

Opinnäytetyö (YAMK)

Ohjelmistotekniikka ja ICT

2020

Mikko Peltonen

TUOTANNON KEHITTÄMINEN LEAN SIX SIGMA -MENETELMIEN AVULLA

Mikko Peltonen

TUOTANNON KEHITTÄMINEN LEAN SIX SIGMA -MENETELMIEN AVULLA

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, että saadaanko DMAIC-projektilla parannettua tuotantosolun ensisaantoa ja läpimenoaika. Yrityksen tuotantoa on kehitetty pitkään Lean-ajattelun mukaisesti ja helpot hukat on jo poistettu. Työssä on tutustuttu Lean Six Sigman työkaluihin, aiheesta tehtyihin tutkimuksiin ja kirjoihin.

Tutkimus toteutettiin tekemällä DMAIC-projekti tuotantosolujen testausvaiheen prosessille. Tuotantosolussa valmistetaan optisia solmuja. Jokaisessa DMAIC-prosessin vaiheessa on käytetty muutamia Lean tai Six Sigma -työkaluja, jotka antavat vastauksia vaiheen kysymyksille. Yksi tutkimuksen osa-alue on ollut selvittää, löytyykö SPC:n datasta yhtymäkohtia operaattoreiden virheille, tai syille jotka pidentävät läpimenoaika, vaikka ensisaanto ei huononisikaan. Tutkimuksessa testauksen seuranta, haastattelut ja kyselytutkimus osoittivat, etteivät kaikki virheet paljastu SPC-datan avulla. Läpimenoaika ja laatua on mahdollisuus parantaa.

Tutkimuksen johtopäätöksenä on, että Lean Six Sigman työkaluilla löydetään edelleen hukkia ja virhepaikkoja prosessista. SPC:n datan hyväksikäyttöä olisi mahdollisuus vieläkin parantaa, ja sinne saataisiin talletettua myös lisää hyödyllistä dataa, jolla päästäisiin kiinni nopeammin mahdollisiin ongelmiin.

Tutkimuksen tuloksena löytyi parannettavaa mittasysteemeissä, työtavoissa ja tuotteissa tuotannollisuutta ajatellen. DMAIC-projektin tuottamaa tulosta ei saatu selville tässä tutkimuksessa, koska parannusehdotusten toteutus jäi myöhempään. DMAIC-projektin parannus ja seurantavaihe ovat vain spekulatiota siitä mitä voitaisiin parantaa, ja miten muutokset voisivat vaikuttaa ensisaantoon ja läpimenoaikoihin. Mittaus, analyysi ja parannusvaiheen tuloksia voidaan kuitenkin hyödyntää myöhemmin. Osaan tutkimuksessa olleista tuotteista on tulossa päivitys, jolloin niissä saadaan osa tutkimuksen huomioista ja parannusehdotuksista käyttöön.

ASIASANAT:

Lean, Six Sigma, testaus, valmistus, mittaaminen, DMAIC

MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Software Engineering and ICT

2020 | 33 pages, 2 pages in appendices

Mikko Peltonen

PRODUCTION DEVELOPMENT USING LEAN SIX SIGMA METHODS

The aim of the study was to determine, whether the DMAIC project would improve the first pass yield of the production cell and turnaround time. The company's production has long developed in line with Lean manufacturing and the easy wastes have already eliminated. This work there is familiarization with Lean Six Sigma tools, as well as on the studies and books already done on the current topic.

The study put into effect by making a DMAIC project for the production cells testing phase process. Optical nodes will manufactured in the production cell. In each phase of the DMAIC process, Lean or Six Sigma tools were used, which give answers to the particular phases questions. One area of research has been to figure out, whether confluences are there able to found from the SPC data on operator errors, or for reasons that prolong the turnaround time, even if the first pass yield does not degenerate. Follow-up the work, interviews, and a survey showed that not all errors not be revealed using by SPC data. There is possibilities for improvement in the lead-time and quality.

The studies main conclusion is that with Lean Six Sigma tools, wastage and error spots still found can found from process. The utilization of SPC data still has the potential to be further improved and different useful data could be stored there, which allows potential problems to tackle more rapidly.

As result of the studies, improvement opportunities found in the measurement systems, working methods and products in terms of productivity. The DMAIC project not completed in this study, because the implementation of suggestions for improvement delayed to a later date. The improvement and follow-up phase of the DMAIC project are just speculation on about what could be improve, and on how the changes could affect the initial yield and lead times. Measurement, analysis and the improvement phase results, however, can be use later. For some of the products in the study an update is on the way, which would allow making some of the research's findings and suggestions for improvements available for use.

KEYWORDS:

Lean Six Sigma, Testing, Manufacturing, measuring, DMAIC

SISÄLTÖ

SYMBOLIT JA LYHENTEET SEKÄ SANASTO	5
1 JOHDANTO	6
2 LEAN SIX SIGMA	8
2.1 Lean	8
2.2 Six Sigma	9
2.3 DMAIC-ongelmanratkaisumenetelmä	11
2.4 Lean Six Sigma -työkalut	13
3 DMAIC-PROSESSIN TOTEUTUS	14
3.1 Määrittely	15
3.2 Mittaus	17
3.3 Analysointi	20
3.3.1 Ensisaanto	21
3.3.2 Läpimenoaika	23
3.4 Parannus	24
3.4.1 Parannusehdotukset	26
3.5 Ohjaus	27
4 POHDINTAA	29
5 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	33

LIITTEET

Liite 1. Projektin peruskirja

Liite 2. Kyselykaavake tuotannon operaattoreille ja korjaajille.

SYMBOLIT JA LYHENTEET SEKÄ SANASTO

C_p	Prosessikyvykkyyssindeksi
C_{pk}	Prosessikyvykkyyssindeksi joka ottaa huomioon keskiarvon sijoittumisen Toleranssirajojen sisällä.
CSO	Toisen kertaluokan särö (Composite Second Order beat)
CTB	Kolmannen kertaluokan särö (Composite Third order Beat)
CTQ	Kriittinen laadun kannalta (Critical To Quality)
DFM	Suunniteltu tuotantoon (Design for manufacturing)
DMAIC	Ongelman ratkaisu prosessi jossa viisi vaihetta. Määrittely, mittaus, analysointi, parannus ja ohjaus (Define, Measure, Analyze, Improve and Control)
MSA	Mittasysteemin analyysi (Measurement system analysis)
PDCA	Demingin laatuympyrä on ongelman ratkaisumalli ja kehittämismenetelmä. Suunnittele, toteuta, tarkasta ja korjaa (Plan, Do, Check and Act).
RTY	Läpivörytetty saanto (rolled Throughput Yield)
SPC	Tilastollinen prosessin valvonta (Statistical Process Control)
Lean	Johtamisfilosofia, joka keskittyy seitsemän erilaisen turhuuden (tuottamattoman toiminnon) poistamiseen
Poka yoke	Termi on japania ja tarkoittaa kömmähdyssuojaa. Toyotan käyttämä malli siitä, miten tuotannossa saavutetaan nollavirhetaso.
Six Sigma	Laatujohtamisen ja laadunparantamisen menetelmä, joka kehitettiin Motorolassa 1980 luvulla.

1 JOHDANTO

Teleste Oyj on jo pitkään kehittänyt virtaustehokasta tuotantoa (Lean production). Vuosien saatossa on tuotteiden läpimenoaikoja saatu parannettua merkittävästi. Muutoksia on kokenut koko tuotannon prosessi alusta loppuun. Tuotteiden läpimenoajat ovat lyhentyneet merkittävästi, ja samalla hukkia on poistettu. Yksi merkittävä haaste tuotannossa on se, että tuotteet ovat monimutkaisia ja valmistettavien erilaisten tuotteiden määrä on suuri. Tuotteiden monimutkaisuus aiheuttaa testaukselle suuria vaatimuksia. Osalla tuotteista voi olla monta kalibroitavaa ja viritettävää ominaisuutta, sekä kymmeniä mitattavia ominaisuuksia. Tästä johtuen pienet inhimilliset virheet, hieman väärät työtavat tai mittajärjestelmän virheet ovat yleisiä. Näihin ei kuitenkaan aina pääse helposti kiinni, koska testausprosessit ovat monimutkaisia.

Työssä tutkitaan Lean Six Sigman DMAIC-ongelmanratkaisumenetelmän sopivuutta Telecten tuotannon ongelmiin. Tutkimus toteutetaan DMAIC-projektin avulla, jolla pyritään parantamaan tuotantosolun ensisaantoa ja läpimenoaika. Työn tarkoituksena on tutkia, saadaanko solun toimintaan parannusta, vaikka kehitystä on jo tehty vuosia. Työn kehityskohteeksi on valittu optiset valmistussolut. Soluissa valmistetaan lähinnä optisia soluja "optical nodes". Optinen solmu on laite, jossa on optinen vastaanotin ja lähetin. Vastaanotin muuttaa optisen signaalin sähköiseksi, ja lähetin taas muuntaa sähköisen signaalin optiseksi. Optinen solmu on laite optisen kuituverkon ja kuparisen koaksiaalikaapeliverkon solmukohdassa. Näistä laitteista valitaan muutama, joiden saantoa pyritään parantamaan, vähentämällä testaus virheitä DMAIC-projektin avulla. Jos projekti onnistuu, antaa se pohjan ja mahdollisuuden kierrättää projektia uudelleen, samankaltaisissa parannus projekteissa.

Optisten solmujen testauksessa on monta eri vaihetta ja kytkentää. Tämän johdosta testaus saattaa keskeytyä monessa eri vaiheessa. Monimutkaisimpien laitteiden sähköinen testaus saattaa kestää yli 20 minuuttia. Jos testaus keskeytyy jonkin virheen tai muun syyn, kuin laitteen viallisuuden takia, tulee turhaa testausaika. Joillakin laitteilla on ensisaanto noin 60 %. Korjaukseen menee vain 5 % laitteista. Tämä 35 %:n uudelleen testaus on täysin turhaa työaika, ja syö solun kapasiteettia. Kiireellisinä aikoina tämä turha testaus aiheuttaa myös tuotantoon pullonkaulan ja toimitukset saattavat viivästyä. Turha uudelleentestaus lisää myös kuluja, rahaa kuluu turhaan tekemiseen. Solutyöntekijälle turha testaaminen aiheuttaa turhautumista.

Projektin tavoitteena on löytää virhelähteitä, joille on mahdollista tehdä korjaavia toimenpiteitä. Nykyisestä datasta jota kerätään paljon, yritetään löytää syitä turhiin keskeytyksiin. Data ei kuitenkaan kerro aina syytä keskeytykselle, vain vaiheen jossa keskeytys tapahtui. Keskeytyksen syy on selvä vain, kun tuote mene korjaukseen. Näitä muita syitä pyritään löytämään eri työkaluilla, jotta voitaisiin poistaa turhia testauksen keskeytyksiä.

Aiheesta on tehty lukuisia tutkielmia. Lehtilä on käsitellyt puhallinmuuntajan valmistusprosessin analysointia ja parantamista DMAIC-menetelmillä. Työssä perehdytään koko tuotantoprosessiin. Tuote on yksinkertaisempi kuin optinen solmu. Tässä työssä keskitytään sähköiseen testaamiseen ja sen ongelmiin. Tuotantosoluja on jo kehitetty paljon, joten tässä vaiheessa kaikkein helpoimmat parannukset on jo hoidettu [1]. Uusitalo käsittelee Lean Six Sigmaa kirjallisuustutkimuksena, tavoitteenaan selvittää Lean Six Sigmaan olemus. Tutkimuksellisesti työt ovat varsin erilaisia. [2] Jormanainen keskittyy tutkimaan, miten Lean Six Sigma -menetelmä soveltuu eri aloille. Tutkimuksessa on neljältä eri alalta yksinkertaiset DMAIC-tutkimukset. Tutkimus kuitenkin keskittyy eri asioihin tämän työn kansa. [3] Kossi parantaa varaston kiertoa DMAIC-projektilla. Parannettava kohde on varsin erilainen. [4] Shahada:n ja Alsyouf:in tutkimuksessa oli tarkoitus kehittää DMAIC-kehys ja runko, jolla voidaan systemaattisesti lähestyä jatkuvaa parantamista. Kehys on testattu konepajateollisuudessa. [5]

Työn alussa luvussa 2 on työn teoriaosuus, jossa käsitellään Lean Six Sigmaa, sen ongelmanratkaisumenetelmän DMAIC-prosessia ja prosessin työkaluja. Luvussa 3 käsitellään DMAIC-projekti, joka on varsinainen tutkimusosuus. Jokaiselle vaiheelle on oma alalukunsa. Alaluvut 3.1, 3.2 ja 3.2 sisältävä kuvauksen varsinaisesta työstä joka on tehty, eli vaiheet määrittely, mittaus ja analysointi. Alaluvussa 3.4 ja 3.4.1 käsitellään parannusehdotukset, näitä ei kuitenkaan päästy toteuttamaan. Luvussa neljä on pohdintaa ja luvussa viisi yhteenveto.

2 LEAN SIX SIGMA

Lean ja Six Sigma ovat olleet kaksi erillistä konseptia, joilla on johdettu ja parannettu yritysten tekemistä ja laatua. Lean ja Six Sigma yhdistettiin vuonna 2002. Yhdistäminen sai aikaan entistä tehokkaamman johtamistyökalun, joka tunnetaan Lean Six Sigmana. Kombinaatio yhdistää Six Sigman laatutason ja Leanin nopeuden. Yhdessä näitä tuttuja konsepteja voidaan hyödyntää tehokkaammin. Lean Six Sigma on menetelmä, jossa yhdistyy prosessi- ja tuoteosaaminen, ammattitaito ja tiede. [6]

2.1 Lean

Lean-ajattelu perustuu Toyotan toimintatapaan TPS (Toyota Production Systems). Lean on kokonaisvaltainen kehittämisfilosofia, jolla monet menestyvät yritykset ovat kehittäneet toimintaansa.

Lean-ajattelun mukaan, yrityksen tärkein tehtävä on tuottaa asiakkaalle arvoa. Kun arvo jota asiakkaalle halutaan tuottaa, on määritelty. Toimintoja voidaan tarkastella arvon tuoton kannalta. Kaikki aktiviteetit voidaan jakaa arvoa tuottaviin toimintoihin, tukitoimintoihin ja hukkaan. Arvoa tuottavat toiminnot jotka, muokkaavat materiaalia, tietoa tai jopa ihmistä asiakkaan haluamaan suuntaan. Tukitoiminnot ovat välttämättömiä, jotta arvoa tuottavat toiminnot ovat mahdollisia, mutta ne eivät suoraan luo asiakkaalle arvoa. Hukka taas on toiminto, joka ei tuota arvoa, eikä ole välttämätön asiakkaan arvonluonnin kannalta, ja joka voitaisiin pienellä investoinnilla poistaa. Kuvassa 1 on hukkia, jotka Toyota on määritellyt omassa toiminnassaan. [7]

<p>Toyotan 7 hukkaa (Muda) eli toiminnalliset hukat</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ylituotanto • Varastot • Odottaminen ja etsiminen • Siirtymiset • Siirrot ja käsittelyt • Korjaustyö • Turha työ 	<p>Kahdeksas ja pahin hukka:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ihmisten aivokapasiteetin ja osaamisen käyttämättä jättäminen <p>Toiminnallisen hukan lisäksi on kaksi muuta suurta hukkatyyppiä:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hajonta • Ylikuormitus
---	--

Kuva 1. Hukat joita virtaustehokkaassa tuotannossa pyritään poistamaan. [7]

Virtaustehokkuus on toinen Lean-ajattelun tärkeä osa-alue. Kun asiakkaan arvo on määriteltä ja tunnistettu arvoa tuottavat ja tuottamattomat toiminnot. Tämän jälkeen pyritään poistamaan kaikki hukat, jotka on mahdollista poistaa kohtuullisilla kustannuksilla. Samalla pyritään järjestämään arvoa tuottavat toiminnot mahdollisimman sujuviksi virtauksiksi. Virtauksina voi ajatella esimerkiksi: Tuotteen valmistusprosessia, vaikka palvelukonseptia jossa on alku ja loppu ja välissä toimintoja. Virtaustehokkuutta voidaan mitata läpimenoajalla, joka menee prosessilta alusta loppuun saattamiseen. [7]

Kolmas Lean-ajattelun kulmakivi on jatkuva parantaminen. Hukkaa poistetaan ja virtaustehokkuutta parannetaan jatkuvasti. Yksi suurimmista hukista on, ihmisten osaamisen käyttäminen. Tästä johtuen juuri itse työtätekevät ihmiset ovat suuressa roolissa virtauksen kehittämisessä. Jatkuvaa parantamista tuetaan toiminnan mittaamisella. Mittareiden käyttäminen on tärkeää päivittäisessä johtamisessa, jotta jatkuvaa parantamista voidaan tehdä, ja poikkeamat havaitaan ajoissa. Systemaattinen jatkuva parantaminen edellyttää ongelmien tutkimista huolella, jotta ne ymmärretään oikein. Erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja testataan ja seurataan. Toimivat ratkaisut otetaan laajasti käyttöön. Tämä systeemi tunnetaan Demingin ympyränä, joka on PDCA-sykli (Suunnittele-tee-tarkasta-toimi). Lean-ajatteluun liittyy paljon erilaisia periaatteita ja työkaluja, joilla ohjataan ja seurataan monia asioita. Työkaluja ja periaatteita on esimerkiksi: Virtauksen ja toiminnan oikea-aikaisuuden parantamiseen ja seurantaan, ihmisten ja tiimityön johtamiseen ja seurantaan, Laadun parantamiseen ja seurantaan, hukan vähentämiseen ja seurantaan, vakauden parantamiseen ja seurantaan sekä työkalut jatkuvaan parantamiseen ja ongelmanratkaisuun. [7]

2.2 Six Sigma

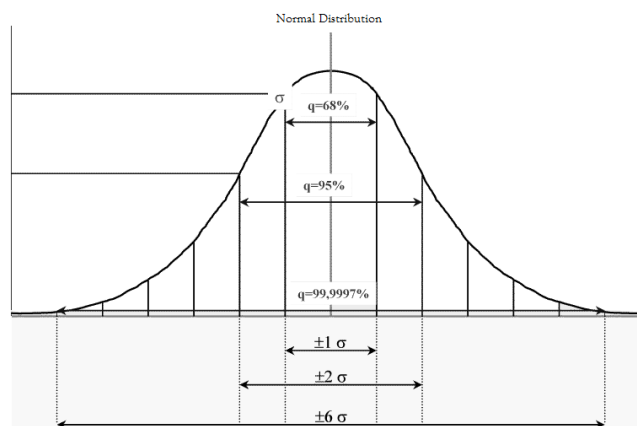
Six Sigma on laadunparantamismenetelmä, joka kehitettiin Motorolassa 1980-luvulla. Six Sigma on erittäin kurinalainen prosessin parantamismenetelmä, joka ohjaa organisaatiota keskittymään, kehittymään ja toimittamaan lähes täydellisiä tuotteita ja palveluita. Six Sigman keskeinen ajatus on, että jos pystymme mittaamaan kuinka monta virhettä prosessissa on. Voidaan systemaattisesti selvittää miten virheet voidaan poistaa ja päästä lähelle nolla virhettä. [8]

Vuonna 1985 Bill Smith Motorolalta loi termin "Six Sigma" ja selitti, että Six Sigma edustaa 3,4 vikaa miljoona mahdollisuutta kohti. Tämä on optimitaso laadun ja kustannusten tasapainottamiseksi. Kuvassa 2 on normaalijakauma, jossa näkyy myös

kuuden sigman keskihajonta. Sigma on kreikkalainen symboli, jolla merkitään keskihajontaa. Telesten tuotannossa $\pm 2 \sigma$ ensisaantoon pääseminen olisi erittäin hyvä suoritus. Perusjoukon keskihajonta lasketaan seuraavasta kaavasta:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad [1]$$

Monet johtavat yritykset ovat ottaneet käyttöönsä Six Sigman. GE:n (General Electric) raporttien mukaan Six Sigma on tuonut viivan alle lisää tulosta, 1997 300 miljoonaa dollaria, 1998 750 miljoonaa dollaria ja 1999 2 miljardia dollaria. [8]



Kuva 2. kuuden Sigman normaalijakauma. [8]

Six Sigma -konsepti on menetelmä laadun parantamiseksi poistamalla puutteita ja niiden syitä. Menetelmä keskittyy asiakkaiden kannalta tärkeisiin tuotoksiin ja muuntaa asiakkaiden tarpeet vaatimuksiksi. Tästä syntyy CTQ (kriittinen laatu). Kun tunnetaan CTQ ja luodaan hyvä mittaristo, voidaan verrata todellista prosessia asiakaskohtaisiin vaatimuksiin ja kuvata tämä tilastollisessa jakaumassa. Six Sigma -konseptissa pyritään saamaan tietoa prosessin siirtofunktiosta. Ja pyrkiä ymmärtämään syöttömuuttujien ja lähtömuuttujien suhteesta. Kun muuttujien suhteet tunnetaan, voidaan lähtömuuttujaa ohjailta tulomuuttujien muutoksilla. [8]

Six Sigma perustuu tilastollisen ajattelun paradigmaan:

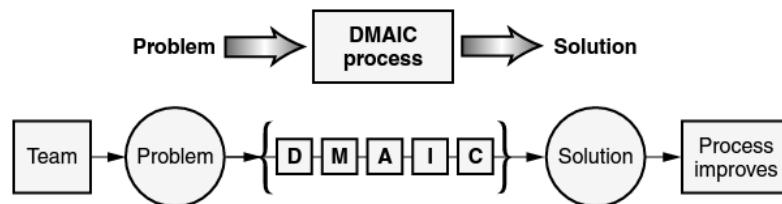
- Kaikki työ tapahtuu toisiinsa kytkettyjen prosessien järjestelmässä.
- Kaikilla prosesseilla on luontainen variaatio.
- Data-analyysiä käytetään vaihtelun ymmärtämiseen ja ajamaan päätöksiä prosessin parantamiseksi. [8]

2.3 DMAIC-ongelmanratkaisumenetelmä

Six Sigmassa ongelmanratkaisu poikkeaa perinteisestä ongelmanratkaisusta, jossa haetaan ilmeistä syytä. Ilmeinen syy on erityissyy laatukielellä ja akuutti sairaus hoitotieteessä. Suorituskyvyn parantaminen vaatii prosessin satunnaisten syiden löytämistä (common cause). Hoitotieteessä termi on krooninen sairaus, jonka syytä ei tiedetä. [9]

Mikel J. Harry on kehittänyt DMAIC-prosessin, satunnaisen syyn löytämiseksi. DMAIC tulee sanoista define, measurement, analysis, improvement, control eli määrittely, mitaus, analysointi, parannus ja ohjaus. Tämä prosessi muodostaa läpimurtostrategian, jossa edetään hyvin loogisesti induktio- deduktio-tietä kohti juurisyytä. Aluksi keskitytään ongelman kuvaamiseen ja syiden etsimiseen, karakterisointivaiheeseen. Sen jälkeen seuraa optimointivaihe, jossa syytekijöitä muuttamalla optimoidaan ja parannetaan tuote ja prosessi. [9]

Six Sigma on enemmän kuin vain visio ja tavoite. Se on viisivaiheinen DMAIC-prosessi, jolla tavoite saavutetaan. Menetelmä perustuu dataan strukturoituun tilastolliseen ongelmanratkaisumenetelmään, jossa käytetään lukukuisia erilaisia tilastollisia työkaluja. [9] Kuvassa 3 on DMAIC-kehitysprosessi.






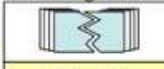

Kuva 3. DMAIC-prosessi. [10]

DMAIC-mallin suurimmat edut ja erot normaaliin ongelmanratkaisuun:

- Ongelman mittaaminen. DMAIC:ssa ongelma on aina todistettava eli validoitava tosiasioilla. Ei vain oleteta, että ymmärretään ongelma.
- Keskittyminen asiakkaaseen. Ulkoinen asiakas on aina tärkeä, vaikka vain yritettäisiin leikata kustannuksia.
- Juurisyyden todentaminen. Tiimin ei voi päättää yhdessä ongelmasta. Six Sigmassa syy on todistettava faktoilla ja datalla.

- Vanhoista tavoista luopuminen. DMAIC-projekteista syntyvien ratkaisujen ei pitäisi olla pieniä muutoksia vanhaan prosessiin. Todelliset tulokset ja muutokset tuovat uusia luovia ratkaisuja.
- Riskin johtaminen. Ratkaisujen testaaminen ja kehittäminen on tärkeää Six Sigmassa.
- Tulosten mittaaminen. Kaikkien ratkaisujen mittaaminen ja seuranta on erittäin tärkeää. Tällä varmistutaan ratkaisun todellisesta vaikutuksesta. Tällöin turvaututaan yhä tiukemmin faktoihin.
- Muutoksen ylläpitäminen. DMAIC:n avulla löydetty parhaat käytännöt eivät välttämättä pysy parhaina ajan saatossa. Siksi seuranta ja muutos ovat avain tässä ongelmanratkaisumenetelmässä. [9]

DMAIC-prosessia voidaan käyttää prosessin parantamiseen tai prosessin suunnitteluun / uudelleensuunnitteluun. Kuvassa 4 on esitetty jokaiselle vaiheelle suuntaa antavia ohjeita prosessin ja sen suunnittelun parantamiseksi.

PROSESSIN PARANNUS LEAN SIX SIGMALLA		
Lean Six Sigman vaiheet	Prosessin parannus	Prosessin suunnittelu/ uudelleen suunnittelu
 1. MÄÄRITTELY	<ul style="list-style-type: none"> • Tunnista ongelma • Määrittele vaatimukset • Aseta tavoite 	<ul style="list-style-type: none"> • Tunnista onko suppeat vai laajat ongelmat • Määrittele tavoite/muutos visio • Selkeytä ongelman laajuus ja asiakasvaatimukset
 2. MITTAUS	<ul style="list-style-type: none"> • Kelpuuta ongelma/prosessi • Viimeistele ongelma/tavoite • Mittaa avainkohdat/inputit 	<ul style="list-style-type: none"> • Mittaa vaatimusten suorituskyky • Kerää prosessin hyötysuhteen määrittäessä tarvittavaa dataa
 3. ANALYSOINTI	<ul style="list-style-type: none"> • Luo syy-seuraus hypoteesi • Tunnista keskeiset ydinsyyt • Kelpuuta hypoteesit 	<ul style="list-style-type: none"> • Tunnista "paras käytäntö" • Arvioi prosessisuunnitelmaa <ul style="list-style-type: none"> - arvon/ei-arvon lisäys - pullonkaulat/katkokset - vaihtoehtoiset "polut" • Viimeistele vaatimuksia
 4. PARANNUS	<ul style="list-style-type: none"> • Luo idea, kuinka ydinsyyt poistetaan • Testaa ratkaisu • Standardisoi ratkaisu • Mittaa tulos 	<ul style="list-style-type: none"> • Suunnittele uusi prosessi <ul style="list-style-type: none"> - haasteelliset oletukset - käytä luovuutta - virtausperiaate • Toteuta uusi prosessi, rakenteet ja systeemit
 5. OHJAUS	<ul style="list-style-type: none"> • Luo standardimittaukset ylläpitämään suorituskykyä • Korjaa ongelmat, jos niitä syntyy 	<ul style="list-style-type: none"> • Luo mittaukset ja katselmoi ylläpitääksesi suorituskyvyn • Korjaa ongelmat, jos niitä syntyy

Kuva 4. DMAIC-projektin data- ja prosessi-ikkuna. [11]

2.4 Lean Six Sigma -työkalut

Six Sigma -metodia sovelletaan käyttämällä jokaisessa vaiheessa laajaa tilastollisten työkalujen joukkoa. Nämä työkalut ovat avaimia suorituskyvyn parantamiseen. Yksittäin laskien Six Sigman menetelmien, konseptin ja työkalujen määrä nousee toiselle sadalle lähtien yksinkertaisesta aivoriihestä ja päättyen pitkälle vietyihin tilastollisiin analyyseihin. Kuvassa 5 on muutamia työkaluja sekä määritelty, missä vaiheissa työkaluja pääosin käytetään. [9]

Työkalu	D	M	A	I	C
Affinity Diagrammi	•	•	•	•	
Aikasarjat		•			
ANOVA			•		
ANOM			•		
Benchmarking	•			•	
Brainstorming	•		•	•	
CTQ-puu	•				
CT-matriisi	•				
Datan keräyssuunnitelma		•	•	•	•
DoE			•	•	
DoE Advanced					•
FMEA		•		•	
Frequency kuvat		•	•	•	
Gage R&R		•			
GLM				•	
Hajontakuvat			•		
Histogrammi			•	•	
Hypoteesitestaus			•		
Jaksoaika analyysi	•	•	•	•	
Kano-malli		•			
Luottamusväli			•		
Raja-arvolause			•		
Korrelaatio	•		•		
Liiketoimintatapaus					
MSA		•			
Multi-Vari			•		
Näytteenotto		•	•		

Työkalu	D	M	A	I	C
Parannuskohteen arviointi	•				
Pareto		•	•	•	
Priorisointi matriisit		•		•	
Projekti-suunnitelma	•				•
Prosessin kuvaus	•	•	•	•	•
Prosessin kyvykkyys		•		•	
Prosessin sigma		•		•	
Perustamisasiakirja	•				
QFD				•	
Regressio			•		
Residuaalianalyysi				•	
Robusti prosessi					•
RSM					•
RTY	•				
SIPOC	•				
SPC		•	•	•	•
Suorituskykyanalyysi		•		•	•
Standardointi					•
Stratifointi		•	•	•	•
Suunnittelutyökalut				•	•
Syy&Seuraus Diagrammi			•		
Taguchi menetelmä			•	•	
Toimintasuunnitelma	•				•
Toleranssisuunnittelu					•
TPM					•
VOC	•				
Vuokaaviot	•	•	•	•	•

Kuva 5. Six Sigman työkaluja ja milloin niitä pääsääntöisesti käytetään. [9]

Six Sigmassa on erittäin tärkeää, että työkaluja osataan käyttää oikein. Yhtä tärkeää on, että työkaluja käytetään oikeaan aikaan oikeassa paikassa. Projektit ovat erilaisia ja jokaiseen projektiin valitaan siihen soveltuvat työkalut. Tässä työssä käytettyjä työkaluja käsitellään seuraavassa osiossa.

3 DMAIC-PROSESSIN TOTEUTUS

Teleste on jo pitkään muuttanut tuotantoaan Lean-filosofian mukaiseksi. Hukkaa on pyritty vähentämään ja virtaustehokkuutta parantamaan. Läpimenoaikoja on onnistuttu parantamaan huomasti. Tuotannon "ongelma" on se, että samoissa tiloissa tuotetaan hyvin erilaisia tuotteita. Lisäksi tuotteiden testaus on erittäin monimutkaista ja melkein jokainen nimike tarvitsee erilaisen testin. Ensisaantoa ja läpimenoaikaa on pyritty parantamaan tuote kerrallaan. Parannusta ensisaantoihin ja läpimenoaikoihin on saatu erittäin paljon.

Ensisaantoa ja läpimenoaikaa voidaan silti parantaa. Parannettavaa löytyy tuotteista, toimintatavoista ja mittasysteemistä. Testauksen ja tuotteiden monimutkaisuudesta johtuen osa operaattoreista ei tunne testattavien laitteiden todellista toimintaa. Tästä syystä operaattorit eivät pysty kertomaan todellisia syitä keskeytyksille. Operaattorit toimivat ohjeiden mukaan ja pyrkivät saamaan laitteen prosessin läpi hyväksytysti. Data paljastaa kuitenkin ongelmia prosessissa, kuten esim. turhia uudelleenmittauksia ilman laitteen korjaustarvetta tai testausvaiheen läpimenoaikojen suurta vaihtelua. Selkeitä korjattavissa olevia syitä kaikille ongelmille ei ole tiedossa.

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, voidaanko DMAIC-projektin avulla löytää selkeitä kehityskohteita. Löydettyjen kehityskohteiden parantamisen pitäisi kasvattaa selkeästi ensisaantoa tai läpimenoaikaa. Tavoitteena on, että DMAIC-projektilla saisi kaikki osapuolet selvittämään yhdessä mikä ja miksi laskee ensisaantoa ja lisää läpimenoaikaa. Oikeasti viallisia on vain murto-osa laitteista, jotka eivät mene ensimmäisellä kerralla läpi testauksesta. Samalla olisi hyvä saada selville, miksi läpimenoaika vaihtelee paljon, vaikka laitteet läpäisivät testauksen. Turha uudelleen testaus lisää kustannuksia ja syö kapasiteettia. Testausvirheisiin liittyviä laatukustannuksia on monia. Seuraavassa luettelossa käydään läpi laatuvirheiden mahdollisia kustannuseurauksia.

Testausvirheisiin liittyviä laatukustannuksia on monia. Esimerkiksi, jos tuote tai tehty työ joudutaan korjaamaan, niin kustannuksia syntyy

- Korjaustoimenpiteiden suunnitteluun ja valmisteluun kuluneesta ajasta
- Puutteiden analysointiin kuluneesta ajasta
- Korjaamiseen kuluneesta ajasta
- Korjaamiseen kuluneista materiaaleista, komponenteista ja tarvikkeista sekä niiden korvaamisesta
- Uusintatarkastuksesta.

Välillisesti kustannuksia voi syntyä esimerkiksi

- Tehtyjen suunnitelmien ja aikataulujen uusimisesta
- Töiden uudelleen suunnittelusta
- Muutoksista tiedottamisesta
- Muutosten toteuttamisesta

Lisäksi on muita kustannuksiin vaikuttavia syitä kuten

- Pidentyneestä läpäisyajasta johtuen vaihto-omaisuutta sitoutuu enemmän
- Virheisiin varaudutaan varmuusvarastoilla
- Todellinen kapasiteetti on teoreettista pienempi ja toimintaan sitoutuu ylimääräistä käyttöomaisuutta. [12]

3.1 Määrittely

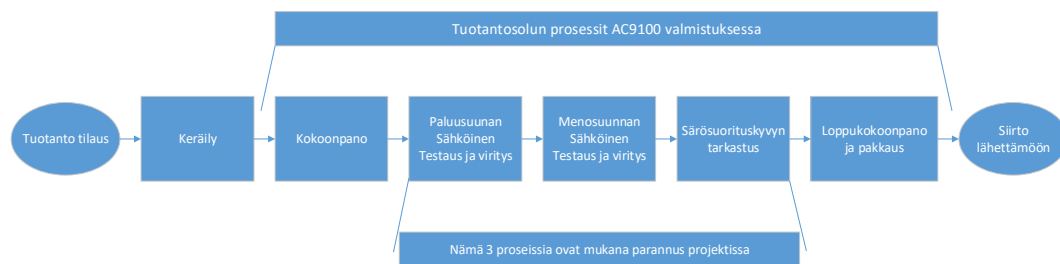
Six Sigma -prosessin ensimmäinen vaihe on määrittelyvaihe, jossa määritellään ongelma ja asiakasvaatimukset. Nämä määrittelevät projektin tarkoituksen ja laajuuden. Määrittelyvaiheessa kerätään taustainformaatiota parannettavasta prosessista ja asiakkaista. Tiimin tulee ensimmäisenä kysyä tiettyjä kysymyksiä: Minkä asian parissa työskentelemme? Miksi työskentelemme tämän tietyn ongelman kimpussa? Kuka on asiakas? Mitkä ovat asiakkaan vaatimukset? Miten työ tai asia tällä hetkellä hoidetaan? Mitkä ovat parannuksen hyödyt? Nämä kysymykset ovat perustavanlaatuisia ja välttämättömiä silloin, kun käsitellään liiketoimintaongelmia uudesta ja originaalista suunnasta. Kysymykset jäävät liian usein esittämättä ja projekti suuntautuu väärälle perinteiselle uralle. [9]

Määrittelyvaiheen tavoitteena on aikaansaada:

- Selkeä lausuma (tavoite) asetetusta parannuksesta.
- Ylätason prosessikuvaus, eli kuvaus siitä, kuinka jalostusarvo muodostuu.
- Lista asioista, jotka ovat asiakastyytyvyydelle tärkeitä ja kriittisiä laadun, toimitusajan ja kustannusten osalta. [9]

DMAIC-projektin kohteeksi valikoitui optisten solmujen valmistussolun parantaminen. Projektin peruskirja (Liite1) saavutti lähes lopullisen muotonsa muutaman palaverin jälkeen. Optinen solu valikoitui kohteeksi, koska tuotteiden testaus on monimutkaisempaa kuin tavallisten vahvistimien testaus. SPC:n mukaan, näiden laitteiden ensisaanto on

hieman heikompi, ja testausaika pidempi monimukaisuudesta johtuen. SPC on tilastollinen prosessiohjaus (Statistical Process Control). Järjestelmällä voidaan valvoa prosessin eri osa-alueiden trendit ja hajonnat. Järjestelmän tietojen mukaan voidaan säätää prosessia paremmaksi. Järjestelmään asetettujen rajojen ansiosta ongelmatilanteet tulevat esiin nopeasti. Optisten laitteiden testauksessa on enemmän kytkentöjä, joten testauksessa tarvitaan enemmän välineistöä. Näistä syistä testaus on monimukaisempaa ja virheherkempää. Optisten solmujen kohdalla päädyttiin kolmen eniten valmistettavan laitteen testauksen tutkimiseen. Näissä laitteissa ensisaantoprosentin parannus tuo enemmän säästöjä, koska uudelleen testaus kestää kauemmin ja solu on monimutkaisempi. Kuvassa 6 on kolmesta laitteesta monimutkaisimman laitteen yksinkertaistettu prosessikaavio. Projektin rajaus on suoritettu käytännössä, prosessin datan avulla ja CTQ:n avulla.



Kuva 6. Prosessikuva AC9100 NEO prosessista tuotantotilauksesta lähettämöön.

Tuotannonohjaukselle on tärkeää, että voidaan luottaa läpimenoaikoihin. Tällöin pystytään antamaan asiakkaalle luotettava toimitusaika, ja tiedetään jäljellä oleva tuotannon kapasiteetti. Myös asiakas on tyytyväinen, jos tilatut tuotteet saapuvat ajallaan ja laadukkaasti valmistettuna. Prosessin jokaisessa vaiheessa voi tapahtua virheitä ja viivästyksiä. Projekti rajattiin koskemaan vain sähköistä viritystä ja testausta. Testaus- ja viritysvaiheessa tapahtuu suurin osa virheistä, jotka vaikuttavat ensisaantoon ja läpimenoaikaan.

Keräily on myös virheherkkä vaihe, koska ihmiset keräilevät osat tilaukseen ja toimittavat ne soluun. Jos on kerätty ylimääräinen osa, tästä saattaa seurata se, että kaikki valmistetut 10 tuotetta on tarkastettava. Tarkastus on laadun kannalta tarpeellinen, koska yhdestä laitteesta saattaa puuttua osa. Keräilyssä puuttumaan jääneet osat aiheuttavat viivettä, kun ne joudutaan tilaamaan soluun jälkikäteen. Keräily ei kuitenkaan kuulu tähän

projektiin. Se on täysin oma toimintonsa, joka liittyy kaikkien tuotteiden valmistamiseen. Ideaalisessa tapauksessa tuotantosolun läpi kulkisi kunnossa olevat laitteet oikein viritettynä. läpimenoaika olisi kaikille kunnossa oleville laitteille sama. Näin asiakas saisi laadukkaat laitteet sovittuun aikaan. Vain oikeasti vialliset päätyisivät korjaukseen.

3.2 Mittaus

Mittaus on loogisesti määrittelyvaiheen jälkeen. Mittaus on silta seuraavaan vaiheeseen, eli analyysivaiheeseen. Mittausvaiheeseen valitaan yksi tai useampia kriittisiä prosessin ominaisuuksia, eli lähtömuuttujia. [9] Tässä työssä ne on jo valittu. Prosessinlähtömuuttujia on kaksi, jotka ovat läpimenoaika ja ensisaanto. Prosessissa on kaksi lähtömuuttujaa. Näihin lähtömuuttujiin voi samoilla tulomuuttujilla olla vaikutusta. Yhtälöllä:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_k) \quad [2]$$

Lean Six Sigmassa kuvataan lähtö- ja tulomuuttujien suhdetta. Yhtälössä Y = prosessin lähtömuuttuja ja X = prosessin tulomuuttuja. Datan keräyksen jälkeen saadaan määritellyä merkitykselliset prosessin tulomuuttujat X_k . [8]

Ensimmäiseksi tehdään datankeräyssuunnitelma, joka oli yksinkertainen.

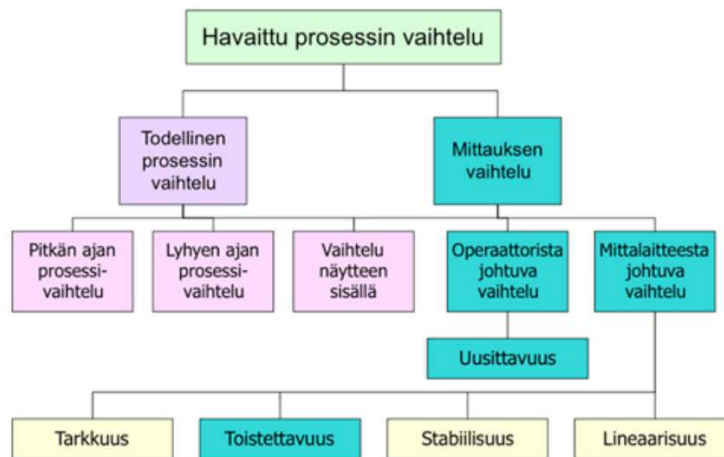
- Tutustutaan prosessiin. (GEMBA WALK = tutustuminen todelliseen paikkaan)
- Seurataan prosessia ja haastatellaan operaattoreita.
- Keskustellaan asioista prosessin asiantuntijoiden kanssa.
- Järjestetään kysely kaavakkeella isommalle ryhmälle. (operaattorit ja korjaajat)
- Kerätään dataa SPC:n tietokannoista.
- Saadaanko virheet yhdistettyä dataan, vai jääkö virheet piiloon SPC:n mittareilta?

Prosessin seuranta, eli solutyöskentelyn seuranta vaatii aikaa. Tuotteen valmistuminen ottaa aikaa 20–60 minuuttia. Jotta saadaan hyvä kuva toiminnasta ja ongelmista, pitää seurata tarpeeksi kauan. Seuranta pitää tehdä myös eri operaattoreiden kanssa. Huomioon on otettava myös se, että seurataan ihmisten tekemää työtä. Operaattorit pitää vakuuttaa siitä, ettei vain heidän työskentelyänsä olla seuraamassa. Seuranta saattaa

muuttaa operaattorin toimintaa, jolloin jää huomaamatta asioita, jotka vaikuttavat laatuun, ensisaantoon ja läpimenoaikaan. Seurannalla pyritään selvittämään koko testausprosessin toimivuutta. Seurannan tuloksena kirjattiin monia asioita, joiden muuttaminen saattaa parantaa läpimenoaikaa ja tuotteiden laatua. Suurimmasta osasta näistä poikkeamista ei kuitenkaan jää jälkeä SPC-järjestelmään. Virheen todellista syytä ei löydetä järjestelmästä, vain viritysaika on pidempi.

Prosessin seurannan jälkeen tehtiin kyselytutkimus operaattoreille ja korjaajille. Kyselyyn kerättiin yleisimpiä virheenaiheuttajia. Yleisimmät virheenaiheuttajat kaavakkeeseen valikoituivat seurannasta ja operaattorien haastattelujen kautta. Kaavakkeen koeponnistus suoritettiin tuotannon esimiehillä ja tiiminvetäjillä. Valmis kyselykaavake liitteenä 2. Kyselyn vastauksista saatiin selkeästi kaksi yleisintä syytä, kaikkiin tapauksiin joita kyseltiin. Tapaus yksi sisälsi virheet jotka aiheutuvat mittavälineistä. Tapaus kaksi virheet, jotka aiheutuvat inhimillisistä erheistä.

Telestellä jo pitkään ollut SPC-järjestelmä. Järjestelmässä dataa on paljon ja poikkeavien virheiden löytäminen datasta on aikaa vievää. Teleste on tehnyt Excel-pohjaisen timetool-työkalun. Tällä työkalulla saadaan tuotekohtaisesti paljon dataa yhdistettyä helposti luettavaan muotoon. Työkalussa tuotteelle tuodaan data helppolukuisen muotoon yhdistettynä eri lähteistä. Työkalulla näkee ensisaannon osaprosesseille ja läpiväyrytetyn saannon RTY (Rolled Throughput Yield). Työkalulla näkee myös korjaukseen lähetettyjen osuuden, läpimenoajat osaprosesseille ja monta muuta hyödyllistä tietoa seurannan kannalta. Timetoolin avulla voi löytää osaprosessin tai mittauksen, jonka jatkotutkimus voisi kannattaa. Jatkotutkimus voi paljastaa virheen todellisen syyn. Aina keskeytyksen syy ei ole se, joka SPC:n datan mukaa se näyttäisi olevan. Välillä tuntematon virhe aiheuttaa sen, että laite ei toimi oikein kyseisessä mittauksessa. Nämä virheet on hyvä selvittää. Toimivaa laitetta ei kannata korjata virheellisen testauksen takia. Operaattorin tai viallisten mittavälineiden aiheuttamat virheet eivät ole toistettavia. Virheet ovat satunnaisia eli epästabiilia vaihtelua. Kuvassa 7 on prosessissa havaittavia vaihtelulähteitä, jotka aiheuttavat ongelmia.



Kuva 7. Prosessissa olevia vaihtelutyyppisiä joita voidaan havaita. [13]

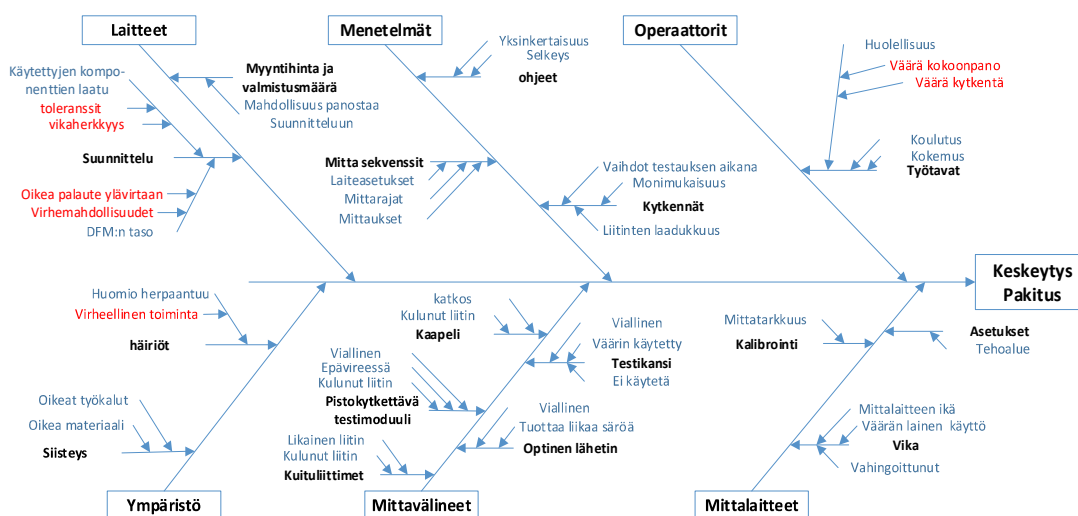
Mittausten toistettavuus ja uusittavuus ovat asioita joita pitää tutkia. Eniten mittavirheitä aiheuttava mittaus ei ole toistettavissa eri soluissa. SPC-datan mukaan eri soluissa kiinnijääneissä on prosentuaalisesti iso ero. Suurin huomio on se, että mitattavaa laitetta ei tarvitse korjata, sillä virhe aiheutuu mittasysteemistä. Analysointivaiheessa käsitellään tätä aihetta lisää. Tällaisten virheiden todentamiseen on työkalu MSA (Measurement system analysis) eli mittasysteemin analyysi. Tämä on melko työläs toteuttaa, ja solujen mittasysteemeihin on tulossa muutoksia. MSA olisi hyvä tehdä sen jälkeen, kun muutokset on saatu tehtyä. MSA:n toteutus ottaa aikaa, koska yhden laitteen testaus on jo pitkä.

Tuotantosolujen MSA testin toteutus esimerkki: Mittauksessa mukana 10 laitetta, kolme operaattoria ja 3 mittasolua. Jokainen operaattori mittaa nämä 10 laitetta kaikissa kolmessa solussa. Mittausten jälkeen verrataan dataa eri solujen kesken. Laitekohtaisesti tulosten pitäisi olla lähellä toisiaan. Virhe ei saisi olla yli asetetun rajan, jotta voidaan olla varmoja laadusta. Asiakkaalle ei saa lähteä laitteita, joka ei täytä spesifikaatiotaan. Mittasysteeminanalyysien työkaluja ovat Gage 1 tyyppin ja Gage R&R tutkimukset. Gage R&R-analyysi on uusittavuus- ja toistettavuustesti. Tällaisista tutkimuksista tulee paljon dataa, joten datan analysointiin käytetään Minitab-ohjelmaa. Minitab-ohjelmasta löytyy valmiit laskentaohjelmat eri Gage-tutkimustyypeille. MSA:lla voidaan tutkia vaihtelua, joka johtuu operaattorista ja mittalaitteesta. Kuvassa 7 on eritelty, millaisia vaihtelutyyppisiä näistä syntyy. [13]

3.3 Analysointi

Analysointivaiheen tarkoituksena on ymmärtää paremmin syy-seuraussuhteet prosessissa, eli mitkä tekijät vaikuttavat lopputulokseen. DMAIC-projektin tässä vaiheessa suodatetaan suuri määrä prosessin tulomuuttujia. Tämä hoidetaan analysoimalla mittausvaiheessa kerättyjä tietoja ja dataa hyväksi käyttäen. Välineinä voidaan esimerkiksi käyttää tilastollisia välineitä, joita ovat hypoteesitestaus, korrelaatio ja regressio ja varianssi-analyysi (ANOVA). [10]

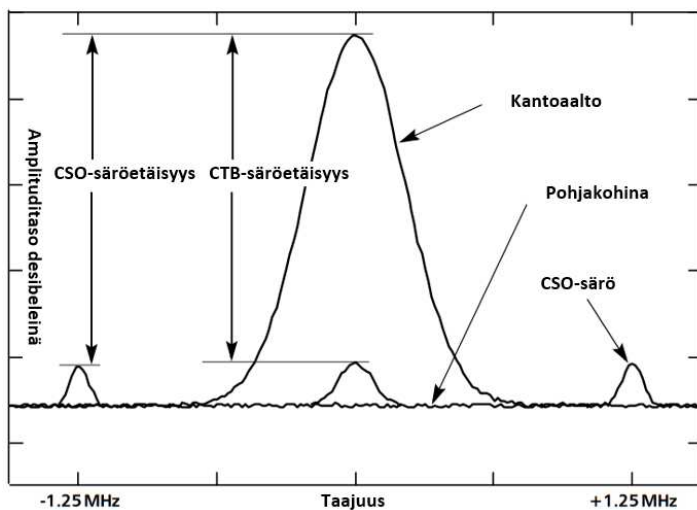
Analysointi voidaan jakaa kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa keskitytään ensisaantoa heikentäviin syihin. Ensisaanto näkyy suoraan SPC:n mittaristossa prosenttilukuna. SPC:n datasta löytyy vaihe, jossa testaus keskeytyy. Vaiheen alta löytyy mittadata, jos vaiheeseen liittyy mittaus. Vaihe voi keskeytyä virheeseen ilman mittausta, tällöin keskeytyksen todellinen syy ei selviä SPC:n datasta. Keskeytyksestä huolimatta laite voi silti olla kunnossa, koska keskeytyksen aiheuttaa testattavasta laitteesta johtumaton syy. Toisessa osassa keskitytään prosessin läpimenoaikaan vaikuttaviin syihin. SPC:n datasta saadaan osaprosessien läpimenoajat. Läpimenoaikojen vaihtelun syille ei datasta löydy selitystä. Sama vaihe voi viedä eri laitteilla kaksinkertaisen ajan, vaikka laite olisi kunnossa. Näitä syitä selvitetään toisessa osassa. Kuvassa 8 on kalanruotokaavio, toiselta nimeltään syy-seurauskaavio. Kalanruotokaavio on yksi Lean työkaluista. Dataa ja huomioita analysoimalla pyritään löytämään juurisyitä. Juurisyitä parantamalla pitäisi ensisaannon ja keskimääräisen läpimenoajan parantua. Diagrammiin on kerätty prosessin syitä ja seurauksia, joissa voi olla mahdollisuus virheeseen.



Kuva 8. Kalanruotokaavio käsiteltävästä prosessista.

3.3.1 Ensisaanto

Yksi merkittävä ensisaannon huonontaja on suorituskykymittaus. Suorituskykymittaus on särö testi, jossa käytetään Cenelec:in kanavarasteria. Laitteen lähtöön säädetään kanavakuorma, joka on lähellä laitteen maksimitehonkestoja. Sen jälkeen mitataan (CSO) toisen kertaluokan särökomponentti ja (CTB) kolmannen kertaluokan särökomponentti. Mittaus suoritetaan taajuudelta, jossa tiedetään olevan suurin särökertymä. Särökomponentin etäisyys hyötysignaalin tasosta pitää olla tietyn etäisyyden päässä. Kun etäisyys täyttyy, niin voidaan olla varmoja, että säröt eivät pilaa hyötysignaaleja. Kuvassa 9 näkyy särökomponenttien paikat suhteessa hyötysignaaliin, sekä miten säröetäisyydet määritellään.



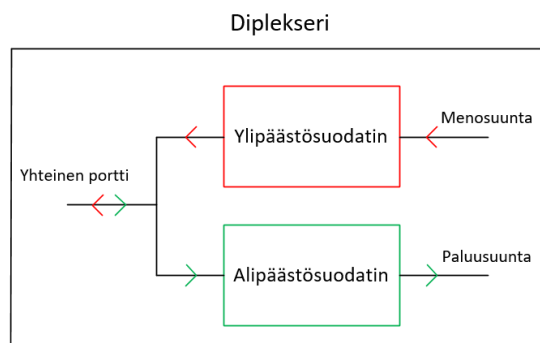
Kuva 9. CSO ja CTB särökertymien paikat. [14]

Suorituskyky mittauksesta menee mittaustulokset SPC:n tietokantaan. Tämän ongelman data on jatkuvaa, ja SPC:stä saadaan data ulos valmiiksi laskettuna. Ongelma on olemassa ja se pitää selvittää. Ongelman selvittämisessä voidaan käyttää kysymystyökalua 5 kertaa miksi? Tässä tapauksessa osa laitteista jää testissä kiinni, vaikka laitteet eivät olisi viallisia. Laitteita voidaan saada läpi uudelleen mittaamalla. Lähettimen laserin biasoinnin säätö voi auttaa, jos hyväksyntäraja on hieman kauempana. Se miksi laitteet jäävät kiinni, johtuu usein mittauksessa käytettävästä optisesta lähettimestä ja sen omasta särökäyttäytymisestä. Tässä on yksi hukan aiheuttaja. Työaikaa kuluu turhaan. Uudelleenmittauksesta ei synny mitään lisäarvoa.

Kyselytutkimuksessa esiin nousi neljä kohdetta, jotka aiheuttavat testauksen keskeytyksen. Näiden asioiden korjaus parantaisi ensisaantoa, koska laite ei ole viallinen, vaikka testaus keskeytyy. Mittavälineisiin kohdistui kaksi ongelmaa ja operaattoreiden omaan toimintaan kaksi ongelmaa. Alla luettelo eniten ääniä saaneista syistä.

1. USB-yhteys pätkii (mittavälineongelma)
2. Kuitujen puhdistus (operaattoriongelma)
3. Sähköt kytkemättä (operaattoriongelma)
4. Diplekserit epäviireessä (mittavälineongelma)

Eniten ääniä saaneista syistä, moni voisi näkyä suoraan SPC:n datassa epäsuorasti. Syistä neljäs näkyy yleensä heijastusvaimennusmittauksessa, eli yhden sähköisen mittauksen hyväksyntäraja ylittyy. Joissakin testeissä operaattori voi onnistua vaihtamaan toisen testi-diplekserin vikaantuneen tilalle. Diplekseri on kaksisuuntainen suodatin, joka erottaa meno- ja paluusuunnan. Meno- ja paluusuunta kulkevat samassa koaksiaalikaapelissa eri taajuuksilla. Optisessa solmussa meno- ja paluusuunta yhdistetään diplekserin avulla ennen koaksiaalikaapelia. Kuvassa 9 on kuvattu diplekserin toiminta. Nuolet kuvaavat signaalien kulkusuunnat optisen solmun diplekserissä.



Kuva 10. diplekseri eli kaksisuuntainen suodatin.

Muutkin ongelmat ovat todellisia. SPC:n datasta niitä ei sellaisenaan löydy. Keskeytys voi aiheutua monesta ongelmasta. Laitteen vikaantuessa syy on yleensä yksiselitteinen, muiden syiden aiheuttamat keskeytykset eivät. Tästä syystä on vaikea sanoa todellista vaikutusta yksittäisillä syillä, koska todellista tilastollista analyysiä ei pysty tekemään. Kyselytutkimuksen yleisin kirjoitettu kommentti koski mittaohjelmistoa. Mittausohjelma joudutaan välillä sammuttamaan, koska ohjelmassa tapahtuu jokin virhe ja se menee jumiin. Tämä keskeyttää testaamisen ja vaikuttaa ensisaantoon. Lisäksi uudelleen käynnistys ja uudelleen testaus kuluttavat aikaa.

3.3.2 Läpimenoaika

Läpimenoaikaan vaikuttavat monet eri asiat. Seurannan aikana huomio kiinnittyi testauksen monimutkaisuuteen. Seurannan aikana ehti nähdä monta virhelähdettä, jotka pakottivat operaattorin hyppäämään testauksessa taaksepäin. SPC:n tietokantaan tästä ei jää mitään merkintää. Datan puuttuminen vaikeuttaa ongelmien todellisten vaikutusten selvittämistä.

Kyselytutkimuksessa esiin nousi neljä kohdetta, jotka pakottavat hyppäämään testauksen aikaisempaan vaiheeseen. Osa läpimenneistä testeistä ajetaan uudelleen toiseen kertaan. Uudelleen testaus kuluttaa ylimääräistä aikaa, vaikka ei heikennä ensisaantoa. Mittavälineisiin kohdistui kaksi ongelmaa ja operaattoreiden omaan toimintaan kaksi ongelmaa. Alla luettelo eniten ääniä saaneista syistä:

1. Kuitujen puhdistus (operaattoriongelma)
2. Väärä kytkentä (operaattoriongelma)
3. Diplekserit epävireessä (mittavälineongelma)
4. Kuituongelma (mittavälineongelma)

Seurannassa selvisi monimutkaisimman AC9100 NEO laitteen läpimenoaikaan vaikuttava ongelma. Menosuunnan mittausten lopussa vaihdetaan liityntämoduulit lähettimien paikalle. Vaihdon jälkeen mitataan sähköinen vaste. Tässä vastemittauksessa on suuri määrä yhteistä vahvistinketjua optisen vasteen kanssa. Tässä vaiheessa vaste ei kuitenkaan mene rajoihin, jolloin operaattori joutuu hyppäämään melkein menosuunnan testin alkuun. Operaattori joutuu vaihtamaan optiset lähettimen takaisin, jotta voi taas virittää vasteen paremmaksi ja toivoa, että testin lopussa sähköinen vaste liityntämoduuleilla on kunnossa. Tässä saattaa tuhraantua 10–15 minuuttia. Saman tyyliisiä ongelmia on muissakin laitteissa. Yksi liikkuva osa näissä ongelmissa on operaattori. Ihmisten toimintatavoissa on eroja, joka vaikuttaa virheiden yleisyyteen. Monet virhepaikat johtuvat siitä, että virhe on mahdollista tehdä. Näiden hukkien poistoon keskitytään parannusvaiheessa.

3.4 Parannus

Mittauksen ja analysoinnin avulla löydettiin parannuskohteita. Osa mahdollisista parannusehdotuksista koskee yksittäisiä tuotteita ja osa taas parantaisi kaikkien optisten solmujen ensisaantoa. Prosessin parannuskohteet jakautuvat neljään eri kategoriaan. Kategoriat ovat mittavälineet, mittaustavat, työtavat ja mitattavat laitteet. Osa parannusehdotuksista voitaisiin toteuttaa heti ja osa jää ehdotuksina toteutettavaksi, kun tuotteille tehdään päivitysprojekti. Uusille tuotteille voidaan tehdä suurempia muutoksia ja parannuksia. Osa parannuksista parantaa toimintaa. Tilastollisessa mielessä parannuksen todellista vaikutusta ei pystytä arvioimaan. Tämä vaatii ensin SPC-datan keruun muutosta, josta saataisiin todellinen säästöpotentiaali esiin. Parannuksia ei tämän tutkimuksen ajan puitteissa ehditä tekemään, koska muutokset vaativat resursseja, joita nyt ei ole. Tämän johdosta tässä luvussa käsitellään vain mahdollisia parannusehdotuksia. Tästä johtuen muutoksia kannattaa tehdä laitteiden muutosprojektien yhteydessä, koska silloin muutoksen tekeminen on halvempaa, helpompaa ja resurssit käytössä.

Menosuunnan suorituskykytestille on parannus ehdotuksia. Ensisaantoa on mahdollisuus parantaa ainakin kahdella tavalla, jotka muuttavat testiä eri tavoin. Jotenkin tätä testiä on tarkoitus parantaa lähitulevaisuudessa. Testin muuttaminen vie aikaa, tästä johtuen tuloksia ei saada tämän tutkimuksen aikana.

Testeissä käytettävät diplekserit aiheuttavat ongelmia, kun ne menevät epäviireeseen. Tästä johtuen mittaukset eivät mene läpi. Ongelma syntyy ohuista ilmakeloista diplekserissä. Tämän takia diplekserit eivät kestä isoja kolahduksia useita kertoja. Testikäytössä diplekserit altistuvat jatkuville kolahduksille ja menevät epäviireeseen. Tälle ongelmalle on ainakin neljä erilaista ratkaisuehdotusta. Osa ratkaisuista voidaan ottaa käyttöön vasta uusissa tuotteissa. Osassa tuotteita joudutaan vaihtamaan kesken mittauksen eri taajuusjakoinen diplekseri kesken testauksen. Myös tämä toimenpide olisi hyvä saada pois. Tätäkin ongelmaa työstetään. Ratkaisun valitseminen ja toteuttaminen, pitää tehdä huolellisesti. Se on selvää, että ratkaisu säästää aikaa ja rahaa.

Kuituongelma ei ole helppo. Kuituliittimien liitospintojen pitäisi aina olla puhtaita ja naarmuttomia, jottei mittasysteemiin tulisi optista vaimennusta ja tämä saattaa pilata osan testeistä. Kuitujen puhdistus vaikuttaa myös asiakas laatuun. Asiakkaalle ei saa lähettää laitetta likaisilla liittimillä. Koulutus ja muistutukset ovat yksi tapa saada operaattorit toimimaan oikein. Jos on vahingossa kytkenyt likaisen kuidun, pitäisi myös vastakappale

muistaa puhdistaa. Välillä operaattori vain säästää aikaa, kun ei tarkasta ja puhdistaa kuituja tarpeeksi usein. Tämänkin ongelma ratkaisua pitää kehittää. Tulosten mittaaminen on melko haastavaa, ellei mahdotonta.

A9100 NEO laitteen vasteen viritys ongelmaan on joitain parannusehdotuksia. Optisen vasteen viritysmaski voisi olla tiukempi, jotta myöhemmin tarkastettava sähköisen vasteen menisi läpi useammin. Optisen vasteen virityssivun ohje voisi ohjata operaattoria, jotta operaattori virittäisi vasteen mahdollisimman hyväksi heti ensimmäisellä kerralla. Tämä tosin toimii vain osalla operaattoreista.

Apua esiin tulleista ongelmista saadaan DFM:stä. Uusissa tuoteprojekteissa tämä on erittäin tärkeää, koska silloin lukitaan monia vaikeasti muutettavia asioita. Päivitysprojektien kohdalla tarkastellaan, mitä voidaan muuttaa kustannustehokkaasti. DFM on prosessi, jossa tuotteen suunnittelussa huomioidaan koko tuotteen elinkaari. yhteistyössä eri osastojen samanaikaisen suunnittelun avulla on lopputulos parempi ja tuotannollisempi. Projektin tarkoituksena on optimoida tuotteen: Valmistus, testaus, hankinta, huolto ja korjaus. [15]

DFM:n pyrkimyksenä on saavuttaa tuotteelle:

- Mahdollisimman alhaiset suunnittelu- ja tuotantokustannukset
- Hyvä laatu
- Luotettavuus
- Säännösten mukaisuus
- Time To Market, nopeasti markkinoille
- Hyvä asiakastyytyväisyys- ja pysyvyys

DFM:n käytöllä varmistetaan, ettei tuotteen vaikea valmistettavuus ole esteenä tuotteen:

- Toiminnallisuudelle
- Muotoilulle
- Toimitusvarmuudelle
- Parannusohjelmille
- Tuotannon kasvattamiselle

Mitä Anderssonin mukaan tulee huomioida välttääkseen suunnittelun kompastuskivet?

- Älä keskity pelkästään tuotteen komponentti- ja/tai työvoimakuluihin.

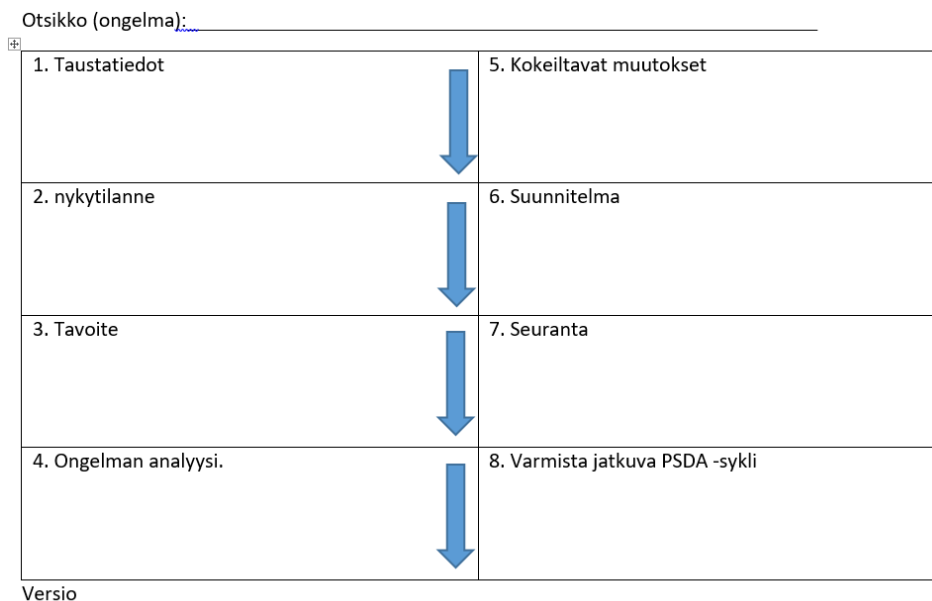
- Monta kertaa BOM- kustannusten alentamiseksi on painetta, aiheuttaen sen, että tuotteessa käytetään halpaosia.
- Lyhytnäköinen yritys vähentää BOM- ja työvoimakuluja, mutta nostaa yleensä tuotteen epäsuoria kuluja.
- Tästä seuraa usein valmistus- ja laatukulujen kasvua, joita ovat:
 - korjaus, romutus, uudelleentestaus, jne. [15]

3.4.1 Parannusehdotukset

Tähän lukuun on kerätty sellaiset parannusehdotukset, jotka vähentäisivät eniten tuotannon ongelmia. Ehdotetut parannukset osuvat moneen vaiheeseen prosessissa. Ehdotusten käyttöönoton helppous vaihtelee myös. Osa voidaan tehdä heti, kun vain on resurssit muutostyöhön. Osa vaatii projektin, jossa muutetaan tuotteita. Seuraavassa luettelossa käydään läpi parannusehdotuksia. Luettelossa ei ole paremmuusjärjestystä.

- Mahdollisimman paljon automaattista viritystä tuotteisiin. Silloin asiakas saa niin hyvän tuotteen kuin se on mahdollista.
 - Laatuvaihtelu operaattoreiden välillä pienenee, käsin virittämiseen verrattuna.
 - Riski keskeytyksiin ja taaksepäin hyppyihin tarkastusmittauksissa pienenee.
- Moniveräjä käyttöön aktiivisesti, jolloin mittakytkenketojen vaihtamisen tarve kesken testauksen pienenee.
- Poka yoke eli virheiden estäminen. Tuoteprojektien yhteydessä pyritään tekemään tuote ja testaus niin yksinkertaisiksi kuin mahdollista. Tällöin virhemahdollisuudet vähenevät.
- Ohjeistuksen jatkuva parantaminen. Ohjeiden pitää olla mahdollisimman helppoja ja oikeita. Silloin niiden käyttö lisääntyy.
- Operaattoreita pitäisi saada palautetta ongelmista. Oikeiden ongelmien esilletuonnista pitäisi palkita ja antaa palaute nopeasti.
- Ongelmien informoiminen tuotekehitykseen mahdollisimman nopeasti. Mielellään oikeanlaisen mittausdatan kanssa.
- Diplekserien vaihtaminen testauksen aikana minimiin. Erillisistä testauskäytössä olevista dipleksereistä luopuminen, tai käyttö vain pakon edessä.

Lean A3-työkalua voitaisiin kokeilla tuotannon jatkuvassa parantamisessa. PDCA-sykli ja A3 työkalu pakottaa ajattelemaan laatikon ulkopuolelta. Kaikki osalliset ovat kartalla mitä tavoitellaan ja miten. Myös johdolle on helppo kommunikoida A3:n avulla. Samalla kehityksestä jää selkeät ja helposti katsottavat dokumentit. Nähdään selkeästi, että millaisia ja miten paljon jatkuvaa parantamista on tehty. A3-pohja päivittyy ongelmaratkaisun edetessä. Kuvassa 9 yksinkertainen mallipohja A3 työkalusta.



Kuva 11. Yksinkertainen A3-sapluunan malli.

3.5 Ohjaus

Ohjaus ja valvonta ovat viimeinen vaihe Six Sigma -parannusprosessia. Kun prosessi on saatu kyvykkääksi (C_p noin 2, C_{pk} noin 1,5) ja stabiloitu, siirrytään ennaltaehkäisyyn ja proaktiiviseen ohjaukseen. Ohjaus-vaiheen tavoitteena on arvioida ratkaisuja ja kehittää suunnitelmat, kuinka saavutetut tulokset ylläpidetään. Ohjaukseen ja valvontaan käytetään SPC:tä. Huomattakoon, että SPC ei kuulu Six Sigmassa parannustyökaluihin, vaan se liitetään vasta ohjaukseen. [9]

Telestellä on käytössä SPC-järjestelmä. Dataa menee tietokantaan jokaisesta testatusta tuotteesta. Silti on hyvä miettiä, miten dataa voitaisiin hyödyntää paremmin? Saa-daanko kaikki oleellinen data talteen? Onko nykyiset mittarit riittävät?

Jatkuvan parantamisen kannalta lisädatan kerääminen voisi olla järkevää. Esimerkiksi kun operaattori joutuu hyppäämään mittasekvenssissä alkuun päin. Pitäisi jäädä jälki hypystä ja sekvenssin kohdasta, josta on hypätty. Näin löydettäisiin helpommin ongelmapaikat, jotka lisäävät läpimenoaikaa. Ilman todellista mittausdataa, ongelman vaikutusta ei todella tiedetä. Vasta todellisen mittadatan perusteella tiedetään, onko muutos taloudellisesti perusteltua. Datasta saataisiin selville peruutuksen yleisyys ja onko tapahtuma operaattori-, mittapaikka- vai yleisongelma.

Tällä hetkellä mittareita seurataan normaalisti viikoittain. Jos isompia ongelmia ilmaantuu, niin niihin pyritään puuttumaan heti. Yksi kehityskohde voisi olla se, että olemassa olevaa mittadataa saataisiin helpommin ja nopeammin tuotekehityksen käyttöön. Voisiko SPC:n käyttöliittymää parantaa? Vaihtoehtoisesti joku muu helpompi työkalu ohjain tuotekehitykseen. Kun ongelman kuvaus on selkeä ja data kuvaa ongelman oikein. On se sitten trendimuutos tai suuri vaihtelu jossain mittauksessa. Tällöin tuotekehitys pääsee nopeasti ratkaisemaan oikeaa ongelmaa. Oikean datan avulla ongelmat selviävät nopeammin, kun voidaan heti pureutua ongelman ytimeen ja ratkaisuun, eikä tarvitse aloittaa isoa selvitystä todellisen ongelman laadusta. Tällä hetkellä SPC:stä näkee helposti, mikä mittaus aiheuttaa ongelmia. Korjaavan muutoksen tekemine vaatii paljon tietoa, jos ongelman ratkaisu vaatii muutosta tuotteeseen. Muutosta tehdessä tarvitaan iso määrä dataa esimerkiksi vasteista ja heijastusvaimennuksista, jotta voidaan tietää, millainen muutos voidaan tehdä. Ilman todellista dataa korjaaminen voi aiheuttaa uuden ongelman.

4 POHDINTAA

Tuotannon virtaustehokkuus ja oikeiden asioiden testaaminen, takaa laadukkaan kustannustehokkaan tuotannon. Näin asiakas saa laadukkaat tuotteet luvattuna ajankohdittana. DMAIC-projektin tavoitteena oli parantaa pientä palaa tuotannon virtaustehokkuudessa. Tässä vaiheessa vaikutetaan paljon lähtevään laatuun ja valmistusaikaan. Yksi solu sisältää kalliita mittalaitteita, joten solujen määrää ei ole järkevää lisätä.

Tämän tutkimuksen huomioita on, että jatkuva kehittäminen on erittäin tärkeää. Samoin se, että tiedetään oikeasti mitä mitataan ja kehitetään. Tärkeintä kaikesta on kuitenkin saada kaikki sitoutumaan yhdessä laatuun. Kehitetään ja toimitaan oikein yhdessä, eikä oikaista välillä sieltä missä aita on matalin. Tutkimus on opettanut paljon lisää tuotannon näkökulmasta. Tuotekehityksestä katsoessa pienet ja helpot asiat, voivat aiheuttaa paljon ongelmia tuotannon eri osa-alueissa. On se sitten komponentti, jolla on yksi valmistaja pitkällä toimitusajalla, vaikea kokoonpano tai monimutkainen testaus. Siksi DFM:n periaatteiden käyttö kehityksessä on erittäin tärkeää. Sitoutuminen ja yhteistyö läpi yrityksen toimintojen on erittäin tärkeää, jotta DFM voidaan oikeasti toteuttaa tuoteprojekteissa.

Lean Six Sigmassa käytetään paljon tilastollisia työkaluja. Datan pitäisi olla luotettavaa ja määriteltyä. Analysointi olisi helpointa, jos data olisi laadukasta ja tunnettua. Silloin analyysit voitaisiin hoitaa Minitabin avulla ja tulokset olisivat luotettavia. Monet mittaukset joita testauksessa tehdään ovat jatkuvaa dataa. Tutkimuksessa ei päästy vertailemaan dataa ennen ja jälkeen muutosten. Vertailu olisi voitu hoitaa Minitab-ohjelmalla. Iso osa tämän tutkimuksen datasta on kvalitatiivista. Dataa tuli kyselytutkimuksesta, työskentelyn seurannasta ja SPC-järjestelmästä. Virheiden ja hukkien sitominen dataan ei onnistunut niin, että Minitab-ohjelmalla olisi jotain voinut tehdä. Virheet johtuvat useimmiten ihmisten toimista, viallisista mittavälineistä, testausohjelmistosta. Esimerkiksi tietyn vaiheen testausaika vaihtelee paljon. Jokaisesta testauksesta saadaan yksilöity aika. Testausajan vaihtelua ei saada sidottua tiettyyn ongelmaan. Ongelmia jotka aiheuttavat viivettä testaukseen, voi olla monia. Ongelman laadusta ei jää merkkiä SPC:n dataan. Tästä syystä suurimman ongelman poisto ei välttämättä onnistu, koska suurinta virhelähdettä ei tiedetä.

Shahada:n ja Alsyouf:in työssä oli luotu kehys DMAIC-prosessille, jossa on integroitu Lean ja Six Sigma -tekniikat yhteen strategiaan. Kehystä on testattu konepajateollisuudessa. [4] Useat esimerkit ovat juuri konepajateollisuudesta tai palveluliiketoiminnasta.

Tämän tutkimuksen laitteissa on monia komponentteja, joiden toleranssit ovat erittäin isoja, varsinkin kun kaikkien komponenttien toleranssit vaikuttavat samaan lopputulokseen. Laitteiden testauksen mittarajat voivat olla pienemmät kuin monen laitteessa käytetyn komponentin. Liikkuvia osia ja hajontaa tulee monesta lähteestä. Tästä voidaan päätellä, että ensisaantoa tuskin koskaan saadaan edes kolmen sigman tasolle. Kahden sigman ensisaanto olisi jo erittäin hyvä saavutus.

Yksi tärkeä huomio on, että kaikkien sitoutuminen DMAIC-projektiin on yksi tärkeimmistä asioista, jotta parannusta voi tapahtua. Jormanainen on samoilla linjoilla omassa tutkimuksessaan. Suomessa järjestetään konsulteille ja kehitysasiantuntijoille sekä muillekin alalla toimiville Lean Six Sigma -koulutuksia. Koulutuksissa painotetaan työkalujen tulkitsemista, mutta ei riittävästi johdon ja työntekijöiden asioihin sitoutumista, jolloin jää kuvitelma, että työkalut ovat se, joka ratkaisee ongelmat. Koulutuksessa ei huomioida riittävästi ihmisen merkitystä muutoksiin. Mielestäni kaiken avain on ihmiset ja heidän tavoitteeseensa sitoutuminen. [3]

Työn suurimpia oppeja oli tuotteen ja testauksen suunnittelun tärkeys niin, että sen kokoonpano ja testaus ovat mahdollisimman yksinkertaisia. Sen valmiiksi saattamiseen kannattaa käyttää aikaa ja resursseja. Pienet virheet voivat aiheuttaa melkoisesti turhaa työtä. Virheen mahdollistavien vaiheiden korjaus estää virheet paremmin kuin hyvä ohjeistus. Toinen oppi oli, että DMAIC-projekti on melko raskas työkalu ja vaatii osaamista ja sitoutumista. Karjalaisen Six Sigma -kirjassa todetaan. Todellinen tieto-ongelmanratkaisu vaatii lukuisia ideoita, niiden testausta sekä prosessimaisen lähestymistavan ja aikaa 6 – 12 kuukautta. [9] Tätäkin tutkimusta on tehty omien töiden ohella, ajankäyttö on melko haasteellista. Ajankäytön prioriteetit ovat olleet välillä muualla. Uusitalon kanssa olen myös samaa mieltä Lean Six Sigman haasteellisuudesta. Jos Lean Six Sigma on täysin vieras asia, voi siihen perehtymiseen mennä paljon aikaa. Prosessin parantamiseen löytyy varmasti helpompiakin tapoja joilla saa aikaiseksi jonkinlaisia tuloksia. Näin monipuolisen, ja monimutkaisen, prosessin käyttöönotto vaatii lähes poikkeuksetta ulkopuolisen konsultin opastusta, että parantamiseen osoitetuille resursseille saadaan katetta. Kun Lean Six Sigman ajatuksesta on saatu kiinni, käyttö sen jälkeen onnistuu varmasti yrityksen omallakin organisaatiolla. [2]

Yksi huomio liittyy Lean Six Sigman kaupallisuuteen. Materiaalia ja lähteitä hakiessa ei voinut olla törmäämättä kaupallisuuteen. Aiheesta on samankaltaisia kirjoja, kursseja ja luennoitsijoita erittäin paljon. Tällöin aiheen erinomaisuutta pitää korostaa, jotta kurssit ja kirjat saadaan myytyä.

Tutkimuksessa ei päästy kokeelliseen vaiheeseen. Tuotannon olosuhteet muuttuivat kevään aikana, jona työ tehtiin. Tulosten vertailu olisi ollut hankalaa, ellei mahdotonta. Toisaalta muutokset olisivat vaatineet resursseja joita ei ollut käytössä tarpeeksi nopeasti. Työstä jo saatuja tuloksia voidaan silti käyttää. Muutosehdotuksia voidaan käyttää nyt jo alkaneissa päivitysprojekteissa. Tulokset antavat syyn muuttaa asioita laitteissa ja suunnitella osa testauksesta uudelleen. Muutosten vaikutuksia päästän seuraamaan päivitysprojektien valmistuttua. Vain suorituskykytestauksen parannusvaikutus voidaan päätellä melko tarkasti. Muiden muutosten vaikutus nähdään vasta kun muutokset analyysit on tehty. Toisaalta seuranta ja kyselytutkimus antoivat saman suuntaisia viiteitä siitä, mitä kannattaa parantaa.

5 YHTEENVETO

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia, saadaanko DMAIC-projektilla parannettua Te-
lesten tuotantosolun ensisaantoa ja läpimenoaika. Projekti keskittyi lähinnä sähköiseen
testausvaiheeseen. Tutkimuksessa ei päästy testaamaan parannusehdotusten vaiku-
tusta ensisaantoon ja läpimenoaikaan. Niitä voidaan vain arvioida.

Työn tuloksena on parannusehdotuksia, jotka voisivat parantaa virtaustehokkuutta. Pa-
rannusehdotuksia on moneen eri osa-alueeseen, tuotteisiin, mittavälineisiin ja mittata-
poihin. Osa parannusehdotuksista voidaan toteuttaa, kun niihin on resursseja. Osa pa-
rannusehdotuksista voidaan käyttää tulevissa tuotteiden päivitysprojekteissa. Tilastolli-
sia tuloksia ei saatu, koska parannusvaihe olisi vaatinut paljon resursseja. Toisaalta ke-
vään olosuhteiden muutokset tuotannon toimintaan, olisivat myös vaikuttaneet ennen ja
jälkeen tulosten vertailuun.

Työ osoitti sen, että optiset solmut ovat erittäin monimutkaisia testattavia. Optisten sol-
mujen testauksessa on paljon tulomuuttujia, jotka vaikuttavat lähtömuuttujaan. Varsinkin
sellaisia joista ei saada luotettavaa dataa, jotta voitaisiin päättää, onko juuri sen hukan
parantaminen kustannustehokasta. Kirjallisuudessa ja muissa tutkimuksissa esiintyy
usein parannettavana kohteena yksinkertaisempia tuotteita. Kuten mekaanisia osia,
joilla on muutama mitattava suure. Vain muutaman asian mittaaminen ja näiden tilastol-
linen testaaminen, onnistuu varmasti helpommin. Jatkossa tuotteiden testauksen paran-
tamista kannattaa tehdä pienempien parannusten kautta. Tähän sopii Lean PDCA-on-
gelmaratkaisu malli A3-sapluunalla.

Työtä voitaisiin jatkaa toteuttamalla mahdollisia parannuskohteita. Sen jälkeen analysoi-
taisiin muutosten vaikutus. myös SPC:tä voitaisiin kehittää. Mitä uusia tietoja ja dataa
voitaisiin tallentaa tietokantaan. Mitä ja miten näitä mitattaisiin. Saataisiinko piilossa ole-
vat hukat esille. Varsinkin sellaiset jotka kannattaisi poistaa.

Todettakoon lopuksi, että työ tuotti lisätietoa valmistusprosessissa olevista ongelmista.
Samalla työ tuotti joitakin parannus ehdotuksia, jolla prosessia on mahdollisuus paran-
taa. Parannuksia on helpompi tuoda uusien, tai muutoskohteena olevien tuotteiden val-
mistusprosessiin. Silloin ollaan kuitenkin tekemässä isoja muutoksia testaus- ja valmis-
tusprosessiin. DFM- ja suunnittelutiimi voivat ottaa huomioon nämä löydetty epäkohdat,
kun tehdään päivitys- ja tuoteprojekteja.

LÄHTEET

- [1] Lehtilä Riku. 2012. Puhallinmuuntajan valmistusprosessin analysointi Lean Six Sigma-menetelmän työkaluja käyttäen. Diplomityö. Turun yliopisto. Informaatioteknologian laitos / Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta. 79 s.
- [2] Mikko Uusitalo. 2012. Lean Six Sigma konsepti. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Konetekniikan koulutusohjelma. Tampere.66 s.
- [3] Jari Jormanainen. 2017. Lean Six Sigma ja toimialariippumaton kehitysprosessi. Opinnäytetyö YAMK. Karelia AMK. Joensuu. 44 s.
- [4] Eero Kossi. 2018. Varaston kierron parantaminen hyödyntämällä Lean Six Sigma-menetelmää. Opinnäytetyö YAMK. Turku AMK. Turku. 36 s.
- [5] T. M. Shahada, I. Alsyouf.2012. Design and Implementation of a Lean Six Sigma Framework for Process. Improvement: a Case Study. 978-1-4673-2945-3/12/\$31.00 ©2012 IEEE. Haettu 20.1.2020 IEEE no. 6837706.
- [6] Six Sigma, Quality Knowhow Karjalainen, Hakupäivä 5.4.2020. <http://www.sixsigma.fi/fi/etusivu>
- [7] Logistiikan maailma, Reijo Rautauoman säätiö. Hakupäivä 31.3.2020. <http://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/lean-ajattelu/>
- [8] Lean Six Sigma, By Vivekanthanoorthy V and Sankar S. Hakupäivä 5.4.2020. <https://www.intechopen.com/books/six-sigma-projects-and-personal-experiences/lean-six-sigma>
- [9] Tanja Karjalainen, Eero Karjalainen. 2002. Six Sigma Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä. Quality Knowhow Karjalainen. Hollola. 190s. ISBN 951-98355-2-0
- [10] Rama Shankar. 2009. Process improvement using Six Sigma, a DMAIC guide. ASQ quality press. Milwaukee. Wisconsin. 110 s. ISBN: 978-0-87398-752-5
- [11] Lean Six Sigma DMAIC. Quality Knowhow Karjalainen. Hakupäivä 19.1.2020. <http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/six-sigma/dmaic/>
- [12] Juha Kynnysmaa. 2014. Laatukustannukset ja niiden hallinta. Pro gradu-tutkielma. Turun kauppakorkeakoulu. Liiketaloustiede. Pori. 87 s.
- [13] Six Sigma, Quality Knowhow Karjalainen, Hakupäivä 28.4.2020. <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/mittausysteemin-vaihtelu/>
- [14] Cabel Technian pocket guide. Commscope. Hakupäivä 30.5.2020. <https://www.commscope.com/globalassets/digizuite/1695-cable-technician-pocket-guide.pdf>
- [15] David M. Andersson. 2014. Design for manufacturability. CRC Press. New york. 449 s. ISBN 978-1-4822-0492-6.

Projektin peruskirja

Project Charter

Testausvirheiden vähentäminen solussa

Ongelman kuvaus	Business Case ja hyödyt		
<p>Optisen solun virityksessä ja testauksessa tapahtuvat virheet.</p> <p>Tämä aiheuttaa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ensisaannon huonotumista • Testauskatkoja • Lisää läpimenoaikaa • Kalibrointien laatu saattaa heikentyä • Tuotantolaatu saattaa heikentyä 	<p>Solun ensisaanto paranee.</p> <p>Tästä seuraa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tuottavuus kasvaa • Kustannus / tuote pienenee 		
Tavoiteseuranta	Aikataulu		
<ul style="list-style-type: none"> • Vikatilanteet (vähemmän) • Läpimenoaika (pienempi) • Ensisaanto (suurempi) • Laatuteknisten kutsut (vähemmän) 	Vaihe	Suun.päättyminen	Toteutunut
	Define	31.1.2020	15.2.2020
	Measure	15.3.2020	20.3.2020
	Analyze	20.3.2020	20.4.2020
	Improve	25.4.2020	---
	Control	10.5.2020	----
Rajaus – Alku/loppu ja in/out	Projektitiimi		
<p>Prosessin alku: Testaus alkaa solussa.</p> <p>Prosessin loppu: Testaus loppuu solussa.</p> <p>Mukana:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kaikki testaukseen liittyvä työkalujen ja välineiden osalta optisissa soluissa • Työmenetelmät <p>Ulkona: Keräily, loppu kokoonpano, pakkaus</p>	Rooli	Henkilö	
	Tiimin vetäjä	Mikko Peltonen	
	Sponsori	XXXXXX	
	Tiimin jäsen	XXXXXX	
	Tiimin jäsen	XXXXXX	
	Tiimin jäsen	XXXXXX	
	Tiimin jäsen	XXXXXX	
	Tiimin jäsen	XXXXXX	
	Tiimin jäsen	XXXXXX	

Kyselykaavake tuotannon operaattoreille ja korjaajille

Kysely optisen solun yleisimmistä virheistä, jotka aiheuttavat testauksen keskeytyksen.

Tuotteet, joita kysely koskee AC9100, AC8810 ja AC8710

Palauta kaavake nimettömänä TIIMARIN paikalla olevaan laatikkoon. Minä (Mikko Peltonen) kerään koosteen vastauksista. Kiitos jo etukäteen kaikille vastanneille.

Valitse alla olevista 2 yleisintä virheen aiheuttajaa molempiin		
	Keskeytys	Pakitus
USB-yhteys pätkii		
Kuituongelma		
Mittakaapelivika		
Liittimet kuluneet		
Diplexerit epäviireessä		
Mittalaittevikat		
viallinen Jig		
Viallinen virityskansi		
Muu vika? Kirjaa alle virheen syy tai aiheuttaja		

Valitse alla olevista 2 yleisintä virheen aiheuttajaa molempiin		
	Keskeytys	Pakitus
Sähköt kytkemättä		
väärä kytkentä		
Väärät mittavälineet		
Kuidun puhdistus (kaikki päät)		
Viallinen/puuttuva käsinjuotos		
Ruuveja puuttuu		
Muita osia puuttuu		
Muu vika? Kirjaa alle virheen syy tai aiheuttaja		