

# Tuuletintuotannon nykytilan kartoitus ja kehitys Lean-työkaluja käyttäen

Eetu Salmela

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2014

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Salmela, Eetu	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 04.05.2014
	Sivumäärä 58	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi TUULETINTUOTANNON NYKYTILAN KARTOITUS JA KEHITYS LEAN-TYÖKALUJA KÄYTTÄEN		
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn ohjaaja(t) Parviainen, Miikka, lehtori Peuranen, Harri, yliopettaja		
Toimeksiantaja(t) HT Laser Oy Hakkarainen, Timo, yksikön päällikkö		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa ja kehittää HT Laser Oy:n tuuletinvalmistusta Lean-tuotantomallin mukaisesti. Opinnäytetyö suoritettiin osana yrityksen laajempaa Lean-kehitysprojektia, jonka tavoitteiksi yrityksessä oli asetettu läpäisyajan lyhentäminen puoleen nykyisestä, tuotannon laadun nostaminen 100 %:iin ja toimitusvarmuuden nostaminen 98–100 %:iin. Opinnäytetyön tehtävänä oli kartoittaa luotettavasti tuotannon nykytila ja kehittää tuotantoa sen pohjalta. Nykytilan kartoituksessa käytettiin Lean-tuotantomallin kehitystyökaluja ja menetelmiä. Näitä työkaluja olivat tahtiaika-analyysi, laadunkartoitus, spagettikaavio, läpäisyajakaavio ja arvovirtakuvaaja.</p> <p>Opinnäytetyö oli osa kehitysprojektia, ja siinä käytettiin sekä kvantitatiivisia että kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsiteltiin yleisesti Lean-tuotantomallia ja sen käyttämiä työkaluja ja menetelmiä. Pääpaino työkalujen esittelyssä oli nykytilan kartoituksen käytettävillä työkaluilla.</p> <p>Opinnäytetyön käytännön osuus koostui teoriaosuudessa esiteltyjen nykytilan kartoitustyökalujen käytöstä ja niiden tuloksista. Opinnäytetyön tuloksena saatiin kartoitettua tuuletintuotannon nykytila ja tehtyä kehitystoimia tuuletintuotannon tehostamiseksi tulevaisuudessa. Osa kehitystoimenpiteistä otettiin käyttöön opinnäytetyön aikana ja osa jäi vielä harkintavaiheeseen. Muun muassa robotiikkausta kehitettiin tuottamaan parempaa hitsauslaatua ja tuotantoon kaavailtiin suunnitelma hitsaussolukokonaisuuden käyttöönottamiseksi.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksista oli hyötyä yritykselle ja erityisesti Lean-kehitysprojektille, joka yrityksessä oli käynnissä. Kehitystoimenpiteillä saaduista tuloksista ei tähän opinnäytetyöhön ehditty kerätä mittarointidataa niiden vaatiman pitkän havainnointiajan takia, joten opinnäytetyön tuloksista saadaan tietoa vasta tulevaisuudessa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Lean, Läpäisyajan lyhentäminen, Laadun parantaminen, Läpäisyajakaavio, Spagettikaavio, Takt time, VSM		
Muut tiedot Liitteitä ei julkaista internetissä		



Author(s) Salmela, Eetu	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 04.05.2014
	Pages 58	Language Finnish
		Permission for web publication ( X )
Title CURRENT STATE MAPPING AND DEVELOPMENT OF FAN PRODUCTION USING LEAN TOOLS		
Degree Programme Degree Programme in Mechanical and Production Engineering		
Tutor(s) Parviainen, Miikka, Senior lecturer Peuranen, Harri, Principal lecturer		
Assigned by HT Laser Oy Hakkarainen, Timo, Unit Manager		
Abstract <p>The purpose of the Bachelor's Thesis was to identify and develop fan production at HT Laser Oy using Lean manufacturing tools and principles. The thesis work was part of the company's wider development project the objectives of which were set to reduce lead time by half, increase the quality of the products to 100 percent and to increase the reliability of delivery to 98-100 percent. The objective of the thesis itself was to identify reliably the current state of fan production and to make development measures based on these results. In identifying the current state several tools and methods of Lean production model were used. These tools were takt time analysis, quality mapping, spaghetti diagram, lead time diagram and value stream mapping.</p> <p>Because this thesis was based on a development project were both quantitative and qualitative research methods used. The theoretical part of the thesis mainly consisted of explaining Lean manufacturing and its development tools and other methods. The main focus introducing the tools was on the current state analysis tools and methods.</p> <p>The practical part of the thesis consisted of the use of the current state analysis tools and their results. As a result, the current state of fan production was mapped, based on which development measures were carried out to make the fan production more efficient. Part of the development measures were put to use during the thesis and part were put under consideration. Among other things, robot welding was developed to provide better quality welds and a new welding cell system was planned to put to use in the fan production process.</p> <p>The results were beneficial to the company and in particular to the Lean development project which was already running in the company. The results gained from the development measures couldn't be included in this thesis due to the time it takes to collect meter data. Therefore, the results of the thesis can only be seen in the future.</p>		
Keywords Lean, Lead time reduction, Quality improvement, Lead time chart, Spaghetti diagram, Takt-time, VSM		
Miscellaneous Attachments will not be published on the Internet		

# Sisältö

<b>Sanasto</b> .....	3
<b>1 Johdanto</b> .....	5
1.1 Opinnäytetyön lähtökohdat ja tavoitteet .....	5
1.2 Tutkimusmenetelmät .....	5
<b>2 Toimeksiantajana HT Laser Oy</b> .....	7
2.1 HT Laser Oy .....	7
2.2 Tuuletintuotteet .....	9
<b>3 Lean-tuotantomalli</b> .....	11
3.1 Lean-filosofia .....	11
3.1.1 Yleisesti.....	11
3.1.2 Virtaus .....	12
3.1.3 Läpimeno .....	13
3.1.4 Hukka.....	15
3.2 Lean-kehitystyökalut .....	17
<b>4 Mittarointi</b> .....	25
<b>5 Tuulettimien valmistusprosessi</b> .....	27
<b>6 Nykytilan kartoitus</b> .....	30
6.1 Mittaroinnit .....	30
6.2 Työkalujen valinta.....	32
6.2.1 Tahtiaika-analyysi .....	32
6.2.2 Laadun kartoitus.....	33
6.2.3 Spagettikaavio .....	34
6.2.4 Läpäisyajakaavio .....	34
6.2.5 Arvovirtakuvaaja (VSM).....	35
<b>7 Kehitystoimenpiteet</b> .....	36
<b>8 Pohdinta</b> .....	39
<b>Lähteet</b> .....	42
<b>Liitteet</b> .....	45
Liite 1. Tuulettimen kokoonpano (Salainen) .....	45
Liite 2. Tuulettimen napa (Salainen).....	46
Liite 3. Tuulettimen etusivulevy (Salainen) .....	47
Liite 4. Tuulettimen takasivulevy (Salainen).....	48
Liite 5. Tuulettimen siipi (Salainen) .....	49
Liite 6. Mitatut tuotantoajat (Salainen).....	50

Liite 7. Tuotantoaikojen hajontataulukko (Salainen) .....	51
Liite 8. Tuotantoaikojen hajontakaavio (Salainen) .....	52
Liite 9. Korjaushitsauksen laatutaulu, taulukot (Salainen) .....	53
Liite 10. Korjaushitsauksen laatutaulu, Pareto-kaaviot (Salainen).....	54
Liite 11. Spagettikaavio (Salainen).....	55
Liite 12. Läpäisyajakaavio (Salainen) .....	56
Liite 13. Arvovirtakuvaaja, nykyhetki (Salainen) .....	57
Liite 14. Arvovirtakuvaaja, tulevaisuus (Salainen).....	58

## **Kuviot**

Kuvio 1. Kehittämisprojektin eteneminen .....	6
Kuvio 2. Henkilöstömäärän kehitys vuosina 1998-2011 .....	8
Kuvio 3. Liikevaihdon kehitys vuosina 1998-2011 .....	8
Kuvio 4. Yleiskuva tuulettimesta .....	10
Kuvio 5. Sivukuva tuulettimesta .....	10
Kuvio 6. Poikkileikkaus tuulettimesta .....	10
Kuvio 7. Spagettikaavio .....	19
Kuvio 8. Läpäisyajakaavio .....	20
Kuvio 9. VSM-kaavio .....	21
Kuvio 10. Tuuletinvalmistuksen tuotantoketju .....	27

## Sanasto

### **Arvoa tuottamaton aktiviteetti**

Aktiviteetti, joka ei lisää lopputuotteen arvoa. Arvoa tuottamattomia aktiviteetteja ovat muun muassa varastointi, kuljettaminen, jonottaminen, käsittely ja koneiden korjaaminen.

### **Arvoa tuottava aktiviteetti**

Aktiviteetti, joka lisää lopputuotteen arvoa. Arvoa tuottavia aktiviteetteja ovat kaikki tuottavat työt, muun muassa koneistus, hitsaus ja leikkaus.

### **Arvovirta**

Arvovirtaan kuuluvat kaikki aktiviteetit, joita tarvitaan tuotteen tai palvelun toimitukseen. Arvovirtaan lasketaan kuuluvaksi sekä arvoa tuottavat että arvoa tuottamattomat aktiviteetit.

### **Arvovirtakuvaus – Value Stream Map**

Arvovirtakuvaus on kuvaus miten materiaalit ja informaatio virtaavat yrityksessä. Arvovirtakuvaus sisältää kokonaisläpäisyajan ja arvoa tuottavien aikojen laskelmat. Arvovirtakuvauksesta tehdään omat kuvaukset sekä nykytilalle että tavoitellulle tilalle.

### **Asetusaika**

Ajallinen kesto, joka tarvitaan kun tuotantoerä tai tuote vaihdetaan toiseen.

### **Heppaus eli heftaus**

Heppauksella liitetään kappaleet toisiinsa. Heppauksen tarkoitus on pitää hitsattavat kappaleet kiinni toisissaan hitsauksen ajan.

### **Hukka**

Hukka on kaikkea, mikä ei lisää arvoa lopputuotteeseen tai palveluun asiakkaan näkökulmasta. Hukka on aktiviteetti, josta asiakas ei haluaisi maksaa, jos tietäisi, että sitä tehdään. Hukka voidaan ryhmitellä erilaisiin alaluokkiin.

**Imuohjaus**

Imuohjaus on tuotannonohjauksen muoto, jossa tuotteita valmistetaan vain, jos asiakkaat niitä tilaavat.

**KET**

KET eli keskeneräinen tuotanto tarkoittaa tuotannossa olevia töitä, joihin on sitoutunut materiaalia ja työtä.

**Läpimeno**

Läpimeno kuvaa, miten työ etenee tuotannossa.

**Pareto-kaavio**

Pareto-kaavio on graafinen esitystapa, joka ilmentää keskeiset tarkasteltavaan asiaan vaikuttavat syyt.

**Prässi**

Prässillä tarkoitetaan mekaanista tai koneellista paininta tai puristinta. Prässillä puristetaan haluttu kappale haluttuun muotoon.

**Pullonkaula**

Pullonkaula on prosessin hitain vaihe, joka hidastaa koko prosessin etenemistä.

**Six Sigma**

Six Sigma on Motorolan aikanaan luoma menetelmäkokonaisuus, joka pyrkii prosessien parantamiseen vaihtelun vähentämisen keinoin.

**Tahtiaika**

Tahtiaika on aika, joka pitäisi kulua komponentin tuottamiseen yhteen lopputuotteeseen. Tahtiaika perustuu kuukausittaiseen tuotannon suunnitteluun. Päivittäin käytettävissä olevan ajan oletetaan olevan 100 % säännöllisestä työajasta. Tahtiaika pitää tuotannon aikataulussa.

**Työntöohjaus**

Työntöohjaus on tuotannon ohjauksen muoto, jossa tuotteita valmistetaan riippumatta siitä, onko asiakastilausta jo olemassa. Valmistetut tuotteet menevät varastoon, josta ne aikanaan toimitetaan asiakkaille.

(MCS-Management Consulting Services Oy 2014)

# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön lähtökohdat ja tavoitteet

Opinnäytetyö perustuu vahvasti Lean-johtamisfilosofiaan ja -tuotantomalliin. Lean-johtamisfilosofia ja -tuotantomalli ovat Suomen teollisuudessa erittäin suosittuja johtamis- ja toimintatapoja ja niiden käyttämien kehitysmenetelmien ja -työkalujen käyttö on ajankohtaista ja suosittua. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi HT Laser Oy, jossa oli alkuvuodesta 2014 aloitettu tuuletintuotannon Lean-kehitysprojekti. Lean-kehitysprojektin yleisenä päätavoitteena oli kehittää yrityksen tuuletintuotantoa ja erityisesti siihen liittyvää hitsausprosessia tehokkaammaksi. Kehitysprojektin alatavoitteiksi oli asetettu läpäisyajan puolitus nykyisestä, tuotannon laadun nostaminen 100 %:iin ja toimitusvarmuuden nostaminen 98–100 %:iin. Aiemmin yrityksellä oli tuuletintuotannon jonossa yli 200 tilausta.

Opinnäytetyö sitoutui vahvasti yrityksen Lean-kehitysprojektiin. Opinnäytetyön pääasiallisena tehtävänä oli kartoittaa yrityksen tuuletintuotannon nykytila käyttämällä Lean-filosofian kehitystyökaluja ja -menetelmiä. Opinnäytetyöhön sisältyi myös nykytilan kartoituksella saatujen tulosten analysointia ja kehitystoimien ja -ideoiden toteutusta. Nykytilan kartoituksen yhtenä päätavoitteista oli löytää prosessista suurimmat muuttujat, jolloin näihin voidaan keskittää tarvittava huomio prosessin kehittämisessä. Koska opinnäytetyön pääpaino oli nykytilan kartoituksessa, valittiin tämän mukaisesti myös opinnäytetyössä käytettävät menetelmät ja työkalut. Tärkeimmiksi työkaluiksi ja menetelmiksi valikoituivat Lean-toimintamallin mukaisesti arvovirtakuvaaja, laadunkartoitus, läpäisyaikakaavio, spagettikaavio sekä tahtiaika-analyysi

## 1.2 Tutkimusmenetelmät

Tämä opinnäytetyö on puhtaasti kehittämisprojekti. Kehittämisprojektille on tyypillistä pyrkiä parantamaan jonkin olemassa olevan toiminnan tasoa tai luomaan edelly-

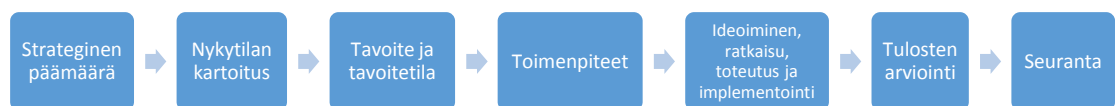
tykset uusien palveluiden tai tuotannon kehittämiseen. Tämän opinnäytetyön tapauksessa kehitettiin HT Laser Oy:n tuuletintuotannon valmistusprosessia. Kehittämiprojektille on ominaista ongelmalähtöisyys ja tavoitteellisuus. Näiden kahden tekijän johdosta projektisuunnitelmalla on selkeät tavoitteet ja mittarit. Kehittämiprojektissa on myös tärkeää, että projektiin osallistuvat ovat mukana suunnittelussa ja päätöksenteossa. (Jurvelin 2013.)

Vaikka kehittämisprojekti yleisesti eroaa muista tutkimusmenetelmistä, on sillä kuitenkin empiirisen tutkimuksen piirteitä. Erityisesti kehittämisprojektissa tulisi hyödyntää kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tutkimuksen elementtejä. Näitä ovat muun muassa

- nykyhetken kartoitus
- tavoitetilan kartoitus ja ongelma-kohtien löytäminen
- toimenpiteiden kartoitus
- tulosten arviointi.

(Jurvelin 2013.)

Nämä elementit huomioon otettaessa saadaan kehittämisprojektiin selkeä vaiheittain etenevä etenemisstrategia (ks. kuvio 1).



Kuvio 1. Kehittämisprojektin eteneminen (Väisänen 2013a, muokattu)

Kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tutkimuksen elementit tulevat erityisesti esiin nykytilaa kartoittaessa. Kvalitatiivista tutkimusotetta hyödynnetään sen soveltuvuuden takia luonnollisiin tilanteisiin, joita ei voida järjestää kokeiksi tai joissa ei voida kontrolloida läheskään kaikkia tutkimukseen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi kvalitatiivista eli laadullista tutkimusta voidaan muokata tutkimuskohteiden ja tilanteiden mukaisesti. Kvalitatiivista tutkimusta on tosin usein kritisoitu sen luotettavuuskriteereiden epäselvyyden johdosta, jolloin pääasiallinen luotettavuuden kriteerin määrittäjä on tutkija

itse. Kvantitatiivista tutkimusta sen sijaan sovelletaan tutkimusta suunniteltaessa, jolloin mietitään ja otetaan kantaa muun muassa perusjoukon määrittelyyn, tiedonkeruumenetelmään, otannan suunnitteluun sekä mahdollisten lomakkeiden laatimiseen. (Jurvelin 2013.)

Tässä työssä on sovellettu sekä kvalitatiivisen eli laadullisen että kvantitatiivisen eli määrällisen tutkimuksen piirteitä. Tuuletintuotannosta haluttiin luonnollinen ja todennukainen tilannekuvaus, mutta samalla mittaroinneille annettiin kriteerejä mitausten lukumäärän, tiedonkeruumenetelmän sekä lomakkeiden laatimisen osalta.

## **2 Toimeksiantajana HT Laser Oy**

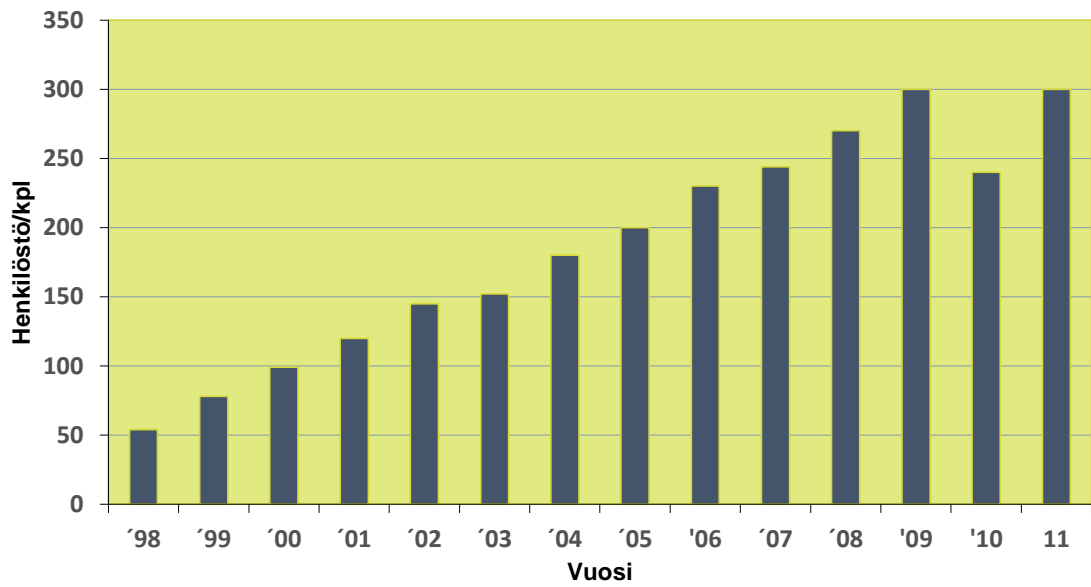
### **2.1 HT Laser Oy**

HT Laser Oy on perheomisteinen konepajayritys, joka kuuluu Teiskonen Oy -konserniin. Samaan konserniin kuuluu myös ohutlevyrakenteita valmistava Elekmerk Oy. HT Laser Oy aloitti toimintansa vuonna 1989. Nykyisin toimipisteitä on Suomessa 10 eri paikkakunnalla ja yksi Puolassa. Suomen yksiköt ovat Tornio, Oulu, Vieremä, Vaasa, Haapamäki, Keuruu, Jyväskylä, Tampere, Lahti, Turku ja Helsinki. Asiakassuhteita yrityksellä on yli 1000. Monet HT Laser Oy:n asiakasyrityksistä ovat merkittäviä metalli-, rakennus-, kaluste- sekä elektroniikkateollisuuden yrityksiä. (HT Laser Oy 2012)

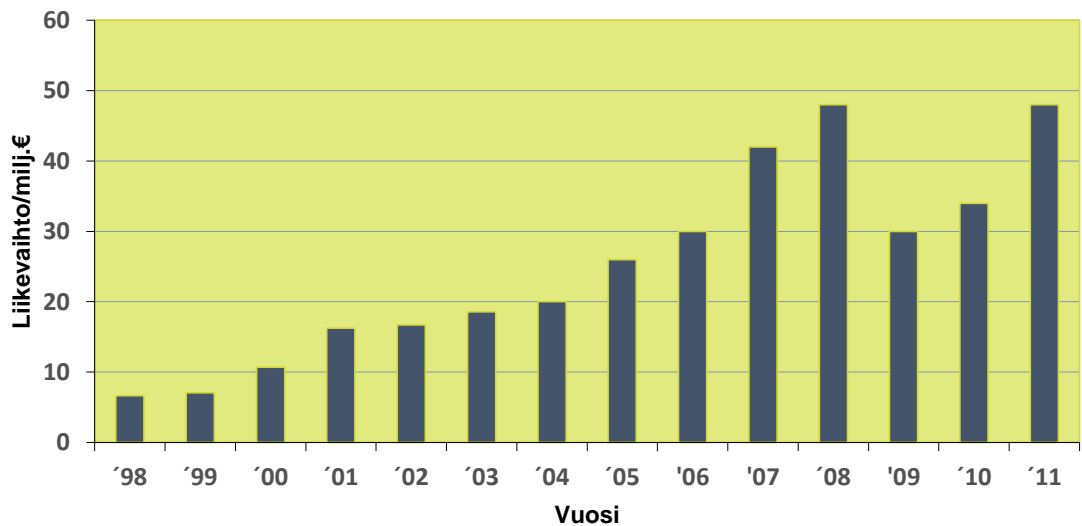
HT Laser Oy on Suomen johtava laser- ja vesileikkauksen sekä laserhitsauksen asiantuntija ja monipuolinen järjestelmätoimittaja. HT Laser Oy:n käytössä on myös Suomen suurin leikkauskapasiteetti. Työntekijöitä HT Laser Oy:n palveluksessa on noin 240 henkilöä. Henkilöstömäärän kehitys on esitetty kuviossa 2. HT Laser Oy:n liikevaihto vuonna 2013 oli 37,5 milj.€. Liikevaihdon kehitys on esitetty kuviossa 3. (HT Laser Oy, 2012; HT Laser Oy 2014)

HT Laser Oy:n Haapamäen yksiköllä oli merkittävin rooli tässä opinnäytetyössä. Haapamäen yksikkö on pääasiassa erikoistunut tuuletintuotteiden tuotantoon, mutta

valmistaa myös alihankintana erilaisia paperi- ja konepajateollisuuden tuotteita isoille kotimaisille asiakkaille. Haapamäen yksikössä työskentelee noin 29 henkilöä. Haapamäki on puhtaasti hitsaukseen erikoistunut yksikkö, sen konekantaan kuuluu laaja valikoima käsi- ja robottihitsausvälineistöä, laserleikkaus ja -hitsauslaitteistoja sekä muutamia erilaisia puristimia. (HT Laser Oy, 2012)



Kuvio 2. Henkilöstömäärän kehitys vuosina 1998-2011 (HT Laser Oy 2012)



Kuvio 3. Liikevaihdon kehitys vuosina 1998-2011 (HT Laser Oy 2012)

## 2.2 Tuuletintuotteet

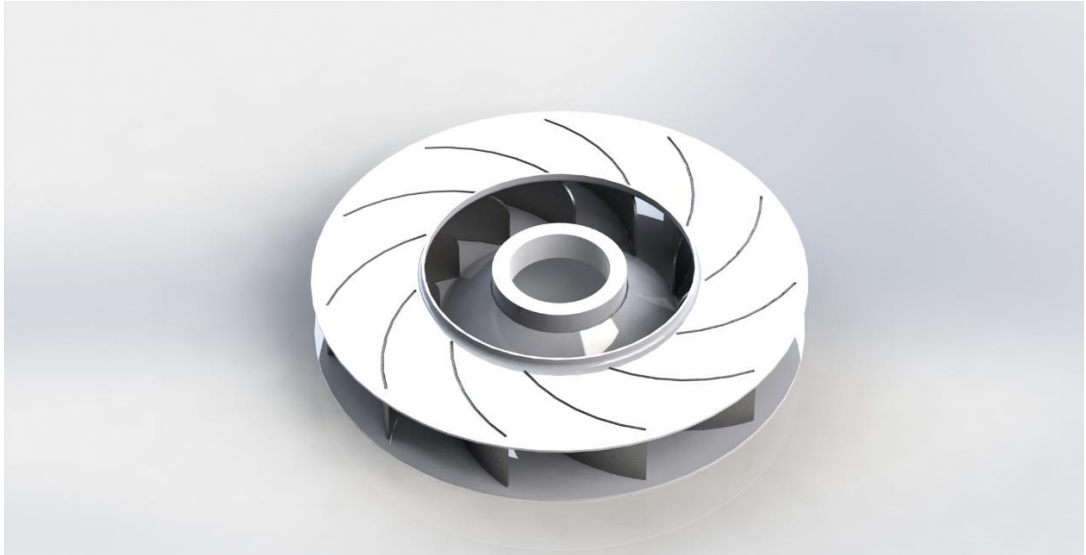
Yksi HT Laser Oy Haapamäen päätuotteista ovat tuulettimet. HT Laser Oy:n valmistamia tuulettimia käytetään suurten sähkömoottoreiden ilmapuhaltajajäähdytyksessä. Tuulettimet ovat hitsausteknisesti haastavia valmistaa niiltä vaadittavien toleranssien johdosta. Pääosin toleranssit vaihtelevat käyttökohteen mukaisesti malleittain, sen mukaan tuleeko käytetty sähkömoottori esimerkiksi ATEX-räjähdyksenvaaralliseen tilaan vai normaaliin teollisuusympäristöön. Liitteissä 1–5 on esimerkkinä tyypillisen tuulettimallin tekniset piirustukset toleransseineen. Kuten piirustuksista käy ilmi, ovat tuulettimen tarkimmat toleranssit navan samankeskisyys, kohtisuoruus ja korko etulevyn huuloksen kanssa. Tämä on tärkeää ottaa huomioon valmistuksessa.

Erilaisia tuuletinmalleja yritys tarjoaa noin 150 erilaista. Muun muassa tuulettimien rivimäärät, napakoot, siipimäärät, halkaisijat sekä levyaksuudet vaihtelevat. Tuulettimien levyateriaalina käytetään 3:n tai 5:n mm terästä, mutta halkaisijoissa tai rivimäärissä ei ole mitään tiettyä mallia, jonka kysyntä olisi muista erityisesti poikkeavaa. Yleisesti tuulettimien halkaisijat ovat kuitenkin noin 40–100:n cm välillä. Yritys valmistaa myös muutamia alumiinisia tuuletinmalleja. Tuuletintuotanto on jaettu kahden yksikön, Keuruun ja Haapamäen välille. Tuotannon pääpaino keskittyy Haapamäen yksikköön.

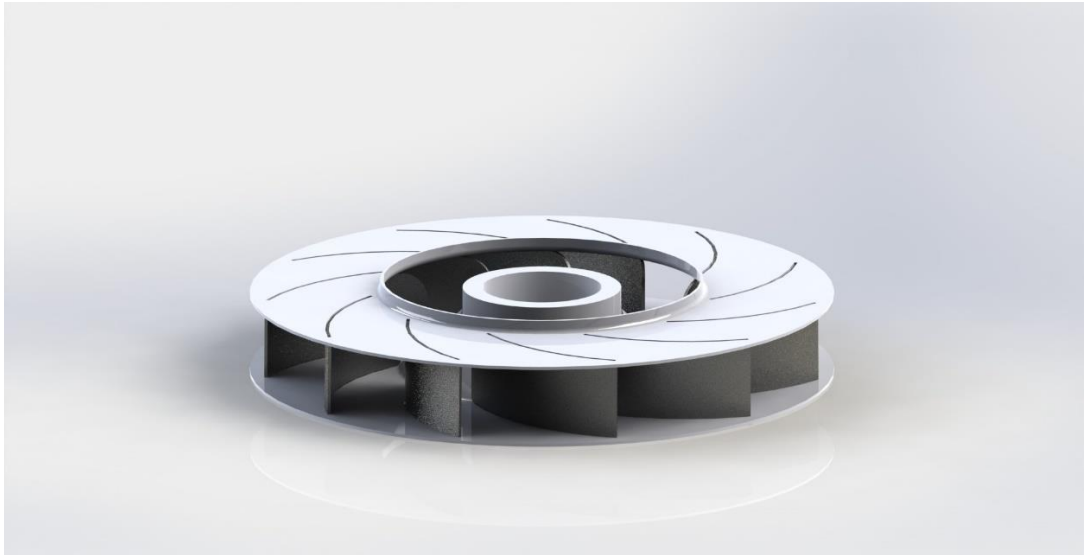
Tuulettimet sisältävät paljon hitsattavaa ja mallista riippuen yksi tuuletin vaatii viidestä metristä jopa 30 m hitsisaumaa. Tuulettimen hitsaukseen käytetään käsinhitsauksessa TIG- ja MIG-hitsauslaitteistoja, sekä robottihitsausolosuhteissa MIG-hitsauslaitteistoa.

Jälkikäsittelyltään tuulettimet ovat pääsääntöisesti hiekkapuhallettuja ja märkämäälattuja. Osa tuulettimista hehkutetaan, asiakkaan tarpeiden ja tuulettimen käyttökohteen niin vaatiessa.

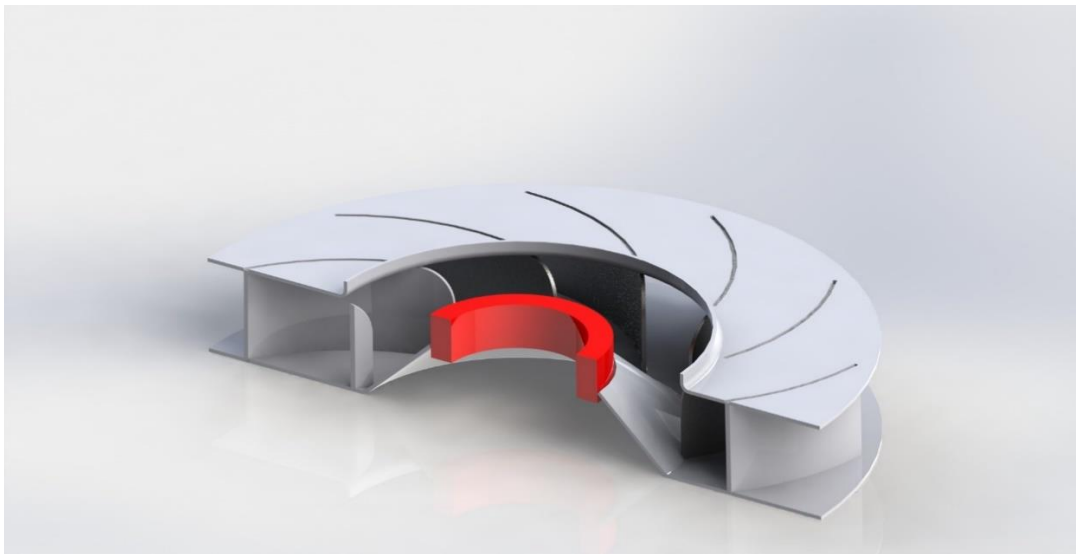
Kuvioissa 4 ja 5 on yksirivinen 11-siipinen perustuuletin. Tuulettimen poikkileikkauskuva on esitetty kuviossa 6, jossa tuulettimen napakeskiö on korostettu punaisella värillä.



Kuvio 4. Yleiskuva tuulettimesta



Kuvio 5. Sivukuva tuulettimesta



Kuvio 6. Poikkileikkaus tuulettimesta

## 3 Lean-tuotantomalli

### 3.1 Lean-filosofia

#### 3.1.1 Yleisesti

Lean-filosofian esittelivät James P. Womack, Daniel T. Jones ja Daniel Roos vuonna 1990 ilmestyneessä kirjassaan ”The Machine that Changed the World”. Kirjassaan he etsivät syitä, jotka johtivat japanilaisen autoteollisuuden valtavaan menestykseen. Käytettyjen tekniikoiden ja toimintatapojen pohjalta luotiin Lean-filosofia, jonka tarkoituksena ei ole tehdä enemmän töitä vaan tehdä enemmän töitä vähemmällä vaivalla. Lean käsitteenä sen sijaan juontaa juurensa vuoden 1990 IMVP-tutkimukseen (International Motor Vehicle Program). IMVP:ssä tutkittiin maailman autoteollisuuden tilaa ja etsittiin syitä menestyneimpien valmistajien etumatkaan. Näitä valmistajia alettiin kutsumaan Lean-yrityksiksi ja niiden käyttämät menetelmät kuuluvat Lean-toimintaan. (Womack, Jones & Roos 1990, 54; Salminen & Uitti 1997, 165.)

Lean-toiminta on ohutta, nuukaa ja kevyttä, sillä Lean-tuotanto käyttää kaikkea tehokkaammin ja vähemmän kuin massatuotanto. Lean-toimintatavalla pystytään tuottamaan parempia tuotteita enemmän käyttämällä vähemmän resursseja ja palvelemaan asiakkaitaan nopeammin. Lean pyrkii kaikessa täydellisyyteen, vaikka sitä ei välttämättä ikinä saavutettaisikaan. Jatkuvalle kehitykselle alennetaan kustannuksia, pyritään laadussa nollavirheeseen ja prosessissa nollavarastoihin. (Salminen & Utti 1997, 165.)

Lean ei ole siis tila, johon pyritään, vaan Lean on jatkuva oppimisen ja kehittymisen prosessi, joka lähtee liikkeelle oppimalla Lean-tekniikoita ja ymmärtämällä niiden periaatteet elävänä ja jatkuvasti kehittyvänä järjestelmänä. (Tuominen 2010, V.) Lean-tuotantoon siirtyminen ei tapahdu välittömästi, vaan useimmiten saavutetut hyödyt alkavat näkymään vasta vuosien päästä. Tämä on yksi syy, miksi monet Lean-projektit

ovat epäonnistuneet, sillä muutokselle ei ole annettu tarpeeksi aikaa ja kärsivällisyyttä. Näiden lisäksi Lean tarvitsee onnistuakseen myös kattavasti ymmärrystä ja koko yrityksen henkilöstön sitoutumisen muutokseen. (Liker 2006, 7.)

Toyotan mukaan Lean on prosessijohtamisen filosofia, joka keskittyy parantamaan asiakkaan kokemaa arvoa kasvattamalla prosessin keskimääräistä **virtausta** ja **läpimenoa** sekä poistamalla arvon muodostusta tai läpimenoa estävää **hukkaa**. (Piirainen 2014.)

### 3.1.2 Virtaus

Lean-tuotannon kehitys edellyttää tuotannon virtauttamista. Virtauttamisen päätaavoite on valmistaa tuotteita nopeasti valmiiksi välittömän tarpeen perusteella. Käytännössä tällä tarkoitetaan tuotteiden valmistusta toistuvissa pienerissä joko tilauskannan tai varastotarpeen perusteella. Tuotanto pyritään virtauttamaan pysähtymättömäksi ketjuksi, jossa KET:n eli keskeneräisen tuotannon määrä ja varastot pyritään pitämään mahdollisimman pieninä. (Kouri 2009, 20.) Virtaus käynnistyy asiakastilauksesta, ja prosessi käynnistyy noutamalla tilauksessa tarvittava määrä raaka-ainetta. Sen jälkeen raaka-aineet kulkevat välittömästi tehtaan työntekijöille, jotka valmistavat ja kokoavat asiakkaan haluaman tilauksen. Koko prosessin olisi tarkoitus kestää viikkojen tai kuukausien sijasta muutamia tunteja tai päiviä. (Liker 2006, 90.)

Jatkuvan virran ymmärtämiseksi vanha ajattelutapa tulee muuttua. Useimmiten ihmiset vain olettavat tietyn valmistusprosessin kestävän päiviä tai viikkoja eivätkä osaa ajatella, että sama työ voitaisiin tehdä tunneissa, ellei jopa minuuteissa. On tärkeää selvittää, mikä aikaa kuluttaa. (Liker 2006, 88.)

Virtauksen tehostaminen nostaa nopeasti esiin tuotantoprosessin ongelmakohtat kuten esimerkiksi laatuongelmat ja konehäiriöt. Valmistettaessa yksi tuote kerrallaan voi esiin noussut ongelmakohta pahimmillaan jopa pysäyttää koko tuotantolinjan, jolloin ongelmakohta on pakko ratkaista nopeasti. Virtauttaminen pakottaa siis poistamaan laatuhäiriöitä, kehittämään tuotannon luotettavuutta ja lisäämään toiminnan suunnitelmallisuutta. (Kouri 2009, 21; Tuominen 2010, 72–73.)

Virtaukseen vaikuttaa myös erityisesti tuotannon tasaisuus, eli tuotannon ketju pysyy pysähtymättömänä (Liker 2006, 90). Tuotannon tasoitus vaatii usein tuote-erien pienentämistä pieniin säännöllisesti toistuviin eriin asiakastarpeen mukaisesti. Tällä tavalla saavutetaan tuotannon tehokas virtaus, vältetään turhaa varastointia sekä vähennetään keskeneräisen tuotannon määrää. Haittapuolena tosin voidaan pitää lisääntyviä tuotevaihtoja ja niistä johtuvien asetusaikojen kasvua. Tasoitettu tuotanto edellyttääkin tästä syystä lyhyitä asetusaikoja ja pieniä asetuskustannuksia. (Kouri 2009, 18.)

Tasoitetulla tuotannolla saavutetut edut ovat

- työvoiman ja koneiden tasainen kuormitus
- materiaalin kulutuksen tasoittuminen
- varastointitarpeen vähentäminen
- Tuotannon joustavuus asiakastarpeen mukaisesti
- Toimittajien ja alihankkijoiden helpompi ohjattavuus

(Kouri 2009, 18).

Käytännössä tasoitettu tuotanto on pienerätuotantoa, jossa tuotetaan tasaisesti eri tuotteita tai variaatioita. Tällöin on mahdollista vastata vaihtelevaan kysyntään muuttamatta päivittäistä työtahtia tai tahtiaikaa. (Kouri 2009, 19.)

Työntekijän näkökulmasta pienerätuotanto lisää automaattisesti päivittäin tehtävien asetusten määrää, mutta tällöin huomio tulee kohdistaa asetusaikojen ja -tekniikoiden kehitykseen. Toimiva pienerätuotanto lisää työntekijän työn vaihtelevuutta, tasoittaa työtahtia, vakauttaa ja systematisoi tuotantoa ja vähentää yleistä sähläämistä ja suunnitelmien muutoksia. (Kouri 2009, 19.)

### **3.1.3 Läpimeno**

Virtauksen tehokkuutta voidaan mitata tuotannon läpäisyajalla (Kouri 2009, 20). Yleisesti voidaan ajatella, että tilauksen läpäisyajan määrittävät materiaalihankintojen

vaatima aika ja oman valmistuksen läpäisy aika. Valmistuksen läpäisy aikaa dominoivat kuitenkin vaiheen alkamiseen liittyvät odotusajat. Työvaiheet itsessään muodostavat usein vain pienen osuuden läpäisy ajasta. Tuotantoprosessin odotusaikojen määrä kasvaa vaiheiden lukumäärän mukana. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 53.)

Läpäisy aika kuvaa hyvin tuotantojärjestelmän toimivuutta. Lyhyt läpäisy aika on indikaattori hyvin toimivasta, joustavasta ja tehokkaasta tuotannosta. Lyhyt läpäisy aika antaa myös mahdollisuuden lyhyisiin toimitusaikoihin, ja se tuo pelivaraa tuotannon ajoitukseen ja helpottaa näin tuotannon ohjattavuutta. Lyhyen läpäisy ajan tuotannossa tilauksia tehdään peräkkäin ja vähemmän rinnakkain kuin pitkän läpäisy ajan valmistuksessa. Tällöin töitä on vähemmän samanaikaisesti tekeillä ja hoidettavana, työjärjestely on helpompaa ja keskeneräiseen tuotantoon sidottu pääoma on pienempi. Keskeneräinen tuotanto eli KET on lähes suoraan verrannollinen läpäisy aikaan. (Lapinleimu ym. 1997, 55.)

Läpäisy aikaa voidaan lyhentää yleisesti layoutin keinoilla: selkeytetään tuotannon materiaalivirtoja ja sijoitetaan työpisteitä lähemmäksi, jolloin niiden väliset siirrot lyhenevät ja välivarastot pienenevät. Läpäisy aikaan voidaan yleisesti vaikuttaa myös työvuorojärjestelyillä siirtymällä esimerkiksi kahteen tai useampaan työvuoroon. Näiden lisäksi muita yleisiä läpäisy ajan lyhentämisen kehityskeinoja ovat

- nykytilanteen läpäisy aikakuvauksen laadinta
- tuotannon virtaus ja työvaiheiden yhdistys
- eräkokojen puolitus
- odotus-, varastointi- ja kuljetustarpeiden vähennys
- ohjauksen visualisointi ja imuohjaus
- tuotantoprosessien ja työpisteiden layoutsuunnittelu
- tuotanto- ja apulaitteiden kehitys
- asetusaikojen lyhennys.

(Larikka, Heinilä, Selin & Tuominen 2007, 146.)

Asiakasohjautuvassa tuotannossa, kuten HT Laser Oy:n tapauksessa, valmistus asiakastilauksen perusteella edellyttää valmistuksen läpäisy ajan saamista huomattavasti haluttua toimitusaikaa lyhyemmäksi. Jos vaadittu toimitusaika ja oman valmistuksen

läpäisy aika ovat yhtä suuret, kuormitus tehtaalla vaihtelee myynnin tahdissa, mikä ei anna hyvää tulosta yritykselle. Asiakasohjautuvassa valmistuksessa ei tarvita tuotevarastoja eikä puolivalmisteverastoja. (Lapinleimu ym. 1997, 55.)

Yleisesti osavalmistuksen läpimenoaikaa voidaan lyhentää vaiheketjua lyhentämällä joko konstruktio muutoksin, monitoimisoin konein tai yhdistämällä vaiheita soluperusteisella valmistusjärjestelmällä. (Lapinleimu ym. 1997, 56.)

### 3.1.4 Hukka

Hukka on käsite, joka on luotu ei-arvoa lisäävän ajan rinnalle. Hukka voidaan jakaa karkeasti kolmeen luokkaan, Mudaan, Muraan ja Muriin. (Piirainen 2014.)

Muda (waste) on yleisimmin tunnettu ja käytetyin hukan muoto Lean-tuotantoa harjoittavissa yrityksissä (Piirainen 2014). Jeffrey K. Liker luettelee kirjassaan ”Toyotan tapaan” (Liker 2006, 28–29.) kahdeksan Mudan hukkatyyppiä:

#### 1. Ylituotanto

Tuotannossa valmistetaan osia, vaikka niille ei olisi vielä edes tilausta. Ylituotanto aiheuttaa henkilökunnan tarpeetonta palkkaamista sekä varasto- ja kuljetuskustannusten kasvua.

#### 2. Odottelu

Työntekijä joutuu seuraamaan automatisoitua konetta, seisoskelemaan odotellen seuraavaa käsittelyvaihetta, työkalua, toimitusta, komponenttia jne.

#### 3. Tarpeeton kuljettelu

Keskeneräistä työtä kuljetellaan pitkiä matkoja, luodaan tehotonta kuljetusta tai materiaalia siirrellään tarpeettomasti prosessin sisällä tai varastossa.

#### 4. Ylikäsittely tai virheellinen käsittely

Tuotteen käsittely on hidasta ja tehotonta keuhkojen työkalujen tai tuotesuunnittelun johdosta. Virheitä esiintyy ja liikutaan tarpeettomasti. Tuotanto tuottaa tarvetta laadukkaampia tuotteita synnyttäen näin hukkaa.

#### 5. Tarpeettomat varastot

Tarpeettomissa varastoissa on liikaa keskeneräistä tuotantoa, valmiita tuotteita tai raakamateriaalia, mistä seuraa pidempiä läpimenoaikoja, viivettä ja

turhia kuljetus- ja varastointikustannuksia. Suuret varastot aiheuttavat tuotannon epätasapainoa, myöhästyneitä toimituksia alihankkijoilta sekä vikoja.

#### 6. **Tarpeeton liikkuminen**

Työkaluja ja osia etsitään, työpisteillä kurkotellaan, pinotaan ja liikutaan turhaan. Tarpeeton kävely luokitellaan hukaksi.

#### 7. **Viat**

Virheellisiä tuotteita korjataan ja tarkastetaan. Tämä aiheuttaa turhaa käsitteilyä, tarpeetonta työtä ja hukattua aikaa.

#### 8. **Työntekijän luovuuden käyttämättä jättäminen**

Työntekijöiden taitoja, parannuksia, ideoita ja oppimismahdollisuuksia hukataan jos heitä ei kuunnella tai sitouteta prosessiin.

Näistä kahdeksasta hukasta merkittävimpänä voidaan pitää ylituotantoa, sillä se helposti johtaa muihin arvoa tuottamattomiin töihin ja pääomaa sitoviin prosesseihin, kuten välivarastoihin. Suuret välivarastot sen sijaan vaikeuttavat tuotannon kulkua ja laskevat motivaatiota kehittää toimintaa jatkuvan parantamisen mukaisesti. (Greasley 2013, 297–300; Liker 2006, 29.)

Mura (unevenness) on epätasapainoa, joka pystytään havaitsemaan mistä tahansa toiminnasta. Tätä ei ole pelkästään tuotantolinjan epätasapaino vaan mikä tahansa toiminta tai työsuoritus, joka ei tapahdu tasapainossa. Täydellistä tasapainoa on tuotannossa mahdoton saavuttaa, sillä prosessissa on aina vaihtelua. Vaihtelua tarkkailemalla ja mittaamalla paljastuu kuitenkin läpimenon este eli pullonkaula. (Piirainen 2014; McManus 2013.)

Muri (overburden) on ylikuormitusta, joka kohdistuu työsuorituksen tekevään kohteeseen. Kuten Mura, tämäkään ei käsittele vain konetta, linjaa tai tehdasta vaan kaikkia toimintoja, missä tapahtuu arvon lisäämistä. Koska kysynnän ja ominaispiirteiden muodostumisaika aina vaihtelee, vaikeutuu näin ollen myös kuormituksen suunnittelu. Ylikuormitus paljastaa kuormitusongelman, josta tulee päästä eroon tasapainottamalla tuotantoprosessia. (Piirainen 2014, McManus 2013.)

Hukan muodoista Mura ja Muri usein sivutetaan yrityksissä ja keskitytään ainoastaan Mudaan. Muda on hukan muodoista helpoin kertoa ja ymmärtää, mutta se ei silti tarkoita, että Muda olisi tärkeämpi kuin muut muodot. (Piirainen 2014.)

Hukan määrittelyistä huomataan, että hukka on aina seuraus jostakin. Hukkien tunnistaminen on keino nostaa ongelmakohtat prosessissa esiin. (Piirainen 2014.) Hukan tunnistamisen helpottamiseksi on kehitetty työkaluja.

## 3.2 Lean-kehitystyökalut

Koska tämän opinnäytetyön tehtävänä oli kartoittaa yrityksen tuotannon nykytilaa Lean-tuotantomallin mukaisesti, on tämän luvun pääpaino niillä kehitystyökaluilla ja -menetelmillä, jotka liittyvät nykytilan kartoitukseen. Muista yleisesti käytössä olevista Lean-työkaluista ja -menetelmistä on kerrottu tämän osion lopussa pääpiirteittäin.

### Tahtiaika-analyysi

Tahtiaika-analyysillä pyritään kartoittamaan kysynnän avulla valmistusprosessin vaiheiden tahtiaika, jolla kysyntä saavutetaan (Bicheno & Holweg 2009, 142). Tahtiaika-analyysiin liittyy vahvasti myös käsite Takt time eli tavoitetahtiaika, joka lasketaan jakamalla käytössä oleva kapasiteetti kysynnällä. Kapasiteetilla tarkoitetaan tässä yhteydessä käytössä olevaa tehokasta työaikaa. Takt time voidaan laskea kaavalla 1. Kysyntä käsittää kappalemäärän halutulla ajanjaksolla.

$$Takt\ time = \frac{Kapasiteetti(tehokas\ työaika)}{Kysyntä(kappalemäärä)} \quad (1)$$

(Manos & Vincent 2012, 180; Bicheno & Holweg 2009, 142.)

Takt timea laskettaessa on syytä ottaa huomioon myös se, että tahtiaika voi vaihdella prosessin sisällä, esimerkiksi jos jokin vaihe tekee useampaa työvuoroa. Tahtiaika voi myös vaihdella vuoden sisällä montakin kertaa. On myös teollisuudenaloja, joissa Takt timen laskemisesta ei ole hyötyä. Tällaisia epäsäännöllisiä teollisuudenaloja ovat

esimerkiksi suunnittelun, laivarakennuksen ja sarjatuotannon teollisuusalat. Näissä tapauksissa kapasiteetin hallinta ja joustavuus ovat tärkeämmässä roolissa. (Bicheno & Holweg 2009, 98.)

Tahtiaika-analyysiin sisällytetään Takt timen lisäksi prosessin vaiheaikojen vertailu. Tämän avulla voidaan esimerkiksi löytää prosessin pullonkaulavaiheet ja näin priorisoida kehityskohteet tehokkaasti. Mahdollisten pullokaulavaiheiden löytämisen jälkeen prosessia pyritään kehittämään mahdollisimman tasaiseksi. (Manos & Vincent 2012, 180–192.)

### **Laadun kartoitus**

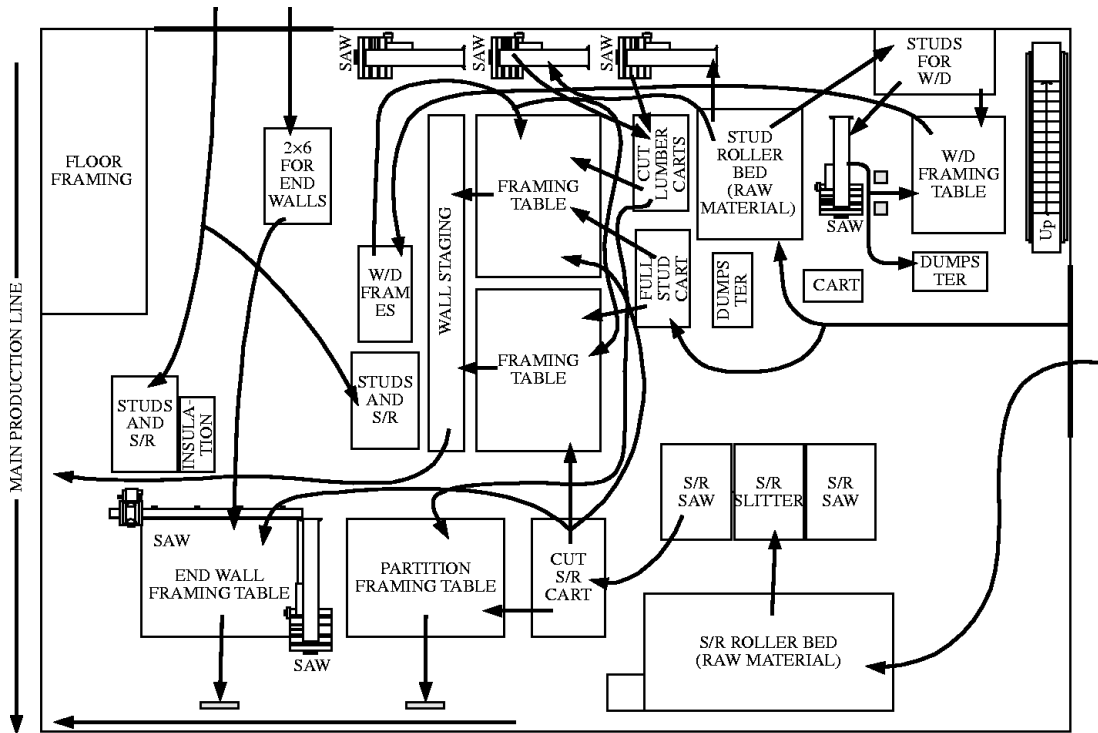
Laadun kartoitus on työkalu, jolla kartoitetaan prosessista mahdollisia virheitä ja niiden lähteitä. Laadun kartoitustyökalu on Six Sigma -filosofian hajontaa vähentäviä menetelmiä. Laadun kartoituksella on tarkoituksena mitata havaitut huonot ja korjausta vaativat tuotteet ja näin selvittää prosessissa tapahtuvat virheet ja niiden syyt. (Bicheno & Holweg 2009, 171.)

Laadun kartoituksessa käytetään yleisesti apuna Pareto-kaaviota. Pareto-kaavion tekeminen alkaa ongelman määrittelystä. Kun ongelma on määritetty, voidaan päättää mitä tietoja ongelmasta tarvitaan ja kuinka ne luokitellaan. Kerättyjen ja päätettyjen tietojen perusteella laaditaan pylväsdiagrammi, johon lisätään virheiden kumulatiivista prosenttiosuutta osoittava käyrä. Pareto-periaatteen tarkoitus on kertoa, että vain muutamat harvat tekijät aiheuttavat suurimman osan ongelmista. Pareto-kaavion perimmäinen tarkoitus on auttaa fokusoitumaan niihin syihin, joilla on suurin vaikutus. (Bicheno & Holweg 2009, 58; Karjalainen & Karjalainen 2008, 157.)

### **Spagettikaavio**

Spagettikaaviolla kuvataan työkappaleen kulkemaa matkaa prosessin aikana. Spagettikaavio piirretään usein layoutkuvan tai pohjapiirroksen päälle, jolloin nähdään visuaalisesti mahdolliset hukkaa aiheuttavat ylimääräiset siirtelyt ja liikkeet. Syntynyt kuva muistuttaa spagettia tuotantovirtoineen, tästä johtuu nimi spagettikaavio. Spagettikaavio on yksinkertainen, mutta tehokas tapa kartoittaa hukkaa. Yleensä kartoituksen lopussa tuotteen kulkema matka lasketaan yhteen, jolloin saadaan selkeä

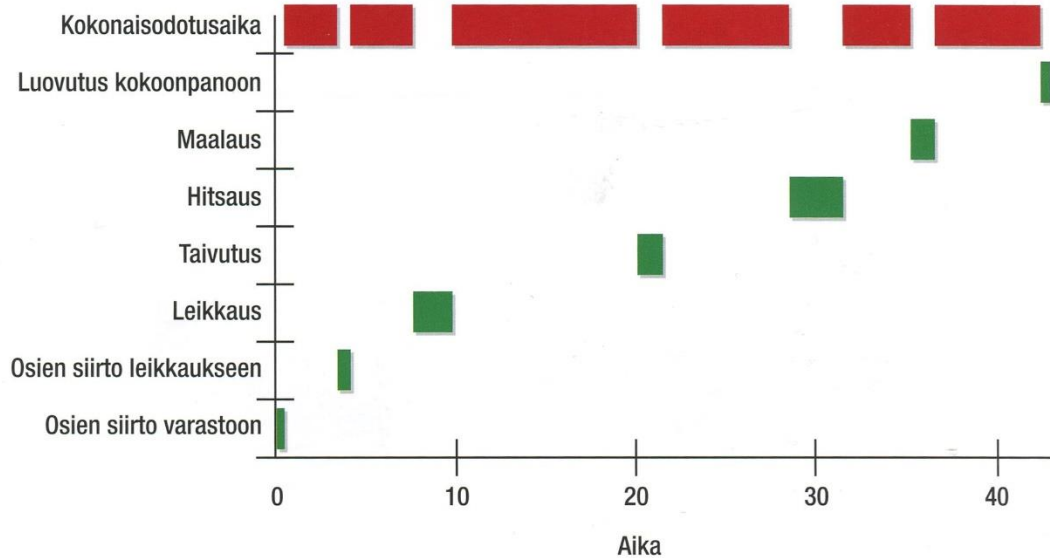
kuva layoutin tehokkuudesta ja hukan määrästä. (Bicheno & Holweg 2009, 106.) Esimerkki tyypillisestä spagettikaaviosta on esitetty kuviossa 7.



Kuvio 7. Spagettikaavio (Nahmens & Mullens 2009)

### Läpäisyaikakaavio

Läpäisyaikakaavio kuvaa kaikki prosessin aikaa lisäävät työvaiheet järjestyksessä työtilauksen saapumisesta tuotteen tai palvelun toimitukseen. Vaiheiden kartoituksen jälkeen voidaan käyttää uudestaan laatukartoituksessa käytettyä Pareto-kaaviota, jolloin prosessin suurimmat ongelmakohdat löydetään yksinkertaisesti. Läpäisyaikakaaviolla on tärkeä rooli läpimenoajan lyhentämisessä. (Bicheno & Holweg 2009, 95.) Kuviossa 8 on esitetty tyypillinen läpäisyaikakaavio.



Kuvio 8. Läpäisyajakaavio (Larikka ym. 2007, 139.)

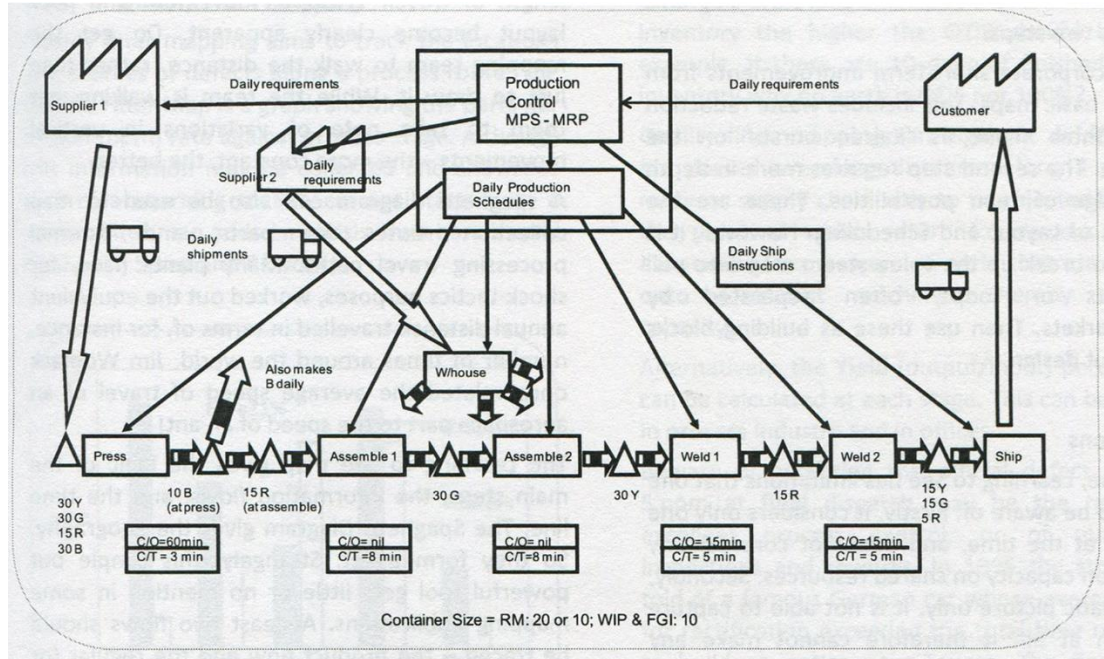
Läpäisyajakaavio on helpointa toteuttaa seurantalomakkeella eli niin sanotulla datakortilla. Datakorttiin merkitään tuotannon valmistusvaiheet, työajat ja päivämäärät, jolloin odotusaika voidaan laskea seurannan jälkeen helposti taulukkolaskennan avulla. Datakortti asetetaan tämän jälkeen valmistettavan tuotteen mukaan. Seurannan pääasiallisena tarkoituksena on antaa tietoa käytettävästä toimintatavasta, ja tarkastelun tuloksia analysoitaessa on helppoa löytää suurimmat odotusvaiheet ja ongelmakohtat. (Larikka ym. 2007, 138–142.)

### Arvovirtakuvaus (VSM)

Arvovirtakuvaus eli Value Stream Map (VSM) on alun perin Toyotalla käytössä ollut tapa käsitellä prosessia. Toyotalla arvovirtakuvaus kehitettiin 1950, ja maailmalaajuiseen jakeluun se tuli 1997, kun Peter Hines ja Nick Rich julkaisivat artikkelinsa ”The Seven Value Stream Mapping Tools”. VSM auttaa ymmärtämään prosessin toimintaa tehtaan lattiatasolla ja nostamaan hukan konkreettisesti ja yksinkertaisesti esiin. VSM:n avulla parannustarve prosessin sisällä havainnollistetaan, tunnistetaan ja priorisoidaan. (Liker 2006, 275; Väisänen 2013b.)

Arvovirtakuvauksessa kuvataan prosessin vaiheet, yhteydet, tapahtumien taajuudet, varastojen määrät ja prosessien ajat yhdelle lomakkeelle. Arvovirta-analyysiä tehdessä tulee tietää tuotannon tuotantoajat, asetusaajat, informaatiovirrat ja prosessin

läpäisy aika. VSM-lomakkeesta nähdään, kuinka eri prosessitoiminnot kommunikoivat tuotannonohjauksen ja toistensa kanssa. Mahdolliset ongelmat ja hukan lähteet paikannetaan, pullonkaulakohtat havaitaan, KET- ja materiaalivarastot tunnistetaan sekä huomataan mahdolliset turvallisuus- tai laitepuutteet. (Väisänen 2013b; Kokkonen 2007.) Kuviossa 9 on esitetty esimerkkikuvio VSM-kaaviosta.



Kuvio 9. VSM-kaavio (Bicheno & Holweg 2009, 105.)

Yleensä arvovirran määrittää asiakas, kuten HT Laser Oy:n tapauksessa, mutta näin ei välttämättä ole aina. Arvovirran määrittämiseen tässä tapauksessa on kaksi tapaa, tuotemäärä-analyysi (PQ) tai tuotereitti-analyysi (PR). Ensin pyritään löytämään tuotemäärä- eli PQ-analyysillä, onko jonkin tuotteen volyyymi muita tuotteita suurempi ja näin ollen perusteltu valinta arvovirran määrittämiseen. Tässä käytetään hyväksi jo aiemmin laatukartoituksessa käytettyä Pareto-kaaviota, jonka avulla nähdään tuotteiden määrät. Mikäli PQ-analyysillä ei mitään tiettyä tuotetta löydy, siirrytään tuotereitti- eli PR-analyysiin. PR-analyysissä ryhmitellään tuotteet sen mukaisesti, miten ne kulkevat prosessissa. Se tuotereitti, jolla on suurin volyyymi, valitaan arvovirraksi. (Väisänen 2013b.)

VSM-kartoituksen tavoitteena on yksinkertaisesti virtaviivaistaa työnkulkua valitun prosessin eli arvovirran kohdalla. VSM-kartoituksella kuvataan siis ensin nykytila ja

kun nykytila tiedetään, voidaan alkaa kehittämään tulevaisuuden tilaa. Tulevaisuuden tilassa hukkaa pyritään vähentämään ja tuotteiden ja informaation virtausta muuttamaan vapaammaksi ja tehokkaammaksi. (Piirainen 2008.)

### **Muut työkalut**

Seuraavaksi on esitelty hieman muita yleisiä Lean-työkaluja ja -menetelmiä, joiden käyttö on yleistä ja suosittua Lean-yrityksissä. Näitä ei tämän opinnäytetyön aikana kuitenkaan käytetty, koska ne eivät palvele nykytilan kartoitusta. Niiden käyttö sen sijaan tulevaisuudessa on yrityksessä suositeltavaa ja todennäköistä, jotta saavutetaan ja ylläpidetään haluttu Lean-tuotantomallin mukainen tuotanto. Seuraavat yleiset Lean-työkalut ja -menetelmät on jaettu tuotannon, laadun, kunnossapidon ja järjestyksen osa-alueisiin.

### **Tuotanto:**

- **Kanban**

Kanban tarkoittaa merkkiä, kylttiä, ovilaattaa, julistetta, mainostaulua tai korttia, mutta se voidaan tulkita laajemmin yleiseksi signaaliksi. Kanban on Toyotan kehittämä työkalu imuohjauksen rinnalle. Kanban helpottaa tuotannon visuaalista ohjausta. Ihanteellisessa tapauksessa osatoimittaja tai edellinen työvaihe näkee imuvarastossa olevan tyhjän aukon, joka toimii signaalina aloittaa uuden osan tuotanto. Todellisuudessa tuotantotilat ovat kuitenkin niin suuria, että työpisteet ovat niin kaukana toisistaan, että signaaliksi ei riitä enää pelkkä nähtävissä oleva puute varastossa. Kanban-järjestelmässä sen sijaan lähetetään signaalina esimerkiksi kortti, tyhjä laatikko tai kärry edelliselle työvaiheelle. Näin Kanbanilla siis hallitaan tuotannon ja materiaalin virtausta JIT-tuotannossa. (Liker 2010, 106–107.)

- **JIT**

JIT-tuotanto (Just-In-Time/Juuri oikeaan aikaan) on Japanissa syntynyt toimintamalli. JIT-tuotannon lähtökohtana on asetusaikojen lyhennys, sillä tällöin ei ole enää välttämätöntä tehdä suuria eriä, jotta tuotanto olisi tehokasta. Kun

asetusajoissa on saavutettu se piste, jolloin asetusajat ovat lyhimmillään, voidaan halutut osat ja tuotteet valmistaa milloin tahansa nopeasti pienerissä. JIT-toimintaperiaate edellyttää selkeää layoutia ja yksinkertaista materiaalivirtaa, jossa kuljetusmatkat ovat lyhyitä. JIT-periaatteen mukaan layout suunnitellaan tuotteen työkulun ehdoilla. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Miettinen 2009, 428.)

### **Laatu:**

- **Kaizen**

Kaizen tarkoittaa kehitystä, mutta Lean-toiminnassa sillä tarkoitetaan toiminnan jatkuvaa ja systemaattista kehitystä. Kehitystoiminta toteutetaan pienryhmissä, joissa perehdytetään esille tulleisiin ongelma-kohtiin, suunnitellaan ratkaisut ja toteutetaan ne. Ongelmakohtat tulee nähdä tilaisuutena kehittää laatua, tehokkuutta ja työturvallisuutta. Prosessien toimivuuden ja laadun kehittäminen parantaa yleisesti koko yrityksen toimintaa ja kannattavuutta. (Kouri 2010, 14.)

- **TQM**

TQM tulee sanoista Total Quality Management, joka voidaan kääntää kokonaisvaltaiseksi laatujohtamiseksi. TQM on Japanissa kehitetty johtamistapa, jonka lähtökohtana on se, että laatu on yrityksen tärkein menestystekijä. TQM-ajattelun mukaisesti laatu-tason kohotessa tuotteen valmistuksesta aiheutuvat kustannukset laskevat, tuottavuus paranee ja myynti tehostuu. (Uitti & Salminen 1996, 73.)

TQM on sovellettavissa kaiken tyyppiseen liiketoimintaan, eikä sen käyttö riipu käytetystä teknologiasta tai tuotantojärjestelmästä. Ainoa vaatimus TQM-järjestelmässä on se, että tuotantojärjestelmä kykenee tuottamaan tarkalleen määräysten mukaisia tuotteita. TQM-järjestelmässä jokainen työvaihe ja työntekijä vastaavat omasta laadustaan, tällöin erillistä laatu-tarkastusta ei tarvita. Prosessin korkea laatu automaattisesti johtaa tuotteen korkeaan laatuun. (Uitti & Salminen 1996, 74.)

- **Poka-Yoke**

Poka-Yokella tarkoitetaan "virheitä osoittavaa järjestelmää". Poka-Yoke järjestelmällä pyritään eliminoimaan virheet prosessista ennen kuin ne tapahtuvat. Tällä tavoin voidaan saavuttaa nollavirhetaso valmistusprosessissa. Poka-Yoke yrityksessä prosessi on luotava sellaiseksi, että työntekijä tai valmistuskone ei voi tehdä työvaihettaan muuten kuin yhdellä tavalla. Tällöin virheiden alkuperä työntekijöiden suorittamien tarkastusten kautta välittömästi esiin ja siihen tartutaan välittömästi. Tällöin korjaustoimenpiteisiin kuluva aika voidaan minimoida. (Burton & Boeder 2003, 118–119)

### **Kunnossapito ja järjestys:**

- **TPM**

TPM tulee sanoista Total Productive Maintenance ja tarkoittaa kokonaisvaltaista tuottavaa kunnossapitoa. TPM on toimintamalli, jonka mukaisesti kunnossapitoa tarkastellaan yrityksen tuotantoprosessiin kuuluvana osana. TPM:n päämääränä on lisätä laitteiden ja järjestelmien kokonaistehokkuutta maksimoimalla ja ylläpitämällä jokaisten yksittäisten valmistuksen osatekijöiden tehokkuus. Yksi TPM:n peruseräiteistä on vähentää systemaattisesti virheitä ja pyrkiä tilanteeseen, jossa vikojen ja virheiden määrä on nolla. TPM ei kuitenkaan rajoitu käsittelemään ainoastaan vikoja vaan pyrkii parantamaan myös laitteiden kokonaistehokkuutta. Koneen tai laitteen suurimmiksi tehokkuutta rajoittaviksi tekijöiksi voidaan laskea odottamattomat laiteviat, asetusajat ja säädöt, tyhjäkäynti ja pienet pysähdykset, alhaisen käyntinopeuden aiheuttamat menetykset, laatuvirheiden ja uusintatyön häviöt sekä käynnistysvaiheen aiheuttamat huonolaatuiset tuotteet. (Lapinleimu ym. 1997, 378–380.)

- **5S**

5S on käytännön työkalu, jolla voidaan huolehtia siisteyden ja järjestyksen kehittamisestä ja ylläpidosta. 5S:n perimmäinen tarkoitus on pyrkiä kehittämään systemaattisuutta ja kurinalaisuutta. 5S:n nimi tulee japaninkielisestä

sanoista seiri (lajittele), seiton (järjestä), seiso (puhdistusta ja huolla), seiketsu (vakiinnuta toimenpiteet) ja shitsuke (ylläpidä). 5S ei ole siivousohjelma, vaan se on Leaniin perustuva toimintamalli. Tehokas toiminta sekä hukkien tunnistus ja poisto eivät ole mahdollisia, jos työympäristö ei ole siisti ja selkeä. (Kouri 2010, 26–27.)

## 4 Mittarointi

Mittaamisen tavoitteena on ymmärtää paremmin prosessin toimintaa. Mittareilla seurataan valmistusprosessin tuottavuutta, laatua, läpäisyäikää, keskeneräistä tuotantoa sekä erilaisten hukkien esiintymistä. Mittareiden tarkoitus ei ole valvoa työntekijöitä, sillä tuotantotavoitteet määrittävät työntekijöiltä odotettavan normaalin suoritustason. (Kouri 2009, 28.)

Mittareita on tärkeää päivittää usein. Mittaamisen tarkoituksena on havaita mahdolliset ongelmat ja poikkeamat välittömästi, joten mittaamisen ja raportoinnin on oltava mahdollisimman ahkeraa. Mikäli tuotantomäärän tai laadun huomataan jäävän tavoitteista, selvitetään välittömästi, mitkä tekijät ovat olleet estämässä hyvää suoritusta. Näin toimimalla varmistetaan, että tuotantoon liittyvät ongelmat ja häiriöt saadaan esiin ja ratkaistuksi. (Kouri 2009, 28.)

Mittareiden on oltava yksinkertaisia ja selkeitä. Mittaamisella keskitytään yrityksen liiketoiminnan kannalta oleellisiin asioihin. Mittareita on lukumäärällisesti vain muutamia, mutta niitä seurataan tiheästi. Lean-tuotannossa on tärkeää keskittyä valmistusprosessin tehokkuuden ja laadun jatkuvaan kehitykseen. Yrityksen johto tarvitsee mittaustietoja tuotannon johtamisen ja kehittämisen tueksi. Toimintaa ei voida kehittää, mikäli nykyistä suoritustasoa ei tiedetä. (Kouri 2009, 29.)

Yrityksen tuotannon suoritusta voidaan mitata kustannusten, laadun, ajan ja joustavuuden suhteen. Itse yrityksen toimintaa kuvaa parhaiten voitto eli tulos. Näiden lisäksi myös henkilöstön aktiivisuutta ja työtyytyväisyyttä tulisi tarkkailla. (Salminen &

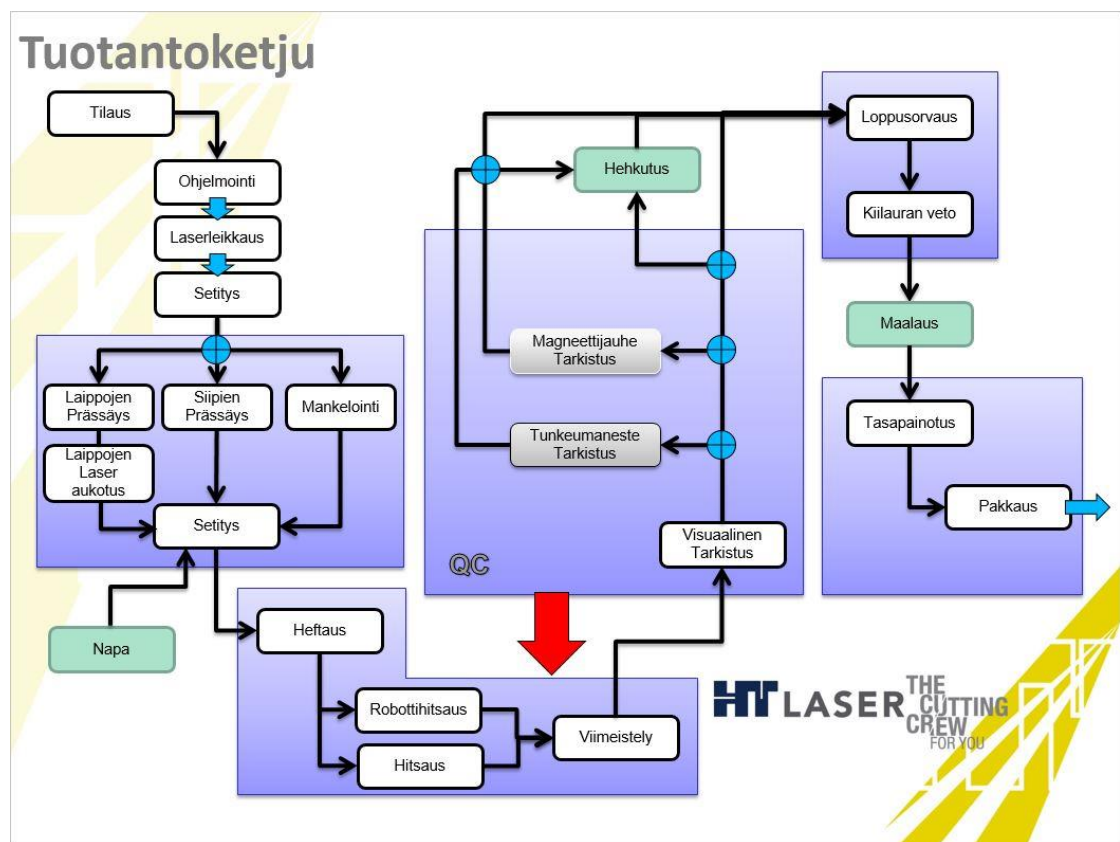
Uitti 1996, 174.) Seuraavaksi on lueteltu, kuinka näitä kyseisiä osa-alueita Lean yrityksessä yleisesti mitataan,

- **Kustannuksia** mitatessa voidaan käyttää mittarina työtunteja valmistunutta tuotetta kohden. Samoin voidaan myös käyttää tarvittavien raaka-aineiden määrää jokaista valmistunutta tuotetta kohden. Leanin tehokkuus perustuu juuri alhaisiin kustannuksiin. Myös varaston määrää tai pinta-alaa voidaan verrata suhteessa tuotantoon
- **Laatua** voidaan mitata esimerkiksi laatuvirheiden määrällä. Laatukustannuksia voidaan sen sijaan mitata romutettujen tuotteiden arvolla, reklamaatioiden lukumäärällä sekä tuotannon korjauskustannuksilla. Asiakkaan kokemaa laatua voidaan taas mitata merkkiuskollisuudella, myynnin kasvulla sekä asiakastytyväisyysmittauksilla.
- **Aikaa** Leanissa on helppo mitata, koska Lean vaikuttaa jokaisen vaiheen läpimenoaikaan merkittävästi. Hyvä mittari Leanin onnistunutta toteutusta mitattaessa on tuotesuunnittelun läpimenoaika. Tuotannon läpimenoaika sen sijaan luo hyvän vertailukohdan entiseen ja korreloi varastojen määrään. Sillä mitä nopeampi läpimenoaika, sitä vähemmän tarvitaan varastoja.
- **Joustavuutta** voidaan mitata asetusajkojen lyhennyksillä, tuotevariaatioiden määrällä sekä koneiden käyttöasteella. Joustavuuden olisi tarkoitus kasvaa huomattavasti siirryttäessä yksinkertaisiin ja käyttövarmoihin koneisiin. Käytännössä tämä tarkoittaa ei-erikoistuneiden ja monikäyttöisten koneiden suosimista erikoistuneiden sijaan.
- **Henkilöstöä ja työtyytyväisyyttä** voidaan mitata poissaolojen määrällä sekä työtytyväisyysmittauksilla. Henkilöstön aktiivisuutta ja yrittämistä kuvaa sen sijaan hyvin parannusehdotusten määrä.
- **Tulosta ja tuottavuutta** voidaan mitata parhaiten jakamalla tuotettu jalostusarvo palkkojen ja investointien summalla. Tällöin mittauksessa otetaan huomioon arvoa lisäävän työn painotus, pienet investoinnit tuotantovälineistöön sekä työntekijöiden tehokkuus. Liikevaihdon kehitys sen sijaan kuvaa asiakkaan näkemän laadun ja tuotesuunnittelun onnistumista. Nämä kaksi yhdistyy kannattavuutta laskevassa ROI-mittarissa.

(Salminen & Uitti 1996, 174–175.)

## 5 Tuulettimien valmistusprosessi

Jotta ymmärrämme jatkossa käsiteltävää nykytilan kartoitusta paremmin, selitetään tässä luvussa tuuletintuotteiden kulkema valmistusprosessi alusta pitäen kertoen pääpiirteet kunkin työvaiheen sisällä. Helpotusta prosessin etenemisen ymmärtämiseen saa kuvion 10 tuotantoketju-kuviosta, liitteessä 11 olevasta spagettikaaviosta ja liitteessä 13 olevasta VSM-kaaviosta. Näiden liitteiden kaavioiden tarkemmasta sisällöstä kerrotaan luvussa 6 Nykytilan kartoitus.



Kuvio 10. Tuuletinvalmistuksen tuotantoketju

Aivan aluksi asiakas tekee omaan tilausjärjestelmäänsä tilauksen, jossa hän ilmoittaa tarvitsemansa tuuletinmallin, lukumäärän ja muut vaatimukset kuten pintakäsittelyn, laatutarkastuksen ja niin edelleen. Tämän jälkeen asiakkaan tekemä tilaus jää asiakkaan sähköiseen tilausjärjestelmään, josta HT Laser Oy:n tilauskäsittelijä käy sen hakemassa. Saatuaan tietää asiakkaan tilauksen tilauskäsittelijä laskee sen hinnan, tilaa tarvittavan navan (jos sellaista ei ole varastossa) ja lähettää tilauksen sähköisesti edelleen HT Laser Oy:n Haapamäen yksikön tuotannosuunnittelijalle.

Tuotannosuunnittelija tekee ja tulostaa tilaukseen tarvittavan työkortin ja siirtää sen edelleen ohjelmointiin. Ohjelmoija tekee osien leikkaukseen tarvittavan leikkausohjelman laserleikkurille, minkä jälkeen työkortti siirtyy laserleikkurille. Laserleikkurin hoitaja syöttää tarvittavan ohjelman leikkuriin, asettaa halutun levyn leikkauspöydälle, leikkaa tarvittavat osat (etulevy, takalevy, siivet ja mahdolliset välilevyt), kerää ne nippuun trukkilavalle ja vie lavan seuraavaan työvaiheeseen eli syvävetoon.

Syvävedossa työntekijä tarkistaa työkortin mukana kulkevista piirustuksista tarvittavan takalevyn kartion halkaisijan ja syvyyden sekä etulevyn olakkeen korkeuden. Saatuaan nämä selville hän vaihtaa tarvittavat työkalut syvävetopuristimeen ja tekee tarvittavat syvävedot levyihin. Riippuen tuuletinmallista tulee myös siivet prässätä, jolloin prässäyksen suorittava työntekijä tarkistaa piirustuksista halutun kulman, vaihtaa tarvittavat työkalut puristimeen ja prässää siivet. Tämän jälkeen syvävedetyt ja prässätyt osat asetetaan uudestaan trukkilavalle työkortin kanssa.

Seuraavaksi lava tullaan trukilla hakemaan hitsausosastolle heppaushitsattavaksi. Trukkilava jätetään lattiaan piirrettyyn ruudukkoon jonoon. Tässä vaiheessa myös tuulettimet jaetaan jokainen omalle trukkilavalle, mikäli samalla työkortilla on useamman tuulettimen osat. Työkortista otetaan tarvittava määrä kopioita, jotta jokaisella tuulettimella on oma yksilöivä numeroitu työkorttinsa ja ohjeensa. Työjonosta tuuletin siirtyy omalla vuorollaan heppaushitsattavaksi. Ensiksi hitsaaja varmistaa osien helpon yhteen liittämisen hiomalla siipien ja levyosien reunat mahdollisten epätasaisuuksien varalta. Tämän jälkeen työntekijä säättää kiinnityspöydälle etulevyn, asettaa ensimmäisen siiven oikein etulevyyn ja aloittaa siipien heppaushitsauksen TIG-hitsauspolttimella ja lisäainelangalla. Saatuaan kaikki siivet kiinnitettyä asettelee työntekijä niiden päälle takalevyn eli levyn, johon on syvävedetty kartio. Saatuaan levyn asettumaan oikealle kohdalle työntekijä hitsaa myös loput heppaukset.

Tämän jälkeen tuuletin siirtyy napahitsaukseen heppaushitsaustyöpisteen viereen. Napahitsauksessa tuulettimen keskiö sijoitetaan oikeaan korkoon ja halkaisijamittaan teknisten piirustusten asettamien vaatimusten mukaisesti. Tuulettimien koneistetut navat tilataan alihankkijalta. Napojen mitat vaihtelevat tuuletinmallien mukana. Saa-

tuuan navan hitsattua tuulettimeen kiinni TIG-polttimella ja lisäainelangalla napahitsaaja siirtää tuulettimen takaisin trukkilavalle. Tämän jälkeen tuuletin kuljetetaan trukilla robottihitsauksen työjonon ruudukkoon.

Robottihitsauksen operaattori asettaa hepatun ja napahitsatun tuulettimen robottihitsaussolun syöttöpöydälle ja kiinnittää tuulettimen käsittelyrobotin kiinnityslaitteeseen. Operaattori asettaa hitsauksen automaatile tai käsiajolle, sen mukaan onko kyseistä tuuletinmallia hitsattu aikaisemmin ja kuinka monta kertaa. Mikäli samaa tuuletinmallia on ajettu aikaisemmin ja tällä välin ei ole tehty muutoksia hitsausparametreihin tai muihin vastaaviin säätöihin, voi robotin asettaa automaattiajolle. Mikäli taas ohjelman paikkansapitävyydestä ei voida olla varmoja, tulee hitsausohjelma ajaa käsiajolla, jolloin operaattori joutuu tarkistamaan hitsausparametrit, ajoradat, hitsauslaadun, mittatiedot ja muut vastaavat asetukset. Tämä vie, totta kai, huomattavasti enemmän aikaa kuin automaattiajo. Mikäli taas kyseiselle tuuletinmallille ei ole lainkaan tehty vielä ohjelmaa, tulee robottihitsaussolun ohjelmoijalle tehtäväksi tehdä se ensin robottivalmistajan tarjoamalla ohjelmalla, johon on ohjelmoitu koko hitsaussolu, tuulettimien 3d-mallit ja muut käyttöä helpottavat ominaisuudet. Yleisesti hitsausohjelmat löytyvät järjestelmästä tai ne ainakin ohjelmoidaan ennen kuin kyseinen ohjelmaton tuuletinmalli on kerennyt robottihitsaukseen asti. Robotti hitsaa ensin etulevyn puoleiset tulppahitsit, kääntää kappaleen, hitsaa takalevyn tulppahitsit, hitsaa samassa asennossa sisäpuolen pienahitsit, kääntää kappaleen, hitsaa sisäpuolen pienahitsit, kunnes robotti kääntää tuulettimen kyljelleen ja hitsaa navan saumahitsit. Tämän jälkeen käsittelyrobotti siirtää tuulettimen takaisin syöttöpöydälle ja ohjelma päättyy. Saatuaan ohjelman toimimaan ja tuulettimen hitsattua joko automaattisesti tai käsiajolla, siirtää operaattori tuulettimen syöttöpöydältä takaisin trukkilavalle työkorttinsa kanssa. Tämän jälkeen trukki tulee hakemaan tuulettimen takaisin hitsauspuolelle korjaushitsattavaksi.

Korjaushitsaukseen tuuletin tuodaan työjonoruudukkoon, josta se omalla vuorollaan otetaan korjattavaksi. Korjaushitsausta tarvitaan, koska robotilla ei ole saavutettu tilaa, jossa sillä tehtävät hitsit onnistuisivat virheettömästi aina. Lisäksi robottikäden hitsauspoltin ei aina mahdu kaikkia saumoja tekemään. Myös siipien päätyjen hitsaukset ovat helpompia ja nopeampia hitsata käsin. Tuulettimia voidaan joutua myös

oikaisemaan runsaastikin mahdollisten hitsausjännitysten vääntelyiden johdosta. Korjaushitsauksessa myös hiotaan hitsisaumojen kuvut tasaisiksi. Virheet ovat yleisiä ja jakaantuvat melko epätasaisesti eri tuulettimien kesken. Virheiden epätasainen jakaantuminen aiheuttaa suurta hajontaa korjaushitsausaikoihin. Pääosin korjaushitsauksessa käytetään parhaimman tuoton saavuttamiseksi MIG-hitsausta, tosin robotti- ja käsin hitsauksen saumat on yhdistettävä TIG-hitsaamalla. Korjaushitsaajia on tyypillisesti 3-4 paikalla. Saatuaan tuulettimen hitsattua valmiiksi korjaushitsaaja siirtää sen tarkastettavaksi.

Tarkastuksesta vastaa hitsaustarkastajan koulutuksen saanut henkilö, joka tarkistaa tuulettimen asiakkaan haluaman tarkastuksen mukaisesti. Yleisesti tuulettimilta vaaditaan visuaalinen tarkastus ja/tai tunkeumanestetarkastus. Mikäli tuuletin vaatii tunkeumanestetarkastuksen tarkastaja siirtää tuulettimen vesi-/ilmapisteelle, tekee tarvittavat toimenpiteet, tarkastaa tulokset ja siirtää tuulettimen valmiiden tuulettimien keräyspisteeseen. Tältä pisteeltä tuulettimet viedään lähettämöön, josta ne siirtyvät edelleen Keuruun yksikköön sorvattavaksi. Sorvauksessa tuuletin kiinnitetään pystykaraiseen sorviin, jossa tuulettimen sisäreikä sorvataan asiakkaan haluamaan halkaisijaan ja pinnanlaatuun. Sorvauksessa myös akselin tarvitsema kiilaura koneistetaan sisäreiän sisäsvulle.

Sorvauksen jälkeen tuuletin kuljetetaan alihankkijalle, joka suorittaa maalauksen. Tällä hetkellä tuulettimien kohdalla käytetään märkämaalausta, jolloin tuuletin vaatii myös useita päiviä kestävän kuivumisajan. Kuivuttuaan tuuletin kuljetetaan uudelleen Keuruun yksikköön, jossa tuulettimelle tehdään tasapainotuskoe ja mahdolliset tasapainotukset ennen tuulettimen pakkausta ja lähetystä asiakkaalle.

## **6 Nykytilan kartoitus**

### **6.1 Mittaroinnit**

Nykytilan kartoittamisessa tarvittiin tiedot eri työvaiheiden todenmukaisista tuotanto- ja asetusajoista. Aiemmin yrityksellä oli ollut käytössä vain työaikaseurannasta

saadut tuotantoajat, joiden luotettavuus ei ollut taattua. Mittarointien suunnittelu tehtiin sekä kvalitatiivista että kvantitatiivista tutkimusta mukailien kehittämisprojektiryhmässä. Suunnitteluun kuului pääasiassa mitattavien työvaiheiden, mittauslukumäärien sekä otannan rajaaminen. Käytännössä tämä tarkoitti mittausten keskittämistä jo oletettuun ongelmakohtaan eli hitsausprosessiin. Mittaukset suoritettiin kelloittamalla. Sopivaksi mittauslukumääräksi määritettiin vähintään kuusi kelloitusta hitsausprosessin ulkopuolisista työvaiheista sekä vähintään kymmenen kelloitusta hitsausprosessin sisäisistä työvaiheista. Kelloitettaviin työvaiheisiin laskettiin kuuluvaksi kaikki Haapamäen yksikön työvaiheet sekä mahdollisuuksien mukaisesti myös muut tuuletinvalmistuksen prosessivaiheet. Otanta sovittiin mittaajan itsensä päätettäväksi, kuitenkin mahdollisimman kattavaksi ja monipuoliseksi.

Mittaukset aloitettiin näiden kriteereiden mukaisesti lähtemällä seuraamaan kuutta eri tuuletinta. Seuranta aloitettiin ensimmäisestä tuotannon työvaiheesta eli leikkauksesta ja se päättyi Haapamäen yksikön viimeiseen työvaiheeseen eli tarkastukseen. Tarkoituksena oli prosessin edetessä ja mahdollisuuksien mukaan mitata samanaikaisesti myös muita tuotannossa olevia tuulettimia. Kelloitusmittausten ajantotto aloitettiin, kun työntekijä otti kyseessä olevan tuulettimen käsittelyyn. Ajantotossa otettiin eri ajat asetusajalle tai ohjelmointiajalle sekä itse tuottavalle työlle. Kelloitukseen ei otettu mukaan taukoja. Kelloitukset merkittiin muistivihkoon, jonka jälkeen ne siirrettiin Excel-taulukkoon. Kelloitettujen mittausten taulukko löytyy liitteestä 6.

Eri työvaiheita kelloitettaessa kirjattiin myös muistiin eri työvaiheiden työntekijöiden kehitysideoita ja ongelmakohtia kyseissä työpisteessä tai prosessissa yleisesti. Näihin palataan luvussa 7 Kehitystoimenpiteet myöhemmin.

Työaikojen kelloitus onnistui hyvin ja fokuksen alaisista työvaiheista saatiin hyvin monipuolinen otanta eri tuuletinmallien suhteen, aivan kuten oli tarkoitettukin. Liitteestä 6 voidaan myös huomata, että suunnitellut mittauksille asetetut kriteerit saavutettiin onnistuneesti. Myös itse mittaajan henkilökohtaisen mielipiteen mukaisesti otantaan osui tarpeeksi realistinen määrä eri tuuletinmalleja, jolloin tuloksia voidaan pitää riittävän luotettavina.

Haapamäen yksikön ulkopuolisista työvaiheista (pois lukien tilausten käsittely) tyydyttiin aikataulua, hankaluutta ja todellista hyötyä ajatellen ottamaan keskiarvo työaika-seurantajärjestelmän kautta.

## 6.2 Työkalujen valinta

Kuten aiemmin jo käytiin läpi, tuuletintuotannon Lean-kehitysprojektin tavoitteiksi yrityksessä asetettiin läpäisyajan puolitus, toimitusvarmuuden nosto 98–100 %:iin sekä laadun nostaminen 100 %:iin. Itse opinnäytetyölle sen sijaan asetettiin tehtäviksi nykytilan kartoitus ja kehitystoimenpiteiden ja -ideoiden toteutus. Nämä seikat tuli ottaa huomioon mietittäessä Lean-työkalujen valintaa.

Koska tehtävänä oli kartoittaa yrityksen nykytilaa, valikoituu parhaaksi työkaluksi tähän VSM-analyysi. VSM-analyysiin tarvitaan tiedot prosessin läpäisyajasta, tuotantoajoista, asetusajoista ja informaatiokulusta. VSM-analyysin tekoon tarvitaan siis myös muiden työkalujen tarjoamaa tukea. Erityisesti läpäisyajakaavio ja tahtiaika-analyysi tarjoavat VSM:ään erinomaista tietoa. Koska myös laatu on tärkeässä osassa nykytilan kartoitusta, tulee valita työkaluista myös laatu-kartoitus ongelmakohdan virheiden löytämiseksi. Näiden työkalujen lisäksi valittiin vielä spagettikaavio, jotta nykyinen tuotantovirta saataisiin selville myöhempiä kehitystoimia varten.

### 6.2.1 Tahtiaika-analyysi

Tuotantoaikojen mittaroinnissa saatujen tietojen perusteella voitiin alkaa vertailemaan tahtiajan ja tuotantoaikojen eroa tai yhtenevyyttä. Liitteen 6 kellotetut tuotantoajat siirrettiin samaan taulukkoon (Liite 7), minkä jälkeen taulukkoon merkittiin työvaiheiden keskiarvoajat, samoin kuin myös hajontaan vaikuttavat minimi- ja maksimivaihtelut. Tämän jälkeen taulukosta tehtiin hajontakaavio (ks. liite 8), johon merkittiin kunkin työvaiheen yksittäiset hajonnat. Tämän lisäksi kaavioon lisättiin aiemmin sivulla 17 olevalla kaavalla 1 laskettu tahtiaika. Taktin laskennassa käytettiin vuoden 2013 tuotantomäärää.

$$Takt\ time = \frac{118\ 800\ min}{1200\ kpl} = \mathbf{100\ min} \quad (1)$$

Kuten liitteessä 8 olevasta hajontakaaviosta voidaan huomata, korjaushitsauksella on selkeästi suurin hajonta korjaushitsauksella. Kaikkien muiden työvaiheiden vaiheajat sen sijaan ovat merkittävästi tahtiaikaa alhaisemmat. Tämä johtaa siihen, että tuotanto on erittäin epätasaista ja vaihtelevaa. Tavoitetilassa kaikki prosessin vaiheet olisivat tasaiset ja hajonta olisi mahdollisimman pientä. Vaiheiden ollessa tasaiset tuotannonohjaus olisi helpompaa ja tuotanto olisi tehokkainta, sillä prosessi virtaisi tällöin tehokkaasti ja puskurivarastot olisivat minimissään. Nykyisessä tilanteessa kaikki tahtiajan alapuolelle jäävä aika on hukkaa ja korjaushitsauksen suuri puskurivarasto voidaan välttää vain lisäämällä korjaushitsaajien määrää. Hajontakaaviosta voidaan siis tehdä johtopäätös, että korjaushitsauksen hajonta tulee ehdottomasti saada kuriin vähentämällä robottihitsauksen aiheuttamien korjausten määrää sekä kehittämällä korjaushitsausta itseään.

### 6.2.2 Laadun kartoitus

Jotta tahtiaika-analyysissä ilmenneistä korjaushitsauksessa esiintyvistä ongelmista päästäisiin selvyyteen, tuli korjaushitsauksesta tehdä laadun kartoitus. Tässä vaiheessa käytettiin työkaluna Pareto-kaaviota. Pareto-kaaviolla löydetään niin sanotut ”krooniset” virheet ja niiden keskiarvoinen lukumäärä. Mittarointi toteutettiin laatu-  
taululla, johon korjaushitsaajat merkkasivat havaitut virhetyypit ja niiden lukumäärät päivittäin. Laatu-  
taulusta tehtiin analyyseja ja Pareto-kaavioita viikoittain.

Liitteestä 9 löytyy korjaushitsauksen viikkojen 11–14 laatu-  
virheluettelot. Liitteessä 10 on puolestaan esitetty kyseisten viikkojen Pareto-kaaviot. Kuten liitteessä 10 olevasta keskiarvokuvaajasta voidaan nähdä, ovat lukumäärällisesti suurimmat virheiden aiheuttajat katkonainen reunahaava sekä ylä- ja alapuolen reunahaavat. Keskiarvoisesti nämä kolme aiheuttavat 58 %:a kaikista korjaushitsauksessa havaituista hitsaus-

virheistä. Kyseisten analyysien perusteella voitiin tehdä kehitystoimia hitsausrobottisoluun, jotta korjaushitsaukseen päätyviä reunahaavavirheitä pystyttiin vähentämään.

### 6.2.3 Spagettikaavio

Korjaushitsauksen laatukartoituksen jälkeen haluttiin tietää tuulettimien kulku nykyisissä tuotantotiloissa sekä niiden kulkema matka metreissä. Tähän tarvittiin spagettikaaviota, jossa nykyiseen layoutkuvaan piirrettiin tuulettimien tuotantovirta ja niiden metrimäärät. Tehty spagettikaavio löytyy liitteestä 11.

Kuten liitteestä 11 voidaan havaita, nykyinen reitti on turhan monimutkainen ja sekava eikä yksinkertaisen tehokas, kuten Lean-tuotannossa on tarkoitus. Tästä voitiin tehdä johtopäätös, että työpisteitä tulisi yhdistää ja tuotantotilojen layout muuttaa. Myös turhista kuljetuksista yksiköiden välillä haluttiin päästä eroon ja tästä syystä alettiin tekemään selvityksiä mahdollisista laitteiden siirroista yksiköiden välillä.

### 6.2.4 Läpäisyajakaavio

Jotta valmistusprosessin todellinen läpäisy aika saatiin selville, tuli prosessista tehdä läpäisyajakaavio. Läpäisyajakaaviosta käyvät ilmi tuotteeseen arvoa tuottavat työajat, mutta ennen kaikkea sen avulla saadaan tietää arvoa tuottamattomien työaikojen määrä ja sijoitus prosessissa.

Läpäisyajakaavion tiedonkeruussa käytettiin teoriaosuudessa selitettyä datakorttia, joka laitettiin kiertämään valmistusprosessia lähtien tuotannon suunnittelusta ja päättyen sorvaukseen. Käytännön syiden takia lomakkeita ei kierrätetty aivan prosessin loppuun asti, koska maalaus suoritetaan alihankkijalla ja datakorttien pelättiin katoavan sille tielle. Viimeisten kahden työvaiheen ajat siis otettiin keskiarvon mukaisesti työaikajärjestelmästä.

Saadut tulokset listattiin Excel-taulukkoon ja niistä tehtiin läpäisyajakaavio (ks. liite 12). Kuten liitteen 12 kaaviosta nähdään, läpäisy aika on noin 25 vuoroa ja siitä yli 90 %:a on arvoa tuottamatonta odotusaikaa. Suurimmat arvoa lisäämättömät odotusajat osuvat prosessin alkupäähän. Noin 92 %:n hukka on aivan liikaa ja Lean-tuotantomallin mukaisesti näitä hukka-aikoja tulee ehdottomasti kehittää.

### **6.2.5 Arvovirtakuvaaja (VSM)**

Prosessin nykytila kuvataan yleisesti kaikista kattavimmin ja yksinkertaistetusti arvovirtakuvaajalla eli VSM-kaaviolla. VSM-kaaviossa yhdistyy edellä kuvatuista työkaluista tahtiaika-analyysi sekä läpäisyajakaavio. Näiden lisäksi VSM-kaaviossa kuvataan prosessin koko toimitusketju varastoineen, asiakkaineen ja alihankkijoineen sekä informaatiovirrat organisaation sisällä. Työvaiheet kuvataan prosessilaatikoilla ja mitatut tuotanto- ja odotusajat aikajanalla, josta niiden summat voidaan laskea yhteen. Kuten liitteessä 13 olevasta nykytilan VSM-kuvaajasta voidaan huomata, on VSM visuaalisesti helppolukuinen ja informaatiotäyteinen kuva kokonaisprosessista. Voidaan oikeastaan sanoa, että VSM on nykytilakuvauksen työkaluista tärkein, mutta muita työkaluja tarvitaan ehdottomasti tukemaan sitä.

Liitteessä 13 olevasta nykytilan VSM-kuvaajasta voidaan nopeasti huomata jo aikaisemmin läpäisyajakaaviossa tehty huomio arvoa tuottavien ja arvoa tuottamattomien aikojen epäsuhteesta, samoin kuin myös tahtiaika-analyysissä tehty huomio tuotantoaikojen epätasapainosta. Myös KET-varastot jakaantuvat epätasaisesta työvaiheiden välillä. Itse informaatiokulku voidaan analysoida melko yksinkertaiseksi, tosin siitäkin löytyy kehitettävää ja varsinkin työnjohdon vastuujakoa olisi syytä miettiä uudelleen.

VSM-analyysiin kuuluu olennaisena osana myös tulevaisuuden VSM-tavoitetila. Tavoitetilan VSM-kaavio löytyy liitteestä 14. Siitä nähdään, että yrityksen tarkoituksena on muuttaa tuotantoprosessia, työnjohtoa ja toimittajasuhteita yksinkertaisimmiksi. Merkittävimpana muutoksena voidaan pitää hitsaussolun käyttöönottoa, jolloin läpäisy aika saadaan kuriin.

## 7 Kehitystoimenpiteet

Ongelmakohtia, joita mittaroinnin aikana tuli esiin työntekijöitä haastatteleamalla tuuletinprosessin eri vaiheissa, kirjoitettiin muistiin. Leikkauksessa ja aukotuksessa työntekijän mielestä työjärjestys oli sekava ja jigin vaihto hankalaa. Jigin vaihtamiseen kuuluu työntekijältä keskiarvoisesti 18 minuuttia ja jigin ja lamellien vaihtamiseksi työntekijä joutuu työskentelemään epäergonomisessa työasennossa. Yrityksessä tähän ei kuitenkaan vielä tässä vaiheessa kiinnitetty huomiota ja sen pohdinta jäi myöhemmäksi. Sen sijaan laserleikkurille hankittiin uusi leikkausjigi tuulettimen etulevyn eli huulilevyn aukotusta varten. Aikaisemmin etulevyä ei aukotettu laserilla ollenkaan. Etulevyn aukotus lisää merkittävästi tarkkuutta tuulettimen osille, ja niiden heppaus ja napahitsaus on täten helpompaa ja nopeampaa. Aukotukseen suunniteltiin myös nollapistehaun kehittämistä niin että nollapisteen haku olisi nopeampaa ja vaatisi vähemmän säätämistä. Tähän kuitenkin yrityksessä paneudutaan vasta myöhemmin.

Syvävedossa ja prässäyksessä työntekijä toivoi selkeämpää työjärjestystä, jolloin työkalujen vaihtoja pystyttäisiin minimoimaan. Tähän kuitenkin vastattiin kehittämällä työkalujen vaihtoa helpommaksi ja nopeaksi, jolloin työjärjestyksellä ei olisi merkittävää vaikutusta asetusaikeihin. Opinnäytetyön aikana syvävetoprässin toimintaa ja työkalujen vaihtoa kehitettiin tekemällä muutoksia prässin omaan työkalupakkaan sekä prässin työkaluihin. Jatkossa työkalut vaihdetaan pakoittain eikä osa kerrallaan kuten aiemmin. Tämä nopeuttaa työkalujen vaihtoa ja vähentää virheitä työkalujen vaihdossa. Myös itse työkaluhyllyä visualisoitiin. Asetusaikojen muutokset nähdään kuitenkin vasta myöhemmin, sillä kaikkia työkaluja ei vielä tämän opinnäytetyön aikana ollut keritty muuttamaan ja myös koneen työkalupakkamuutos jäi osittain kesken. Pienemmän siipiprässin osalta siipityökaluihin toivottiin numerointia, joka lisättäisiin myös työpiirustuksiin. Tällöin työkalun valinta ja vaihtaminen olisi helpompaa ja nopeampaa. Tähän ei kuitenkaan vielä tässä vaiheessa yrityksessä otettu kantaa.

Heppaus- ja napahitsauksessa työntekijät toivoivat raakanavan ottamista käyttöön tuuletinvalmistuksessa, jolloin navan ja huullokseen keskeisyys toisiinsa olisi helpompi

asettaa ja navan koron säätäminen kävisi helpommin. Raakanavalla tarkoitetaan koneistamatonta keskiönäpää. Raakanavan käyttäminen vaatii tällöin automaattisesti enemmän koneistusta tuulettimen sorvaustyövaiheessa myöhemmässä vaiheessa valmistusprosessia. Nykyään sorvauksessa koneistetaan pelkästään kiilaura ja sisäreikä oikeaan mittaan ja pinnanlaatuun, mutta raakanapaa käytettäessä tulee kaikki pinnat napakeskiöstä koneistaa oikeisiin mittoihin ja pinnanlaatuihin, kunkin tuulettimen tarpeiden mukaisesti. Raakanapaa käytettäessä voidaan luopua alihankkijalta tilatuista napakeskiöistä ja näin säästää tuulettimen valmistuskustannuksissa ja vetää valmistusta takaisin oman yrityksen sisään. Tällöin myös tuotanto yksinkertaistuu ja siten myös tuotannon virtaus tehostuu. Raakanapaan siirtyminen jäi opinnäytetyön jälkeen vielä kehitysidean tasolle.

Heppaushitsaukseen sen sijaan hankittiin kaksi uutta jigipöytää, joiden avulla päästiin reilusti tuulettimien vaatimalle toleranssialueelle. Näin myös itse hitsaus helpottui työpöydän tarkkuuden myötä. Pöytiä valittiin kaksi, jolloin myös heppaushitsauksen kapasiteetti kaksinkertaistettiin ja näin voidaan tarvittaessa heppaushitsata kahdessa työpisteessä mahdollisten ruuhkien aikaan. Uusien jigipöytien ja aukotettujen etulevyjen myötä heppaushitsauksen tuottama laatu parani selvästi.

Opinnäytetyön aikana päätettiin myös siirtää aiemmin Keuruun yksikössä käytetty sorvi Haapamäen yksikköön, jolloin liitteessä 11 olevasta spagettikaaviosta huomattu ongelmakohta tuuletinvalmistuksen sekavasta kuljettelusta Haapamäen ja Keuruun välillä saatiin korjattua. Sorvauksen siirtäminen Haapamäelle tarkoittaa sitä, että tuulettimet voidaan nykyisin kuljettaa suoraan Haapamäeltä alihankkijalle maalaukseen. Tämä yksinkertaistaa merkittävästi valmistusprosessia ja informaation kulkua tuotantoketjun sisällä.

Kuten korjaushitsauksen laatutauluista ja korjaushitsaukseen tarvittavasta ajasta voidaan huomata, on robottihitsausta kehitettävä, jotta korjaushitsaukseen tulevien tuulettimien laatu paranisi. Tämän perusteella robottihitsaussolua alettiin myös kehittää eteenpäin. Robottihitsaussolun käyttöohjelmisto päivitettiin uusimpaan

versioon, jolloin muun muassa sen käyttämät hitsauksen ominaiskäyrät muuttuivat. Samoin tuulettimeen kohdistuvia hitsausjännityksiä ja lämpömuutoksia vähennettiin siirtymällä käyttämään MIG-pulssihitsausta tulppahitseihin edellisen normaalin MIG-hitsauksen sijasta. Tulppahitsien MIG-pulssihitsauksessa otettiin käyttöön suojakaasuksi hiilidioksidi, tosin jatkossa siirrytään seoskaasuun. Myös hitsausrobotin toimenpiteitä muutettiin tulppahitsien ja napahitsin osalta. Tulppahitsit hitsataan nykyisin päinvastaisesti kuin ennen, eli sisäkehältä kohti ulkokehää, jolloin lämmöntuontia tuulettimeen saatiin vähennettyä lämmön johtuessa ulospäin hitsattavasta kappaleesta. Napahitsaus sen sijaan muutettiin vaakasuorasti jalkoasennossa hitsattavaksi aiemman pystysuunnan jalkoasennon sijaan, jolloin hitsisula on paremmin hallittavissa. Näiden muutosten lisäksi jatkossa on tarkoitus siirtyä 1,2 mm:n lisäainelangasta 1 mm:n lisäainelankaan, jolloin tulppahitsien laatu paranee entisestään reunaavojen osalta, koska sulaan lisätään vähemmän lisäainetta. Myös hitsausaika pienenee ohuen lisäainelangan nopeamman hitsauksen johdosta, mikä vähentää lämmöntuontia tuulettimeen entisestään.

Myös tuuletintuotannon työvaiheita haluttiin yhdistää soluihin tuotannon yksinkertaistamiseksi. Solutyöpaikoissa työvaiheiden hajontaa pystyttäisiin vähentämään tuotannon tasoittuessa. Vaihtoehdoksi uudeksi solumalliksi ajateltiin heppaushitsauksen, napahitsauksen ja korjaushitsauksen yhdistämistä robottihitsaussolun viereen. Tällöin saataisiin yksi yhtenäinen hitsaussolu, jossa informaatio kulkisi nopeasti ja tuotantovirta olisi visuaalisesti nähtävissä. Tämän kaltainen hitsaussolukokonaisuuden rakentamiseen ajateltiin tarvittavan muusta hallista eristävät elementit sekä oma ilmanvaihto, joka yhdistettäisiin robottihitsaussolun huuvaan. Tuulettimien kulketteluä helpottamaan solun sisällä suunniteltiin tuulettimen osille omat kärryt. Tuotannonohjaukseen suunniteltiin rakennettavaksi pullonkaula robottihitsauksesta, jolloin robottihitsaus määrittäisi solun tahtiajan. Tällöin myös robottihitsaussolu määrittäisi valmistustarpeen heppaus- ja napahitsaukselle visuaalisesti työjonoruudukollaan. Myös korjaushitsauksessa esiin tulevat laatuvirheet saataisiin välittömästi robottihitsauksen tietoon ja niiden korjaus voitaisiin aloittaa välittömästi. Tämän kaltaisen hitsaussolukokonaisuuden rakentamisessa tulee rakenteellisten muutosten li-

säksi myös miettiä osaamista ja työntekijämuutoksia, sillä soluajattelussa on tärkeässä roolissa työntekijöiden moniosaaminen, koska töitä tehdään solun sisällä ristiin. Hitsaussolumuutosta jäätin vielä yrityksessä suunnittelemaan layoutin ja työtilallisten muutosten avulla eteenpäin.

Hitsaussolumuutoksen ohella myös spagettikaaviossa (ks. liite 11) nähtävästä tuulettimien kuljettelusta liuskaa pitkin ylä- ja alakerran välillä haluttiin päästä eroon. Tähän opinnäytetyön aikana ideoitiin hissijärjestelmän rakentamista robottisolun ja korjaushitsauksen väliselle seinustalle, sillä kyseinen seinä on lasia ja hissijärjestelmä olisi täten mahdollista rakentaa. Tämä hissijärjestelmä jäi kuitenkin yrityksessä vielä kehitysidean tasolle.

Jatkossa tuulettimien valmistuksessa tulee ajankohtaiseksi myös miettiä mahdollisia jälkikäsittelymuutoksia, joita myös liitteessä 14 olevassa tulevaisuuden arvovirtakuvaussessa on tehty. Koska opinnäytetyön taustalla toimineen Lean-kehitysprojektin yhtenä päätavoitteista oli läpäisyajan lyhentäminen, voidaan tähän vaikuttaa helposti vaihtamalla märkämaalauksen jauhemaalaukseen, jolloin tuulettimet eivät tarvitse pitkiä maalauksen- ja kuivumisaikoja. Samoin oman uunin hankinta hehkutusta varten ilmeni yhtenä kehitysideana, sillä nykyisessä tuotannossa mahdollinen hehkus jouduttiin suorittamaan melko kaukana Haapamäen yksiköstä. Näiden kahden jälkikäsittelyn osa-alueiden osalta kehitystoimenpiteet jäivät yrityksessä kehitysidean tasolle.

## 8 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tärkeimpänä tavoitteena oli kartoittaa yrityksen tuuletintuotannon nykytila. Tässä mielestäni onnistuttiin hyvin, tosin aikataulullisista syistä nykytilan kartoitus ei onnistunut aivan sillä aikataululla kuin projektiryhmässä olisi toivottu. Minä opinnäytetyöntekijänä halusin tehdä kartoituksen perusteellisesti ja teoreettisen pohjan mukaisesti, kun taas ymmärrettävästi yrityksessä ei aivan samaan

perusteellisuuteen ollut tarvetta ja tehtyjä kehitystoimia alettiin tekemään jo ensimmäisten mittaustulosten perusteella. Lopputulos oli kuitenkin onnistunut ja tehdyistä toimista kirjoittaminen oli helppoa johtuen teoriapohjaisesta toteutuksesta.

Opinnäytetyön nykytilan kartoituksen tulosten luotettavuutta mietittäessä tulee ottaa huomioon tuuletintuotteiden laaja tuotevalikoima. Koska yritys tarjoaa eri tuuletinmalleja noin 150 erilaista, tulisi luotettavien mittaustulosten saavuttamiseksi saada kaikista tuuletinmalleista otanta. Tosin yrityksen luonnollinen tilanne vaihtelee asiakkaan tilausten mukaisesti ympäri vuoden, joten nykytilan kartoitus voidaan todellisuudessa tehdä vain tietystä ajankohdasta. Tällöin tämän opinnäytetyön mittarointeja voidaan pitää luotettavina nykytilan kuvauksen suhteen. Tulosten täsmällisellä tarkkuudella tämän kaltaisessa kehitysprojektissa ei muutenkaan ole aivan ehdotonta tarvetta, sillä tulosten on tarkoitus antaa vain suuntaa ja varmistusta kehityskohteiden sijainnista ja merkittävydestä.

Opinnäytetyön rinnalla toiminut Lean-kehitysprojekti eteni yrityksessä todella ripeällä tahdilla ja kevään 2014 aikana yrityksen tuuletintuotantoa tehostettiin todella paljon eteenpäin. Lean-kehitysprojektissa oli alusta pitäen mukana erittäin asiantuntevaa henkilöstöä, ja Lean-ajattelu ja kehitys oli selkeästi havaittavissa koko opinnäytetyön ajan kehitysprojektin sisällä.

Opinnäytetyön aikataulu myös piti suunnitellusti ja työ tehtiin noin kolmessa kuukaudessa. Yrityksen oma tuuletintuotannon Lean-kehitysprojekti aloitettiin tammikuussa ja itse opinnäytetyö helmikuun alussa. Helmikuussa aloitin kirjallisuuteen tutustumisen ja työn suunnittelun ja maaliskuun alussa mittaroinnit. Kehitystoimenpiteitä alettiin tekemään maaliskuun lopulla ja huhtikuun aikana. Huhtikuun loppuun mennessä viimeiset mittaroinnit oli tehty ja kirjoitusprosessi valmis.

Olen myös aiemmin ollut mukana yritysten kehitysprojekteissa, mutta opin silti vielä opinnäytetyön aikana paljon lisää. Mikäli sama opinnäytetyö pitäisi tehdä uudestaan

aloittaisin mittaroinnit huomattavasti aikaisemmin ja päällekkäin. Erityisesti odotusaikojä mitattaessa aikaa kului todella paljon, joten olisi ollut järkevintä aloittaa mahdollisimman aikaisin niiden mittarointi. Myös mahdollisiin virheisiin ja muihin vastointkäymiin olisi jäänyt enemmän aikaa reagoida.

Kehitystoimenpiteiden vaikutuksesta ja suurempien toimenpiteiden toteutuksesta ei voida vielä nyt tietää tai ennustaa tarkemmin, koska vain aika näyttää kehitystoimien tekemät muutokset tuuletintuotannossa. Mutta esimerkiksi korjaushitsauksen laatu-kartoituksessa havaittiin jo selkeästi reunahaavojen väheneminen eli laatu parani jo tässä vaiheessa robottihitsauksen toimenpiteillä tuuletintuotannossa. Robottihitsauksen parantunut laatu vaikuttaa suoraan läpäisy aikaan, koska korjaushitsauksessa tarvitsee tällöin korjata vähemmän robotin hitsausvirheitä. Lisäksi aukotukseen ja heppaukseen hankitut uudet tarkemmat jigat ja jigipöydät nostavat varmasti tuulettimien laadun lähelle 100 %:a, kuten Lean-kehitysprojektin tavoitteissa vaadittiin. Jatkossa myös toimitusvarmuus tulee varmasti kohentumaan, mikäli aiotut kehitystoimet hitsaussolun suhteen otetaan käyttöön. Tällöin tuotanto automaattisesti muuttuu tehokkaammaksi yksinkertaisemman virtauksen avulla ja läpäisy aika näin ollen lyhenee huomattavasti.

Tulevaisuuden tilanne kotimaisessa teollisuudessa on vaikeasti ennustettavissa ja erityisesti asiakasohjautuvassa tuotannossa, kuten HT Laser Oy:n tapauksessa, teollisuuden kysynnän heikkeneminen ja vahvistuminen näkyy vahvasti myös tuotannossa. Tällöin on usein kehitysprojekteissa vaarana niiden keskenjääminen, koska käytettävät resurssit kehitystoimiin tai projekteihin ylipäätään vähenevät automaattisesti. Mutta HT Laser Oy:n tapauksessa oli yrityksellä selkeästi havaittavissa halu kehittää omaa tuotantoaan tehokkaammaksi, tämän voi nähdä myös tehtyjen kehitystoimien ja suunnitteilla olevien kehitysideoiden määrässä ja laadussa, joten en usko, että riski projektin kesken jäämiseen olisi kovin suuri.

## Lähteet

Bicheno, J. & Holweg, M. 2009. The Lean toolbox. 4th edition. UK: PICSIE.

Burton, T. & Boeder, S. 2003. Lean Extended Enterprise: Moving Beyond the Four Walls to Value Stream Excellence. USA: J. Ross Publishing.

Greasley, A. 2013. Operations management. 3rd edition. UK: Wiley.

Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2006. Teollisuustalous. 6. p. Ylöjärvi: Infacs johtamistekniikka.

HT Laser Oy, 2012. The cutting crew for you -powerpoint.

HT Laser Oy, 2014. Yrityksen kotisivut. Viitattu 30.4.2014. <http://www.htlaser.fi/>.

Jurvelin, J. 2013. Tutkimuksen viitekehys / Opinnäytetyön ”teoria”. Tutkimustyön perusteet -opintojakson opetusmateriaali.

Karjalainen, T. & Karjalainen, E. 2008. Six Sigma - Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä. 3. p. Lahti: Quality Knowhow Karjalainen.

Kokkonen, O. 2007. Prosessikuvaus - vuodiagrammi ja arvovirtakuvaus (VSM). Quality Knowhow Karjalainen -Lean konsulttiyrityksen artikkeliarkisto. Viitattu 30.4.2014. <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/prosessikuvaus-vuodiagrammi-ja-arvovirtakuvaus-vsm/>.

Kouri, I. 2009. Lean taskukirja. Helsinki: Teknologiainfo Teknova.

Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo: WSOY.

Larikka, M., Heinilä, P., Selin, K. & Tuominen, J. 2007. Tuottavuuden jatkuva parantaminen. Helsinki: Teknologiainfo Teknova.

Liker, J. 2006. Toyotan tapaan. Helsinki: Readme.fi.

Liker, J. & Convis, G. 2012. Toyotan tapa Lean-johtamiseen. Helsinki: Readme.fi.

Manos, A. & Vincent, C. 2012. The Lean Handbook. USA: ASQ.

McMahon, W. 2013. Muda, Muri, Mura - Toyota Production System guide. Toyotan blogi. Viitattu 30.4.2014. <http://blog.toyota.co.uk/muda-muri-mura-toyota-production-system>.

MCS-Management Consulting Services Oy. Lean-sanasto. Viitattu 20.5.2014. <http://leaniksi.fi/lean-sanasto/>.

Nahmens, I. & Mullens, M. 2009. Construction Innovation. Spaghetti diagram -kuvio. Viitattu 1.5.2014. <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1769222>.

Piirainen, A. 2008. Konkretisoi Lean arvovirtakuvauksen avulla - Value Stream Mapping, VSM. Quality Knowhow Karjalainen -Lean konsulttiyrityksen artikkeliarkisto. Viitattu 30.4.2014. <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/konkretisoi-lean-arvovirtakuvauksen-avulla-value-stream-mapping-/>.

Piirainen, A. 2014. Lean ja hukka - Muda, Mura ja Muri. Quality Knowhow Karjalainen -Lean konsulttiyrityksen artikkeliarkisto. Viitattu 30.4.2014. <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/lean-ja-hukka-muda-mura-ja-muri/>.

Salminen, A. & Uitti, S. 1996. Ismien ihmemaa. Vantaa: TT-Kustannustieto Oy.

Tuominen, K. 2010. Lean käytännössä. Helsinki: Readme.fi.

Womack, J., Jones, D. & Roos, D. 1990. The Machine That Changed the World. USA: Free Press.

Väisänen, J. 2013a. Ongelmanratkaisu ja parantaminen. Quality Knowhow Karjalainen -Lean konsulttiyrityksen artikkeliarkisto. Viitattu 30.4.2014. <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/ongelmanratkaisu-ja-parantaminen/>.

Väisänen, J. 2013b. VSM (Value Stream Mapping) - Arvovirtakuvaus. Quality Know-how Karjalainen -Lean konsulttiyrityksen artikkeliarkisto. Viitattu 30.4.2014.  
[Http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/vsm-value-stream-mapping-arvovirtakuvaus/](http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/vsm-value-stream-mapping-arvovirtakuvaus/).

## **Liitteet**

### **Liite 1. Tuulettimen kokoonpano (Salainen)**

Poistettu salassapitosopimuksen perusteella.

## **Liite 2. Tuulettimen napa (Salainen)**

Poistettu salassapitosopimuksen perusteella.

### **Liite 3. Tuulettimen etusivulevy (Salainen)**

Poistettu salassapitosopimuksen perusteella.

## **Liite 4. Tuulettimen takasivulevy (Salainen)**

Poistettu salassapitosopimuksen perusteella.

## **Liite 5. Tuulettimen siipi (Salainen)**

Poistettu salassapitosopimuksen perusteella.

## **Liite 6. Mitatut tuotantoajat (Salainen)**

Poistettu salassapitosopimuksen perusteella.

## **Liite 7. Tuotantoaikojen hajontataulukko (Salainen)**

Poistettu salassapitosopimuksen perusteella.

## **Liite 8. Tuotantoaikojen hajontakaavio (Salainen)**

Poistettu salassapitosopimuksen perusteella.

## **Liite 9. Korjaushitsauksen laatutaulu, taulukot (Salainen)**

Poistettu salassapitosopimuksen perusteella.

## **Liite 10. Korjaushitsauksen laatutaulu, Pareto-kaaviot (Salainen)**

Poistettu salassapitosopimuksen perusteella.

## **Liite 11. Spagettikaavio (Salainen)**

Poistettu salassapitosopimuksen perusteella.

## **Liite 12. Lämpöaikakaavio (Salainen)**

Poistettu salassapitosopimuksen perusteella.

## **Liite 13. Arvovirtakuvaaja, nykyhetki (Salainen)**

Poistettu salassapitosopimuksen perusteella.

## **Liite 14. Arvovirtakuvaaja, tulevaisuus (Salainen)**

Poistettu salassapitosopimuksen perusteella.