ohjeiden hakemisen selkeyttämiseksi. Uusista ohjeista informointi sekä ohjeistuksien läpikäynti suoritettiin korjauspaikan sähköpostin välityksellä, jotta se tavoittaisi kaikkien vuorojen henkilöstön. Vain muutama toteutetuista 5S-muutoksista oli virheen estäviä ja loput virheitä ehkäiseviä. Muutokset kuitenkin loivat pohjan, jotta tulevaisuudessa korjauspaikan työvaiheista on mahdollista kehittää Poka-Yoke-menetelmällä virheen estäviä. Sidosryhmiä informoitiin tehdyistä ohjeista, standardeista ja muutoksista sekä mahdollisista jatkoehdotuksista. Näin sidosryhmät saivat ajankohtaista tietoa korjauspaikan tilanteesta ja mahdollisista kehityskohteista.

Korjauspaikan kehityksen jatkosuunnitelmina voitaisiin luoda työryhmä parantamaan perehdytysohjeita sekä tutkimaan laitteiden korjaamisen kehittämistä. Työohjeiden sisällön ja ajankohtaisuuden ylläpidosta huolehtimaan voitaisiin etsiä halukas työntekijä korjauspaikan henkilöstöstä, koska henkilö olisi jo valmiiksi perillä korjauspaikan toiminnasta. Korjauspaikan työskentelytilat tulisi käydä läpi vanhentuneiden ohjeiden poistamiseksi sekä päivittämiseksi ja huolehtia tarvittavista 5S-toimenpiteistä niiden osalta. Tulevaisuudessa virheiden syntymistä voitaisiin estää ristiintarkastusohjelmalla. Ohjelma avaisi kuvallisen pop-up-ikkunan ennen testiä laitteen jäljitettävän sarjanumeron perusteella sen tarvitsemista liitännöistä ja sille suoritettavista tarkastuksista. Tarvittavien liitäntöjen ja tarkistusten jälkeen pop-up kuitattaisiin. DC+ -kaapelin sekä DC- -johdon yhdistäminen Poka-Yoke-menetelmällä 3D-tulostettavalla liitinterminaalilla poistaisi mahdollisuuden ristiin asentamisesta ja vähentäisi suoraan työvirheitä. Tehokaapeleiden yhdistämisen mahdollisuutta Poka-Yoke-menetelmällä voitaisiin myös tutkia tarkemmin sen virheitä estävän vaikutuksen vuoksi. Myös tulossa olevaa DMC (Digital Manufacturing Cloud) ohjelmaa voitaisiin kehittää korjauspaikan tarpeita ajatellen työntekijöiden kanssa parhaan tuloksen mahdollistamiseksi.

9 Yhteenveto

Insinöörityö tehtiin ABB:n tuotannon kehitystiimin alaisuudessa Large Drives-osastolle. Työn tavoitteena oli standardoida taajuusmuuttajien korjaus- / testauspaikan työ- ja toimintatapoja sekä työohjeita, koska korjauspaikan virheiden määrä oli merkittävä kaikkiin virheisiin verrattaessa. Standardoinnin lopputavoitteena oli korjauspaikan virheiden vähentyminen. Kattavan alkukartoituksen, teorian sekä henkilöstön kyselyn pohjalta tehtiin useita parannuksia ja toimenpiteitä työohjeiden, -tapojen sekä -ympäristön kehittämiseksi. Standardoitujen työohjeiden lisääminen työpisteille parantaa ja helpottaa ristiintarkastuksien tekemistä sekä uusien työntekijöiden perehdyttämistä tulevaisuudessa. Kaksi viikkoa toimenpiteiden implementoinnista työvirheiden määrässä ei vielä ollut näkyvää muutosta. Uusien ohjeiden sekä tapojen oppiminen ja sisäistäminen vie oman aikansa. Osa muutoksista toteutettiin tulevaisuuden kehitystoimenpiteiden pohjaksi. Työ pohjustaa myös perehdytys- ja korjausohjeiden päivitystä. Uusista ohjeista informointi sekä ohjeistuksien läpikäynti suoritettiin korjauspaikan sähköpostin välityksellä, jotta se tavoittaisi kaikkien vuorojen henkilöstön. Sidosryhmiä informoitiin tehdyistä ohjeista, standardeista ja muutoksista sekä mahdollisista jatkoehdotuksista. Näin sidosryhmät saivat ajankohtaista tietoa korjauspaikan tilanteesta ja mahdollisista kehityskohteista.

Lähteet

1 About ABB. Verkkoaineisto. ABB Asea Brown Boveri Ltd. <https://global.abb/group/en/about>. Luettu 13.11.2022.

2 Q4 and full-year 2020 results. Verkkoaineisto. ABB Asea Brown Boveri Ltd. <https://new.abb.com/news/detail/73590/q4-and-full-year-2020-results>. Luettu 13.11.2022.

3 ABB Suomessa. Verkkoaineisto. ABB Asea Brown Boveri Ltd. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>. Luettu 13.11.2022.

4 Yrityshaku. Verkkoaineisto. Alma Media Oyj. <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/abb+oy/0763403-0>. Luettu 13.11.2022.

5 Taajuusmuuttajat. Verkkoaineisto. <https://blogit.gradia.fi/sahkonet/sahko-ja-automaatioasennukset/oppimistehtavat/teollisuuden-sahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat/>. Luettu 13.11.2022.

6 Womack, J. & Jones, D. (2003). Lean Thinking, Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Simon & Schuster UK Ltd.

7 Helmold, M. (2021). Successful Management Strategies and Tools. Cham: Springer International Publishing AG.

8 Kouri, I. (2010). Lean Taskukirja. Helsinki: Teknologiainfo Teknova.

9 Standardi. Verkkoaineisto. <https://www.kielitoimistonsanakirja.fi/#/standardi>. Luettu 13.11.2022.

10 Mitä standardi tarkoittaa?. Verkkoaineisto. SFS ry. <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/>. Luettu 13.11.2022.

11 Kilponen, T. & Jokinen, T. (2020). Standardoitu työ. Oamk_kone with passion: vuodesta 1894, 2 (2), 20-22.

12 Andersen, B. & Fagerhaug, T. (2006). Root Cause Analysis, Simplified Tools and Techniques. 2. painos. ASQ Quality Press.

13 Industrial drives. Verkkoaineisto. ABB Asea Brown Boveri Ltd. <https://new.abb.com/drives/low-voltage-ac/industrial-drives>. Luettu 13.11.2022.

14 Yhden kappaleen virtaus. Verkkoaineisto. Lean thinking Oy. <https://leanthinking.fi/sanasto/yhden-kappaleen-virtaus/>. Luettu 13.11.2022.

15 Throughput Yield (TPY). Verkkoaineisto. Six-Sigma-Material.com. <https://www.six-sigma-material.com/Throughput-Yield.html>. Luettu 13.11.2022