



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Tapio Kylmäkorpi

Tuotetestauksen manuaalisen linjan siirto automaattiseksi linjakokonaisuudeksi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tuotantotalouden tutkinto-ohjelma

Insinööriyö

20.8.2019

Tekijä Otsikko	Tapio Kylmäkorpi Tuotetestauksen manuaalisen linjan siirto automaattiseksi linjakokonaisuudeksi
Sivumäärä Aika	23 sivua 20.8.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Tuotantotalouden tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Tuotantotalous
Ohjaaja	Lehtori Harri Hiljanen
<p>Insinööriyössä tutkittiin Case-yrityksen tuotetestauksen linjaston siirtämistä manuaalisesta linjastosta automaattiseksi linjakokonaisuudeksi. Työn tavoitteena oli tutkia linjastojen ominaisuuksia vertailemalla keskenään mitattavia tuloksia ja näiden perusteella tehdä analyysit kummastakin linjastosta.</p> <p>Tutkimusmenetelmänä käytettiin jo olemassa olevaa dataa ja sen analysointia eri menetelmillä. Työkaluna datan analysointiin käytettiin eri laatumittareita, ensisaantoja ja testiaikoja kappalemäärineen, joilla voitiin arvioida ja vertailla eri linjojen toimintaa.</p> <p>Työ rajattiin koskemaan vain yhden tuotteen vertailua, koska uudella linjalla ei ole aloitettu muiden tuotteiden testausta. Tulosten perusteella pystyttiin arvioimaan uuden linjaston tehokkuus ja parantunut kapasiteetti manuaaliseen linjastoon vertaamalla.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tehtiin analyysit linjastoista, selvitettiin uuden linjaston kehittämis-kohteet sekä autettiin havainnoimaan ongelmakohtia muiden laitteiden testauksen automatisointia kohtaan. Työn lopputuloksena saatiin analyysi uuden linjaston jatkokehittämisestä ja siitä, mitä työkaluja uusien tuotteiden saaminen automaattitestauksen pariin vaatisi.</p>	
Avainsanat	lean, tuotetestaus, tahtiaika, FPY, DMAIC

Author Title	Tapio Kylmäkorpi Changing Product Testing from Manual Test Line to Automated Test Line
Number of Pages Date	23 pages 20 August 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Industrial Engineering and Management
Professional Major	Business Engineering
Instructor	Harri Hiljanen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to study changing product testing from a manual test line to an automated test line. The aim was to compare both lines for specific measurable characteristics and analyze the results.</p> <p>This study is based on data that was already available and analyzing it using different methods. The tools used for data analysis included different quality measurements, first pass yields and test times with unit counts. With these tools, it was possible to compare the characteristics of the different lines.</p> <p>The study was limited to only one specific product because no other products were currently tested in the new line. Based on these results, it was possible to evaluate the performance and improved capacity of the new line compared to the manual line.</p> <p>The outcome of this thesis includes the analysis of the two lines, improvement suggestions for the new line and problem identification to facilitate automated testing of future products. Accordingly, this thesis provides recommendations for further development and suggestions for tools required for getting new products tested in the automated test line.</p>	
Keywords	lean, product testing, takt time, FPY, DMAIC

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Laadun määrittely	2
2.1	Leanin viisi pääperiaatetta	2
2.2	Lean-ajattelu	3
2.3	Tahtiaika	4
2.4	Tilastolliset menetelmät	6
2.4.1	PDCA/PDSA	6
2.4.2	Six Sigma, DMAIC	8
2.4.3	Ensisaanto - First pass yield, FPY	9
3	Tutkimuksen toteutus	9
3.1	Manuaalinen linja case-yrityksessä	10
3.1.1	Osien virta lopputuotannossa	10
3.1.2	Eri testausvaiheet tuotannossa	11
3.1.3	Korjauskierto	11
3.1.4	Testausjärjestelmät	11
3.1.5	Vialliset tuotteet	12
3.2	Linjakuvaus ja manuaalinen testaus	12
3.3	Automaattinen linja case-yrityksessä	14
3.3.1	Linjakuvaus ja automaattinen testaus	14
3.3.2	Vialliset tuotteet automaatiolinjalla.	15
4	Tutkimustulokset	15
4.1	Manuaalisen linjan analysointi	15
4.1.1	Manuaalisen linjan data	16
4.1.2	Manuaalisen linjan FPY	17
4.2	Automaattisen linjan analysointi	17
4.2.1	Automaattisen linjan data	18
4.2.2	Automaattisen linjan FPY	19

5	Kehitysvaihtoehdot ja -kohteet	19
6	Yhteenveto	21
	Lähteet	23

Lyhenteet

DMAIC Prosessin kehittämismenelmä.

FPY *First pass yield*. Ensisaanto.

Kanban Visuaalinen työkalu tuotannon ajoitusjärjestelmästä.

Lean Tuotantofilosofia, joka tähtää tuotannon tuottamattoman työn vähentämiseen.

PDCA/PDSA Kehittämisen kehänä tunnettu prosessin jatkuva parantaminen.

Six Sigma Työkalu prosessin vaihtelun mittaamiseen ja parantamiseen.

1 Johdanto

Perinteisen tehdasyrityksen toiminnan kannalta keskeisenä osana on toimiva ja tehokas tuotantolinja tai -linjasto, joka määrittelee yrityksen tehokkuuden tuottaa valmistamiaan tuotteita. Tehokkuutta voidaan parantaa monilla eri menetelmillä ja näin mitata tehokkuuden muutos. Yksikertaisimmillaan muutos voi olla yksittäisen työvaiheen tehostaminen tai kokonaan uuden linjaston kehittäminen. Muutoksiin on kehitetty erilaisia menetelmiä, joilla seurataan ja hallitaan muutosten vaikutuksia.

Terveysteknologissa on tärkeää huomioida laitteiden toimintavarmuus, ja tämä yhdistettynä tehokkaaseen tuotantoon aiheuttaa haasteita. Vaikkakin tehokas tuotanto ei suoraanaisesti pois sulje laitteiden toimintakykyä, yleensä tämä ajatusmalli saattaa heikentää laitteiden toimivuutta asiakkaalla. Epäkuntoinen kaukosäädin ei aiheuta samaa riskiä ihmisellä kuin epäkuntoinen potilasmonitorointi. Haasteena onkin saada tehokas tuotanto, joka ei vähennä valmistettujen tuotteiden laatua, josta aiheutuisi riski ihmiselle.

Tämän työn tavoite oli tutkia manuaalisen linjan muuttumista automaattiseksi linjakokouksisuudeksi. Kohdeyrityksen nykyinen linjasto ei ole tehokkain niin laadullisesti kuin määrällisestikään. Manuaalisessa linjastossa hukka-aikaa syntyy niin työntekijöiden kuin tavaroiden turhaan siirtelyyn ja odotteluun. Uuden linjaston on tarkoitus vastata tähän ja parantaa niin laatua kuin kapasiteettia. Yritykseltä on kuitenkin puuttunut tarkemmat analyysit uuden linjan toiminnasta, ja tarkoitus on edesauttaa linjan kehitystä tehokkaammaksi näissä mitatuissa parametreissa. Tässä opinnäytetyössä tehtiin analyysit linjastoista, selvitettiin uuden linjaston kehittämiskohteet sekä autettiin havainnoimaan ongelmakohtia muiden laitteiden testauksen automatisointia kohtaan.

Työ rajattiin koskemaan vain yhden tuotteen vertailua. Vaikka vanhalla linjastolla rinnakkain tehdään useampaa tuotetta, helpottaakseen keskinäistä vertailua valinta tehtiin tuotteeseen, joka soveltuu parhaiten rinnakkaiseen analysointiin. Tässä yhteydessä se tarkoitti automaattisen linjan ainoaa testikoesarjan läpikäynyttä tuotetta. Työssä otettiin myös huomioon mahdollinen uuden linjaston valmistumisen viivästys ja analysointi tehtiin vain olemassa olevan aineiston perusteella. Aikajanaksi tulosten vertailulle on valittu kaikki yhden tuotteen tulokset yhdeltä kuukaudelta. Laskettujen tulosten perusteella

voitiin arvioida linjojen ominaisuudet ja tulosten perusteella arvioida, miten jatkossa kannattaa edetä uuden linjan suhteen.

Tässä työssä tutkimusmenetelmänä käytetään jo olemassa olevaa dataa ja sen analysointia eri menetelmillä. Työkaluna datan analysointiin käytetään eri laatumittareita, ensisaantoja ja testiaikoja kappalemäärineen, joilla voidaan arvioida ja vertailla eri linjojen toimintaa. Kerätty data on jokaisesta yksittäisestä testatusta laitteesta koottu raportti, joka on talletettu erilliseen omaan tietokantaan. Tietokannasta voidaan hakea halutut tulokset määrätyllä aikavälillä. Tulosten perusteella määritellään kehittämiskohteet ja vaihtoehtoiset toimintamallit linjastojen jatkolle.

2 Laadun määrittely

Voidakseen parantaa tuotannon laatua, pitää ensin määritellä, mistä laadusta on kysymys. Laatu voidaan määritellä hyvinkin tarkasti vain, jos mittarit siihen ensin on luotu. Laadun parantamiseen voidaan käyttää siihen parhaiten tarkoitettujen työkalujen etsimistä ja niiden käyttämistä. Tässä työssä on tarkoitus kuvailla lopputuotannon laadun parannus lean-ajattelun periaatteella ja sitä kautta havainnollistaa prosessin hukat ja näiden poistamisen tulokset [1, s. 5].

Jotta voidaan varmistaa prosessin parantaminen, on löydettävä virheet ja hukat, jotka heikentävät laatua. Ensimmäinen pitää kuvailla nykyinen prosessi mahdollisimman tarkasti, jotta ongelmakohdat tulevat esille. Osa hukista voi olla helposti nähtävissä, mutta poistaminen vaatii resursseja tai mahdolliset kustannukset jäävät hukkien alle. Onkin tärkeää puuttua hukkiin jo niin varhaisessa vaiheessa, että kynnys parantamiseen ylittyy. [1, s. 8.]

2.1 Leanin viisi pääperiaatetta

Leanin periaate yrityksessä voidaan havainnoida jatkuvana prosessina, jossa määritellään seuraavat 5 pääperiaatetta:

1. Arvo [Value] – Tämä on asiakkaan määrittelemä summa, jonka asiakas on valmis maksamaan tuotteesta.
2. Arvovirta [The Value Stream] – Mikä tuottaa arvoa asiakkaalle. Ei-arvoa tuottavat vaiheet ovat hukkaa.
3. Virta [Flow] – Jatkuva virta. Turhat vaiheet hidastavat tuotevirtaa.
4. Veto [Pull] – Oikeaan aikaan tuote asiakkaalle.
5. Täydellisyyden tavoittelu [Perfection] – Jatkuva parantaminen ja tavan ottaminen osaksi yrityskulttuuria. [2, s. 16-26.]

2.2 Lean-ajattelu

Lean-ajattelu on filosofia, jonka tavoite on tehostaa tuotantoa, vähentää kustannuksia ja sitä kautta parantaa kilpailukykyä. Tuotannossa menetelmän kantava ajatus on hukkan poistaminen tuotantoprosessista. Hukaksi määritellään kaikki sellainen toiminta, joka sitoo resursseja, mutta ei lisää prosessissa syntyvää arvoa. [3.]

Hukkana [Waste - Muda] pidetään seitsemää erikseen määriteltävää asiaa, jotka ovat:

- Ylituotanto [Over-production] – Tuotteiden liiallinen valmistaminen varastoon, mikä sitoo pääomaa ja henkilöstöä. Suurin ongelma on massatuotannossa, mikä aiheuttaa muita hukkia peittäen todellisia ongelmia tuotantoprosessista.
- Tarpeettomat varastot [Unnecessary inventory] – Huonosti suunnitellussa tuotantoprosessissa syntyy välivarastoja, jotka lisäävät kustannuksia.
- Ylikäsittely [Inappropriate processing] – Tuoteita prosessoidaan liian pitkälle asiakkaan kannalta tai tehdään väärillä työkaluilla kuten laitteilla, jotka ovat ylisuunniteltuja kyseisille prosesseille.

- Tarpeeton kuljettaminen [Unnecessary transportation] – Turha kuljettaminen on hukkaa, koska asiakasarvo ei synny tuotteiden liikuttelulla eri työvaiheiden tai osastojen välillä.
- Odottelu ja viivästykset [Unnecessary delay] – Tuotantoprosessissa kaikki odottelu on hukkaa. Prosessin pullonkaulat aiheuttavat muiden vaiheiden odottelua ja viivästyksiä.
- Laatuvirheet [Unnecessary defects] – Vialliset tuotteet ja osat aiheuttavat turhaa työskentelyä koko tuotantoprosessin alusta asiakkaalle asti.
- Tarpeeton liike työskentelyssä [Unnecessary motion] – Huonosti järjestetty työskentely aiheuttaa turhaa liikettä kuten osion kurottelua, työkalujen etsintää tai tuotteen ylimääräistä asettelua. [4, s. 29.]

Yleensä näiden seitsemän hukan lisäksi määritellään myös kahdeksas hukka, jota pidetään työntekijöiden luovuuden tai osaamisen käyttämättömyytenä. Hukkana tämä on menetettyä potentiaalia, joka voisi tehostaa tuotantoa, kuten edellä mainittujen hukkien huomaamista, mutta tähän ei puututa. [5.]

2.3 Tahtiaika

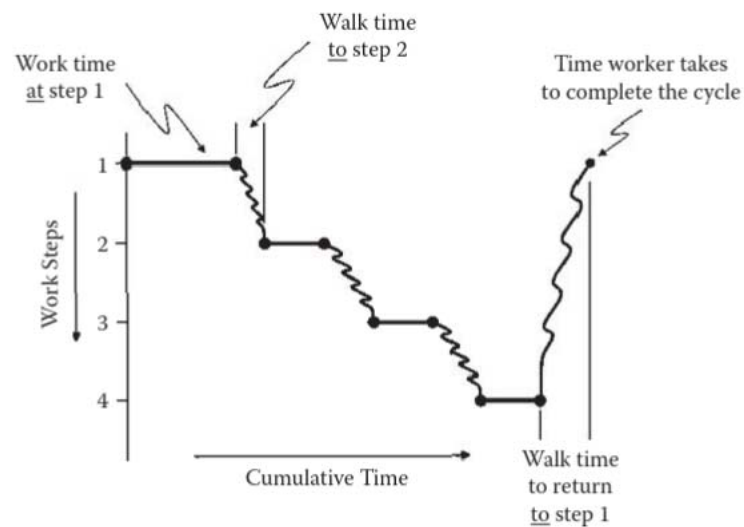
Tahtiaika määritellään käsittämään keskimääräistä aikaa yhden tuotteen aloituksesta uuden tuotteen aloitukseen. Nämä aloitukset ovat asiakkaan kysynnän mukaisia.

$$T = \frac{T_a}{D}$$

Kaavassa T = Tahtiaika, T_a = Työaika ja D = Kysyntä määrittävät laskennallisen mallin tahtiajalle. Jos tiedetään asiakkaan kysyntä ja työhön kulunut aika, voidaan määritellä keskimääräinen tahtiaika kyseiselle prosessille [6].

Yksittäinen tahti voidaan määritellä kolmeen eri luokkaan:

- Työ (Work)– Liike tai toimi, joka edistää tuotteen tai palvelun valmistumista.
- Siirtyminen (Walk) – Materiaalin ja työntekijän liikkuminen perättäisten työvaiheiden välillä.
- Odotus (Wait) – Aika, joka kuluu odottaessa edellisen työvaiheen valmistumista. [7, s. 35.]



Kuva 1. Yksikertainen yhdistetty työvaihetaulukko [7, s. 47].

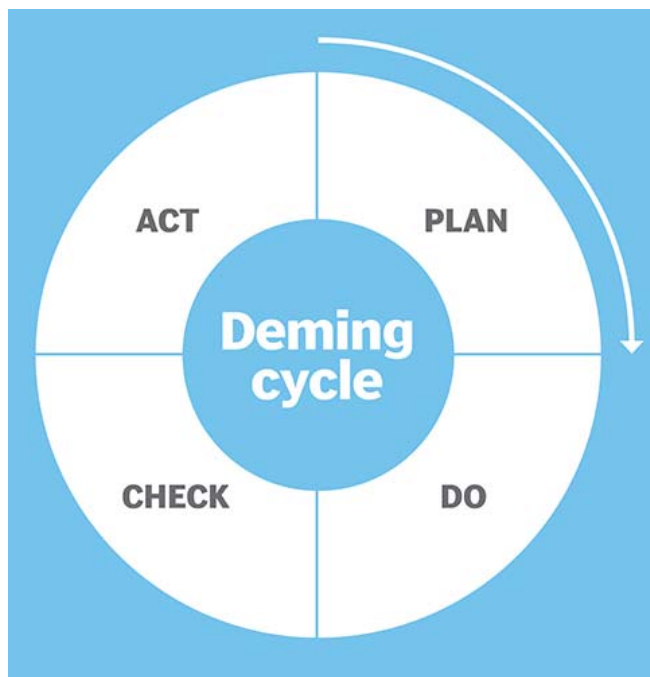
Kuvassa 1 kuvataan yhden vaiheen eteneminen, jossa on 4 eri työtehtävää. Eri työvaiheet kestävät eri ajan ja näiden välillä on työntekijän siirtymistä. Yhdistettynä näistä tulee yhden tahdin kokonaisaika. Kuvaajassa ei oteta huomioon mahdollista odotusaikaa, joka tulisi eri työvaiheiden pakollisesta odotuksesta esimerkiksi paikka on varattu jollekin muulle työlle. Kuvaaja voidaan myös tulkita yksittäisen koneen eri työvaiheeksi, jossa ei ole suoraa ihmisen tekemä työtä. [7, s. 47.]

2.4 Tilastolliset menetelmät

2.4.1 PDCA/PDSA

PDCA:lla ja PDSA:lla tarkoitetaan jatkuvaa kehittämistä sykleissä. Lyhenteet tulevat sanoista plan-do-check-act tai plan-do-study-act, joista jälkimmäinen korostaa enemmän aiheen tutkimista epävarmemmassa syklissä. Tämä menetelmä tunnetaan myös nimellä Demingin kehä. Tarkoitus on havaintojen perusteella muodostaa hypoteesi, joka vahvistetaan empiirisesti kokeilemalla ja tätä samaa prosessia jatketaan aina uudelleen parantaen. Yksittäisen syklin havainto voi myös olla prosessia haittaava, jolloin uuden hypoteesin luomisessa tämä otetaan huomioon ja kokonaisuutena prosessi tehostuu. [8, s. 39-40]

Kuvassa 2 on havainnollistettu Demingin kehä. Tavoitteena on edetä aina vaihe kerrallaan ja aina palaten Plan-vaiheeseen edellisen kierroksen päätyttyä. Plan-vaiheessa suunnitellaan koe, joka parantaisi prosessia ja ehdotetaan toteutus. Koe on suunniteltava siten, että se pystytään myös mittaamaan, jolloin tuloksia pystytään vertaamaan. Onnistuneesta kokeesta seuraa aina lisääntynyt ymmärrys, jonka avulla seuraavan kierroksen suunnittelu on aina parempi ja prosessi tehostuu. Tätä syy-seuraus-suhdetta voidaan kutsua tieteelliseksi ajatteluksi, jossa hypoteesi todetaan tai kumotaan ja tämän perusteella voidaan tehdä aina tarkempia hypoteeseja. [8, s. 40-41.]



Kuva 2. PDCA-cycle (muokattu [9])

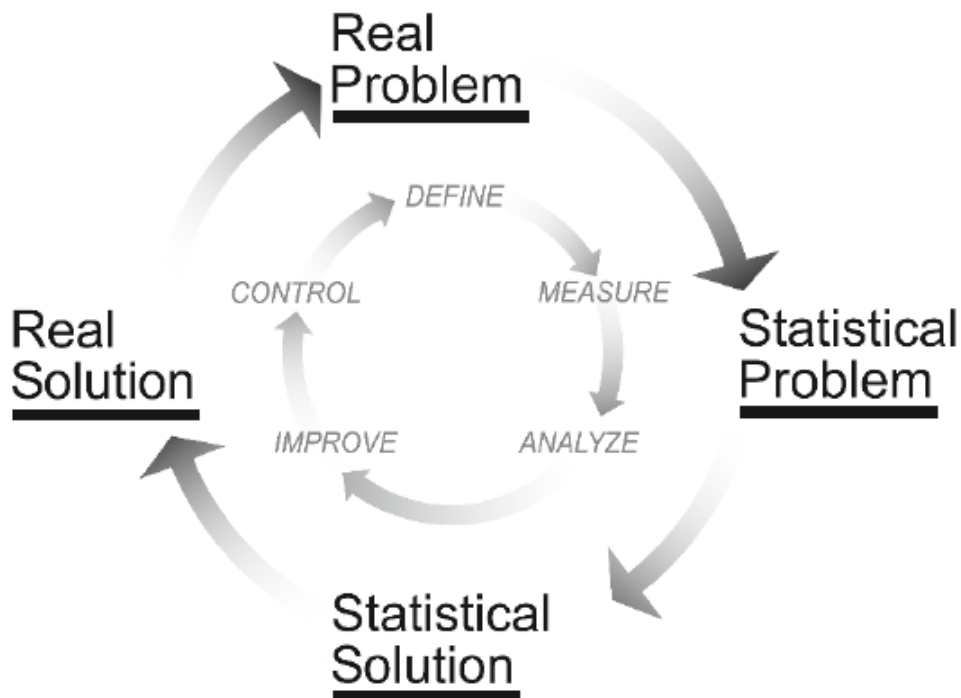
Do-vaihe tarkoittaa Plan-vaiheen hypoteesin testausta käytännössä. Suositeltavaa olisi aina testata hypoteesi aina mahdollisimman pienimmässä mittakaavassa, jolla koe voidaan suorittaa. Liian suuri koe voi olla liian kallis ja aikaa vievä, jolloin riski koko prosessin paranemisen epäonnistumiselle nousee. [8, s. 41-42.]

Check/Study-vaiheessa tutkitaan ja analysoidaan kokeen tuloksia. Riippuen kokeesta ja sen suunnittelusta mahdolliset tilastolliset menetelmät ovat hyvä työkalu analysointiin erottamaan satunnaiset tulokset. Tarkoitus on aina pysähtyä ja tutkia tulokset mahdollisimman oikein, sillä väärin analysointi vie koko kehän väärälle uralle, ja seuraavat hypoteesit voivat olla virheellisiä jo perusteeltaan. [8, s. 42.]

Act-vaiheessa päätetään kokeilun ottamista osaksi toteutusta tai sen hylkäämistä. Tulosten perusteella pitää voida arvioida, onko toteutus ollut riittävän hyvä, jolloin tämän ennusteesta voidaan tämä käyttöönotto tehdä. Seuraavaksi voidaan jatkaa uudelle syklille tämän tuloksen pohjalta, oli kokeilun tulos suoraan prosessin parannus tai sille haitaksi. [8, s. 42.]

2.4.2 Six Sigma, DMAIC

Six Sigma on tilastollinen ongelmanratkaisumenetelmä, jonka tarkoitus on parantaa prosessia vähentämällä vaihtelua ja ehkäistä virheitä. Prosessin parantaminen on jaoteltu DMAIC-mallin mukaisesti, jonka jokaista kirjainta vastaa oma työvaihe. DMAIC-mallin havainnollistamiseen käytetään ympyrän mallista kuvaajaa, jossa eri vaiheet seuraavat toisiaan. [1, s. 11.]



Kuva 3. DMAIC-ympyrä [1, 11].

- Define – Määrittely. Ensimmäisessä vaiheessa määritellään ongelma eli mitä on tarkoitus lähteä parantamaan. Määritellään parannettavan prosessin avaintekijät ja asiakkaiden vaatimukset. Asetetaan tavoitteet, jotka voidaan toteuttaa. [1, s. 28]

- Measure – Mittaus. Määritellään, mitä ja miten prosessia voidaan mitata. Kerätään tarvittava aineisto ja varmistetaan, että mittaukset ovat hyväksyttäviä. [1, s. 54.]
- Analyze – Analysointi. Tunnistetaan mitattavan prosessin keskeiset syyseuraussuhteet. Luodaan johtopäätökset juurisyiden vaikuttamisesta prosessiin. [1, s. 122.]
- Improve – Parannus. Kehitetään ratkaisu perustuen juurisyihin. Valitaan paras ratkaisu ottaen huomioon parannuksenvaikutus ja miten resursseja siihen voi käyttää. Testataan tulos ja mitataan vaikutus. [1, s. 204.]
- Control – Ohjaus. Tarkkaillaan parannettua prosessia käyttäen määriteltyjä mittauksia. Varmistetaan prosessin pysyminen ja kestävyys. [1, s. 268.]

2.4.3 Ensisaanto - First pass yield, FPY

Ensisaannolla tarkoitetaan numeroa, joka on prosessiin menevien ja ulostulevien tuotteiden jako. Luku kerrotaan sadalla, jolloin saadaan vertailukelpoinen prosenttiluku. Tässä yhteydessä ulostulevien määrä sisältää vain tuotteet, joita ei uudelleen työstetä tai romuteta. Ensisaanto voidaan myös laskea yksittäiselle työvaiheelle, jossa testataan tiettyä tai tiettyjä osia. Laskennallisesti 100 testattavaa kappaletta testataan, joista 5 uudelleen testataan tai työstetään ja 90 läpäisee. Tällöin FPY on $(90-5)/100 = 85/100 = 0.8500$ [10].

3 Tutkimuksen toteutus

Linjastojen analysointi aloitettiin keräämällä molemmista linjoista tarvittava data yrityksen omasta tietokannasta. Jokaisesta testatusta tuotteesta valmistuu testiraportti, joka tallentuu automaattisesti tietokantaan. Tietokannasta voidaan hakea aina yksittäinen testitulos, mutta tähän työhön haluttiin kerätä tietyn kuukauden tulokset yhdeltä tuotetyypiltä ja näin vertailla mahdollisimman yhtenäisiä tuloksia. Koska uusi linja ei ollut tutkimusta tehdessä vielä tuotantovaiheessa, tämän tulokset valittiin koskemaan vain linjan

validoinnin testausajot. Nämä testausajot ajoittuvat samalle kuukaudelle kuin toisen linjan otantaan otetut testitulokset.

Testiajoissa keskityttiin analysoimaan suuresta tietomäärästä vain tulosten aloitus- ja lopetusajat, tuotteen hylkäys- tai läpäisytulokset ja ensisaanto. Näiden tulosten perusteella voitiin laskea molempien linjojen kapasiteetti, tehokkuus ja hylkäysprosentti. Työ aloitettiin kartoittamalla molemmat linjastot, jonka tarkoitus oli havainnollistaa eri työvaiheet ja mahdolliset hidasteet testaukselle. Tulosten perusteella voitiin arvioida mahdolliset kehityskohteet ja mihin suunnata resursseja jatkossa.

3.1 Manuaalinen linja case-yrityksessä

Case-yritys on terveysteknologian yritys, joka valmistaa laitteita sairaanhoidonpiiriin ja yksittäiset laitteet ovat isoja kokonaisuuksia. Seurattavasta tuotantolinjasta valmistuu osalaite, jota voidaan itsenäisesti käyttää yhdessä muiden järjestelmien kanssa ja tuote on monimutkainen elektroninen laite. Valmistettavan tuotteen asiakaskunnan takia on erityisen tärkeää hallita laatu ja toimintavarmuus erilaisissa olosuhteissa. Vialliset tuotteet on pystyttävä havaitsemaan lopputestauksessa, ja itse testaus ei saa synnyttää virheitä tuotteeseen tai antaa vääriä tuloksia tuotteen kyvyistä.

Case-yrityksessä lopputuotannon keskeisin vaihe on tuotteen testaus, jotta varmistetaan asiakkaalle päätyvän tuotteen laatu aina lain vaatiman määritelmän mukaan. Tuotteelle tehdään täysi tuotetestaus, jossa jokainen osa testataan erikseen määriteltyjen vaatimusten osalta. Mikään tuote ei pääse asiakkaalle, jos yksikin testauksen osa ei ole läpäisty. Laadun parantaminen tässä yhteydessä tarkoittaa tuotteen testauksen parantamista ja siihen kuuluvien resurssien tehokkaampaa käyttöä [11].

3.1.1 Osien virta lopputuotannossa

Case-yrityksessä osat virtaavat loppu kokoonpanoon ja -testaukseen Lean-periaatteen mukaan. Osat tulevat merkittynä kokoonpanoon ja koottavat osat lisätään tuotteeseen vaihe kerrallaan. Eri työvaiheet odottavat aina edellisen päättymistä ja ovat tehtävissä

vain yksi kerrallaan odottaen operaattoria tai eri testausvaiheiden siirtymistä seuraavaan kohtaan.

Osat saapuvat imuohjauksella kokoonpanoon. Jokainen osa on merkitty ja luetteloitu ja ohjaus tapahtuu kanban-periaatteen mukaan. Osien virtaa ohjataan supermarketista, joka täydentää kokoonpanoa aina täydennysmerkin ilmestymisen mukaan.

3.1.2 Eri testausvaiheet tuotannossa

Loppukokoonpanossa yksittäisiä osia ei enää testata, vaan jokainen osa on jo testattu aikaisemmin eri tuotannon vaiheissa. Tällä tavoin jokainen viallinen osa löytyy varhaisemmassa vaiheessa, eikä rasita tuotantoketjun seuraavia osia. Loppukokoonpanon testauksen tarkoitus on testata kootun laitteen toiminnallisuus ja koonnan toimivuus.

3.1.3 Korjauskierto

Korjauskierrolla tarkoitetaan prosessia, jossa vikaantunut tuote ensin havaitaan ja siirretään pois linjastosta. Havainto voi olla visuaalinen tai tuotetestauksessa havaittu vika. Havainnon jälkeen tuote siirretään omaan prosessiin, jonka päätteeksi tuote ensisijaisesti palautuu takaisin linjastoon. Loppukokoonpanossa viallinen tuote siirtyy ensisijaisesti laitekorjaamoon, jossa vian perusteella laite korjataan ja palautetaan uudelleentestattavaksi.

3.1.4 Testausjärjestelmät

Testausjärjestelmiä on useita ja oikean valitseminen riippuu tuotteesta ja tarkoituksesta. Tuotteen jatkuva testaaminen tuotantoprosessin aikana voi olla liian raskasta ja sitä kautta resurssien vääränlaista hyödyntämistä. Tai tuotteen testaaminen vasta viimeisessä vaiheessa ennen asiakkaalle lähtöä on mahdollisesti liian vähän ja liian myöhään. Oikea testaaminen oikeassa paikassa mahdollistaa parhaan tuottavuuden, ja tämän selvittäminen auttaa yritystä toimimaan paremmin.

Testausjärjestelmä voi olla havaintoon perustuva, koneellinen tai näiden yhdistelmä. Case-yrityksen loppukokoonpanossa on käytetty näiden yhdistelmää, jossa osa testeistä tehdään automaattisesti, osa koneavustettuja ja osa kokonaan operaattorin havainnoilla.

Etuja ja haittoja operaattorilla tehdyillä havainnoilla on eri kuin täysin koneellisesti tehdyt. Operaattorin eduksi voidaan katsoa havaintokyky, hankalasti testattavat ja mukautuvuus. Koneella tehtynä edut ovat luotettavuus, toistojen tarkkuus ja säännöllinen nopeus. Näiden yhdistelmällä ollaan Case-yrityksessä testattu loppukokoonpanossa.

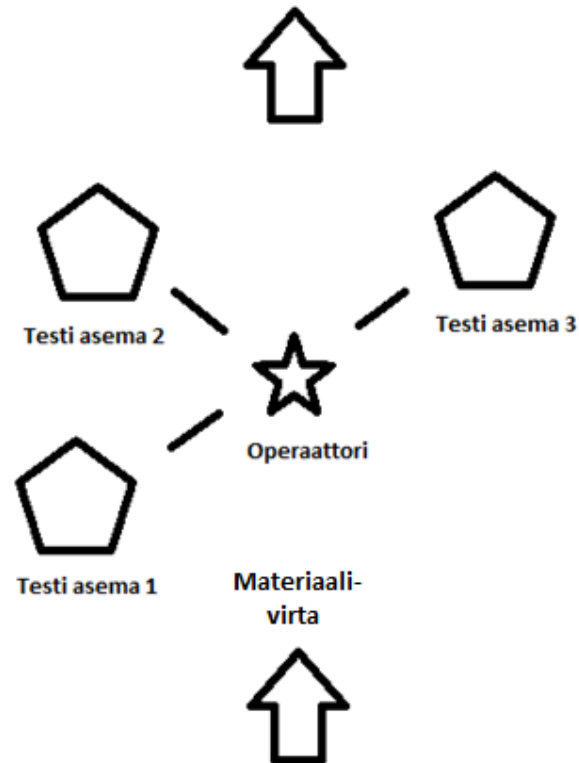
3.1.5 Vialliset tuotteet

Viallisten tuotteiden havaitseminen on ensisijaisesti tärkeää ja ehdoton edellytys tuotteissa, jotka ovat keskeisiä potilasturvallisuudessa. Automaattiset ja manuaaliset testit suorittavat tuotteelle erilaisia testejä, joiden perusteella viallinen tuote havaitaan ja korjataan oikein. Vialliseksi havaittu tuote ohjataan pois tuotantolinjastosta ja siirretään korjauskiertoon.

Korjauskierrossa tuote analysoidaan ilmoitetun vian perusteella ja korjauspäätös tehdään tämän mukaan. Viallinen tuote korjataan, jonka jälkeen tuote testataan uudelleen ja onnistuneen testauksen jälkeen tuote siirtyy linjastolta eteenpäin.

3.2 Linjakuvaus ja manuaalinen testaus

Manuaalinen linja koostuu yhdestä operaattorista ja kolmesta eri testauspisteestä. Tuote saapuu lopputestaukseen kokoonpanosta tasokärryyn, josta valmistuneet tuotteet siirtyvät käsin nostaan First in - First out -periaatteella testaukseen. Tuote nostetaan erilliselle alustalle, joka toimii tuotteen testaus- ja tukialustana. Ennen testauksen aloitusta tuote puhdistetaan pyyhkimällä ja kiinnitetään tuotekohtainen paneeli hallintatunnisteantureiden päälle. Tuote kytketään kaapelein kiinni testijärjestelmään, ja operaattori täyttää tuotekohtaisen seurantatodistuksen tuotteen etenemisestä sähköisessä järjestelmässä. Varsinainen testaus aloitetaan tuotteen käynnistyksellä, ja testiohjelma etenee vaiheittain testaten jokaisen sille määrätyn testin testimääritteiden mukaan.



Kuva 4. Tuotantolinjan testausasemat.

Testauksessa on useita vaihteita, jotka vaativat operaattorin toimenpiteitä jatkuakseen, ja yksittäiset testit kestävät minutteja vaatien joko jatkuvaa operaattorin toimintaa testi-järjestelmän hoitaessa testausta. Jotta operaattorin hukka-aika olisi vähempi, linjastossa on kolme identtistä testausasemaa (kuva 4), jolla testausta voidaan tehdä yhtäaikaaisesti ja muista erillään.

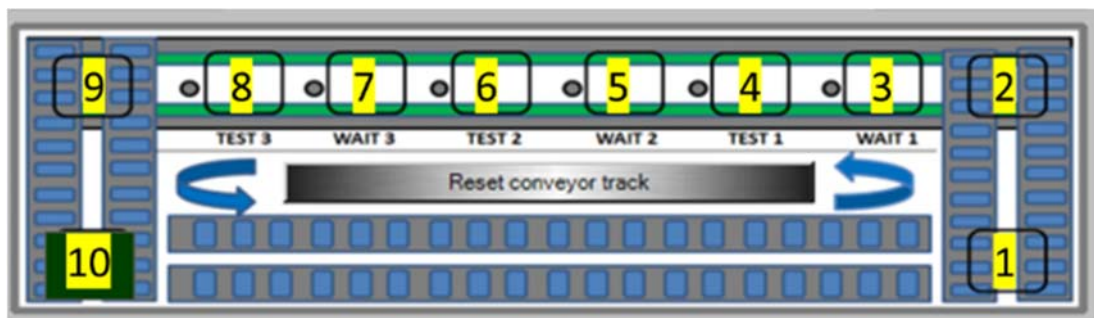
Testien loputtua kone irrotetaan testiasemasta, ja operaattori täyttää seurantatodistuksen tuotteen etenemisestä järjestelmään. Testissä vialliseksi todetut tuotteet joko testataan uudelleen tai siirretään korjauskiertoon. Toimivat tuotteet siirtyvät visuaalisen lopputarkastuksen jälkeen odottamaan siirtokärryyn seuraavaa työvaihetta.

3.3 Automaattinen linja case-yrityksessä

3.3.1 Linjakuvaus ja automaattinen testaus

Automaattinen linjasto koostuu yhdestä karkeasti U-mallisesta linjasta, jossa tuote siirtyy erillisen paletin mukana eri testivaiheiden läpi. Linjastossa tuote saapuu kokoonpanosta, ja operaattori nostaa tuotteen paletille ja kytkee tarvittavat kaapelit ja osat kiinni tuotteeseen. Paletti on osa testausjärjestelmää ja sisältää tarvittavat kontaktit ja testausapuvälineet varsinaisiin testeihin. Operaattori siirtää paletin linjastolla aloituskohtaan, josta automaattinen testausjärjestelmä siirtää paletin varsinaiseen tuotetestaukseen.

Testaus on jaettu kolmeen eri testipisteeseen, jotka jokainen on jaettu kestämään yhtä kauan. Testit ovat toiminnallisuudeltaan identtisiä manuaalisen linjan kanssa, vaikkakin joitakin muutoksia on tehty testauksen osalta. Tuotteen testausvaatimukset ovat kuitenkin samoja. Testipisteissä manuaalista linjasta poiketen testaus hoidetaan kokonaan koneellisesti ja apuna käytetään robottiohjausta, kameran avulla tapahtuvaa analysointia ja mikrofoniin kerätyn äänen arvostelua. Erillisten tunnisteiden avulla eri testivaiheet voidaan aloittaa automaattisesti aina, kun laite on siihen valmis, eikä erillistä tuoteohjausta tarvita. Tuotteet siirtyvät linjalla aina vaihe kerrallaan ja jokainen paikka on aina täytettynä (kuva 5). Ennen jokaista testausvaihetta on paikka, jossa odottava tuote odottaa seuraavan vaiheen loppumista. Tällöin voidaan hieman tasata testauksessa olevaa epätarkkuutta ajan suhteen, ja uusi tuote siirtyy nopeammin uudelle testauspaikalle. Kokonaan testattu tuote poistuu linjastolta samaan tahtiin kuin siihen voi syöttää uuden testattavan tuotteen. Tällöin linjan tahti aika on sama kuin pisimmän vaiheen aika.



Kuva 5. Automaattisen linjan testivaiheet ja kuvaus.

Jokaisen testivaiheen läpikäynyt tuote siirtyy keräilypisteelle, josta operaattori nostaa tuotteen pois sille varatulle paikalle odottamaan seuraavaa työvaihetta. Testijärjestelmä hoitaa sähköisen raportoinnin ja testissä viallisiksi havaitut tuotteet näkyvät operaattorille keräilypisteeseen tullessa paletissa olevassa visuaalisessa merkissä.

3.3.2 Vialliset tuotteet automaatiolinjalla.

Linjastolla yksikin hylätty testi aiheuttaa tuotteen testauksen hylkäyksen ja tuote ohjataan korjauskiertoon. Riippuen hylätystä testistä, loput testit voidaan testata tai testaus keskeytyy, jolloin tuote yhdessä tuotepaletin kanssa vain siirtyy seuraavaan vaiheeseen odottamaan ja lopulta pääsyä ulos linjastosta.

Tuote korjataan samalla periaatteella kuin manuaalisessa linjassa hylkääntynyt tuote ja korjattu tuote palautetaan uudelleen testaukseen. Testauslaitteiden herkkyydestä johtuen osa testeissä hylätyt voidaan uudelleen testata linjastossa suoraan ja tällöin kyseessä on väärä negatiivinen tulos. Väärä hylky aiheutuu mittaustavan epätarkkuudesta esimerkiksi kaapelin huonosta kiinnityksestä, jolloin huolellisemmin uudelleen kiinnitetty kaapeli läpäisee testauksen onnistuneesti.

4 Tutkimustulokset

4.1 Manuaalisen linjan analysointi

Tarkasteltaessa linjaston ominaisuuksia havaitaan, että kolme testausasemaa ei ole optimaalinen linjastomalli. Yhden henkilön sovittaminen täydellisesti kolmen testiaseman käyttäjäksi nykyisillä toimenpiteillä ei ole mahdollista ja hukka-aikaa syntyy väkisinkin. Linjastolla on alun perin ollut vain yksi testiasema ja näitä on myöhemmin lisätty hukkaajan minimoimiseksi. Voidaankin päätellä, että alkaenkaan linjaston tehokkuus ei ole ollut optimaalinen. Laskennalliset ajat koottiin yhdeltä kuukaudelta, jossa oli 21 työpäivää, ja yksi testausaika on yhden tuotteen aloitus ja lopetus kyseisellä testiasemalla. Tämän lisäksi linjastossa on laitteen siirtämistä, joita ei ole huomioitu näissä laskelmissa.

4.1.1 Manuaalisen linjan data

Tutkitusta datasta voidaan laskea, että keskimäärin yhden aseman testiaika on noin 17,53 min (kuva 6). Mediaanin ollessa selvästi alempi 14,54 min huomataan suuri vaihtelu minimi- ja maksimitestiaikojen välillä. Havaitussa aineistossa muutama testiaika kesti selkeästi normaalia aikaa pidempään, ja suurin syy tähän on taukojen osuminen testauksen keskelle, jolloin testi jää odottamaan operaattorin hyväksyntää ja näin ollen pidentää kokonaistestiaikaa.

Avg	0.17.53
Max	1.01.12
Min	0.08.51
Median	0.14.54

Kuva 6. Manuaalisen linjan testiajat.

Parhaimmillaan testaus on kestänyt 8,43 min (kuva 7) ja tätä voidaankin pitää testauksen optimaikana. Ideaalitulanteessa kolmesta testiasemasta tulisi yksi testattu tuote kerran alle yhdeksässä minuutissa ja tästä voidaan laskea koko päivän maksimikapasiteetti. Jos oletetaan työajaksi 8 h, linja toimii keskeytyksettä ja yhdeksi testauskerraksi 8,43 min, niin saadaan tulokseksi noin 55 kappaletta yhdestä asemasta ja kolmesta tällöin 165 kpl. Keskimääräisellä testiajalla laskettuna saadaan noin 27 kpl per testeri ja kolmella 81 kpl. Voidaankin nähdä lähes puolet hukatusta kapasiteetista toteutuneen ja teoreettisen välillä.

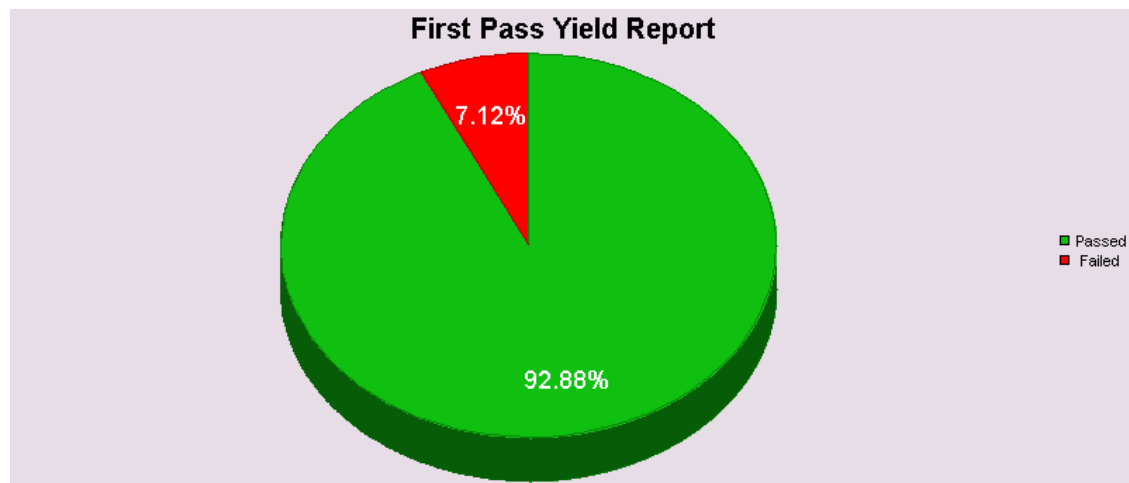
Asema 1		Asema 2		Asema 3	
Avg	0.16.15	Avg	0.19.14	Avg	0.18.11
Max	1.01.55	Max	0.59.31	Max	1.02.09
Min	0.08.43	Min	0.09.02	Min	0.08.49
Median	0.14.09	Median	0.15.54	Median	0.14.40

Kuva 7. Asemakohtaiset testiajat manuaalisella linjalla.

4.1.2 Manuaalisen linjan FPY

Ensisaanto kyseisellä aikavälillä oli 92,88 % (kuva 8), jota voidaan pitää kohtalaisena. Manuaalisessa linjassa FPY on kuitenkin herkkä heilahduksille, ja operaattorin vaikutus tulokseen on merkittävä. Koulutuksella voidaan vähentää merkittävästi väärin testatut kerrat ja näin ollen minimoida ihmisestä aiheutuvat testausvirheet.

Heti uudelleen testattuja ilman korjauskiertoa oli 18 kpl ja korjauskiertoon päätyi 7 kpl. Jos ensisaannosta poistetaan inhimillisistä virheistä johtuneet uudelleen testatut, saataisiin FPY:ksi 98,01 %.



Kuva 8. Manuaalisen linjan FPY yhdeltä kuukaudelta.

4.2 Automaattisen linjan analysointi

Automaattilinjan analysoinnissa keskitytään linjan käyttöönoton yhteydessä tehtyyn testikoesarja-ajoon. Ajossa oli 3 eri identtistä tuotetta ja yhteensä näitä testattiin 36 kertaa. Jokaista yksilöä ajettiin siten 12 kertaa. Näiden tulosten perusteella voidaan laskea keskimääräinen testausaika ja tahtiaika. Tulosten vähyydestä johtuen ja vain koesarjaan pohjautuen ei voida tarkemmin määrittellä linjaston todellista tuotannollista kapasiteettia

tai tehokkuutta, mutta koesarjan tuloksista voidaan kuitenkin päätellä testauksen kapasiteetti ja tähän kulunut aika.

4.2.1 Automaattisen linjan data

Keskimääräinen testausaika kesti 10,37 min ja kokonaisvaihtelu pisimmän ja lyhimmän välillä oli 1,03 min (kuva 9). Vaihtelu johtuu pääasiassa testattavan tuotteen ja sitä testattavan tavasta havaita vääriä virheitä, ja näiden minimoimiseksi osa testeistä läpäisee toisia hitaammin uudelleen testauksen muodossa. Testauksen kokonaisaika on laskettu, kun ensimmäisen testausvaiheen testaus käynnistyy ja viimeisen loppuu. Linjastossa on vielä siirtymistä ensimmäiseen testaukseen ja viimeisestä ulos, joita ei ole huomioitu tässä laskelmassa.

Avg	0.10.37
Max	0.11.05
Min	0.10.02
Median	0.10.41

Kuva 9. Automaattisen linjan testiajat.

Testituloksista selviää myös jokaisen kolmen eri testiaseman testausaika. Tuloksia analysoimalla voidaan arvioida, miten hyvin testien aikajako on onnistunut todellisuudessa. Kuvasta 10 nähdään kolmen eri testausvaiheen kokonaiskesto. Tuloksia huomioitaessa pitää ottaa huomioon linjastossa aika, joka kestää siirtyessä testausvaiheesta toiseen. Tuloksista nähdään, että jonkin verran vaihtelua testauksen kestolla on eri testiasemilla ja keskimäärin ensimmäinen testivaihe kestää vähiten. Laskennallisesti keskimäärin tah-
tiaika olisi noin 3,26 minuuttia, joka määräytyy pisimmän testausvaiheen testiajasta. Tällöin uusi tuote tulee keskimäärin 3,26 minuutin välein linjastosta.

Avg	0.02.33	Avg	0.03.26	Avg	0.03.07
Max	0.03.04	Max	0.03.43	Max	0.03.24
Min	0.01.48	Min	0.02.52	Min	0.02.28
Median	0.02.35	Median	0.03.33	Median	0.03.15

Kuva 10. Testipistekohtaiset testiajat automaattisella linjalla.

Linjaston maksimikapasiteetti saadaan tästä keskimääräisestä testiajasta laskettua. Jos oletetaan työajan olevan 8 h ja jatkuvalla syötöllä laitteita ajetaan linjaston läpi, saadaan kokonaiskapasiteetiksi noin 140 kpl. Todellista kokonaiskapasiteettia ei kuitenkaan voida tässä vaiheessa tietää, ja todennäköisesti se on tästä maksimaalisesta aina hieman matalampi.

4.2.2 Automaattisen linjan FPY

Automaattisen linjaston FPY:ksi tuli 100 % testikoesarjassa. Tämä tulos ei kuitenkaan ole täysin vertailukelpoinen, koska testattavia laitteita ei ollut kolmea enempää ja näitä laitteita testattiin useaan kertaan peräkkäin. Lisäksi linjasto on kehitetty näiden kolmen testilaitteen perusteella ja osa testeistä saattaa havaita vääriä hylkyjä johtuen tuotteiden normaalista hajonnasta. Tämän perusteella on vaikea ennustaa tulevaa FPY:tä, ja tämä vaatii tuotannon varsinaista aloitusta.

5 Kehitysvaihtoehdot ja -kohteet

Koska uusi linjasto on selvästi vielä keskeneräinen varsinaiseen massatuotantoon usealla tuotteella, tämä vaatii resursseja sekä ylläpitää että kehittää linjastoa eteenpäin runsaasti. Ensiarvoisen tärkeää onkin selvittää, millä tavalla linjastoa kehitetään ja ylläpidetään. Pitää selvittää, mille tuotteille linjasto laajennetaan ja mitä mahdollisia muutoksia tämä vaatisi linjastoon. Arviointiin olisi syytä myös ottaa testausmäärittelyt ja onko joikaista testattavaa testiä näinkin tarkasti testata.

Tutkimuksen edetessä uusia tuotteita tai näiden eri variaatioita ei saatu linjastolle tuotantoon tai edes testaukseen, joten kehityskohteetkin muuttuivat tämän myötä. Jatkuvaan kehittämiseen tarkoitettu PDCA/PDSA-menetelmä ei tämän myötä olisi ollut parhain menetelmä linjan kehitykseen, joka olisi tarjonnut paremmat työkalut linjaston eteenpäin viemiseen. Linjaston kehityksen tässä vaiheessa tehokkaampi suhtautuminen on havainnollistaa jokainen uusi tuote linjalle omana projektinaan, ja tähän DMAIC-ongelmaratkaisumenetelmä on parempi.

Kohteen laajuudesta johtuen ehdottaisin linjaston kehittämiseksi DMAIC-ongelmaratkaisumenetelmää. Monimuotoisen kehittämisen jälkeen, jossa mukana oli useampi eri organisaatio, vaarana on, että linjasto jää vailla ilman jatkosuunnitelmaa. Ehdottoman tärkeää onkin saada useat organisaatiot mukaan tukemaan tätä kehitystä ja tälle yhteinen vetäjä. Yhteinen projekti mahdollistaa laajemman tuen läpi organisaatioiden. Parannusprosessissa voidaan hyödyntää jo olemassa olevaa tietoa, koska lähes kaikki tarvittava tieto on jo olemassa.

Alla DMAIC-ongelmaratkaisumenelmällä tehty parannusehdotus:

- Määrittely – Määritellään mitä tuotteita linjalla aiotaan testata ja mitä muutoksia tämä vaatii. Tärkeää on määrittää muutosten laajuus.
- Mittaus – Mittauksessa voidaan hyödyntää jo olemassa olevaa dataa. Teoreettinen kapasiteetti linjasta on jo olemassa ja manuaalisen linjan ominaisuudet tiedetään.
- Analysointi – Uusien tuotteiden ottaminen mukaan ja näiden testauksen analysointi. Mitä tarvitaan lisää, jotta testaus onnistuu parhaiten? Onko järkevää testata kaikkia automaattisesti?
- Parannus – Uusien palettien suunnittelu ja toteutus. Uusien testien rakentaminen.

- Ohjaus – Tuotteiden testauksen jatkuvaa mittausta ja näiden perusteella tehtyjä parannuksia. Suurimmat hylkysyyt kontrolloitaviksi, jotta pystytään analysoimaan ja ymmärtämään testauksesta johtuvia hylkääntymisiä.

6 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli tutkia Case-yrityksen linjamuutosta manuaalisesta automaattiseksi ja analysoida muutosta niin laadullisesti kuin kapasiteetiltaan. Työn tekeminen alkoi työn rajauksella ja määrittelyllä. Määrittely olikin ehdottoman tärkeää, koska linja oli vasta työtä aloittaessa kehitysvaiheessa ja mahdollinen tulevaisuus linjan kohdalta auki. Uuden linjan varsinaiset tuotteet jäivät yhden tuotteen eri variaatioiksi, joten itse työkkin analysointiin vain tämän tuotteen perusteella. Tuotteiden vähydestä johtuen uuden linjaston analysointi jäi vajaaksi ja kehityskohteet muuttuivat linjaston parantamisesta uusien tuotteiden saamiseksi linjastolle omina projekteina.

Työssä käytettiin tilastollisia menetelmiä laskemaan molempien linjojen ominaisuuksia, joiden avulla pystyttiin luotettavasti näitä kahta vertaamaan keskenään. Laskennallisten tulosten perusteella voidaan todeta, että uusi linjasto on lähes puolta tehokkaampi keskimääräisessä kapasiteetissa. Lisäksi vanhassa linjassa hukataan uudelleen testauksen takia noin 5 % testauskapasiteetista riippuen testaajan osaamisesta. Toistaiseksi uuden linjan vääristä hylkäyksistä johtuvaa uudelleen testausta ja tämän hukkakapasiteettia ei ole voitu määrittää.

Voidaan arvioida, että uuden linjaston väärin hylkyjen määrä on aluksi selvästi korkeampi johtuen todellisen tuotannon aiheuttamista tuotteiden keskimääräisestä hajonnasta osana koneellista automaatiota kuten kameranäöstä ja äänitestauksesta. Näiden tarkkuus parantuu, mitä useammasta laitteesta saadaan koetestausta. Tämä vaatii kuitenkin jatkuvaa kehitystä testauslaitteiden kanssa.

Työssä myös arvioitiin linjastojen tehokkuutta Lean-näkökulmasta ja tämä toteutettiin linjastojen tarkalla kuvauksella erilaisten hukkien selvittämiseksi. Suurimmat hukat

manuaalisessa testauksessa johtuivat testauksen tehottomuudesta ja operaattorin kyvyistä, jotka oli huomioitu uuden linjan suunnittelussa.

Laskettujen arvojen perusteella voidaan perustella uusia tuotteita linjastolle, vaikkakin todellista tuotantoa uudella linjastolla ei ole aloitettu ja todelliset tuotantoluvut puuttuvat. Suurimpana ongelmana uuden linjan käyttöönotossa on uusien tuotteiden saaminen linjalle. Nämä vaativat linjastolta muutoksia ja näiden määrittely on jäänyt kesken. Ehdottoman tärkeää on saada aloitettua uusien tuotteiden suunnittelu linjalle ja jatkuvan kehittämisen sykli käyntiin.

Lähteet

1. Lunau, S. 2008. Six Sigma +Lean Toolset. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
2. Womack, J. Jones, D. 2003. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation – Revised and updated. New York. Free Press.
3. Osto ja logistiikka 3.2 Lean-tuotantofilosofia. Verkkodokumentti < <http://www.bonnierpro.fi/fi/osto-ja-logistiikka>> Luettu 20.8.2019.
4. McCarthy, D. Rich, N. 2004. Lean TPM: A Blueprint for Change. Elsevier Butterworth-Heinemann.
5. 8 Wastes. Verkkodokumentti <goleansixsigma.com/8-wastes> Luettu 20.8.2019.
6. Takt time. Verkkodokumentti <https://en.wikipedia.org/wiki/Takt_time> Luettu 20.8.2019.
7. Martin, T. Bell, J. 2011. New Horizons in Standardized Work: Techniques for Manufacturing and Business Process Improvement. New York. Productivity Press.
8. Torkkola, Sari. 2015. Lean asiantuntijatyön johtamisessa. Helsinki. Talentum Pro.
9. PDCA. Verkkodokumentti <<https://en.wikipedia.org/wiki/PDCA>> Luettu 20.8.2019.
10. First pass yield. Verkkodokumentti <https://en.wikipedia.org/wiki/First_pass_yield> Luettu 20.8.2019.
11. Hukka ja arvo vs. lean-tiede. Verkkodokumentti <<http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/artikkelit/hukka-ja-arvo-vs-lean-tiede>> Luettu 20.8.2019.