

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Teknologiaosaamisen johtamisen koulutus  
Ylempi ammattikorkeakoulututkinto

Tommi Kontkanen

LAAKEROINTIYKSIKÖIDEN LÄPIMENOAJAN KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2020

**OPINNÄYTETYÖ**

Joulukuu 2020

**Teknologiaosaamisen johtamisen  
koulutus****Ylempi ammattikorkeakoulu tutkinto**

Tikkarinne 9

80200 JOENSUU

+358 13 260 600

Tekijä(t)

Tommi Kontkanen

Nimeke

Laakerointiyksiköiden läpimenoajan kehittäminen

Toimeksiantaja

Outotec Turula Oy

Tiivistelmä

Globaali talous aiheuttaa jatkuvaa hintapainetta kotimaiseen valmistukseen. Suomessa helposti ja yksinkertaisesti valmistettavissa tuotteissa valmistuskustannuksia ei voida pitää kilpailukykyisenä. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja analysoida laakerointiyksiköiden nykyinen tuotantoprosessi, sekä kehittää prosessin läpimenoaika 30 % nopeammaksi ja alentaa tuotekustannusta 15 %.

Opinnäytetyössä teoriapohjana käytetään Lean Six Sigmaa, jonka perusperiaatteet käsitellään teoriaosuudessa. Tutkimustyö ja kehittäminen toteutetaan Lean Six Sigman DMAIC-menetelmästä valittujen työkalujen avulla. Kussakin osiossa ja menetelmässä teoria käydään läpi, sovellettuna suoraan tehtävään toimintoon.

DMAIC-menetelmän valittujen työkalujen avulla pystyttiin määrittelemään ja toteuttamaan tarvittavat toimenpiteet, joiden avulla läpimeno ja tuotekustannukselle asetetut tavoitteet saavutettiin, vaikkakin kerättävän datan laadussa havaittiin ongelmia. Läpimenoaika saatiin kehitettyä 68 %:a paremmaksi. Tuotekustannuksen aleneminen kokonaisuutena paransi tuotteen katetta noin 15 %. Kehitettävä prosessi otettiin haltuun, stabiloitiin ja standardoitiin. Kehittämistehtävän ansiosta aikaisemmin sitoutunutta kapasiteettia pystyttiin vapauttamaan muuhun käyttöön, jolloin muutkin työt hyötyvät parannuksesta. Tutkimus- ja analysointivaiheessa esiin tulleet kehityskohteet, jotka eivät tulleet valituksi kehittämistehtävän ensimmäisessä vaiheesta, tullaan käsittelemään kehitysprojektin seuraavassa syklissä.

Kieli  
suomi

Sivuja 52

Asiasanat

Lean, Six Sigma, Läpimenoaika, DMAIC



**THESIS**  
**December 2020**  
**Degree Programme in Technology**  
**Competence Management**  
**Master`s Thesis**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author (s)  
Tommi Kontkanen

Title  
Development of bearing units lead time

Commissioned by  
Outotec Turula Oy

Abstract

The global economy is putting constant price pressure on domestic manufacturing. The cost level of manufacturing easy-to-manufacture pieces, Finland's price level cannot be considered competitive. The target of the thesis was to study and analyze the current production process of bearing units, and to develop lead time of the process to be 30 % faster and to reduce the product cost by 15 %.

The theory is based on Lean Six Sigma, the basic principles of which are introduced in the theory section. The research and development are performed using the selected tools of the Lean Six Sigma DMAIC method. The theory is reviewed in each section and method and applied directly to the function to be performed.

The selected tools of the DMAIC method were able to identify and implement the necessary actions to achieve the lead time and product cost targets, although problems were found with the quality of the data collected. Lead time was improved by 68 % and overall effect was 15 % on the whole product cost and increased reliability. The process to be developed was taken over, stabilized and standardized. Thanks to the development task, previously committed capacity could be freed up for other use, so that other work will also benefit from the improvement. The development targets that emerged in the research and analysis phase and were not selected in the first phase of the development task will be addressed in the next cycle of the development project.

Language  
Finnish

Pages 52

Keywords  
Lean, Six Sigma, lead time, DMAIC

# Sisältö

1	Johdanto .....	6
2	Metso Outotec Oyj .....	7
3	Lean Six Sigma.....	9
4	Laakeriyksiköiden DMAIC.....	15
4.1	Laakerointiyksikkö .....	15
4.2	Määrittely .....	16
4.2.1	Aivoriihi .....	17
4.2.2	SIPOC .....	21
4.2.3	VSM Laakerointiyksikkö.....	22
4.3	Läpimenoajan lyhentämisen mittaus.....	23
4.3.1	Prosessinkuvaus.....	23
4.3.2	Kalanruoto-diagrammi .....	25
4.3.3	Mittauksen toteutus.....	26
4.3.4	XY-matriisi .....	28
4.4	Analysointi .....	30
4.4.1	6-3-5-menetelmä .....	32
4.4.2	5W2H-menetelmä.....	34
4.5	Parannus .....	35
4.5.1	Kuljetusteline akseleille (Työturvallisuus) .....	36
4.5.2	Tuotantomenetelmien kehitys ja dokumentointi työohjeiksi .....	39
4.5.3	Tuotannon suunnittelu ja resursointi .....	42
4.5.4	Hankinnan kehitys ja varastosaldojen sovittaminen.....	42
4.5.5	Asennuksen tuotantopaikan vakiointi.....	43
4.5.6	Tekemisen edellytysten varmistaminen ennen töiden aloitusta .....	43
4.6	Ohjaus .....	44
5	Tulokset .....	45
6	Pohdinta.....	48
	Lähteet.....	51

## Tässä työssä käytetyt lyhenteet

SAP	Suuri saksalainen ohjelmistovalmistaja
ERP	Toiminnanohjausjärjestelmä
PDM	Tuotetiedon hallinta
DMAIC	Six Sigman ongelmanratkaisumenetelmä
LEAN	Johtamisfilosofia, joka perustuu hukka ajatteluun
TPS	Toyotan tuotantojärjestelmä
TQM	Kokonaisvaltainen laatujohtaminen
PDSA	Plan-Do-Study-Act -toimintaympyrä
SQC	Statistical/Scientific Quality Control. Tilastollinen/Tieteellinen laatuohjaus
TQC	Total Quality Control. Kokonaisvaltainen laadun hallinta
TQM	Total Quality Management. Kokonaisvaltainen laatu johtaminen
SPC	Tilastollinen prosessinohjaus
5S	Organisointiin ja standardointiin keskittyvä menetelmä

## 1 Johdanto

Globaali talous aiheuttaa jatkuvaa hintapainetta kotimaiseen tuotantoon. Suomessa helposti ja yksinkertaisesti valmistettavissa tuotteissa, valmistuskustannuksia ei voida pitää kilpailukykyisenä. Etenkin kehittyvien maiden Brasilian, Kiinan, Intian ja Venäjän markkinat ovat todella suuret, sekä maiden kustannustaso on matala. Tästä syystä onkin tehtävä asiat paremmin ja tehokkaammin, kun halvan kustannuksen maissa tehtävät vastaavat tuotteet. Suomalaisen tuotteen valttina on ollut korkea laatu. Korkeaa laatua tulisi tehdä kustannustehokkaasti kilpailukyvyyn parantamiseksi. (Ali-Yrkkö, Lindström, Pajarinen & Ylä-Anttila. 2017, 81.)

Kehittämistehtävän tarkoituksena on selvittää laakerointiyksiköiden valmistuksen nykytila sekä asettaa selkeät kehityskohteet, joiden avulla tuotannon läpimenoa saadaan nopeammaksi ja tehokkaammaksi. Läpimenon tehostamisen avulla tuotekustannus alenee, jolloin valmistus on kannattavampaa. Kehitystehtävä käsittää koko laakerointiyksikön tilaus-toimitusketjun. Kehitystehtävässä on otettava myös huomioon työturvallisuusasiat, ja pyrkiä parantamaan niitä parhaan mukaan.

Kehittämisprojektissa käytetään teknologiaosaamisen johtamissa opetettuja menetelmiä ja sovelletaan niitä yhdessä Lean-johtamisfilosofioiden kanssa. Projektissa pyrittiin luomaan tehtaalle Lean-johtamisen kulttuuri, jossa muutosta johdetaan systemaattisesti ja määrätietoisesti eteenpäin.

Laakerointiyksiköiden tuotantomenetelmät ovat pysyneet lähes vakiona sen elinkaaren ajan. Kappaletta on valmistettu Outotec Turulan Oy:n konepajalla sen alusta lähtien, yli 40 vuotta. Turulassa on aikaisemmin toteutettu Lean-hanke lähinnä 5S:n muodossa, joka on sittemmin hiipunut. Kehitystyö pyrkii saamaan tehtaalle Leanin jälleen käyntiin ja muuttamaan ”projektimaisuuden” jatkuvaksi toiminnaksi.

Opinnäytetyössä kehitystyötä tehdään Lean Six Sigma DMAIC-Menetelmästä valittujen työkalujen avulla, joka on luonnollinen jatkumo aikaisemmasta Lean-

taustasta. Työn teoriaosiossa käsitellään Lean- ajattelumallia sekä johtamisfilosofiaa ja sen historiaa. Six Sigma osiossa, teoria ja historia kerrotaan lyhyesti läpi, jonka jälkeen sovellukset kytketään suoraan kehittämistehtävään. Tulosten analysoinnin kautta listataan kehityskohteet, joiden avulla opinnäytetyön tehtävämukaiset parannusehdotukset toteutetaan vaiheittain parannusosion mukaisesti. Turvallisuuteen vaikuttavat tekijät ovat etusijalla, vaikka ovat usein myös kustannuksiltaan suurempia.

## 2 Metso Outotec Oyj

Metso on perustettu 1999 Valmet Oyj:n ja Rauma Oyj:n sulautuessa yhdeksi suureksi yhtiöksi. Valmetin ydinosaamista olivat kartonkikoneiden valmistus. Rauman päätuotteita olivat metsäkoneet (Timberjack), kuitutekniikkalaitteet (Sunds Defibrator), kivenmurskaimet (Norberg) sekä venttiili ja säätölaitteet (Neles). Myöhemmin Metso järjesteli toimintonsa myynneillä ja jakautumisilla, jollaisena se oli yhdistyttyään Outotecin kanssa. (Metso 2020.)

Outotecin historia alkaa Outokumpu yhtiöstä 1940-luvun lopulta. Suomessa oli jatkuvasti pulaa sähköstä, jota metallien jalostamiseen tarvittiin paljon. Ratkaisuksi Outokumpuyhtiö kehitti liekkisulatusmenetelmän, jossa hyödynnettiin palamislämpöä sekä lisähapetettua ilmaa. Tekniikka on yhä käytössä laajasti, noin puolet valmistettavasta kuparista on tuotettu hyödyntämällä liekkisulatusla. (Nykänen 2016, 109-114.)

Outokumpu Oyj päätti keskittyä pelkästään kirkkaiden terästen valmistukseen ja myyntiin. Se aloitti 2006 erillisen teknologioihin keskittyneen yrityksen. Yrityksestä tuli Outokumpu Technology Oy, joka kerkesi olla vain vuoden, jolloin se nimettiin uudelleen Outoteciksi. (Nykänen 2016, 221-225.)

Metso ja Outotec julkaisivat 4.7.2019 suunnitelmansa, jonka mukaan yhtiöt yhdistyvät. (Metso Outotec 2020.) Yhdistymisen seurauksena Metsossa tehtiin osittaisjakautuminen, jossa Metso Minerals eriytettiin Flow control liiketoiminnasta. Niin sanottuun vanhaan Metsoon jäi Flow control-venttiililiiketoiminta ja

noin 2900 työntekijää. Yhtiön uudeksi nimeksi vaihtui Neles. Yhtiö jatkaa Metson listautusta Nasdaq Helsingissä. (Neles 2020.)

”Metso Outotec on globaali kestävä kehitystä parantavien teknologioiden sekä kokonaisratkaisujen ja palveluiden edelläkävijä mineraalien ja metallien jalostuksessa sekä kierrätyksessä kaikkialla maailmassa”. Teknologiayritys kehittää ja myy laitteita, laitoksia, teknologioita, palveluja ja varaosia kiviainestautantoon, kaivostoimintaan, metallin jalostukseen ja kierrätykseen. Metso Outotec on noteerattu Nasdaq Helsingissä. Metso Outotecissa työskentelee noin 15 600 työntekijää. Vuonna 2019 yhtiöiden liikevaihto oli noin 4,1 miljardia euroa. (Metso Outotec 2020).

Outotec Turula Oy on harvoja Outotecin omia tuotantolaitoksia. Konepaja sijaitsee Pohjois-Karjalassa, Outokummun kaupungissa teollisuuskylän alueella. Konepaja on perustettu vuonna 1979, suljettavan kuparikaivoksen jatkajaksi. Nykyisin konepajalla työskentelee noin 130 ammattilaista. Turulaan on vuosien saatossa rakennettu nykyaikaista tuotanto- ja toimistotilaa 19 000m<sup>2</sup>. Avarat tuotantotilat ja isokapasiteettiset koneet ja nosturit mahdollistavat suurien kappaleiden valmistamisen läpi toimitusketjun. (Outotec Turula Oy 2020.)



Kuva 1. Outotec Turula Oy. (Outotec 2020.)



Outotec Turula on koneenrakennukseen erikoistunut konepaja, joka pystyy toimittamaan laajoja asiakasräätälöityjä kokonaisuuksia. Turulassa on käytössä nykyaikaiset valmistusteknologiat parhaan laadun sekä tuottavuuden saavuttamiseksi. Tuottavuutta tukee nykyaikaiset ERP- ja PDM-järjestelmät sekä Kemppi Weldeye hitsauksen hallintajärjestelmä. Outotec Turula Oy on sertifioitu usealla osa-alueella. Kaiken toiminnan peruspilareina toimivat oheiset sertifikaatit:

- ISO 9001:2019
- ISO 3834-2:2005
- ISO 14001:2015
- ISO 45001:2018
- ISO 50001:2011(Outotec 2020.)

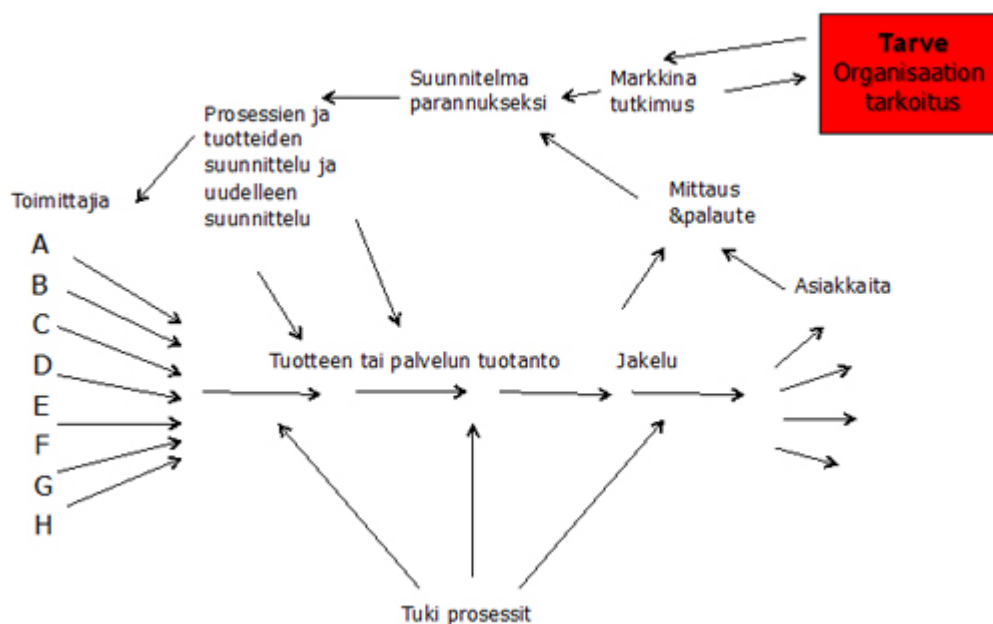
Vuonna 2019 Pohjois-Kajalan kauppakamari valitsi Outotec Turula Oy:n vuoden kouluttajayritykseksi Pohjois-Karjalassa. Valintaa perusteltiin koulutusmyönteisyydellä, sekä antaa henkilöstölle mahdollisuuden kouluttautua ja siirtyä eri tehtäviin talon sisällä. Turulalla on kumppanuussopimus ammattiopisto Riverian kanssa, joka mahdollistaa erilaisia tapoja kouluttaa osaajia. (Pohjois-Karjalan Kauppakamari 2020.)

### **3 Lean Six Sigma**

Leanin ydinidea on maksimoida asiakkaan saama arvonlisäys tehtävään tuotteeseen tai palveluun, samalla kun minimoidaan hukkaa. Yksinkertaistettuna siis tuotetaan enemmän arvoa vähemmällä resurssilla. Organisaation tulisi ymmärtää asiakkaan arvo, ja pyrkiä kasvattamaan sitä prosessinomaisesti ja systemaattisesti. (Lean Enterprise Institute 2020.) Leanin peruspilareina toimivat ihmiskeskeisen johtamisen ohella jatkuva parantaminen (Karjalainen & Karjalainen 2020, 28).

Toisen maailmansodan jälkeiseen aikaan lähes kaikkialla oli puutteita resursseista. Koneet olivat vanhoja ja taloudellinen tilanne huono. Lean-valmistusfilosofian juuret tulevat Japanista Toyota Motor Companylta. Toyotalla oli kova halu nostaa valmistuksen tuottavuus nousuun. (Six Sigma 2020a.) Toyotan keksimää tuotantomallia kutsuttiin Toyota production systemiksi eli TPS:ksi. Länsimaissa menetelmä tunnetaan paremmin Total Quality Management, eli TQM. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 28.)

Toyota ei kuitenkaan keksinyt Lean-johtamisfilosofiaa yksin. Lean-ajatukset ovat peräisin tohtori W. Edwards Demingiltä. Deming luennoi vuonna 1950 Japanin johdolle ja insinööreille tavasta, jossa hän kuvasi yrityksen liiketoimintaa prosessikuvalla, jonka perimmäinen tarkoitus oli tyydyttää asiakkaan tarpeet aina vain paremmin, laadukkaammin ja ennen kaikkea kustannustehokkaammin. Toyotalla parhaiten tunnetut TQM soveltajat olivat Taiichi Ohno ja Shigeo Shingo. He sovelsivat TQM-menetelmää tuotantoprosessien aikavaihtelun minimoimiseen, josta heidät myöhemmin palkittiin Deming-palkinnolla. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 28-31.)



Kuvio 1. Johtamisfilosofian prosessikuvaus. (Karjalainen 2015)

Demingin mallin mukaisesti ongelmat jaettiin kahteen osioon, numeeriseen ja analyyttiseen. Analyyttisen ongelman ratkaiseminen on hankalaa, koska yleisesti ne perustuvat tulevaisuudessa tapahtuvaan. Numeraaliset ongelmat ovat

mennyttä tai nykyhetken tietoa, jolloin ratkaisu voidaan perustaa faktatietoon, ilman arvauksia. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 29.)

Numeraalisen tutkimuksen tavoitteena on arvioida yksiköiden lukumäärää tietyissä rajatussa tilassa, joka kuuluu tiettyyn luokkaan. Analyyttiläisen tutkimuksen tavoitteena on luoda perusta toimenpiteelle, joka kohdistuu syysysteemiin tai prosessiin, jotta tulevaisuuden tuotetta voidaan parantaa (Karjalainen & Karjalainen 2020, 29-30.)

Kyseiseen ongelmaan kehitettiin PDCA-ympyrä (kuvio 2), joka tunnetaan myös Demingin pyöränä tai Demingin syklinä. Ympyrän periaatteena on tehdä systemaattista parannusta. Syklin vaiheet alkavat suunnittelulla. Suunnitteluvaiheessa asetetaan tavoitteet ja tarkoitukset tehtävään. Nämä seuraavat tekovaiheeseen, jossa suunnitelmat toteutetaan. Toteutuksen jälkeen seuraa tutkimusvaihe, johon kytkeytyy edellisten vaiheiden analysointi. Analysoinnin perusteella saadaan selville kehittämistä kaipaavat kohteet. Analysoinnin jälkeen tehdään korjaavat toimenpiteet, joka kokoaa kasaan koko sykliketjun. Tätä sykliketjua voidaan toistaa niin pitkään, kunnes on todettu, että toimintoa ei voida paljoakaan parantaa kustannustehokkaasti. (The W. Edwards Deming institute 2020.)



Kuvio 2. PDCA-ympyrä. (The W. Edwards Deming institute 2020.)

Myöhemmin Toyotan laajamittaista menestystä alettiin tutkimaan, jonka pohjalta julkaistiin kirja. Vasta vuonna 1990 syntyi teos "The Machine that Changed the World", jota voidaan pitää Leanin esiteoksena. Kuusi vuotta myöhemmin, vuonna 1996 julkaistiin ensimmäinen Leanin kantateos "Lean thinking". (Karjalainen & Karjalainen 2020, 32.)

Six Sigma juuret käsitteenä menevät aina 1700-1800-luvulle asti. Quètelet ja Galton kehittivät normaalijakauman kuvaamaan luonnon normaalia käyttäytymistä. Normaalijakauma tunnetaan myös Gaussin käyränä. Sigma on mitta-standardi, jota käytetään tuotteessa esiintyvälle vaihtelulle. Ensimmäisenä kolmen sigman mallin esitti Walter A. Shewhart 1924, josta syntyi perusteet tilastolliselle sekä tieteelliselle laadunohjaukselle SQC, TQC, TQM tai SPC. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 34-35.)

Six Sigma syntyi käsitteenä vasta 1980-luvun lopulla. Motorola julkaisi "Six Sigma Quality Program" -ohjelman, joka syntyi osana Motorolan laadunparannusta sekä läpimenoa parantavaa tutkimusta (Six Sigma 2020b.) Motorolalla oli ongelma tuottaa laadukkaita tuotteita lyhyellä toimitusajalla. Asiakkaiden tyytyväisyys tuotteisiin alkoi olla todella heikkoa ja tuotteita jouduttiin useasti korjaamaan, joko tuotannon tai takuun aikana. Tuotantokeskeytykset ja asiakasreklamaatiot söivät potentiaalisen tuoton lähes kokonaan. Motorolan ongelmasta kertoo hyvin saavutetut tulokset, jotka olivat 1 000-10 000 kertaa suurempia, mitä yleisesti odotettiin. Yritys pystyi saavuttamaan yli 16 miljardin säästöt Six Sigman avulla tehdyistä kehityshankkeista. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 36-43.)

Six Sigman perusajatus on pienentää prosessin vaihtelua. Se perustuu täysin tieteelliseen tutkimukseen, jonka peruspilareina toimivat tilastot sekä niiden menetelmät. Vaihtelun väheneminen edesauttaa laskemaan hukan määrää. Vaihtelu yleisesti nostaa virheen mahdollisuutta huomattavasti, jolloin virheitä sattuu herkemmin ja virheitä tehdessä tulee vikoja, joka on hukkaa. (Six Sigma 2020c).

Nykyisin Six Sigma ja Lean on yhdistetty saman käsitteen alle. Molempien tekniikoiden peruseriaatteena pidetään vaihtelun hallitsemista. Lean nojautuu aikaan sekä suorituskykyyn, kun Six Sigmassa keskitytään ominaisuuksiin ja niiden suorituskykyyn. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 47.)

Lähtökohtaisesti on ajateltava, mitä asiakas tästä saa. Mahdollisesti hän saa laadukkaan tuotteen tai palvelun, jonka myötä asiakaskokemuskin on hyvä. Kehittäminen ei saa olla projekti, vaan sen tulee pyöriä prosessinomaisesti, jolloin

syntyy jatkuvaa parantamista. Jatkuvan parantamisen edellytyksenä on osallistuminen kehittämiseen läpi organisaation. (Lintula 2020.)

Vuonna 2014 Six Sigma standardoitiin Suomessa ja julkaistiin sertifikaatit SFS ISO 13053-1 ”Prosessin kehittämisen kvantitatiiviset menetelmät. Six Sigma. Osa 1: DMAIC-menetelmä” (SFS ISO 13053-1, 2014.) sekä 13053-2 ”Prosessin kehittämisen kvantitatiiviset menetelmät. Six Sigma. Osa 2: Työkalut ja teknikat”. (SFS ISO 13053-2, 2014). DMAIC-menetelmän tärkeimmät työkalut esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Prosessien kehittämisen työkalut. (SFS ISO 13053-1, 2014, 52)

Työkalu (tekniikka)	Tietosivun numero <sup>2)</sup>	Määrittely	Mittaus	Analysointi	Parantaminen	Ohjaus
Kyvykyys tai suorituskyky	20	R	R	R	R	R
CTQC	04	M	M		M	M
Asiakaskohderyhmä	05	S				
Kuvalleivat tunnusluvut	19	S	S	S	S	S
Taloudellinen perustelu	01	M				R
Jana-aikataulu (Gantt-kaavio)	08	R				
Kano-malli	03	S				
Poikkeamien mahdollisuuksien tunnistaminen	04	R				
Pareto-kaavio	19	S	S	S	S	
Priorisointimatriisi	11	R			R	
Prosessin vuokaavio	10	R		S	R	
Projektin asettamisasiakirja	07	M				
Projektin katselmus	31	M	M	M	M	M
Projektin riskianalyysi	07	M				
QFD	05	R		R	R	
RACI-matriisi	28	R			R	
Palvelun tuottamisen mallintaminen	23	S	S		S	S
SIPOC	09	R			S	
Six Sigma -indikaattorit	20	M			M	
Arvoketjuanalyysi	22	R				
Hukka-analyysi	21	R	R	R		
Vertailuanalyysi	06		R		R	
Tiedonkeruusuunnitelma	16		M			
MSA	15		M	M		M
Todennäköisyysjakaumatestit (esim. normaalisuustestaus)	18		M (jatkuvalle tiedolle) R (muulle tiedolle)	M (jatkuvalle tiedolle) R (muulle tiedolle)		
Otoskoon määrittäminen	17		M	M	M	
SPC	30		R	R		R
Trendikortti	19		S			S
Samankaltaisuuskaavio	02			S		
Varianssianalyysi	24, 26			R	R	
Syy-seurauskaavio	12			R		
Koesuunnittelu	26			R	R	
Hypoteesien testaus	24			R	R	
Prosessin vika- ja vaikutusanalyysi	14			R	M	
Regressio ja korrelaatio	25			R	R	
Luotettavuus	27			R	R	
5 x Miksi? -analyysi	-			S		
Aivoriihi (brainstorming)	13				S	
Korrespondenssianalyysi (MCA)	-				S	
Virheenesto (poka yoke)	29				R	R
Ratkaisunvalinta	11				R	
Tuottava kunnossapito (TPM)	27				S	S
5S-menetelmä	29				S	S
Ohjaussuunnitelma	29					M

<sup>2)</sup> Tietosivut on esitetty standardissa ISO 13053-2.  
HUOM. M - pakollinen, R - suositeltava, S - ehdotus.

Kehitystehtävässä DMAIC-menetelmän työkaluista valittiin parhaiten soveltuvat, korkean variaation ja pienen volyymin konepaja ympäristöön. DMAIC-prosessin vaiheiden teoria ja työkalut käsitellään läpi otsikon 4 alla olevissa osioissa.

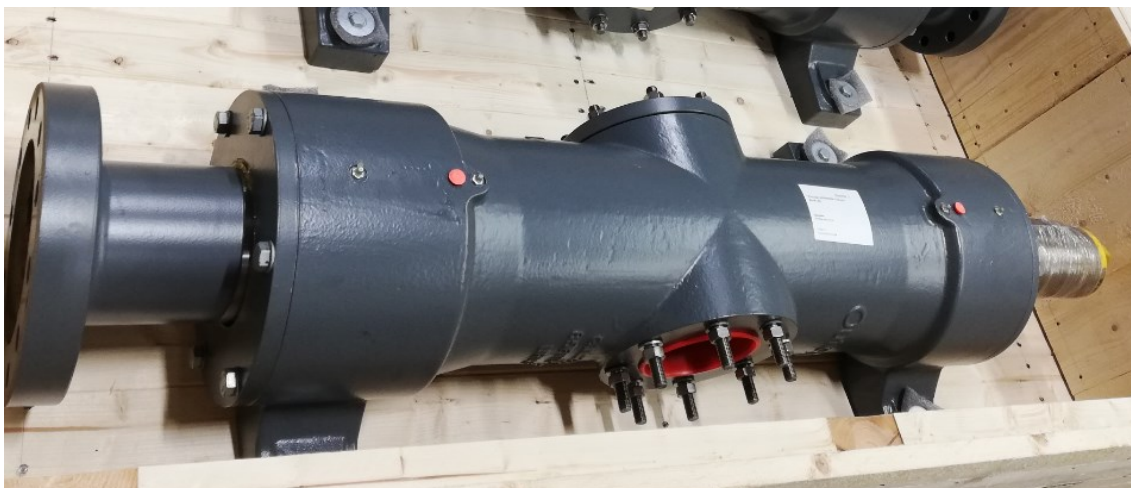
## 4 Laakeriyksiköiden DMAIC

Six Sigman ongelmanratkaisumenetelmä on erinomainen ongelmiin, jossa tarvitaan systemaattista ja tilastoihin perustuvaa kehitystä. Osiossa käyn kunkin DMAIC-vaiheen teorian läpi, jonka jälkeen se kytketään konkreettisesti annettuun toimeksiantoon. Kehitystehtävässä sovelletaan muutamia DMAIC:in yleisimpiä työkaluja sekä muutamaa Lean-työkalua. Työkalut valittiin yhdessä työryhmän kanssa, ajatuksena mahdollisimman ketterä ja helppo ongelmanratkaisu.

Lean Six Sigma-projektin tuotoksena tulee olemaan positiivinen vaikutus tuottavuuteen, liikevoittoon, katteeseen ja laatuun. Edellä mainittuihin asioihin viitataan myös SFS ISO 13053-1 Six sigma standardissa. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 228-231.)

### 4.1 Laakerointiyksikkö

Laakerointiyksikkö (kuva 2) on yksi vaahdotuskennossa käytettävistä komponenteista. Vaahdotusmenetelmä kuuluu rikastusprosessiin, jossa mineraalit kiinnittyvät syntyneeseen ilmakuplaan ja nousevat sen mukana nestepinnan päälle. Prosessissa laakerointiyksikköön kiinnittyy ilmasyöttö ja ala-akseli, jossa on kiinni myös roottori. Laakerointiyksikön läpi johdetaan prosessi-ilma ala-akselia pitkin, kennon pohjalla olevaan roottoriin. Samalla laakerointiyksikköä pyöritetään, jolloin kennossa alkaa muodostua vaahtoa. (Kaiva.fi 2020.)



Kuva 2. Laakerointiyksikkö. (Kuva: Tommi Kontkanen)

Laakerointiyksikkö koostuu akselistä, valupesästä, ylä- ja alakannesta, akselitivisteistä, ruuvitarvarasta, nostolenkistä/korkista, kiilasta, sokeasta laipasta sekä laakereista ja kiinnitysholkeista. Suurin osa yksikön osista on ostettavia peruskomponentteja.

## 4.2 Määrittely

DMAIC-prosessin ensimmäinen vaihe on määrittely (Define). Vaiheen keskeisin tehtävä on määritellä kehitettävän projektin kohde tai kohteet. Toimeksiantajan on selkeästi kuvattava asetettu tavoite, mitä projektin tulisi saavuttaa. Määrittelyvaiheen tarkoituksena on selvittää, mitkä prosessit ovat keskeisessä roolissa projektin onnistumisen kannalta. Projektin tulee olla sidoksissa yrityksen olemassa olevaan strategiaan. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 227.)

Projektin alkusysäys tapahtui tuotantotilojen muutoksien takia. Yrityksen strategian mukaisesti tuoteportfolioon pyritään hankkimaan entistä vaikeammin valmistettavia kappaleita. Tällaisia tuotteita ovat esimerkiksi titaanin ja kuparin hitsaustyöt. Aikaisemmin käytettyä tilaa tarvittiin uusien kappaleiden tuotantoon ja oli luontevaa kehittää tuotteen valmistus samalla.

Kehittämisprojekti laakerointiyksikölle oli lähes itsestäänselvyys. Kyseessä on yksi harvoista konepajan sarjatuotteista. Kuten aikaisemmin mainittiin, tuoteperheelle ei ollut tehty vastaavaa kehitysprojektiä. Tuotannossa konekanta on uusiutunut ja työkalut parantuneet ilman vaikutusta kustannusrakenteeseen.



Kehitysprojektin määrittelyvaiheessa ensimmäisenä työkaluna käytettiin aivoriihtä. Aivoriihessä määritettiin kehityksen kohde, projektin tavoitteet, siihen käytettävät resurssit ja valmistettiin projektin perustamisasiakirja. Aivoriihen aikana määritettiin myös projektin Champion, joka ohjaa ja valvoo projektia kohti asetettuja tavoitteita.

Seuraavaksi käytettävä työkalu on SIPOC-kaavio, jossa kuvataan prosessin toiminta. SIPOC-kaaviosta saatava prosessitieto puretaan seuraavassa vaiheessa vielä pienempiin ja helpommin ymmärrettäviin palasiin. (Bridges 2018.)

Prosessin vaiheet kuvataan VSM-kuvaksella, joka auttaa ymmärtämään materiaalien ja informaatioiden virtauksen (MudaMasters 2015). Käytettävät työkalut avaavat koko prosessin vaiheet. SIPOC- ja VSM-kaavioista päästään hyvin pureutumaan hukkaa aiheuttaviin prosesseihin ja menetelmiin.

Prosessiongelman selkeäksi kuvaamiseksi on esitettävä mitattavat suureet. Näin tavoitetilan ero nykytilaan pystytään näyttämään selkeästi ja sitä voidaan mitata uudelleen kohtuullisen helposti. Prosessin kuvaamiseen on käytettävä luotettavaa dataa, esimerkiksi ERP-järjestelmästä saatavaa mitattua tai kirjattua tietoa. Kerätyn datan on sovelluttava tehtävään projektiin ja sen luotettavuus on todennettava esimerkiksi auditointeja hyödyntämällä. (Lintula 2020.)

#### **4.2.1 Aivoriihi**

Aivoriihen perusideana on saada esille lukumäärällisesti paljon mielipiteitä, näkemyksiä, tietoa ja kokemuksia monipuolisesti kehitettävästä prosessista. Työkalu kuvaa myös asiantuntijoiden osaamisen. Jotta aivoriihessä saadaan aikaan hedelmällinen keskustelu, on koollekutsujan alkuvaiheessa tehostettava keskustelua ja luotava rentoutunut ilmapiiri. Usein moniammatillisissa projekteissa joudutaan alkuvaiheessa uhraamaan aikaa ihmisten rentoutumiseen avoimen keskustelun aikaansaamiseksi. (Halme 2018.)

Aivoriihen ansiosta ideoita ja keskustelua syntyy hyvin paljon. Onkin tärkeää, että koollekutsuja merkitsee ideat ylös ja parhaimpia pystytään kehittämään eteenpäin. Kirjatut ideat tuodaan kaikille esille, jotta kaikki näkevät ne. Toisten

ajatusten kuuntelu uudelleen synnyttää ideoita, joiden avulla tavoitetta lähde-  
tään hakemaan. (Tevere 2020.)

Aivoriihen koollekutsuja toimi palaverin johtajana, jonka tehtävänä oli edistää  
kussakin käsiteltävää asiaa sekä kirjata kohteet pöytäkirjaan, jotka julkaistiin  
kaikkien nähtäville. Aivoriihen osallistui yleisesti määritellyt asiantuntijat, jotka  
kutsuttiin perustuen kunkin ongelman sidosryhmiin. Projektin Championiksi va-  
littiin tässä tapauksessa opinnäytetyön toimeksiantaja. Kehitysprojektin vetovas-  
tuussa oli opinnäytetyön kirjoittaja, jolloin opetettuja johtamistaitoja pystyttiin so-  
veltamaan ja käyttämään.

Kehitysprojektin tavoitteena oli saavuttaa 15 %:n hinnan alennus tuotteeseen ja  
30 %:n parannus läpimenoon. Tuotteen valmistusprosesseihin pyrittiin saamaan  
merkittäviä muutoksia, joiden avulla koko valmistus ajatellaan uudella tavalla.  
Kehitysprojektin kohteena olevia laakerointiyksiköitä valmistetaan monia kokoja.  
Projektissa tarkastellaan ja kehitetään yhden eniten käytettävän laakerointiyksi-  
kön tuotantoprosessia, koska koosta riippumatta kaikki toistavat samat vaiheet.  
Tuotteelle luvataan kymmenen kappaleen sarjoissa toimitusajaksi kahdeksasta  
kymmeneen viikkoon.

Projektille ei annettu varsinaista budjettia, resursseja ja aikataulua. Projektissa  
käytettiin moniammatillista asiantuntijajoukkoa, joka projektissa koostui tuotan-  
non työntekijöistä, varastomiehistä, ostajista, työnjohtajista, tuotannonkehitys-  
sinööreistä ja projektipäälliköistä. Aivoriihien aikana todettiin asetettujen tavoit-  
teiden olevan realistiset, mutta pääseminen asetettuun tavoitteeseen vaatisi  
koko tilaus-toimitusketjun kuvauksen ja tarkastelun. Kyseisen aivoriihen loppu-  
tuotoksena oli määrittelylomake (taulukko 2), jossa määritellyt asiat ovat kirjat-  
tuna selkeästi.

Taulukko 2. Projektin asettamislomake laakerointiyksiköt

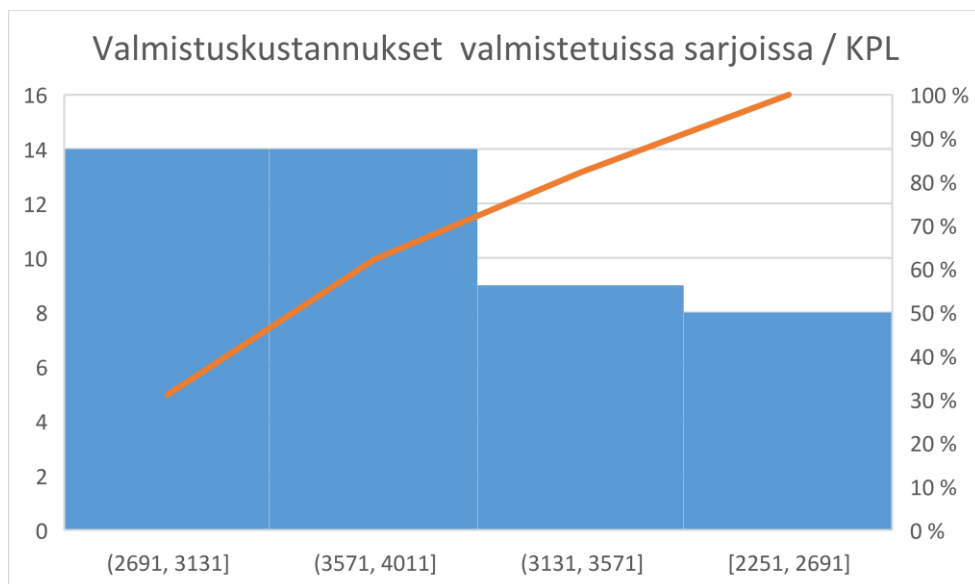
DMAIC-PROJEKTIN MÄÄRITTELYLOMAKE			
Projektin nimi	Laakerointiyksikön lämpimenon parantaminen		
Projektin champion	Kehityspäällikkö		
Projektin tiimi	Tuotannon työntekijöitä, ostaja, työnjohtaja, kehitys insinööri, projekti päällik		
Ongelman asetus	toimitusaika liian pitkä ja kustannukset korkeat		
Ongelman tavoite	Vähentää 30% läpimenoaikaa ja alentaa 15% tuotekustannusta		
Projektin laajuus	Tilaus-Toimitusketju		
	Tavoite ajankohta	Toteutunut ajankohta	
Aloitus	1/19	1/19	
Määrittely	2/19	5/19	
Mittaus	4/19	10/19	
Analysointi	7/19	3/20	
Parannus	9/19	9/20	
Ohjaus	11/19	10/20	
Päätös	12/19	12/20	

Aivoriihen kehittävä toiminta perustuu kunkin työryhmän hyvän tiimin ominaisuuksiin, joiden avulla kukin henkilö täydentää toisiaan. Hyvän tiimin ominaisuudet ovat muun muassa, yhteiset tavoitteet, toisen mielipiteen arvostaminen ja luottamus sekä avoimuus. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 237.) Kuviossa 3 on määritetty muita avainasemassa olevia hyvän tiimin ominaisuuksia.

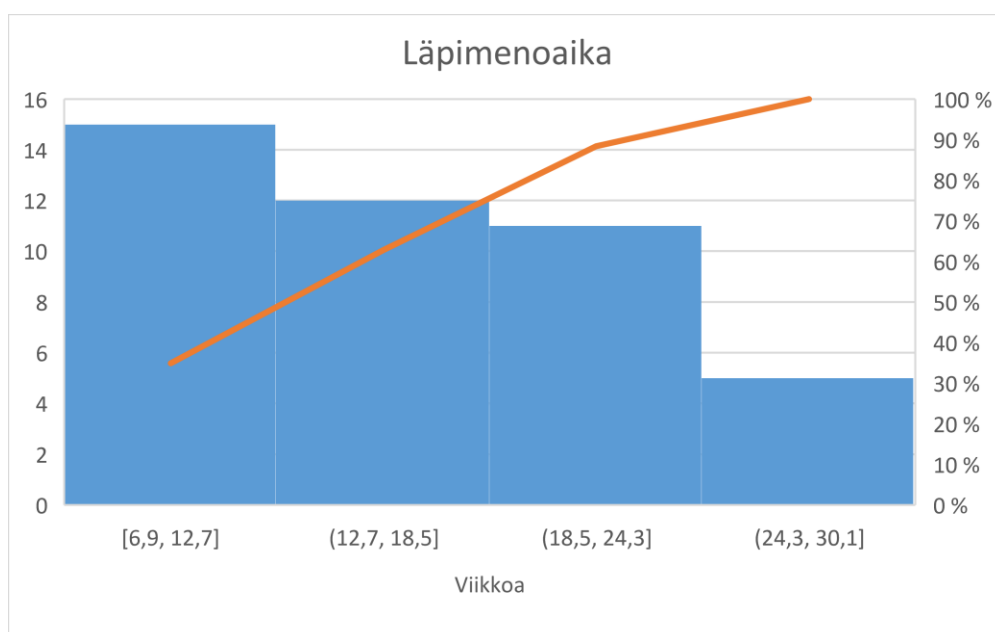


Kuvio 3. Hyvä tiimi (Mukaiillen Karjalainen &amp; Karjalainen 2020, 238.)

Seuraavissa kuvioissa on esitetty menneiden kappaleiden valmistuskustannukset (kuvio 4) ja läpimenoajat (kuvio 5). Kappaleita on valmistettu sarjamaisesti varastoon noin 500kpl ja lisäksi muutamia satoja projekteille suoraan. Projekteille valmistetut sarjat jätettiin arviosta pois. Noihin sarjoihin yleiskustannuksien jyvitykset eivät kohdistu oikein, joten kustannusrakenne olisi niissä koostunut väärin.



Kuvio 4. Laakerointyksikön kustannus valmistetuissa sarjoissa.



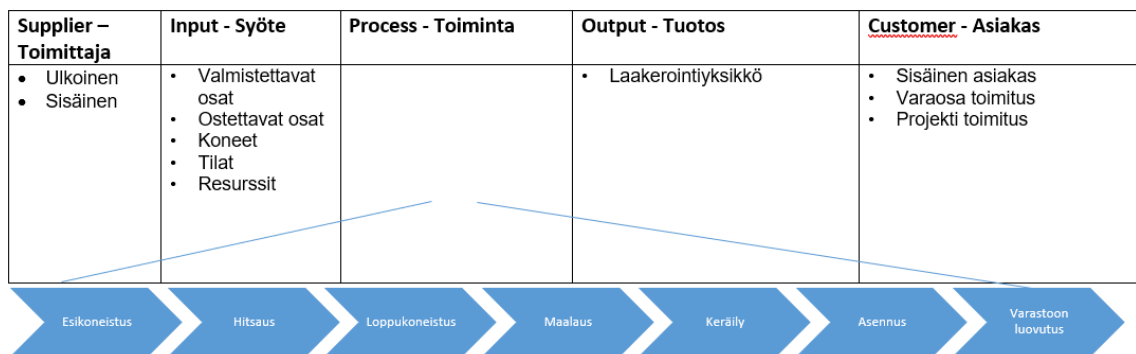
Kuvio 5. Laakeriryksikön läpimenoaika valmistetuissa sarjoissa.

Kuten taulukoista pystytään toteamaan skaala tuotteiden kustannuksissa ja läpimenoissa on todella suuri. Prosessissa oheiset kuviot toimivat lähtökohtana kehityksen aloitukselle.

#### 4.2.2 SIPOC

SIPOC-kaaviota käytetään niin sanotun ylätason prosessin kuvaukseen ennen kehitystyön aloittamista. SIPOC on lyhenne sanoista Supplier, Input, Process, Output, Customer. Kaaviosta käy helposti esille projektin laajuus sekä asetettavat rajoitteet. Rajoitteita ovat esimerkiksi resurssit ja aika. SIPOC-kaaviossa summataan kehitettävän projektin sisään tulevat ja ulospäin lähtevät syötteet. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 236-237.)

Taulukko 3. SIPOC-määrittely laakerointiyksiköt.



SIPOC-kaavion (Taulukko 3) tekeminen aloitetaan Process vaiheesta, johon kuvataan vaiheet, jossa lisätään välittömästi tai välillisesti tuotteeseen. Kehitystehtävässä arvoa tuottavia prosesseja on seitsemän kappaletta, jotka avataan seuraavassa VSM-vaiheessa. Prosessit kulkevat samassa syklissä kuin tuotantoketju. Seuraavaksi määritetään prosessista tuotettavat tuotokset. Tuotosten jälkeen määritetään asiakkaat prosessista saatavalle tuotokselle. Asiakkaiden listaamisen jälkeen määritetään syötteet, jotka mahdollistavat prosessin toiminnan. Viimeisenä vaiheena määritetään prosessin toimittajat. (Bridges 2018.)

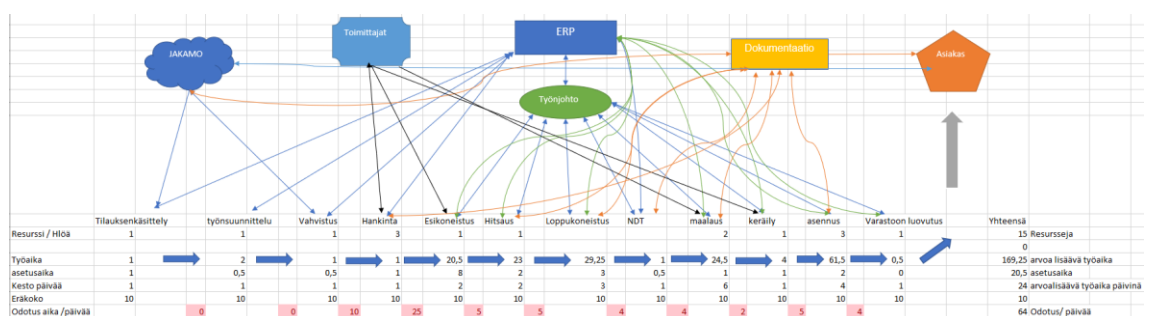
### 4.2.3 VSM Laakerointiyksikkö

Arvovirtakuvausta hyödynnetään prosessien virtauksen mallintamiseen sekä ongelmakohtien paikallistamiseen. Arvovirtakuvaus on yksi Leanin parhaimpia menetelmätyökaluja. Leanin mukaisesti tietoa tarkastellaan arvon tuoton ja virtauksen kautta. (Six Sigma 2020d.)

Arvovirtakuvauksessa kuvataan prosessin vaiheet, käytetyt ajat, materiaalin virtaus, informaation virtaus, sidonnaisuudet sekä varaston määrä. Selkeä kuvaus auttaa ymmärtämään koko tilaus-toimitusketjun, eikä pelkästään yksittäisiä prosesseja. Ongelmallisten prosessivaiheiden tunnistaminen on avainasemassa tehtäessä johtopäätöksiä prosessien tehokkuudesta ja sen kehittämisestä. (Väisänen 2013.)

Arvovirtakuvauksesta saatavaa tietoa hyödyntämällä pystytään löytämään prosessista ongelmat, hukkaa ja sen lähteet, pullonkaulat, keskeneräinen tuotanto ja varastot (WIP), työturvallisuusasiat, laitteiden rajoitteet sekä johtamisen. Arvovirtakuvausta tehdessä on oltava riittävästi oikeaa tietoa prosessista ja niiden vaiheista. (Väisänen 2013.)

Kuvausta tehtäessä hyödynnettiin prosessien aktiviteettien tekijöiden asiantuntemusta. Kuitenkin on syytä olla tarkkana, joskus omaa työvaihetta voidaan kaunistella. Vaiheen tekijöiden kertoma pitäisi pystyä todentamaan kovalla datalla, esimerkiksi ERP-järjestelmästä saatavasta tuntileimauksista ja päivämääräleimauksista. Tässäkin määrittelyn vaiheessa hyödynnettiin aivoriihiä, josta saadaan nopeasti luotua kattava kuvaus kunkin prosessin vaiheen aktiviteeteistä.



Kuvio 6. VSM laakerointiyksiköt

SIPOC-kaaviossa mainittujen prosessien vaiheet on kuvattu myös arvovirtakuvauksessa. Arvovirtakuvauksesta näkyy selkeästi tuotteen ja informaatioiden virtaus. Informaatiovirtoja on tuotannon aikana todella paljon ja erilaista informaatiota tarvitaan koko valmistusketjun ajan huomattavan paljon. Kuviosta 6 pystyy nopeasti toteamaan, kuinka paljon tuotteen tekemiseen liittyy erilaisia toimintoja.

### **4.3 Läpimenoajan lyhentämisen mittaus**

Mittausvaiheen tarkoituksena on tunnistaa ja kuvata kehitettävän prosessin keskeiset arvot. Vaiheessa muodostetaan tiedonkeruusuunnitelma, kerätään- ja arvioidaan tietoa sekä muodostetaan prosessin suorituskyvyn lähtötaso. Tiedonkeruusuunnitelman tarkoituksena on kerätä informaatiota muuttujista, jotka vaikuttavat ja voivat vaikuttaa kehitettävään prosessiin.

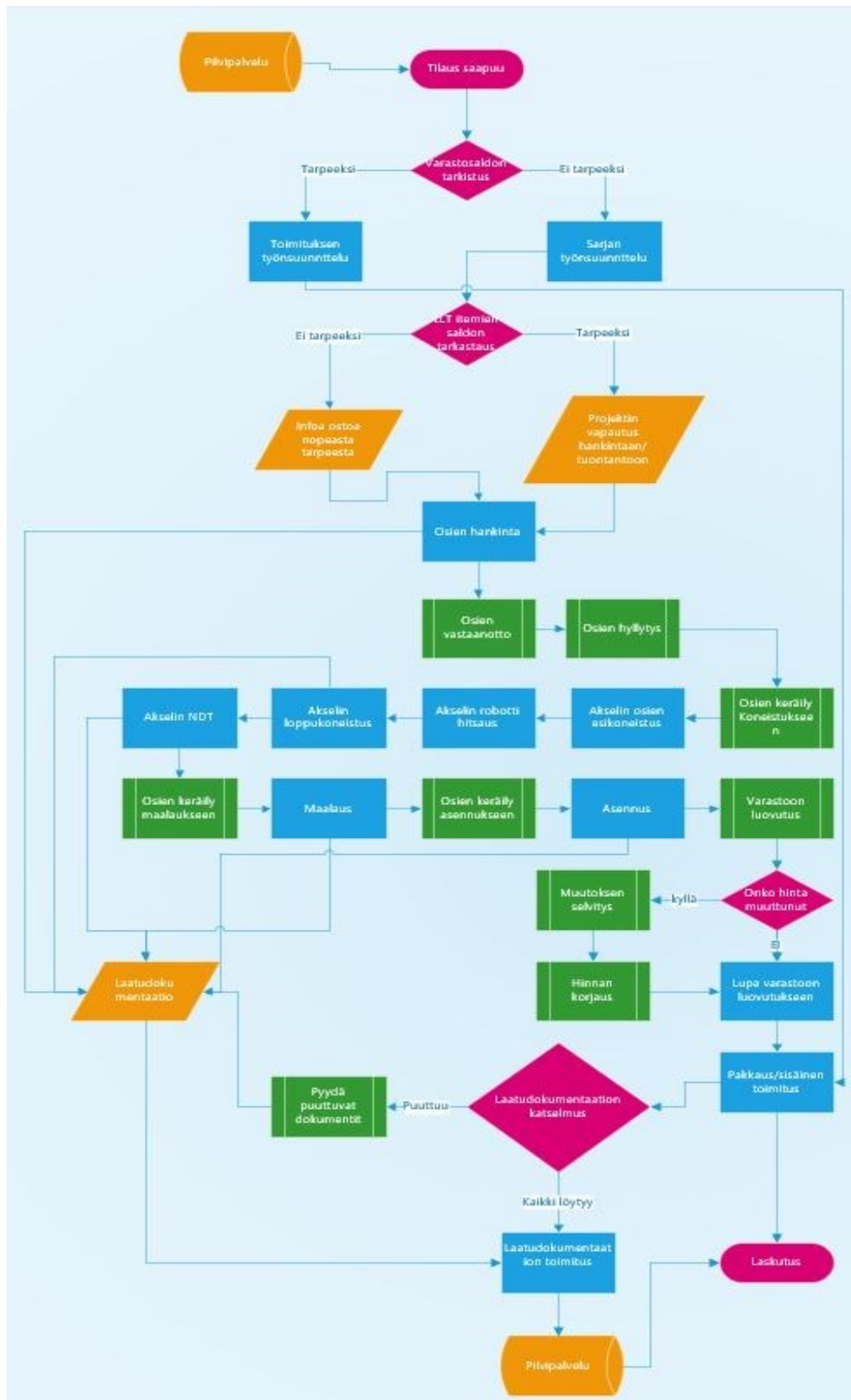
Mittausvaiheessa kerättävään tietoon on suhtauduttava varauksella ja arvioitava mittausprosessin kyvykkyyttä. Kerättävän aineiston on oltava eksaktia, jotta analysointi perustuisi oikeaan tietoon. Prosessista saatavasta tiedosta muodostetaan kuvaavat tunnusluvut, jotka esitetään graafisessa muodossa vaihtelun tunnistamisen helpottamiseksi. Mittauksen on pystyttävä osoittamaan prosessin muutokset. Lähtökohtaisesti mittauksen tulisi olla kymmenen kertaa niin hyvä kuin itse prosessi. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 244-245.)

#### **4.3.1 Prosessinkuvaus**

Prosessi käsitteenä tarkoittaa tulevaisuudessa tehtävää jatkuvatoimista tapahtumaa. Menneisyydestä ei voida muuttaa tehtyjä asioita ja tapahtumia, ne ovat jääneet historiaan. Six Sigman periaatteena on onnistua kerralla oikein ja parantaa sitä, ei murehtia menneisyyden taakasta. Prosessikuvauksen tarkoituksena on tunnistaa erilaisten tapahtumien virta tuotantoprosessissa. Prosessinkuvaus lähtee liikkeelle syötteestä ja päättyy ulostuloihin. Prosessikuvauksen avulla hahmotetaan, kuinka monimutkaisesta prosessista on kyse. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 246.)

Tuotteen valmistuksessa kaikki tapahtumat voidaan kuvata prosessin vaiheina. Näin jokainen erillinen tapahtuma on mitattavissa erilaisilla suureilla. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 246.) Arvovirtakuvauksessa ja SIPOC-kaaviossa käytetyt prosessinvaiheet ovat kokonaiskuvassa hyviä mitattavina kohteita Arvovirtakuvauksen ja SIPOC-kaavion mukaan on tehtävä erillinen prosessikaavio (kuvio 7), jossa nähdään selkeästi kaikki tuotantoketjuun liittyvät toiminnot.



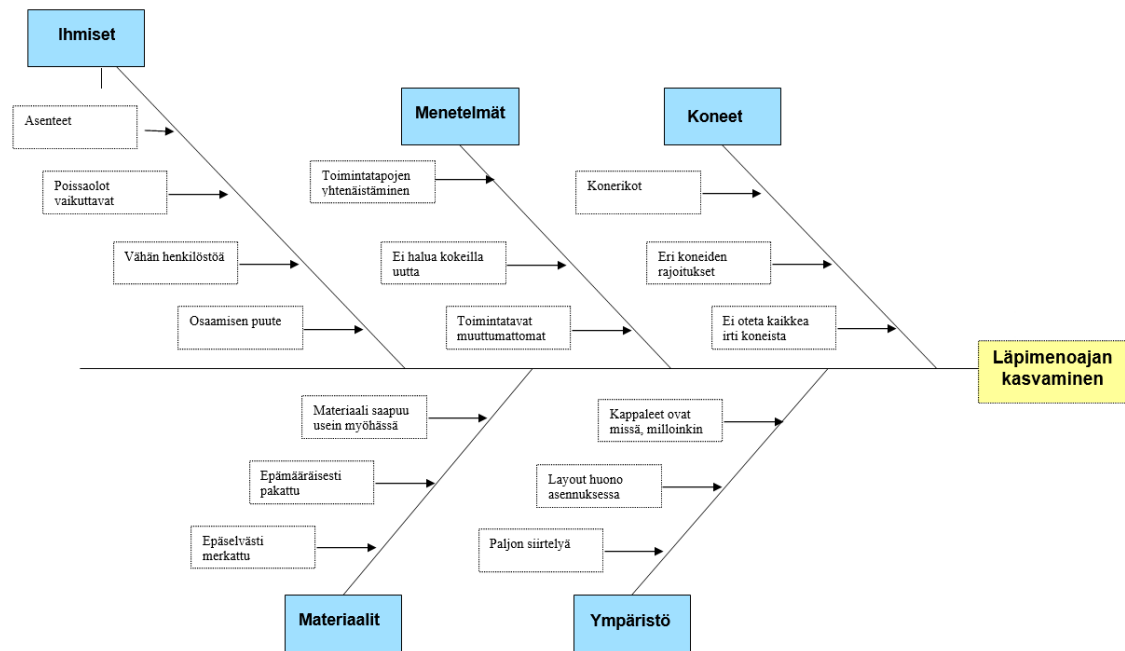


Kuvio 7. Laakeroinyksiköiden valmistuksen prosessikaavio

#### 4.3.2 Kalanruoto-diagrammi

Prosessin ongelmien tunnistamiseen on monia apuvälineitä. Havainnollistavampia työkaluja ongelmien kartoitukseen on kalanruoto-diagrammi. Diagrammi on

graafinen johtamisen ja kehittämisen työkalu, jossa kukin ongelman osa-alue osoitetaan omalla ruodollaan. Diagrammin avulla hahmotetaan selkeästi prosessin keskeiset ongelmat tai syyt, jotka aiheuttavat variaatiota ulostulossa. Diagrammi on nopea ja helppo tehdä aivoriihen aikana esimerkiksi ryhmittelykaavion avulla. (Karjalainen 2007.)



Kuvio 8. Laakerointiyksiköiden kalanruotodiagrammi. (Mukaillen Karjalainen 2007.)

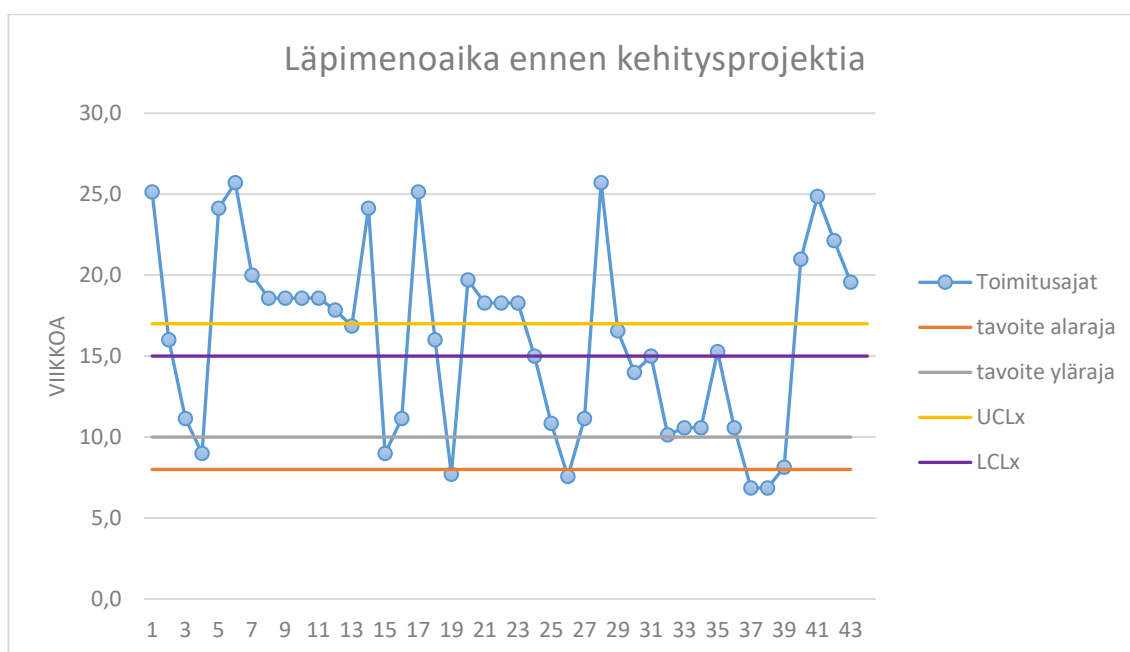
Prosessissa havaittuja ongelmia ratkottiin aivoriihen avulla, josta tuloksena oli kaikkia miellyttävä diagrammi (kuvio 8). Diagrammissa osiot jaettiin viiteen pääkohtaan, joiden alla ovat kunkin osa-alueen niin sanotut heikkoudet.

#### 4.3.3 Mittauksen toteutus

Mittauksessa ei voida toteuttaa suurta otoskokoja tuotteiden harvan toistuvuuden takia. Prosessin otoskooksi määriteltiin aluksi koko nykyisen ERP-järjestelmän historia tieto. Kuitenkin ERP-järjestelmään tehtyjen muutoksien takia tiedot eivät olleet täysin paikkaansa pitäviä. Otokoko menneistä projekteista jouduttiin rajaamaan tietyiltä osin viidestä kahteentoista tehtyyn sarjaan. Mittauksessa mitataan kokonaisläpimenoaika, vaihekohtaisia tunteja ja vaiheen kestoa päivissä. Mitattava data kerätään ERP-järjestelmään syötetystä ja automaattisesti muodostuneista aikaleimoista.

Läpimenoaikaa voitiin mitata nykyisen ERP-järjestelmän aikaleimoista. Läpimenoaika muodostui työnsuunnittelun vapauttamisesta varastoon luovutukseen. Tilauksen saapumisen ajankohtaa ei pystytty luotettavasti esittämään, joten sen ja työnsuunnittelun välinen aika jätettiin kokonaisläpimenoaasta pois. Mittauksessa todettiin, että päivämäärät olivat kirjautuneet järjestelmään oikein ja tietoa voitiin käyttää luotettavasti.

Kuviossa 9 on esitetty läpimenoajat menneistä projekteista. Ensimmäinen sarja on valmistunut 2013 ja viimeisin syyskuussa 2020. Kuten taulukosta voidaan tulkita, prosessi on ollut lähes kaikilta osin epästabiili ja variaatiota on todella paljon. Valvontarajat määritettiin kolmen sigman päähän keskiarvosta, joiden sisään osui 43 sarjassa vain seitsemän tuotantoerää. Kuitenkin valvontarajat ovat lähes 50 % liian korkeat mainostettuun läpimenoaikaan. Nopeimmillaan sarja saatiin valmistettua seitsemään viikkoon ja hitaimmillaan lähes 26 viikkoa.



Kuvio 9. Läpimenoajan variaatiot ennen kehitysprojektia

Kuten kuvion 9 esitetyistä läpimenoajoista voitiin todeta, prosessin olevan hallitsemattomassa tilassa. Jotta suorituskykytulokset ja valvontakortteja voidaan laskea, prosessi on saatava ensin hallittuun tilaan (Mertanen 2018a). Tarkasteltaessa määrittelyvaiheen 4.2 annettua tehtävänantoa, voitiin sitä pitää onnistuneena projektin valintaan.

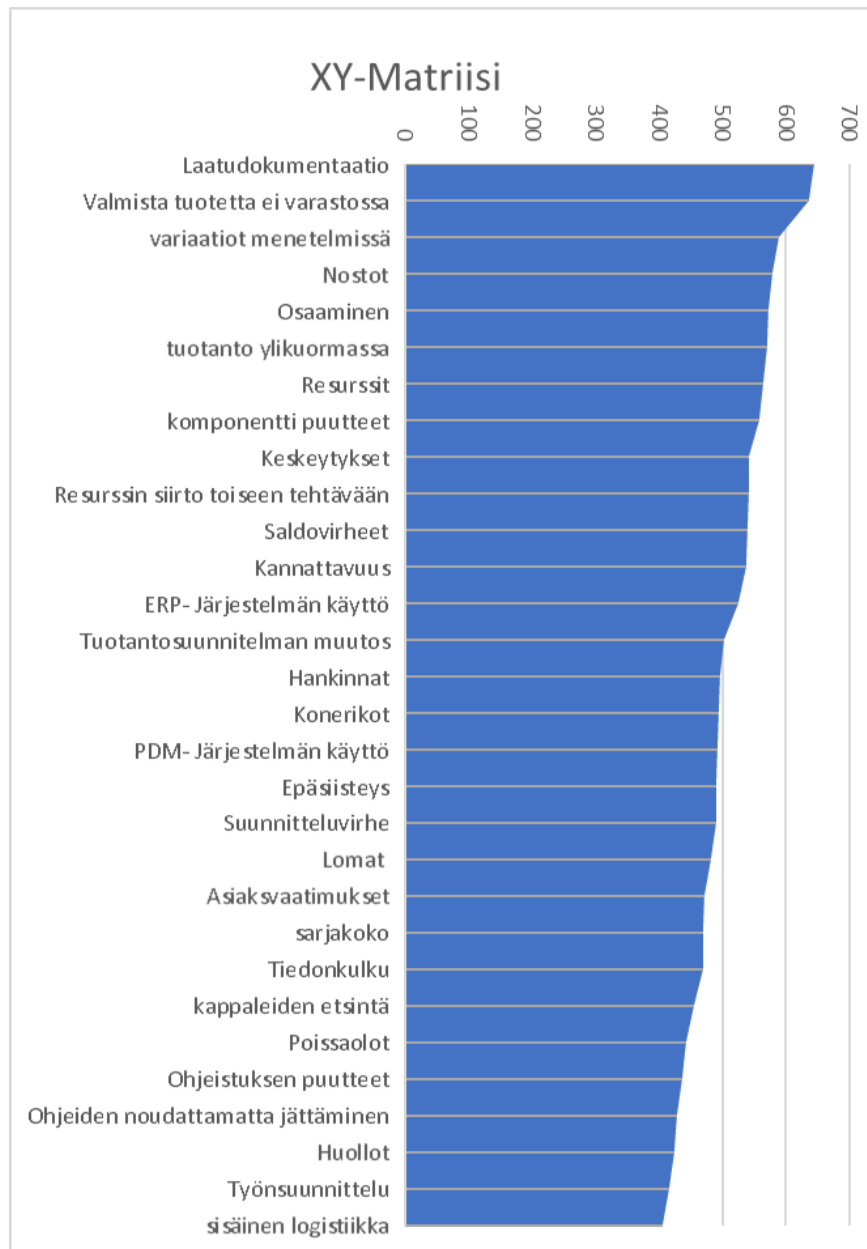
#### 4.3.4 XY-matriisi

XY-matriisin tarkoituksena on pienentää ratkaisujen määrää. Matriisin on kehittänyt Steve Zinkgraf QFD-matriisia hyödyntäen ja yksinkertaistaen menetelmää. Matriisi kuuluu johtamisen laatutyökaluihin, joiden avulla ongelmaa voidaan priorisoida. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 260.)

Matriisissa vasemmalle määritellään muuttujat (X), jotka ovat työryhmän aivoriihessä ideoituja mahdollisesti prosessiin vaikuttavia tekijöitä. Ulostulot merkitään matriisin yläpuolelle (Y). Jokaiselle ulostulolle annetaan painoarvo asteikolla 1-10, jossa suurempi luku merkitsee enemmän asiakkaalle. Prioriteettiluku (Rank) lasketaan Y:n painoarvoilla, kerrotaan vaikutuskertoimet ja lasketaan tulot yhteen. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 261.) Taulukossa 4 on esitetty XY-matriisin muuttujat.

Taulukko 4. XY-matriisi laakerointiyksikön valmistus

		pisteitys	Tilaus	Suunnitte	tuotanto	varastoint	Toimitus	Kustannus	Läpimenoaika	Rank
	Muuttuja	1-10								
1	Valmista tuotetta ei varastossa		7	4	8	8	8	9	10	636
2	Laatudokumentaatio		7	8	9	9	9	9	10	644
3	tuotanto ylikuormassa		5	8	10	10	10	6	8	570
4	variaatiot menetelmissä		7	7	10	7	8	9	9	589
5	Tiedonkulku		5	7	9	8	9	8	8	469
6	Osaaminen		6	5	10	8	8	8	9	572
7	Resurssit		9	9	9	5	8	5	9	564
8	Keskeytykset		6	6	8	8	8	9	8	542
9	Nostot		3	3	10	10	8	9	9	579
10	ERP- Järjestelmän käyttö		5	7	8	7	8	8	8	525
11	Asiaksvaatimukset		9	9	7	4	6	8	6	471
12	Työsuunnittelu		1	10	10	5	10	7	5	416
13	Epäsiisteys		4	5	9	8	8	7	7	490
14	Resurssin siirto toiseen tehtävään		3	3	9	7	8	9	9	542
15	komponentti puutteet		1	1	10	10	10	6	9	559
16	PDM- Järjestelmän käyttö		5	7	8	7	4	8	8	493
17	Suunnitteluvirhe		1	7	9	9	8	4	8	490
18	Saldovirheet		1	1	10	10	10	4	9	539
19	Tuotantosuunnitelman muutos		3	2	8	8	9	7	8	503
20	Ohjeistuksen puutteet		5	5	8	6	7	7	6	436
21	Kannattavuus		10	4	1	1	7	10	10	537
22	Lomat		3	3	8	7	8	6	8	483
23	sarjakoko		3	6	7	6	5	8	8	470
24	Hankinnat		1	1	9	9	9	5	8	497
25	Konerikot		1	1	9	8	8	3	9	495
26	kappaleiden etsintä		1	1	8	8	6	8	7	455
27	Poissaolot		2	1	9	7	5	7	7	442
28	Ohjeiden noudattamatta jättäminen		1	1	7	7	8	8	6	428
29	sisäinen logistiikka		2	2	8	7	8	4	6	406
30	Huollot		1	1	6	6	6	3	8	425



Kuvio 10. XY-matriisi laakerointiyksikön valmistus

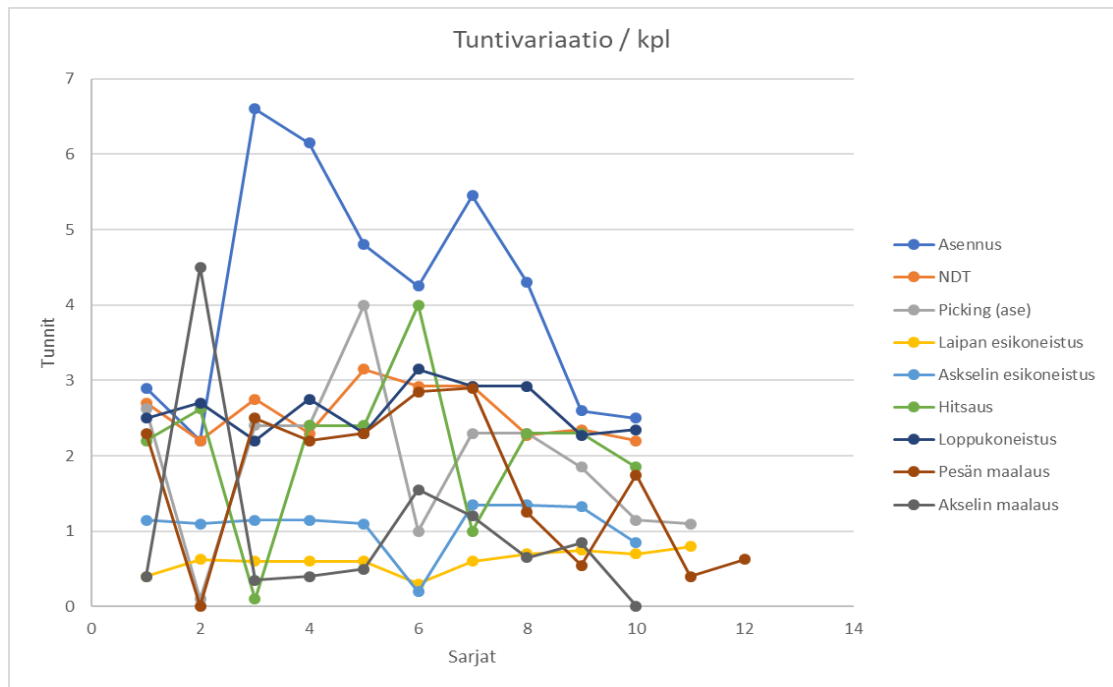
Kuviosta 10 pystyttiin nopeasti ja helposti toteamaan, mitkä prosessit vaikuttivat eniten läpimenoaikaan. Prosessit ovat taulukossa järjestettynä prioriteettijärjestykseen. Analysointivaiheessa XY-matriisista saatiin helposti ulos myös toistensa vaikuttavuudet.

#### 4.4 Analysointi

Analysointivaiheen tarkoituksena on etsiä juurisyitä prosessin epävakauteen. Analysoinnissa määritellään, mihin ongelmiin kiinnitetään huomiota epävakauden pienentämiseksi tai kokonaan poistamiseksi. Mittausjakson aikana määritettyjen ja kartoitettujen tekijöiden ja teorioiden vaikutusta läpimenoon sekä tuotekustannuksiin aletaan tutkimaan tarkemmin. Jotta tarkempaa analysointia voidaan tehdä, on kerättävä dataa suunnitelman mukaan, joka määritettiin mittausosiossa. Datan on oltava helposti analysoitavissa ja luettavassa muodossa. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 280.)

Analysoinnin avulla jatkojalostetaan mittausvaiheen teorioita ja ideoita. Data-analysoinnin edetessä teoriat ja ideat vahvistuvat tai ne hylätään, jolloin päästään asioiden ytimeen eli juurisyihin. Juurisyihin paneutumalla sekä ongelmat poistamalla pystytään kehittämään prosessia kohti parempaa suorituskäytännön ja tulosta. Analysoinnin avulla ongelman status tarkentuu. Usein ongelmat ovat laajoja, jolloin sen rajaaminen ja mahdollisesti jakaminen useampaan osaongelmaan helpottaa ongelmanratkaisua. Ongelman asetuksen on oltava hyvin foku-soitu, jotta analyysin tekeminen olisi niin tehokasta kuin mahdollista. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 281.)

Analysoitaessa dataa huomattavan usein vaiheesta riippumatta toistui kohtalaisen suuri varianssi tuntikirjauksissa. Kuten kuviosta 11 voitiin todeta prosessien olevan suurelta osin epästabiilissa tilassa ja varianssia löytyi todella paljon.



Kuvio 11. Tuntivariaatio valmistuksessa

Kohdassa 4.3.4 tehdystä XY-matriisista valittiin kymmenen merkittävintä ongelmaa, jotka olivat määritetty suuruus järjestykseen prioriteettikertoimen avulla. Pidemmälle kohti juurisyitä analysoitaessa havaittiin useamman ongelman liittyvän toisiinsa, jolloin prosessin ongelman ratkaiseminen muuttui monimutkaiseksi. Monimutkaisen ongelman juurisyyn ratkaiseminen johti useasti myös siihen liittyvien ongelmien ratkaisuun.

Juurisyihin päästäksemme pidettiin useampia aivoriihiä, jossa ongelmille tehtiin 5W2H-menetelmällä analyysiä. Menetelmä on esitetty kohdassa 4.4.2. Analysoinnissa lopputuotoksena oli muutostaulukko (taulukko 6), jossa kuvataan parannusehdotuksia.

Taulukko 6. Muutostaulukko laakerointiyksiköt

Nro	Tekijä - x (Prosessissa)	Nykyinen tila	Muutos (kuvaaa muutos)	Käytännöllisyys	Nopeus	Edullisuus	Valittu
1	Laatudokumentaation tuottaminen tuotannossa	Usein puutteellinen ja paperille tehtynä.	Tehdään sähköisesti, jolloin tapahtuu reaaliaikaisesti	x	x		Ei
2	Tuotteen puuttuminen toimituksesta	Varastosaldon seuraaminen muistinvaraista ja manuaalista	Varastosarjan saldon seurannan sekä työnsuunnittelun automatisointi (Make to stock)	x	x		Ei
3	Valmistus ohjeet vailinaiset	Tuotanto tehdään vanhojen opittujen menetelmien mukaan	Kehitetään valmistusmenetelmiä ja dokumentoidaan ne työohjeiksi	x	x	x	Kyllä
4	Nostot työturvallisuus riski	Akselit nostetaan 3 kertaa vaakatasosta pystyyn	Tehdään kuljetusteline, jossa akseli nostetaan pystyyn 1 kerran	x	x	x	Kyllä
5	Työntekijän koulutus	Tekijöiden kouluttaminen tapahtut käytäntöön soveltaen	Työntekijöiden koulutustarpeet kartoitetaan moniosaamisen parantamiseksi, jonka jälkeen koulutetaan	x	x	x	Ei
6	Töiden priorisointi	Tehdaan kaikkia töitä ilman, että mitään saadaan valmiiksi	Suunnitellaan ja ajoitetaan kappaleiden tarpeet paremmin	x	x	x	Ei
7	Ylireursointi	Resurssienjohtaminen puutteell	suunnitellaan tuotanto ja resursoidaan työt oikein	x	x	x	Kyllä
8	Hankinnan kesto	Akselit tilataan toimittajalta tarjouskysely/tilaus menettelyllä. Muiden osien saldo ei riitä valmistukseen	Tehdään hankinta sopimukset. Toimitus kotiin kutsu periaatteella(automatisointi). Muiden osien hälyrajojen sovitaminen tarpeisiin	x	x	x	Kyllä
9	Osien etsintä	Usein joudutaan etsimään hankittuja sekä valmistettuja osia	Vakioidaan tuotantopaikat(asennus), joihin komponentit tulevat samoihin lokaatioihin	x	x	x	Kyllä
10	Työ keskeytyy	Työ aloitetaan vaikka huomataan osapuutokset.	Varmistetaan tekemisen edellytys ennen työn aloitusta	x	x	x	Kyllä

Parannusehdotusten tuli täyttää vaatimukset: edullinen, käytännöllinen ja nopea. Menetelmän muutosten ideointi ja kehitys ratkaistiin suorittamalla aivoriihi, jossa ratkaisuja ongelmiin pyrittiin etsimään 6-3-5-menetelmällä. Menetelmä on esitelty kohdassa 4.4.1. Muutostaulukossa valittuja kohteita kehitetään DMAIC-menetelmän mukaisesti kohdassa 4.5.

#### 4.4.1 6-3-5-menetelmä

Menetelmän ideana on tuottaa todella paljon lennokkaikakin ideoita, joista lopuksi valitaan parhaat. Menetelmässä osallisena on kuusi henkilöä, jotka kirjaaavat kolme ideaa viiden minuutin aikana. 6-3-5-menetelmässä jokaiselle annetaan oma paperi, johon kirjataan kolme kehitysideaa annettuun ongelmaan.



Ajan loputtua paperia kierrätetään seuraavalle, jolloin seuraava näkee edellisen idean. Menetelmästä syntyy 108 ideaa, joskin jonkin verran esiintyy samankaltaisia ideoita, jolloin niitä yhdistetään samoiksi. Kierron jälkeen ideat kerätään kasaan ja niitä aletaan jatkojalostamaan. (eOsmo 2011.)

Ideoiden paremmuusjärjestys muodostetaan nelikentässä (taulukko 7), jossa ideat asetetaan vaikuttavuuden ja muutoksen mukaan asteikolle. Parhaimpia ideoita ovat sellaiset, jotka ovat helposti muutettavissa ja tuottavat korkean prosessin paranemisen.

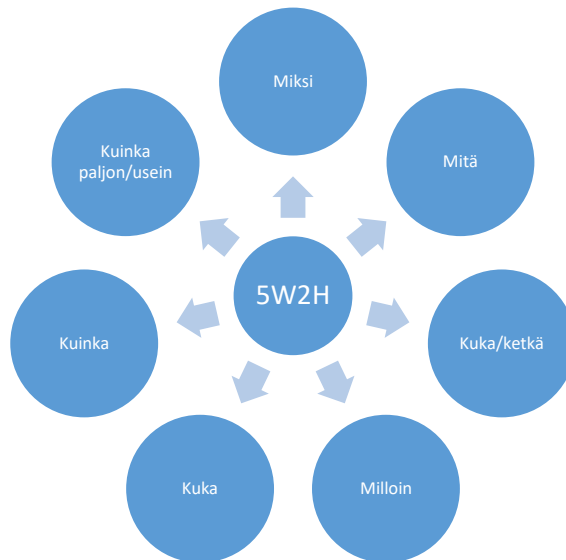
Taulukko 7. Laakeriyksikön nelikenttä analyysi kehitysideoista.

X's vaikuttavat Y:n suuresti ja helppo toteuttaa	X's vaikuttavat Y:n vähän ja helppo toteuttaa
Kehitetään valmistusmenetelmiä ja dokumentoidaan ne työohjeiksi	Työntekijöiden koulutustarpeet kartoitetaan moniosaamisen parantamiseksi, jonka jälkeen koulutetaan
Tehdään kuljetusteline, jossa akseli nostetaan pystyyn 1 kerran	Suunnitellaan ja ajoitetaan kappaleiden tarpeet paremmin
suunnitellaan tuotanto ja resursoidaan työt oikein	
Vakioidaan tuotantopaikat(asennus), joihin komponentit tulevat samoihin lokaatioihin	
Varmistetaan tekemisen edellytykset ennen työn aloitusta	
Tehdään hankinta sopimukset. Toimitus kotiin kutsu periaatteella(automatisointi). Muiden osien hälyrajojen sovittaminen tarpeisiin	
X's vaikuttavat Y:n suuresti ja vaikea toteuttaa	X's vaikuttavat Y:n vähän ja vaikea toteuttaa
Varastosarjan saldon seurannan sekä työnsuunnittelun automatisointi (Make to stock )	Laatudokumentaation tekeminen sähköisesti, jolloin tapahtuu reaaliaikaisesti

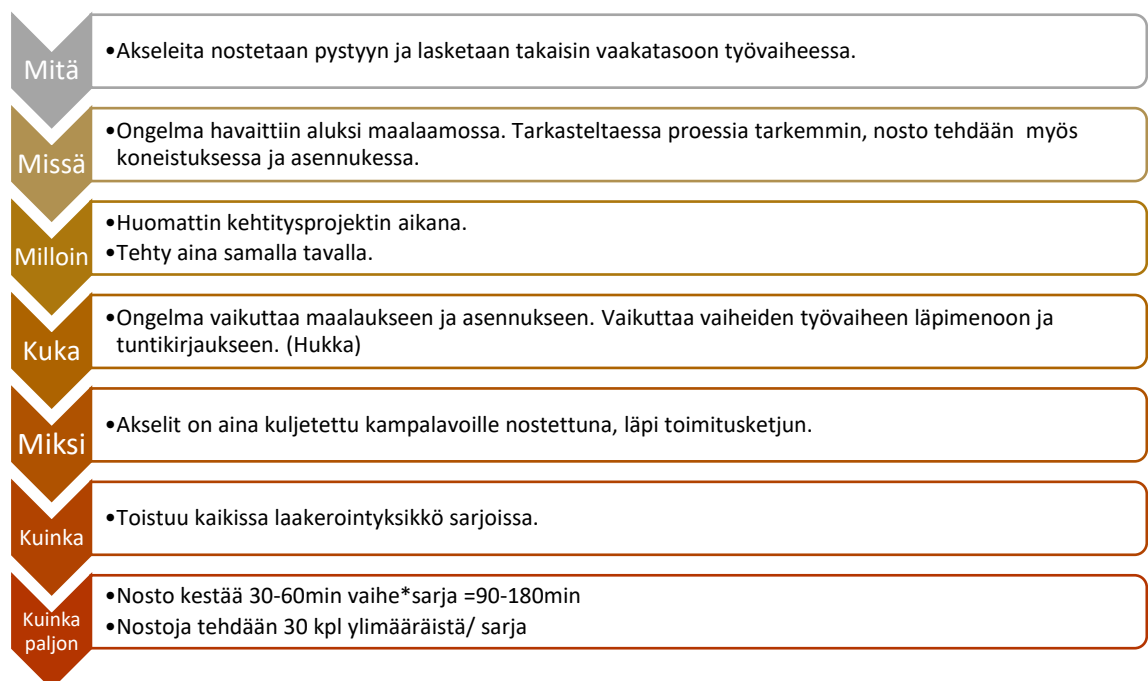
Kehitystyössä 6-3-5-menetelmää käytettiin osana 5W2H-menetelmän muutoksien ideoinnissa. Menetelmästä saatiin paljon loistavia ideoita jatkuvan parantamisen näkökulmasta. Lean-johtamisfilosofian mukaisesti jatkuva parantaminen jatkuu prosessinomaisesti eikä se ole yksittäinen projekti. 6-3-5-menetelmän aikana tulleet, niin sanotut ylimääräiset ideat tullaan toteuttamaan seuraavissa kehitys askeleissa.

#### 4.4.2 5W2H-menetelmä

Menetelmän nimi perustuu konseptin vaihesykliin (kuvio 12): Why, What, Where, Who, How ja How much. Sen tarkoituksena on päästä ongelmien juuri-siihin sekä parannusideoiden kehittämiseen. Menetelmää voidaan käyttää prosessien ja palveluiden kehittämiseen. Menetelmän ominaisuutena on hyvin rajatut kysymykset, jotka johdattavat kohti lopullista päämäärää. (Piirainen 2013.)



Kuvio 12. 5W2H-menetelmän kuvaus



Kuvio 13. 5W2H-menetelmän soveltaminen laakerointiyksiköiden osien nostoihin.

Esimerkiksi 5W2H-menetelmästä (kuvio 13) valittiin 4.3.4 XY-matriisissa tehdyistä läpimenoon vaikuttavista tekijöistä nostot. Nostot vaikuttavat suurelta osin työturvallisuuteen, joten niiden tarkempi tarkastelu olisi aina tehtävä.

#### 4.5 Parannus

DMAIC-menetelmän parannusvaiheen tarkoituksena on arvioida, kehittää ja toteuttaa analysointivaiheessa muutostaulukon kautta valittuja kohteita. Tehdyt kehitystyöt tulee testata ennen laajempaa käyttöönottoa, jotta voidaan olla varmoja parannuksen vaikuttavuudesta prosessiin. Parannuksen tuomaa hyötyä joudutaan usein odottamaan viikoista kuukausiin, mikäli prosessi on jatkuva. Joitain kymmeniä kertoja vuodessa toistuvissa sarjoissa, niin sanottua oikeaa dataa ei välttämättä keritä saamaan järkevässä ajassa. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 294-296.)

Parannusvaiheen suunnitelluissa testeissä prosessin muuttujia ohjattiin ennakoon tehdyn suunnitelman mukaisesti, jolloin pyritään minimoimaan eri muuttujien vaikutukset toisiinsa. Näin prosessin muutoksista saatiin tulokset luotettavasti. Parannusvaiheen testaus noudattelee luvussa 3 esitellyn PDSA-ympyrän sykliä. Pääasia testauksessa on varmistaa parannuksen ”löytyminen” (Karjalainen & Karjalainen 2020, 296.)

Parannusvaiheessa kehitettävät kohteet määritettiin luvun 4.4 muutostaulukossa. Taulukosta valitut kohteet:

1. Kuljetusteline akseleille (Työturvallisuus)
2. Tuotantomenetelmien kehitys ja dokumentointi työohjeiksi
3. Tuotannon suunnittelu ja resursointi
4. Hankinnan nopeuttaminen ja varastosaldojen sovittaminen tarpeisiin
5. Asennuksen tuotantopaikan vakiointi
6. Tekemisen edellytyksen varmistaminen ennen töiden aloitusta

#### 4.5.1 Kuljetusteline akseleille (Työturvallisuus)

Ensimmäinen parannuskohteista oli akselin kuljetustelineen kehitys, suunnittelu ja käyttöönotto. Parannusidea oli tärkeä tehdä ensimmäisenä, koska nostot aiheuttavat työturvallisuusriskin, joita työnantajan tulisi systemaattisesti vähentää. Työnantajan velvollisuuteen työn vaarojen selvittämisestä viitataan työturvallisuuslaissa 10 §. (Työturvallisuuslaki 738/2002, 10 §.)

Ennen kehitysprojektia koneistettuja akseleita kuljetettiin kyseiseen käyttöön valmistetuilla puuvalmisteisilla kampalavoilla. Kampalavan käyttö kuvattuna kuvassa 2. Kuten kuvasta näkee, akselit ovat sijoitettuna lavalle vaakatasoon. Ratkaisu on kuljetuksen kannalta hyvä, mutta kaikki muut työvaiheet kärsivät ratkaisusta. Lavassa ongelmana on myös se, että kappaleet ovat alttiina kolhuille ja lialle, joita tulee käsittelyissä.

NDT-vaiheessa akseleille tehdään magneettijauhetarkastus (MT). Tarkastuksessa vaatimuksena on 100% tarkastus hitsille. Jotta täydellinen tarkastuslaajuus saadaan toteutettua, on akseleita pyöritettävä kampalavan päällä. Tarkastuksen aikana pyörittelystä aiheutuu turhaa rasitusta tarkastajalle sekä mekaanisia vaurioita akselin koneistettuihin pintoihin.

Pintakäsittelyssä akseli nostettiin pystyyn normaalille kuormalavalle, jolla se matkaa pesun kautta suojaukseen, josta raepuhallukseen ja siitä maalaukseen. Kappaleita siirrellään todella useasti ilman, että ne ovat kiinni lavoissa. Maalauksen jälkeen suojaukset puretaan ja kappale lasketaan takaisin kampalavalle, jolla se kuljetetaan asennukseen. Asennuksessa kappale nostetaan jälleen pystyyn.



Kuva 3. Laakerointiyksiköiden akselit kampalavalla.

Aivoriihen tuotoksena kehitettiin viisikulmainen teline, jossa jokaisessa kulmassa olisi kullekin akselille oma paikkansa. Telineitä valmistettiin kaksi kappaletta testikäyttöön. Testikäytössä saatujen kokemusten perusteella telineestä tehtiin vielä kaksi parannusversiota. Kehitystehtävän raportointivaiheen aikana telineestä on muodostunut suorakulmio, jossa on kuusi paikkaa akseleille. Nykyisen käytössä oleva teline kuvassa 4.

Loppukoneistuksessa akselit nostetaan suoraan telineeseen. NDT-tarkastus voidaan tehdä akseliin ilman sen käsittelyä. Maalausprosessi päästään aloittamaan suoraan ilman akseleiden nostelua ja akselit ovat tukevasti paikallaan. Maalauksesta akselit menevät asennukseen, jossa asennus tehdään suoraan telineeseen, ilman nostoja. Seuraava nosto akselille tapahtuu, kun se nostetaan koeajettavaksi.





Kuva 4. Laakerointiyksiköiden akselien kuljetusteline

Kuljetustelineen avulla tuotantoprosessista pystyttiin eliminoimaan laatua heikentäviä tekijöitä, parantamaan työturvallisuutta ja poistamaan hukkaa. Vastavnlaisia sovelluksia tullaan toteuttamaan seuraavissa kehitysprojekteissa.

#### 4.5.2 Tuotantomenetelmien kehitys ja dokumentointi työohjeiksi

Akselin osien esikoneistusta voidaan toteuttaa kahdella eri sorvilla. Analysointivaiheessa huomattiin, että molempien koneiden lopputuotos on hieman erilainen. Variaatio esikoneistetuissa kappaleissa aiheutti seuraavaan vaiheen robotihitsaukseen usein ohjelmointi tarpeen.

Prosessin kehittämiseen oli tehty aloite kaksi vuotta aikaisemmin. Aloitetta ei kuitenkaan ole otettu käyttöön muutosvastarinnan ja kehityshaluttomuuden takia. Vanhan tyylin mukaisesti laipat ajetaan ympäriinsä kuvan 5 mukaisesti. Akseleissa esikoneistuksessa ajetaan ylimääräisiä pintoja, jonka takia kappaleen asetusta joudutaan muuttamaan useampaan kertaan. Akseleiden esikoneistus toteutettiin kuvan 6 mukaisesti.



Kuva 5. Laakerointiyksikköjen laippojen esikoneistus.



Kuva 6. Laakerointiyksikköjen akselin esikoneistus

Aloitteen mukaisesti esikoneistusvaiheessa ajetaan vain ne pinnat, jotka ovat kriittisiä robottihitsauksen ja loppukoneistuksen kannalta. Nämä pinnat saadaan ajettua yhdellä asetuksella. Myös loppukoneistus saadaan ajettua ilman kappaleen kääntöä, jolloin koneen käyttösuhte saadaan optimoitua. Kuvassa 7 uudella tavalla valmistetun akselin osat robottihitsauksen jälkeen.

Loppukoneistuksen aikana tulkataan myös päähän tehtävä kierre. Aikaisemmin tulkkaus on tehty tulkkaus korkilla. Parannuksen jälkeen tulkkaus tehdään varsinaisella korkilla, joka on aikaisemmin laitettu asennusvaiheessa. Tulkkausvaiheen aikana sovitettu korkki jää paikalleen lopputuotteeseen, näin saadaan vähennettyä turhia toimintoja ja siirrettyä työkuormaa toisesta vaiheesta. Muutos ei lisännyt koneistuksen työaikaa. Loppukoneistettu akseli nostetaan kohdassa 4.5.1 kohdassa tehtyyn kuljetustelineeseen.





Kuva 7. Akseli robotti hitsauksen jälkeen.

Esikoneistetut kappaleet menevät robottihitsaukseen. Ennen kehitysprojektia robottioperaattori on tehnyt silloituksen sekä hitsannut laipan otsapinnan. Hitsaus on jouduttu suorittamaan käsin, robotilla olleen kiinnittimen takia. Robotille suunniteltiin uudenlainen kiinnitin, joka mahdollistaa myös akseleiden otsapinnan hitsauksen. Hitsauksen siirto robotille nostaa koneen käytösuhdetta ja parantaa läpimenoa. Myös operaattorille jää enemmän aikaa valmistella seuraava akselia hitsaukseen.

Ennen parannusta asennus on tehty vaiheittain kaikille kappaleille. Kyseinen asennusmenetelmä aiheuttaa sen, että ensimmäinen kappale valmistui koeajettavaksi vasta 20-35 tunnin työkertymän kohdalla. Asennuksessa määrittävä tekijä on tunnin kestävä koeajo.

Asennuksen läpimenoa parantaminen tehtiin koeajon ympärille. Asennuksessa suoritettiin kehitys testauksen avulla, jossa vaihdettiin menetelmiä suunnitelman mukaisesti. Testauksen jälkeen päästiin tilanteeseen, jossa asennuksen aloittamisesta kahdessa tunnissa oli ensimmäinen kappale koeajettavissa. Asennuksen alussa kaikille akseleille tehdään kahden osan asennus, koska toinen osista on lämpösovitteinen, jonka tulee jäähtyä ennen kuin asennusta päästään

jatkamaan. Jäähtymisen aikana tehdään pesän varustelu. Pesän varustelun jälkeen akseli kasataan normaalisti valmiiksi koeajoon. Sykliä toistetaan niin kauan, että sarja on valmistunut. Viimeisen koeajon jälkeen työpiste järjestellään ja siivotaan seuraavaa sarjaa varten.

Jokaisesta parannusvaiheesta valmistettiin työohjeet, joiden mukaan valmistus tulee suorittaa. Työohjeissa määriteltiin kullekin työvaiheelle tavoiteajat, resurssit sekä siihen tarvittavat työkalut ja kiinnittimet.

#### **4.5.3 Tuotannon suunnittelu ja resursointi**

Analysointivaiheessa tehdyistä havainnoista kävi ilmi, että muutamissa työvaiheissa suunnittelua työn toteuttamiseen ja resursointiin ei tehdä ennakoivasti. Analyysissä huomattiin myös se, että muutamia työvaiheita oli ylitresursoitu, joka aiheuttaa heti tuntikertymässä variaation lisääntymisen lisäämättä läpimenoaikaan parannusta.

Parannusta resursointiin haettiin työohjeista, jossa määritettiin resurssitarpeet kullekin vaiheelle. Työvaiheen työnjohtajien tulee suunnitella vähintään viikko eteenpäin tehtävien töiden resurssit. Tehtaan hienokuormituksen avulla osien saapuminen ja töiden aloitus saadaan kohtaamaan paremmin.

#### **4.5.4 Hankinnan kehitys ja varastosaldojen sovittaminen**

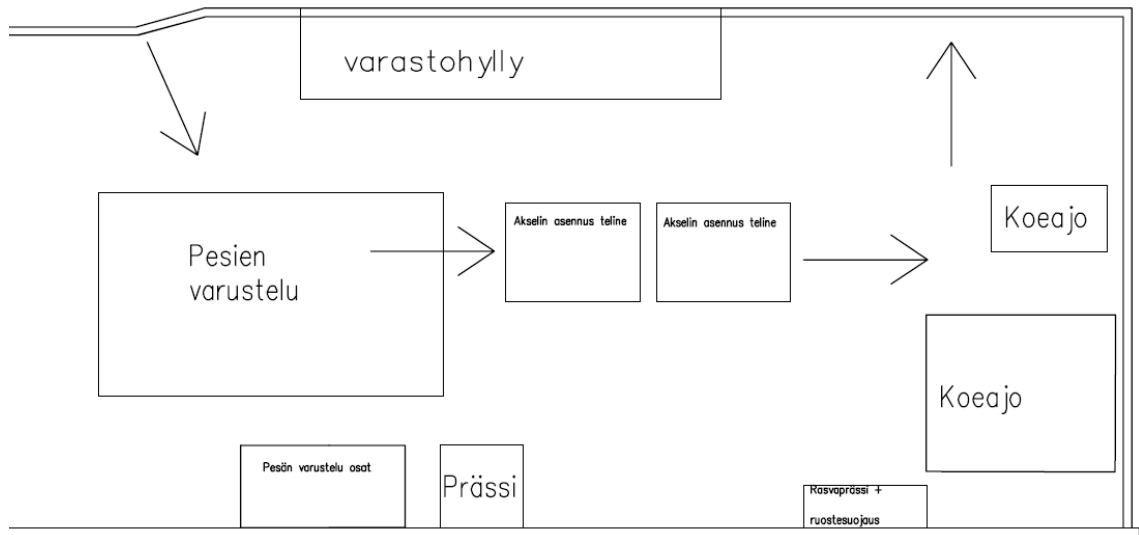
Hankinnalla on suuri merkitys kokonaisläpimenoaikaan sekä kustannuksiin. Hankinnan variaatiot toimitusajoissa ovat todella suuria, joka taas vaikuttaa läpimeno-keston merkittävästi. Keskimäärin varastosarjan valmistuminen kesti 16 viikkoa, josta hankinnan osuus oli neljästä viikosta kahdeksaan viikkoon.

Parannusta hankintojen läpimenoaikaan saatiin tekemällä hankintasopimuksia vakioitoimittajien kanssa, sekä komponenttien varmuusvarastoinnista heidän varastoihinsa. Laakerointyksikön osat ovat aina samoja, joten ratkaisu on hyvä toimittajalle sekä tehtaalle. Käytännössä valmistus pystytään aloittamaan viikossa tilauksesta. Asennettavat komponentit kiertävät tehtaan oman varmuusvaraston kautta. Varastoitavien nimikkeiden saldot ja hälyrajat muutettiin vastaamaan tarpeita. Kyseisiä osia toimitetaan myös erikseen varaosina.

#### 4.5.5 Asennuksen tuotantopaikan vakiointi

Laakeroinyksiköiden asennuspaikan siirto vanhasta paikasta uuteen aiheutti sen, että asennuspaikka oli todella sekava. Uudessa asennustilassa tilaa oli käytettävissä huomattavan paljon enemmän, kuin vanhassa asennuspaikassa. Tilan suuruus aiheutti sen, että tavarat olivat hajallaan ja turhaa kävelyä ja osien siirtoja tuli todella paljon.

Asennuspaikan suunnittelu on tehty 5S-menetelmää hyödyntäen. Asennuspaikka vakioitiin, ylimääräinen tavara poistettiin ja tilalle tuotiin komponenttien varastointia sekä siireltävä työkaluvaunu. Kaikki toiminnot löytyvät omilta paikoiltaan ja niiden viereen on sijoitettu kunkin vaiheen tarvitsevat komponentit. Komponenttien varastointi asennuspaikalle vapauttaa merkittävästi varastotilaa varsinaisesta komponenttivarastosta. Lisäksi varastoinnin sijoituksen muutoksen ansiosta komponentteja ei tarvitse erikseen kerätä.



Kuva 8. Vakioitu asennuspaikka.

Maalauksesta tulevat osat saapuvat asennuspaikalle, jossa ne paikoitetaan niille varatuille paikoille. Asennuspaikalla valmistettavat osat virtaavat eteenpäin kuvan 8 mukaisesti.

#### 4.5.6 Tekemisen edellytysten varmistaminen ennen töiden aloitusta

Analysoitaessa tuntikertymän variaatiota merkittävä tekijä oli työn keskeytyminen. Keskeytymiseen löydettiin muutama merkittävä syy, jotka olivat resurssin

siirto toiseen tehtävään sekä komponentti puutteet. Tutkiessa asennuksen tun-  
tikertymää havaittiin, että lähes aina työt suoritetaan kahdella asentajalla. Jos  
toinen asentaja siirrettiin toiseen tehtävään, niin toinen meni mukana ja työ kes-  
keytyi kokonaan. Kyseessä on Turulan tehtaalle tyypillinen ”välihomma”, jossa  
tarvitaan tehdä nopeasti asennus tai pakkaustyö.

Toinen merkittävä syy keskeytykseen löytyi osapuutoksista. Työt aloitettiin,  
vaikka kaikkia osia ei ollut varastossa. Asennuksen edetessä osapuute tulee  
eteen väistämättä, jolloin työ keskeytyy.

Parannustyön keskeytys liittyy osittain edellisiin kehityskohtiin. Työkohtaiset re-  
sursoinnit on suunniteltava ennakkoon, jolloin samalla komponenttien saata-  
vuus kartoitetaan. Työtä ei aloiteta, ennen kuin kaikki tarvittavat osat ovat käy-  
tettävissä. Lisäksi resurssia ei lähtökohtaisesti siirretä sarjan teosta pois.

Tehtaalta löytyy vapaita resursseja kiire hommiin, laajempien kokonaisuuksien  
asennuksesta. Nykymuotoisena asennustyö kestää ajallisesti niin vähän aikaa,  
joten todennäköisesti resurssin siirtelytarve vähenee entisestään.

#### **4.6 Ohjaus**

Ohjaus on viimeinen DMAIC-menetelmän vaiheista. Prosessin saavutettua tar-  
vittavan kyvykkyyden, siirrytään ennaltaehkäisevään ja proaktiiviseen ohjauk-  
seen. Ohjausvaiheen tarkoituksena on optimoida, eliminoida, automatisoida ja  
ohjata keskeisiä muuttujia. Vaihe viimeistelee projektin. Projektin viimeistelyyn  
kuuluu dokumentointi ja ohjaussuunnitelma, jonka tarkoituksena on ylläpitää  
saavutettua kehitystulosta jatkuvana. Viimeistelyssä suoritetaan myös töiden  
standardointi ja työohjeet. Parannusvaiheessa määritetyt ja kehitetyt prosessit  
pilotoidaan, suunnitellaan ja toteutetaan. Parannuksesta tehdään pysyvä ja var-  
mistetaan sen käyttöönotto ja toteutus. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 312-  
313.)

Ohjaus on prosessin vaihe, jolla johdetaan ja varmistetaan kehitettyjen toiminto-  
jen vakaus ja stabiilisuus. Johtamalla ja kontrolloimalla prosessia pidetään se  
hallussa, joten suunniteltuihin suoritustavoitteisiin päästään. Ohjaus tapahtuu  
aina palautteen kautta. Esimerkiksi tavoiteajan ja toteuman kontrolloinnilla. Mi-  
käli eroa alkaa tulemaan yli kontrollirajojen, on ongelmaan tartuttava ja tehtävä

tarpeellisia toimenpiteitä asian ratkaisemiseksi. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 313-314.)

Prosessissa ohjataan ja kontrolloidaan useita kohteita. Kaikki nämä kohteet on käytävä läpi, jonka jälkeen ne on asetettu kehitetyn prosessin vaatimalle tasolle. Tehdasympäristössä kontrollointi on jaettu taloudelle ja työnjohdolle, jolloin jokainen osa-alue vastaa oman alueensa kontrolloinnista. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 315.)

Ohjauksessa voidaan käyttää erilaisia prosessin statuksen kuvaavia visuaalisia mittareita ja mittaristoja. Esimerkiksi KPI-mittaristot toimivat ohjausvaiheen takaisinkytkennässä helppona mittarina. Mittaristoon tulee asettaa ne mitattavat asiat, jotka ovat tärkeitä prosessin kannalta. Mitattavia ja indikoitavia asioita ovat muun muassa tuntikertymän ja tavoitteen suhde sekä sisäiset ja ulkoiset toimitusvarmuudet. (Mertanen 2018b.)

Ohjausta kehitystehtävässä ei varsinaisesti päästy tekemään. Kehitettyjen prosessien jälkeen tuotannosta meni läpi vain yksi sarja, jolla prosessi mitattiin ja kontrolloitiin. Tuloksia ei pystytä pitämään täysin varmoina, koska testisarjaan kohdistettiin erityistä huomioita. Tuotantovaiheiden menetelmät kirjoitettiin auki työhohjeisiin, jotka myös standardoitiin. Prosessille toteutettiin KPI-mittaristot, joiden avulla prosessia voidaan helposti kontrolloida. Mittaristot voidaan ottaa käyttöön muutaman sarjan jälkeen. Jatkoa ajatellen mittariston tuottama informaatio tulisi olla saatavilla automatisoidusti ja kaikkien nähtävillä, esimerkiksi infotauluilla. ERP-järjestelmästä tietoa olisi saatavissa todella paljon, se tulisi vain hyödyntää.

## **5 Tulokset**

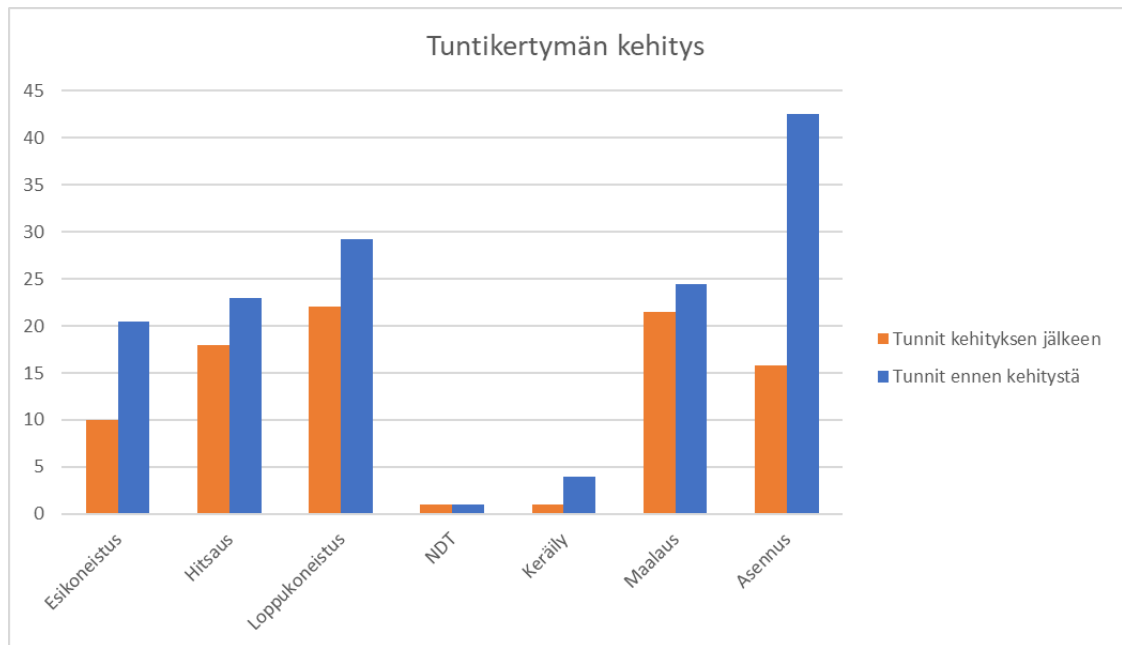
Kehitystehtävänä oli parantaa läpimenoaikaa 30 % ja pienentää kustannuksia 15 %. Toimitusajan arviointi pystyttiin laskemaan luotettavasti 43 sarjasta. Kyseisten sarjojen läpimenon keskiarvo oli 16 viikkoa. Valmistuskustannusten parantamisen mittauksessa havaittiin ongelma tuloksia vertaillaessa. Aikaisemmin

tehtyjen valmistussarjojen kustannusten siirtymä tuotteen kustannukseen oli tapahtunut virheellisesti, joten tuotteen loppuhintaa ei voitu käyttää vertailukohdaksi. Vertailukohdaksi otettiin historiassa tehtyjen tuntien keskiarvo kussakin vaiheessa, josta laskenta voidaan tehdä. Analysointivaiheessa havaittiin myös vääristymää tuntikirjauksessa kyseisissä vertailusarjoissa, joten tuloksia oli tarkasteltava varauksella.

Läpimenoajan kehittämiseen asetettuihin tavoitteisiin päästiin kehittämällä tuotantoa ja tuotantomenetelmiä DMAIC-menetelmän avulla. Läpimenoaika saatiin kutistettua 16 viikon keskiarvosta yhden valmistussarjan aikana viiteen ja puoleen viikkoon, käsittäen tilaus-toimitusketjun. Yhden sarjan valmistuksen aikana läpimeno parani 65 %. Jatkossa pystytään arvioimaan paremmin kehitystehtävän laatua, kunhan tuotantoerä on mennyt läpi useampia.

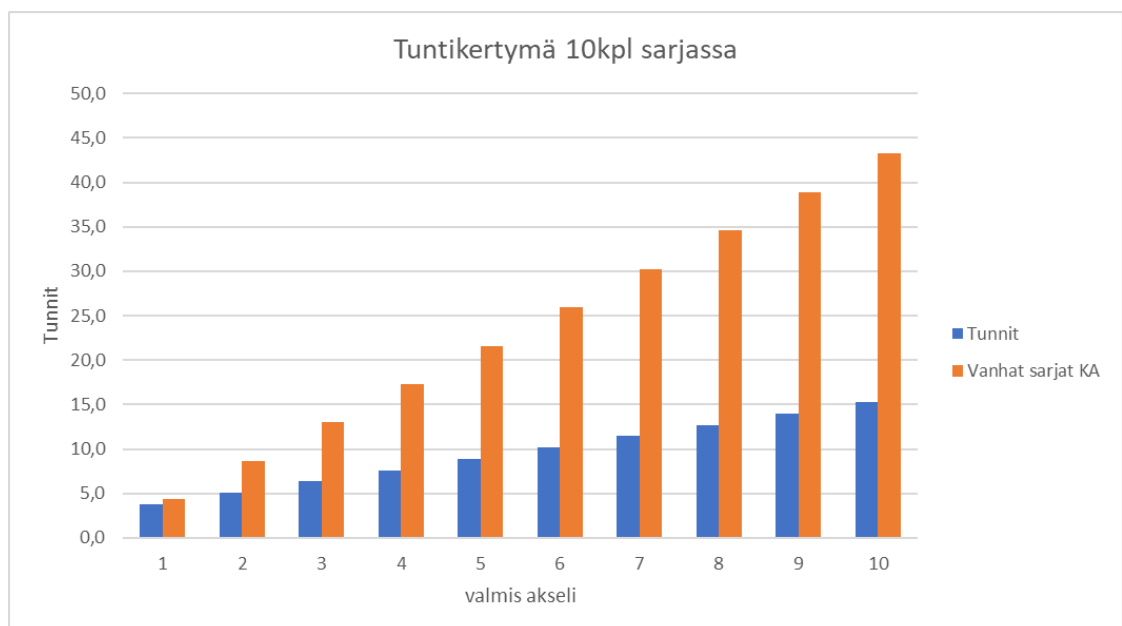
Tuotekustannuksen aleneman tavoitteena oli 15 %. Tavoite saavutettiin vaikkakin, aleneman vertailu aiheutti hankaluutta virheellisen historiatiedon takia. Hankintojen järjestelyn avulla pystyttiin saavuttamaan kahden prosentin tuotekustannuksen alenema, joten kokonaisvaikutus jäi sen osalta pieneksi.

Työmenetelmien kehittämisen avulla tuntikertymää pystyttiin laskemaan keskiarvoon verrattuna 63 %, jonka kokonaisvaikutus tuotteen kokonaishintaan on 13-14 %. Kuviossa 14 on kuvattuna kehitysprojektin ja historiassa tehtyjen sarjojen tuntikertymän erotus. Läpimenoajan lyhentymisen ansiosta yleiskustannuksien jakaminen tuotantoerälle tapahtuu ainoastaan kahden kuukauden ajalta, joten keskiarvoon verrattuna alenema on 50 %. Kokonaisuutena tuotekustannusta pystyttiin alentamaan kaikkiaan 17-18 %.



Kuvio 14. Tuntikertymän kehitys laakerointiyksiköt

Kuviossa 15 esitettynä sarjan valmistussykli, jossa työaikaan on huomioitu myös tauot. Tauot ja absoluuttinen työaika huomioituna ensimmäisen kappaleen valmistumisaika koeajettuna on 3,8 tuntia ja koko sarjan 15,2 tuntia. Asemuksen tuntikertymä parani keskiarvoon verrattuna 68 %.



Kuvio 15. Vertailu asennustunneista laakerointiyksiköt

Kokonaisuutena työn taloudellinen hyöty työssä käytetyllä mallilla oli noin 15 %. Laakerointiyksiköitä valmistetaan kuutta eri mallia, keskivertovuonna noin 200-

250 kpl, joten kokonaiskuvassa työn saavuttama taloudellinen hyöty on merkittäväsi suurempi. Kone ja työntekijän kapasiteetin vapautuminen muuhun jalostavaan tekemiseen auttaa pidemmällä aikavälillä myös välillisesti.

Merkittävänä tuloksena voidaan pitää myös Lean-kulttuurin uudelleen käynnistymistä. Osallistamalla tekijöitä eri toiminnoista, kehittäminen alkoi uudelleen ja omaan tekemiseen haluttiin entistä tuoda entistä enemmän helpottavia menetelmiä tai laitteita. Tuotantoon on kehitetty vastaavaan varastointia tuotantopaikoille sekä erilaisia avustavia telineitä on otettu käyttöön.

## 6 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa valmistuksen nykytila ja kehittää laakerointiyksikön läpimenoaikaa sekä alentaa tuotekustannusta Lean Six Sigma DMAIC-menetelmien avulla. Laakerointiyksikkö on Outotec Turulan ainoita sarjatuotteita, joten se oli hyvä valinta kehittämisprojektiin. Kehitysprojekti oli rajattu tilaus-toimitusketjuun, eli projekti kattoi suunnittelun, hankinnan ja valmistuksen. Projektille ei määrätty varsinaista aikataulua, jonka takia tulosten saaminen valmistumissarjoista jäi yhden valmistetun sarjan lukuihin.

Toimeksiannossa annetut tavoitteet saavutettiin läpimenon ja tuotekustannuksen osalta toivotulla tavalla, vaikkakin kustannuslaskentaa tehtäessä vertailutulokset eivät olleet täysin valideja. Määriteltyihin tavoitteisiin päästiin käyttämällä parhaiten soveltuvia DMAIC-menetelmän työkaluja. Tilastollisten menetelmien soveltaminen prosessiin todettiin huonoksi vaihtoehdoksi, koska vertailuun valittujen sarjojen prosessit olivat epästabiilissa tilassa. Työssä käytetyt DMAIC-menetelmän työkalut sopivat Outotec Turulan tyyliseen korkean variaation ja pienenien volyymien tuotannon kehittämiseen.

Kehitysprojektin aikana teknologiaosaamisen johtamisen ja Lean-johtamisfilosofian menetelmiä päästiin käyttämään ja soveltamaan runsaasti. Vanhojen toimintatapojen kyseenalaistaminen ja muutosvastarinta aiheuttivat suurimmat johtamiseen liittyvät ongelmat. Suurimmat ongelmat tulivat asennuksen ja koneistuksen toimintatavan muutoksessa, jonka takia osittain projekti pitkittyi.



Muutos vastaisuus aiheutti sen, että kehitettyjä menetelmiä ei haluttu testata vapaa ehtoisesti käytännössä, vaan töihin jouduttiin jossain määrin käyttämään määräämisvaltaa. Lopulta ongelmat saatiin ratkaistua johtamisen opituilla menetelmillä ja muutosvastarinta hiipui projektin edetessä.

Tuotannon prosesseihin tehtäviä muutoksia tehtäessä oli ensisijaisen tärkeää osallistaa vahvasti kyseisen prosessin tekijät. Projektin aikana Lean-ajattelua saatiin heräteltyä muissakin toiminnoissa, jonka ylläpitoa olisi vielä tuettava ja kehitettävä edelleen. Kehitystehtävässä kirjoittajalle valkeni, kuinka monimutkaista ja vaikeaa johtaminen voi välillä olla, mutta loppujen lopuksi se on palkitsevaa. Vailla aikaisempaa johtaja kokemusta, kehitysprosessin läpiviennistä karttui paljon hyviä käytäntöjä ja menetelmiä tulevaisuuteen käytettäväksi.

Kehitystehtävän jäsentely tehtiin mahdollisimman helppolukuseksi. Varsinaista teoriaosuutta ei työssä ole toteutettu, vaan teoria kerrotaan auki kunkin menetelmän kohdalla. Työtä tehdessä havaittiin, kuinka paljon erilaisia variaatiota menetelmistä on käytössä, joka aiheutti hieman hämmennystä niiden käytön aloittamisessa. Opinnäytetyön alkuvaiheiden aikana käyty Lean Six Sigma Green Belt-kurssi auttoi paljon teorian soveltamisesta käytäntöön ja antoi hyvät avaimet kehitystehtävän toteuttamiseen. Kehitystehtävän pääasiallinen tarkoitus lopulta oli ottaa prosessi haltuun sekä toteuttaa standardointi ja stabilointi.

Jälkeenpäin ajateltuna projektille olisi ehdottomasti pitänyt asettaa budjetti ja aikataulu. Edellä mainittujen puuttuessa työllä ei ole mitään ajallista tai rahallista tavoitetta, jota tavoiteltaisiin. Projektin läpimeno itsessään olisi todennäköisesti ollut huomattavasti nopeampi, mikäli sillä olisi ollut asetetut rajoitteet.

Jatkoa ajatellen tehtaan olisi hyvä panostaa digitaalisiin palveluihin ja automatisointiin. Kehitystehtävän aikana nousi esille muutamia kohtia, joiden avulla pystyttäisiin poistamaan inhimillisen tekijän osuus tietyiltä osin prosessia. Ensimmäisenä kehityskohteena olisi sarjatuotteiden automaattinen suunnittelu ja tuotantoon vapautus. Toinen kehityskohde olisi hankintojen automatisointi. Tällä hetkellä laakerointiyksiköihin on vakioituneet toimittajat, joilta komponentit hankintaan. Hankinnat pystyttäisiin toteuttamaan automatisoidusti, tällä hetkellä ostajan tuottama lisäarvo prosessiin on todella pieni. Kolmantena kehityskohdeena toisin tuotantoon digitaalisuutta enemmän. Esimerkiksi kuvat ja

mittaraportit voitaisiin toteuttaa digitaalisilla menetelmillä. Lisäksi tuotannon johtamiseen auttaisi visuaaliset mittaristot. Tulevaisuudessa Lean-prosessin tulisi olla normaali käytäntö. Kehitysprosessi tulee jatkumaan Demingin PDCA-syklin mukaisesti: Suunnittele, toteuta, tarkista, toimi, toista.

## Lähteet

- Ali-Yrkkö, J., Lindström, M., Pajarinen, M & Ylä-Anttila, P. 2017. Suomen asema globaalissa kilpailussa – Yritysten sijaintipäätöksiin vaikuttavat tekijät. Sitra. Helsinki <https://media.sitra.fi/2017/02/27173336/suomiglo-baalissa-2.pdf>. 12.10.2020.
- Bridges, J. 2018. What is SIPOC?. <https://www.projectmanager.com/training/what-is-sipoc>. 6.11.2020.
- eOsmo. 2011. Innovaatiomenetelmiä arjen työhön. <http://www.eosmo.fi/tyokirja/innokukka/ideointi.html>. 28.11.2020.
- Halme, J. 2018. Aivoriihi – Toteutus ja perusperiaatteet. <https://info.orchideainnovations.com/innovaatio-blogi/aivoriihi>. 8.11.2020.
- Kaiva.fi. 2020. Tuotantoprosessit – Rikastus. [https://kaiva.fi/wp-content/uploads/2014/12/Rikastus\\_kaiva.pdf](https://kaiva.fi/wp-content/uploads/2014/12/Rikastus_kaiva.pdf). 13.11.2020.
- Karjalainen, E. & Karjalainen, T. 2020. Lean Six Sigma 2.0 ja Laatu teknologia. Quality knowhow Karjalainen Oy. Lahti.
- Karjalainen, E. 2015. Kuinka parannat laatua ja tuottavuutta. <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/kuinka-parannat-laatua-ja-tuottavuutta/> 5.12.2020.
- Karjalainen, T. 2007. Yhdistä ideointityökaluilla luovan ajattelun ulottuvuudet – Aivoriihi, Ryhmittelykaavio sekä kalanruotokaavio. <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/luova-ajattelu/>. 23.11.2020.
- Lean Enterprise Institute. 2020. What is Lean. <https://www.lean.org/whatslean/>. 23.10.2020.
- Lintula, R. 2020. Lean Six Sigma on prosessien systemaattista ja tuloshakuista kehittämistä <https://www.aaltopro.fi/aalto-leaders-insight/2015/lean-six-sigma-on-prosessien-systemaattista-ja-tuloshakuista-kehittamista-osa-1>. 27.10.2020.
- Mertanen, J. 2018a. Valvontakortti ja tulkinta. Lean Six Sigma Greenbelt -kursin luentomateriaali 12.10.2018.
- Mertanen, J. 2018b. Visuaalinen johtaminen. Lean Six Sigma Greenbelt -kursin luentomateriaali 23.11.2018.
- Metso Outotec. 2020. Metso Outotec Yrityksenä. <https://www.metso.com/fi/yritys/>. 13.10.2020.
- Metso. 2020. History of Metso <https://www.metso.com/history?currentYear=>. 13.10.2020.
- MudaMasters. 2015. Value Stream Mapping (VSM). <https://www.mudamasters.com/en/lean-toolbox-lean-production/value-stream-mapping-vsm>. 6.11.2020.
- Neles. 2020. Osaketietoa. <https://www.neles.com/fi/sijoittajat/osake/osaketieto/>. 13.10.2020.
- Nykänen, P. 2016. 150 Years` evolution toward a greener future. Outotec Oyj. Espoo.
- Outotec Turula Oy. 2020. Yritysesittely Powerpoint. 22.10.2020.
- Outotec. 2020. Turula Workshop. <https://www.outotec.com/landing-pages/turula/>. 22.10.2020.
- Pohjois-Karjalan kauppakamari. 2020. Vuoden 2019 kouluttajayritys: Outotec Turula Oy. <https://pohjoiskarjalankauppakamari.fi/fi-fi/article/nosto/vuoden-2019-kouluttajayritys-outotec-turula-oy/127/>. 22.10.2020.
- SFS ISO 130053-1. 2014. Prosessin kehittämisen kvantitatiiviset menetelmät. Six Sigma. Osa 1: DMAIC – Menetelmä. Helsinki. Suomenstandardoimisliitto SFS.

- SFS ISO 130053-2. 2014. Prosessin kehittämisen kvantitatiiviset menetelmät. Six Sigma. Osa 2: Työkalut ja tekniikat. Helsinki. Suomenstandardoimisliitto SFS.
- Six Sigma. 2020a. Leanin historiaa. <http://www.sixsigma.fi/fi/lean/leanin-historiaa/>. 26.10.2020.
- Six Sigma. 2020b. Six Sigman kehittyminen. <http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/six-sigma/roolit/6skehittyminen/>. 27.10.2020.
- Six Sigma. 2020c. Mitä on Six Sigma. <http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/six-sigma/>. 27.10.2020.
- Six Sigma. 2020d. Arvovirtakuvaus (VSM). <http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/yleinen/arvovirtakuvaus-vsm/> 10.11.2020.
- Tevere. 2020. Aivoriihi. <https://tevere.fi/menetelmat/aivoriihi/>. 8.11.2020.
- The W. Edwards Deming institute. 2020. PDSA Cycle. <https://deming.org/explore/pdsa/>. 26.10.2020.
- Työturvallisuuslaki 738/2002. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>. 30.11.2020.
- Väisänen, J. 2013. VSM (Value Stream Mapping) – Arvovirtakuvaus. <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/vsm-value-stream-mapping-arvovirtakuvaus/>. 10.11.2020.