



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MIKKO J. KOIVISTO
KONEPAJAN TUOTANTOPROSESSIN NYKYTILAN ARVIOINTI JA
KEHITYS

Diplomityö

Tarkastaja: yliopistonlehtori Rainer
Breite

Tarkastaja ja aihe hyväksytty Talou-
den ja rakentamisen tiedekunnan
tiedekuntaneuvoston kokouksessa
9. syyskuuta 2015

TIIVISTELMÄ

MIKKO J. KOIVISTO: Konepajan tuotantoprosessin nykytilan arviointi ja kehitys
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 72 sivua
Toukokuu 2016
Tuotantotalouden diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Teollisuustalous

Tarkastaja: Yliopistonlehtori Rainer Breite

Avainsanat: Lean, mukautuva tuotanto

Tässä työssä tutkittiin keskisuuren, raskaan tuotannon konepajan valmistusprosessin nykytilaa ja etsittiin vaihtoehtoisia toimintamalleja laadun ja toimitusvarmuuden parantamiseksi sekä läpimenoajan lyhentämiseksi. Tutkimuksen tavoitteeksi asetettiin tuotantoprosessin arvoa tuottavan virtauksen ongelmakohtien kartoittaminen. Toisena tavoitteena oli löytää ratkaisuehdotuksia virtauksen ongelmien eliminoimiseen ja kokonaisvaltaiseen toiminnan parantamiseen ilman merkittäviä investointeja ja lisäkustannuksia. Tutkimusongelmana oli löytää syitä tuotannon läpimenoaikojen viivästymisiin ja laatuongelmiin sekä löytää niiden eliminointimahdollisuuksia lean -tuotannon keinoin.

Tutkimuksen teoriataustana oli lean -tuotanto, jonka ydin on asiakasarvon tunnistaminen ja hukkan poisto kaikesta toiminnasta. Teorian perusteella pyrittiin löytämään käsitteanalyttiselle tutkimusotteelle tyypillisiä suosittelevia tai toteavia tuloksia empiirisen osion tulosten täydentämiseksi. Tutkimuksen empiirinen osa noudatti toimintanalyttisen tutkimusotteen piirteitä. Kerätty aineisto koostui yrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä kerätyistä tiedoista, toimitusvarmuustilastosta, poikkeamaraporteista ja arvovirtakartoituksesta, sekä teemahaastatteluilta. Kerätyn aineiston perusteella tarkasteltiin prosessin tuntikehitystä, vaihtelua ja poikkeamia sekä niiden vaikutusta läpimenoaikaan.

Tutkimuksen perusteella havaittiin lean -tuotantomenetelmien soveltuvan myös raskaan tuotannon konepajan toiminnan kehittämiseen. Prosessin virtausta yksinkertaistamalla ja turhaa käsittelyä poistamalla läpimenoaika lyheni merkittävästi.

ABSTRACT

MIKKO J. KOIVISTO: Evaluation and development of the fabrication process state in metal industry workshop
Tampere University of Technology
Master of Science Thesis, 72 pages
May 2016
Master's Degree Programme in Industrial Engineering and Management
Major: Industrial management
Examiner: University Lecturer Rainer Breite

Keywords: Lean, adaptive production

In this study, the present production processes of the medium-sized heavy production machine workshop was reviewed and the alternatives for present product models to enhance quality and delivery reliability as well as decreasing the lead time was researched. The main objective of this research was to chart the problems of the value producing flow in manufacturing process. The second aim was to find solutions to eliminate problems in the flow as well as to achieve the operations without significant investments and additional costs. As a research problem was to find reasons for delays in processing lead times and quality problems, and thus to find possibilities to eliminate these delays and quality problems by using lean-production.

The theoretical background of this study was lean-production. The lean-production is based on recognition of the client value and the loss removal in all action. Based on this theory, the recommendations or statements typical to analysis of ideas was tried to find out to complete the empirical study. The empirical study followed operation analytical models. Collected data consisted of the information got from the enterprise resource planning system, delivery reliability statistics, deviation reports, value stream mapping and theme interviews. Based on this collected data the hour development, variations and deviations of the process as well as their influences to the turnaround time were studied.

In conclusion, based on this study the lean-production processes are suitable for developing the heavy production machine workshop operations. By simplifying the process flow and removing the unnecessary processing the lead-time decreased significantly.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Kankaanpää Works Oy:lle teollisuudelle haasteellisena ajanjaksona. Haluan kiittää kaikkia Swire –projektiin osallistuneita hollmingilaisia hyvästä ja rakentavasta yhteistyöstä. Erityisesti kiitän toiminnanohjauksen päällikkö Jarmo Hutusta sekä laatupäällikkö Aimo Heikkilää avusta ja opastuksesta työn kenttätutkimuksen eri vaiheissa.

Kiitokset myös Tampereen teknillisen yliopiston Porin yksikön henkilökunnalle, opiskelutovereille sekä erityisesti yliopistonlehtori Rainer Breitelle avusta opintojeni myötä- ja vastoinkäymisissä.

Suurin kiitos kuuluu puolisololleni Maritalle ja hänen myötämieliselle hyväksynnälleen tuotannollisesta ja taloudellisesta niukkuudesta opintojeni aikana. Kiitokset tuesta ja kannustuksesta myös tyttärilleni Millalle ja Minnille!

Raumalla, 15.5.2016

Mikko J. Koivisto

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Kohdeyritys.....	1
1.2	Lean –toiminta konepajateollisuudessa	3
1.3	Tutkimuksen tavoitteet, rajaus ja tutkimusongelma	3
1.4	Tutkimusote	4
1.5	Raportin rakenne.....	5
2.	MUKAUTUVA TUOTANTOJÄRJESTELMÄ.....	7
2.1	Tuotantoprosessin virtaus	8
2.2	TPS – Toyotan tuotantojärjestelmä	12
2.3	Lean -tuotanto	15
2.4	Leanin menetelmät ja työkalut.....	18
2.4.1	Arvovirtakartta	18
2.4.2	Työmäärän tasapainotus ja tahtiaika	19
2.4.3	Prosessin hukka	19
2.4.4	Kaizen ja PDCA –jatkuva parantaminen	21
2.4.5	JIT –juuri oikeaan tarpeeseen.....	22
2.4.6	Imuohjaus	23
2.4.7	5S.....	24
2.4.8	Viisi kertaa miksi?.....	24
2.4.9	A3: Yhden arkin ratkaisu	25
2.5	Prosessin laaduntuotto	25
2.6	Asiakaslähtöisyys	26
2.7	Yrityksen henkilöstö ja kulttuuri	27
2.8	Tietopääoma ja henkilöstön kyvykkyydet.....	29
3.	TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO.....	31
3.1	Tuotantoprosessin kuvaus.....	31
3.2	Arvovirta.....	33
3.3	Valmistusaika ja vaihtelu.....	33
3.4	Virheet ja poikkeamat.....	34
3.5	Toimitusvarmuus	35
3.6	Työohjeet	35
4.	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....	37
4.1	Tuotantoprosessi ja arvon muodostuminen	38
4.1.1	Osavalmistus	40
4.1.2	Koonti.....	42
4.1.3	Hitsaus	44
4.1.4	Koneistus	46
4.1.5	Varustelu	48
4.1.6	Pintakäsittely	49

4.2	Vaihtelu.....	51
4.3	Havaitut virheet ja poikkeamat.....	52
4.4	Toimitusvarmuuden kehitys	56
4.5	Työohjeet ja tekemisen edellytykset.....	56
5.	KEHITYS LEANIN MENETELMILLÄ	58
5.1	Virtauksen ja aikataulujen tasapainottaminen	60
5.2	Ongelmien ratkaisu	61
5.3	5S	61
5.4	Jatkuva parantaminen	62
5.5	Lean ja tiimityö.....	63
6.	YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	64
6.1	Keskeiset havainnot	64
6.2	Tutkimuksen tarkastelu.....	66
6.3	Jatkotutkimusehdotukset.....	67
7.	LÄHDELUETTELO	68

KUVALUETTELO

<i>Kuva 1 Tutkimuksen rakenne</i>	6
<i>Kuva 2 Kaavio varastoinnin ongelmista (Mukailtu Mådig&Åhlström, s. 52)</i>	9
<i>Kuva 3 Tehokkuusmatriisi (Mukailtu Mådig&Åhlström 2013, s. 106)</i>	11
<i>Kuva 4 Kaavio Leanin pääpiirteet (Mukailtu Vuorinen 2014, s. 72, Hines et al. 2008, s. 4)</i>	16
<i>Kuva 5 PDCA sykli (Mukailtu Rother 2011, s. 123)</i>	21
<i>Kuva 6 Valmistuksen prosessikaavio (Mukailtu Huttunen 2015)</i>	32
<i>Kuva 7 Kaavio kokonaistyötunneista</i>	37
<i>Kuva 8 Ruoripotkurilaitteen arvovirta</i>	39
<i>Kuva 9 Esivalmisteita varastoalueella</i>	40
<i>Kuva 10 Osavalmistuvaiheen tunnit</i>	41
<i>Kuva 11 Koontivaiheen tunnit</i>	42
<i>Kuva 12 Torpedon kokoonpano</i>	43
<i>Kuva 13 Hiomajälkiä saumoissa ja perusaineessa</i>	45
<i>Kuva 14 Rungon hitsaus</i>	45
<i>Kuva 15 Hitsaustunnit</i>	46
<i>Kuva 16 Koneistustunnit</i>	47
<i>Kuva 17 Varustelun työtunnit</i>	48
<i>Kuva 18 Pintakäsittelyn työtunnit</i>	50
<i>Kuva 19 Maalaamon työvälineitä</i>	51
<i>Kuva 20 Visuaalisen tarkastuksen merkintöjä</i>	53
<i>Kuva 21 Rakenteen epäkeskeisyys</i>	54
<i>Kuva 22 Havaitut poikkeamat ja toteutuneet työtunnit</i>	55
<i>Kuva 23 Konepajan toimitusvarmuus 2014 - 4</i>	56
<i>Kuva 24 Parannettu arvovirta</i>	59

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CARP	Control - Acknowledge – Refocus - Problem solving, hallinta – hyväksyminen – fokusointi - ratkaisu; toimintamalli asiakaskokemuksen poikkeustilanteisiin
DFM	Design for Manufacturing, tuotteen valmistettavuus
ERP	Enterprise Resource Planning, toiminnanohjausjärjestelmä
Ex-tila	Räjähdyksivaarallinen tila
Jidoka	Prosessin sisään rakennettu laatu
Jigi	Kokoonpanoissa ja koneistuksissa käytettävä ohjain ja/tai kiinnike
JIT	Just In Time, juuri oikeaan aikaan, materiaalin oikea-aikaiseen toimitukseen ja varastojen minimointiin tähtäävä johtamisfilosofia
JOT	Juuri oikeaan tarpeeseen, kuten JIT
Kaizen	Jatkuva parantaminen
MT	Magneettijauh tarkastus
Muda	Hukka, lisäarvoa tuottamaton työ
Mura	Epätasaisuus, tuotannon vaihtelu
Muri	Resurssien ylikuormitus
NDT	Non-Destructive Testing, ainetta rikkomaton koestus
PAM	Process Activity Mapping, prosessin toimintojen kartoitus
PDCA	Plan – Do – Check - Act, suunnittele – toteuta – arvioi - paranna, Demingin ympyränä tunnettu kehityssykli
SDR	Supplier Deviation Request, toimittajan pyyntö poikkeaman hyväksymiselle
Torpedo	Ruoripotkurin rungon alaosa
TQM	Total Quality Management, kokonaisvaltainen laatujohtaminen
UT	Ultraäänitarkastus
VSM	Value Stream Mapping, arvovirran kartoitus
WPS	Welding Procedure Specification, hitsausohje
5S	Järjestystä ja tuottavuutta tavoitteleva 5 kohdan menetelmä
5Why's	5 Miksi? Viiden kysymyksen sarja juurisyyn selvittämiseksi

1. JOHDANTO

Kone- ja metalliteollisuus on yksi Suomen kansantalouden tukipilareista. Taantuma ja globaali rakennemuutos ovat vaikuttaneet siihenkin tuntuvasti. Konepajateollisuuden kysynnän lasku on jatkunut maassamme useita vuosia peräkkäin. Tuotantoa on samaan aikaan siirtynyt halvemman työvoimakustannuksen maihin ja lähemmäs loppuasiakasta. Tilannetta vaikeuttaa heikko tuottavuuden kehitys kilpailijoihin verrattuna (Tilastokeskus 2016). Suomalaiset konepajat ovat pääosin paikallisista markkinoista keskenään kilpailevia yleiskonepajoja, joiden tuotantovälineet ovat investointien puuttuessa vanhentumassa ja erikoistuminen vähäistä. Parhaiten taantumassa ovat selvinneet omilla tuotteillaan vientimarkkinoilla olevat yritykset ja niiden alihankkijat (Teknologiateollisuus ry 2015).

Suomessa toimivilla valmistajilla on merkittävä osuus ruoripotkurilaitteiden markkinoilla erityisesti offshore -sektorilla (Prizztech Oy 2015). Potkurilaitteiden valmistuksella on suuri merkitys myös suomalaiselle konepajateollisuudelle (Tammiaho 2009). Raakaöljyn hinnan lasku on johtanut maailmanlaajuiseen offshore -tuotannon taantumaa, mikä näkyy myös potkurilaitteiden tilauskannan romahtamisena. Pääosa alan jäljelle jääneestä kysynnästä kohdistuu risteilyalusten propulsiolaitteisiin. Hiipuva kysyntä kiristää kilpailua myös alihankintamarkkinoilla ja tuo alalle uusia toimijoita jopa maan rajojen ulkopuolelta.

1.1 Kohdeyritys

Kankaanpää Works Oy on keskiraskaan ja raskaan tuotannon konepaja. Yrityksen liikevaihto vuonna 2015 oli 19,9 miljoonaa euroa ja henkilöstön kokonaismäärä 180 henkilöä. Sen käytössä ovat sertifioidut ISO 9001-2008 laatujärjestelmä, ISO 3834-2 hitsausjärjestelmä ja ISO 14001-2004 ympäristöjärjestelmä.

Kankaanpää Worksin historia ulottuu vuoteen 1969, jolloin Kankaanpään kauppalaan perustettiin konepaja Sajara Oy, jonka päätuotteena olivat erilaiset betoninkäsittelyastiat (Rinta-Jouppi 1999). Raumalainen telakkayhtiö Hollming osti Sajaran vuonna 1973. Yrityskaupan taustalla olivat sekä ennustettu työvoimapula Rauman talousalueelle, sijainnin tarjoamat kehitysalue-edut että Sajaran ajautuminen taloudellisiin vaikeuksiin, joista yhtiölle lankesi myöhemmin miljoonien markkojen tappiot (Uola 2000).

Telakan tukitehtaana Sajara kasvoi ja laajeni uusille alueille. Tuotevalikoimaan kuuluivat sähkökeskukset ja kojekaapit, patoluukut, jätepaalaimet ja lauttavaunut telakan toimittamiin ro-ro-aluksia (Rinta-Jouppi 1999).

Vuosikymmenen lopulla konepajan riippuvuutta telakasta ja sen syklisestä toiminnasta haluttiin vähentää ja sille etsittiin uusia tuotteita toiminnan tukijaloiksi. Merenkulkuhallitukselle toimitettiin sarja yli 100 tonnin painoiset merimerkkejä. Uutena aluevaltauksena aloitettiin itsekantavien, alumiinirakenteisten säiliöautojen valmistus Hollmingin ostaessa Lieksasta Kestotankki Oy:n ja muutamassa vuodessa yhtiö oli Suomen suurin säiliöautovalmistaja (Rinta-Jouppi 1999). 80-luvun puolivälissä päätuotteeksi tulivat Aquamaster -potkurilaitteiden runkorakenteet ja potkurisuulakkeet, joiden valmistusteknologiaa kehitettiin merkittävästi. Meriteollisuuden muutokset johtivat lopulta Kankaanpään konepajan erottamiseen omaksi yksikökseen ja lopettamisuhkakin oli olemassa (Rinta-Jouppi 1999).

Hollmingin konepajatoiminnot laajenivat 2000-luvun yritysostoilla ja perustettuun Hollming Works –liiketoimintaryhmään kuuluivat konepajat Raumalla, Porissa, Kankaanpäässä, Parkanossa ja Loviisassa. Rakennemuutoksen kourissa konepajateollisuus on joutunut sopeuttamaan kapasiteettiaan markkinatilanteen mukaiseksi. Hollmingin konepajaliiketoimintaryhmä on tämän tutkimuksen aikana lopettanut toimintansa sekä Porissa että Parkanossa. Raumalla toimiva konepaja on yhdistetty BMH Technologyn toimintoihin. Loviisan yksikkö on yhtiötetty Valkon Metallin Oy:ksi ja sen hallinnollisia toimintoja on yhdistetty Kankaanpää Worksin kanssa.

Ruoripotkurien osatoimitukset ovat olleet kiinteä osa konepajan toimintaa jo kolme vuosikymmentä. Kyky kookkaiden kappaleiden hitsaukseen, lämpökäsittelyyn ja koneistukseen on nostanut yrityksen alan merkittävien toimittajien, kuten ABB Oy Marine and Ports, Rolls-Royce Oy, Steerprop Oy ja GE Power Conversion, alihankkijaksi. Sulaketuotanto on viime vuosina vähentynyt, mutta valmius niiden valmistamiseen on säilytetty.

Konepajan toiminta on tällä hetkellä jakaantunut kolmeen sektoriin. Suurin on pääasiassa potkurilaitteiden osia valmistava telakka- ja offshore- teollisuus, seuraavana mineraali- ja kaivannaisteollisuuden tuotteet sekä kolmantena ja vähäisenä muu tuotanto. Risteilyalusten tilauskanta on nykyisellään hyvä, mutta ala on herkkä suhdanteille ja esimerkiksi terrori-iskujen uhka voi heijastua voimakkaasti kysyntään. Offshore – potkurilaitteiden kysyntä on vähäistä raakaöljyn matalan markkinahinnan vuoksi.

Kankaanpää Worksin mineraali- ja kaivannaisteollisuuden tuotanto-osasto toimii selkeästi erillään muusta tuotantotoiminnasta. Sen pääasiakkaan implementoiman lean – ohjelman siivittämänä osaston toimitusvarmuus on saatu nousemaan kiitettävälle 100% tasolle. Tuotantoa ohjataan visuaalisten taulujen avulla ja eri tahoilta saapuvat materiaalit toimitukset virtaavat lähes häiriöttömästi.

Osastolla vallitsee joukkuehenki niin sisäisessä työskentelyssä kuin yhteistoiminnassa asiakkaan kanssa. Nämä hyvät kokemukset yrityksen sisällä ja toisaalta kasvavat paineet muiden asiakkaiden taholta toimitusvarmuuden ja laadun parantamiseksi johtivat tämän tutkimuksen tekemiseen.

1.2 Lean –toiminta konepajateollisuudessa

Suomalainen konepajateollisuus aloitti lean –toiminnan jo 90-luvulla käsitteen ollessa vielä uusi vastatakseen muuttuvien markkinoiden haasteisiin. Asiakkaiden tarpeet saivat yrityksissä uudenlaisen merkityksen, kun tuotanto muuttui prosessinomaiseksi, tuotteiden elinkaaret lyhenivät ja huolto- ja after sales –toimintojen arvo lisääntyivät. Asiakas- suuntautuneisuuden ohella toimitusketjut ja verkostot kehittyivät tuoden mukanaan *Juuri oikeaan tarpeeseen* (JOT) -tuotantoperiaatteen ja laatujärjestelmät (Kajaste & Liukko 1994).

Nousukauden aikana lean –innostus hieman laantui, mutta konepajateollisuuden murros ja uusi taantuma ovat tuoneet sen taas vahvana takaisin. Leanin käyttöönotossa on yhtä monta tapaa, kuin yritystäkin. Näin myös pitää olla, sillä jokaisen organisaation tulee tunnistaa omat prosessinsa ja niiden haasteet. Suora kopiointi erilaisesta prosessista tuskin johtaa onnistuneeseen lopputulokseen (Liker & Convis 2012). Osalle konepajoista lean tarkoittaa sopeutumista asiakkaan prosesseihin ja järjestelmään, toiset ovat luoneet prosessinsa vakaiaksi ja verkoston toimivaksi asiakasarvon luomiseen. Epäonnistumiset johtuvat pääasiassa ymmärtämättömyydestä, kun haetaan pikavoittoja hallin siivoamisesta 5S:nä ja poistetaan hukka rajoittamalla tulostusmääriä (Kanerva & Karsikas 2015).

1.3 Tutkimuksen tavoitteet, rajaus ja tutkimusongelma

Kohdeyrityksen toiminta ei ole enää täyttänyt kaikilta osin asiakkaiden sille asettamia odotuksia ja vaatimuksia. Laatupoikkeamia ja valmistusvirheitä on syntynyt runsaasti tuotannon eri vaiheissa ja asiakasreklamaatioita on kertynyt liikaa. Nämä ovat heijastuneet yrityksen toiminnan kannalta kriittisille alueille, kuten toimitusvarmuuteen ja kannattavuuteen. Läpimenoaikojen venyminen on johtanut ylikuormitukseen ja estänyt samalla uusien tilausten saamisen. Liikevaihdon laskun seurauksena yleiskustannusten osuus on kasvanut ja kannattavuus heikennyt entisestään.

Tutkimuksen tavoitteeksi on asetettu tuotantoprosessin arvoa tuottavan virtauksen ongelmakohtien kartoittaminen. Toisena tavoitteena on ollut löytää ratkaisuehdotuksia virtauksen ongelmien eliminoimiseen ja kokonaisvaltaiseen toiminnan parantamiseen ilman merkittäviä investointeja ja lisäkustannuksia.

Tutkimus on rajattu koskemaan fyysisen tuotteen ja sen valmistuksessa tarvittavan informaation virtausta läpi tuotantoprosessin. Tutkimuksen ulkopuolelle on jätetty prosessiin läheisesti liittyvien hitsauksen ja koneistuksen menetelmät ja niiden todennäköinen kehityspotentiaali sekä yrityksen tieto- ja ohjausjärjestelmät. Tarkastelunäkökulmana on käytetty tuotteen arvon muutosta sen läpimenoajan eri vaiheissa.

Tutkimusongelmana on löytää syitä ja seurauksia raskaan konepajatuotannon läpimenoaikojen viivästymisiin ja laatuongelmiin sekä niiden eliminointimahdollisuudet lean -tuotannon keinoin.

Tutkimuksella on haluttu saada vastaus kysymykseen:

Voidaanko hukkaa poistaa ja asiakkaan kokemaa arvoa kohottaa lean – tuotantojärjestelmällä raskaan tuotannon tilauskonepajassa?

Vastausta tähän on haettu seuraavilla apukysymyksillä:

1. Koska lean on luonteeltaan sarjatyön menetelmä, sopiiko se raskaan teollisuuden hitaalle tuotantovirtaukselle ja vaihteleville tuoteperheille?
2. Löytyykö organisaation työmenetelmissä vuosikymmenien kehityksen jälkeen parannettavaa?
3. Vaikuttaako työmenetelmien vaihtelu työhön käytettyyn aikaan ja laatuun?

1.4 Tutkimusote

Liiketaloustieteiden ja teollisuustalouden tutkimuksissa käytetään erilaisia tutkimusotteita, joiden käyttö riippuu saatavasta aineistosta, lähtötiedoista ja tavoitteista. Eri tutkimusotteita käytetään myös vaihtoehtoisina, samanaikaisina tai vuorottelevina. Liiketaloustieteen otteet voidaan liittää positivismiin tai hermeneutiikkaan. Positivismi perustuu yksinomaan todettuihin ja todennettaviin havaintoihin, kun taas hermeneuttiseen tieteenkäsitykseen kuuluu tutkijan ja ilmiöön liittyvien henkilöiden ymmärrys tutkittavasta kohteesta ja siihen liittyvistä kausaalisista suhteista. Teollisuustalouden tutkimuksissa pyrkimykset ovat tyypillisesti sekä episteemisiä että praktisia, hyötyä tavoitellaan sekä tiedeyhteisölle että kohdeyhteisölle tai elinkeinoelämälle (Olkkonen 1994).

Tämän tutkimuksen teoreettisessa osassa on tarkasteltu lean -tuotantofilosofiaa ja sen eri ilmenemismuotoja kirjallisuuskatsauksen pohjalta. Teorian perusteella on pyritty löytämään käsiteanalyttiselle tutkimusotteelle tyypillisiä suositteluvia tai toteavia tuloksia empiirisen osion tulosten täydentämiseksi. Tavoitteena on ollut myös syventää tutkijan tietämystä ja muodostaa aiheesta kokonaiskuva.

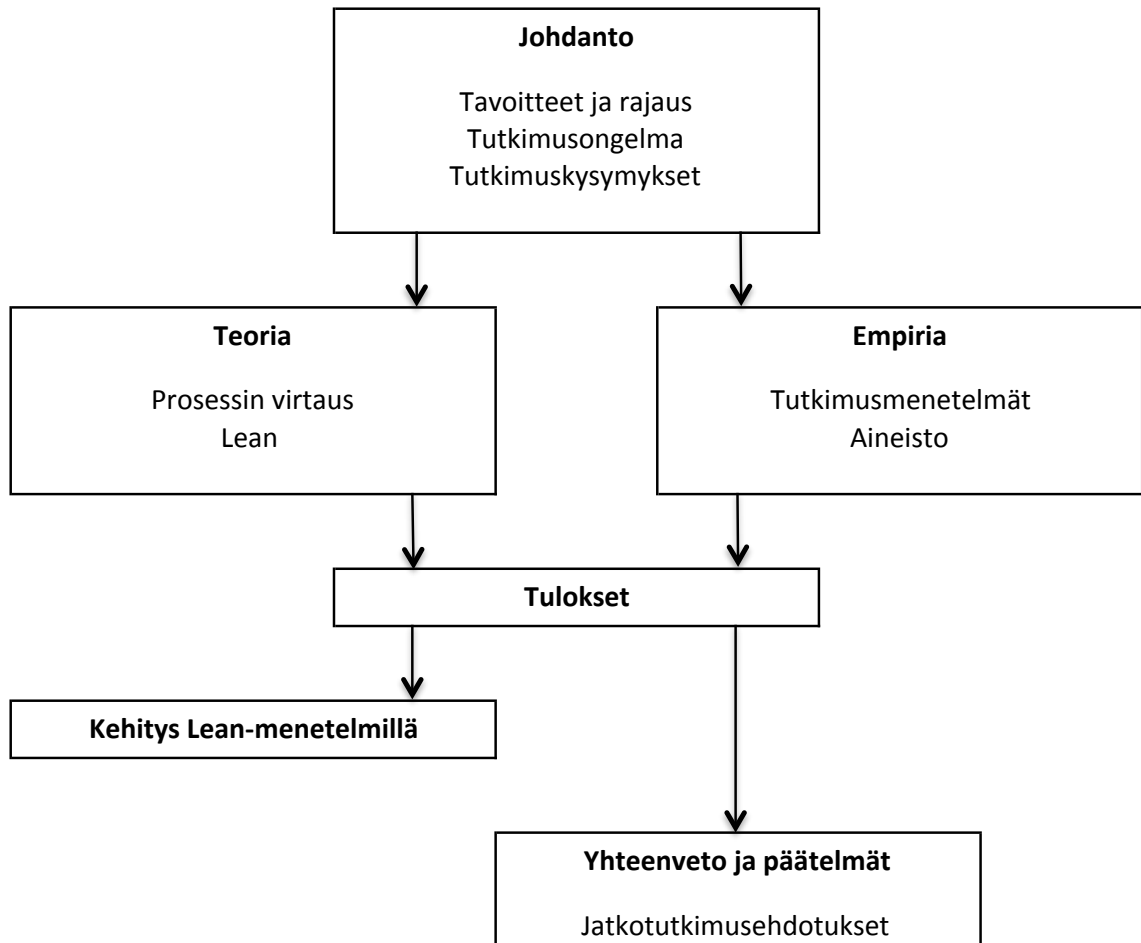
Tutkimuksen empiirinen osa noudattaa toiminta-analyyttisen tutkimusotteen piirteitä. Toiminta-analyyttinen tutkimusote pyrkii ymmärtämään tutkimuksen kohteena olevaa ongelmaa, kuten esimerkiksi yrityksen tuotantoprosessia. Otteelle on tyypillistä, ettei tutkimus koostu pelkästään ulkopuolisista ja neutraaleista havainnoista, vaan sitä leimaa tutkijan omaan ymmärrykseen perustuvat tulkinnat ja osallistuva suhde tutkimuskohteeseen ja siinä mukana oleviin henkilöihin (Olkkonen 1994). Henkilöstön näkemystä valitsevasta tilanteesta on pyritty selvittämään teemahaastattelulla, jossa kysymykset ovat toistuneet vakioina, mutta vastaajille on annettu mahdollisuus avoimeen, keskustelumaiseen mielipiteiden ja tunteiden ilmaisuun (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2009). Dialogilla on haluttu luoda kehitystä ja muutosta edistävä ilmapiiri ja haastaa henkilöstöä hylkäämään perinteisiksi muotoutuneet työtapansa.

Toimintatutkimusta on kritisoitu tiukan tieteellisestä näkökulmasta tarkasteltuna. Menetelmä luokitellaan tieteelliseksi, jos se on objektiivinen, julkinen ja itsensä korjaava. (Haaparanta & Niiniluoto 1986). Julkisuusperiaatteeseen kuuluu, että pätevä henkilö ymmärtää tehdyt kokeet ja havainnot sekä pystyy toistamaan ne. Perusteltu kysymys on, voidaanko toimintatutkimuksella saavutetut tulokset toistaa eri organisaatioissa toisten tutkijoiden toimesta. Toimintatutkimusta on kritisoitu myös sen osallistuvan luonteen vuoksi. Voidaanko tutkimusta sanoa tieteelliseksi tai edes aidoksi tutkimukseksi, jos tutkittavan organisaation jäsenet ovat mukana suunnittelemassa ja toteuttamassa tutkimusta (Kuula 1999).

Toiminta-analyyttisen otteen tulokset ovat usein muutosprosessien selityksiä tai ne voivat muodostaa normatiivisia ohjeita. Tuloksina voidaan esittää myös kohteessa saavutettuja muutoksia tai muutoksiin johtavia pyrkimyksiä. Toiminta-analyyttisen otteen tuloksien yleistettävyyden ja verifiointi saattaa olla ongelmallista ja tulosten käyttökelpoisuus perustuu pääosin saavutetun hyödyn osoittamiseen (Olkkonen 1994). Tutkimuksella on haettu keinoja läpimenoaikojen lyhentämiseen ja laadun sekä toimitusvarmuuden parantamiseen prosessin vaihtelua vähentämällä.

1.5 Raportin rakenne

Tutkimusraportti on jaettu kuuteen lukuun. Johdantolukua seuraa lean -ajattelua ja siihen läheisesti liittyviä tai vaihtoehtoisia menetelmiä käsittelevä teorialuku, joka toimii pohjana empiiriselle osuudelle. Yrityksen tuotantoprosessi, tutkimusaineisto ja -menetelmät kuvataan luvussa kolme. Tutkimustulokset esitetään neljännessä luvussa, viidennessä tarkastellaan käytännönläheisesti kehityssuuntia kohti lean -tuotantoa ja kuudennessa luvussa luodaan yhteenveto tehdystä tutkimuksesta ja mahdollisista jatkotutkimuksen aihealueista.



Kuva 1 Tutkimuksen rakenne

Tutkimuksen rakenne on esitetty kuvassa 1. Teoriaosuudessa on tarkasteltu tuotantoprosessin virtausta ja lean –tuotannon menetelmiä, joita voidaan käyttää tuotantoprosessin kehittämiseen. Prosessista kerätyn aineiston pohjalta on saatu tulokset prosessin suorituskyvystä, kuten työtunneista, vaihtelusta ja poikkeamista. Tulosten perusteella on pohdittu kehityssuuntia kohti lean -tuotantoa ja laadittu päätelmät tutkimuksesta.

2. MUKAUTUVA TUOTANTOJÄRJESTELMÄ

Tilaukonepajojen toiminta on asiakasohjautuvaa eli tuotteen valmistusprosessi käynnistyy vain asiakkaan tilauksesta. Toiminnalle on tyypillistä kysynnän vaihteluista aiheutuva epätasainen ja vaikeasti hallittava tuotannon kuormitus (Aulanko 1988). Mukautuvan tuotantoprosessin tavoitteita ovat laatu, tehokkuus ja sopeutumiskyky, eli mitä prosessi tuottaa, miten se sen tuottaa ja miten prosessi sopeutuu erilaisten asiakastarpeiden mukaan (Tuominen 2010a). *Mukautuvuus* kuvaa tässä tutkimuksessa koko prosessin elastisuutta sopeutua kulloiseenkin tarpeeseen, kun taas käsite *joustavuus* mielletään tutkimuskohteessa laajasti työajan joustavuudeksi.

Konepajatoiminnan menestysvuosina toimittiin tuotantokeskeisesti teknisten taitojen ollessa menestystekijöitä. Kilpailun kiristyessä pääosaan siirtyi liiketoiminnallinen osaaminen, kuten markkinointi- ja myyntitaidot. Nykytilanteessa kaikki yrityksen taidot on koottava yhteen asiakkaan ympärille siten, että asiakas kokee olevansa kaiken keskiössä. Organisaatio muodostaa toiminnallaan tarinan, jonka sankariksi asiakas itsensä tuntee (Juuti 2015). Yritys luo arvoa asiakkaalle ja sen jatkuvuuden kannalta on merkityksellistä, mikä on sen oma osuus luodusta arvosta. Tavanomaisinta ja alkeellisinta kilpailua markkinaosuuksista on hintakilpailu. Hintakilpailun seurauksena yrityksen osuus arvonnäyksestä pienenee ja samalla koko toimialan kannattavuus heikkenee. Kilpailu heikentää myös yrityksen neuvotteluvoimaa. Pidemmällä aikavälillä asiakkaan kokema kilpailuhyötykin voidaan menettää (Santalainen 2009). Juutin (2012) mukaan yrityksen asettamat prioriteetit vaikuttavat sen menestykseen. Asiakasta palveleva, henkilöstöään kunnioittava ja perustehtävänsä keskittyvä organisaatio menestyy vaikeissakin olosuhteissa. Menestyvät organisaatiot siis asettavat asiakkaan ja henkilöstön etusijalle ennen omistajia ja muita sidosryhmiä (Juuti 2012).

Yrityksen strategiat määrittävät sen liiketoiminnan ja taloudellisen toiminnan mahdollistavan asiakkaan. Strategiat luovat asiakkaalle hyödyn ja tarjoavat sille todellista arvoa. Strategiat ohjaavat myös hinnoittelua ja sopeutumista asiakkaan taloudellisiin puitteisiin (Drucker 2002). Yritykset toimivat kuitenkin itselleen määrittelemän kehyksen sisällä ja tekevät päätöksiä sen puitteissa. Päätöksistä syntyy ajan kuluessa yrityksen vakiintunut toimintatapa. Vakiintunut toimintatapa vahvistaa itseään ja luo perustan yrityksen kulttuurin syntyyn. Yritys sitoutuu päätöksillään ja investoinneillaan kulkemaan valitsemaansa polkua. Tätä polkua on turvallista edetä vakiintuneissa olosuhteissa, mutta valitettavasti ympäröivä maailma muuttuu ennemmin tai myöhemmin. Muutokset tulisi havaita ja muutos käynnistää, mutta useimmiten haemme muutoksen merkeistä ensisijassa vahvistavia signaaleja vakiintuneelle toiminnallemme.

Valitulta polulta poistuminen merkitsisi luopumista toimintaodotuksista, hankituista koneista, tuotantovälineistä ja osaamisesta, joista emme raaski luopua. Varmoina valitun strategiamme tuloksellisuudesta olemme ajautuneet toiminnalle haitalliseen polkuriippuvuuteen (Temmes & Välikangas 2010).

Toimintastrategian laatimisen voi aloittaa kolmella peruskysymyksellä. Ensimmäiseksi tarvitaan yhteinen näkemys siitä, ketkä ovat asiakkaitamme. Toiseksi on selvitettävä, mitkä ovat asiakkaittemme ongelmat ja tarpeet. Viimeisenä esitämme itsellemme kysymyksen, miten ratkaisemme asiakkaidemme ongelmat ja tyydytämme heidän tarpeensa (Vuorinen 2014).

2.1 Tuotantoprosessin virtaus

Tuotantoprosessien virtaustehokkuutta rajoittavaan läpimenoajan kasvuun on olemassa kolme lakia, Littlen laki, pullonkaulalaki ja vaihtelun laki. Littlen lain mukaan *läpimenoaika (CT) = keskeneräisten yksiköiden määrä (WIP) x jaksoaika (TH)*.

$$CT = WIP * TH \quad (1)$$

Tämän mukaan läpimenoajassa on kaksi vaikuttavaa tekijää, eli käsiteltävät kappaleet ja jaksoaika, mikä kuluu kappaleen käsittelyyn kyseisessä vaiheessa. Laki osoittaa läpimenoajan kasvavan käsiteltävien kappaleiden määrän kasvaessa. Tämä johtaa tehokkuusparadoksiin: Resurssitehokkuuden kannalta 100% kuormitus olisi ihannetila, minkä saavuttamien edellyttää, että käsiteltävä kappale on aina saatavilla. Puskurivarasto varmistaa, että resurssi ei koskaan joudu odottamaan uutta kappaletta. Luomalla puskurivaraston varmistaksemme resurssin kuormituksen kasvattamme siis läpimenoaika (Chhajed & Lowe 2008).

Toinen prosessien virtaukseen vaikuttava laki on pullonkaulojen laki. Pullonkaula muodostuu prosessin vaiheeseen, jonka läpivirtaus on pienintä eli virtaus kuristuu ja se määrittää koko prosessin virtauksen. Lain mukaan ennen pullonkaulaa muodostuu jono ja pullonkaulaa seuraavat vaiheet ovat vajaakäytöllä (Hopp & Spearman 2011). Jono muodostuu keskeneräisestä työstä, joten pullonkaulavaihetta edeltävien vaiheiden tehostaminen on hyödytöntä läpimenoajan näkökulmasta.

Laki vaihtelusta määrää läpimenoajan kasvavan sitä enemmän, mitä enemmän prosessissa on vaihtelua ja mitä lähempänä 100% käyttöastetta ollaan. Vaihtelun aiheuttajat voidaan jakaa karkeasti resursseista, virtausyksiköistä ja ulkoisista tekijöistä johtuviksi. Prosessin aikaisemman vaiheen vaihtelu vaikuttaa seuraavan vaiheen saapumisaikaan aiheuttaen joko jonoa tai viivästymistä. Vaihtelua, erityisesti ihmisestä riippuvaa, on vaikea välttää. Yleisellä tasolla virtaustehokkuutta voidaan parantaa karsimalla jonojen muodostumisen syitä ja vähentämään prosessin vaihtelua.

Voimme myös lyhentää jaksoaikaa työskentelemällä nopeammin. Jaksoaikaa voidaan lyhentää myös kapasiteettia lisäämällä, mikä on yleensä yritykselle kallis vaihtoehto (Hopp & Spearman 2011).

Korkea käyttöaste eli resurssien mahdollisimman tehokas hyödyntäminen koetaan organisaatioissa tärkeäksi ja parhaassa tapauksessa käyttöaste olisi 100%. Asiakkaan kannalta katsottuna tämä aiheuttaakin ongelmia. Resurssitehokkuuteen keskittyminen johtaa lisätöihin ja resurssitarpeisiin, mitä ei virtaustehokkaassa prosessissa tarvittaisi. Korkea resurssitehokkuus ei siis välttämättä lisääkään arvoa. Tehokkuuden tavoittelu johtaa tehottomuuteen. Näiksi tehottomuuden lähteiksi Modig & Åhlström (2013) nimeävät pitkät läpimenoajat, monta virtausyksikköä ja uudelleen aloittamisen tarpeen. (Modig & Åhlström 2013)

Pitkä läpimenoaika aiheuttaa odottamista, mikä johtaa kielteisiin sivuvaikutuksiin, kuten turhautumiseen, välinpitämättömyyteen ja unohduksiin. Näistä aiheutuu uusia haasteita ja ongelmia, jotka on ratkaistava, mikä vaatii lisää resursseja ja toimintoja.

Virtausten määrän lisääntyminen johtaa tarpeeseen monen asian samanaikaiseen hoitamiseen. Tuotantoyrityksessä pieni virtaustehokkuus johtaa varastointitarpeen kasvuun. Varasto itsessään aiheuttaa lisäkuluja, ja varastoinnin lisääminen synnyttää toissijaisia tarpeita. Keskeneräisen tuotannon arvo kasvaa ja mahdolliset laatupoikkeamat ovat varassa jäädä varastojen kätköihin.



Kuva 2 Kaavio varastoinnin ongelmista (Mukailtu Mådig&Åhlström, s. 52)

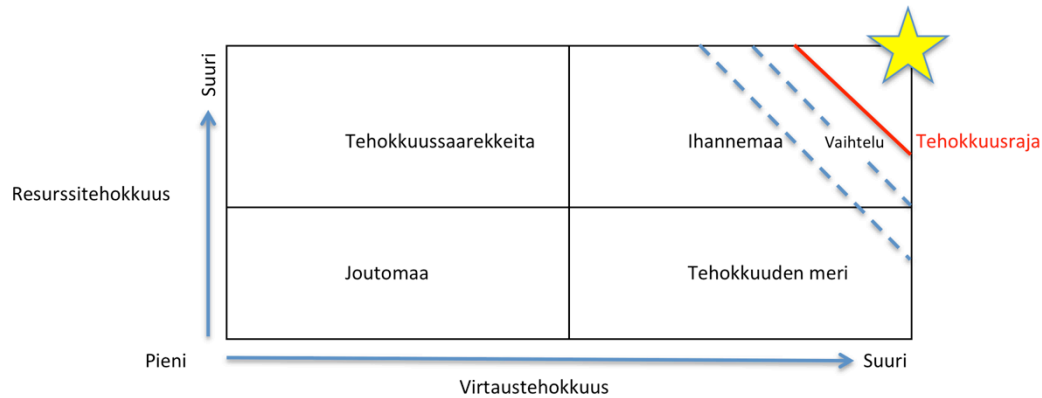
Resurssitehokkuuden tavoittelu johtaa tarpeeseen lisätä virtausyksiköiden määrää, olivat sitten kyseessä informaatiovirrat, työtehtävät tai materiaalit. Työn riittävyyden varmistaminen johtaa virtausyksiköiden kasvuun, mikä jo sinällään lisää läpimenoaikaa. Monien virtausyksiköiden samanaikainen käsittely vaikeuttaa kokonaisuuksien hallintaa eikä ongelmia havaita. Käsittelyjen lisääntyminen aiheuttaa myös ylimääräisiä investointi- ja kehitystarpeita (Rother 2011).

Tarve aloittaa työ moneen kertaan aiheuttaa tehottomuutta näennäisestä liikkeestä huolimatta. Toissijaisia tarpeita syntyy, kun yksittäinen työntekijä aloittaa keskeytyneen työnsä uudelleen, samoin silloin, kun työ siirtyy vaiheesta toiseen. Jonossa olevien töiden luokittelu, etsiminen, tunnistaminen ja järjestely aiheuttavat viiveitä ja turhautumista. Jonot syntyvät vaiheiden rajapinnoille, mikä osaltaan lisää laatuongelmia osaoptimoinnin ja kokonaisvastuun katoamisen myötä (Hopp & Spearman 2011).

Valmistavan organisaation ensisijainen tarve on tuottaa häiriöttömällä virtauksella arvoa asiakkaalle. Toissijaiset tarpeet syntyvät, kun tässä syystä tai toisesta epäonnistutaan. Toissijaiset tarpeet ovat lisätyötä, hävikkiä, vaikka sitä ei välttämättä edes siksi tunnusteta. Ne voidaan kokea arvoa tuottavaksi huomaamatta sitä, että ne olisivat tarpeettomia, jos ensisijainen tarve olisi tyydytetty ajallaan. Näennäisesti tehokas organisaatio tuhlaa siten resurssejaan lisätyön ja arvoa tuottamattomien tehtävien parissa. Resurssitehokkuuden korostaminen saattaa muodostaa osaoptimoituja tehokkuusaarekkeitä, jossa osat itsessään ovat tehokkaita, mutta koko prosessin virtaustehokkuus on silti heikko (Hopp & Spearman 2011).

Tuotantoprosessin tuotevirran ohjaus perustuu yksinkertaisuudessaan kolmeen kysymykseen materiaaleista ja komponenteista, mitä tarvitaan, milloin tarvitaan ja kuinka paljon tarvitaan. Kysymykset perustuvat asiakkaan tarpeeseen ja toistuvat tuotantoprosessin sisäisissä asiakkuuksissa (Modig & Åhlström 2013).

Tehokkuusmatriisi on nelikenttä organisaation sijainnille, jossa akseleina ovat resurssitehokkuus ja virtaustehokkuus.



Kuva 3 Tehokkuusmatriisi (Mukailtu Mådig&Åhlström 2013, s. 106)

Vasemman ylälohkon muodostavat korkean resurssitehokkuuden osaoptimoidut tehokkuussaarekkeet. Resurssien käytön tehokkuus tapahtuu virtaustehokkuuden kustannuksella, mikä valmistavassa teollisuudessa merkitsee jokaisen yksittäisen komponentin olevan suuren osan ajasta varastoituna.

Oikeassa alalohkossa sijaitsee tehokkuuden meri, jossa pääpaino on virtaustehokkuudessa ja asiakastarpeiden mahdollisimman nopeassa täyttämässä käytön resurssien tehokkuuden kustannuksella. Virtauksen maksimoimiseksi on varattuna ylimääräistä kapasiteettia. Tehokkuuden merelle pääsemiseen eivät riitä tehokkuussaarekkeet, vaan on ymmärrettävä kokonaisuus.

Nelikentän vasempaan alalohkoon sijoittuvat yritykset, jotka eivät käytä resurssejaan tehokkaasti eikä prosessien virtauskaan ole tehokasta. Asiakkaan saama arvo on vaatimatonta ja resursseja tuhataan.

Ihannemaa sijaitsee kentän yläoikealla. Sen saavuttaneilla organisaatioilla erittäin hyvä resurssi- ja virtaustehokkuus. Kulmapisteen, tähden, saavuttavan organisaation tulisi siirtyä maksimaaliseen resurssien käyttöasteeseen ja täyttää samaan aikaan asiakkaan tarpeet täydellisesti. Täydellisyyden saavuttamisen esteeksi tulee vaihtelu, niin asiakkaan tarpeiden, kuin resurssin joustavuudenkin osalta. Vaikka asiakkaan tarpeet pystyttäisiinkin ennakoimaan, resurssien joustavuutta ja luotettavuutta ei saada nostettua täydelliselle tasolle, varsinkaan kun kysymyksessä ovat ihmiset.

Asiakastarpeiden ennustettavuus ja resurssien joustavuus sekä luotettavuus määrittävät tehokkuusrajan, jonka yläpuolelle ei ole mahdollista päästä. Sijoittumiseen rajan alapuolella vaikuttaa, pitääkö organisaatio tärkeämpänä resurssi- vai virtaustehokkuutta, ääripäät kohdissa A ja B. Vaihtelun tason noustessa myös tehokkuusraja putoaa. Tähteä tavoittelevien organisaatioiden tulee kehittyä sekä asiakkaan tarpeiden ennakoinnissa että joustavaan ja varmaan resurssitarjontaan (Modig & Åhlström 2013).

Tuotannon kehittämisessä eräinä vaihtoehtoina ovat siirtyminen joustavampaan tai ketterämpään tuotantoon. Joustavalla lean -tuotannolla voidaan vaikuttaa tehokkaammin valmistuskustannuksiin, kun taas ketterä tuotanto, *agile manufacturing*, soveltuu paremmin tuotantovolyymiin tai tuotevalikoiman kasvattamiseen (Hallgren & Olhager 2009). Matalan volyymin ja suuren tuotevaihtelun aloilla leanin ja agilen piirteitä yhdistämällä voidaan päästä mukautuvampaan lopputulokseen ja parempaan vaihtelun hallintaan, kuin pelkästään lean –tuotannon menetelmin (Hines, Holweg & Rich 2004).

2.2 TPS – Toyotan tuotantojärjestelmä

Toyota Production System (TPS) eli Toyotan tuotantojärjestelmän kehittäjänä tunnetaan insinööri Taiichi Ohno. Järjestelmän juuret ovat vahvasti amerikkalaiset. Esikuvana toimi Fordin autotehtaan liukuhihna ja Henry Fordin teos *Today and Tomorrow*. Myös laatupioneeri W. Edwards Demingin opetukset implementoitiin siihen perusteellisesti. Silloisen pienvalmistajan resurssit eivät riittäneet massatuotantojärjestelmän luomiseen, vaan sen tuli sovittaa Fordin valmistusprosessi omaan mittakaavaansa tavoitteena korkea laatu, matalat kustannukset, joustavuus ja lyhyt läpimenoaika (Liker 2004).

Resurssipula pakotti japanilaiset ennenäkemättömään tehokkuusajatteluun. Maailmansodan jälkeisessä Japanissa oli pulaa raaka-aineista, pääomasta, teknologiasta ja koneista sekä vapaasta maapohjasta. Resurssipula johti haluan tehdä oikeita asioita eli valmistaa tuotetta, jonka asiakas halusi. Tuotanto aloitettiin vasta asiakkaan tilauksesta. Pulan toinen seuraus oli halu tehdä asiat oikein ja edetä materiaalien hankinnasta tuotteen toimittamiseen ja maksun saamiseen mahdollisimman nopeasti. Aikajana tilauksen ja rahojen saamisen välillä oli ainoa tarkastelun kohde. Sitä pyrittiin lyhentämään poistamalla lisäarvoa tuottamatonta hukkaa (Ohno 1988).

Jatkuva virtaus, prosessien standardointi ja hukan eliminointi tunnettiin tavoiteltavina käsitteinä myös Fordilla. Työ oli pitkälle standardoitua ja liukuhihna varmisti virtauksen, mutta toiminta tapahtui valtavien välivarastojen varassa (Womack, Jones & Roos 1990). Toyotalla ei ollut resursseja tällaiseen toimintaan, mutta se sovelsi jatkuvan materiaalivirran ideaa kehittämällä yksiosaisen, joustavan virtausjärjestelmän ja materiaalivirtojen imuohjauksen (Liker 2004).

Eläkkeelle jäätyään Taiichi Ohno kirjoitti Toyotan tuotantojärjestelmää kuvaavan teoksen *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production* (Ohno 1988). Nigel Slack ja Michael Lewis (Slack & Lewis 2002, s. 446) arvioivat teoksen olevan sekä tehokas mainos Toyotan kyvykkyyksistä että pyyntö eri tieteenalojen tutkijoille etsiä systemaattisia selityksiä sen menestykselle autoteollisuudessa. Merkittävintä Toyotan saavutuksissa ei ehkä ollut, mitä he tekivät, vaan miten he sen tekivät (Slack & Lewis 2002).

Toyotan tuotantofilosofia on joka tapauksessa saanut runsaasti huomiota osakseen eri tieteenalojen tutkijoiden piirissä. Massachusetts Institute of Technology:n (MIT) organisoima tutkimus International Motor Vehicle Program (IMVP) analysoi globaalin auto-teollisuuden tuottavuutta, tehokkuutta ja toimintamalleja. Tutkimuksessa havaittiin japanilaisten toimintaperiaatteiden mukaisen tuotannon olevan sekä tuottavampi että laadukkaampi ja tarjoavan asiakkaille enemmän malli- ja varustevaihtoehtoja, kuin kilpailijansa. Tutkimuksen tuloksena syntyi käsite Lean Production, Lean tuotanto (Haverila et al. 2009).

Toyota julkaisi vuonna 2001 sisäisenä koulutusmateriaalina yrityksen viittä perusarvoa kuvaavan kirjoituksen *Toyotan tapaan* (The Toyota Way), jonka tarkoituksena oli esitellä yhtiön globaalisesti yhtenäistä toimintafilosofiaa sen eri tuotantoyksiköissä.

Jeffrey K. Liker julkaisi vuonna 2004 saman nimisen kirjan, jossa Toyotan filosofia kuvataan neljään pääryhmään jaettuna 14 periaatteena (Liker 2004, s. 36 – 41):

Pitkän tähtäimen filosofia:

Ensimmäisenä periaatteena on tehdä päätökset sekä pitkän tähtäimen filosofian että lyhyen tähtäimen taloudellisten tavoitteiden kustannuksella. Organisaatiota tulee ohjata kohti yhteistä tarkoitusta ja tavoitetta. Lähtökohtana on luoda arvoa asiakkaalle, taloudelle ja yhteiskunnalle, kantaa vastuu ja kehittää taitoja lisäarvon tuottamiseen.

Oikea prosessi tuottamaan oikeat tulokset:

Luodaan jatkuva prosessin virtaus ja tehdään ongelmat näkyviksi suunnittelemalla prosessit tuottamaan arvoa tuottavan, jatkuvan virtauksen, joka siirtää materiaalia ja tietoa nopeasti sekä tuo välittömästi esiin häiriöt virtauksessa.

Imujärjestelmien käytöllä vältetään ylituotantoa ja tarjotaan prosessin asiakkaille oikeaan aikaan oikea määrä haluttua materiaalia. Keskeneräisen tuotannon varastot minimoidaan ja reagoidaan ennusteiden sijasta asiakkaan kysynnän muutoksiin.

Tasapainotetaan työmäärä poistamalla vaihtelua ja ylikuormitusta kaikista valmistus- ja palveluprosesseista.

Luodaan kulttuuri, jossa pysähdytään korjaamaan ongelmat heti niiden ilmetessä, jotta laatu saadaan kuntoon ja vastaisuuden häiriöt eliminoidua. Annetaan asiakkaan vaatiman laadun ohjata toimintaa.

Tehtävien standardointi on jatkuvan parantamisen perusta. Vakaat, toistettavat menetelmät ylläpitävät ennustettavuutta ja säännöllistä tuotantoa. Standardoidaan parhaat käytännöt ja kannustetaan luovuuteen prosessien parantamisessa.

Käytetään visuaalista ohjausta ongelmien paljastamiseksi ja prosessin virtauksen seuraamiseksi. Tiivistetään raportit yhdelle paperille myös tärkeimpien päätösten kohdalla.

Käytetään vain luotettavaa teknologiaa, joka palvelee ihmisiä ja prosesseja. Rohkaistaan ihmisiä käyttämään toimivaa teknologiaa prosessien parantamiseksi.

Lisäarvon tuottaminen organisaatioon ihmisiä ja yhteistyökumppaneita kehittämällä:

Kasvatetaan johtajia, jotka ymmärtävät työn, noudattavat filosofiaa ja opettavat sitä myös muille.

Kehitetään eteviä ihmisiä ja ryhmiä, jotka noudattavat tukevat yrityksen arvoja ja filosofiaa. Luodaan vahva ja vakaa kulttuuri parantamaan laatua ja tuottavuutta. Koulutetaan tiimityöskentelijöitä ja kannustetaan ratkaisemaan ongelmia ja parantamaan prosessin virtausta.

Kunnioitetaan yhteistyöverkostoa tarjoamalla sille haasteita ja auttamalla sitä kehityksessä oman yrityksesi jatkeeksi.

Jatkuva taustaongelmien ratkominen edistää organisaation oppimista:

Ratkaistaan ongelmat ja parannetaan prosesseja paikan päällä havainnoimalla juurisyitä ja ongelmien todelliset lähteet omien havaintojen vahvistamina.

Tehdään päätökset harkiten ja yksimielisesti, mutta toteutetaan ne nopeasti. Ei valita ensimmäistä ratkaisua ennen, kuin on tutustuttu perusteellisesti muihin vaihtoehtoihin. Keskustellaan vaihtoehtoista niiden kanssa, keitä asia koskee, laajemman näkemyksen ja yksimielisyyden saavuttamiseksi. Toteutetaan tehty päätös nopeasti, mutta vaikutuksia tarkkaillen.

Luodaan oppiva organisaatio jatkuvan parantamisen avulla. Suunnitellaan varastottomia prosesseja ja torjutaan hukkaa jatkuvan parantamisen prosessin avulla. Opitaan parhaat käytännöt standardoimalla ja arvioidaan tekemistä tärkeimmissä virstanpylväissä ja projektien päätyttyä puutteiden tunnistamiseksi.

Näiden periaatteiden soveltaminen omaan organisaatioon ja tuotantoprosessiin sopiviksi ja niiden kehittäminen paremman suorituskyvyn saamiseksi tuottaa jatkuvasti lisäarvoa asiakkaille ja yhteiskunnalle. Yksittäisten periaatteiden ja työkalujen suora kopioiminen voi johtaa lyhyen aikavälin harppauksiin suorituskyvyssä, mutta ei kestäviin parannuksiin. TPS ei ole pelkästään laaja valikoima menetelmiä ja työkaluja, joilla menestys rakennetaan, vaan viimeistelty, ihmisiin ja oppimiseen perustuva järjestelmä (Liker 2004).

2.3 Lean -tuotanto

Lean (laiha, niukka) -tuotanto perustuu Toyotan tuotantojärjestelmään. Termiä käytti John F. Krafcik vuonna 1988 IMVP –tutkimuksen tuloksiin perustuvassa artikkelissaan *Triumph of the Lean Production System*. Artikkelissa verrattiin amerikkalaisvalmistajien resurssikeskeisiä tuotantojärjestelmiä japanilaisten hauraisiin, virtauskeskeisiin tuotantojärjestelmiin, jotka osoittautuivat yksinkertaisuudestaan huolimatta tehokkaammaksi (Krafcik 1988). Laajempaa julkisuutta Lean –tuotanto sai, kun James Womack, Daniel T. Jones ja Daniel Roos julkaisivat vuonna 1990 yhteenvetona samasta IMVP –tutkimuksesta sitä esittelevän kirjan *The Machine That Changed The World* (Womack, Jones & Roos 1990).

Lean pyrkii asiakasarvon kasvattamiseen prosessin hukkia vähentämällä. Hukaksi määritellään kaikki se, mikä ei tuota asiakkaalle lisäarvoa, koska kustannukset lankeavat lopulta kuitenkin asiakkaan maksettaviksi. Lean -ajattelussa asiakaskeskeisyys korvaa teollisuudessa vallinneen tuotantokeskeisyyden. Tuotannon virtausta ja ohjausta kehittämällä pyritään nopeuteen ja joustavuuteen sekä aikaiseen vieheiden havaitsemiseen. Lyhyet tuotantosarjat edellyttävät myös lyhyitä koneiden asetusajoja (Vuorinen 2014).

Lean korostaa **aina** virtaustehokkuutta. Virtaustehokkuus vähentää lisätyötä ja hukkaa, mikä mahdollistaa samalla myös resurssitehokkuuden kasvun. Virtaustehokas organisaatio yhdistää toimintojen saarekkeet tuotannolliseksi järjestelmäksi, jossa aika tilauksesta maksun saamiseen on mahdollisimman lyhyt. Ihannetilana, tähden, saavuttamattomuus johtuu vaihtelusta, siksi juuri vaihtelun vähentäminen on leanin keskipisteessä (Modig & Åhlström 2013).

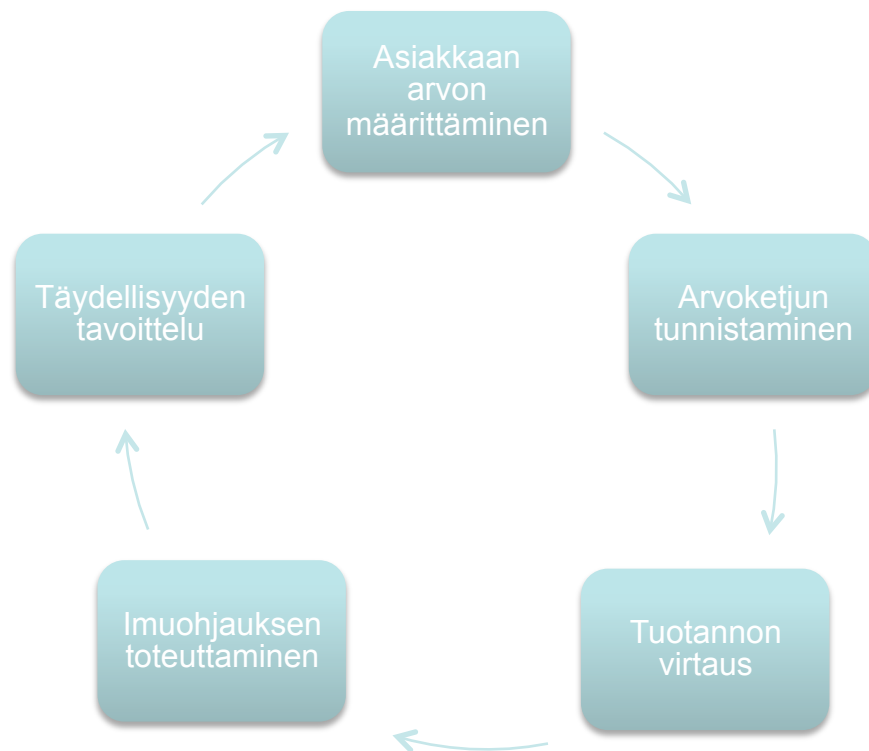
Leanin toteuttamiskeinot voidaan jakaa neljään ryhmään: arvot, periaatteet, menetelmät ja työkalut. Arvot määrittävät organisaation olemuksen ja periaatteet sen, miten organisaation tulee ajatella. Menetelmät ja työkalut määrittävät, mitä organisaatio tekee ja mitä se tekemiseensä käyttää. Arvoista kunnioitus ja yhteistyö ovat edellytyksiä tehokkaalle virtaukselle. Virtaus pyritään tasoittamaan hallituilla materiaalivirtauksilla ja imuohjauksella. Periaatteina vaihtelun vähentämiseksi ja tehokkaan virtauksen luomiseksi mainitaan JIT ja jidoka, sisäänrakennettu laadun tuotto. Vastuu ja valta laadusta annetaan työntekijöille ja koneisiin asennetaan poikkeamat havaitsevia laitteita (Liker 2004). Menetelmistä tärkeimpiä vaihtelun vähentäjiä ovat arvovirtakuvaus, Value Stream Mapping ja 5S, oikeat asiat ovat oikeilla paikoilla. Työkaluista visualisointi nousee esille häiriöttömän virtauksen havainnollistamisessa (Modig & Åhlström 2013).

Leanin tavoitteena on parantaa virtaustehokkuutta vähentämättä resurssitehokkuutta, mieluummin lisäämään sitä. Tavoite voi olla joko staattinen, dynaaminen tai niiden yhdistelmä. Staattinen tavoite on virtaustehokkuudelle asetettu taso. Kun tämä taso on saavutettu, projektiluonteinen kehitys loppuu tavoiteltuun tulokseen ja organisaatio on siirtynyt staattiselta tasolta toiselle, mitattavalle tasolle.

Tavoitteen tulisikin olla dynaaminen, jatkuvasti etenevää ja täydellisyyttä tavoittelevaa jatkuvien parannusten kehää ilman muuta absoluuttista ja mitattavaa tasoa (Modig & Åhlström 2013).

Lean tarjoaa yleisiä ohjeita kehitystyöhön, mutta niiden soveltaminen on aina yrityskoh- taista. Onnistuessaan kehitys johtaa paitsi tuotantoprosessin, myös yrityksen kulttuurin uudistumiseen. Mittaristot kohdistetaan lean -ympäristössä yleensä materiaaliin, työhön, käytettyyn energiaan ja aikaan. Mitataan tuottavuutta, keskeneräisen tuotannon arvoa, läpimenoaikaa, laatua ja hukkaa (Vuorinen 2014).

Leanin viisi pääpiirrettä ovat asiakkaan arvon ymmärtäminen, arvoketjun tunnistami- nen, tuotannon virtaus ja imuohjauksen toteuttaminen sekä täydellisyyteen pyrkiminen (Womack & Jones 1996, Hines et al. 2008, Vuorinen 2014):



Kuva 4 Kaavio Leanin pääpiirteet (Mukailtu Vuorinen 2014, s. 72, Hines et al. 2008, s. 4)

Lean –ajattelun mukaisesti ensimmäisessä vaiheessa, kuva 4, määritetään arvo asiak- kaan näkökulmasta, koska viimekädessä vain asiakas määrää tuotteiden ja palveluiden hinnat. Yrityksen on tiedettävä, mitä ominaisuuksia asiakas haluaa ja mistä se on valmis maksamaan. Asiakasarvo tulee ohjata yritystä ja sen kehitystyötä. Seuraavaksi analy- soidaan ja kuvataan yrityksen arvovirta. Erotellaan arvoa tuottavat, arvoa tuottamatto- mat, mutta välttämättömät ja arvoa tuottamattomat, jotka tulee poistaa. Arvoketju arvi- oidaan kokonaisuutena materiaalin toimittajista luovutukseen.

Kehämallin kolmannessa vaiheessa keskitytään jatkuvan virtauksen luomiseen jäljelle jääneisiin arvoa tuottaviin osiin. Tuotannon virtaus toteutetaan siten, että materiaalivirta on selkeä, lyhyt ja jatkuva. Turha käsittely ja odotus karsitaan pois. Myös informaatiovirta on saatava sujuvaksi ja virheettömäksi. Koneiden kunnossapito ja toimintavarmuus varmistettava. Neljäs vaihe, imuohjauksen käyttäminen, tarkoittaa asioiden tekemistä asiakasvetoisesti eli tehdään, mitä asiakas haluaa ja milloin asiakas haluaa. Tuotanto käynnistetään tilauksesta eikä missään vaiheessa valmisteta tuotteita varastoon. Asiakkaan pyynnöt ja tarpeet imevät tuotteen tuotantoprosessin läpi.

Täydellisyyteen pyrkiminen korostaa, että kyseessä on jatkuva prosessi, joka ei koskaan lopu ja aina löytyy parannettavaa. Täydellisyyteen pyritään koko henkilöstön voimin jatkuvan parantamisen keinoin. Työntekijöillä on päävastuu laadun ja tuottavuuden kehittämistä (Vuorinen 2014). Yrityksien toiminta ja asiakkaiden tarpeet muuttuvat jatkuvasti, joten myös tämän vuoksi neljää ensimmäistä vaihetta tulisi toteuttaa jatkuvasti. (Womack & Jones 1996, Hines et al. 2008) Lean -ajattelussa keskitytään siis kaupalliseen tehokkuuteen sekä operatiiviseen suorituskykyyn. Kaupallinen tehokkuus tarkoittaa oikeiden asioiden tekemistä, kun taas operatiivisella suorituskyvyllä tarkoitetaan asioiden tekemistä oikein (Hines et al. 2008).

Lean -tuotantoa on myös kritisoitu työntekijöiden painostuksesta ja hyväksikäytöstä, mutta vastakkainen näkemys korostaa ihmisten arvostamista ja kunnioitusta jopa mekaanisia menetelmiä enemmän (Hines, Holweg & Rich 2004).

Womack et al. (1990) mukaan leanin pääperiaatteita ovat tiimityö, tehokas viestintä, jatkuvat parannukset, resurssien tehokas hyödyntäminen ja hukkan poistaminen (Womack, Jones & Roos 1990). Myöhemmin kirjassa *Lean thinking* Womack ja Jones esittelevät uusia, asiakasarvopohjaisia toteuttamisperiaatteita. Ensimmäiseksi määritetään tuotteen arvo ulkoisen asiakkaan näkökulmasta. Prosessin virtauksesta etsitään arvoa tuottamattomat vaiheet ja poistetaan ne. Prosessin arvoa tuottavat vaiheet järjestetään asiakasta kohti etenevän virtauksen mukaisesti ja annetaan virtauksen edetä asiakkaan imun mukaisesti. Näiden vaiheiden jälkeen prosessi aloitetaan alusta parannuksia löytämiseksi ja tätä kiertoa jatketaan, kunnes arvon tuotto saadaan täydelliseksi (Womack & Jones 1996).

Spear ja Bowen (1999) löysivät tutkimuksessaan Toyotan prosessien suunnittelussa, toteutuksessa ja parantamisessa noudatettavia sääntöjä. Niiden mukaan kaikille töille määritetään sisältö, järjestys, ajoitus ja tulokset. Tuotteiden virtauksen tulee kulkea yksinkertaista, suoraa reittiä ja prosessin jatkuvassa parantamisessa opettaja tarvitaan organisaation alaosasta. Myös asiakas-toimittajasuhteiden tulee olla suoraa ja viestien yksiselitteisiä (Spear & Bowen 1999).

Yrityksissä oletetaan usein joidenkin yksittäisten lean -työkalujen implementoinnin johdettavan helposti Toyotan tuotantojärjestelmän mukaiseen lean -tuotantoon ja tätä oletusta tukevat lukuisat konsultit. TPS ei missään tapauksessa ole vain joukko työkaluja ja varma lääke menestykseen. Se ei myöskään ole sen paremmin johtoportaan kuin pelkästään tuotantotason ohjelmakaan, eikä toteutettavissa lyhyellä tai keskipitkällä aikavälillä. TPS on kokonaisvaltainen ja yhtenäinen, asiakastyytyväisyyteen painottuva ajattelu-tapa. Sitä leimaa laatu, ryhmätyö, kurinalaisuus ja jatkuvan parantamisen tavoittelu (Liker 2004).

2.4 Leanin menetelmät ja työkalut

Leanin vahvasta autoteollisuustaustasta huolimatta siitä on kehittynyt yleinen ja eri toimialoilla paljon hyödynnetty menetelmä, johon on lisätty ja sovitettu uusia tuotantoprosesseja tehostavia menetelmiä ja työkaluja tarpeen mukaan. Jokaiselle tuotantoprosessille tulisi määritellä tavoitetila, jota kohti parannusaskelia otetaan.

Ennen tavoitetilan määrittelyä tulee tehdä prosessin nykytilaa arvioiva prosessianalyysi. Prosessianalyysin ja tavoitetilan asettamisen jälkeen voidaan aloittaa lyhyet ja tiheät parannusjaksot.

2.4.1 Arvovirtakartta

Leanissa yrityksen toimintaa lähestytään arvon tuottamisen kannalta koko toimitusketjussa ja toiminnot on jaettu kolmeen kategoriaan: arvoa tuottava, arvoa tuottamaton mutta toiminnalle välttämätön sekä arvoa tuottamaton toiminto, hukka. Ensimmäinen askel tuotantoprosessin toiminnan parantamiseen on analysoida yrityksen arvovirta ja luoda siitä arvovirtakartta. Arvovirran kartoitukseen on useita eri menetelmiä. *Value Stream Mapping* (VSM) arvovirtakartta kuvaa prosessin toiminnot aliprosesseineen ja materiaalin sekä informaation etenemisen. Sen avulla voidaan myös tunnistaa hukkaa ja luoda visioita tavoitetilasta (Liker 2004). Teollisessa, kapean tuotesortimentin tuotannossa parhaan vasteen antaa prosessin toiminnan kartoitus, *Process activity mapping*. Se on työkalu yksityiskohtaisen prosessikuvauksen tekemiseen, jossa määritetään jokainen tilauksen valmistamiseen tarvittava vaihe. Kartoituksen avulla kuvataan läpimenoaikaa ja tuottavuutta sekä materiaali- että informaatiovirroille (Hines & Rich 1997). Kartoitukseen voidaan lisätä myös elinkaarimallin ja kestävän tuotannon komponentteja, esimerkiksi leikkuunesteiden ja muiden kemikaalien käyttöä tai energian kulutusta (Vindoh, Ben Ruben & Asokan 2016).

Arvovirtakuvaus ei ole pelkästään prosessin parannustyökalu, vaan pikemminkin työkalu kokonaiskuvan seuraamiseen ja visualisointiin. Arvovirran parantaminen perustuu yksittäisten solujen ja aliprosessien toiminnan parantamiseen. Muuttamalla yhtä kohdetta kerrallaan tulos on selkeämpi ja luotettavampi, kuin samanaikaiset muutokset useassa kohteessa virran varrella.

Prosessitason parannusten tulee sopia yhteen ja vastata sekä organisaation tavoitteita että palvella asiakkaan vaatimuksia sujuvan arvovirran kehittymiseksi (Rother 2011). Prosessiaika jaetaan asiakkaalle arvoa tuottavaan ja arvoa tuottamattomaan aikaan, koska prosessi voi sisältää hyvää lopputuloksesta huolimatta uudelleen käsittelyä ja lisätyötä aiheuttavia laatuongelmia. Analyysivaiheen jälkeen aloitetaan parannustoimet kehittelemällä erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja testattavaksi ja vertailtavaksi. Hyväksytyt tulokset jälkeen uusi prosessi dokumentoidaan ja otetaan käyttöön. Parannusten käyttöönoton jälkeen prosessia valvotaan mittaamalla saavutettuja hyötyjä (Lecklin 2006).

2.4.2 Työmäärän tasapainotus ja tahtiaika

Tuotantoprosessin tahtiaika perustuu asiakkaan tahtiaikaan, eli siihen, montako tuotetta aikayksikköä kohden tarvitaan. Tahtiajan perusteella suunnitellaan valmistusprosessin jaksoaika, joka sisältää prosessin luontaisen vaihtelun ja vaihtoajan (Hobbs 2003).

Prosessianalyysissä edetään kapasiteettitarkasteluun, jossa selvitetään, riittääkö tuotantokyky täyttämään suunnitellun jaksoajan tarpeet ja onko prosessin eri vaiheiden tila stabiili. Tuotantoprosessien ollessa epästabiileja koko organisaatio kärsii vaihtelun aiheuttamasta lisätyöstä ja lisäkustannuksista. Vaihtelun aiheuttamat kustannukset ovat vaikeasti mitattavissa, mutta niiden on arvioitu lisäävän kustannuksia jopa 30% (Rother 2011).

Tahtiajan äärimmäinen tavoite on luopua kaikista varastoista prosessien välissä. Kun varasto puuttuu tai se on pieni, prosessin ongelmat näkyvät välittömästi niiden ilmaantua ja ilman ratkaisua virtaus pysähtyy. Tämä on syy, miksi useimmat yritykset turvautuvat runsaastiin puskurivarastoihin virtauksen turvaamiseksi. Samalla se luo kuitenkin esteen kehitykselle kohti täydellisyyttä (Liker & Convis 2012).

Lean –työkaluista tuotannon aikataulujen ja prosessien tasapainottaminen ovat kenties vaikeimmin käyttöön otettavissa. Tuottavan koneen pysäyttäminen virtauksen tasapainottamiseksi tuntuu tehokkuusajattelun vastaiselta ratkaisulta. Yli- ja alituotanto, keskeytykset ja käynnistykset ovat kuitenkin laadun, työn standardoinnin, tuottavuuden ja jatkuvan parantamisen näkökulmasta ongelmallisia (Liker 2004).

2.4.3 Prosessin hukka

Tyypillisin hukan muoto on japaniksi *Muda*, lisäarvoa tuottamaton työ. *Muda* sisältää lähteistä riippuen 7 – 9 erilaista hukan tyyppiä, jotka ovat Likerin mukaan (Liker 2004, s. 89):

1. Ylituotanto. Tarpeettomalta tuotannolta vältytään, kun prosessin eri vaiheet tuottavat vain sen, mitä asiakas haluaa.
2. Odotus. Turha odottelu karsitaan pois koko prosessista sekä koneiden että työntekijöiden osalta.
3. Turhat kuljetukset, nostot ja siirrot tulee karsia esimerkiksi tilaratkaisuilla.
4. Ylikäsittely. Tarpeettomia vaiheita ja ylikäsittelyä, kuten myös monimutkaisia ja kalliita työkaluja tai järjestelmiä tulee välttää, mikäli ne ylittävät todellisen tarpeen.
5. Turhat varastot sitovat pääomaa ja peittävät todellisia ongelmia.
6. Turhaa liikkumista ja liikkeitä vältetään toimintojen suunnittelulla.
7. Virheelliset osat ja korjaaminen tai moninkertainen työ estetään jokaisen vaiheen virheettömyydellä.

Kahdeksanneksi hukaksi Liker (Liker 2004, s.89) nimeää työntekijöiden luovuuden hyödyntämättömyyden ja ympäristötietoisuuden lisääntyessä hukkiin on lisätty yhdeksänneksi ympäristön kuormitus (Vinodh, Arvind & Somanaathan 2011).

Mudan eliminointi on yleisin tapa pyrkiä lean –tuotantoon, mutta sen avulla päästään käsiksi ainoastaan prosessin pintapuolisiin ongelmiin. Kaksi muuta hukun muotoa, *Muri* eli ylikuormitus ja *Mura* eli epätasaisuus ovat syvemmillä arvovirrassa ja keskeisessä asemassa virtauksen tasapainottamisessa (Hines et al. 2008).

Muri, ihmisten ja koneiden ylikuormitus yli luonnollisten rajojen lisää tapaturmariskiä ja laatuongelmia (Liker 2004). Muri voi olla myös vastakohtaisesti työntekijän tai resurssin alikuormitusta. Murin yleisimpiä syitä ovat huonosti suunnitellut ja järjestetyt työpisteet, jolloin työntekijät joutuvat tekemään turhaa oheistyötä työtä selvitäkseen tehtävistään, sekä huonot työohjeet ja standardoinnin puute. Myös vaihtelu, mura, aiheuttaa ylimääräistä rasitusta resursseille (Pienkowski 2014).

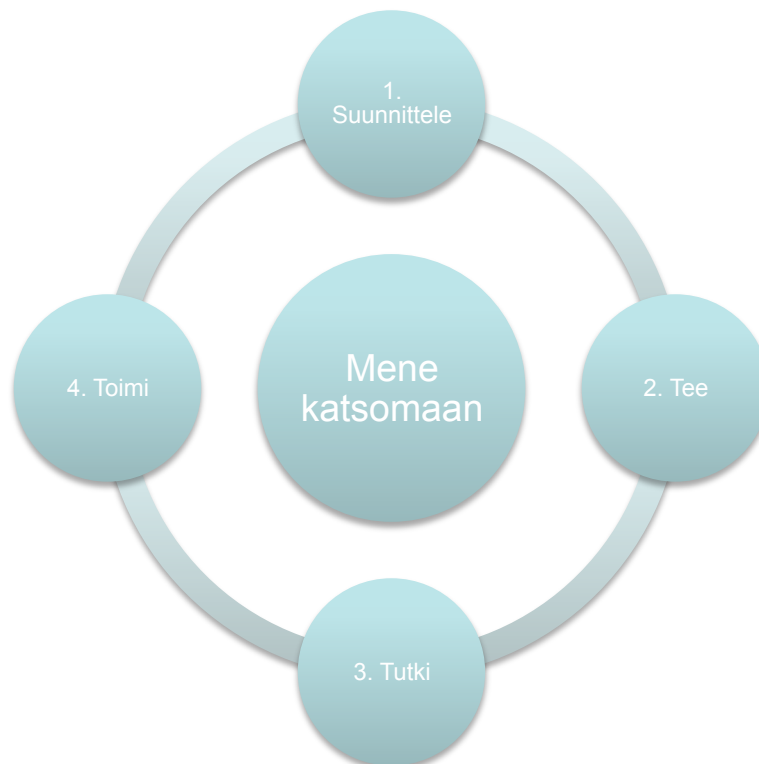
Mura, virtauksen epätasaisuus syntyy yli- ja alikuormituksen seurauksena. Kuormitusvaihtelun syynä saattaa olla koneiden rikkoutuminen tai tuotteen laatuongelma (Liker 2004). Vaihtelua aiheuttaa myös epäsäännöllinen kysyntä ja tuotantoaikataulujen muutokset, sekä hukkaa tuottavat resurssit, kuten ylityöt, korjaukset ja uudelleen tekeminen (Pienkowski 2014).

2.4.4 Kaizen ja PDCA –jatkuva parantaminen

Kaizen (muutos parempaan), on japanilainen termi jatkuvalla parantamiselle, täydellisyttä tavoittelevalla kokonaisella filosofialla. Se sisältää niin pienet, vaiheittaiset parannukset kuin suuret muutoksetkin ja lisäarvoa tuottamattoman hukan eliminoinnin. Länsimainen tehokkuusajattelu odottaa jokaiselta muutokselta välittömiä, mitattavia tuloksia ja huomio kiinnitetään siksi suuriin läpimurtoinnovaatioihin (Liker 2004). Valmistusprosessi on kuvattava ja vakioitava kattavasti, sillä muuten sitä ei voida parantaa järjestelmällisesti (Womack, Jones & Roos 1990).

Demingin ympyränä tunnettu, amerikkalaisen W. Edwards Demingin julkaisema, ongelmanratkaisun systemaattinen lähestymistapa PDCA (Plan-Do-Check-Act) eli Suunnittele-Tee-Tarkasta-Toimi, on jatkuvan parantamisen perusta (Liker 2004). Hän kutsui ympyrää myös kuvaavasti PDSA –kehäksi, jossa S tulee sanasta Study, perehdy, opi (Johnson 2016).

Sama periaate tunnetaan alunperin Shewhartin ympyränä kirjan *Statistical Method From the Viewpoint of Quality Control*, jonka Walter A. Shewhart julkaisi jo vuonna 1939 (Shewhart 1986).



Kuva 5 PDCA sykli (Mukailtu Rother 2011, s. 123)

PDCA –syklin ensimmäisessä, suunnitteluvaiheessa määritetään tavoitetilaa suunnitellaan keino sen saavuttamiseksi. Toisessa vaiheessa tämä suunnitelma toteutetaan ja havainnoidaan sekä dokumentoidaan vaikutukset. Kolmannessa vaiheessa verrataan saavutettuja tuloksia odotettuihin. Neljännessä vaiheessa toimiva ratkaisu vakioidaan ja otetaan käyttöön, muuten aloitetaan sykli alusta. Toyotalla ympyrää täydennettiin syklin keskiöön sijoittuvalla komennolla ”Mene katsomaan” , kuten kuvassa 5 (Rother 2011).

PDCA- sykli käynnistyy vallitsevan tilan ongelmien tunnustamisesta ja halusta siirtyä kohti tavoitetilaa, jonka tulee olla selkeä ja mitattavissa oleva, rajattu päämäärä. Tavoitetilaa sisältävät yleensä tarkasteltavan prosessin vaiheet, niiden järjestys ja kestoaika, prosessin piirteet, mittarit sekä tulospittarit. Yksittäisen aliprosessin mittaus voi johtaa ei-toivottuun lopputulokseen.

Paremmat tulokset tavoittelu saattaa johtaa eräkoon kasvattamiseen, koska vaihdot mielletään hukaksi. Osia tuotetaan yli seuraavan aliprosessin tarpeen, mikä muodostaa prosessin sisäisiä varastoja. Mahdollisen poikkeaman sattuessa virheellisiä osia ehditään tuottamaan paljon ja jälkikäteen tuotantohetkellä vallinneiden olosuhteiden ja juurisyyn selvittäminen on vaikeaa (Rother 2011).

Nykytilan ja tavoitteen välissä on esteitä alueella, jonka ylittämiseksi laaditaan suunnitelma tai hypoteesi. Erehtyminen ratkaisussa on mahdollista tai jopa todennäköistä, mutta monet ratkaisut syntyvät este kerrallaan vasta matkalla kohti tavoitetta, ei valmiiksi suunniteltuina. Pienessä mittakaavassa suoritettuna ja tuloksia avoimin mielin analysoimalla tieto lisääntyy ja onnistumismahdollisuudet kasvavat kerta kerralta. Organisaation tulisi etsiä ja ymmärtää prosessin ongelmia, mutta ei missään tapauksessa hyväksyä niitä (Rother 2011). Ongelmat johtuvat harvoin yksilöistä, mutta koemme niistä helposti syyllisyyttä tai etsimme syyllistä juurisyyn sijaan.

2.4.5 JIT –juuri oikeaan tarpeeseen

Just In Time (JIT) tai suomalaisena versiona Juuri Oikeaan Tarpeeseen (JOT) -tuotannon tavoitteena on tuottaa pieniä määriä lyhyellä läpimenoajalla ja toimittaa oikeaan aikaan, oikea määrä, oikeita artikkeleita. Ominaisista on panostus laadun kehittämiseen, sillä virheet tuotteissa tai toiminnassa pysäyttävät koko tuotantoprosessin (Haverila et al. 2009). Periaatteena on kohdella prosessin seuraavaa vaihetta asiakkaana ja pyrkiä toimittamaan oikean laatuinen tuote juuri oikeaan aikaan. JIT on Toyotan tuotantojärjestelmän toinen peruspilari *jidokan*, sisään rakennetun laaduntuoton ohella.

JIT –järjestelmässä jokainen aliprosessi tuottaa valmisteita tasaisella, kysyntää vastaavalla vauhdilla, josta käytetään nimitystä tahtiaika, *Takt time*. Tahtiaika ilmaisee JIT –ajattelussa kysynnän vauhdin. Jos asiakas ostaa yhden tuotteen tunnissa, on tahtiaika yksi tunti. Ihannevirtauksessa kaikki aliprosessit tuottavat tarvittavat osat yhdelle tuotteelle tunnin välein. Häiriötilanteessa yhdenkin osan viivästyminen viivästyttää tuotteen valmistumista (Liker & Convis 2012). Kun tahtiajasta vähennetään prosessiin sisältyvät vaihtoajat, suunnittelemattomat tauot ja osien korjaamiseen käytetty aika, saadaan tulokseksi *tuotantoprosessin suunniteltu jaksoaika*. Koska prosessi sisältää aina luonnollista vaihtelua, suunniteltu tuotantoprosessin jaksoaika on yleensä tahtiaikaa lyhyempi. Mitä pienemmäksi ja tasaisemmaksi prosessin vaihtelussa päästään, sen lähempänä jaksoaika on tahtiaikaa ja prosessin tavoitetilaa (Rother 2011).

2.4.6 Imuohjaus

Perinteisessä tuotannonohjauksessa, työntöohjauksessa, arvovirran prosesseja ajoitetaan ennustetuilla aikatauluilla ja laskennallisilla vaiheajoilla. Tavoitteena on tuottaa seuraavan vaiheen tarvitsema erä aikataulun mukaisesti kuvainnollisesti työntämällä prosessia eteenpäin. Erän valmistuminen etujassa koetaan yleisesti positiiviseksi tapahtumaksi ja sen koetaan lisäävän prosessin varmuutta ja häiriönsietokykyä. Käytännössä välivarastot ja vaihtelu vaikeuttavat ohjausta hallittavien tekijöiden lisääntyessä, mikä johtaa läpäisyajojen kasvuun (Haverila et al. 2009).

Imuohjauksen periaate on, että tuotantoprosessin seuraava vaihe antaa valmistusimpulsin edeltävälle vaiheelle, kun se tunnistaa niille tarpeen. Teolliseen ympäristöön periaate kopioitiin supermarketista, joissa hyllyjä täydennettiin jatkuvasti menekin mukaan (Liker 2004).

Kompleksisten ja muuttuvien tuotteiden valmistuksessa imuohjaus voi tuntua mahdottomalta ajatukselta. Prosessin virtauksen kannalta on kuitenkin tärkeää, että työnvaihe saa tarvitsemansa osat oikeassa järjestyksessä, oikean laatusena ja oikeaan aikaan. Siksi tuntuu luonnolliselta, että impulssi materiaalityypille lähtee työnvaiheelta. Materiaaliksi luetaan myös esimerkiksi hitsauslisäaineet, maalit, ohenteet ja muut vastaavat tuotteen valmistukseen tarvittavat aineet. Häiriötön virtaus vaatii prosessille ominaisen varastojen määrän. Varastotasosta tinkiminen lisää kiirettä, materiaalityypia ja pikakuljetuksia. Virtaus häiriintyy, ja voimavaroja hukataan korjaaviin toimenpiteisiin. Imuohjausjärjestelmä on harvoin ensimmäinen askel kohti lean –tuotantoa. Imuohjauksen toimintaedellytykset paranevat prosessin tasapainottamisen myötä (Rother 2011).

2.4.7 5S

5S on siisteyttä ja järjestystä ylläpitävä lean -tuotannon tukijärjestelmä. Viisi ässä muodostuvat alkuperäisistä sanoista Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu ja Shitsuke eli lajittele, järjestä, puhdista, standardoi ja ylläpidä. Järjestelmän tavoitteena on poistaa hukkaa, josta aiheutuu virheitä, vahinkoja ja vikoja työpaikalla (Liker 2004). 5S:n on havaittu vaikuttavan tuottavuuden kohoamiseen ja sen on osoitettu myös sekä parantavan työilmapiiriä että vähentävän työtapaturmia (Srinivasan et al. 2016).

5S-ohjelma etenee järjestelmällisesti vaiheittain. Eri vaiheita voi yhdistää, mutta ei ohittaa. Ylimääräisen tavaran tunnistaminen ja poisto on edellytyksenä järjestyksen luomiseksi. Ilman järjestystä siisteys ja puhtauden ylläpito vaikeutuu. Ilman olosuhteiden vakiointia ei myöskään ole pohjaa järjestelmälliselle ylläpidolle ja jatkuvalla parantamiselle (Tuominen 2010b).

Myös työpisteet, joissa tehdään samantyyppisiä tehtäviä, tulisi vakioida, jolloin työpisteiden vaihto sujuu ongelmitta ilman työkalujen ja tarvikkeiden etsintää (Chaneski 2015).

Koneen puhdistus ja tarkastus ovat tärkeä osa käyttäjän rutiinitoimia, jotka tulee vakioida. Sama pätee muihinkin tuotantovälineisiin, kuten letkuihin, kaapeleihin ja käsityökaluihin (Tuominen 2010b). Huolto ja ennakoivat toimenpiteet ovat osaltaan varmistamassa tasaista virtausta ja tahtiaikaa. Siistissä ympäristössä myös poikkeamien havaitseminen helpottuu ja 5S tukee näin visuaalista ohjausta (Liker 2004).

2.4.8 Viisi kertaa miksi?

Viisi ”Miksi?” kysymystä (5Whys?) esitetään ongelmien todellisten syiden, juurisyiden selvittämiseksi. Ne voivat olla etäällä havaintopaikasta, mutta yleensä prosessin ylävirran puolella. Yksinkertaisessa analyysimenetelmässä kysymyksiä esitetään, kunnes todellinen ja eliminoidavissa oleva juurisyys on löytynyt (Liker 2004). Toyotalla virheen löytymisen pysäyttää tuotantolinjan, kunnes virheen aiheuttanut juurisyys on selvitetty viiden kysymyksen avulla. Menetelmän käyttöönoton jälkeen tuotannon virheet laskivat merkittävästi ja pysähdykset ovat harvinaisia, vaikka jokaisella työntekijällä on oikeus pysäyttää tuotanto (Womack, Jones & Roos 1990).

5Miksi? -menetelmä voi johtaa myös harhaan ilman kriittistä ajattelua. Kysymysten esittäminen eri tahoille tuottaa eri vastaukset ja todellisen, korjausta tarvitsevan juurisyyn löytäminen ei ole itsestään selvyys (Ayad 2010).

2.4.9 A3: Yhden arkin ratkaisu

Toyotan henkilöstöltä odotettiin tarvittavan informaation esittämistä yhdellä, A3 kokoisella arkilla. Kyseessä ei tyypillisesti ollut muistio, vaan prosessia dokumentoiva, mahdollisimman havainnoiva ja selkeä raportti. Tilanteen kuvaus, vaihtoehtoiset ehdotukset ja hyöty/kustannus-analyysi, toteutus sekä jälkikäsitteily tulee esittää yhdellä paperilla. Muoto siis sisältää tilanteen kuvauksen ja PDCA-syklin. Arkin koko määräytyi sen ajan toimistokoneiden mukaisesti ja on sittemmin puolittunut kokoon A4 (Liker 2004).

A3-menetelmän käyttöönotossa on yleistä, että arkin esittäjä tarjoaa ongelmaan ratkaisun, jonka hän tuo muiden nähtäväksi ja hyväksyttäväksi. Valmis, kenties yksipuolinen ja nopeasti löydetty ratkaisu ja sitä tukeva kehystarina, eikä kuvausta lähtökohdasta ja etenemistä kohti parannusta avoimesti ja monitahoisesti.

A3 menetelmän perimmäisenä tavoitteena ei ole vain selvittää käsillä olevasta ongelmasta, vaan avata prosessin ongelmanratkaisu koko organisaatiolle avoimeksi, ajattelua ja ratkaisuhakuisuutta opettavaksi menetelmäksi (Shook 2009).

Selkeä ja vakiomuotoinen viestintäformaatti parantaa kokousten tehokkuutta ja lyhentää raporttien lukemiseen ja ongelmiin perehtymiseen käytettävää aikaa. Asioiden etukäteisvalmistelu nopeuttaa ja helpottaa myös osaltaan päätöksentekoa. Toisaalta eri tahoilla tapahtunut perehtyminen tuo esiin monipuolisia ratkaisuvaihtoehtoja ja lisää organisaation oppimista (Liker 2004).

2.5 Prosessin laaduntuotto

Nykyaikaista laatuajattelua tukeva laadun määritelmä perustuu Haverila et al. (2009) mukaan asiakkaan mielipiteeseen tuotteesta. Laadun nähdään olevan tuotteen tai palvelun kyky täyttää asiakkaan tarpeet ja odotukset. Yrityksen toiminnan näkökulmasta laatu voidaan määritellä tuotteen vastaavuudeksi sille asetettuihin määrittelyihin ja standardeihin (Haverila et al. 2009, s. 372).

Prosessikeskeisen ajattelun tavoitteena on puolestaan prosessien tehokkuus, jonka edellytyksenä on hyvä laaduntuottokyky. Laatu ei paranneta ainoastaan poistamalla prosessista heikkolaatuiset tuotteet, vaan laatu rakennetaan sisälle tuotantoprosesseihin ja virheet ehkäistään ennakolta (Silén 1998). Hyvälaatuisen tuotteen tekeminen hyvällä prosessilla on halvempaa, kuin huono laatu huonolla prosessilla (Haverila et al. 2009). Reklamaatiot ja niiden syyt pitää paikantaa tuotantoprosessiin ja niiden juurisyihin (Lecklin 2006).

Leanin periaatteen mukaan jokainen työntekijä on tarkastaja ja korjaa tuotteessa tai prosessissa havaitsemansa ongelmat ennen niiden siirtymistä seuraavaan vaiheeseen. Kantavana ajatuksena on pitää laadunohjaus yksinkertaisena ja laatu sisäänrakennettuna. Demingin (1986) perusajatuksen mukaan laatu syntyy tekemällä eikä tarkastamalla (Deming 1986). Hän painottaa myös johtajien roolia organisaation muokkaamisessa laatukskeiseksi.

Likerin (2004) mukaan avaintyökalut pysyvään laadun parannukseen ovat mennä paikalle päälle katsomaan, tilanteen analysointi ja kysyä viisi kertaa ”Miksi?” juurisyyn eliminoinniseksi. Sisäänrakennettu laatu on ennemminkin periaate, kuin yksittäinen työkalu tai teknologia (Liker 2004). PDCA –sykli on jatkuvaa parantamista tukeva, systemaattiseen kehitystoimintaan pyrkivä laadunkehityksen menetelmä. Juranin trilogiana tunnettu laatuohjelma puolestaan korostaa suunnittelun merkitystä tuotteen tulevassa laadussa (Haverila et al. 2009).

Total Quality Management (TQM) eli kokonaisvaltainen laatujohtaminen muistuttaa piirteiltään leania filosofiana ja toimintatapana. Myös se tähtää asiakaslähtöisyyteen, jatkuvaan parantamiseen sekä henkilöstön osallistumiseen ja tiimityöhön. TQM keskittyy pääasiassa yksittäisten prosessien ja tuotteen laadun kehittämiseen, kun taas Lean on kokonaisvaltainen prosessien kehittäjä materiaalin hankinnasta asiakkaalle toimitukseen asti ja tuotannon hukkan vähentäjä. Lean kuten myös TQM ovat erillisten kehittämistyökalujen muodostamia, kokonaisvaltaisia menetelmiä. Näitä työkaluja yhdistelemällä yritys voi valita tarpeeseensa sopivat välineet, on kehitys sitten kulttuurista muokkaavaa, pitkäjänteistä ponnistelua tai mekaanista ja pinnallista viimeistelyä (Vuorinen 2014).

2.6 Asiakaslähtöisyys

Yritysassiakas edustaa yritystä tai organisaatiota. Niissä hankintapäätökset tehdään usein yhdessä usean, eri näkökulmia edustavan henkilön kanssa. Yhdelle tuotteen laatu ja tekniikka on tärkeintä, toiselle etusijalla voivat olla hinta ja rahoitusratkaisut ja kolmannelle toimitusaika ja -varmuus on tärkein ostopäätöksen peruste. Yritysassiakille ovat tyypillisiä pitkäkestoiset asiakassuhteet. Päätöksentekoprosessit ovat usein pitkiä ja monimutkaisia ja niihin osallistuu useita päättäjiä. Sopimukset ja ehdot laaditaan tarkoin ja sopimuksen kohde, tuote tai palvelu, pyritään saamaan ennakoitavaksi ja mitattavaksi (Kortesuo & Löytänä 2011). Asiakaskokemuksen todellinen potentiaali ja samalla suuri haaste löytyy yrityskulttuurista. Koko organisaation tulee ymmärtää asiakaskokemuksen merkitys ennen kuin voidaan odottaa kestävästä kehitystä kohti parempaa palvelua tai asiakaskokemusta (Nayar 2010).

Asiakasläheisissä organisaatioissa asiakkaita kuunnellaan tarkasti ja syvästi. Tällaiset yritykset saavat usein parhaat kehitysajatuksensa suoraan asiakkailta (Juuti 2012).

Organisaatiokulttuurimme on asiakaskeskeisyyden sijasta edelleenkin tuote- ja tuotantokeskeinen. Asiakkaan kokemuksen parantamisen sijaan keskitymme tuotteeseen tai rahaan (Juuti 2015). Asiakaskeskeisen yrityskulttuurin luominen on pitkäkestoinen hanke. Sisäinen viestintä on yksi muutoksen kulmakivi, ja sen tulisi olla pitkäkestoista ja systemaattista. Onnistumisten ja epäonnistumisten jakaminen kuuluu mukaan kulttuurimuutokseen. Asiakaskokemuksesta tulisi luoda kilpailuetu, joka syntyy halusta ymmärtää ja ratkaista asiakkaan tarpeet (Korkiakoski & Löytänä 2014).

Asiakaskokemuksen poikkeustilanteella tarkoitetaan asiakkaan pettymistä yritykseen, odotusten alittamista. Poikkeustilanteiden hoito kuuluu alueeseen, jossa suomalaiset yritykset usein epäonnistuvat. Tyypillisiä syitä epäonnistumisiin ovat poikkeustilanteiden aliarvioiminen, niiden huomaamattomuus tai asiakasnäkökulman unohtaminen. Asiakaskokemukseen vaikuttaa enemmän poikkeustilanteen hallinnan kokonaisuus, kuin esimerkiksi yksittäisen korjaavan toimenpiteen nopeus. Pettymyksen tunne tulisi kääntää positiiviseksi (Korkiakoski & Löytänä 2014).

Poikkeustilanteiden käsittelyyn on esitelty nelivaiheinen *Control - Acknowledge – Refocus - Problem solving* (CARP) eli Hallinta – Hyväksyminen – Fokusointi – Ratkaisu -toimintamalli. Aluksi tilanne tulee ottaa haltuun ja osoittaa pyrkimys ratkaista tilanne asiakkaan eduksi ilman muita intressejä. Hyväksytään sitten asiakkaan näkemys ja hänen pettymyksensä yrityksen aiheuttamaksi. Fokusoidaan asiakas pois pettymyksestä kohti ratkaisua ja ratkaistaan asia selkeällä tavalla sekä varmistetaan asiakkaan tyytyväisyys tulokseen (Bacal 2011).

Sisäinen asiakkuus tarkoittaa organisaation jonkun yksikön palvelua resursseilla tai asiantuntemuksella toiselle yksikölle. Sisäisessä asiakkuuden asiakaskokemukseen kuuluvat kiinteät asiakkaat, joita ei voi vaihtaa tai kilpailuttaa. Asiakassuhteet voivat jopa heikentää työilmapiiriä, koska asiakastyytyväisyyden merkitystä ei nähdä ja sisäisten asiakkaiden hoitaminen koetaan toisarvoiseksi (Kortesuo & Löytänä 2011).

2.7 Yrityksen henkilöstö ja kulttuuri

Leanin käyttönotossa on myös mahdollisuus epäonnistumiseen. Tärkeitä on saada työntekijöiden luottamus ja hyväksyntä muutokseen heti alusta pitäen (Ciarniené & Vienažindiené 2012). Yrityksen kehityksen käynnistyminen edellyttää henkilöstön keskuudessa käytävää dialogiaa. Työyhteisö muodostuu kahdesta rinnakkaisesta yhteisöstä, virallisesta ja epävirallisesta varjo-yhteisöstä. Virallisella osalla on julkinen rooli ja toimitilat, johtamisjärjestelmä, organisaatiokaavio, toimintakäsikirja, prosessikuvaukset vastuineen ja valtuuksineen, eli kaikki se, mitä yhteisöltä odotetaan. Epävirallinen yhteisö on dokumentoimaton ja syntynyt ilman suunnitelmia ja päätöksiä (Mattila 2008).

Yrityskulttuuri ilmentää yrityksen toimintatapaa. Se saa muotonsa yrityksen perinteistä ja rakentuu omaksuttujen oletusten ja uskomusten ympärille. Yrityskulttuuri koostuu yhteisistä näkemyksistä yrityksen päämäärästä ja tavoitteista, käytettävistä keinoista niiden saavuttamiseksi ja kriteereistä, joilla saavutuksia mitataan (Juuti 1992). Yrityskulttuurin muuttamiseen nähdään usein tarvetta, mutta sen muuttaminen halutun laiseksi tietoisten toimien avulla ei kuitenkaan ole välttämättä mahdollista.

Tuotantotiimiin kuuluu ihmisiä eri ammattiryhmistä, mikä aiheuttaa näkemyseroja ja ristiriitoja. Ristiriitojen hallinnassa yhteistyö on avainasemassa. On tunnistettava, koskevatko erimielisyydet käsillä olevaa työtehtävää vai liittykö niihin sosiaalisia tai kulttuurillisia tekijöitä. Tehtäviä koskevat erimielisyydet voivat hyödyttää valmistusprosessia ja tuoda esiin uusia toimintatapoja. Muut erimielisyydet ovat tiimin työskentelylle ja koko ilmapiirille haitallisia. Tiimien muodostumista edesauttaa työn ulkopuolinen sosiaalinen toiminta, jossa tiimin jäsenet tutustuvat toisiinsa ja luodaan pohja luottamuksen kehittymiselle.

Työtä koskevien ristiriitojen ratkaisussa ei tule pyrkiä kompromisseihin, joissa jokainen antaa periksi ja jää tyytymättömäksi prosessin kulkuun. Tavoitteena on löytää ratkaisu, joka hyödyttää kaikkia osallisia ja luo yhteisen näkemyksen onnistumisesta. Asiallinen keskustelu tuo esiin eri toimijoiden tarpeet ja auttaa ymmärtämään toisten näkökantoja (Cagan & Vogel 2002).

Tiimien tai solujen tulisi toimia kokonaisvastuullisesti ja laatu hallittuna (Aulanko 1988). Solujen ja tuotantovälineiden joustavuus lyhentää myös läpimenoaikaa ja alentaa kustannuksia. Työntekijöiden ja tiimien monitaitoisuudella saadaan tarvittavaa joustoa prosessiin, samoin koneilla ja laitteilla, joilla voidaan suorittaa useita työvaiheita tai jotka sopivat vaihtoehtoiseen tai rinnakkaiseen käyttöön (Ojha, White & Rogers 2013). Huipputiimit kestävät kritiikkiä ja motivoituvat itsenäisesti. Ne haluavat havaita ja korjata virheet, hakevat aktiivisesti tietoa ja perehtyvät tuotteen vaatimuksiin. Ne myös toimivat horisontaalisesti, vaihtavat johtajuutta ja pystyvät perustelevaan päätöksensä. Huipputiimi ymmärtää, että se on enemmän, kuin yksittäisten jäsenten summa ja hyväksyvät vastuun tiimin työstä. He käyttävät myös huumoria stressin lievittäjänä ja yhdistävät erilaisia näkökantoja tavoitteen saavuttamiseksi (Katzenbach & Smith 1994).

Esimiesten tulee tukea tiimiä sen alkutaipaleella kohti huippusuoritusta. Tiimin ammatitaitoisimpienkin jäsenten tulee ymmärtää muiden osuuden merkitys tuloksien saavuttamisessa. Tuloksia ei saavuteta valmiiden ennakkokäsitysten perusteella, vaan ne syntyvät tiimin kypsyessä muodostamaan oikea etenemistapa ja toimimaan sen mukaisesti. Ammatillisen pätevyyden tuoma itseluottamus edesauttaa sopeutumista työskentelemään keskinäisen riippuvuuden sitomassa tiimissä (Covey 1989).

2.8 Tietopääoma ja henkilöstön kyvykkyydet

Yrityksen kilpailukyky on sidoksissa henkilöstön tietoihin ja taitoihin sekä sen halusta kehittyä tehtävissään. Henkilöstön pitää tuntea toiminta ja tavoitteet sekä asiakkaiden tarpeet (Kajaste & Liukko 1994). Tuotantoprosessi on osa yrityksen tietopääomaa, ei pelkästään sisältöä, vaan myös tapahtumia ja toimintaa. Systemaattinen toimintatapa jalostaa tietoa ja luo uusia mahdollisuuksia lähes rajattomasti.

Organisaatio kykenee toimimaan sitä yhtenäisemmin, mitä kiinteämpi työntekijöiden muodostama suhdeverkko on. Vastaavasti toisista riippumattomat yksilösuoritukset heikentävät mahdollisuuksia käyttää koko henkilöstön resursseja (Grönroos & Stähle 1999).

Mekaanisessa toimintaympäristössä tieto virtaa organisaation mukaisesti. Tehokkaan toiminnan edellytyksenä on, että jokainen pysyy omalla paikallaan ja suorittaa ennalta määrätyt tehtävät. Tieto on eksplisiittistä, määriteltyä ja täsmällisesti ilmaistavaa. Informaatiovirta on yksisuuntaista ja organisaation mukaista, lineaarista ja vertikaalista. Mekanistisessa järjestelmässä pyritään selkeyteen ja hallittavuuteen, esimerkkeinä taloushallinto, laskutus tai logistiikka. Myös tasaisen laadun takaaminen tuotteessa perustuu mekanistiseen toimintatapaan. Mekanistinen toimintaympäristö voi vaikuttaa vanhanaikaiselta, mutta se on yksi osa kilpailukykyistä yritystoimintaa (Grönroos & Stähle 1999).

Yrityksen kehittymisen edellytyksenä orgaanisessa toimintaympäristössä on yksilöiden välinen kommunikaatio. Tietovirran tulisi olla edestakaista, dialogia ja palautetta. Mitä enemmän on vuorovaikutusta yhteisen tulkinnan syntymiseen, sitä enemmän sillä on kykyä uudistua. Keskustelulla ja soveltamisella hyödynnetään piilevän tiedon varastoa. Orgaaninen yritys ympäristö tavoittelee hallittua kasvua ja joustavaa muuntautumiskykyä. Se kykenee toimintansa jatkuvaan arviointiin ja parantamiseen. Laadun takeena on jatkuva ja hallittu kehitys. Orgaanisessa toimintaympäristössä myös tiedon epämääräisyys lisääntyy ja työtehtävät ovat jossain määrin tilannesidonnoisia. Tieto on moniulotteisemmassa, suurelta osin piilevässä, tacit-tiedon muodossa. Piilevän tiedon siirto henkilöltä toiselle onnistuu vain puheen ja tekemisen välillä. Piilevän tiedon dokumentointi onnistuu parhaiten visualisoinnin avulla, varsinkin yhdessä tekemällä ja keskustelemalla (Grönroos & Stähle 1999). Toyotan näkemyksen mukaan yksilöllistä menestystä voi saavuttaa vain tiimissä ja toisaalta tiimit hyötyvät jäseniensä henkilökohtaisesta kehittymisestä. Tätä näkemystä vahvistetaan ja noudatetaan sekä komentoketjun jokaisessa portaassa että ylenemisprosessissa (Liker & Convis 2012).

Perinteisen konepajateollisuuden rooli ja toimintaympäristö muuttuu verkostotuotannon laajenemisen myötä yhä dynaamisemmaksi. Dynaamisessa toimintaympäristössä eri alojen yritykset toimivat yhteistyöprojekteissa, joissa yrityksen on kyettävä toimimaan innovatiivisesti, nopeasti ja joustavasti.

Dynaamisessa ympäristössä tarvitaan eksplisiittistä ja piilevää tietoa, mutta tärkeintä on kyetä toimimaan avoimessa tilanteessa, jossa tarvittava tietoa ei ole olemassa. Päinvastoin, vanhat ajattelumallit tulisi hylätä uuden oivalluksen tieltä. Dynaaminen toimintaympäristö edellyttää avoimuutta, informaation vaihtoa sekä spontaania toimintaa (Grönroos & Ståhle 1999).

3. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO

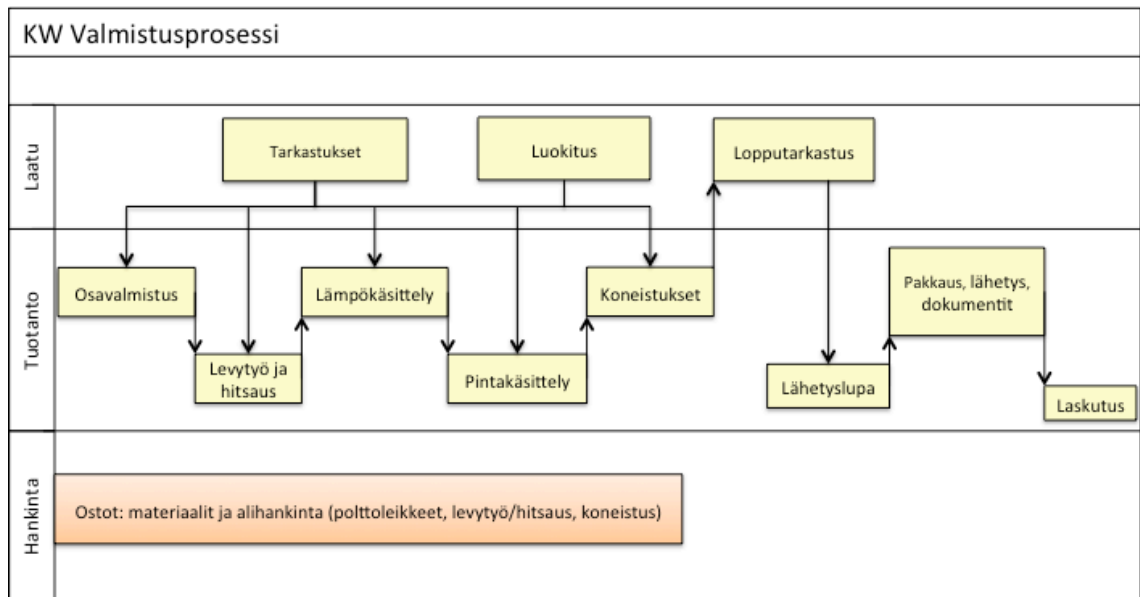
Tutkimuksen empiirisen osan aineisto kerättiin osallistuvana havainnointitutkimuksena potkurilaitteen prototyyppisarjan tuotannon kaikissa eri vaiheissa. Havainnointi tapahtui päivittäisillä tehdaskierroksilla, joiden perusteella raportoitiin edistymätieto suoraan asiakkaan projektiorganisaatiolle. Tutkijan toimiessa myös projektiin osallistuvana valvojana suhde prosessiin oli voimakkaasti osallistuva ja ohjaavuuteen pyrkivä. Havainnointi tapahtui pääasiassa normaalin työajan puitteissa, vaikka tehtaan tuotanto toimii pääosin 2- tai 3 –vuorotyönä.

Suunnittelu- ja toteutumatiiedot kerättiin yrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä. *Enterprise Resource Planning* eli ERP –järjestelmällä ohjataan yrityksen resursseja ja kuormitusta. Jokaiselle työlle ja työvaiheelle annetaan resurssikohtaiset kuormitustunnit ja tehtävät ajoitetaan valmistumispisteestä taaksepäin. Työn edistyessä järjestelmään tallennetaan päivittäiset toteutumastunnit. Hienokuormitus tapahtuu viikoittaisessa tuotantopalaverissa avoimien tilauksien taulukkoa seuraamalla, ilman visuaalista ohjausta.

3.1 Tuotantoprosessin kuvaus

Konepajan tuotanto-organisaatio on funktionaalinen, toimintoihin perustuva. Toimintoja ohjataan työntöohjauksena tuotannonohjausjärjestelmän työjonoilla ja vaihekohtaisella ajoituksella. Tuotantoprosessi alkaa osavalmistuksesta, joka tuottaa asennusvalmiita, tunnistettavia teräsosia kokoonpanoa varten levy- ja hitsausosastolle. Osat leikataan ja osin viistetään termisellä CNC -leikkauksineella. Leikkauksen jälkeinen viimeistely ja osa viisteistä tehdään käsityönä polttoleikkaamalla ja hiomalla. Leikkeet etenevät prosessissa taivutukseen tai suoraan seuraaviin työvaiheisiin, kuten esikoneistukseen tai kokoonpanoon, mutta useimmiten välivarastoon. Taivutus tapahtuu joko puristimella, särmäyspuristimella tai neljätelaisella pyörästyskoneella. Taivutuksen jälkeen osat siirretään seuraavaan asemaan, yleensä välivarastoon. Myös levymateriaalin varastointi ja aineistodistusten hallinta kuuluu osavalmistuksen vastuualueeseen.

Levytyö- ja hitsausosastolla tapahtuu esivalmistettujen osien kokoonpano ja hitsaus. Lopputuotteen koosta ja rakenteesta riippuen koonti tapahtuu joko osakokoonpanoksi tai valmiiksi tuotteeksi. Ruoripotkurirunkojen kokoonpanotyön tekee kokenut levyseppäpari omassa työpisteessään. Koonti tapahtuu pääosin terästasojen päällä ilman suunniteltuja apulaitteita tai mallineita. Muotojen ja mittojen varmistaminen tehdään perinteisin menetelmin, kuten luotilangan, vesivaa’an ja rullamitan avulla. Optisia ja lasertoimisia vaaituskoneita on käytettävissä, mutta niiden käyttö on vähäistä.



Kuva 6 Valmistuksen prosessikaavio (Mukailtu Huttunen 2015)

Kokoonpanon jälkeen tuote hitsataan valmiiksi. Runkojen hitsaus tapahtui pääosin käsin hitsauksena. Erityisesti ruoripotkurin varsi oli sisäosien osalta hankala hitsattava ahtauden ja monimutkaisen rakenteen vuoksi. Hitsausosastolla oli käytävissä mekanoituja jauhekaarihitsausasemia, joista pääosa soveltuu pyörähdykappaleiden hitsaukseen. Hitsauksen jälkeen runkoon tehdään kuumavarusteluvaihe, jossa runkoon suoraan hitsattavat alustat asennetaan paikoilleen.

Seuraavassa vaiheessa runko lämpökäsitellään jännityksenpoistohehkutuksella. Jäähdytyksen jälkeen rungolle tehdään ainetta rikkomattomat, *Non-Destructive Testing* (NDT) ja visuaaliset tarkastukset, joiden jälkeen runko siirtyy tapauskohtaisesti joko pintakäsittelyyn, varusteluun tai koneistukseen. Tutkittavat rungot koneistetaan ennen varustelua.

Koneistus tapahtuu kokonaisuudessaan yhdellä avarruskoneella. Kappale asetetaan koneelle yksilöllisen kiinnittimen avulla. Koneistuksen jälkeen tehdään kappaleen viimeistely, jossa poistetaan terävät koneistuspurseet ja avataan kierteet.

Koneistettu runko siirretään varusteltavaksi ja painekokeeseen. Vaiheessa valmistetaan ja sovitetaan runkoon tulevat suojaputket ja muut ruuvikiinnitteiset osat sekä tehdään luokittajan valvoma painekoe.

Kokeen jälkeen teräsvalmis runko siirtyy pintakäsittelyvaiheeseen. Pesun jälkeen koneistetut pinnat suojataan ja kappale kuonapuhalletaan. Talon tavan mukaan puhallettu runko palautuu levyosastolle viimeistelyyn, jossa poistetaan hitsausroiskeet ja korjataan muut puhalluksen korostamat virheet. Korjattu runko kuljetetaan uusintapuhallukseen raepuhallushalliin ja siirretään sieltä imuroinnin jälkeen kiskovaunulla maalaukseen. Rungot maalataan korkeapaineruiskulla maalauslaitteiden mukaisella pinnoiteyhdistelmällä.

Maalattu runko mitataan koordinaattimittauksella ja varustellaan sekä pakataan toimitusvalmiiksi. Dokumenttien hyväksynnän jälkeen runko saa lähetysluvan ja se toimitetaan asiakkaalle.

3.2 Arvovirta

Asiakasarvon muodostumista arvioitiin seuraamalla rungon valmistuksen etenemistä ja materiaalien virtausta. Koska runkojen tahtiaika on viikkoja, ei osienkaan liikettä seurattu minuuttien tai edes tuntien tarkkuudella, mutta työpäivän aikainen sijainti tai siirto kirjattiin muistiin.

Tuotantoprosessiin liittyvä informaatiovirta ja tuotteen dokumentointi jätettiin tietoisesti kartoituksen ulkopuolelle. Myös aliprosessien tapahtumat jätettiin dokumentoimatta, koska virtauksen hukkaa arvioitiin päivä- ei minuuttitarkkuudella. Tarkastelun kohteena olevien runkojen valmistuksessa ei käytetty alihankintaa lukuun ottamatta asiantuntija-palveluita, kuten mittauksia ja tarkastuksia. Käytetyn vuokratyövoiman työtunnit tallentuivat ohjeistuksen mukaan työlle, kuten oman henkilöstönkin.

3.3 Valmistusaika ja vaihtelu

Leanin periaatteiden mukaan prosessin eri työvaiheiden tulisi tapahtua standardoituina ja kuvattuina työohjeisiin. Työmäärän ollessa vakio myös sen tekemiseen käytettävän ajan tulisi olla jokseenkin vakio. Ihmisten aiheuttamaa vaihtelua ei voida välttää, mutta esimerkiksi numeerisesti ohjatut koneet toistavat vaiheet aina samassa ajassa.

Ruoripotkurin runkojen suunnitellut ja toteutuneet valmistusajat sekä niiden vaihtelu eri kappaleiden välillä saatiin kerättyä tutkimusta varten ERP –järjestelmästä. Kullekin työvaiheelle oli annettu ohjeellinen valmistusaika, jonka tulee olla realistinen kokemukseen ja tunnuslukuihin perustuva arvio tai laskelma. Uuden tuotteen kohdalla kuormitustuntien perusteena on tuotteen hinnoittelun yhteydessä lasketut tai arvioidut työtunnit. Jokaiselle työvaiheelle annetaan aloitus- ja valmistumispäivät ja näillä lähtötiedoilla muodostetaan konepajan toimintaa ohjaava kuormituskuvaaja.

Toteutuman tuntitiedot kertyivät järjestelmään ohjauksessa käytettävien työvaihe- ja kuormitusryhmäjaon mukaisesti. Tunnit kirjautuvat työntekijöiden työaikaleimuksista heidän käytössä olevien työkorttien tunnistetietojen ohjaamina. Järjestelmä ei toimi kaikin osin luotettavasti, mikä paljastuu toteutumattomien puuttumisena osasta tehdyistä työvaiheista.

Toteutuneet työtunnit eivät saisi ylittää suunniteltuja työtunteja, koska jokainen ylitys aiheuttaa häiriötä suunniteltuun virtaukseen ja tehtaan kuormitussuunnitelmaan. Sarja-valmistuksessa käytettyjen työtuntien määrän tulisi jopa vähetä, sillä toistuvissa valmistustehtävissä on havaittu harjaantumisen aiheuttavan myönteisiä vaikutuksia tuottavuuteen työmenetelmien ja –tapojen kehittyessä kokemuksen lisääntyessä. Oppimiskäyräilmio voi Haverila et al. (Haverila et al. 2009, s.370) mukaan vaihdella yrityksiä ja toimialojen välillä, mutta tyypillisesti monimutkaiset tuotteet ovat otollisimpia ilmiön esiintymiselle.

Tutkimuksessa seurattiin toteutumattuntien kehitystä ja suhdetta suunniteltuihin kuormitustunteihin. Tarkastelun kohteiksi valittiin valmistuksen kokonaistunnit sekä toteutumattunnit keskeisimmistä työvaiheista: osavalmistuksesta, levytöistä, hitsauksesta ja koneistuksesta. Toteutumattunneista laskettiin kussakin tapauksessa keskiarvo, keskihajonta ja keskihajonnan suhde keskiarvoon. Havaittujen tallennusvirheiden ja pienen otoskoon vuoksi laajempaa tilastollisiin menetelmiin perustuvaa analysointia ei tehty. Tuntikehitys ja vaihtelu on kuvattu pylväskaavioilla.

3.4 Virheet ja poikkeamat

Virheitä ja poikkeamia tutkimuksessa tarkasteltiin sekä havaintoina tuotantoprosessin eri vaiheissa että järjestelmään kirjattujen poikkeamien korjausluvan pyyntöjen perusteella. Tutkimuksen kohteena olevan tuotteen kohdalla korjaavia toimenpiteitä edellyttävistä laaturvirheistä laadittiin poikkeamapyyntö *Supplier Deviation Request* (SDR), joka lähetettiin tilaajalle hyväksyttäväksi. Määrämuotoinen SDR –lomake sisältää virheen kuvauksen, juurisyyyn ja korjausehdotuksen. Asiakas joko hylkää tai hyväksyy pyynnön ja saattaa asettaa korjaukselle ehdoksi esimerkiksi luokituslaitoksen hyväksynnän.

Suunnitelman mukaisia tarkastuksia tuotteelle tehtiin lämpökäsittelyn jälkeen, pintakäsittelyn eri vaiheissa ja koneistuksen päätyttyä. Lämpökäsittelyn jälkeisen NDT- ja visuaalisen tarkastuksen teki ulkopuolinen, niihin päteväytynyt tarkastaja. Pintakäsittelyn tarkastukset teki maalitehtaan tarkastaja ja koneistuksen jälkeiset mittatarkastukset tehtiin aluksi oman henkilöstön toimesta. Koneistuksen jälkeisen viimeistelyn tekijä laati rungosta suppean mittapöytäkirjan, jonka laajuutta pidettiin projektin alkuvaiheessa asiakkaalle riittävänä. Kappaleesta mitattiin toleroidut halkaisijat ja piirteiden sijainti varmistettiin asiakkaan toimittamalla mallineilla. Myöhemmin mittauksessa siirryttiin asiakkaan vaatimuksesta ulkopuolisen yrityksen laserseuraimella tekemään kolmiulotteiseen koordinaattimittaukseen ja kaikki annetut piirteet todentavaan mittapöytäkirjaan. Satunnaisia visuaalisia tarkastuksia valmistusprosessin aikana tekivät myös asiakkaan edustajat. Järjestelmällistä sisäistä laadunvalvontaa ei prosessin aikana tapahtunut, vaan tuote siirtyi mahdollisine virheineen seuraavaan työvaiheeseen.

Prosessissa havaitut poikkeamat, jotka voitiin korjata ilman vaikutuksia lopputuotteeseen, jäävät kirjaamatta laatu-poikkeamiksi yrityksen järjestelmään. Näissä myös korjaustyötunnit oletettavasti kertyivät tuottavan työn kustannuspaikoille. Tutkimuksen piirissä ovat sekä SDR –menettelyyn johtaneet että prosessin seurannassa havaitut ja muuten esille tulleet poikkeamat.

Poikkeamat laskettiin kullekin rungolle erikseen ja jaettiin levytyön, hitsauksen, koneistuksen ja pintakäsittelyn ammattiryhmien mukaisesti. Poikkeamat luokiteltiin esiintymisen mukaan joko kertaluonteiseksi tai toistuviksi ja niiden esiintymistiheyttä verrattiin toteutumatumteihin ja läpimenoaikaan.

3.5 Toimitusvarmuus

Konepajan laatu-pääällikkö mittaa toimitusvarmuutta asiakaskohtaisesti kuukausittain. Tavoitteeksi varmuudessa on asetettu jatkuva 95% ylitys. Mittarin perusteena on kuukaudelle suunnitellut, tilausten mukaiset toimitukset ja niissä onnistumiset. Myöhästynyt toimitus näkyy tässä tilastointitavassa yhtenä myöhästymisenä eikä se alenna seuraavien kuukausien arvoa, vaikka viivästys edelleen jatkuisikin. Toimitusvarmuuden tilanteesta ja kehityksestä informoidaan säännöllisesti koko henkilöstöä sisäisessä tiedotteessa.

Asiakkaille toimitusvarmuus on, laadun ohella, tärkein toimittajan valintakriteeri. Tutkimuksessa verrattiin runkojen toimitusvarmuutta voimassa oleviin sopimuksen toimitusaikoihin.

3.6 Työohjeet

Tutkimuksen aikana tutustuttiin työntekijöiden saamaan valmistusta ohjaavaan aineistoon. Haastattelulla pyrittiin selvittämään, onko ohjeistus riittävä työvaiheen tekemiseksi tarkoitetulla tavalla. Työohje muodostuu yleensä työnjohtajan tulostamasta työmääräimestä ja kappaleen piirustuksesta sekä siihen liittyvistä hitsausohjeista. Työohjeiden lisäksi kysyttiin yrityksessä käytössä olevan, ISO 9001-2008 laatujärjestelmän mukaisen toimintakäsikirjan tuntemusta omaa vaihetta koskevan C- eli työohje-tason osalta.

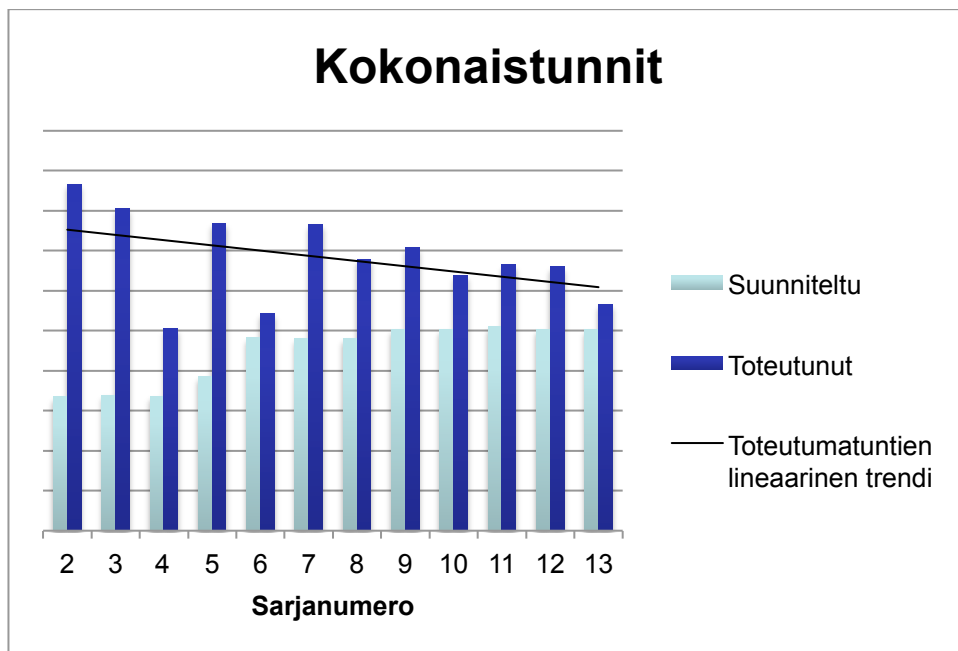
Polttokoneelle työpiirustuksen korvasi konetta ohjaava polttokartta, johon oli liitetty myös materiaalitiedot. Numeerisesti ohjattaville työstökoneille piirustusta täydensi valmis koneistusohjelma. Osa aarporauksen vaiheista tapahtui manuaalisella leikkuusvyödyden säädöllä, mikä johtui räätälöidyn erikoistyökalun ominaisuuksista.

Työmääräin oli tuotannon ohjattavuuden kannalta tärkein työtä ohjaava ja kontrolloiva instrumentti. Se kohdisti työntekijän tekemät työtunnit oikealle kohteelle ja se tuotti ohjaukselle työn aloitus- ja valmistumistiedon. Työntekijälle työmääräimeen perustuva työaikaleimaus toimi palkanmaksun perusteena.

4. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Toiminnan arvioinnin ja tuottavuuden kannalta toteutuneet työtunnit ja niiden suhde suunniteltuihin tunteihin ovat keskeisessä asemassa. Tarkastelun kohteena olleen ruoripotkurilaitteen materiaalit olivat pääosin yrityksessä yleisesti käytettyä ja varastoitua terästä, jonka kustannukset ovat melko riskittömästi hallittavissa käytetyillä tilaus – toimitus –aikaväleillä. Työtuntien ylitys johtaa ohjattavuusongelmiin aikataulujen viivästyessä ja resurssien ylikuormittuessa. Virtauksen pullonkaulan, avarruskoneen ruuhkautuminen johtaa välittömästi tuotantoaikataulun viivästyemiseen, koska korvaavaa resurssia tälle runkomallille ei tarvittavien erikoityökalujen vuoksi ollut saatavissa.

Ruoriohjauspotkurin rungon valmistuksen keskimääräinen tuntikertymä on yli kaksinkertainen alkuperäiseen suunnitelmaan verrattuna. Luku on huolestuttava sekä kannattavuuden että toimitusvarmuuden kannalta. Tuotantoaikataulu oli alkujaankin tiukka ja ensimmäisien runkojen ongelmat tiivistivät loppusarjan valmistusajan tehtaan suorituskyvyn äärirajalle. Tuntiylitykset taaksepäin ajoitetuissa tehtävissä ilman pelivaroja johtavat toimitusviiveisiin.



Kuva 7 Kaavio kokonaistyötunneista

Kuvassa 7 on esitetty toteutumattuntien kehitys ja tavoitetunnit rungoille 2 -13. Selvästi erottuva 4. runko romutettiin korjauskelvottomana koneistuksen jälkeen. Runko-osan valmistuksen kokonaistuntimäärän keskihajonta on 14% keskimääräisistä valmistustunneista. Trendi on aleneva, mutta edelleen selvästi yli suunniteltujen tuntien. Koska konepajan tuotannon ohjaus perustuu suunniteltujen työtuntien mukaiselle ajoitukselle, johtavat toistuvat tuntiylitykset vaikeuksiin sekä ohjattavuudessa että kapasiteetin hallinnassa. Alkuperäiset kuormitustunnit ylitettiin tutkimusjakson aikana keskimäärin kaksinkertaisesti. Tuntiylitykselle etsitään syytä seuraavissa kappaleissa.

4.1 Tuotantoprosessi ja arvon muodostuminen

Osastoilla on suurimmaksi osaksi jopa fyysiset väliseinät ja materiaalin siirto osastolta toiselle on rakenteista johtuen työlästä ja aikaa vievää. Tämä yhdessä hitaan tahtiajan, vaihtelun sekä kappaleiden suuren koon ja massan kanssa aiheuttavat varastointia vaiheiden välille joko ulkoalueille tai vapaana oleviin tiloihin. Tuotteiden tarpeeton siirtely oli jokapäiväistä toimintaa.

Suuresta pinta-alasta huolimatta tuotantotiloja vaivaa ahtaus. Kappaleiden nostot, käännöt ja siirrot häiritsevät ympäröivää työskentelyä ja valmiiden pintojen vaurioituminen käsittelyssä on tavanomaista. Suulaketuotantoa varten hankitut massiiviset käsittelypöydät ja hitsaustornit toimivat jakson aikana vajaateholla, mutta täyttävät ison hallin lähes kokonaan. Käytössä olevaa tuotantotekniikkaa ei hyödynnetä täysimääräisesti runkojen tuotannossa.

Tuotantotilat ovat muotoutuneet nykyiselleen vuosien saatossa toteutettujen laajennustarpeiden mukaisesti. Tilojen järjestely on prosessin virtauksen kannalta pulmallinen ja aiheuttaa edestakaista ja ristikkäistä liikettä hallitiloissa ja ulkotilojen ajoneuvokuljetuksissa. Turhan käsittelyn minimoiminen perustuu tässä tapauksessa virtauksen tasapainottamiseen ja tarpeettoman liikkeen poistoon, koska mahdollisuuksia lay-outin muutoksiin ei ole näköpiirissä.

Kuvassa 8 on esitetty ruoripotkurilaitteen tuotantoprosessin havainnoitu keskimääräinen arvovirta. Varastointi- ja jonotusajat vaihtelivat huomattavasti eri laiteyksilöiden välillä. Osavalmisteiden varastointiajaksi kirjattiin 14 päivää, mutta todelliset varastointiajat kasvoivat sarjan edetessä useisiin kuukausiin. Prosessissa on runsaasti arvoa tuottamattomaa käsittelyä, kuten nostoja, kääntöjä ja siirtoja eri työpisteiden välillä.

		<table border="0"> <tr><td style="background-color: #90EE90; width: 10px; height: 10px;"></td><td>Arvio lisävä</td></tr> <tr><td style="background-color: #FF0000; width: 10px; height: 10px;"></td><td>Hukka</td></tr> <tr><td style="background-color: #FFFF00; width: 10px; height: 10px;"></td><td>Arvoa tuottamaton</td></tr> </table>			Arvio lisävä		Hukka		Arvoa tuottamaton
	Arvio lisävä								
	Hukka								
	Arvoa tuottamaton								
Lastin käsittely	V 0,5	Levyt autosta varastoon							
Teräsvarasto	H 14	Varastointi							
		Siirto	H 2 Siirto polttoleikkuspöydälle						
		Terminen leikkaus	A 5 Leikkaus polttokartan mukaan						
		Viisteitys käsin	H 1 Viisteet, jos tieto						
		Merkkaus	V 2 Osanumero merkitään käsin						
		Hionta	V 2 Polttojälkien hionta						
		Lava	V 3 Osat kuormalavalle						
		Siirto	H 1 Siirto taivutukseen tai varastoon						
		Taivutus	A 1 Taivutus, särmäys, puristus						
		Siirto	H 1 Siirto välivarastoon						
Osavalmistevarasto	H 14	Varastointi							
Siirto	H 0,5	Siirto koneistamoon							
Esikoneistus	V 4	Esikoneistus							
Siirto	H 14	Varastointi							
		Siirto	H 0,5 Siirto levyhalliin						
		Koonti, torpedo	A 10 Torpedon laipat ja vaippa						
		Siirto	H 0,5 Siirto hitsaukseen						
		Hitsaus	A 7 Torpedon hitsaus						
		Siirto	H 0,5 Torpedon siirto koontiin						
		Siirto	H 1 Varren osat varastosta						
		Koonti	A 8 Varsi kootaan torpedon päälle						
		Hitsaus	A 10 Rungon hitsaus						
		Varustelu 1	A 5 Hitsattavat varusteosat						
Siirto	H 0,5	Siirto uunille							
Lämpökäsittely	A 3	Jännityksenpoistohehkutus							
Siirto	H 0,5	Siirto jäähdytykseen							
Jäähdytys	V 2	Luonnollinen jäähtyminen							
Tarkastus	V 1	NDT ja visuaalinen tarkastus							
Siirto	H 0,5	Siirto välivarastoon							
Varasto	H 7	Varastointi							
		Siirto	H 1 Siirto koneistamoon						
		Asetus	V 2 Asetus jigille koneen pöydässä						
		Koneistus	A 8 Koneistus						
		Irroitus	V 1 Irroitus jigistä						
		Siirto	H 0,5 Siirto viimeistelyyn						
		Viimeistely	H 2 Jäysteet, kierteiden aukaisu						
Siirto	H 0,5	Siirto levyhalliin							
Varustelu 2	A 5	Varusteluosien valmistus							
Koeponnistus	V 2	Rungon koepaineistus							
Luokitustarkastus	V 0,1	DNV tarkastaa paineistuksen							
		Siirto	H 0,5 Siirto pesuhalliin						
		Pesu	H 0,5 Rasvojen pesu						
		Suojaus	H 1 Koneistetut pinnat						
Siirto	H 0,5	Siirto kuona- / raepuhallukseen							
Hiekkapuhallus	H 1	Puhallus ja imurointi							
		Siirto	H 0,5 Siirto takaisin levyhalliin						
		Nööläys	H 2 Roiskeiden poisto, korjaukset						
Siirto	H 0,5	Siirto raepuhallukseen							
Hiekkapuhallus	A 1	Raepuhallus Sa2½, imurointi							
Tarkastus	V 0,5	Puhallustarkastus							
Siirto	H 0,2	Siirto maalaamoon							
Maalaus	A 1	Maalaus, pohjamaali							
Tarkastus	V 0,5	Kalvonpaksuus							
Maalaus	A 1	Maalaus erittelyn mukaan							
Tarkastus	V 0,5	Kalvonpaksuus							
		Siirto	H 0,5 Siirto pesuhalliin/kuivaamoon						
		Suojauksen poisto	H 1 Pintojen suojauksen poisto						
Siirto	H 0,5	Siirto mittauspäikalle							
3D-mittaus	V 2	Koordinaattimittaus							
		Siirto	H 0,5 Siirto levyhalliin						
		Varustelu 3	A 5 Varustelu: putket, anodit						
Siirto	H 0,5	Siirto pesuhalliin / kuivaamoon							
Suojavoitelu	A 1	Koneistetut pinnat							
Sulkulaipat	A 1	Kuljetuslaippojen asennus							
		Siirto	H 0,5 Siirto levyhalliin						
		Pakkaus	A 1 Rungon pakkaus						
Siirto	H 0,5	Siirto välivarastoon							
Lastaus lavetille	V 1	Nosto ajoneuvoon							
Kuljetus	V 8	Toimitus asiakkaalle							
		Läpimenoaika	178 päivää						

Kuva 8 Ruoripotkurilaitteen arvovirta

4.1.1 Osavalmistus

Tuotantoprosessin ensimmäinen osasto, osavalmistus, valmistaa kokoonpanoon valmiita osavalmisteita pääasiassa levyateriaaleista. Tutkimuksen alussa, kun runko numero 3 oli valmistumassa, varastokentällä oli koko sarjan osat leikattuina ja taivutettuina. Varastoon valmistamisesta seurasi keskeneräisen tuotannon arvon kohoamisen lisäksi useita verastason ongelmia. Projektille oli varattu alue varastokentältä, mutta erityisesti osakokoonpanoja oli kuljetettu eri puolille laajaa tehdasaluetta. Osien sijainti alueella ja niiden valmiusaste olivat dokumentoimattomia, henkilöstön muistinvaraista tietoa. Kehityskeskusteluissa nousee silti sekä työntekijöiden että toimihenkilöiden taholta vahvasti esille tarve suuremmasta varastoalueesta.

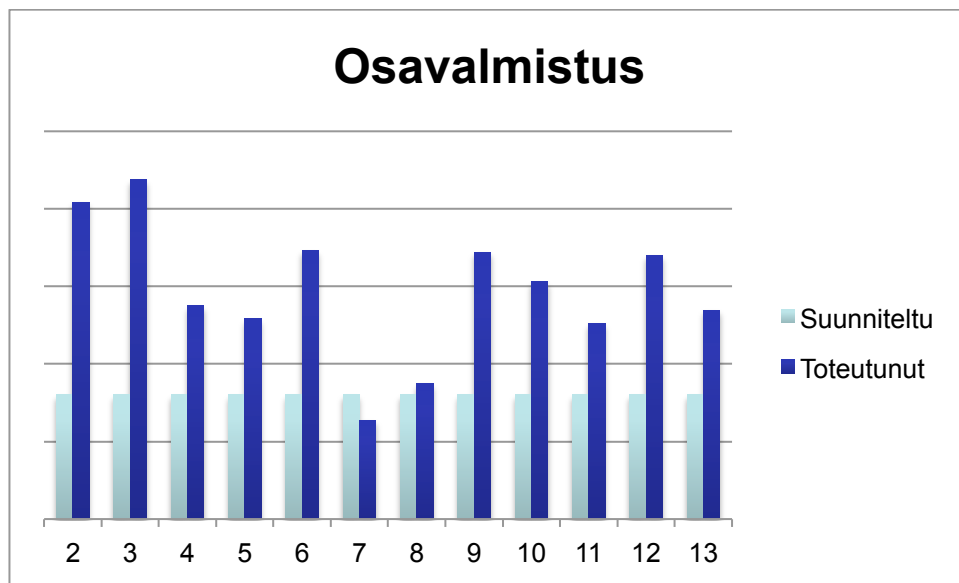
Työnumeroilla merkityt osat oli pinottu lavoille useimmiten pienimmät numerot alimmaisiksi. Osia etsivälle kokoonpanijalle päällimmäinen osa oli usein helpoin vaihtoehto, minkä seurauksena osien jäljitettävyyden menetettiin, tuotantoon ilmaantui useilla työnumeroilla merkityjä kokoonpanoja ja lopulta luokitusleima saattoi olla väärällä sarjanumerolla. Valmistuksen edetessä varasto hupeni ja etsintä muuttui entistä työläemmäksi. Kuvassa 9 on näkymä varastokentältä, etualalla taivutettuja levyjä odottamassa esikoneistusvaihetta.



Kuva 9 Esivalmisteita varastoalueella

Varastoidut osavalmisteet olivat useimmiten puutteellisesti viimeistelyjä, hitsausviisteet ja särmien pyöristykset olivat pääsääntöisesti tekemättä. Osavalmistuksen polttoleikkaus tapahtuu polttokarttojen ja työmääräimen sekä työsuunnittelijan ohjeiden perusteella. Polttokoneessa on viistetoiminto, mutta sen käyttö on vähäistä. Käyttämättömät resurssit ovat hukka.

Taivutuksessa työtä ohjaa piirustuksen ohella erilliset taivutuspiirustukset, uloslyönnit sekä taivutusmallit. Työohjeita, joissa ohjearvot ja työkalut olisi kirjattu, ei ollut. Toiminta on muistinvaraista eikä tieto säily tulevaan käyttöön.



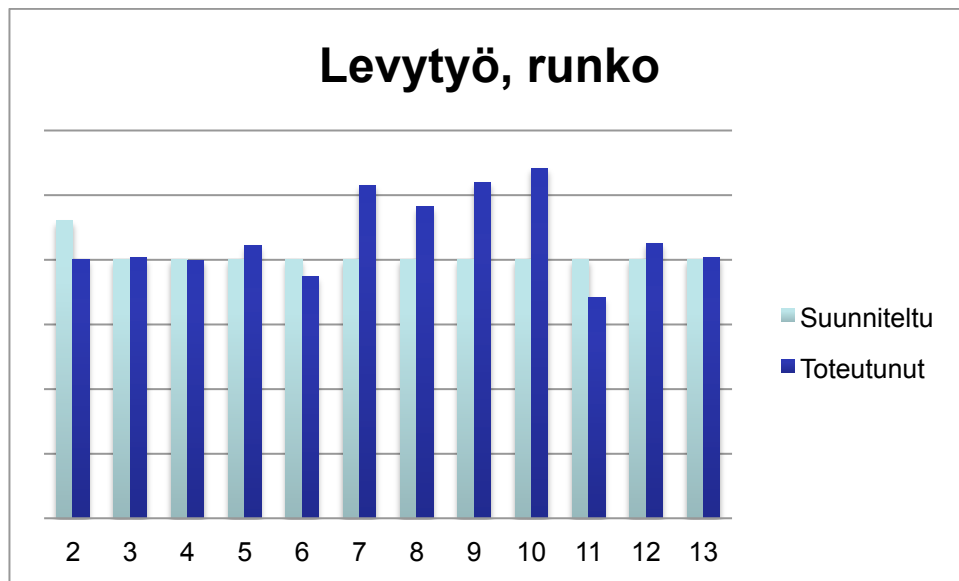
Kuva 10 Osavalmistusvaiheen tunnit

Osavalmistuksen toteutumattunnit ylittävät suunnittelutunnit 1,8 -kertaisesti ja keskiarvonta on 30% keskiarvotunneista. Suunnitellut kuormitustunnit ovat pysyneet sarjan ajan samoina takeiden saapumisesta huolimatta. Kaavio tuntikertymästä ja suunnitelmasta on kuvassa 10.

Asiakasarvoa osavalmistus tuottaa leikkauksella ja taivutuksella. Siirrot ja muu käsittely on hukkaa, joka tulisi eliminoida. Osaoptimointi ja varastoon valmistus ovat pahin ongelmien ja lisähukan aiheuttaja. Osien siirrot, etsintä ja uudelleen käsittely kuluttavat tarpeettomasti resursseja ja tuotteen rakennemuutokset aiheuttavat hukkaa menetetyt työn ja materiaalin muodossa.

4.1.2 Koonti

Kokoonpanon levysepät työskentelevät itsenäisesti ja kuten tutkittavassa tapauksessa, ilman erillistä levytyöpiirustusta tai selventäviä työohjeita. Tarvittavat työvarat koneistukselle, hitsausviisteet, välimittaukset ja muut vastaavat yksityiskohdat jäivät levyseppien kokemuksen tai dokumentoimattomien ohjeiden varaan. Tekijöiden vaihtuessa kokemuspäriäinen tieto jää käyttämättä ja toisaalta ongelmien ilmetessä juurisyiden selvittäminen on hankalaa.



Kuva 11 Koontivaiheen tunnit

Kokoonpanovaiheet tekivät kokeneet levyseppäparit. Toteutuneet tuntimäärät olivat suunnitellulla tasolla ja keskihajonta 14% keskimääräisestä toteutumasta. Silti 10. rungon tunnit olivat 1,6 -kertaiset seuraavaan verrattuna. Ero luo epäilyksen kirjausvirheen mahdollisuudesta, jopa todennäköisyydestä. Rungot 7 – 10 erottuvat muista selvästi todennäköisesti henkilövaihdoksista johtuen, mutta osasyynä saattoi olla myös tieto 4. rungon romutuksesta. Kaavio tuntikertymästä on esitetty kuvassa 10.

Työnvaiheessa kootaan ensin rungon alaosa, torpedo, joka muodostuu esikoneistetuista päätylaipoista ja liitoslevystä sekä tukirenkaista ja taivutetusta vaippalevystä. Koonti tapahtuu ilman ohjaimia tai muita apuvälineitä. Huomiota herättää esikoneistetun liitoslevyn toistuva, käsin polttoleikkaamalla tapahtuva lähes 6 metrin mittainen kavennus. Miksi koneistettu levy joudutaan kaventamaan ja miksi se tapahtuu koontivaiheessa pullonkaularesurssin toimesta, eikä esimerkiksi osavalmistuksessa, jäi arvoitukseksi. Sylinteriksi koottu alarunko siirretään hitsattavaksi joko käsin tai mekanisoidulla jauhekaariasemalla.

Peräsintukin yläosa muodostuu laipan ja vaipan muodostamasta pyörähdyskappaleesta, jotka on koottu ja hitsattu omina työnvaiheinaan esivalmisteeksi. Vastaava esivalmiste, osalohko, muodostuu tukin alaosan sisävahvikkeesta. Yläosa ja hitsattu runko asetetaan kokoonpanoalustalle, jossa runko kootaan muotoonsa. Koontivaiheessa eri osakokoonpanojen keskinäinen kohdistus muodostui toistuvaksi ongelmaksi koko sarjan ajan. Virheelliselle kokoonpanolle haettiin lisää pelivaraa materiaalipaksuuksia lisäämällä, mikä puolestaan vaikeutti asiakkaan loppukokoonpanoa ja mahdollisesti myös laitteen käytönaikaista lämpötilan ja kosteuden hallintaa. Vaihtoehtoinen työjärjestys olisi luonut paremmat mahdollisuudet linjauksen onnistumiseen, mutta perusteltu ehdotus muutokseen ei saanut kannatusta. Kokoonpanon jälkeen runko siirretään hitsaukseen.



Kuva 12 Torpedon kokoonpano

Kuva 12 havainnollistaa torpedo-osan kokoonpanoa. Vaihe tehdään lattian terästasolla ilman jigejä tai muita työtä nopeuttavia ja tarkkuutta parantavia tuotantoteknisiä laitteita. Valmis runko varustellaan hitsattavilla aluslevyillä ja kiinnitystangoilla. Esivalmistetut osat ovat polton jäljiltä viimeistelemättömiä. Osat asennettiin ja hitsattiin toistuvasti sellaisenaan runkoon. Pyöristyksien sijaan särmät olivat joko teräviä tai niihin oli viisitetty kaksi terävää särmää. Myös hitsaussaumot olivat kerta toisensa jälkeen korjattavia.

Asiakasarvoa koonti tuottaa kokoamalla esivalmistetut osat jatkojalostettavaan muotoon. Jokainen siirto, nosto ja muu käsittely on hukkaa. Hukkaa aiheutuu myös osaoptimoinnin ohjaamasta työn järjestyksestä. Rakenteita kootaan tarpeettoman pitkälle ennen niiden luovuttamista hitsaajalle. Vaiheiden vuorottelu vähentäisi kokonaistunteja ja parantaisi työskentelyolosuhteita.

Varastoon valmistaminen estää myös tuotannon kehittymistä. Alkuperäisen ajatuksen mukaan leikatut ja taivutetut osat tuottavat koontivaiheessa toistuvia ongelmia, mutta rakennetta ei voida muuttaa, koska koko sarjan osat ovat jo valmiina.

Rungon rakenne muodostuu selkeistä osalohkoista, joita valmistetaan omina työvaiheinaan. Työnumero- ja raportointitaso on kuitenkin rungon kokonaisuus, mikä haittaa edistymän seuranta ja lisää virhemahdollisuuksia tuntikirjauksiin.

4.1.3 Hitsaus

Hitsaus sujui pääosin vähäisin virhein. Pääosa huomautuksista kohdistui hitsin pintavikoihin, kuten reunahaavaan, jyrkkiin liittymiin ja pinnan muotoon. Erityisesti vuokrahenkilöstöllä on tapana sauman ja perusaineen tarpeeton hiominen.



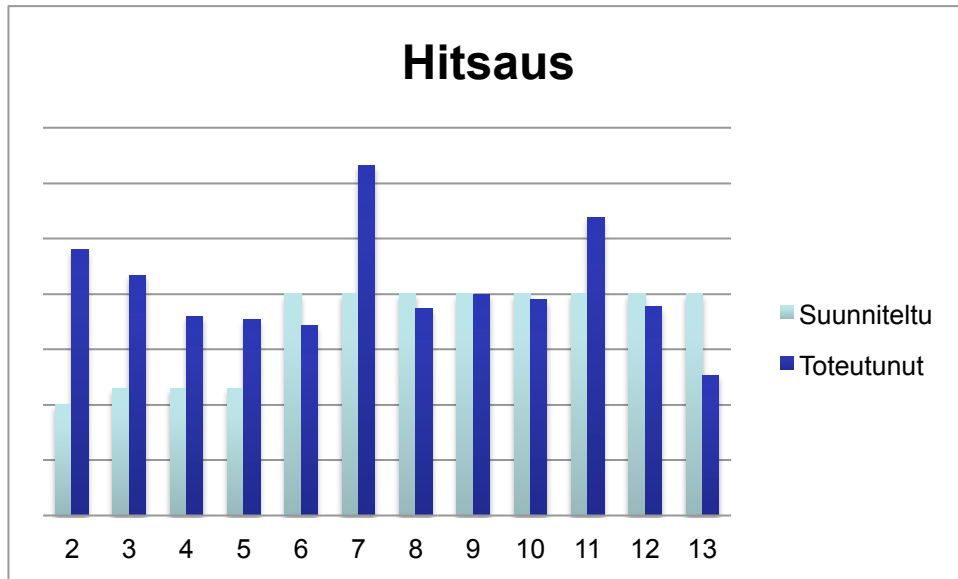
Kuva 13 Hiomajälkiä saumoissa ja perusaineessa

Kuvassa 13 on nähtävillä saumojen ja perusaineen hiontaa sekä saumojen jyrkkiä liittymiä valmiissa rungossa. Huokosia tai juurivirheitä runkojen rakenteista ei juurikaan paljastunut, mutta roiskeita ja viimeistelyn puutteita löytyi sitäkin enemmän.



Kuva 14 Rungon hitsaus

Kuvassa 14 yhdistetty perusrunko on nostettu pystyasentoon hitsausta varten. Väliaikaiset tuet on hitsattu runkoon ja irrotusvaiheessa kappaleen pinta vaurioituu. Kappaleen asetustapa aiheuttaa turhaa käsittelyä ja sekä nostosuunnitelma että nostokorvakkeet puuttuvat. Työskentely tilapäistasoilla on turvallisuuden ja ergonomian kannalta kyseenalaista eikä hitsaushuurujen kohdepoisto ole käytössä. Hitsausasennot ovat työn tuottavuuden ja laadun tuoton näkökulmasta epäedulliset. Kääntöpöytään asetettuna saumat olisivat pääosin hitsattavissa edullisemmässä jalkoasennossa.



Kuva 15 Hitsaustunnit

Hisauksen tuntiarviota korjattiin kahteen otteeseen. Alkuperäisarvioon nähden tunnit ovat yli kaksinkertaiset, mutta korjattu arvo pystyttiin jopa alittamaan keskihajonnan ollessa 23% keskimääräistunneista, kuva 15. Erottavat arvot 7. Ja 11. johtunevat niille kirjautuneista selvittämättömistä täyttöhitsaustunneista. Täyttöhitsauksia tehtiin sekä avaruskoneella työvarojen loputtua että jauhekaariasemalla työvarojen lisäämiseksi. Jälkimmäiselle ei selvityksessä löytynyt selitystä eikä työmääräystä. Tuntikirjaukset olivat ylipäättään suurpiirteisiä ja todellisten kustannuspaikkojen kohdistaminen oli jälkikäteen käytännössä mahdotonta.

Rungon yleispiirustuksessa on riittävät perushitsausmerkinnät, joita on täydennetty tarvittaessa yrityksen omilla lisäohjeilla. Hitsausohje, *Welding Procedure Specification* (WPS), on tarkka ohje yksittäisen sauman tai saumatyyppin hitsaamiseen. Hisausjärjestystä tai asentoja ei ole rungon osalta erikseen määritelty. Työntekijät pitivät ohjeistusta riittävänä.

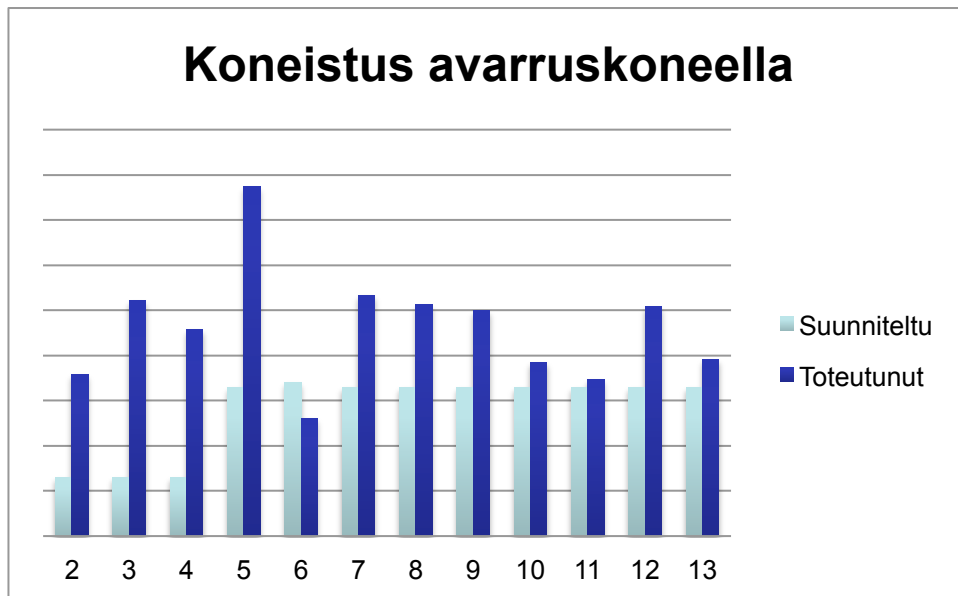
Asiakasarvo muodostuu osien hitsaamisesta yhteen luokituslaitoksen hyväksymäksi teräsrakenteeksi. Arvon tuottoon käytetty aika on käytännössä hitsauksen kaariaika, joka on luettavissa hitsauskoneiden tallentimista. Hukkaa ovat esimerkiksi hionta, roiskeiden poisto ja lisäaineen nouto varastosta.

4.1.4 Koneistus

Runkojen koneistus tapahtuu kokonaisuudessaan isolla avaruskoneella, joka on myös tuotantoprosessin mitoittava tekijä ja pullonkaula. Suurimmaksi ongelmaksi muodostui

peräsin- ja potkuriakselien välinen 5° kulma ja mitoituksen 0-pisteen sijainti avaruudessa. Koneistajat tekevät asetuksen potkuriakselin suhteen, mikä edesauttaa ongelmia varren työvaroissa ja mitoissa. Asetus peräsinlinjan mukaan ja työvarojen varmistaminen akselilinjalta olisi todennäköisesti lopputuloksen kannalta varmempi vaihtoehto. Käytössä on koneen mittalaitteiston lisäksi karalaser, joka helpottaa asetuksen varmistamista kompleksisissa rakenteissa.

Etukäteen suunniteltu asetus ja perustellut muutokset ongelmien ilmaantuessa olisivat edesauttaneet koneistuksen ongelmien voittamisessa. Nyt epäkeskeisyys ja siitä seurannut materiaalipaksuuksien alittuminen johtivat työläisiin korjauksiin kerta toisensa jälkeen.



Kuva 16 Koneistustunnit

Kuvassa 16 esitetyjen koneistustuntien keskihajonnaksi muodostui 27% keskimääräisistä toteutumattomista. Alkuperäiset kuormitustunnit ylittyivät pahimmillaan kuusinkertaisesti, mutta 6. rungon koneistuksessa korotetut kuormitustunnit alitettiin. Koneistusohjelma pysyi tiettävästi samana koko sarjan ajan.

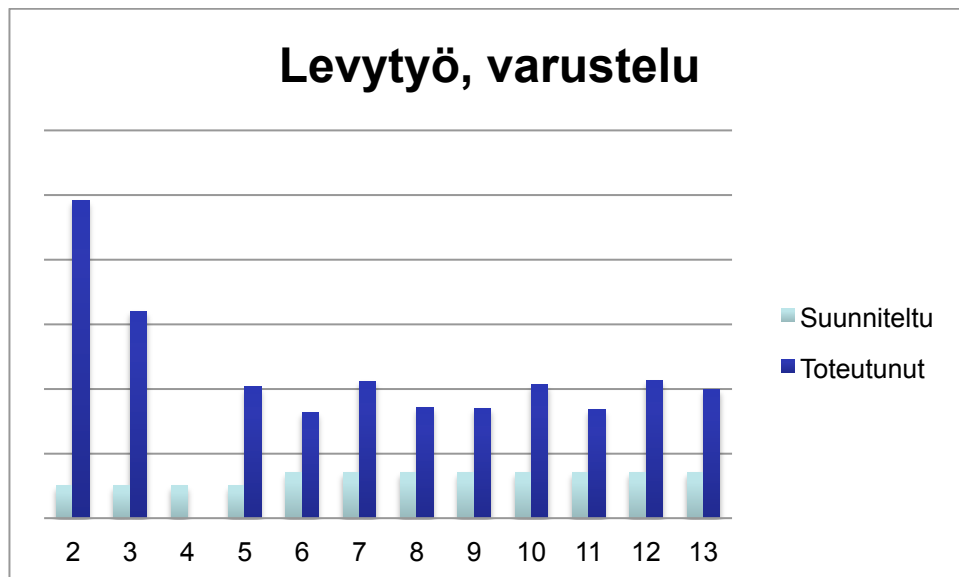
Koneistajalla on käytössään rungon yleispiirros, joka sisältää koneistukselle tarpeelliset piirteet sekä koneistusohjelma. Numeerisen ohjelman sisältö ja mahdollinen simulointi jäi tutkimuksessa avoimeksi. Sarjan aikana sattui useita terärikkoja ja sekä vapaa- että kierrereikien pinnanlaatu jätti toivomisen varaa. Pahimmillaan kierrereikiä jouduttiin korjaamaan materiaalia uusimalla, mikä viivästytti vaiheen valmistumista huomattavasti.

Koneistuksen jälkeen kappale jää osastolle viimeisteltäväksi. Viimeistelyvaiheessa terävät purseet poistetaan ja kierteet avataan käsin kierretapilla. Vaihe vaikuttaa kokonaisuudessaan turhalta, sillä nykYTEKNOLOGIALLA kierteet on tunnetusti mahdollista valmistaa koneellisesti kerralla valmiiksi ja myös särmien hienovarainen viisteitys onnistuu koneellisesti. Koneistajan kapasiteetti riittää rinnakkaiseen viimeistelytyöhön, mikäli siihen on tarvetta. Erillisenä työnvaiheena viimeistelystä syntyy kappaleeseen yleisvaikutelmaa heikentäviä 'käsityön' jälkiä.

Asiakasarvoa koneistuksella lisätään lisäämällä tuotteeseen asiakkaan haluamat piirteet, kuten pinnanlaatu, geometria, kierteet, urat ja vastaavat. Osa koneistusvaiheista on siinä arvoa tuottamattomia, mutta lopputuloksen saavuttamiseksi välttämättömiä. Tällaisiin vaiheisiin, esimerkiksi rouhintaan, työkalun vaihtoon, kääntöihin ja kappaleen asetukseen käytettävä aika tulee pyrkiä minimoimaan.

4.1.5 Varustelu

Varusteluvaihe sisältää runkoon asennettavien sähköratojen, kaapeliputkien ja vastaavien valmistuksen, sovituksen ja asennuksen. Haponkestävät osat asennetaan runkoon vasta pintakäsittelyn jälkeen. Runkoon asennetaan väliaikaisesti siihen liittyvä keulakappale, muut aukot suljetaan laipoin ja rakenteelle tehdään painekoe.



Kuva 17 Varustelun työtunnit

Varustelun toteutumattomuus ylittivät suunnitellut yli kolminkertaisesti keskihajonnan ollessa 41% keskimääräisestä toteutumasta. Sarjan edetessä vaihtelu tasoittui työn luonteen huomioiden hyväksyttävälle tasolle, kuten kuvasta 17 ilmenee.

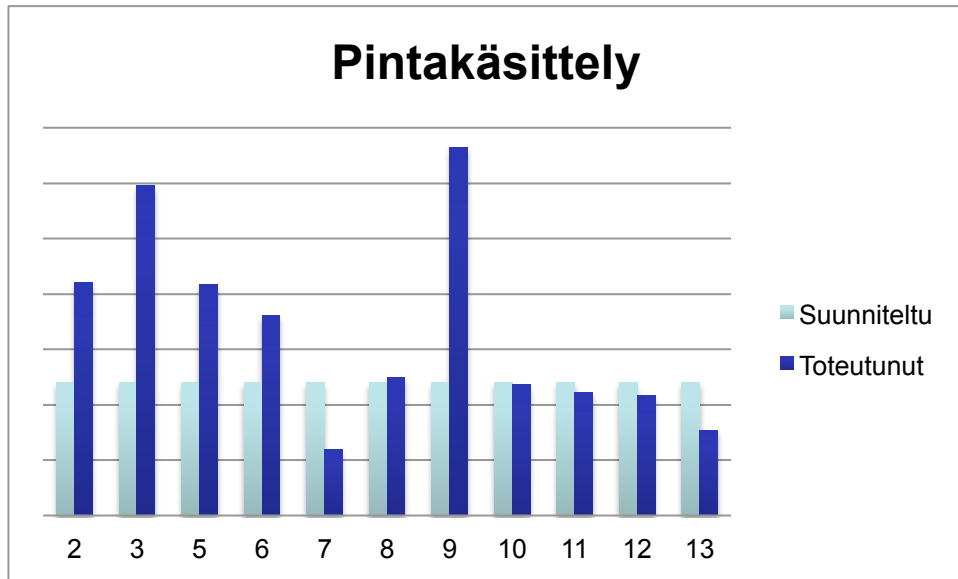
Varustelutyöt tehdään pääosin rungon yleispiirustuksen mukaisesti. Lisäksi käytössä on erillinen tuuletuskanavan ja suojasinkkien asennuspiirustus. Asentajan näkemyksen mukaan ohjeistus on riittävä, vaikka nosto-ohjeistus ja ruuvien kiristysmomentit koeponnistukseen puuttuvat.

Asiakasarvo muodostuu asennetuista varusteluosista. Vaiheelle on ominaista osien turha räätälöinti ja siirtely eri työpisteiden välillä eli hukka.

4.1.6 Pintakäsittely

Pintakäsittely aiheutti ensimmäisten toimitusten tapahduttua asiakasreklamaation, kun maalipinta säröytyi laitteen kokoonpanon lämmitysvaiheessa. Vetomoottorin staattori asennetaan runkoon kutistusliitoksella, joka tehdään lämmittämällä runko noin 140° lämpötilaan. Vaurion vuoksi 2. runko palautettiin valmistajalle ja pintakäsittely uusittiin. Maalitoimittajan asiantuntijoiden mukaan maaliyhdistelmä ei ollut tarkoitukseen paras mahdollinen, mutta asiakas kieltäytyi maalityypin muutoksesta. Loput rungot pintakäsiteltiin normaalia pintakäsittelystandardia tiukemmin raja-arvoihin, ja mahdottomina pidetyistä vaatimuksista selvittiin huolellisella työllä ja tinkimättömillä kalvonpaksuuksilla. Pintakäsittelyn tuntikertymä on saavutettuun laatuun nähden suorastaan kohtuullinen. Kuvassa 18 esitetyn kuormituskuormituksen 9. rungon suurelle tuntimäärälle ei löytynyt varmaa selitystä, mutta todennäköisesti kyseessä on virheellisen työn numeron käyttö joko laskutuksessa tai tallennuksessa.

Silmiinpistävä ja runsaasti resursseja tuhlaava aliprosessi on yrityksessä hyväksytty normaaliksi toiminnaksi. Varusteltu alarunko kuljetetaan hiekkapuhallettavaksi ja palautetaan puhalluksen ja imuroinnin jälkeen suunnitellusti takaisin levytyöhalliin korjauksia varten. Korjauksien jälkeen puhallusprosessi toistuu ja tarkastuksen perusteella tuote siirtyy joko pintakäsittelyyn tai uudelleen korjattavaksi. Prosessiin on tietoisesti rakennettu nostoja, siirtoja, aloituksia ja turhaa työtä sisältävä silmukka. Samalla toimintatapa antaa hyväksynnän aikaisempien vaiheiden laatuvirheille ja merkittävän hukan luomiselle. Pintakäsittelyn ohjaus ja hallinta vaikeutuu entisestään ylimääräisten tapahtumien vuoksi.



Kuva 18 Pintakäsittelyn työtunnit

Pintakäsittelyn puutteellinen suojaus aiheuttaa koneistuspintoihin ja kierteisiin toistuvia vaurioita. Suojausmateriaalina teippi on työläs, mutta suorareunaisilla tasopinnoilla toimiva ratkaisu. Päätylaippojen ja muiden säteittäisesti kaartuvien pintojen suojaukseen se ei sovellu. Toistuvissa tuotteissa mallikohtaiseen suojaukseen tulee panostaa nykyistä enemmän vaurioiden eliminoimiseksi. Erityisesti kierteet ja tiivistepinnat tulee suojata tarkoitukseen valmistetuilla suojatulpilla.

Pintakäsittelyä koskevat työohjeet ja standardit ovat riittävän tarkat. Maaluserittely on yksityiskohtainen ja käytettävät materiaalit, niiden seossuhteet ja käsittelyajat ovat tarkasti määritellyt. Mittausohjeita täydennettiin prosessin aikana maalitehtaan ja asiakkaan vaatimusten mukaan. Maalaamon siisteys ja materiaalien varastointi jättävät toimomisen varaa, kuten kuva 19 kertoo.



Kuva 19 Maalaamon työvälineitä

Pintakäsittelyosastolla on käytössä hyvät mittalaitteet laadunvarmistukseen, mutta niiden käyttö kalvonpaksuusmittaria lukuun ottamatta oli vähäistä. Tutkimuksen aikana kalvomittari päivitettiin tiedonsiirto-ominaisuuksiltaan ajanmukaiseksi helpottamaan mittapöytäkirjojen laadintaa.

Asiakas saa arvoa tuotteen pintakäsittelystä, joka sekä suojaa tuotteen että antaa sille asiakkaan haluaman ulkoasun ja lopputuotteen visuaalisen vaikutelman. Yksi raepuhalluskerta on lopputuloksen kannalta välttämätön, muu on hukkaa.

4.2 Vaihtelu

Tuotantoprosessia ei ole vakioitu. Työtavat ja –menetelmät vaihtelivat eri kappaleiden ja työntekijöiden välillä, mikä näkyy vaihteluna paitsi toteutuneissa tuntimäärissä, myös tuotteen laadussa. Sama arvon lisäys toistuvissa kappaleissa pitäisi tapahtua jokseenkin vakiolla, oppimiskertoimen mukaan vähenevällä tuntimäärällä kappaleesta toiseen. Erittäin numeerisesti ohjatuissa vaiheissa tämän tavoitteen olettaisi olevan helposti saavutettavissa.

Nyt pienin keskihajonta kappaleiden välillä on yllättäen levytyössä, joka on vaiheista todennäköisesti eniten luontaista vaihtelua sisältävä työvaihe esitavutettujen osien sovituksineen. Koneistustuntien keskihajonta on 27% keskimääräisistä, mikä merkitsee jatkuvaa 3-vuoraa tekeväälle pullonkaularesurssille useita työpäiviä. Mitoittavan resursin vaihtelu heijastuu suoraan läpimenoaikaan sekä viiveen että jonoutumisen johdosta.

Käytetyt materiaalit vaihtelivat levyosien ja takeiden välillä. Ratkaisu oli perusteltu takeiden pitkien toimitusaikojen vuoksi. Levy rakenne on epäedullisempi vaihtoehto, mutta puolusti paikkaansa nopealla saatavuudella. Valitut rakenneratkaisut tulisi kuitenkin tehdä suunnitellusti ja dokumentoidusti aukottoman jäljitettävyyden varmistamiseksi. Nyt alarungosta, joka materiaalitodistusten mukaan oli koottu taerengaista, löytyi visuaalisessa tarkastuksessa levyrakenteinen rengas.

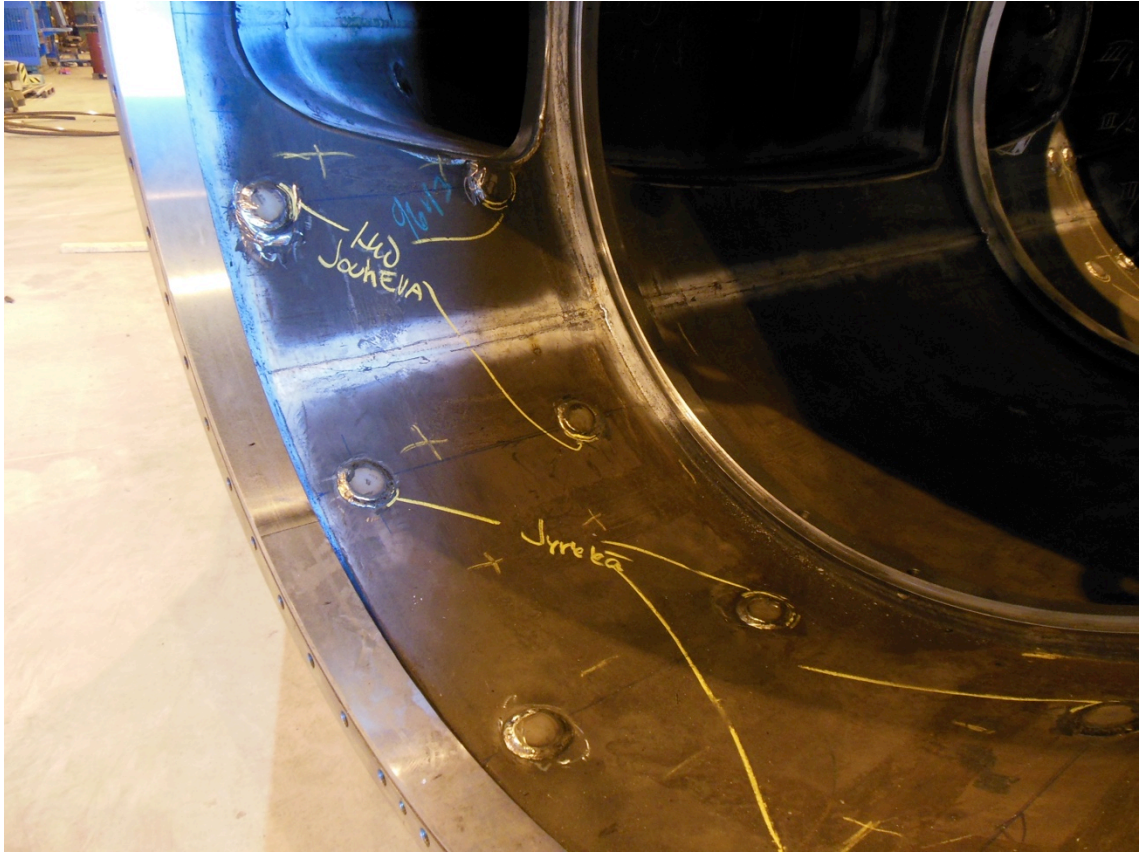
Välinpitämättömyys työnumeroissa kostautuu sekä seuraavissa työvaiheissa, että erityisesti tuotteen dokumentoinnissa ja luokituksessa. Pienimmillään väärin osien käyttö lisää turhaa etsintää, pahimmillaan lopputuotteessa on materiaalitodistuksista poikkeava osa.

Vaihejako on karkea, mutta vaihemäärää ei haluta lisätä ERP:n ominaisuuksien vuoksi. Vaiheet tulisi kuitenkin jakaa pienempiin kokonaisuuksiin ohjattavuuden parantamiseksi. Nykyisellään tuntiarviot antavat epärealistisen kuvan tehtaan kuormituksesta ja läpimenoajoista, mikä johtaa hallitsemattomaan virtaukseen ja ongelmien kertaantumiseen.

4.3 Havaitut virheet ja poikkeamat

Poikkeamia ilmeni prosessin kaikissa vaiheissa. Virheille oli tyypillistä niiden toistuvuus. Runko toisensa jälkeen täyttyi tarkastajan liitumerkinnöistä, eikä kehitystä parempaan ollut havaittavissa. Näissä olivat kysymyksessä lähinnä välinpitämättömyydestä johtuvat pyöristysten puutteet ja hitsauksen pintavirheet, mutta nekin aiheuttivat päivien viiveen ja uusintarkastuksen lisäkustannukset. Korjauksien yhteydessä tapahtui yleensä myös perusaineen hiomista, mutta tässä runkosarjassa se ei aiheuttanut lisäongelmia.

Rungon rakenteessa ja erityisesti käytetyissä työmenetelmissä vakavat ongelmat keskittyivät peräsintukin alaosaan. Osastojen välisessä selvittelyssä tulos jäi ratkaisemattomaksi, oliko syy epätarkassa levytyössä vai koneistuksen linjauksessa, mutta puutteita löytyi kummastakin. Peräsintukin kokoonpano ja hitsaus olisi pitänyt suunnitella uudestaan luotettavan lopputuloksen saavuttamiseksi, samoin sen yhdistäminen alaosan rakenteisiin. Työhön suunniteltiin kohdistamisen varmistava jigi, mutta sitä ei toteutettu sarjan aikana.



Kuva 20 Visuaalisen tarkastuksen merkintöjä

Kuvassa 20 on tarkastajan merkitsemiä histaussauman virheitä koneistetun rungon rakenteissa.

Avarruskoneelle asetettaessa peruslinjana olisi pitänyt käyttää kriittistä tukin keskilinjaa ja varmistaa työvarojen riittävyys torpedossa. Nyt 4. runko romutettiin koneistuksen jälkeen ja SDR laadittiin rungoista 1, 2 ja 5 – 8. Poikkeamien toistuminen estettiin pyytämällä lupa ainevahvuuden lisäämiseen. Koordinaattimittauksen käyttöönotto 8. rungosta alkaen paljasti toleranssipoikkeamia jokaisessa rungossa. Osa poikkeamista pystyttiin korjaamaan, lopuille saatiin asiakkaan hyväksyntä.

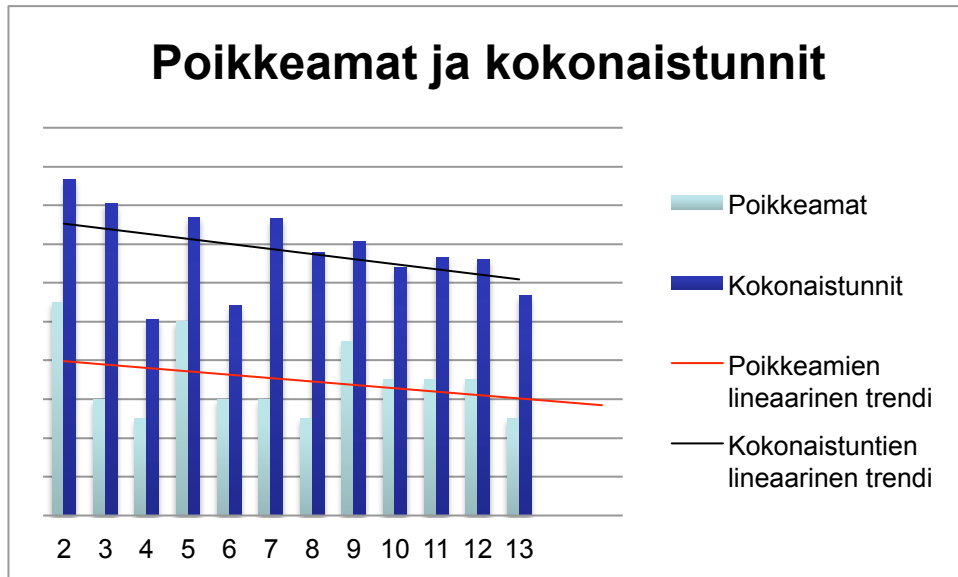
Koneistettavissa kappaleissa tarvitaan riittävä työvara vaatimusten mukaisen kappaleen tuottamiseksi. Työvarat on määriteltävä työhjeisiin tai levytyöpiirustukseen. Tarpeeton työvara puolestaan on hukkaa. Nyt työvarat loppuivat useaan otteeseen, jolloin koneistus keskeytyi täyttöhitsauksen ajaksi. Puutteellisesta levytyönvaiheen raakamitoituksesta lienee lähtöisin myös sarja alikokoisia takeita, jotka oli tilattu läpimenoaikaa lyhentämään.



Kuva 21 Rakenteen epäkeskeisyys

Kuvassa 21 on esitetty liitosalueen epäkeskeisyydestä aiheutunut materiaalipaksuuden poikkeama.

Koneistusohjelmat tehdään keskitetysti esiohjelmoijan toimesta. Työstökoneella operaattori teki ajonaikaista säätöä koneen työstöarvoihin, vaikka prosessin piti olla 'jäädytetty' vakioksi. Säädön tarve jäi osoittamatta, mutta syynä saattoi olla pelkästään koneistajan halu tehdä jotakin, kun tarkastajat tulivat seuraamaan työn etenemistä.



Kuva 22 Havaitut poikkeamat ja toteutuneet työtunnit

Kuvan 22 kuviossa on yhdistetty runkokohtaiset kokonaistunnit ja poikkeamat lukumääräisenä sekä annettu niille lineaariset trendit. Trendit ovat oikean suuntaisia, mutta erityisesti poikkeamissa 0-tavoite jää vielä kaukaiseksi haaveeksi.

Havaittujen poikkeamien lukumäärät on esitetty taulukossa 1. Poikkeamissa olivat hallitsevina levytyön ja hitsauksen pintavirheet, jotka toistuivat jokaisessa rungossa.

Koneistuksen osalle kertyi sekä toleranssien ylityksiä että keskitysvirheitä. Keskityksen ja ainevahvuuden poikkeamat johtuivat osittain myös levytyön suurpiirteisyydestä. Huomattava osa työvarojen puutteista ja pintavaurioista korjattiin ilman poikkeamamennettä osana normaalia työskentelyä.

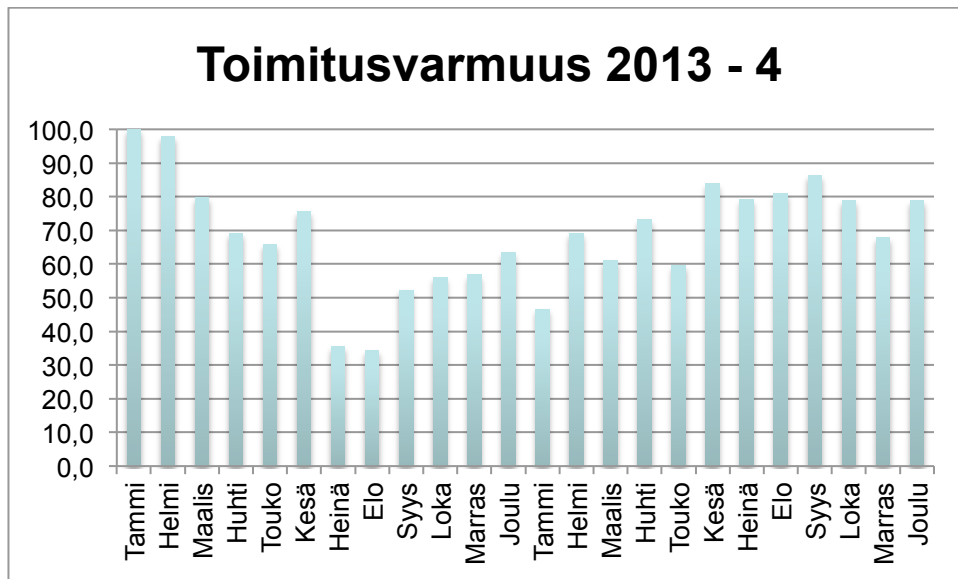
Pintakäsittelyn ongelmat poistuivat sarjan edetessä kokonaan.

Taulukko 1 Poikkeamien lukumäärä työryhmittäin

Levytyö	Hitsaus	Koneistus	Pintakäsittely
35	24	21	5

4.4 Toimitusvarmuuden kehitys

Toimitusvarmuus vaihteli kuvan 23 mukaisesti tutkimusjakson aikana 34,3 – 86,4% välillä. Kohteena olleiden toimitusten vaikutukset ajoittuvat pääosin toukokuusta seuraavaan toukokuuhun. Potkurilaitteiden tuotannossa rungon viivästyminen vaarantaa koko laitetoimituksen oikea-aikaisuuden ja pahimmassa tapauksessa johtaa aikatauluongelmiin telakalla.



Kuva 23 Konepajan toimitusvarmuus 2014 - 4

Toimitusvarmuuden taso on huolestuttavan matala ja kaukana asetetusta 95% varmuudesta. Koska mittari osoittaa vain kuukaudelle suunniteltujen toimitusten epäonnistumiset, edellisille kuukausille suunniteltujen toimitusten viiveet eivät näy enää tuloksissa. Mittari siis voi näyttää kuukauden toimitusvarmuudeksi 100%, vaikka edellisen kuukauden koko tuotanto olisi vielä toimittamatta. Mittaristoon tulisikin lisätä myöhästymisvuorokausia osoittava toiminto.

4.5 Työohjeet ja tekemisen edellytykset

Lean- tuotannossa valmistusprosessi on kuvattava ja vakioitava, sillä ilman dokumentointia sitä ei voida parantaa järjestelmällisesti (Womack, Jones & Roos 1990). Työohjeet tulee laatia myös eri materiaalivaihtoehtojen käsittelyyn, kuten levyosille, takeille ja valuille. Käytössä oleva ERP -lähtöinen vaiheistus ei ole riittävän yksityiskohtainen prosessin ohjaukseen ja kehitykseen. Työohjeessa tulee olla määritelty sitä koskevan prosessin vaiheen alku, sisältö, kesto aika ja loppu.

Vaiheet tulee rajata kooltaan sellaisiksi, että visuaalinen valvonta on mahdollista ja poikkeamat ovat viipymättä havaittavissa ja korjattavissa. Työohjeen laadinnassa vaiheen keskeiset tapahtumat tulisi kuvata yhdellä arkilla, jota täydennetään tarvittaessa lisäohjeilla, standardeilla tai mittapöytäkirjoilla.

Työohjeiden laatimista vastustettiin kaikilla tasoilla, vaikka valmistustapakuvausten laadinta oli jopa sopimuksen ehtona. Ohjeiden laadinta koettiin toimihenkilöiden taholta aikaa vieväksi ja turhaksi. Työntekijöiden vastaus oli yleisesti kaksijakoinen: toisaalta vierastettiin holhoavaa ohjeistusta, toisaalta taas peräänkuulutettiin parempaa työnsuunnittelua.

Perusteeksi esitettiin myös mahdollista tietovuotoa kilpailijoille. Ohjeiden laatimista vierastettiin osaltaan myös puutteellisten 3D-mallin käsittelytaitojen vuoksi. Aikaisemmat, keskushallinnon DFM -osaston (*Design for Manufacturing, tuotteen valmistettavuus*) tuottamat esitykset pohjautuivat tuotteen 3D malliin ja ne miellettiin ainoaksi oikeaksi tavaksi toteuttaa ohjeita. Monet näistä esityksistä oli alun perin tarkoitettu myynnin tueksi, ei tuotannon apuvälineiksi. Niiden ulkoasu oli näyttävä, mutta periaatteellinen ja verstastason informaatio niistä puuttui joko kokonaan tai ainakin osittain.

Tarkemmat valmistustapakuvaukset laadittiin vasta, kun suurin osa komponenteista oli valmistettu, mutta tilaaja esitti vaatimuksen ehdottomana. Valmistustavan perusteellinen ennakkosuunnittelu ja kuvaus sekä siitä johdetut työohjeet olisivat todennäköisesti johtaneet tuotteen laadun parantumiseen, vaihtelun pienenemiseen ja tuottavuuden nousuun.

Tutkittavan ruoripotkurilaitteen runko on rakenteeltaan melko yksinkertainen ja osien määrä helposti hallittavalla tasolla. Tutkimuksen kohteena olevassa rungossa osaluettelon rivejä oli 60, osien kokonaismäärä 107 kappaletta, joista hankittavia 41 ja valmistettavia osia 66. Työmääränä perusteellisempikin työnsuunnittelu ja ohjeistus olisi ollut vähäinen panostus suhteessa sarjan kokonaistuntimäärään ja aiheutettuun hukkaan.

Työohjeiden puuttuminen johtaa osaltaan resurssiongelmaan, koska vaativimpien kokoonpanovaiheiden suoritus on jäänyt pienen avainryhmän suoritettavaksi eivätkä he aina olleet vapaana käytettävissä. Työparit ovat muotoutuneet taidoiltaan epätasaisiksi, mikä aiheuttaa resurssiharhan; määrä riittää, mutta kyvyt eivät. Pitäytyminen totutuissa käytännöissä jarruttaa uusien osajien kasvamista ja toisaalta eläköitymisen myötä ammattitaitoa katoaa tavoittamattomiin. Yksinkertainen, visuaalinen ohje avautuisi paremmin myös yleisesti käytetylle vuokratyövoimalle.

Toimintakäsikirjan C-tason ohjeet olivat useimmille työntekijöille tuntemattomia eikä ohjeita ollut työpisteissä saatavilla. Osa tunnisti ohjeet 'auditointipapereiksi'.

5. KEHITYS LEANIN MENETELMILLÄ

Leanin perusajatus on tuottaa asiakkaalle lisäarvoa mahdollisimman tehokkaasti. Ensimmäisessä vaiheessa tulee tietää, mitä asiakas haluaa ja mistä hän on valmis maksamaan. Tämän tulee olla pohjana kehitykselle. Yrityksen arvovirta tulee kuvata ja määrittellä asiakkaalle arvoa tuottavat toiminnot. Arvoa tuottamaton tulee karsia pois virrasta. Tuotannon virtauksessa, sekä materiaalin että informaation osalta, on tavoitteena jatkuvuus, selkeys ja lyhyys. Virtauksen ohjauksen tulee olla selkeää ja näkyvää, imuohjattua ja välivarastoinnista tulee päästä eroon. Prosessien kehityksen tulee olla jatkuvaa ja täydellisyyteen pyrkivää (Vuorinen 2014).

Yrityksen toiminnan tulee selviytyä nopeasti muuttuvista markkinoista joustavuudella ja kyvyllä vastata asiakasvaatimuksiin, mukautumiskyvyllä. Henkilöstö on avainasemassa pyrittäessä organisaation kehitykseen. Osaamisen tulee olla monipuolista ja hyvällä tasolla sekä tehokkaassa käytössä. Lyhyen läpäisyajan saavuttaminen edellyttää henkilöstöltä ammattitaitoa ja monipuolisuutta sekä halukkuutta monipuolisiin ja vaativiin työtehtäviin (Aulanko 1988). Päätöksentekijöiden ei tule hyväksyä näkemystä, että käytössä oleva toimintatapa on ainoa oikea. Vallitsevia käytäntöjä tulee haastaa ja antaa tilaa mielikuvitukselle, joka muuten jää käyttämättä pitäydyttäessä vanhoissa, totutuissa tavoissa (Drucker 2002). Innovaatioiden syntyyn tarvitaan totutusta poikkeava, erilainen näkemys (Grönroos & Stähle 1999).

Taloudellisen ja mukautuvan tuotannon lähtökohtana on modulaarinen tuotanto ja pyrkimys lyhyisiin läpäisyaikoihin. Samojen tai samankaltaisten moduulien tulisi sopeutua useisiin tuotteisiin ja piirteiden tulisi olla mahdollisimman vakioituja. Tuotantoprosessin tulisi olla havainnollinen, helposti ohjattava näkyvä virtaus.

Tutkimustulosten perusteella laadittiin lean –tuotannon ensimmäisten, helposti toteutettavissa olevien toimenpiteiden mukainen parannetun arvovirran kaavio, joka on esitetty kuvassa 24. Yksinkertaisilla toimenpiteillä poistettiin turhaa käsittelyä ja tuotteen läpimenoaika lyheni peräti 66 työpäivää eli noin 3 kuukautta. Työtuntien osalta vaikutus on myös merkittävä ja alkuperäiset kuormitustunnit ylitetään enää noin 25%.

Prosessissa on silti yhä tunnistettua kehityspotentiaalia. Esimerkiksi vajaakäytössä olevaan kääntöpöytään liitetty kokoonpanojigi tehostaisi sekä rungon kokoonpanoa että hitsausta ja vähentäisi tarvittavaa nosturiaikaa. Samalla ergonomia ja työturvallisuus paranisivat huomattavasti ja hitsauksessa voitaisiin hyödyntää mekanisoinnin tuomia etuja.

				A	Arvio lisäävä		
				H	Hukka		
				V	Arvoa tuottamaton		
Lastin käsittely	V	0,5	Levyt autosta varastoon				
Teräsvarasto	H	7	Varastointi				
				H	0,5	Siirto polttoleikkuspöydälle	
				A	5	Leikkaus polttokartan mukaan	
				V	2	Osanumero merkitään käsin	
				V	2	Polttojälkien hionta	
				V	3	Osat kuormalavalle	
				H	0,1	Siirto taivutukseen	
				A	1	Taivutus, särmäys, puristus	
				H	0,1	Siirto koontiin	
Siirto	H	0,1	Siirto koneistamoon				
Esikoneistus	V	4	Esikoneistus				
				H	0,1	Siirto koontiin	
				A	10	Torpedon laipat ja vaippa	
				A	7	Torpedon hitsaus	
				H	0,2	Varren osat varastosta	
				A	8	Varsi kootaan torpedon päälle	
				A	10	Rungon hitsaus	
				A	5	Hitsattavat varusteosat	
Siirto	H	0,2	Siirto uunille				
Lämpökäsittely	A	3	Jännityksenpoistohehkus				
Siirto	H	0,2	Siirto jäädytykseen				
Jäädytys	V	2	Luonnollinen jäähtyminen				
Tarkastus	V	1	NDT ja visuaalinen tarkastus				
				H	0,2	Siirto levyhalliin	
				A	5	Varusteluosien valmistus	
				V	2	Rungon koepaineistus	
				V	0,1	DNV tarkastaa paineistuksen	
Siirto	H	0,5	Siirto raepuhallukseen				
Hiekkapuhallus	A	0,5	Raepuhallus Sa2½, imurointi				
Tarkastus	V	0,5	Puhallustarkastus				
Siirto	H	0,1	Siirto maalaamoon				
Maalaus	A	0,5	Maalaus, pohjamaali				
Tarkastus	V	0,5	Kalvonpaksuus				
Maalaus	A	0,5	Maalaus erittelyn mukaan				
Tarkastus	V	0,5	Kalvonpaksuus				
				H	0,2	Siirto koneistamoon	
				V	2	Asetus jigille koneen pöydässä	
				A	7	Koneistus	
				V	1	Irroitus jigistä	
Siirto	H	0,2	Mittaus / varustelu				
3D-mittaus	V	2	Koordinaattimittaus				
				A	5	Varustelu: putket, anodit	
				A	1	Koneistetut pinnat	
				A	1	Kuljetuslaippojen asennus	
				A	1	Rungon pakkaus	
Lastaus lavetille	V	0,5	Nosto ajoneuvoon				
Kuljetus	V	8	Toimitus asiakkaalle				
					Läpimenoaika	112 päivää	

Kuva 24 Parannettu arvovirta

5.1 Virtauksen ja aikataulujen tasapainottaminen

TPS:n periaatteiden mukaan tulee luoda jatkuva prosessin virtaus, joka tekee ongelmat näkyviksi, estää ylituotantoa imuohjauksella ja tasapainottaa työmäärä. Aikataulujen hallinnan ja toiminnan ohjauksen onnistumisen perusedellytys on tilauskannassa olevan ja asiakkaalle tarjottavan työn arvon tuntemus. Ruoripotkurilaitteen runko on osiensa summa, ja yksittäisten osien arvo on helposti määritettävissä. Tämä määrittäminen on perusta koko tuotantoketjun ohjaukselle.

Päävirtauksen tulisi perustua havainto- ja imuohjaukseen. Kaikkien työvaiheiden kesto- ja vaihtoaikojen on oltava tiedossa tuotannon tasapainottamiseksi. Materiaalien saatavuus ja ajoitus on varmistettava siten, että tarvittavat materiaalit ovat käytettävissä työvaiheen alkaessa, mutta ne eivät saa seistä kuluina varastossa. Koneiden asetusajat pyritään lyhentämään minimiin ja käyttöaste kohottamaan maksimiin. Koneiden tulisi soveltua riittävän suurelle määrälle osista virtauksen tasapainottamiseksi (Aulanko 1988).

Prosessin ohjattavuutta voidaan parantaa myös tuotevalikoimaa kehittämällä ja karsimalla matalatuottoiset tai prosessiin sopimattomat tuotteet ja komponentit pois valmistusohjelmasta tai ulkoistamalla ne. Osat, joiden tuotto on vähäinen, mutta merkitys asiakkuuden kannalta tärkeä voidaan ulkoistaa luotettavalle alihankkijalle. Ohjattavuutta edistäviä tekijöitä ovat esimerkiksi selkeä ja herkkäliikkeinen, ketterä organisaatio. Vastualueiden on oltava selkeitä ja lyhyet läpäisyajat yhteisenä tavoitteena. Hyväkään ohjelmisto ei auta, elleivät perusasiat ole kunnossa (Aulanko 1988). Myös ohjauksessa tulee noudattaa PDCA -sykliä, jossa tieto karttuu ja tarkentuu prosessin edetessä.

Jokaisen tuotteen valmistus tulee suunnitella ja dokumentoida osa osalta. Jokaiselle osalle tulee laskea tai arvioida valmistusaika, jonka avulla tuotantoa voidaan ohjata ja tasapainottaa. Yksiselitteisessä työohjeessa määritellään, mitä osalle tehdään osavalmistuvaiheessa, mille tunnisteelle se kuuluu ja mihin lava toimitetaan. Jos seuraava vaihe havaitsee osassa virheen, osa palautetaan ja korjataan tekijän toimesta ennen jatkotoimenpiteitä. Palautus merkitään visuaalisen ohjauksen tauluun punamerkinä. Seuraava ohje laaditaan koonnille ja hitsaukselle. Määritellään koonti- ja hitsausjärjestys, käytettävät kääntopöydät, jiggit ja muut apuvälineet sekä mahdolliset WPS:t ja tarkastusohje. Ellei levytyökuvaa ole saatavilla, sellainen tehdään. Näin edetään vaihe vaiheelta aina pakkausohjeisiin asti.

Prosessin ohjauksen perustana ovat luotettavat, riittävän yksityiskohtaiset tunnusluvut. Niiden perusteella virtausta voidaan tasapainottaa ja kuormitus hallita mahdollisimman lyhyttä läpimenoaikaa silmälläpitäen. Virtausta ja mahdollisia pullonkaloja on seurattava aktiivisesti lattiatasolla ja visuaalisella ohjauksella, ei ainoastaan numeroiden valossa viikkopalaverissa.

Läpimenoaika vaikuttaa suoraan keskeneräisen tuotannon arvoon ja yrityksen toimituskykyyn ja sen lyhentäminen edellyttää laatu- ja kokonaisvastuuta tuotantosoluilta ja –tiimeiltä (Aulanko 1988).

5.2 Ongelmien ratkaisu

Ongelmat ratkaistaan tehokkaimmin paikan päällä ja työyhteisöä tulisi kannustaa korjaamaan ongelmat heti niiden ilmetessä, eikä siirtämään niitä eteenpäin. Syyllisten etsinnän sijaan tärkeintä on organisaation oppiminen, sisäänrakennettu laatu ja hukan vähentäminen. Havaitut puutteet ja poikkeamat tulee ottaa välittömästi käsittelyyn. Toistuvat virheet tulee korjauttaa oppimisen varmistamiseksi tekijöillään. Mikäli näin ei tapahdu, virheet lisääntyvät, kun väärät toimintatavat koetaan hyväksytyiksi ja toisaalta virheiden korjaajat turhautuvat tehdessään hukkatyötä.

”Viisi kertaa miksi?” on yksinkertainen ja tehokas analyysimenetelmä poikkeamien eliminoimiseen. Jokaisesta poikkeamasta laaditaan vakiomuotoinen A4 –raportti juurisyyn selvittämiseksi. Vähäpätöiseltä tuntuva terärikko voi olla lopputulos jostain, mikä jatkuessaan saattaa aiheuttaa merkittävää vahinkoa. Taustalla saattaa olla koneen orastava vaurio, ohjelmistovirhe, väärä terämateriaali, huoltamaton työkalu, puutteellinen voitelu tai muuta vastaavaa. Vähättelyyn ei ole syytä, sen osoitti tutkimuksen aikana sattunut aarporan huoltomiehen unohdus kompensatiokertoimen asetuksessa. Luotettavan tekniikan käyttö kuuluu TPS:n periaatteisiin, mutta silti pääosassa on ihminen ja oppiva organisaatio.

Ongelmien ratkaisemista uusilla, rohkeilla ja omaperäisillä toimintatavoilla kutsutaan luovuudeksi. Innovatiivisuus puolestaan määritellään yhdistelmäksi luovuutta, mielen avoimuutta, muutoshalua ja yritteliäisyyttä. Innovaatioiden syntymiseen ja käyttöön vaaditaan sekä innovatiivisuutta että luovuutta. Innovaatiot, laatu ja asiakaskokemukset ovat yrityksen tärkeimpiä kilpailukeinoja, koska hintakilpailussa emme enää voi menestyä (Juuti 2015).

5.3 5S

Lean –tuotannossa korostetaan visuaalisuutta ja sen parantaminen on keskeisessä roolissa tuotannon kehittämisessä. 5S menetelmällä voidaan lisätä tuotannon visuaalisuutta ja poikkeamien havaittavuutta merkittävästi. Kohdeyrityksen tuotantotilojen yleisilme kohentui paikoitellen tutkimuksen aikana, mutta parannettavaa on paljon. Letkujen ja kaapelien siirto tasoilta puomeille on turvallisuuskysymys.

Tarpeeton tavara tulee poistaa työpisteistä ja seinustoilta. Työskentelytasojen kunto tulee tarkastaa säännöllisesti ja asiattomat pukit ja kyhäelmät tulee vaarallisina poistaa tuotantotiloista.

Koontihalleista henkilökohtaiset työpisteet tulee poistaa käytöstä ja tila tulee jakaa tuotantovirtauksen ehdoilla tarpeettoman käsittelyn eliminoimiseksi. Henkilökohtaisille työvälineille tulee hankkia tarkoitukseen sopivat, siirrettävät säilytyslaatikot. Kääntöpöytien ja mekanisoinnin käyttöä tulee tehostaa nykyisestä. Puhtaus ja siisteys parantaa viihtyisyyttä ja turvallisuutta. Pölyjen säännöllinen imurointi parantaa ilman laatua ja edistää niin henkilöstön kuin kalustonkin hyvinvointia. Yhteiset välineet, kuten nostoketjut tulee sijoittaa standardoituihin säilytyspaikkoihin tunnusväreillä merkittyinä. Siisteiden ja järjestyksen ylläpito vaatii jatkuvaa toimintaa ja seuranta.

Pintakäsittelytilojen siisteys oli vaatimattomalla tasolla. Partikkelijäämät rakenteissa ja ilmassa aiheuttivat virheitä maalipinnoissa. Materiaalien ja lisäaineiden varastointimäärät tuotantotiloissa olivat huomattavia ja osaa liuotinastioista säilytettiin avoimia. Maa-laushalli oli merkitty räjähdysvaaralliseksi Ex- tilaksi, mutta siihen avoimessa yhteydessä olevassa taukotilassa käytettiin muun muassa suojaamatonta tietokonetta.

5S –menetelmä on useiden muiden lean –filosofian toimintatapojen mukaan päättymätön, jatkuvasti kehittyvä prosessi, jonka ylläpitämisessä ja kehittämisessä yrityksen johdolla on tärkeä rooli. Johtajien ja esimiesten tulee luoda kehitykseen motivoiva toimintakulttuuri, jolla luodaan tehokas ja turvallinen ympäristö laadukkaasti työn tekemiseen (Moulding 2010). Suotuisan kehityksen varmistamiseksi johdon tulee osoittaa sitoutumisensa ja tehdä säännölliset tarkastuskierrokset, mennä paikan päälle katsomaan.

5.4 Jatkuva parantaminen

Jatkuvan parantamisen ajatusmalli tulee ottaa osaksi jokapäiväistä tuotantoa. Parantamisen perustana ovat standardoidut ja dokumentoidut tehtävät. Kaizen ja PDCA eivät välttämättä istu heti suomalaiseseen ajatusmaailmaan. Miksi parantaa jotakin, joka toimii? Ja mikä pahempi: Näin se on aina tehty! Jatkuvan parantamisen tuleekin lähteä esimiesten ohjaamana, säännöllisenä toimintana.

Työvälineet ja tarvikkeet kehittyvät jatkuvasti ja esimerkiksi nyt ongelmia aiheuttaneet puuttuvat särmien pyöritykset on offshore -teollisuudessa tehty sekä kevyillä jyrsimillä että tarkoitukseen kehitetyillä hiomalaikoilla. Edulliset, laatua parantavat perustyökalut puuttuvat kohdeyrityksen kalustosta lähes kokonaan.

Jatkuvan parantamisen ja aloitetoiminnan suhde tulee keskustella avoimeksi. Vaihtoehtoina voisivat olla esimerkiksi perinteinen aloitepalkkio merkittävämmästä parannuksesta ja vuositason palkkio pikkuaskelin toteutetusta tuottavuuden noususta.

5.5 Lean ja tiimityö

Toiminnan tehostamispaineet, jatkuvat lomautukset ja henkilöstövähennykset aiheuttavat stressiin johtavaa huonoa kierrettä. Tämä negatiivinen kierre tulisi katkaista ja ohjata toiminta positiiviseen kierteseen (Juuti 2015; Kaplan & Norton 2001). Lean -tuotannon periaatteisiin kuuluu henkilöstön kunnioittaminen ja saumaton yhteistyö, joukkuepeli yhteisellä tavoitteella ja näkemyksellä.

Nykyinen, kokeneiden ammattimiesten muodostamien työparien ja rinnalla toimivien kokemattomien työparien muodostama, ammattitaidollisesti jakautunut rakenne tulisi uudistaa. Toimintaa haittaa entisestään hitsaajien erottelu omaksi ryhmäkseen ja erilliseksi työnvaiheeksi erityisesti monimutkaisten rakenteiden koonnissa käsihitsauksen osalta. Nykymuodossa levysepät kokoavat lohkon mieleisekseen ennen kuin hitsaaja pääsee työskentelemään. Näin rakenteet ovat usein ahtaita ja vaikeasti tavoitettavia, jolloin hitsaustyö kärsii kaikilta osin. Ilmiötä voimistaa ulkomaalaisien vuokrahitsaajien käyttö ja yhteisen kielen puuttuminen.

Tiimien muodostamisen lähtökohdaksi sopii kokeneen ja kokemattomamman levysepän muodostama työpari, jota täydennetään hitsaajalla. Tällainen perusyksikkö pystyy yksinään tuottamaan pieniä osakokoonpanoja ja näitä perusyksiköitä yhdistämällä voidaan koota kulloisenkin tarpeen edellyttämä kokonaisuus. Ammattiryhmien sekoittamisella eliminoidaan nykyinen osaoptimointi ja siitä aiheutuva kokonaistuntimäärän kasvu ja laatuongelmat. Tiimien työskentelyssä tulee unohtaa perinteiset osastorajat ja esimerkiksi koontitiimin jäsenen tulee osallistua ja tuoda näkemyksensä osavalmisteiden leikkaukseen ja taivutukseen. Tällä varmistetaan sisäinen asiakastyytyväisyys ja luodaan edellytykset jatkuvalla parantamiselle.

Tiimille tulee antaa kokonaisvastuu osuutensa laadusta ja tuotannosta. Tiimin tulee luovuttaa oikea määrä virheetöntä tuotetta oikeaan aikaan seuraavalle vaiheelle, sisäiselle tai ulkoiselle asiakkaalle. Laatunormit on määritettävä ja tarkastusohjeet on liitettävä työohjeisiin. Tiimissä kukin jäsen vastaa oman osuutensa laadusta ja auttaa toista selviytymään omista velvoitteistaan (Lecklin 2006). Tiimit ovat Juuti & Luoman (2009) mukaan organisaation tärkeimpiä oppimisen pesäkkeitä ja samalla ehto oppivan organisaation toteutumiselle.

Myös esimiesten tulee unohtaa perinteiset rajat ja keskittyä prosessin virtaukseen omalla vastualueellaan. Ennen kaikkea, heidän tulee tuntee osuutensa ja osallistua aktiivisesti paikan päällä ongelmien ratkaisuun ja jatkuvaan parantamiseen.

6. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Kohdeyrityksen tilanne hiipuvilla markkinoilla on haasteellinen. Konepajojen välinen kilpailu on muun kysynnän taantumana ja siitä seuranneen ylikapasiteetin myötä kiristynyt entisestään. Heikko toimitusvarmuus ja laatuongelmat ovat asiakkaalle riski, jota he tuskin haluavat tietoisesti ottaa.

Toimitusvarmuuden ongelmat ovat havaintojen mukaan lähtöisin epävakasta prosessista ja virheellisestä tuotteen arvonmäärityksestä resurssitarpeiden osalta. Aikataulut ovat siksi epärealistisia ja pohjautuvat pääosin isoina kokonaisuuksina arvioituihin, virheellisiin läpimenoaikoihin. Tuotannon häiriöt eri osaprosesseissa aiheuttavat viiveitä ja pysähdyksiä virtaukseen, toisin sanoen vaihtelua. Valvonta on muodollista ja viivästymisiin reagoidaan visuaalisuuden puuttuessa liian myöhään. Viiveet tukkivat jonouttamalla prosessin ja estävät vapaan kapasiteetin puuttuessa uusien tilausten vastaanottamisen. Vakaan ja ohjatun virtauksen sijaan resurssit keskitetään toistuvasti yksittäisten ongelmien kertakorjauksiin.

6.1 Keskeiset havainnot

Tutkimuksen havaintojen perusteella on pääteltävissä lean –tuotannon soveltuvan myös raskaan konepajan toimintafilosofiaksi. Tärkein tätä tukeva, mitattava havainto oli arvovirran muutoksilla saavutettu läpimenoajan lyheneminen 178 päivästä 112 päivään.

Raskaan tuotannon ja hitaan tahtiajan prosessissa turhat siirrot ja kuljetukset aiheuttivat suurta hukkaa. Huolellisella etukäteissuunnittelulla ja ohjeistuksella näitä voidaan välttää merkittävästi. Pyrkimys pullonkaularessurssin korkeaan käyttöasteeseen aiheutti toistuvia häiriöitä virtaukseen, jonoja ja muutoksia tuotantosuunnitelmaan, jotka johtivat toimitusaikojen myöhästymisiin ja lisääntyvään alihankintaan kireässä taloustilanteessa. Vakaa, tasapainotettu virtaus parantaa resurssien ohjattavuutta ja vähentää nykyistä jonojen aiheuttamaa hukkaa ja läpimenoaikojen hallitsematonta kasvua.

Perinteiset seitsemän hukkaa ovat vahvasti läsnä tuotannossa. Ylituotanto täyttää varastokentät ja virheet toistuvat kappaleesta toiseen. Varastoissa on materiaalia, vaikka tilauskanta on lähes tyhjä. Yliprosessointi on hyväksytty käytännöksi, samoin turha liike ja kuljetukset. Turha käsittely lisää odotusta; odotetaan kuljetusta, nosturia, tarkastajaa, tietoa. Odoteltavaa riittää ilman tasoitettua virtausta.

Organisaation ammattirajat ja työkäytännöt ovat säilyneet ennallaan muuttuneessa ympäristössä. Yhdistämällä eri ammattiryhmiä samaan kokoonpanotiimiin voidaan saavuttaa huomattavaa kehitystä tuotteen valmistuksen kokonaistunneissa ja laaduntuottokyvissä. Kuten luvussa 2 todettiin, tarve aloittaa työ moneen kertaan aiheuttaa tehotonmuutta näennäisestä liikkeestä huolimatta. Toissijaisia tarpeita syntyy, kun yksittäinen työntekijä aloittaa keskeytyneen työnsä uudelleen ja kun työ siirtyy vaiheesta toiseen. Jonossa olevien töiden priorisointi, etsiminen, tunnistaminen ja järjestely aiheuttavat viiveitä ja turhautumista. Jonot syntyvät yleensä vaiheiden rajapinnoille, mikä osaltaan lisää laatuongelmia osaoptimoinnin ja kokonaisvastuun katoamisen myötä.

Lean –tuotannon luominen ei käy käden käänteessä, vaan se on vuosien mittainen jatkuva muutosprosessi kohti täydellisyyttä. Onneksi kehitystoimet voidaan kohdeyrityksessä aloittaa helpoimmasta, työohjeiden laadinnasta. Työohjeiden ja työn standardoinnin kautta tavoitellaan prosessin vaihtelun ja virheiden minimointia. Samalla tuotannon ohjattavuus ja kapasiteetin hallinta paranevat

Toinen tärkeä askel kohti lean –tuotantoa on osavalmistuksen ajoitus ja ohjaus. Nykytyylistä varastoon valmistamista tulee välttää. Kun osien todellinen läpimenoaika tunnetaan, voidaan puskurivarastoa pienentää ilman pelkoa tuotannon pysähtymisestä. On myös osattava luopua perinteisestä ajattelumallista tehdä yhden työn osat kerralla valmiiksi, ja valmistettava vain niitä osia, joita seuraava vaihe tarvitsee. Varastoon valmistaminen toimii myös työntekijöille joustona, jossa ylimääräinen kapasiteetti ohjataan tarpeettoman tuotannon pariin luomaan vaikutelmaa korkeasta käyttöasteesta.

Tahtiaika on hidas, koska valmistettavat osat ovat kookkaita. Raskaan konepajateollisuuden kustannukset ovat sidoksissa massaan, jolloin läpimenoajan viiveet kasvattavat keskeneräisen tuotannon arvoa merkittävästi. Tuottavuuden kannalta jatkuva, tasainen virtaus ja lyhyt läpimenoaika on ihanteellinen ratkaisu. Resurssien tasoittamiseksi ja kapasiteetin varmistamiseksi henkilöstön monitaitoisuutta ja työssä oppimista tulee lisätä. Nykyisestä osaoptimoidusta kokoonpanovaiheesta tulee luopua edullisemmän kokonaisvaihtoehdon hyväksi. Tavoitteet tulee asettaa selkeiksi ja kaikkien seurattaviksi riittävän tiheillä välietapeilla, jotta ongelmat paljastuvat riittävän aikaisin korjaavien toimenpiteiden suorittamiseksi.

Tuotteille tulee laatia kääntö- ja nostosuunnitelma, mistä ilmenee nostokorvien koko ja sijainti sekä mahdollinen noston valvoja. Suunnittelemattomista kappaleiden käsittelyvaiheista tulee luopua.

6.2 Tutkimuksen tarkastelu

Lean –tuotannon käsite on syntynyt autoteollisuuden keskuudessa, ja vaikka se vuosikymmenten kuluessa on laajentunut useille eri toimialoille, kuten terveydenhuollon pariin, ei tutkimustietoa raskaan konepajateollisuuden piiristä ole juurikaan löydettävissä.

Tällä tutkimuksella haettiin vaihtoehtoja yksittäisen konepajan tuottavuuden parantamiseen. Tutkimusongelmana oli löytää syitä ja seurauksia raskaan konepajatuotannon läpimenoaikojen viivästymisiin ja laatuongelmiin sekä niiden eliminointimahdollisuuksiin lean -tuotannon keinoin. Pitkä tarkastelujakso, tuotantoprosessin luonne ja järjestelmään tallennetun tiedon poikkeamat eivät luoneet edellytyksiä aineiston tarkkaan tilastolliseen käsittelyyn, mutta tehdyt havainnot yhdessä toteutettujen korjaavien toimenpiteiden kanssa antoivat toistuvina luotettavan kuvan kehityssuunnasta ja tulosten saavutettavuudesta.

Tutkimuskysymykseen, voidaanko hukkaa poistaa ja asiakkaan kokemaa arvoa kohottaa lean –tuotantojärjestelmällä raskaan tuotannon tilauskonepajassa, saatiin myönteinen vastaus. Vaikka lean on luonteeltaan sarjatyön menetelmä, sen havaittiin sopivan myös raskaan teollisuuden hitaalle tuotantovirtaukselle ja vaihteleville tuoteperheille. Organisaation työmenetelmistä löydettiin runsaasti kehityskohteita erityisesti standardoinnin ja ohjeistuksen osalta. Vaihtelun todettiin vaikuttavan tuotteen läpimenoaikaan ja vaikeutuvan resurssien ohjattavuutta ja kuormitusta. Laatupoikkeamat lisäsivät osaltaan vaihtelua.

Prosessin arvonluontiin ja läpimenoaikaan vaikuttivat samanaikaisesti tuotannossa olleet muut tuotteet, jotka osaltaan aiheuttivat pullonkaularesurssien jonoutumista ja lisäsivät asetusten vaihtoaikojen osuutta. Tutkimuksen laajentaminen koko tilauskannan kattavaksi ei olisi arviomme mukaan kuitenkaan tuottanut tästä merkittävästi poikkeavia lopputuloksia, sillä vaihtelua ja laatuongelmia sekä toimitusviiveitä esiintyi myös muiden asiakkaiden tuotteissa. Arvovirtojen tarkempi mittaaminen olisi tuottanut kattavamman kuvan prosessista, mutta ei ollut käytettävien resurssien puitteissa mahdollista.

Mukautuvuus on yhdistelmä lean –tuotannon tehokkuutta ja sopeutuvuutta tuotteiden vaihteluihin. Vaihtelun hallinta perustuu huolelliseen ennakkosuunnitteluun ja työn ohjeistukseen, joissa kummassakin ilmeni vielä merkittäviä puutteita. Myös olemassa olevan tuotantoteknologian käyttöä tulisi tehostaa ja kehittää työtä helpottavia jigejä ja kiinnittimiä.

6.3 Jatkotutkimusehdotukset

Jatkotutkimuksen kohteiksi sopii yksittäisten aliprosessien, kuten teräsleikkeiden ja vastaavien esivalmisteiden 'ostaa vai valmistaa' -päätösten tarkastelu. Onko oma teräsvaraston ja mittavan termisen leikkauksen resurssin ylläpito kannattavaa vai voidaanko leikkeet hankkia edullisemmin JIT -periaatteella ulkopuoliselta toimittajalta.

Kannattavuustarkastelu runkojen alihankintakoneistukselle lienee myös tarpeen. Voidaanko markkinoilta ostaa koneistuskapasiteettia kannattavaan hintaan, kun otetaan huomioon kaikki sen aiheuttamat todelliset kustannukset ja onko runkojen koneistus osa omaa ydinosaamista, mitä ei tulisi jakaa kilpailijoiden kanssa? Nykyisin konepaja käyttää kapasiteetin hallintaan alihankintaa ydinosaamisalueillaan, isojen kappaleiden koneistuksessa ja mekanisoidussa jauhekaarihitsauksessa. Toiminnan todelliset kustannukset tulee kohdistaa oikein ja tarkastella sen kannattavuus. Toiminnan kärjet eivät sinällään sisällä mitään poikkeuksellista kilpailuetua, jonka menettäminen estäisi alihankkijan käyttöä, mutta alan vakiintunut hintataso ja vallitseva kilpailutilanne eivät tue toiminnan kannattavuutta.

Merkittävä tutkimusalue on yrityksen ERP -järjestelmän sovittaminen tämän päivän tuotannon ja konsernin taloushallinnon vaatimuksiin. Nykyisellään sen toiminta oli joustamatonta ja päivitys työlästä. Ehkäpä juuri siksi tuotantoaikataulut ja kuormitus olivat jälkijätöisiä ja operatiivinen toiminta hoidettiin pääasiassa toimisto-ohjelmiston taulukoilla. Myös taloudellisten lukujen raportointiin käytettiin useita eri järjestelmiä, mikä lisää sekä työtä että virhemahdollisuuksia.

7. LÄHDELUETTELO

Aulanko, V 1988, *Yrityksen toiminnan ohjaus*, Taloustieto ry, Helsinki.

Ayad, A 2010, 'Critical thinking and business process improvement', *Journal of Management Development*, 2010, pp. 556 - 564.

Bacal, R 2011, *If It Wasn't For The Customers I'd Really Like This Job*, 1st edn, Bacal&Associates, Ontario.

Cagan, J & Vogel, CM 2002, *Creating Breakthrough Products: Innovation from Product Planning to Program Approval*, 1st edn, Prentice Hall, New Jersey.

Chaneski, WS 2015, 'Avoiding pitfalls to lean', *Modern Machine Shop*, July 2015, pp. 42, 44.

Chhajed, D & Lowe, TJ 2008, *Building Intuition - Insights From Basic Operations Management Models and Principles*, 1st edn, Springer, New York.

Ciarnienė, R & Vienažindienė, M 2012, 'LEAN MANUFACTURING: THEORY AND PRACTICE', 2012, pp. 726-732.

Covey, SR 1989, *Seven Habits of Highly Effective People*, 25th edn, Simon & Schuster, New York, 25th Anniversary Edition 2013.

Deming, WE 1986, *Out of the Crisis*, 1st edn, MIT Press, Cambridge.

Drucker, PF 2002, *Druckerin parhaat*, Ensimmäinen painos edn, WS Bookwell Oy, Helsinki, Alkup. The Essential Drucker (2001).

Grönroos, M & Ståhle, P 1999, *Knowledge Management -tietopääoma yrityksen kilpailutekijänä*, Toinen painos edn, Werner Söderström Osakeyhtiö, Porvoo.

Haaparanta, L & Niiniluoto, I 1986, *Johdatus tieteelliseen ajatteluun*, Helsingin yliopisto, Filosofian laitos, Helsinki.

Hallgren, M & Olhager, J 2009, 'Lean and agile manufacturing: external and internal drivers and performance outcomes', *International Journal of Operations & Production Management*, 2009, pp. 976 - 999.

- Haverila, MJ, Uusi-Rauva, E, Kouri, I & Miettinen, A 2009, *Teollisuustalous*, Kuudes painos edn, Infacs Oy, Tampere.
- Hines, P, Found, P, Griffiths, G & Harrison, R 2008, *Staying Lean –Thriving, Not Just Surviving*, 2nd edn, Productivity Press, New York.
- Hines, P, Holweg, M & Rich, N 2004, 'Learning to evolve - A review of contemporary lean thinking', *International Journal of Operations & Production Management* , 2004, pp. 994-1011.
- Hines, P & Rich, N 1997, 'The seven value stream mapping tools', *International Journal of Operations & Production Management*, 1997, pp. 46-64.
- Hirsjärvi, S, Remes, P & Sajavaara, P 2009, *Tutki ja kirjoita*, 15th edn, Kustannusosakeyhtiö Tammi, Jyväskylä.
- Hobbs, P 2003, *Lean Manufacturing Implementation: A Complete Execution Manual for Any Size Manufacturer* , 1st edn, J. Ross Publishing, Boca Raton.
- Hopp, WJ & Spearman, ML 2011, *Factory Physics*, 3rd edn, Waveland Press Inc., Illinois.
- Johnson, CN 2016, 'The Benefits of PDCA', *Quality Progress*, January 2016, p. 45.
- Juuti, P 1992, *Yrityskulttuurin murros*, Ensimmäinen painos edn, Aavaranta Oy, Oitmäki.
- Juuti, P 2012, *Menestystarinoita. Tutkimus kestävään tuottavuuteen yltäneistä organisaatioista.*, Ensimmäinen painos edn, Johtamistaidon Opisto , Helsinki.
- Juuti, P 2015, *Johda henkilöstö asiakaskeisyyteen*, 1st edn, PS-kustannus, Jyväskylä.
- Juuti, P & Luoma, M 2009, *Strateginen johtaminen Miten vastata kompleksisen ja postmodernin ajan haasteisiin*, Kustannusosakeyhtiö Otava, Helsinki.
- Kajaste, V & Liukko, T 1994, *Lean-toiminta - Suomalaisten yritysten kokemuksia*, Metalliteollisuuden kustannus, Helsinki.
- Kaplan, RS & Norton, DP 2001, *The Strategy Focused Organization*, 1st edn, Harvard Business School Press, Boston.
- Kaplan, RS & Norton, DP 2006, *Alignment: Using the Balanced Scorecard to Create Corporate Synergies*, 1st edn, Harvard Business School Publishing, Boston.
- Katzenbach, JR & Smith, DK 1994, *Wisdom of Teams: Creating the High Performance Organization*, 1st edn, HarperBusiness, New York.

Korkiakoski, K & Löytänä, J 2014, *Asiakkaan aikakausi*, Ensimmäinen painos edn, Talentum Media Oy.

Kortesuo, K & Löytänä, J 2011, *Asiakaskokemus palvelubisneksestä kokemusbisnekseen*, Ensimmäinen painos edn, Tlentum Media Oy, Helsinki.

Krafcik, JF 1988, 'Triumph of the Lean Production System', *Sloan Management Review*, Fall 1988, pp. 41-52.

Kuula, A 1999, *Toimintatutkimus – Kenttätyötä ja muutospyrkimyksiä*, Vastapaino, Tampere.

Lecklin, O 2006, *Laatu yrityksen menestystekijänä*, 5th edn, Talentum Media Oy, Helsinki.

Liker, JK 2004, *Toyotan tapaan*, 1st edn, Readme.fi, Helsinki, The Toyota Way, McGraw-Hill, 2004.

Liker, JK & Convis, GL 2012, *Toyotan tapa Lean -johtamiseen*, Ensimmäinen painos edn, Readme.fi.

Malmi, T, Peltola, J & Toivanen, J 2002, *Balanced Scorecard -Rakenna ja sovela tehokkaasti*, Ensimmäinen painos edn, Talentum Media Oy, Helsinki.

Mattila, P 2008, *Otollinen tilaisuus. Miten tarttua muutokseen*, Ensimmäinen painos edn, Talentum Media Oy, Helsinki.

Modig, N & Åhlström, P 2013, *Tätä on lean*, Ensimmäinen painos edn, Rheologia Publishing, Tukholma.

Moulding, E 2010, *5S - A Visua Control System for the Workplace*, 1st edn, Author House, Central Milton Keynes.

Nayar, V 2010, *Employees First, Customer Second -turning Conventional Management Upside Down*, Harvard Business Review Press.

Ohno, T 1988, *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, 1st edn, Productivity Inc., Portland, Ensimmäinen englanninkielinen painos. Alkuperäisteos 1978.

Ojha, D, White, RE & Rogers, PP 2013, 'Managing demand variability using requisite variety for improved workflow and operational performance: the role of manufacturing flexibility', *International Journal of Production Research*, 2013, pp. 2915-2934, Divesh Ojha, Richard E. White & Pamela P. Rogers.

Olkkonen, T 1994, *Johdatus teollisuustalouden tutkimustyöhön*, Toinen painos edn, Teknillinen korkeakoulu Tuotantotalouden laitos, Otaniemi.

Pienkowski, M 2014, 'Waste measurement techniques for lean companies', *International Journal of Lean Thinking*, 2014, pp. 1 - 16.

Prizztech Oy 2015, *Finnish Offshore Industry Report 2015*, viewed 08 March 2016, <http://meriteollisuus.teknologiateollisuus.fi/sites/meriteollisuus/files/file_attachments/Finnish%20Offshore%20Industry%20Report%202015%20-%20final%20web%20version.pdf>.

Rinta-Jouppi, R 1999, *Nyrkkipajasta konepajaksi Hollming Oy Kankaanpään konepajan historiikki*, Pori.

Rother, M 2011, *Toyota Kata*, 1st edn, Readme.fi A Bonnier Group Company, Helsinki.

Santalainen, T 2009, *Strateginen ajattelu & toiminta*, Ensimmäinen painos edn, Talentum Media Oy, Hämeenlinna.

Shewhart, WA 1986, *Statistical Method From the Viewpoint of Quality control*, First Dover edn, Dover Publications Inc., New York, Reprint. Originally published Washington D.C., 1939.

Shook, J 2009, 'Toyota's Secret: The A3 Report', *MIT Sloan Management Review*, 2009, pp. 30 - 33.

Silén, T 1998, *Laatujohdaminen -menetelmiä kilpailukyvyyn vahvistamiseksi*, Ensimmäinen painos edn, Suomen Ekonomiliitto ja WSOY, Porvoo.

Slack, N & Lewis, M 2002, *Operations Strategy*, 1st edn, Prentice Hall, Harlow.

Spear, S & Bowen, HK 1999, 'Decoding the DNA of the Toyota Production System', *Harvard Business Review*, Sep/Okt 1999, pp. 96-106.

Srinivasan, S, Hughes Ikuma, L, Shakouri, M, Nahmens, I & Harvey, C 2016, '5S impact on safety climate of manufacturing workers', *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2016, pp. 364-378.

Tammiaho, E 2009, *Tekesin katsaus 258/2009*, viewed 8. maaliskuu 2016, <https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/tekes_ruoripotkurit.pdf>.

Teknologiateollisuus ry 2015, *Teknologia-Suomi > Kone- ja metallituoteteollisuus > Tutkimus ja kehitys*, viewed 9 maaliskuu 2016, <<http://teknologiateollisuus.fi/fi/teknologia-suomi/kone-ja-metallituoteteollisuus/tutkimus-ja-kehitys#sthash.TLP0AjWf.dpuf>>.

<http://teknologiateollisuus.fi/fi/teknologia-suomi/kone-ja-metallituoteteollisuus/tutkimus-ja-kehitys#sthash.TLP0AjWf.dpuf>.

Temmes, A & Välikangas, L 2010, *Strateginen ajautuminen*, Ensimmäinen painos edn, WSOYpro Oy ja Suomen Ekonomiliitto, Helsinki.

Tuominen, K 2010a, *Lean - Tehoa ja laatua prosessien ja virtauksen kehittämiseen*, Ensimmäinen painos edn, Readme.fi, Helsinki.

Tuominen, K 2010b, *Lean - Tehoa ja laatua siisteyden ja järjestyksen kehittämiseen - 5S*, Ensimmäinen painos edn, Readme.fi, Helsinki.

Uola, M 2000, *Hollming 1945-2000 Sotakorvausveistämöstä monialakonserniksi*, Ensimmäinen painos edn, Hollming Oy, Rauma.

Vindoh, S, Ben Ruben, R & Asokan, P 2016, 'Life cycle assessment integrated value stream mapping framework to ensure sustainable manufacturing: a case study', *Clean Techn Environ Policy*, Jan 2016, pp. 279-295, [OBJ] [OBJ].

Vinodh, S, Arvind, KR & Somanaathan, M 2011, 'Tools and techniques for enabling sustainability through lean initiatives', *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2011, pp. 469-479.

Womack, JP & Jones, DT 1996, *Lean Thinking - Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, 1st edn, Free Press, New York, First Free Press Edition 2003.

Womack, JP, Jones, DT & Roos, D 1990, *The Machine that changed the World*, 1st edn, Free Press, New York, Esipuhe ja jälkikirjoitus lisätty vuonna 2007, ensimmäinen nidottu painos.

Vuorinen, T 2014, *Strategikirja 20 työkalua*, 2nd edn, Talentum Media Oy, Helsinki.