



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JAAKKO SIIVOLA

**PROSESSIN LÄPIMENOAIKOJEN KUVAAMINEN JA
KEHITTÄMINEN ERÄTUOTANNOSSA**

Diplomityö

Tarkastaja: professori Jussi Heikkilä
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Talouden ja rakentamisen tiedekun-
taneuvoston kokouksessa 3. helmi-
kuuta 2016

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Tuotantotalouden koulutusohjelma

SIIVOLA, JAAKKO: Prosessin läpimenoaikojen kuvaaminen ja kehittäminen erätuotannossa

Diplomityö, 75 sivua, 6 liitesivua

Maaliskuu 2016

Pääaine: Teollisuustalous

Tarkastaja: professori Jussi Heikkilä

Avainsanat: lean, erätuotanto, läpimenoaika, arvovirtakuvaus, SMED

Tuotantoprosessin kehittäminen on olennainen osa jokaisen teollisuusyrityksen toimintaa. Tuotantoprosessin tehokkuuteen liittyy olennaisesti läpimenoaika, jolla tarkoitetaan aikaa, mikä tuotteella kestää kulkea tarkasteltavan prosessin läpi. Tuotannon tehostamiseen ja etenkin läpimenoaikojen parantamiseen liittyy tiiviisti lean-ajattelu. Lean on alun perin Toyotan tuotantojärjestelmän kehityksestä alkunsa saanut johtamisfilosofia. Tässä työssä tutkitaan valittujen tuotteiden läpimenoaikoja ja pyritään löytämään ratkaisumalleja, joilla läpimenoaikoja voidaan lyhentää. Työn kohdeyrityksenä on Nokian Raskaat Renkaat ja tutkimus keskittyy tarkastelemaan sen valmistusprosessia. Työn tavoitteena on kuvata valittujen tuotteiden läpimenoaikoja, tutkia prosessista löytyneitä ongelmakohtia ja esittää näiden pohjalta toimintasuosituksia.

Työn alussa käydään läpi aiheeseen liittyvää teoriaa, jossa käsitellään lean-ajattelua ja erityisesti tuotannon läpimenoaikoihin liittyviä tekijöitä ja menetelmiä, kuinka näitä voidaan tutkia ja parantaa. Tutkimus toteutettiin keräämällä aineistoa tuotantoprosessista tehdasympäristössä ja työhön tarkasteltavaksi valittiin neljä eri rengasta. Osa aineistosta saatiin suoraan valmistusprosesseista mittaamalla ja osa sekundäriaineistona erilaisista tietokannoista ja raporteista. Kerätyn aineiston avulla tehtiin rengaskohtaiset arvovirtakuvaukset, joista käy ilmi läpimenoajat, varastoajat ja eri prosessikohtaiset ajat. Keskimääräisiksi läpimenoajoiksi saatiin renkaasta riippuen kuudesta seitsemään päivää. Tutkimustulokset osoittivat kolme ongelmakohtaa liittyen läpimenoaikoihin: komponenttien varastoajat, paiston aiheuttama pullonkaula ja paistopuristimen muottien pitkät vaihtoajat.

Tutkimus antaa kolme suositusta liittyen läpimenoaikojen ongelmakohtiin. Näistä suosituksista jatkotarkastelun kohteeksi valittiin muotinvaihdon nopeuttaminen. Kyseinen ratkaisu tarjoaa edullisen ja nopeasti toteutettavan tavan lyhentää läpimenoaikoja ja tehdä tuotannosta joustavamman. Valinta kohdistui muotinvaihtoon, koska muiden ongelmakohtien ratkaiseminen olisi vaatinut suuria investointeja ja muutoksia prosesseihin. Muotinvaihdon nopeuttamiseen käytettiin SMED (Single Minute Exchange of Die) menetelmää. Tuloksena saadut toimenpiteet nopeuttavat muotinvaihtoa parhaimmillaan jopa 46 prosenttia. Muotinvaihdon nopeuttaminen helpottaa pienempien sarjojen käyttöä tuotannossa, joka johtaa lyhyempiin välivarastoaikoihin. Kuitenkin tulevissa investoinneissa ja hankkeissa on tärkeää kiinnittää huomiota tutkimuksen osoittamiin ongelmakohtiin ja kehittää prosessin kaikkia osa-alueita.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Industrial Engineering and Management

SIIVOLA, JAAKKO: Defining and developing of process lead times in batch production

Master of Science Thesis, 75 pages, 6 Appendix pages

March 2016

Major: Industrial management

Examiner: Professor Jussi Heikkilä

Keywords: lean, batch production, lead time, value stream mapping, SMED

Developing a production process is essential for every industrial company. When we are talking about the effectiveness of a production process, lead time plays an important role. Lead time is the time that it takes for a product to go through a certain process. Lean thinking is closely related to concepts like improving production processes and shortening lead times. Lean is a widely used philosophy that originates from Toyota's production system. In this thesis the lead times of the chosen products are studied and solution models are created based on the information gained through the study to decrease lead times. The case company of this study is Nokian Heavy Tyres and the study is concentrated in their production process. The goal is to define the lead times of selected products, search the flaws in the production process and to present recommendations.

In the beginning of the thesis the literature review is presented. The part consists of theory about lean thinking, aspects of lead times and methods how lead times can be evaluated and decreased. The study was carried out by collecting data of the production process of the four chosen tires. Part of the data was collected straight from the production process and other part of the data was gathered from secondary sources which included databases and reports. The collected material was used to create value stream maps of the chosen products. The value stream map indicates lead times, storage times and times related to the processes. Depending of the tire the average lead time was from six to seven days. The research findings indicated three problems in the process related to lead times: the storage times of the components, the bottleneck caused by curing and the changeover times of the press dies.

The study gives three recommendations to solve the problems regarding the lead times. Developing the changeover time of the press die was selected for further development. It gives an easy and fast way to decrease the lead times and to make the production more flexible. The other recommendations would have decreased the lead times also, but they would have required large investments and changes to the production process. SMED (Single Minute Exchange of Die) method was used to decrease the changeover time. Using the findings of this study we can theoretically decrease the changeover time of the press die by 46 percent. Decreasing the changeover time makes it easier to use smaller batches in production, which will reduce the work in progress. In future when new investments are planned it is important to go through all the problems indicated by this study and to take these notions into account.

ALKUSANAT

Tämän diplomityön kautta olen päässyt tutustumaan mielenkiintoiseen tehdasympäristöön ja sen toimintaa. Uskon tämän kokemuksen ja työstä opittujen asioiden auttavan minua eteenpäin uusissa haasteissa.

Haluan kiittää kohdeyrityksen henkilökuntaa siitä avusta, mitä he ovat minulle tarjonneet ja erityisesti esimiestäni Mikko Oravaa neuvoista diplomityön aikana. Haluan kiittää professori Jussi Heikkilää, joka on antanut minulle neuvoja ja pohdittavaa tämän työn tekemisen avuksi. Iso kiitos kuuluu myös veljelleni Eero Siivolalle, joka auttoi paljon työn teon eri vaiheissa. Diplomityö on yksi tärkeä opiskelun päätöskohta, mutta itsensä kehittämisen hengessä tulee opintoja silti jatkaa koko elämän ajan.

Tampereella, 9.3.2016

Jaakko Siivola

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	I
ABSTRACT	II
ALKUSANAT	III
LYHENTEET JA MERKINNÄT	VI
1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuksen taustaa.....	1
1.2 Työn tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaukset	2
1.3 Työn rakenne.....	3
2. KOHDEYRITYS JA VALMISTUSPROSESSIN ESITTELY	4
2.1 Nokian Raskaat Renkaat	4
2.2 Renkaiden valmistus	4
2.3 Tutkittavien tuotteiden esittely.....	5
3. KIRJALLISUUSKATSAUS	7
3.1 Lean-ajattelu.....	7
3.1.1 Seitsemän hukkaa.....	11
3.1.2 5S	13
3.1.3 Arvovirtakuvaus.....	14
3.2 Vaihtoaikojen hallinta ja tuotannon joustavuus	18
3.2.1 Vaihtoaikojen vähentäminen.....	18
3.2.2 Single Minute Exchange of Die	19
3.3 Läpimenoaikojen hallinta.....	20
3.3.1 Varastot	21
3.3.2 Keskeneräinen tuotanto.....	22
3.3.3 Just In Time.....	24
3.4 Kapeikkoajattelu.....	25
4. TUTKIMUSMENETELMÄT JA MATERIAALI	28
4.1 Työn luonne.....	28
4.2 Käytetyt menetelmät ja aineiston keruu	28
4.2.1 Primääriaineiston kerääminen.....	29
4.2.2 Sekundääriaineiston kerääminen.....	30
4.3 Aineiston analyysi	32
5. TULOKSET	33
5.1 Prosessikohtaiset mittaustulokset ja arvovirtakuvaukset	33
5.1.1 Forest King F2	33
5.1.2 Mine King L-5S	35
5.1.3 Forest Rider.....	36
5.1.4 TRI 2	37
5.2 Varastoaikojen mittaustulokset	38
5.2.1 Kokoonpanon jälkeiset varastoajat	39
5.2.2 Komponenttien varastoajat ja mittausmäärät	43

6.	TULOsten ANALYSOINTI.....	45
6.1	Havainnot tulosten pohjalta.....	45
6.2	Prosessissa havaitut ongelmat	45
6.3	Parannusehdotukset mittaustulosten pohjalta.....	49
6.3.1	Paistoaika	50
6.3.2	Komponenttien varastoajat	51
6.3.3	Vaihtoajat	51
7.	RATKAISUVAIHTOEHDOT	53
7.1	Muotinvaihdon nopeuttaminen	54
7.1.1	Muotinvaihdon analysointi	55
7.1.2	Parannusehdotukset.....	57
8.	TUTKIMUKSEN TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	63
8.1	Päätulokset ja niiden tärkeys	63
8.2	Suosituksset tulosten pohjalta.....	64
8.3	Tulosten kriittinen tarkastelu.....	67
8.4	Jatkotutkimustarpeet.....	69
	LÄHTEET	71

LIITE 1: RENKAIDEN SEURANTAPAPERIMALLIT

LIITE 2: VÄLIVARASTOAIKOJEN KEHITYSTEN VERTAILU

LYHENTEET JA MERKINNÄT

5S	5S on menetelmä, jonka tarkoituksena on kasvattaa työn tuottavuutta parantamalla organisointia ja siisteyttä. 5S viittaa viiteen eri toimenpiteeseen: järjestely, systematisointi, siivous, standardisointi ja seuranta.
C/T	<i>Cycle Time</i> tarkoittaa yhden työvaiheen suoritusaikaa, eli jaksonaikaa.
CO	<i>Changeover</i> tarkoittaa vaihtoaikaa, eli aikaa mikä kuluu tuotantokoneen asettamiselle eri tuotteen tuotantoa varten
CONWIP	<i>Constant Work-In-Process</i> on järjestelmä, jolla rajoitetaan keskeneräisen tuotannon määrää. CONWIP:n perustuu korttien käyttöön. Aina kun materiaalia menee sisään järjestelmään se saa kortin, joka oikeuttaa kulun koko prosessin läpi. Poistuessa järjestelmästä tuote luovuttaa kortin. CONWIP pitää keskeneräisen tuotannon määrän vakiona.
DBR-ohjaus	<i>Drum, Buffer and Rope</i> – ohjaus on menetelmä, mikä pyrkii suojelemaan tuotannon pullonkaulaa. Rumpu kuvaa pullonkaulaa ja asettaa tuotannolle tahdin, puskuri on välivarasto joka varmistaa rummulle jatkuvan tavaran syötön ja köysi ohjaa tuotannon läpimenoa.
LT	<i>Lead Time</i> tarkoittaa läpimenoaikaa, mikä tuotteella kestää kulkea tarkasteltavan prosessin läpi.
JIT	<i>Just-In-Time</i> tarkoittaa systeemiä jossa tarvittava määrä tuotteita tuotetaan oikeaan aikaan.
MES	<i>Manufacturing Execution System</i> on tietokonepohjainen järjestelmä, jolla jäljitetään ja dokumentoidaan tuotantoa.
MRP II	<i>Manufacturing Resource Planning</i> on tietokonepohjainen järjestelmä, joka muuttaa valmiiden tuotteiden tilaustiedot tuotanto- ja tilausaikatauluiksi. MRP II sisältää tuotannonohjauksen lisäksi kirjapitoa sekä talouteen ja markkinointiin liittyviä toimintoja.
NTICE	NTICE on Nokian Renkailla käytetty tuotannon seurantajärjestelmä.
POLCA	<i>Paired-cell Overlapping Loops with Card Authorisation</i> on järjestelmä, joka ohjaa tuotantoa korttien avulla. Tuotanto on jaettu tuotantosoluihin ja jokaista solua ohjataan omalla kanban-tyylisellä korttijärjestelmällä.
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i> on tekniikka, jolla pyritään lyhentämään vaihtoajoja. Se perustuu siihen, että mahdollisimman moni asetusten vaihtoon liittyvä toiminto tehdään tuotannon ollessa vielä käynnissä.

TOC	<i>Theory Of Constrain</i> on teoria, jonka mukaan tuotantoprosessi nähdään ketjuna, jossa koko systeemi on yhtä vahva, kuin sen heikoin lenkki. Tätä heikointa lenkkiä kutsutaan pullonkaulaksi.
TPS	<i>Toyota Production System</i> tunnetaan myös nimellä lean-tuotanto. TPS on Japanissa Toyotalla kehitetty järjestelmä, jonka tavoitteena on vähentää hukkaa ja virheitä tuotannossa.
VA	<i>Value Added</i> tarkoittaa arvonlisäystä, eli miten tuotantoprosessit lisäävät tuotteen arvoa asiakkaan näkökulmasta.
VSM	<i>Value Stream Map</i> tarkoittaa arvovirtakuvausta ja on visuaalinen kuvaus siitä, miten materiaalit ja informaatio virtaavat kohti asiakasta.
WIP	<i>Work In Progress</i> tarkoittaa keskeneräistä tuotantoa, eli tuotantoprosessin sisällä olevia varastoja ja tuotannon vaiheiden välillä odottavaa tuotantoa.
WLC	<i>Work Load Control</i> on tuotannon hallintaan liittyvä tekniikka, jonka toiminta perustuu tuotantoa edeltävään tuotantotilausten reserviin. Reservillä pyritään vähentämään tuotantoprosessin kuormitusta. Systeemi ei päästä tilauksia reservistä tuotantoon, jos ne kasvattavat työasemien työjonoa yli ennalta määritellyn pituuden.

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen taustaa

Tuotantoprosessien kehittäminen on yrityksille välttämätöntä, jotta ne pysyvät mukana jatkuvassa kilpailussa ja pystyvät vastaamaan asiakkaiden jatkuvasti kasvaviin tarpeisiin. Tuotannolta vaaditaan joustavuutta ja nopeisiin toimitusaikatauluihin pitää pystyä reagoimaan entistä tehokkaammin. Tuotantoprosessin läpimenoajalla (*lead time*) on tässä yhtälössä tärkeä rooli, sillä tarkoitetaan aikaa, mitä yhdellä tuotteella kestää kulkea tarkasteltavan prosessin läpi (Rother & Shook 1999). Läpimenoajan lyhentäminen liittyy vahvasti lean-ajatteluun. Leanin visiona onkin tuottaa parasta laatua, alhaisimmilla kustannuksilla ja lyhimmillä läpimenoajoilla (Liker 2004, p.33). Toinen tärkeä tekijä lean-ajattelussa on hukka, erityyppiset hukan muodot ja sen poisto (Lewis 2005). Lean-ajattelu ei ole uusi asia, vaan se juontaa juurensa jo toisen maailmansodan jälkeiseen Japaniin ja siellä Toyotan tuotantojärjestelmän kehitykseen (Bhamu & Kuldip 2014).

Leaniin liittyy paljon käsitteitä ja työkaluja, joilla lean-vision mukaisiin tavoitteisiin voidaan päästä. Lean-ajattelu on vaikuttanut paljon teollisuuden kehityksessä, mutta se on leittänyt omaa visiotaan myös muille yhteiskunnan saroille ja sen opetuksia on hyödynnetty eri toimialoilla. Lean tarjoaa useita eri työkaluja tuotannon virtauksen parantamiseen ja lisäarvoa tuottamattomien prosessien poistamiseen. (Cooney 2002) Tässä diplomityössä hyödynnetään näitä työkaluja ja pyritään implementoimaan niitä käytännön prosesseihin.

Diplomityön kohdeyrityksenä on Nokian Raskaat Renkaat ja tarkasteltava ilmiö liittyy yrityksen valmistusprosessin läpimenoaikoihin. Tarve läpimenoaikojen lyhentämiselle tulee asiakkaiden vaatimustason noususta, renkaat halutaan saada entistä nopeammin ja lyhyemmällä toimitusajoilla. Asiakkaille on tärkeää, että he saavat tarvitsemansa tuotteet juuri oikeaan aikaan. Tämä asettaa uusia haasteita myös tuotantoprosessille, jonka pitää pystyä vastaamaan muuttuneeseen tilanteeseen ja tuotannosuunnittelun uusiin haasteisiin. Läpimenoaikojen lyhentämisellä voidaan saada myös muita positiivisia vaikutuksia aikaiseksi, kuten keskeneräisen tuotannon väheneminen (Stevenson 2012, s. 638). Lisäksi lupaus lyhyemmistä toimitusajoista luo kilpailuetua suhteessa muihin saman toimialan yrityksiin. Kohdeyritys valmistaa lähes kaksisataa eri rengasnimikettä ja tuotanto tapahtuu erätuotantona. Erätuotannossa eri tuotteita valmistetaan tietyn suuruisina valmistuserinä ja eri nimikkeiden valmistusta voidaan vaihtaa suhteellisen joustavasti (Stevenson 2012, s. 237). Tuotannon eräkoot voivat vaihdella paljon riippuen asiakastilausten suuruuksista.

1.2 Työn tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaukset

Diplomityön päätavoite on selvittää, millä menetelmillä Nokian Raskaiden Renkaiden tuotantoprosessia voidaan kuvata ja tehostaa. Työn avulla kohdeyrityksen tulisi saada tarkempi kuva sen valmistusprosessista määritellyltä alueelta ja konkreettisia menetelmiä, kuinka prosessia voidaan kehittää. Tavoitteet voidaan siis jakaa kahdeksi kohdaksi: onnistunut läpimenoaikojen kuvaus ja parannusehdotusten selvittäminen läpimenoaikojen vähentämiseksi.

Motivaatio työn toteuttamiseen on lähtenyt halusta parantaa tehtaan läpimenoaikoja ja hankkia tarkempaa tietoa tuotannon eri vaiheista. Tutkimusongelmasta voidaankin johtaa koko diplomityön taustalla oleva tutkimuskysymys:

Kuinka parantaa tutkittavan tuotantoprosessin läpimenoaikoja?

Tutkimuskysymys voidaan jakaa alakysymyksiin, jotka edesauttavat tutkimuskysymyksen ratkaisussa. Alakysymykset auttava tarkastelemaan tutkimuskohdetta tarkemmin ja luovat hyvän pohjan tutkimusongelman ratkaisulle. Esimerkiksi onnistunut läpimenoaikojen kuvaus on edellytys sille, että prosessia voidaan analysoida ja tutkimuskysymyseen vastata. Tutkimuksen alakysymykset ovat:

Kuinka pitkät läpimeno-, vaihto-, varasto- ja jaksonajat määritetyillä tuotteilla on?

Mitä näihin aikoihin liittyviä ongelmia tuotantoprosessista löytyy?

Minkä tyyppisillä työkaluilla tuotantoprosessin läpimenoaikoja voidaan parantaa?

Tuotantoprosessin tarkastelu on rajoitettu koskemaan ainoastaan prosessin vaiheita, alkaen komponenttien valmistuksesta ja päättyen paistoon. Tarkasteltavat vaiheet ovat siis nimeltään komponenttien valmistus, rengasaihion kokoonpano ja sen eri vaiheet ja paisto sekä näiden vaiheiden väliin jäävät varastoajat. Työssä ei siis oteta kantaa näiden vaiheiden ulkopuolisiin toimenpiteisiin. Tarkasteltavien tuotteiden määrä on rajoitettu koskemaan neljää eri rengasta. Rajoitukset tulivat osittain kohdeyrityksen puolelta, valitut renkaat edustavat jokainen hieman erityyppistä tuotantoprosessia ja ne kattavat kappalemääräisestä tuotannosta (vuonna 2015) noin 12,6 prosenttia, eli painottuvat yrityksen eniten valmistamien rengasmallien puolelle. Renkaat on valittu niin, että saataisiin mahdollisimman monipuolinen kuva tuotantoprosessin eri kohdista ja että tutkimus pysyisi sopivassa laajuudessa.

1.3 Työn rakenne

Tämä työ jakautuu seitsemään eri osioon: kohdeyrityksen ja valmistusprosessin esittelyyn, kirjallisuuskatsaukseen, tutkimusmenetelmiin ja materiaaliin, tulosten esittelyyn, tulosten analysointiin, ratkaisuvaihtoehtoihin ja tutkimuksen tuloksiin ja johtopäätöksiin. Johdantokappaleen jälkeen luvussa 2 esitellään kohdeyritys ja renkaiden valmistusprosessi, lisäksi käydään läpi tutkittavat tuotteet ja niiden erityisominaisuudet. Luku antaa pohjan ymmärtää työssä käsiteltävää valmistusprosessia ja esittelee perustiedot tutkittavista tuotteista.

Luku 3, kirjallisuuskatsaus, käsittelee työn aihepiirin teoriaa ja jakautuu neljään osaan. Aluksi perehdytään leanin keskeisiin ajatuksiin ja sen teoriaan, seuraavaksi käsitellään arvovirtakuvauksen laatimista ja vaihtoaikojen hallintaa, kolmas alaluku käsittelee läpimenoaikojen hallintaa ja viimeisessä osiossa käydään läpi kapeikkoajattelua eli pullonkaulateoriaa. Luvussa 4 käydään läpi työssä käytetyt tutkimusmenetelmät ja materiaalit eli millä menetelmillä tulosten taustalla oleva informaatio on kerätty ja mistä lähteistä.

Tulokset esitellään luvussa 5. Jokainen tutkimukseen valittu rengas käydään erikseen läpi ja samalla esitellään rengaskohtaiset arvovirtakuvaukset. Tulokset-luvun lopussa paneudutaan varastoaikojen mittaustuloksiin. Tulosten varsinainen analysointi ja sen perusteella saatujen havaintojen esittely tapahtuu luvussa 6. Siinä esitellään myös prosessissa havaitut ongelmat sekä parannusehdotukset mittaustulosten pohjalta.

Tulosten analysoinnin jälkeen käydään läpi mahdolliset ratkaisuvaihtoehdot (luku 7). Luvussa esitellään tulosten perusteella kehitellyt ratkaisuvaihtoehdot läpimenoaikojen lyhentämiseksi ja valitaan näistä yksi jatkotarkastelua varten. Loppuosassa esitellään valittu ratkaisuvaihtoehto tarkemmin, sekä käydään läpi toteutuksesta saadut hyödyt. Luku 8 koostaa työn tulokset yhteen ja pohtii niiden merkitystä, esittelee suositukset näiden tulosten pohjalta, esittää tutkimuksen kriittisen tarkastelun ja käy vielä läpi jatkotutkimustarpeet.

2. KOHDEYRITYS JA VALMISTUSPROSESSIN ESITTELY

2.1 Nokian Raskaat Renkaat

Nokian Raskaat Renkaat Oy on Suomessa, Nokiolla toimiva erikoisrenkaiden valmistaja ja osa Nokian Renkaat Oyj – konsernia. Raskaat Renkaat-yksikkö valmistaa ja keskittyy korkealaatuisiin erikoisrenkaisiin. Kyseisen yksikkö valmistaa renkaita metsäkoneisiin, satama- ja kaivosajoneuvoihin, maatalouden erikoistarpeisiin, kuorma-autoihin sekä työ-koneisiin. Yksikkö valmistaa tuotteensa Suomessa Nokiolla. Vahvin asema yksiköllä on tavaralajimenetelmän metsäkoneiden renkaissa, joissa sillä oli yli 50 prosentin maailmanmarkkinaosuus vuonna 2014. (Nokian Renkaat 2014, s. 39)

Nokian Raskaiden Renkaiden liiketoiminta on keskittynyt kapeisiin ja kasvaviin tuotesegmentteihin ja yritys palvelee sekä ensiasennus- että jälkimarkkinoita. Nokian Raskaat Renkaat mainitsevat panostavansa tiiviisti palveluihin ja he pyrkivät olemaan asiakkaan lähellä koko renkaiden elinkaaren ajan. Yrityksen päämarkkina-alueet ovat Pohjoismaat, Keski- ja Etelä-Eurooppa, Venäjä, USA ja Kanada. (Hakkapeliitta eAcademy 2015) Vuonna 2014 Nokian Raskaiden Renkaiden liikevaihto oli noin 150 miljoonaa euroa ja liikevoitto lähes 25 miljoonaa euroa. (Nokian Renkaat 2014, s. 39)

2.2 Renkaiden valmistus

Erikoisrenkaiden tuotanto yhdistää tietotekniikan, automaation ja käsityön ja valmistettävien renkaiden koko ja muoto vaihtelevat paljon. Nokian Raskaiden Renkaiden valmistuskapasiteetti on noin 16 miljoonaa kiloa renkaita vuodessa, joista pienimmät renkaat painavat 40 kiloa ja suurimmat yli 1000 kiloa. Renkaan valmistus koostuu useista eri tuotantovaiheista, mutta ne voidaan jakaa kuuteen eri päävaiheeseen:

- Raaka-aineiden vastaanotto ja tarkastus
- Kumisekoitusten valmistus
- Komponenttien valmistus
- Rengasaihion kokoonpano
- Paisto
- Tarkastus

Valmistus alkaa saapuvien raaka-ainekuormien vastaanotolla ja tarkastuksella, jossa jokaisesta sekoituserästä otetaan näyte laboratoriotutkimusta varten. Raaka-ainetta saapuu aina yhden päivän tuotannon verran. Tämän jälkeen suoritetaan sekoitus, jossa kumisekoitteet valmistetaan eri kumilaaduista ja täyteaineista. Renkaisiin tarvitaan noin 10 –

30 erilaista komponenttia, jotka koostuvat kumista, teräksestä ja tekstiileistä. Komponentit kootaan rengasaihioksi, jonka tekeminen aloitetaan runkokoordiyhdistelmän valmistamisella. Yhdistämällä runkokoordiin erilaisia komponentteja, voidaan renkaan ominaisuuksia vaihdella käyttötarkoituksen mukaan. Renkaaseen voidaan esimerkiksi liittää erilaisia sivusuojia parantamaan pistonkestävyyttä. Valmis aihio kuljetetaan paistoon. Siellä rengasaihio asetetaan paistopuristimen sisällä olevaan muottiin, jossa renkaan paistaminen tapahtuu oikeassa lämmössä ja paineessa, jolloin rengas saa lopullisen muodon ja pintarakenteen. Paistossa rengas myös vulkanoituu, jolloin rakenne muuttuu kiinteäksi ja joustavaksi. Tämän jälkeen renkaille suoritetaan visuaalinen tarkastus, josta ne matkaavat keskusvarastoon. Keskusvarastolla tapahtuu mahdollinen vanteiden, sisärenkaiden ja venttiilien asennus. Sieltä renkaat lähtevät ensiasennusasiakkaille tai jälleenmyyjille. (Hakkapeliitta eAcademy 2015)

2.3 Tutkittavien tuotteiden esittely

Renkaat jaetaan rakenteensa perusteella ristikudos- ja radiaali-, eli vyörenkaksiin. Ristikudosrenkaissa runko rakentuu toistensa päällä olevista koordi-, eli kudoslankakerroksista. Näiden koordien kulma toisiinsa nähden vaihtelee renkaan haluttujen ominaisuuksien mukaan. Radiaalirenkaissa koordit kulkevat reunavaijerilta toiselle poikittain kulutuspinnaan nähden. Tämän jälkeen kudusrungon päälle on asetettu eri kerroksista koostuva vyö. Näillä eri rakenteilla haetaan renkaille erilaisia ominaisuuksia. Esimerkiksi ristikudosrengas kestää paremmin kylkiin tulevia pistoja, mutta se on jäykempi ja alttiimpi tärinälle. Radiaalirengas on taas joustavampi ja antaa paremman ajomukavuuden sekä laajemman kosketusalan maahan. Nokian Raskaat Renkaat valmistaa erikoisrenkaita erilaisiin työkoneisiin ja kuorma-autoihin, joten renkaan rakenteenkin valinta riippuu paljon tarvittavista ominaisuuksista ja käyttökohteesta. (Hakkapeliitta eAcademy 2015)

Renkaiden valmistustapa on riippuvainen renkaan rakenteesta. Kohdeyrityksen tehtaalla ristikudosrenkaiden kokoonpano on jaettu kolmeen osaan: ensiksi tehdään taskut, seuraavaksi taskut kootaan yhteen loppujen komponenttien kanssa kokoonpanokoneella, tämän jälkeen aihio viedään käärintään, jossa sen pintaan kääritään kulutuspinna ja siitä aihio siirtyy paistoon. Radiaalipuolella kokoonpano ja kulutuspinna käärintä tapahtuvat samassa yhteydessä, eikä erillisiä taskuja tehdä. Radiaalipuolella kaikki komponentit yhdistetään kokoonpanokoneella, josta rengas siirtyy paistoon.

Diplomityön tarkastelun kohteeksi on valittu neljä eri rengasta, joista kaksi on ristikudos- ja kaksi vyörengasta. Renkaat valittiin eri tuotantomäärään, valmistusprosessin ja rakenteen perusteella, jotta saataisiin pienellä rengasmäärällä mahdollisimman kattava kuva tehtaan toiminnasta. Työhön mukaan valitut renkaat ovat:

1. 710/45-26.5 20 Forest King F2 SF TT, T445571
2. 17.5-25 24 Mine King L-5S TL, T445540
3. 710/55 R34 Forest Rider SB TL, T445455

4. 400/80R24 149A8/144D TRI 2 TL, T445372

Näistä Forest King ja Mine King ovat ristikudosrenkaita ja Forest Rider ja TRI 2 radiaalirenkaita. Renkaan jälkeen oleva T-alkuinen numerosarja esittää renkaan tuotekoodia, jolla rengastyypit voidaan identifioida eri tuotannon vaiheissa. Kuvassa 1 on nähtävissä nämä neljä eri rengasta.



Kuva 1. Tutkimuksen renkaat, vasemmalta lukien Forest King F2, Mine King L-5S, Forest Rider ja TRI 2 (Hakkapeliitta eAcademy 2015).

Forest King F2 on metsärenkas, joka on suunniteltu erityisesti teloja käyttäviin metsäkoneisiin. Rengas tarjoaa myös hyvän pistonkestävyyden, mitä tarvitaan metsien epätasaisessa maastossa. (Nokian Forest King F2 2015) Mine King L-5S on suunniteltu kaivostyöhön ja erityisesti maanalaiseen kuormauskäyttöön. Pitkä käyttöikä varmistetaan sileällä pinnalla, joka on viilto- ja murtumissuojattu. (Nokian Mine King L-5S 2015)

Toisin kuin useammat metsäkonerenkaat, Nokian Forest Rider käyttää vyörakennetta. Vyörakenne antaa renkaalle paremman ajettavuuden, pidon, kantavuuden ja alhaisemman vierintävastuksen ristikudosrenkaaseen verrattuna. (Nokian Forest Rider 2015) TRI 2 on monipuolinen rengas maatalous- ja koneurakointikäyttöön. Palakuvion ansiosta se puhdistuu hyvin, eikä kuljeta maa-ainesta mukana. TRI 2:ssä on hyvät ajo-ominaisuudet joten se sopii työkoneisiin, joilla työskentelyn lisäksi ajetaan paljon tiellä. (Nokian TRI 2 2015)

3. KIRJALLISUUSKATSAUS

3.1 Lean-ajattelu

Taiichi Ohnon (1912–1990) mukaan *Toyota Production Systemin* (TPS) perusajatus on lisätä tuottavuutta ja vähentää kustannuksia pyrkimällä eroon turhista toiminnoista (Monden 1983, s. 1). Ohno työskenteli Toyotalla ja häntä pidetään yhtenä Toyota Production Systemin pääkehittäjänä. Leanin perusajatus pohjautuu tähän lähtökohtaan, josta se myöhemmin kehittyi ja saavutti nykyiset mitat. (Holweg 2007) Ensimmäisen kerran ”*lean-tuotanto*” (*lean production*) termiä kirjallisuudessa käytti Krafcik vuonna 1988. Lean-ajattelun perimmäinen visio on tuottaa parasta laatua, alhaisimmilla kustannuksilla ja lyhimmillä läpimenoajoilla (*lead time*), sekä luoda turvallinen työympäristö pitäen samalla organisaation moraalit korkeana (Liker 2004, s. 33). Lean voidaan myös määritellä joustavaksi systeemiksi, joka käyttää huomattavan määrän vähemmän resursseja verrattuna perinteisiin menetelmiin ja tämän lisäksi järjestelmä usein myös parantaa tuottavuutta, vähentää kustannuksia ja jaksonaikoja (*cycle time*) sekä nostaa laatua (Stevenson 2012, s. 619).

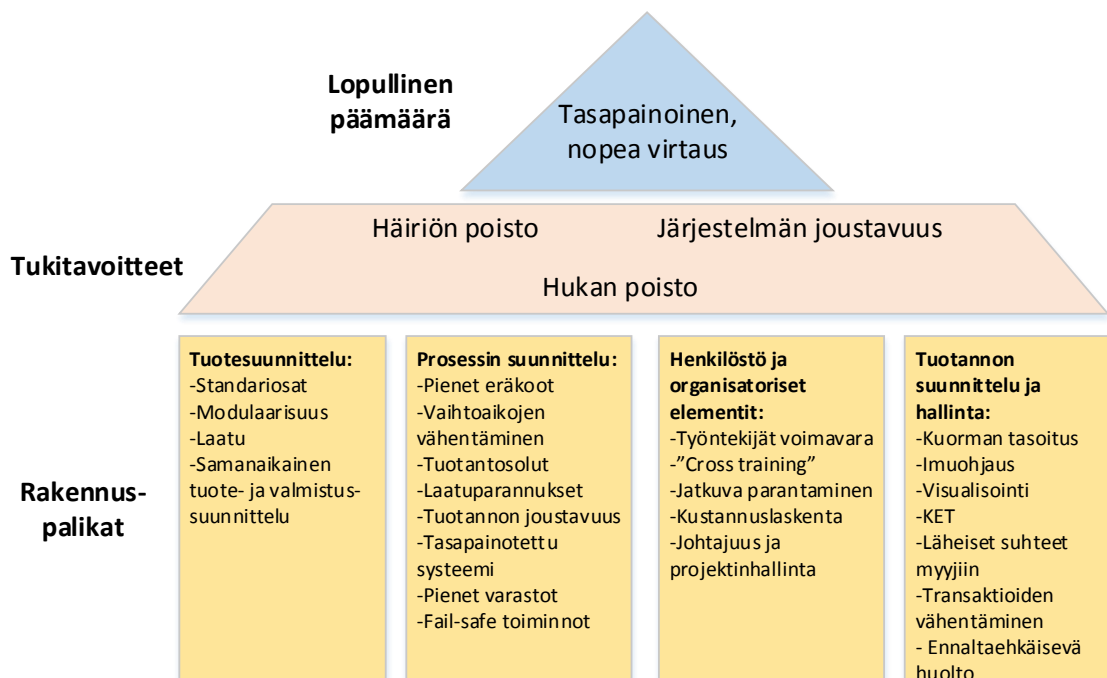
Leanin ympärille on kehitelty paljon erilaisia käytännön kehittämistyökaluja. Esimerkiksi Monden (2012) esittelee työkaluja leanin toteuttamiseksi ja kiteyttää Toyota Production Systemin päätarkoituksen seuraavasti ”*Systeemien päätarkoitus on yrityksen sisään piilotetun hukan vähentäminen erilaisilla kehitystoimenpiteillä*”. Hukka voidaan määritellä kaikkeksi mikä häiritsee tai ei lisää arvoa organisaation toimintaan (Stevenson 2012, s. 620). Liker (2004; 2006) määrittelee lean – filosofialle 14 periaatetta, jotka voidaan jaotella neljään eri kategoriaan, tätä jaottelua kutsutaan 4P-malliksi. Nämä neljä P:tä tarkoittavat pitkän ajan suunnittelua (*long-term philosophy*), prosessia (*process*), ihmisiä/partnereita (*people/partners*) ja ongelmanratkaisua (*problem solving*). Liker (2004; 2006) on määritellyt näihin osa-alueisiin seuraavat kokonaisuudet:

- Pitkän ajan suunnittelu: Perusajatuksena on lisätä arvoa asiakkaille ja yhteiskunnalle. Yrityksen tulee panostaa pitkän ajan suunnitteluun, vaikka se tuottaisikin tappiota lyhyellä aikavälillä. Yrityksen tulee pystyä tarkastelemaan itseään kriittisesti ja kehittymään jatkuvasti, jotta se pystyy saavuttamaan pitkän aikavälin tavoitteet ja menestymään.
- Oikeat prosessit tuottavat oikeita tuloksia: Työ tulee suunnitella niin, että saavutetaan korkea arvonlisäys ja jatkuva virtaus. Ihmiset tulee myös linkittää prosessiin, jotta ongelmakohdat löytyisivät mahdollisimman nopeasti. Oikea prosessin virtaus mahdollistaa korkean laadun ja parhaat tulokset.

- Tuo lisäarvoa organisaatioon kehittämällä ihmisiä ja yhteistyökumppaneita: Ihmiset koulutetaan ymmärtämään leanin mukaiset toimintatavat ja samalla toimittajia ja yhteistyökumppaneita autetaan kehittymään. Ihmisten tulee ymmärtää heidän tärkeys yrityksen toiminnan ylläpitäjänä.
- Jatkuva ydinongelmien ratkominen edesauttaa organisaation oppimista: Pelkkä ongelmien ratkaisu ei riitä, vaan organisaation tulee paneutua ydinongelmien ratkomiseen. Jos ei keskitytä ydinongelmiin, ongelmilla on tapana uusiutua. Ratkaisujen tulee syntyä huolellisen suunnittelun tuloksena, jonka jälkeen valitut korjaustoimenpiteet suoritetaan tehokkaasti.

Nämä neljä kohtaa sisältävät tiivistetysti pääsuuntaukset, joita organisaation tulisi tavoitella kehittäessään leanin mukaisia toimintatapoja. Sen toteuttaminen vaatii koko organisaation sitoutumista ja erityisesti ylimmän johdon esimerkkiä. Leanin käyttöönotto on pitkälti oppimisprosessi ja se ei useinkaan toteudu hetkessä.

Lean-järjestelmä voidaan nähdä koostuvan eri päämääristä ja rakennuspalikoista, joiden avulla nämä tavoitteet voidaan saavuttaa. Lopullisena päämääränä on tasapainoinen ja nopea virtaus, niin informaation kuin tavaroidenkin suhteen. Tukitavoitteet edesauttavat lopullisen päämäärän toteutuksessa ja rakennuspalikat toimivat työkaluina, joiden mukaan eri toimenpiteet suoritetaan. (Stevenson 2012, s. 621) Kuvaan 2 on koottu nämä eri elementit ja niiden sisällöt.



Kuva 2. Yleiskatsaus leanin tavoitteista ja rakennuspalikoista (mukaillen Stevenson 2012; Vollmann et al. 2005).

Kuvassa 2 esitetyn päämäärän tavoittaminen riippuu siitä, miten hyvin tukitavoitteet saavutetaan. Nämä määritellyt tukitavoitteet ovat häiriön poisto, järjestelmän joustavuus ja hukan poisto. Häiriöt estävät tuotteiden sujuvan virtauksen systeemin läpi ja niistä tulisi päästä eroon (Stevenson 2012, s. 622). Häiriöitä voi aiheuttaa esimerkiksi laatuongelmat ja laiteviat (Angelis et al. 2011). Järjestelmän joustavuudella tarkoitetaan kykyä reagoida laajaan määrään epävarmuuksia, mutta samalla tulisi pystyä tuottamaan tehokkaasti sekä laadukkaasti eri tuotteita. Esimerkiksi pitkät asetus- ja läpimenoajat heikentävät joustavuutta. (Boyle & Scherrer-Rathje 2009) Hukkaa voidaan tarkastella aikaan, energiaan, materiaaliin sekä häiriöihin liittyvänä ja sillä tarkoitetaan laajemmin tuottamattomia resursseja (Vollmann et al. 2005). Hukka jaetaan usein lean filosofiansa seitsemään eri luokkaan, tähän jaotteluun palataan vielä myöhemmin tarkemmin.

Kuvassa 2 esitellyt rakennuspalikat ovat tuotesuunnittelu, prosessin suunnittelu, henkilöstö ja organisatoriset elementit sekä tuotannosuunnittelu ja hallinta. Tuotteen suorituskykyä mitataan kolmella kriteerillä: laatu, kustannus ja läpimenoaika (Tyagi et al. 2015). Näihin kaikkiin kriteereihin voidaan vaikuttaa tuotesuunnittelulla. Standardiosilla saadaan aikaan se, että tuotantoprosessissa on vähemmän osia hallittavana. Modulaarinen suunnittelu on jatkoa standardiosille ja tarkoittaa osien kokonaisuutta, jota käsitellään yhtenä kokonaisuena moduulina. Modulaarisuus ja standardiosat yksinkertaistavat prosesseja ja vähentävät kustannuksia esimerkiksi koulutuksen, tavaroiden hallinnan ja laaduntarkastuksen osalta. Modulaarisuus ja standardiosat myös mahdollistavat standardoidun tuotantoprosessin käytön. (Stevenson 2012, s. 624)

Lean vaatii korkeatasoisen tuotantojärjestelmän, johon laatu on sisäänrakennettuna. Myös tuotteilta odotetaan korkeaa laatutasoa, koska heikko laatu luo häiriöitä prosessiin, mikä taas estää sujuvan virtauksen. Tuotteiden hyvä taso varmistetaan koulutetulla henkilöstöllä, joka tuottaa standardoituja tuotteita standardoiduilla tuotantomenetelmillä. (Stevenson 2012, s. 624) Samanaikainen tuote- ja valmistussuunnittelu (*concurrent engineering*) tarkoittaa tuote- ja tuotannosuunnittelun integrointia, jossa näiden eri puolien yhteistyö ja tiedonjako on tärkeää. Tuotteet tulisi suunnitella niin, että tuotannon mahdollisuudet otetaan huomioon ja tuotantoa tulisi suunnitella valmistettavia tuotteita ajatellen. (Sohlenius 1992)

Prosessin suunnittelu on erityisen tärkeä osa lean-järjestelmää. Lean tuotannossa pyritään mahdollisimman pieniin eräkokoihin, jotta keskeneräinen tuotanto saadaan minimoitua (Sahoo et al. 2008). Pienet eräkoot ja vaihtuvat tuotteet vaativat myös lyhyitä vaihtoajakoja. Vaihtoajalla tarkoitetaan ajallista kestoa, joka kuluu siinä, kun kone asetetaan uudelle tuotantoerälle, eli siihen kun viimeinen hyvä tuote edellisestä tuotantoerästä ja ensimmäinen hyvä tuote seuraavasta tuotantoerästä saadaan tuotettua (A.R. Mileham et al. 1999). Prosessia suunniteltaessa pullonkaulojen ehkäisy, pienet eräkoot ja lyhyet vaihtoajat ovat edellytys tuotannon joustavuudelle. Nämä edellä mainitut tekijät mahdollistavat pienet varastot. Varastot ovat lean-filosofian mukaan yksi hukan muoto ja varastojen vä-

hentämisen tuomia etuja ovat muun muassa pienemmät kuljetuskustannukset, tilan tarpeen väheneminen, uudelleen työstön vähentyminen vikatilanteissa ja prosessin muokkauksen helpottuminen. Toisaalta varastot luovat turvaverkon, jos tuotannossa sattuu häiriöitä. Tasapainotetulla systeemillä tarkoitetaan työn jakamista tasapainoisesti eri työasemille tai tuotantosoluille. Lean-tuotannossa laatuviikojen ehkäisemiseksi käytetään automaattista vikojen havaitsemista, jotta virtaus pystytään varmistamaan, tätä kutsutaan myös *jidokaksi*. Viimeinen osa tuotannosuunnittelua on tehdä se vikasietoiseksi (*fail-safe*), eli rakentaa järjestelmiä jotka estävät virheiden tekemistä. Esimerkiksi vaaka voi ilmoittaa, jos haluttu tuote ei ole oikean painoinen, jolloin tiedetään, että siitä puuttuu vielä osia. Tätä menetelmää kutsutaan myös japaninkielisellä sanalla *poka-yoke*. (Stevenson 2012, ss. 627-268)

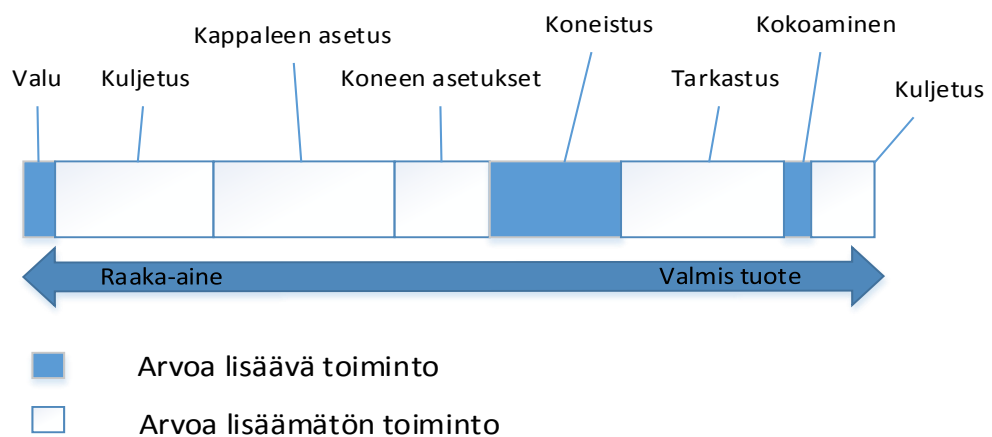
Leanin onnistumisen kannalta on tärkeää panostaa henkilöstöön. Työntekijät nähdään voimavarana ja heille annetaan vastuuta ja mahdollisuus vaikuttaa, mikä vahvistaa heidän sitoutumistaan yritykseen (Angelis et al. 2011). Monitaitoiset työntekijät helpottavat ongelmatilanteiden ratkaisemista ja tekevät järjestelmästä joustavamman. Esimerkiksi sairastapaukset tai poissaolot on näin helpompi korjata. (Vollmann et al. 2005) Lean-järjestelmässä myös johtajilta odotetaan vuoropuhelua työntekijöiden kanssa sekä oman toiminnan jatkuvaa kehittämistä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että aina kun epäkohtia tai ongelmia havaitaan, niihin puututaan ja ne korjataan. Kustannuslaskennassa tulisi kiinnittää huomiota yleiskustannusten hallintaan ja siirtyä näiden hallinnassa kohti toimintolaskentaa. Tässä systeemissä tunnistetaan jäljitettävissä olevat kustannukset ja kohdistetaan ne eri aktiviteeteille, kuten konetunneille, työtunneille tai materiaalien kuljetuksille. (Stevenson 2012, s. 633)

Viimeinen rakennuspalikka on tuotannosuunnittelu ja -hallinta. Kuorman tasoituksella haetaan tasaista päivittäistä tuotantosunnitelmaa, jolloin koko tuote pyritään valmistamaan mahdollisimman nopeasti. Tämä suunnittelu vähentää esimerkiksi keskeneräisen tuotannon määrää ja varastojen kokoa. Imuohjaus on tärkeässä asemassa Just In Time (JIT) näkökulmassa. JIT:llä tarkoitetaan koordinoitua systeemiä, jossa tarvittava määrä tuotteita tuotetaan oikeaan ajankohtaan (Monden 2012). Imuohjaus yksinkertaistettuna tarkoittaa, että ylävirrassa eli tuotantoketjun alkupäässä, ei pitäisi tuottaa mitään, ennen kuin asiakas alavirrassa sitä tilaa. Imuohjauksen virtausta ohjaa seuraavan askeleen kysyntä, tätä voidaan kommunikoida esimerkiksi visuaalisilla signaaleilla. Erilaisilla signaaleilla pystytään ilmoittamaan myös häiriötiloista. Suosituin menetelmä on *kanban* korttien käyttö. Niillä voi ilmaista esimerkiksi, jos edelliseltä työpisteeltä tarvitaan materiaalia tai raaka-aineita. (Womack & Jones 2003, ss. 67, 78; Stevenson 2012, s. 636) Lean-järjestelmässä pyritään läheisiin suhteisiin toimittajien kanssa, joiden tarkoitus on toimittaa tiheästi korkealaatuisia tuotteita. Koska järjestelmä pyrkii eroon arvoa tuottamattomista prosesseista ja laatuviioista jotka häiritsevät virtausta, on laatuvastuu ja laatuarkastukset siirretty toimittajalle. Lean-järjestelmä eroaa myös perinteisestä systeemistä sillä, että siinä käytetään suhteellisen pientä määrää toimittajia. (Stevenson 2012, ss. 638-639)

Perinteisissä tuotantojärjestelmissä on paljon sisäänrakennettuja transaktioita, jotka eivät lisää arvoa. Leanissä pyritään pääsemään arvoa lisäämättömistä transaktioista eroon. Voidaan sanoa, että teollisuusyritykset sisältävät kaksi tehdasta, toisen joka valmistaa tuotteita ja toisen (piilotettu tehdas, *hidden factory*) joka prosessoi transaktioita järjestelmiin. Transaktiot voidaan jakaa logistisiin (*logistical*), tasapainottaviin (*balancing*), laadullisiin (*quality*) ja vaihtotransaktioihin (*change*). Esimerkiksi logistisiin transaktioihin kuuluu tilaukset, suoritukset ja varmistukset. JIT-tuotannossa suurin osa näistä transaktioista on hyödyttömiä, joten näin pystytään säästämään kustannuksia ja yksinkertaistamaan prosesseja. (Vollmann et al. 2005) Viimeinen kohta tuotannosuunnittelussa ja hallinnassa on ennaltaehkäisevä huolto. Leanissä pyritään minimoimaan varastot, joten tuotantokoneiden häiriöt ja viat ovat erittäin haitallisia. Häiriöiden minimoimiseksi yritykset pyrkivät toteuttamaan ennakkohuoltoja, jotta viat korjataan ennen kuin ne edes ilmaantuvat. Tähän kuuluu myös työpisteiden ja tilojen pitäminen puhtaina. (Stevenson 2012, s. 640)

3.1.1 Seitsemän hukkaa

Työ voidaan luokitella arvoa lisääväksi (*value-adding*) ja arvoa lisäämättömäksi toiminnaksi (*non-value adding*). Womackin (2006) mukaan arvoa lisäävät toiminnot on helppo selittää seuraavalla esimerkillä: yksinkertaisin tapa mitata arvoa on pohtia olisiko asiakas tyytymättömämpi tuotteeseen, jos kyseinen toimenpide jätettäisiin suorittamatta. Kaikissa toiminnoissa pitää ottaa huomioon, että arvon ja mikä on arvokasta määrittelee lopullisesti aina asiakas (Womack & Jones 2003, s. 16). Kuvassa 3 on havainnollistettu systeemin arvontuottoa. Kuvasta voi huomata, että arvoa lisäävät toiminnot ovat usein vain pieni osa koko prosessia.



Kuva 3. Arvontuotto prosessissa (mukaiillen Liker 2004).

Arvoa tuottavien ja arvoa tuottamattomien toimintojen rinnalle voidaan lisätä vielä kolmas luokka: välttämättömät mutta ei arvoa tuottavat (*necessary but non-value adding*) toiminnot. Arvoa tuottavat prosessit siis tarkoittavat toimenpiteitä, joissa lisätään arvoa. Välttämättömät mutta ei arvoa tuottavat toiminnot ovat toimintoja, joita on pakko toteuttaa nykyisillä toimintatavoilla, vaikka ne eivät suoraan lisääkään arvoa, esimerkiksi osan hakeminen kauempaa varastosta. Muutosten tekeminen näihin prosesseihin on kallista, esimerkiksi layout muutokset tehtaassa, eikä niitä voida toteuttaa lyhyellä aikavälillä. Idea onkin minimoida näitä välttämättömiä mutta ei arvoa tuottavia prosesseja. (Hines & Rich 1997) Ei arvoa tuottavat toiminnot tunnetaan myös nimellä *muda*. Nämä toiminnot pidentävät läpimenoaikoja, aiheuttavat turhia liikkeitä, ylimääräisiä varastoja ja turhaa odottamista. Puhuttaessa ”*kolmesta M:stä*” mudan lisäksi mainitaan *muri* ja *mura*. Muri tarkoittaa ihmisten ja laitteiden ylikuormittamista. Ihmisten ylikuormittaminen aiheuttaa turvallisuusuhkia ja laatuviikoja ja koneiden ylikuormittaminen konerikkoja ja vikoja tuotteisiin. Mura viittaa epätasaisuuteen ja se voidaan nähdä mudan ja murin tuloksena. Epätasaisuudella tarkoitetaan sitä, että aina välillä esiintyy kapasiteettiongelmia ja toisiinsa laitteet ja työntekijät seisovat työttöminä. (Liker 2004, kappale 3)

Muda voidaan jakaa vielä erikseen käsittelemään seitsemää hukkaa (Liker 2004, kappale 3):

1. Ylituotanto
2. Odottaminen
3. Turha liikenne
4. Turha prosessointi ja käsittely
5. Ylimääräinen varasto
6. Turhat liikkeet
7. Virheet

Tarkastellaan seuraavaksi edellä mainittuja hukkan muotoja ja mitä ne sisältävät. Ylituotanto hukkana tarkoittaa, että tuotetaan enemmän mitä sisäinen tai ulkoinen kysyntä vaatii. Tämä kasvattaa varastoa ja vie resursseja muilta hyödyllisemmiltä toimenpiteiltä. (Lewis 2005) Odottaminen on aikaa, jota työntekijät käyttävät esimerkiksi odottaen seuraavaa käsittelyvaihetta, materiaalia tai vian korjaamista. Muun muassa raaka-ainepula voi aiheuttaa odottamista työpisteille. Turhaa liikennettä syntyy, kun tuotteita viedään väärille paikoille tai, kun niitä joudutaan kuljettamaan pitkiä matkoja, esimerkiksi koneiden huonon sijoittelu takia. Tehoton tavaroiden kuljetus prosessien tai varastojen välillä luokitellaan turhaksi liikenteeksi. (Liker 2004, kappale 3) Prosessi itsessään voi luoda hukkaa, jos esimerkiksi työkalut tai koneet eivät ole kunnolla huollettu. Joskus voidaan käyttää myös liian kehittyneitä koneita, jotka prosessoivat tuotteita pitkään, tehden turhan tarkkaa jälkeä. Prosessin hukkaa liittyy myös uuden tuotteen kehittelyyn, joka käyttää uutta materiaalia. Tämän seurauksena vanhat mallit pitää myös päivittää, ettei tuotannossa jouduta käsittelemään turhaan eri materiaaleja, mikä aiheuttaa tehottomuutta pro-

sessiin. Ylimääräiseen varastoon sitoutuu pääomaa, tehdastilaa ja ne myös pidentävät läpimenoaikoja, lisäksi ne voivat piilottaa tuotannon ongelmia alleen. Työntekijöiden tulisi välttää myös turhia liikkeitä, joita voi syntyä esimerkiksi huonosti suunnitellun työpisteen takia. Virheet luovat aina poikkeustilanteita tuotantoon ja ne vaativat korjaustoimenpiteitä, mikä keskeyttää virtauksen. Lisäksi virheet tuovat lisäkustannuksia ja heikentävät tehtaan kapasiteettia. (Lewis 2005)

Liker (2004) on täydentänyt listaa vielä kahdeksannella kohdalla, joka on käyttämätön työntekijöiden luovuus. Tämä tarkoittaa käytännössä hukattua aikaa, ideoita, taitoja, kehitysehdotuksia ja oppimismahdollisuuksia, koska ei ole kuunneltu tai oltu vuorovaikutuksessa työntekijän kanssa. Työntekijöiden luovuus voi osoittautua koko ajan kovenevassa kilpailussa yhdeksi yrityksen tärkeäksi kilpailutekijäksi ja uusien innovaatioiden lähteeksi.

Ylimääräinen varasto käsittää ylimääräisen materiaalin, keskeneräisen tuotannon, ylimääräisen valmiin tuotannon säilyttämisen, vialliset tuotteet ja kuljetus, sekä varastokustannukset ja näistä edellä mainituista asioista johtuvien viivästyksien ja läpimenoaikojen pitenemisen. Ylimääräisen varaston piiloon jää erinäisiä ongelmia, kuten tuotannon epätasapaino, toimitusten myöhästymiset ja pitkät vaihtoajat. Lisäksi erillisenä hukkana käsitellään työntekijöiden turhat liikkeet. Nämä käsittävät kaikki ylimääräiset liikkeet, joita työntekijä joutuu tekemään, kuten tavaroiden etsiminen, kurottelu ja turha kävely. Tämän hukan syynä voi olla esimerkiksi huono työpisteiden tai tehtaan layoutin suunnittelu. (Liker 2004, kappale 3) Seitsemäs hukan muoto on virheet. Virheistä syntyy ylimääräistä työtä ja kustannuksia, mutta myös muita seuraamuksia jotka eivät aina ole itsestään selviä. Virheelliset tuotteet vaativat varastotilaa ja ne lisäävät tarvittavia tuotantomääriä. Paras tapa torjua virheitä on kehittää jatkuvan parantamisen ilmapiiriä, eli aina kun virhe syntyy, tulee sen syyt selvittää ja kehittää toimenpiteitä kohti virheettömämpiä toimintamalleja. (Lewis 2005) Stevenson (2012, s. 623) mainitsee virheiden haittapuolena myös menetetyt myynnit mikä voi aiheutua siitä, että virheellinen tuote pääsee asiakkaalle asti.

3.1.2 5S

Lean pyrkii minimoimaan keskeneräisen tuotannon. Välivarastojen ollessa pieniä erilaiset häiriöt vaikeuttavat merkittävästi tasaista virtausta. Tämän takia yritykset pyrkivät käyttämään erilaisia menetelmiä minimoidakseen nämä häiriöt. 5S:n tarkoitus on pitää työpisteet puhtaina ja hyvin organisoituna sekä siistinä ylimääräisestä materiaalista, jota ei tarvita tuotannossa. (Stevenson 2012, s. 640) 5S tulee japanin kielen sanoista *seiri* (laajittelu), *seiton* (järjestä), *seiso* (puhdistusta), *seiketsu* (standardointi) ja *shitsuke* (seuranta). Länsimaissa tämä järjestelmä tunnetaan myös sanalla taloudenhoito (*housekeeping*). (Gapp et al. 2008)

5S komponentit on tarkemmin määritelty sisältämään seuraavanlaisia toimenpiteitä (Al-Aomar 2011):

- Seiri: Järjestellään työpisteen tavarat tarpeellisiin sekä tarpeettomiin ja tämän jälkeen poistetaan tarpeettomat tavarat.
- Seiton: Järjestellään tarvittavat työkalut ja materiaalit siististi ja käytännöllisesti, käyttäen hyväksi esimerkiksi erilaisia visuaalisia keinoja (värikoodeja, kylttejä).
- Seiso: Siivotaan työpiste säännöllisesti. Tämä tarkoittaa normaalia siivousta, eli lattioiden luuttuamista ja pölyjen pyyhkimistä.
- Seiketsu: Dokumentoidaan työtavat, käytetään standardityökaluja ja tuodaan parhaat käytännöt esille.
- Shitsuke: Pidetään yllä ja seurataan, että edellä mainitut toimenpiteet toteutetaan ja pyritään integroimaan 5S organisaation toimintakulttuuriin.

5S:n tehokas toiminta edellyttää, että työntekijät vapaaehtoisesti ja luonnollisesti toimivat näiden periaatteiden mukaisesti. Tieto tämän järjestelmän olemassaolosta ei auta, vaan sen käytännön toteutusta tulisi myös harjoitella. Tehokas 5S:n toteutus auttaa vähentämään hukkaa, jota voi syntyä esimerkiksi työkaluja etsiessä ja epäpuhtauden aiheuttamista konevicioista. (Monden 2012, kappale 14)

5S:n tarjoamalla suhteellisen edullisilla toimenpiteillä, saavutetaan kuitenkin paljon hyötyjä. Stevenson (2012, s. 641) mainitsee parannuksiksi kasvaneen tuottavuuden, työntekijöiden moraalien kasvun ja edustavammat tilat esimerkiksi vierailijoita ajatellen. Al-Aomar (2011) ehdottaa 5S johtavan parantuneeseen prosessiin monella eri osa-alueella: läpinäkyvä prosessin virtaus, puhtaat työpisteet, lyhyemmät asetus- ja jaksonajat, siivouksen myötä vapautunut tila, parantunut turvallisuus ja koneiden pienempi vikaantuminen. Monden (2012, kappale 14) ehdottaa 5S:n parantavan laatua pienillä kustannuksilla nopeasti ja turvallisesti ja näin lisäävän yrityksen tuottavuutta ja tuottoja.

3.1.3 Arvovirtakuvaus

Liiketoimintaprosessit täyttyvät usein tehottomuudella ja hukalla. Tehottomuutta luovat tekijät juurtuvat syvälle prosesseihin, jolloin niitä on hankala erottaa arvoa tuottavista prosessin osista (Stevenson 2012, s. 641). Yksi hyvä työkalu näiden ongelmien poistamiseen ja kartoittamiseen on leanissä usein käytetty menetelmä arvovirtakuvaus (*Value Stream Mapping, VSM*). Kyseisen työkalun hahmottelivat Mike Rother ja John Shook (1999) käyttäen hyväksi Toyotalta löytyneitä materiaaleja. Arvovirtakuvaus on työkalu, jota voi käyttää useisiin eri tarkoituksiin ja se on määritelty hieman eri tavoin lähteestä riippuen. Taulukossa 1 on kuvattu kirjallisuudessa esiintyviä määritelmiä arvovirtakuvaus-

Taulukko 1. Kirjallisuudessa esiintyneitä määritelmiä termille arvovirtakuvaus.

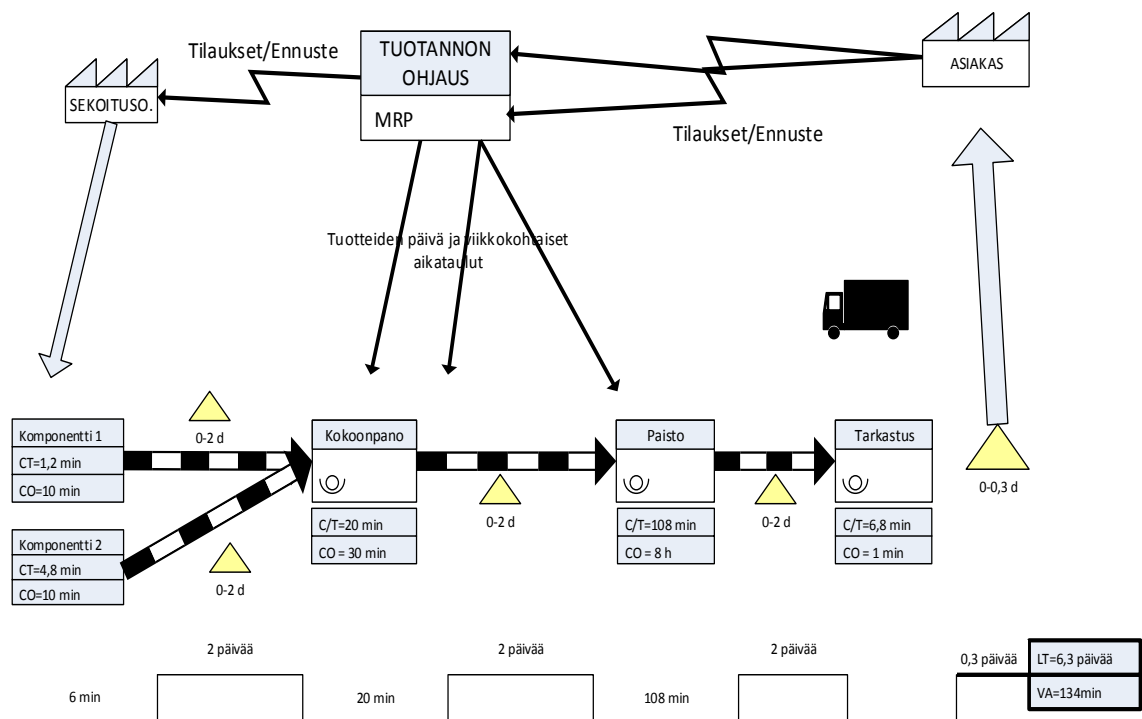
Arvovirtakuvaus	
Lovelle 2001	Arvovirtakuvaus on kartta, joka luonnostelee nykyisen ja tulevan tuotantosysteemin tilan, antaen käyttäjien ymmärtää tämän hetkisen tilan ja mitä hukan aiheuttajia tulisi poistaa. Tämän jälkeen käytetään hyväksi lean ohjesääntöjä, jotta tulevaisuuden tila saavutetaan tehokkaasti.
Lu et al. 2011	Lean-tuotannon kehittäminen vaatii arvovirtojen analyysiä, niin arvoa tuottavien ja arvoa tuottamattomien prosessien osalta. Arvovirtakuvaus on tässä hyödyllinen työkalu käytännöllisten ongelmien ratkaisuun.
Rother & Shook 1999	Arvovirtakuvaus on työkalu, joka helpottaa ymmärtämään tiedon ja materiaalin virtauksen, tuotteen virratessa prosessin läpi.
Serrano et al. 2008	Arvovirtakuvaus on tekniikka, joka on kehitetty lean-tuotanto mielessä. Innovatiivisen ja graafisen tekniikan tarkoitus on auttaa tuotantojärjestelmien uudelleensuunnittelussa.
Stevenson 2012	Arvovirtakuvaus tarjoaa katsauksen toimintoihin, jotka muodostavat prosessin. Sen tarkoituksena on auttaa tunnistamaan hukan lähteet ja mahdollisuudet, kuinka parantaa prosessia.
Tyagi et al. 2015	Arvovirtakuvaus on työkalu, jota käytetään hukan, tehottomuuden ja arvoa tuottamattomien toimenpiteiden tutkimiseen. Työkalulla muodostetaan yksinkertainen kuvaus yksittäisestä prosessista monien eri prosessien joukosta.
Womack 2006	Yritysten tuottama arvo on monimutkaisen prosessin lopputulos, jota kutsutaan arvovirraksi. Arvovirtakuvaus on yksinkertainen visualisointi, josta näkee arvon virtauksen.

Käytännössä arvovirtakuvauksen katsotaan olevan työkalu, joka käyttää visualisointia hyväksi kuvaamaan, miten materiaali ja informaatio virtaavat kohti asiakasta. Kuvauksesta käy ilmi mitkä prosessit tuottavat arvoa ja mitkä eivät ja näin se auttaa tunnistamaan kohteet joissa muodostuu hukkaa. Arvovirtakuvaukseen tulee eriteltyinä toiminnot, jotka sisältyvät prosessiin. Kartoituksen aikana prosessista kerätään monenlaista informaatiota. Tämä informaatio voi sisältää esimerkiksi aikoja (jaksonaika, vaihtoaika, läpimenoaika ja varastointiaika), liikuttuja matkoja (osien tai työntekijöiden osalta), virheitä tai tehotomia työmenetelmiä (Stevenson 2012, s. 641).

Jaksonaika tarkoittaa aikaa kahden peräkkäisen tuotteen tai komponentin valmistumisen välillä, tähän aikaan kuuluu myös toimenpiteet, mitä operaattorin pitää tehdä koneelle, jotta peräkkäiset tuotteet voidaan valmistaa (Lu et al. 2011; Rother & Shook 1999). Tällaisia toimenpiteitä voi olla esimerkiksi materiaalin syöttäminen koneeseen, ennen seuraavan komponentin valmistusta. Huomataankin, että jaksonajasta kaikki osat eivät tuota suoraan arvoa. Esimerkiksi materiaalin lisääminen koneeseen ei tuota arvoa, vasta sen

prosessointi tuottaa. Voidaankin määritellä *arvonlisäysaika* (*Value Added Time*) joka saattaa olla sama kuin jaksonaika, tai sitten vain tietty osa jaksonajasta (Rother & Shook 1999). *Vaihtoaika* on aika mikä työpisteellä kuluu siihen, että vaihdetaan tuotetyypistä toiseen. Tähän kuuluu esimerkiksi koneen vaatimien uusien asetusten syöttäminen (Stevenson 2012, s. 54). Kun yksittäinen tuote kulkee koko tarkasteltavan prosessin läpi, tätä kutsutaan *läpimenoajaksi*. Yhdeksi tarkasteltavaksi ajaksi voidaan vielä lisätä tuotteiden varastoissa ja välivarastoissa viettämä aika, eli *varastoaika*. Nämä ovat pisteitä missä virtaus pysähtyy prosessin aikana. (Rother & Shook 1999)

Arvovirtakuvauksista löytyy lähes aina kolmen tyyppisiä tapahtumia: tapahtumia jotka lisäävät arvoa, tapahtumia jotka ovat välttämättömiä mutta eivät lisää arvoa ja arvoa lisäämättömiä tapahtuma (Womack & Jones 2003, s. 20). Nämä kolme kategorialla käytiin tarkemmin läpi jo seitsemässä hukkua käsittelevässä luvussa. Kuvassa 4 on esitetty esimerkki arvovirtakuvauksen visualisoinnista liittyen autonrenkaan tuotantoon. Ylhäällä mustilla nuolilla on merkitty informaation kulkua, esimerkiksi asiakkaalta yritykselle, missä sitä käytetään hyväksi tuotannon ohjauksessa. Kuvan alareunassa on mallinnettu tuotteen matkaa prosessin läpi. *C/T* (*Cycle Time*) tarkoittavat jaksonaikoja ja *CO* (*Changeover*) vaihtoaikoja. Loppuun on kuvattu läpimenoaika (*LT*, *Lead Time*) ja arvonlisäys koko prosessista (*VA*, *Value Added*). Huomattavaa on, että tarkastus ei lisää tuotteen arvoa lainkaan, vaan kuuluu välttämättömiin mutta arvoa lisäämättömiin toimintoihin (Womack & Jones 2003, s. 20).



Kuva 4. Esimerkkikuva arvovirtakuvauksesta (mukaillen Womack 2006).

Serrano et al. (2008) mainitsee viisi vaihetta, jotka kuuluvat arvovirtakuvauksen laatimiseen. Nämä vaiheet ovat (1) tuoteperheiden tai tuotteiden valinta, (2) nykytilakuvaus, (3) tulevaisuuden tilan kuvaus, (4) suunnitelma tulevaisuuden tilan saavuttamiseksi ja (5) suunnitelman toteutus. Ensimmäinen askel on valita oikeat tuotteet tarkasteluun, kaikkea prosessin läpi menevää ei voi kartoittaa kerralla vaan pitää keskittyä yksittäisiin tuoteperheisiin tai tuotteisiin, riippuen tuotannon koosta ja tuotevalikoimasta (Rother & Shook 1999). Nykytilan kuvaus vaatii jalkautumista tuotantotiloihin ja tiedon keräämistä sieltä. Nykytilakuvaus antaa meille käsityksen mitä prosesseja tietyn tuotteen tuottaminen vaatii ja minkä kestoisia nämä prosessit ovat. Nykytilakuvaus on välttämätön tehdä, jotta voidaan analysoida tarkemmin mitä kehityskohteita prosessissa on (Rother & Shook 1999; Lovelle 2001). Tulevaisuuden tilan mallinnus on käytännössä kuvaus tuotantosysteemin leanin mukaisesta ideaalitulanteesta, eli nykytilan kuvauksen perusteella tehty parannusehdotus. (Chen et al. 2010) Serrano et al. (2008) on listannut suuntaviivoja, joilla tulevaisuuden tilan kuvausta lähdetään hakemaan, näitä ovat esimerkiksi:

- Tuotannon rytmi pitää toteuttaa kysynnän mukaan.
- Jatkuva virtaus pitää tehdä sinne missä se on mahdollista.
- Työpisteiden välillä pitää käyttää imusysteemiä, kun jatkuva virtaus ei ole mahdollinen.
- Yhden prosessin pitää tahdistaa koko tuotanto.
- Koko prosessin tehokkuutta tulisi parantaa, esimerkiksi pienentämällä vaihtoaikoja ja jaksonaikoja.

Tämän jälkeen tehdään suunnitelma tulevaisuuden tilan saavuttamiseksi, eli kirjataan ylös erot nyky- ja tulevaisuuden tilan välillä ja listataan tarvittavat toimenpiteet joilla tulevaisuuden tilaa lähdetään saavuttamaan (Lovelle 2001). Viimeinen kohta on toteuttaa edellä tehty suunnitelma ja listatut toimenpiteet.

Arvovirtakuvaus on työkalu joka auttaa varmistamaan, että teemme oikeita parannuksia ja ratkaisuja oikeaan aikaan. Oikeilla parannuksilla tarkoitetaan toimia, mitkä auttavat meitä palvelemaan paremmin asiakasta, samalla kun vähennetään kustannuksia ja nostetaan kannattavuutta. (Dixon 2008) Seth & Gupta (2005) löysivät omista tutkimuksissaan arvovirtakuvauksen mahdollistavan seuraavanlaisia parannuksia yrityksen toimintaan: varastojen ja keskeneräisen tuotannon pieneneminen, jakso- ja vaihtoajan pieneneminen, työntekijöiden määrän vähentäminen ja läpimenoajan pieneneminen. Arvovirtakuvauksen mahdollistamat parannukset riippuvat siitä, kuinka hyvin prosessi toimii jo nykyään ja paljonko siinä on parannettavaa. On kuitenkin hyvä huomata, että arvovirtakuvaus sopii myös muuhunkin kuin pelkästään tuotannosuunnitteluun, sitä voi käyttää esimerkiksi tuotekehityksen optimointiin (Tyagi et al. 2015).

3.2 Vaihtoaikojen hallinta ja tuotannon joustavuus

Lean-tuotantoon liittyy vahvasti erätuotanto, jolloin on tärkeää, että koneiden asettaminen uudestaan tuotantoerien välillä ei vie turhaa aikaa, eli pyritään saamaan vaihtoajat mahdollisimman pieneksi. Pienet vaihtoajat mahdollistavat pienemmät eräkoot, mikä edesauttaa vähentämään keskeneräisen tuotannon määrää ja valmiiden tuotteiden varastoa sekä läpimenoaikoja. Tämä edesauttaa yritystä vastaamaan tehokkaammin erilaisiin asiakastarpeisiin. (Monden 2012, kappale 11) Yritykset ovat myös jatkuvan paineen alla tuotannon lisäämisen, joustavuuden parantamisen ja reagointikyvyn kanssa. Vaihtoaikojen hallinta on yksi tapa saavuttaa nämä parannukset. Vaihtoaikojen hallinta parantaa tuotannon joustavuutta helpottamalla eri tuotteiden valmistuksen vaihtoa koneella. (McIntosh et al. 1996) Joustavuus voidaan määritellä kykyä vastata muutoksiin mahdollisimman lyhyellä vasteajalla, lisäämättä suuresti kustannuksia toimitusketjussa tai tuotannossa. (Simchi-Levi 2010, kappale 7) Vaihtoaikojen hallinta toimii yhtenä JIT-tuotannon kulmakivenä (McIntosh et al. 2000b). Läpimenoaikojen suhteen vaihtajoilla on myös merkitystä. Monden (2012), McIntosh et al. (1996) ja Simchi-Levi (2010) mainitsevat vaihtoaikojen lyhentämisen tuomista eduista läpimenoaikoja kehittäessä.

Vaihtoaika pitää sisällään kolme eri osaa (A.R. Mileham et al. 1999): alasajo (*run-down*), asetus (*set-up*), ja ylösajo (*run-up*). Alasajoon kuuluu koneen tyhjentäminen edellisestä tuotantoerästä. Asetus pitää sisällään koneen vaatimat fyysisten osien ja ajoasetusten vaihtamisen. Ylösajo tarkoittaa koneen vaatimia hienosäätöjä, että se pystyy valmistamaan laadultaan riittävän korkeatasoisia tuotteita oikealla tuotantonopeudella. Riippuen myös siitä, milloin asetukset tehdään, voidaan ne luokitella sisäisiin tai ulkoisiin asetuksiin. Sisäiset asetukset tehdään silloin, kuin tuotanto on koneella pysäytetty ja ulkoiset asetukset ovat niitä toimenpiteitä, joita on tehty koneen ollessa toiminnassa. Esimerkiksi koneeseen asennettava uusi terä voidaan hakea varastosta koneen vielä ollessa käynnissä, joten se luokitellaan ulkoiseksi asetukseksi. Usein kaikki toimenpiteet mitkä ovat mahdollisia pyritään suorittamaan ulkoisena asetuksena. (McIntosh et al. 1996)

3.2.1 Vaihtoaikojen vähentäminen

Vaihtoaikojen vähentäminen pitää suorittaa kokonaisvaltaisella tavalla, jotta pystytään varmistamaan operaation onnistuminen ja pitkäjänteisyys. Vaihtoaikojen vähentäminen kokonaisvaltaisena operaationa sisältää kolme vaihetta: strateginen taso, valmistelutaso ja käyttöönotto. Aluksi pitää miettiä yrityksen tarpeita, tarvitaanko tulevaisuuden tavoitteiden saavuttamiseksi nopeita asetusajoja ja onko tämä taloudellisesti järkevää. Tämän jälkeen vasta tulisi suunnitella mitä keinoja käytetään vaihtoaikojen pienentämiseksi ja miten tämä toteutetaan käytännössä. (A.R. Mileham et al. 1999).

Vaihtoaikojen lyhentämiseen löytyy kirjallisuudesta useita keinoja. Patel et al. (2001) jakaa vaihtoaikojen lyhentämisen käytettävät menetelmät perinteisiksi työntutkimukseen liittyviksi ja sitten SMED (*Single Minute Exchange of Die*) tekniikka hyväksikäyttäväksi

menetelmiksi. Vaihtoaikojen nopeuttaminen liittyvät toimenpiteet vaikuttavat aina kuitenkin johonkin seuraavista alueista: (1) tuotteen suunnittelu, (2) koneen suunnittelu, (3) työkalujen suunnittelu ja (4) systeemin suunnittelu. Tuotteen suunnittelulla itsessään voi olla jo suuri vaikutus vaihtoaikoihin. Pienet tuotemuutokset ovat myös suhteessa paljon edullisempia verrattuna laiteinvestointeihin. (A.R. Mileham et al. 1999)

Monden (2012) esittelee neljä lähtökohtaa, joiden ympärille vaihtoaikojen lyhentäminen perustuu. Lähtökohta on erottaa koneen vaatimat sisäiset ja ulkoiset asetukset. Tämän jälkeen siirretään mahdollisimman paljon sisäistä asetusta vaativaa toimintaa ulkoisen asetuksen piiriin. Kolmantena toimenpiteenä on erilaisten työkonelkohtaisten asetustoimenpiteiden ja säätöjen vähentäminen. Viimeisenä kohtana on päästä eroon koneen vaatimista asetuksista kokonaan. Tämä voidaan saavuttaa kahdella eri tavalla: käyttämällä yhtenäistä tuotesuunnittelua, jolloin samat osat sopivat eri tuotteisiin tai valmistamalla eri osia samaan aikaan. Monden (2012) mainitsee vielä erilaisia tekniikoita, millä näitä konsepteja voidaan toteuttaa, esimerkiksi standardoimalla koneen asetusten vaihto toimenpiteitä tai käyttämällä erilaisia nopeasti avattavia ja suljettavia pikakiinnityksiä. Monden (2012) mainitsema menetelmä sisältää käytännössä samat elementit kuin SMED ja perustuu myös Shigeo Shingon ajatuksiin, mutta Monden kutsuu sitä ”*single setup*” konseptiksi.

3.2.2 Single Minute Exchange of Die

Yksi tunnetuimmista metodeista vaihtoaikojen lyhentämisessä on Shigeo Shingon 1950-luvulla kehittämä SMED. Kyseinen menetelmä kehitettiin vastaamaan kasvaneisiin tuotannon joustavuusvaatimuksiin. SMED tehtiin alun perin muottipuristimien ja työstökoneiden vaihtoaikojen pienentämiseen, mutta sen periaatteet toimivat kaiken tyyppisissä prosesseissa (Ulutas 2011). SMED koostuu kolmesta askeleesta (Bikram Jit Singh & Khanduja 2010; Ulutas 2011):

1. Usein tuotteen vaihtoon liittyvät asetukset tehdään juuri ennen seuraavan tuotteen valmistusta, mutta asetukset voidaan jakaa ulkoisiksi ja sisäisiksi asetuksiksi (näitä toimintoja nimitetään myös off-line ja on-line aktiviteeteiksi). Ulkoiset (off-line) asetukset voidaan tehdä edellisen tuotteen tuotannon aikana ja tällöin vaihtoaikaa rajoittaa lähinnä tuotteen vaihdon aikana tehtävät sisäiset asetukset. Tällä askeleella pystytään usein vähentämään vaihtoaikaa 30–50 prosenttia.
2. Toisen askeleen tarkoitus on ulkoistaa sisäisiä toimintoja mahdollisimman paljon. Kahdella ensimmäisellä askeleella voidaan vähentää vaihtoaikoja jopa 75 prosenttia.
3. Viimeinen vaihe tehostaa ja minimoi asetustoimenpiteitä esimerkiksi standardoinnilla. Käyttämällä näitä kaikkia kolmea askelta vaihtoaikoja voidaan vähentää jopa 90 prosenttia. Nämä vaiheet toistetaan tarvittaessa ja haetaan paras lopputulos iteroimalla.

Viimeiseen vaiheeseen liittyviä tehostavia toimenpiteitä on useita, esimerkiksi standardointi, pikakiinnikkeiden käyttö, asetustoimenpiteiden rinnakkainen toteutus, säädön vähentäminen ja koneellistaminen. Standardointi voi koskea sekä prosesseja että työkaluja, esimerkiksi asetetaan kaikki käytetyt pultit samankokoisiksi, jolloin työkaluja ei tarvitse vaihtaa tai säätää. Pikakiinnikkeet voivat korvata isoja pultteja tai muttereita, jolloin osien liittäminen käy vaivattomammin. Mitä enemmän asetustoimia saadaan tehtyä rinnakkain, sitä nopeammin asetustoimet saadaan toteutettua. Tämä tietysti voi vaatia lisätyövoimaa joka mahdollistaa yhdessä tekemisen. Toisaalta jos monta vaihtoa tehdään samaan aikaan, voi yksittäinen työntekijä hoitaa näitä rinnakkain. Asetusten koneellistaminen ja erilaisien apuvälineiden käyttö helpottavat raskaiden esineiden nostelua ja tekevät tarkkojen asetusten tekemisen helpommaksi. Myös muita lean-menetelmiä voidaan hyödyntää vaihtoaikojen lyhentämisessä, esimerkiksi 5S-menetelmää voidaan käyttää työkalujen ja vaihdettavien osien järjestelyssä. (Pellegrini et al. 2012)

SMED:tä tulisi ensisijaisesti käyttää prosessin oikeisiin kohtiin, joita ovat systeemissä esiintyvät pullonkaulat. Vaihtoaikojen lyhentäminen kohdissa, jotka eivät aiheuta prosessiin pullonkauloja tai joissa aika on erityisen lyhyt verrattuna muihin vaihtoaikoihin, tuottaa vain vähän hyötyä. Yksittäinen prosessointipiste tulisi käydä läpi käyttäen näitä kolme askelta ja tämän jälkeen arvioida uudestaan mihin pullonkaula on sijoittunut. (Bikram Jit Singh & Khanduja 2010) Metodien käytännön toteuttamiseen käytetään usein videokameraa, jolla koko vaihtoprosessi kuvataan. Tämän jälkeen video katsotaan läpi ja arvioidaan tarvittavia muutostoimenpiteitä (Vollmann et al. 2005). SMED:n kokonaisvaltaiseen toteuttamiseen liittyy kaksi periaatetta: tekniset muutokset laitteisiin ja organisatoriset muutokset työntekijöiden toiminnan kehittämiseen (McIntosh et al. 2000a).

3.3 Läpimenoaikojen hallinta

Läpimenoaikojen hallinta on tärkeässä asemassa joustavuuden, reagoitakyvyn ja keskeneneräisen tuotannon näkökulmasta. Tuotantolaitosten pyrkiessä maksimoimaan koneiden käyttöasteita, kasvavat eräkoot, mikä lisää varastojen kokoa ja myös keskeneneräistä tuotannon määrää, joka osaltaan lisää taas läpimenoaikoja. (Fry 1990) Tuotannossa läpimenoaika koostuu kolmesta eri komponentista: tuotteen prosessointiajasta, prosessien välisistä odotusajoista ja tuotteiden kuljetukseen kuluva ajasta. (Monden 2012, Kappale 7) Erätuotannossa myös tuotevaihtojen aiheuttamien vaihtoaikojen odotukset lisäävät läpimenoaikoja. Suora vaikutus vaihtoajoilla läpimenoaikaan voi jäädä pieneksi, mutta pienten vaihtoaikojen mahdollistama eräkokojen pienentäminen voi vaikuttaa läpimenoaikoihin huomattavasti enemmän. Läpimenoaikojen lyhentäminen vaatii siis näiden komponenttien kehittämistä eteenpäin. (Sahoo et al. 2008)

Pitkät läpimenoajat johtavat korkeampaan keskeneneräisen tuotannon määrään. Tämä myös aiheuttaa sen, että tuotannonsuunnittelu pitää tehdä pitemmälle aikavälille ja siihen on vaikeampi tehdä viimehetken muutoksia. Pitkät läpimenoajat voivat vaikuttaa kilpailuky-

kyyn heikentävästi, koska toimitusajat pitenevät. (Karmarkar 1987) Esimerkiksi Toyotalla on saatu seuraavanlaisia hyötyjä läpimenoaikoja lyhentämällä (Monden 2012, Kappale 7):

- Lyhyelläkin toimitusajalla voidaan tuottaa asiakkaalle kustomoituja tuotteita.
- Yritys voi mukautua nopeasti tuotannon muutoksiin, joten valmistusvarasto voidaan pitää pienenä.
- Keskenäistä tuotantoa voidaan pienentää merkittävästi, pienentämällä eräkokoa ja tasapainottamalla tuotannon ajoitusta, mikä on helpompaa pienillä läpimenoajoilla.
- Tuotemuutosten jäljiltä jää varastoon vähemmän vanhaksi jäänyttä tavaraa.

Toyota ja Dell ovat tulleet erityisen tunnetuiksi lyhyen läpimenoajan hyödyntämisestä (Liker 2004, kappale 1). Läpimenoajan hyödyntämisen havaittavista eduista johtuen, on tärkeää pohtia, kuinka tämä käytännön tasolla onnistuu. Yksi vastaus tähän on pyrkiä implementoimaan tuotantoon JIT tyyppisiä elementtejä. Ensimmäinen tärkeä askel läpimenoaikojen kontrollointiin on se, että järjestelmän sisääntulo on yhtä suurta tai pienempää kuin ulostulo. JIT-systeemissä tuotannon viimeistä vaihetta ohjataan suunnittelulla ja sisääntuloa ohjaa ulostulon aiheuttama imu systeemin läpi. Toinen tapa ohjata sisään- ja ulostuloa on käyttää hyväksi DBR-ohjausta (*drum, buffer and rope*), joka esitellään tarkemmin luvussa 3.4. (Fry 1990) On huomattu, että käyttämällä hyväksi leanin mukaisia työkaluja voidaan läpimenoaikojakin lyhentää tehokkaasti (Stevenson 2012, s. 648).

3.3.1 Varastot

Varastoihin säilötään raakamateriaalia ja osia, keskenäistä tuotantoa, lopputuotteita, työkaluja ja tarvikkeita, huoltoon ja korjaukseen liittyviä tarvikkeita sekä siihen kuuluu vielä kuljetuksessa olevat tuotteet. Tämän tarkoituksena on esimerkiksi vastata odotettuun tai odottamattomaan kysyntään ja kausiluonteisuuteen, varmistaa tuotteiden tai raaka-aineiden saatavuus ja esimerkiksi turvautua hinnanvaihteluihin vastaan. (Stevenson 2012, ss. 557-558) Varastojen ja keskenäisen tuotannon hallinta liittyy vahvasti läpimenoaikojen hallintaan. Varastot voidaan nähdä kahdesta eri näkökulmasta. Välttämättömänä suojana prosessissa esiintyvien virheiden varalle, jotta toimitukset eivät häiriinny. Toisaalta varastot voidaan myös nähdä rasitteena, joita pyritään vähentämään ja ongelmat pyritään ratkaisemaan sen sijaan, että piilouduttaisiin varastojen luoman turvallisuuden taakse. Lean näkökulmasta varastot sijoittuvat tähän jälkimmäiseen kategoriaan. (Fry 1990)

Varastoihin liittyen usein puhutaan varaston kiertonopeudesta. Kiertonopeus tarkoittaa miten usein koko varasto myydään tietyn periodin aikana, tämä periodi voi olla esimerkiksi yksi vuosi. Käytännössä tämä näkyy siinä, miten nopeasti tavara vaihtuu varastossa. Kiertonopeuteen vaikuttavat varaston koko ja myynnin määrä. (Stevenson 2012, s. 559) Korkea varaston kiertonopeus tarkoittaa vähemmän sitoutunutta pääomaa materiaaleihin,

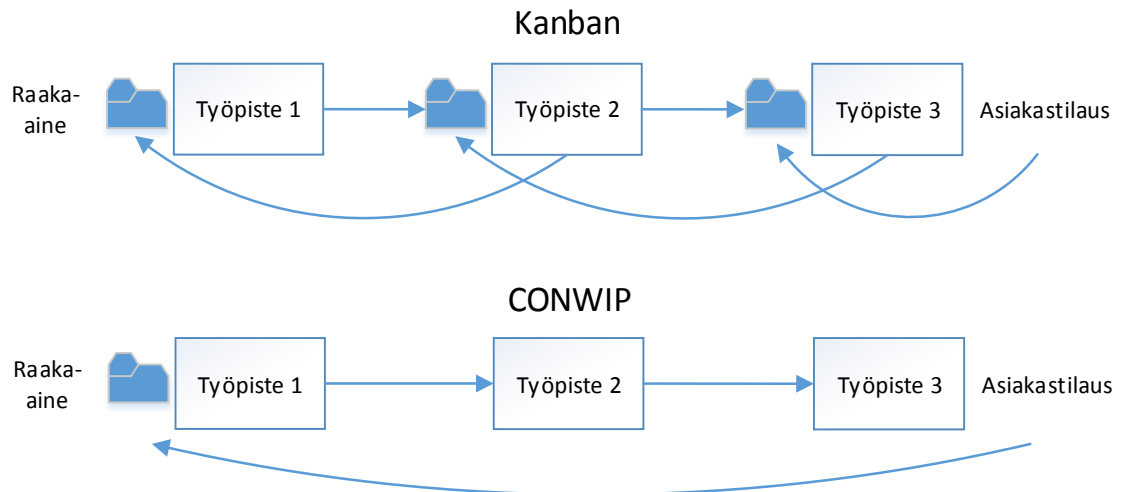
keskeneräiseen tuotantoon ja valmistuotevarastoon. Nopeuttamalla varastojen kiertonopeutta, vapautetaan pääomaa muuhun käyttöön. Myös ylituotanto lisää varastojen määrää ja pienentää kiertonopeutta. (Demeter & Matyusz 2011) Hitaalla varaston kierrolla voi olla vaikutusta myös tuotelaatuun: jos tuotteet seisovat varastossa pitkiäkin aikoja ne voivat tietyissä tapauksissa jopa pilaantua. Varaston kiertonopeus on myös liiketoimintakohdainen, kiertonopeudet voivat vaihdella erittäin paljon alakohtaisesti. (Reynolds 1999) Imuohjaus on yksi hyvä tapa päästä eroon ylituotannosta, tällöin seuraava vaihe imee aina tarvittavat materiaalit, jolloin varastoja ei pääse syntymään (Liker 2004, kappale 9). Lean-tuotannon on tarkoitus vähentää hukkaa, mitä myös ylimääräiset varastot ovat ja tämän perusteella vähentämällä hukkaa voidaan nopeuttaa varastojen kiertonopeutta (Demeter & Matyusz 2011).

3.3.2 Keskeneräinen tuotanto

Keskeneräisellä tuotannolla on läpimenoaikoihin suuri vaikutus ja sillä tarkoitetaan tuotannossa olevia tuotteita, joihin on sitoutunut materiaalia ja työtä, eli nämä ovat niin sanotusti osittain valmiita tuotteita. Keskeneräinen tuotanto on merkittävässä asemassa lean-järjestelmässä, koska sen on aina saavuttava seuraavaan tuotantovaiheeseen juuri oikeaan aikaan, jotta välivarastoja ei pääse syntymään eikä jatkuva imu katkea. (Stevenson 2012, ss. 557, 638)

Keskeneräisen tuotannon pienentäminen vähentää materiaalin hallintakustannuksia sekä tuotannon läpimenoaikoja ja lisää näin toimitusnopeuksia ja asiakaspalvelun laatua. Pienempi keskeneräisen tuotannon määrä helpottaa myös aikatauluttamista ja säästää virheiden korjauksissa ja romutuksessa. Toisaalta keskeneräisen tuotannon varastot ennen työasemia varmistavat korkeammat koneiden käyttöasteet ja vähentävät häiriöiden vaikutusta. (Aziz et al. 2013) Esimerkkitaipaja pienentää keskeneräistä tuotantoa on jo aiemmin esille tulleet eräkoon pienentäminen tai Sahoo et al. (2008) mainitsema vaihtoaikojen vähentäminen sekä imuohjaus. Työntöohjauksessa töiden saapumisaikoja ei pidetä vakiona, jolloin myös keskeneräistä tuotantoa pääsee syntymään (Liker 2004, kappale 9).

Kaksi pääasiallista keinoa hallita keskeneräistä tuotantoa on kanban ja CONWIP (*constant work-in-process*). Kanban painottuu tarkastelemaan keskeneräistä tuotantoa yksittäisten työasemin välillä ja CONWIP taas koko prosessin laajuudella. (Stevenson 2012, s. 638) Kanban on alun perin peräisin JIT-tuotannosta ja siitä on tehty paljon erilaisia variaatioita. Kanban on järjestelmä, jolla hallitaan materiaalin ja osien liikettä erilaisilla signaaleilla, kuten korteilla. Kanban-järjestelmässä seuraava työasema lähettää edelliselle työasemalle kortin merkiksi siitä, että tuotanto voidaan käynnistää ja tämän jälkeen materiaalia virtaa eteenpäin kortin osoittama määrä. Kanban-kortti toimii siis signaalina tuotannon aloittamiselle aina edellisessä työpisteessä. Tällä tavalla työpisteiden välillä tuotanto riippuu käytettävissä olevien kanban-korttien määrästä, jolloin korttien lukumäärällä voidaan määrittää keskeneräisen tuotannon koko. (Marek et al. 2001) Kuvaan 5 on hahmoteltu CONWIP- ja Kanban-järjestelmien erot tiedonkulun suhteen.



Kuva 5. Kanban ja CONWIP järjestelmien erot (mukaillen Marek et al. 2001).

CONWIP eroaa kanbanista siinä, että keskeneräisen tuotannon määrää ei rajoiteta jokaisen operaation välissä, vaan koko prosessin matkalla (Aziz et al. 2013). Materiaali menee CONWIP-järjestelmään sisään kysynnän mukaan ja saa samalla kortin, joka oikeuttaa materiaalin kulun koko prosessin läpi. Kun tuote valmistuu ja poistuu järjestelmästä, kortti vapautuu ja palaa prosessin alkuun sallien seuraavan tuotteen valmistuksen aloituksen. CONWIP:ssä korttien määrä rajoittaa koko systeemin keskeneräisen tuotannon määrän, mutta toisaalta sen paikkaa ei voida määrittää vaan se voi sijaita missä tahansa prosessin vaiheessa. (Marek et al. 2001) Kanban toimii parhaiten tasaisessa ja ennustettavassa ympäristössä, kun taas CONWIP toimii tehokkaammin, jos prosessissa on paljon vaihtelua ja epävarmuutta (Stevenson 2012, s. 638).

Aziz et al (2013) mainitsee kanbanin ja CONWIP:in lisäksi tuotannonohjaukseen ja keskeneräisen tuotannon hallintaa liittyen muitakin tekniikoita, kuten MRP II (*Manufacturing Resource Planning*), TOC (*Theory Of Constraint*), WLC (*Workload Control*) ja POLCA (*Paired-cell Overlapping Loops with Card Authorisation*). MRP II on kehittynyt MRP:stä (Material Requirements Planning) 1980-luvulla. MRP on tietokonepohjainen järjestelmä, joka muuttaa valmiiden tuotteiden tilaustiedot tuotanto- ja tilausaikatauluksi. (Stevenson 2012, s. 510) MRP kehitettiin siihen tarkoitukseen, että teollisuusyritykset pystyisivät laskemaan mitä materiaalia tarvittiin tuotteen valmistamiseen ja milloin sitä tarvittiin (Stevenson 2012, s. 526). MRP II on laajennettu käsittelemään koko tuotantoprosessin, sisältäen tuotannonohjauksen lisäksi kirjanpitoa sekä talouteen ja markkinointiin liittyviä toimintoja (Maxie Burns et al. 1991). TOC tunnetaan Suomessa paremmin nimillä pullonkaulateoria tai kapeikkoajattelu. Ajatuksena siinä on, että systeemi on yhtä vahva, kun sen heikoin lenkki (Pegels & Watrous 2005). Pullonkaulateoriaa käsitellään tarkemmin luvussa 3.4.

WLC toiminta perustuu tuotantoa edeltävään tuotantotilausten reserviin, jolla pyritään vähentämään tuotantoprosessin kuormitusta, eli tuotteita ei heti vapauteta tuotantoon

vaan ne menevät ensiksi tähän reserviin (Stevenson et al. 2005). Tämän lisäksi jokaisen työaseman edessä on jono, jossa työt odottavat prosessointia. Tuotantotilausten reservillä kontrolloidaan näiden jonojen pituutta. WLC systeemi ei päästä tilauksia reservistä, jos ne kasvattavat työasemien työjonoja yli määritellyn pituuden. Näin pystytään tehokkaasti kontrolloimaan läpimenoaikoja ja keskeneräistä tuotantoa. (Land & Gaalman 1996) POLCA on periaatteessa kanbania vastaava systeemi, mutta kehitetty laajaa tuotevalikoimaa valmistavaan tuotantoon. POLCA:n soveltamiseen tehdas on jaettu joustaviin ja monialaisin tuotantosoluihin. POLCA järjestelmässä asiakastilaukset suunnitellaan työntöohjauksen tavoin ja materiaalin kulkua kontrolloidaan imuohjauksella, joka toimii Polca-korteilla. Kortit ovat solukohtaisia ja ilmoittavat aina missä tuotantosolussa on tilaa tuotannon alavirtaan katsottuna. (Aziz et al. 2013)

Keskeneräisen tuotannon havaitsemiseksi on tehty laskukaava, joka tunnetaan myös nimellä *Littlen laki*. Laki määrittää keskeneräisen tuotannon seuraavasti: keskeneräinen tuotanto on jaksonajan ja tuotteiden saapumistaajuuden tulo. Littlen lain mukaan keskeneräinen tuotanto kasvaa, jos tuotteiden saapumisnopeus on suurempi, kuin jaksonaika. (Stevenson 2012, s. 638) Littlen lakia voidaan käyttää yksittäiseen prosessiin tai koko tehtaan toiminnan analysointiin. (Rust 2008)

3.3.3 Just In Time

Leanin perusajatus pohjautuu TPS lähtökohtaan, kuten luvussa 3.1 mainitaan. Liker (2004) kuvaa kirjassaan TPS:n talona, jonka sisälle myös JIT sijoittuu. JIT tarkoittaa tarkasti koordinoitua systeemiä, jossa tuotteet liikkuvat prosessin läpi juuri oikeaan aikaan silloin kun niitä tarvitaan. (Stevenson 2012, s. 619) JIT:n mukainen toiminta on tärkeä osa nykyaikaista tuotannonohjausta ja -suunnittelua ja se vähentää merkittävästi yksityiskohtaisen materiaalisuunnittelun määrää, keskeneräistä tuotantoa ja erilaisia tuotannossa tapahtuvia transaktioita. (Vollmann et al. 2005, kappale 9) JIT:n avaintekijöitä ovat virtaus, imu, standardoidut työtavat ja tahtiaika (*takt time*) (Womack & Jones 2003, s. 349). Tahtiaika on tuotantoa tahdittava aika, joka määritellään kysynnän perusteella. Tahtiaika lasketaan jakamalla käytettävissä oleva työaika päivittäisellä kysynnällä. Näin saadaan laskettua, paljonko tuotannolla on aikaa tuottaa aina yksi lopputuote. (Stevenson 2012, s. 627) JIT voidaan nähdä toimintatapana tai tekniikkana, jolla päästään lähemmäksi leanin mukaista systeemiä.

JIT pyrkii tehostamaan virtausta tekemällä toimitusketjusta toimivamman ja poistamalla vikoja toiminnasta. Yksi tapa tehostaa oikea-aikaisuutta on vähentää toimittajien määrää ja panostaa tämän jälkeen laatuun tai toimitusvarmuuteen. Laadukkaalla toiminnalla pyritään estämään vikoja sen sijaan, että niitä havaittaisiin tehokkaasti, eli pyritään ennaltaehkäisyyn. Tämä tarkoittaa sitä, että parannetaan työvaiheita niin paljon, ettei vikoja pääse syntymään. Tämän seurauksena laaduntarkkailulle ei ole niin suurta tarvetta ja voidaan laaduntarkkailun sijaan, joka ei suoraan tuota arvoa, panostaa muihin yrityksen toimintoihin. (Swanson & Lankford 1998)

Tuotannon kehittäminen paremmin JIT:n mukaiseksi voi vaatia erilaisia kehittämistoimenpiteitä. Vollmann (2005, kappale 9) on listannut seuraavat toimenpiteet:

- Eräkokojen ja vaihtoaikojen pienentäminen.
- Tavoitteena vikojen poisto koko prosessista.
- Painopiste jatkuvaan parantamiseen.
- Työntekijöiden sitouttaminen.
- Solutuotanto.

Näillä toimenpiteillä pyritään tekemään tuotannosta joustavampaa ja vähentämään läpimenoaikoja, jotta päästäisiin JIT-tuotannon tavoitteeseen. Edellä mainittujen hyötyjen lisäksi onnistunut JIT:n käyttöönotto esimerkiksi pienentää varastoja, vähentää työvoimakustannuksia ja parantaa reagointikykyä kysynnän vaihteluun. Taulukkoon 2 on koottu luvussa esille tulleita asioita perinteisen- ja JIT-tuotannon eroista eri osa-alueille. Taulukosta 2 voidaan havaita JIT:n pyrkimys minimoida varastoja ja eräkokoja sekä tavoitella kestäviä suhteita työntekijöiden ja sidosryhmien välille. Kokonaisuudessaan JIT pyrkii yksinkertaistamaan tuotantoa ja tekemään siitä helposti ymmärrettävän ja toteutettavan.

Taulukko 2. *JIT:n ero perinteiseen tuotannon järjestelyyn (Swanson & Lankford 1998; Vollmann et al. 2005).*

	Perinteinen	JIT
Varastot	Suuret varastot ja keskeneräinen tuotanto, jotta voidaan suojautua ennustevirheiltä ja myöhästymisiltä.	Minimoidaan
Toimitukset	Harvoin, isoja	Paljon pieniä
Eräkoot	Isoja	Pieniä
Asetukset	Vähän, suuret sarjakoot	Paljon, pienet sarjakoot
Toimittajat	Pitkäaikaiset suhteet epätavallisia	Kumppanuus
Työntekijät	Tarvitaan töiden tekemiseen	Voimavara

Yleensä JIT-tuotantoa ylläpidetään käyttämällä kanban-kortteja (Monden 2012, kappale 1). JIT myös käyttää hyväksi pitkälti samoja ajattelumalleja mitä kuuluu yleisesti lean-tuotantoon. JIT voidaan nähdä tekniikkana, jolla yritys pyrkii toteuttamaan leanin mukaista ajattelua. JIT liittyy kiinteästi läpimenoaikojen hallintaan ja niiden vähentämiseen prosessien sisällä.

3.4 Kapeikkoajattelu

TOC (*Theory Of Constraints*) tunnetaan Suomessa esimerkiksi nimillä pullonkaulateoria tai kapeikkoajattelu. Teorian mukaan tuotantoprosessi nähdään ketjuna, jossa koko sys-

teemi on yhtä vahva, kuin sen heikoin lenkki. Tätä heikointa lenkkiä kutsutaan usein pullonkaulaksi. Kapeikkoajattelun tarkoituksena on tunnistaa tämä heikoin lenkki ja pyrkiä vahvistamaan sitä, kunnes se ei enää ole prosessin rajoittava tekijä. Vahvistamalla aina ketjun yksittäistä lenkkiä tietyn pisteen yli, löytyy uusi heikompi lenkki ja jatkamalla tätä prosessia löydetään aina uusi heikoin lenkki. Tämän takia kapeikkoajattelu voidaan nähdä jatkuvan parantamisen prosessina, jossa aina pystytään löytämään prosessia rajoittava uusi heikoin lenkki. (Pegels & Watrous 2005) Kapeikkoajattelun tavoitteena voidaan nähdä virtauksen maksimointi tuotantojärjestelmän läpi ja se voidaan tiivistää kahteen kohtaan (Rahman 1998):

- Jokaisella systeemillä täytyy olla vähintään yksi rajoittava tekijä. Jos tämä ei olisi totta, todellinen systeemi, esimerkiksi tuottoa tekevä organisaatio tekisi rajoittamattoman määrän voittoa.
- Löydetty rajoite kuvaa mahdollisuutta parantaa nykyistä prosessia. Kapeikkoajattelussa rajoite nähdään positiivisena asiana, koska rajoite määrittelee järjestelmän tehokkuuden ja näiden järjestelmällinen poistaminen vie kohti tehokkaampaa systeemiä.

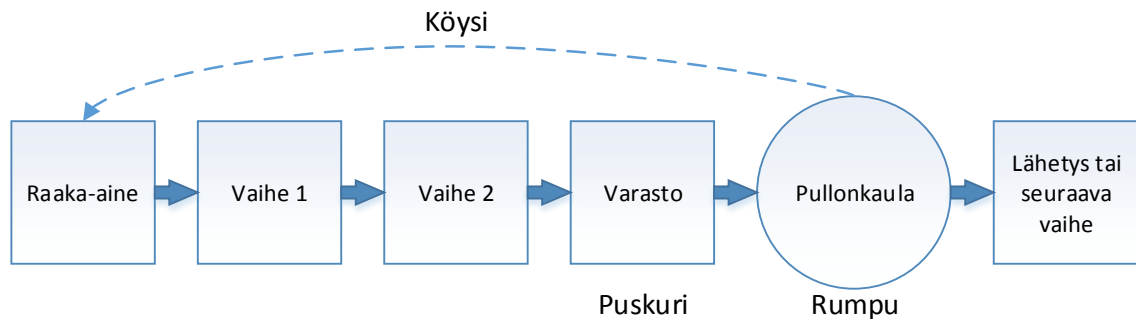
Perinteinen liikkeenjohto on korostanut tuotannon maksimoimista jokaisen erillisen operaation kohdalla. Vastakohtana tälle, kapeikkoajattelu pyrkii maksimoimaan virtauksen koko systeemin läpi ja tämä onnistuu jatkuvalla pullonkaulojen poistamisella prosessista. Kapeikkoajattelu käyttää seuraavaa viiden kohdan ohjelmaa tehostamaan virtausta (Rahman 1998; Stevenson 2012, s.722):

1. Tunnistetaan järjestelmää rajoittava pullonkaula. Tämä rajoite voi olla fyysinen tai liikkeenjohdollinen. Fyysisiä rajoitteita ovat esimerkiksi koneiden kapasiteetti, sekä materiaalin ja työntekijöiden saatavuus. Liikkeenjohdolliset rajoitteet liittyvät johtamistapoihin, sääntöihin tai toimintamalleihin.
2. Selvitetään mikä on tehokkain tapa hyödyntää pullonkaulaa. Fyysisissä tapauksissa pyritään esimerkiksi maksimoimaan pullonkaulan käyttöaste. Liikkeenjohdollisissa poistetaan toimintatavat, jotka eivät toimi ja korvataan ne paremmilla.
3. Keskitytään pullonkaulan tehostamiseen. Muun prosessin täytyy tukea pullonkaulaa, jotta se voisi toimia mahdollisimman tehokkaasti.
4. Selvitetään, kuinka pullonkaula voidaan poistaa lopullisesti.
5. Palataan alkuun ja toistetaan ohjelma seuraavalle pullonkaulalle.

Pullonkaulan löytämisen vaikeus on siinä, että tuotantosysteemit eivät ole staattisia vaan ne muuttuvat ajan myötä. Esimerkiksi erilaiset viat, huollot ja viivästykset voivat tehdä tietystä koneesta pullonkaulan vain hetkeksi. Toinen vaihtelua aiheuttava tekijä on pitkän aikavälin vaihtelu, esimerkiksi kysyntä voi muuttua, uusi tuote tuodaan markkinoille tai tuotantoprosessia uudistetaan. Usein kuitenkin jokaisesta tuotantolaitoksesta voidaan löytää niin sanottu ensisijainen pullonkaula. Tavanomainen keino pullonkaulan havaitsemiseen on jonotusajan tutkiminen, eli minkä koneen eteen kasaantuu paljon keskeneräistä

tuotantoa. (Roser et al. 2003) Toinen yleinen keino on työvaiheiden suoritusstehon, eli kapasiteetin arvioiminen. (Alden et al. 2006)

Kapeikkoajattelussa usein tuotantoa ja hienokuormitusta ohjataan rumpu-puskuri-köysi (*drum-buffre-rope*) mallin avulla. Mallin tarkoitus on suojella tuotannon heikointa lenkkiä ja tämän avulla maksimoida systeemin tehokkuus. Rumpu kuvaa pullonkaulaa ja sen tarkoitus on asettaa tuotannolle tahti. Puskurin tarkoitus on suojella pullonkaulaa tyhjäkäynniltä mahdollisissa häiriötilanteissa prosessin ylävirrassa, pitämällä pientä varastoa ennen pullonkaulana pidettyä työvaihetta. Köysi rajoittaa liiallisen varaston syntymisen ennen pullonkaulaa. Tämä tarkoittaa sitä, että ylävirrassa ei aloiteta uutta tilausta, ennen kuin pullonkaula on valmistanut määritellyn erän. Köysi on usein sidottu ensimmäiseen tuotantoprosessin vaiheeseen. (Stevenson 2012, s. 722) Kuvaan 6 on merkitty rumpu-puskuri-köysi mallin eri vaiheet ja kuinka ne linkittyvät toisiinsa.



Kuva 6. Rumpu-puskuri-köysi visualisointi (mukaillen Betterton & Cox III 2009).

Kapeikkoajattelu korostaa kapasiteetin maksimointia ja keskittyy tunnistamaan rajoitteita, jotka voivat rajoittaa kapasiteettiä. Jossain vaiheessa tullaan tilanteeseen, missä systeemin rajoitteet ovat tuotannon ulkopuolella, esimerkiksi kaikki tuotteet pystytään toimittamaan ajoissa asiakkaille, mutta tuotantoa rajoittaa kysynnän puute. Tällaisessa tilanteessa rajoite löytyykin luultavasti myynnin ja markkinoinnin puolelta eikä enää tuotannosta. (Pegels & Watrous 2005)

4. TUTKIMUSMENETELMÄT JA MATERIAALI

4.1 Työn luonne

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli perehtyä Nokian Raskaiden Renkaiden valmistusprosessiin ja selvittää eri tuotantovaiheiden asetus- ja vaihtoajoja sekä pyrkiä tämän tiedon avulla lyhentämään läpimenoajoja ja parantamaan tuotannon joustavuutta. Prosessin hahmottamisen avuksi luotiin arvovirtakuvauksia, joiden avulla pystytään helposti näkemään ongelmakohdat ja vastaamaan kysymykseen kuinka tuotantoprosessia parannetaan (Lovellet 2001). Arvovirtakuvaus on lean-tuotannossa usein käytetty menetelmä, jolla pyritään parantamaan läpimenoajoja ja poistamaan hukkaa. Nokian Raskailla Renkailla pyritään kohti tehokkaampaa imuohjausta ja tuotannon joustavuuden parantamista sekä nopeampia läpimenoajoja. Yrityksessä on otettu käyttöön viime aikoina muitakin leanin mukaisia työkaluja, kuten 5S. Yrityksessä on myös parhaillaan menossa projekteja, joiden päämääränä on järjestelmän joustavuuden ja laadun parantaminen sekä tehokkaampi tuoteseuranta. Tämänkin tutkimuksen yksi tavoite on edistää osaa näistä päämääristä ja tehdä Nokian Raskaista Renkaista kilpailukykyisempi.

Tutkimuksen empiirisessä vaiheessa kerättiin aineistoa tuotantovaiheista paikan päällä mittaamalla ja tämän lisäksi käyttämällä hyväksi sähköisesti saatavilla olevaa dataa tietokannoista ja aikaisemmista mittauksista. Empiirisessä vaiheessa tutustuttiin myös tuotantokoneisiin ja työmenetelmiin mitä tehtaalla käytetään. Työn luonteeseen kuului jalautuminen tehdasympäristöön ja konkreettinen havainnointi operaattoreiden ja tuotantokoneiden toiminnasta. Tutkimuksen lopputuloksena syntyi käsitys prosessien arvontuotosta ja läpimenoajoista ja sen perusteella esitettiin toimenpide-ehdotuksia kohdeyritykselle.

4.2 Käytetyt menetelmät ja aineiston keruu

Työn tutkimusote on konstruktiiivinen, halutaan mallintaa prosessia ja pyrkiä kehittämään organisaation toimintaa. Konstruktiiivinen tutkimusote etsii ratkaisua oleelliseen ongelmaan, joka on myös tutkimuksellisesti mielenkiintoinen. Tämän jälkeen aiheeseen tutustutaan ja syvennetään ymmärrystä aihepiirin teoriasta. Kun aihepiiristä on teoreettista tietoa, ongelmaan on tutustuttu ja tietoa kerätty, aloitetaan ratkaisumallin rakentaminen. Ratkaisu pyritään myös yhdistämään aikaisemmin löytyneeseen teoriapohjaan. Konstruktiiiviseen tutkimusotteeseen kuuluu vielä ratkaisun testaus ja toimivuuden osoittaminen, mutta tämä vaihe joudutaan jättämään diplomityön ulkopuolelle aikataulullisista syistä. (Kasanen et al. 1993) Kohdeorganisaation tulisi kuitenkin kriittisesti arvioida ratkaisun tuomia mahdollisuuksia ja harkita niiden käyttöönottoa tulevaisuuden prosessin parannustoimenpiteissä.

Työssä käytetyn aineiston keruu tapahtui pääasiassa kahden kuukauden aikana (loka- ja marraskuu) 2015 vuoden syksyllä. Työhön sisältyy neljä eri tuotetta, joita valmistettiin erissä vaihtelevina ajankohtina, joten riittävän aineiston kerääminen jokaisesta tuotteesta vaati tarpeeksi pitkän aikavälin. Kaksi kuukautta oli riittävä aika suhteutettuna työn laajuuteen ja kokonaisuuteen. Tuotteiden valmistusmäärien vaihdellessa osasta tuotteista valmistustietoja oli enemmän saatavilla kuin toisista. Tälläkin aikavälillä kerätystä aineistosta löytyy jo samankaltaisuutta, joten laajemman aineiston keruu työn näkökulmasta ei olisi välttämättä parantanut tarkkuutta merkittävästi.

4.2.1 Primääriaineiston kerääminen

Työssä käytetty aineisto voidaan jakaa primääri- ja sekundääriaineistoksi. Primääriaineistolla tarkoitetaan tutkimusta ajatellen kerättyä uutta aineistoa ja sekundääriaineistolla materiaalia, joka on jo kerätty mahdollisesti joltain muuta tarkoitusta varten (Saunders et al. 2000, s. 256). Työtä varten kerättiin empiirisesti lähinnä kvantitatiivista numeerista aineistoa tehtaan eri työvaiheista. Tähän työhön kerätty numeerinen aineisto on asetus-, jakson-, varasto- sekä työvaiheisiin käytettyjä aikoja. Näiden perusteella on laadittu työssä käytetyt arvovirtakuvaukset ja analyysit. Arvovirtakuvaus on käsitelty tarkemmin jo aiemmin kappaleessa 3.1.3.

Työn numeerinen aineisto on saatu kolmesta eri lähteestä:

1. Työprosesseja havainnoimalla.
2. Normeista laskemalla.
3. Sisäisiä tietokantoja tutkimalla.

Primääriaineiston kerääminen liittyy näistä edellä esitetyistä lähteistä ensimmäiseen kohtaan, työprosessien havainnointiin. Havainnoinnilla tarkoitetaan tässä yhteydessä strukturoitua havainnointia, jolla pyritään selvittämään esimerkiksi, kuinka kauan jokin asia kestää tai kuinka usein sitä tehdään. Strukturoitu havainnointi liittyy kvantitatiivisen aineiston keräämiseen. (Saunders et al. 2000, s. 300) Osa työvaiheista mitattiin empiirisesti kellottamalla, koska näistä vaiheista ei löytynyt aiempaa mittaustietoa. Käytännössä tämä tapahtui työpisteelle menemällä ja kellottamalla tietty määrä työsuorituksia. Eli konkreettisesti operaattoria tarkkaillen ja sekuntikellon kanssa jaksonaikoja mitaten. Kellottaminen pyrittiin toteuttamaan siten, että se tuntuisi mahdollisimman luonnolliselta eikä haittaisi työntekoa, jotta tarkkailutilanne aiheuttaisi mahdollisimman vähän muutoksia operaattoreiden rutiineihin. Kellottamalla selvitettiin lähinnä vaihto- ja jaksonaikoja.

Prosessin välisten varastoaikojen selvittämiseen rakennettiin erillinen seurantajärjestelmä, koska yrityksen sisältä ei löytynyt mitään erillistä seurantaa tai tietokantaa johon yksittäisten tuotteiden varastoajoja olisi tallennettu. Koska ristikudos- ja radiaalirenkaiden valmistus eroaa toisistaan, piti kummallekin rengastyypille tehdä hieman erilainen seuranta. Ristikudosrenkaissa seuranta oli kokoonpanon, kulutuspinnan käärinnän ja

paiston välillä, joten tästä saatiin selville kaksi erillistä välivarastoaikaa. Radiaalirenkaissa seurattiin kokoonpanon ja paiston välistä varastoaikaa.

Seurantajärjestelmä perustui renkaiden mukana kulkevien jäljitettävyyksnumeroiden kirjaamiseen. Jäljitettävyyksnumeron ja valmistusviikon yhdistelmä on jokaisella renkaalla ainutlaatuinen, joten jokainen rengas voidaan identifioida tämän perusteella. Käytännössä työkonoiden operaattorit kirjasivat aina oman työvaiheen jälkeen, ennen kuin rengas lähti välivarastoon, erilliselle seurantapaperille renkaan jäljitettävyyksnumeron, kellonajan, päivämäärän sekä renkaan tuotekoodin (T-koodi). Koska seurantaan otettiin mukaan vain tiettyjä renkaita, merkittiin ne keltaisilla ”post-it” lapuilla. Tämä tehtiin, jotta seurattavat renkaat pystyttäisiin erottamaan niistä renkaista, joita ei seurattu ja merkitsemään seurantapapereille prosessin myöhemmissä työvaiheissa. Yhdistämällä näiden seurantapapereiden tiedot saatiin selville jokaisen renkaan yksilöllinen varastoaika eri työvaiheiden välillä. Seuranta toteutettiin kahdessa muutaman viikon mittaisessa jaksossa loka- ja marraskuussa. Renkaiden seurantapaperimallit löytyvät liitteestä 1. Liitteissä on esitelty kokoonpanossa, käärimässä ja paistossa käytetyt lomakkeet, joihin operaattorit tekivät merkintöjä.

Varastoajoja mitaamalla pyrittiin selvittämään, paljonko keskeneräistä tuotantoa kasaantuu prosessien väliin ja miten pitkiä nämä ajat ovat. Keskeneräisellä tuotannolla on merkittävä vaikutus läpimenoaikoihin, kuten luvussa 3.3.2 todetaan. Tämän lisäksi rengastuotannossa rengas-aihioiden pitkät varastoajat voivat vaikuttaa renkaan rakenteeseen ja muotoon ja tästä voi seurata myöhemmässä vaiheessa laatuongelmia.

Paistopuristimen vaihtoaikaa, eli muotinvaihtoa mitattaessa tarkasteltiin myös vaihdon aikana tapahtuvia toimenpiteitä ja niiden kestoja. Näiden perusteella laadittiin muotinvaihtoa tarkasteleva SMED-analyysi. Analyysin pohjalle tuli kehittää muotinvaihtoa nopeuttavia ja helpottavia toimenpiteitä, esimerkiksi työmenetelmiä kehittämällä tai teknisiä muutoksia tekemällä. Tämän tiedon keräämiseen käytettiin hyväksi osallistuvaa havainnointia, eli osallistutaan toimintaan, mutta samalla toimitaan myös tutkijan roolissa ja havainnoidaan (Saunders et al. 2000, s. 293) Tämä tarkoittaa sitä, että osallistuttiin osittain muotinvaihtoon ja samalla pyrittiin saamaan selville siihen sisältyviä ongelmakohtia avoimesti juttelemalla vaihtoa suorittaville operaattoreille. Samalla saatiin aikaiseksi luottamus, jolloin avoimempi tiedonvaihto oli helpompaa. Muotinvaihdon parannustoimenpiteitä mietittiin myös kirjallisuudesta saatujen esimerkkien pohjalta. Näitä oli esimerkiksi pikakiinnikkeiden käyttö tai osien standardointi. Muotinvaihdon parannuspotentiaaliin liittyvät tekijät saatiin yhdistelemällä operaattorilta saatuja tietoja omaan havainnointia sekä kirjallisuuden esimerkkejä.

4.2.2 Sekundääriaineiston kerääminen

Sekundääriaineisto koostuu normeista ja sisäisistä tietokannoista saaduista aineistoista. Normit ovat työkohtaisesti mitattuja ja sovittuja suoritusajoja, eli niistä voi selvittää eri

työvaiheiden pituuksia. Nokia Raskaiden Renkaiden tehtaalla suurin osa työvaiheista on normitettu, joten osa vaihto- ja jaksonajoista saadaan näin selville. Sisäiset tietokannat tarkoittavat työraportteja, renkaiden valmistusreseptejä ja tehtaan tuotannon seurantaan tehtyjä työkaluja. Työraporttien osalta seurattiin ainoastaan rollerin ja pintalinjan toimintaa, joista tehdyt työsuoritukset kirjataan yrityksen sisäiseen NTICE-järjestelmään. NTICE-järjestelmä on rollerilla ja pintalinjalla käytetty sähköinen tietokanta, jonne operaattorit laativat työaika- ja raportit. Järjestelmää käytetään yrityksen sisällä tuotannon seuraamiseen, josta käy ilmi työn aloitus- ja lopetusaika sekä valmistetun erän koko. Taulukosta 3 näkyy eri työkonelkohtaiset mittausmenetelmät.

Taulukko 3. Työssä käytetyt työkonelkohtaiset mittausmenetelmät.

Työkone	Vaihtoaika	Jaksonaika
Roller LT46	NTICE	NTICE
Pintalinja LT35	Mittaus	NTICE
Pocket	Normi	Normi
Koordi LK47/LK227	Mittaus	Normi
Ydin SE1389	Normi	Normi
Apex SE1419	Mittaus	Mittaus
Kaapelisuojaus	Mittaus	Mittaus
LK64	Normi	Normi
Steelastic	Normi	Normi
Kokoonpano BUKO/WMI	Normi	Normi
Kokoonpano RAD	Normi	Normi
SW-Käärinä	Normi	Mittaus
Paisto	Mittaus	Resepti

Numeroarvojen tarkkuus vaihtelee mittaustavasta riippuen. NTICE tulokset jaksonajan puolelta ja jaksonajan mittaukset on laskettu sekunnin tarkkuudella, kuten myös jaksonajan normit. Paiston jaksonaika on esitetty minuutin tarkkuudella, kuten myös paiston vaihtoaikojen mittaukset. Muuten vaihtoaikojen puolella tulokset on laskettu minuutin tarkkuudella. Varastoaikojen suhteen kokoonpanon ja paiston välillä tulokset on saatu minuutin tarkkuudella ja komponenttien varastoaikat on kerätty päivän tarkkuudella.

Sekundäriaineiston keräämistä vaikeutti hieman se, että kenelläkään ei ollut tarkkaa käsitystä siitä, mitä tietoja minnekkin kerätään. Normien ja työraporttien tulkinta vaati myös perehtymistä kyseisiin aihealueisiin. Aineiston keräämiseen liittyi samalla myös toiminnan havainnointia, prosesseihin tutustumista ja lukuisia tunteja tehtaalla kiertämistä. Samalla tuli esimerkiksi tutustuttua tehtaan 5S toimintaan.

Komponenttien varastoaikojen selvitys perustuu myös sekundäriaineiston hyväksikäyttöön. Komponenttien mukana kulkee aina seurantalappu, johon on merkitty kyseisen

komponentin tekopäivä. Seuraamalla kokoonpanokoneiden luokse tuotavia komponenttien seurantalappuja, saadaan komponentin valmistuksen ja kokoonpanon välinen aika, eli varasto-aika selville.

4.3 Aineiston analyysi

Aineiston analyysi kokoaa eri lähteistä saadun tiedon yhteen pakettiin ja helpommin analysoitavaan muotoon. Aineiston analyysin pohjana on mittaustuloksista, eli jakson-, vaihto-, ja varastoajoista laaditut arvovirtakuvaukset, joiden perusteella pyritään hahmottamaan eri tuotteiden tuotantoprosesseja ja prosessin kehityskohteita. Erityisesti aineistosta pyritään löytämään pullonkauloja ja tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa pullonkaulojen syntyyn. Aineistoa analysoidessa pyritään myös löytämään yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia eri tuotteiden tuotantoprosesseista, eli asettuuko pullonkaulat samoille kohdille, mitkä työprosessit vievät eniten aikaa ja missä työprosesseissa vaihtoajat ovat pisimmät.

Varastoajoista saadun erillisen tiedon avulla on mahdollista myös havainnoida tuotantoprosessin tilaa ja pyrkiä saamaan lisätietoa mahdollisista ongelmista. Varastoajoista on mahdollista löytää eroavaisuuksia tuotteiden varastoinnin ja kierron osalta ja pyrkiä löytämään syitä näille ilmiöille. Seuraavissa luvuissa keskitytään tulosten esille tuontiin ja niiden pohjalta tehtyihin analyyseihin ja johtopäätöksiin.

5. TULOKSET

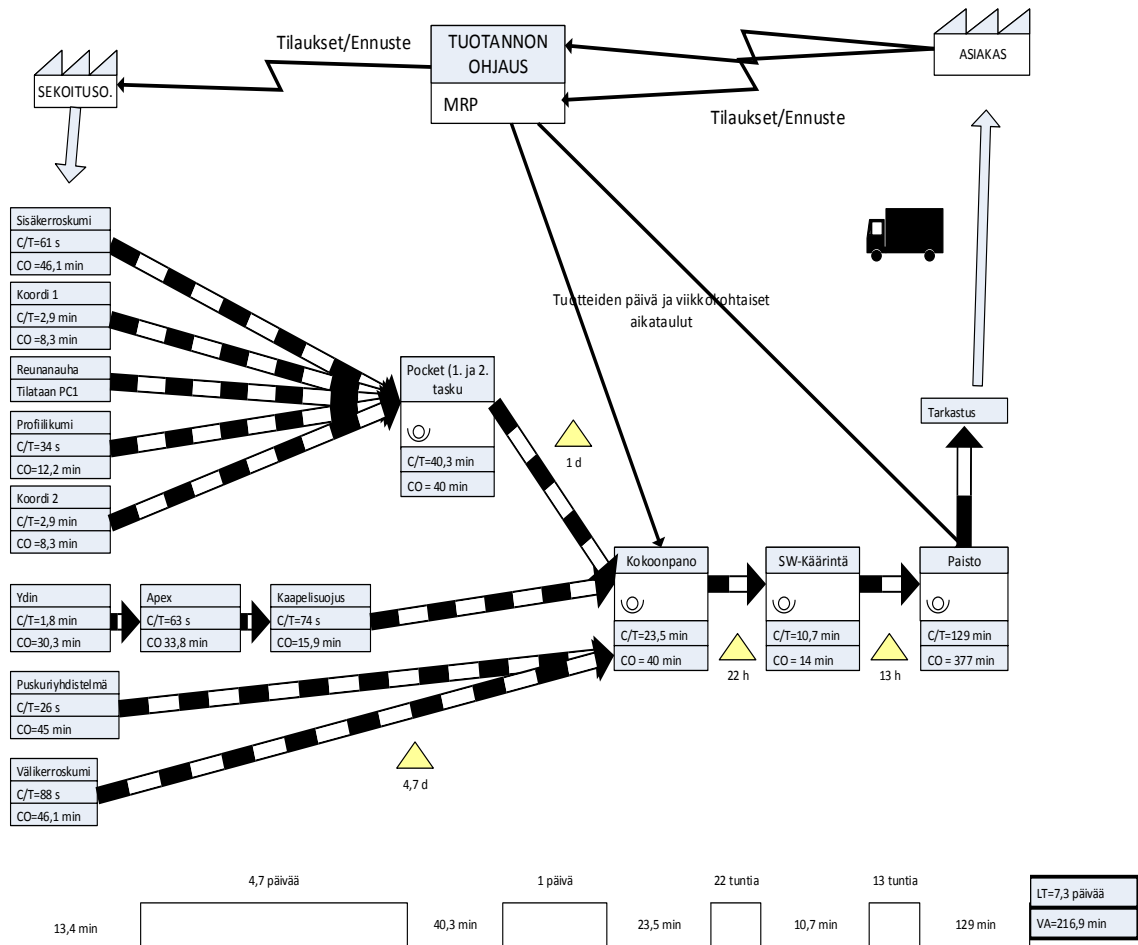
5.1 Prosessikohtaiset mittaustulokset ja arvovirtakuvaukset

Tulosten esittelyssä pyritään tuomaan saadut tulokset havainnollisesti esille ja tulosten varsinainen analysointi tapahtuu seuraavassa luvussa. Jokaiselle tutkimuksen renkaalle on luotu oma arvovirtakuvaus, josta näkyy eri työvaiheiden vaihto-, varasto- ja jaksonajat sekä läpimenoaika ja arvoa lisäävä aika. Arvovirtakuvauksista voidaan helposti huomata mikä prosessissa aiheuttaa hukkaa ja varsinkin tämän tutkimuksen arvovirtakuvaukset tuovat hyvin ilmi prosessin epäkohdat ja kehitystarpeet. Arvovirtakuvaukset pohjautuvat edellisen luvun taulukon 3 mukaisiin mittauksiin. Tämän lisäksi varastoajat on selvitetty erillisillä menetelmillä, hyödyntäen komponenttipakkojen seurantalappuja ja erillisiä seurantalappereita.

Esitettyjen tuloksien tarkoituksena on kuvata renkaiden valmistusprosessia ja tämän prosessin eri vaiheiden kestoja. Tuloksia tarkasteltaessa on hyvä huomata kuinka paljon eri prosessien kestot vaihtelevat, kuvatut arvot koskevat kuitenkin aina yhden renkaan valmistamiseen liittyviä aikoja. Jokainen rengas myös koostuu hieman eri komponenteista ja valmistusvaiheista, joten arvovirtakuvausten vaiheet myös vaihtelevat. Jokaisella renkaalla on kolme päävaihetta: komponenttien valmistus, kokoonpano ja paisto. Tämän työn tapauksessa jaksonajat kokonaisuudessaan katsotaan kuvaavan arvon lisäystä, vaihtoajat ja varastoajat puolestaan eivät lisää arvoa.

5.1.1 Forest King F2

Forest King F2 on ristikudosrengas, joten renkaan valmistus alkaa komponenttien valmistuksesta, jonka jälkeen tehdään taskut. Tätä seuraa kokoonpano, tämän jälkeen kääritään kulutuspinna ja lopuksi suoritetaan paisto. Kuvassa 7 on kyseisen renkaan arvovirtakuvaus sekä jokaisen työvaiheen vaihto- (CO) ja jaksonaika (C/T). Kuvan yläreunaan on mallinnettu informaation kulkua ja mistä valmistuksen käynnistävät signaalit tulevat. Työ käsittelee valmistuksen vaiheita kokoonpanosta paistoon, joten näiden vaiheiden kestot on myös määritelty arvovirtakuvaukseen. Kuvan alalaidassa on nähtävillä vielä eri vaiheiden kokonaiskestot (komponenttien valmistus, tasku, kokoonpano, SW-käärintä ja paisto) sekä koko prosessin arvoa tuottava osuus (VA) ja läpimenoaika (LT). Pocketin ja kokoonpanon välinen varastoaja on määritetty ristikudosrenkaille käyttäen hyväksi jo olemassa olevia arvovirtakuvauksia. Komponenttipuolella osa valmistettavista komponenteista tilataan PC1:seltä, eli tehtaan henkilöauton renkaita valmistavalta yksiköltä, joten niille ei ole määritelty erillistä vaihto- tai jaksonaikaa. Forest King F2 tapauksessa esimerkiksi reunanauha on tilattu PC1:sen puolelta.



Kuva 7. Forest King F2 arvovirtakuvaus.

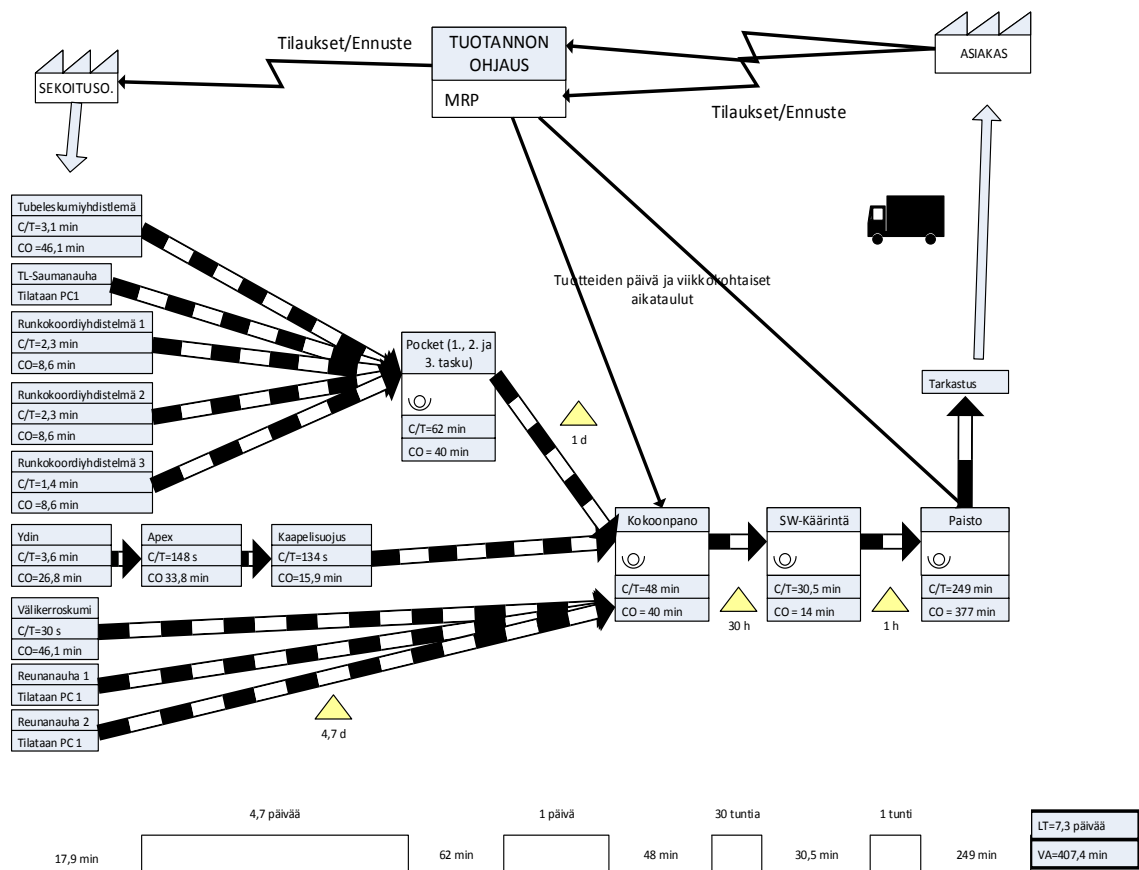
Kuvasta 7 käy ilmi, että Forest King F2 komponenttien valmistukseen yhteensä käytetty aika on 13,4 minuuttia. Yksittäisen komponenttien valmistuksesta koordin leikkuu vie eniten aikaa keskimäärin 2,9 minuuttia. Forest King F2 koostuu kahdesta taskusta ja näiden valmistukseen menee yhteensä 40,3 minuuttia. Kokoonpano kestää 23,5 minuuttia, jonka jälkeen kulutuspinnan käärintä vie 10,7 minuuttia. Viimeinen prosessin osa on paisto, joka kestää 129 minuuttia. Arvoa lisääväksi ajaksi kyseisen renkaan kohdalla saadaan 216,9 minuuttia. Keskimäärin yhden Forest King F2-renkaan prosessin läpimenoaika on 7,3 päivää.

Vaihtoaikojen osalta muotinvaihto, eli paistoon liittyvä vaihto on kestoltaan pisin, hieman yli kuusi tuntia. Muut prosessin vaihtoajat ovat huomattavasti lyhyempiä. Seuraavaksi pisin vaihtoaika on rollerilla 46,1 minuuttia. Arvovirtakuvauksen keltaiset kolmiot merkitsevät varastoajoja. Läpimenoajasta pisin yksittäinen aika kuluu komponenttien ja kokoonpanon välisenä varastoajana, joka on lähes viisi päivää. Forest Riderillä on suhteellisen pitkä välivarastointiaika käärintä ja paiston välillä, jos verrataan esimerkiksi Mine Kingiin. Kokoonpanon ja käärintä välinen varastoaika on noin vuorokauden luokkaa.

5.1.2 Mine King L-5S

Mine King on toinen tarkasteltavista ristikudosrenkaista, joten se noudattaa pitkälti samaa valmistusprosessia Forest Kingin kanssa. Mine Kingin ja Forest Kingin valmistus eroaa lähinnä siinä, että Mine King tehdään kolmesta taskusta ja siihen kääritään huomattavasti enemmän kulutus pintaa verrattuna Forest King F2:seen, joten paistoaikakin on paljon pidempi. Mine King eroaa myös siinä muista tarkasteltavista renkaista, että siihen tulee yhteensä neljä kaapelia, kun muihin tulee kaksi. Kaapelin tarkoitus on pitää rengas koossa ja tiukasti vannetta vasten.

Kuvaan 8 on mallinnettu Mine Kingin arvovirtakuvaus. Mine Kingin komponenttien valmistukseen käytetty aika on 17,9 minuuttia. Rengaan rakenne koostuu kolmesta eri taskusta ja näiden valmistukseen menee 62 minuuttia. Kokoonpanon jaksonaika on 48 minuuttia ja käärintä kestää 30,5 minuuttia. Käärinnän pitkää kestoa selittää Forest Kingiin verrattuna lähes kaksinkertainen käärintäpaino. Viimeisenä vaiheena olevan paiston kesto on hieman yli neljä tuntia eli noin 249 minuuttia. Mine Kingin arvoa lisääväksi ajaksi saadaan 407,4 minuuttia ja koko läpimenoajaksi Forest Kingin kanssa sama, eli 7,3 päivää.

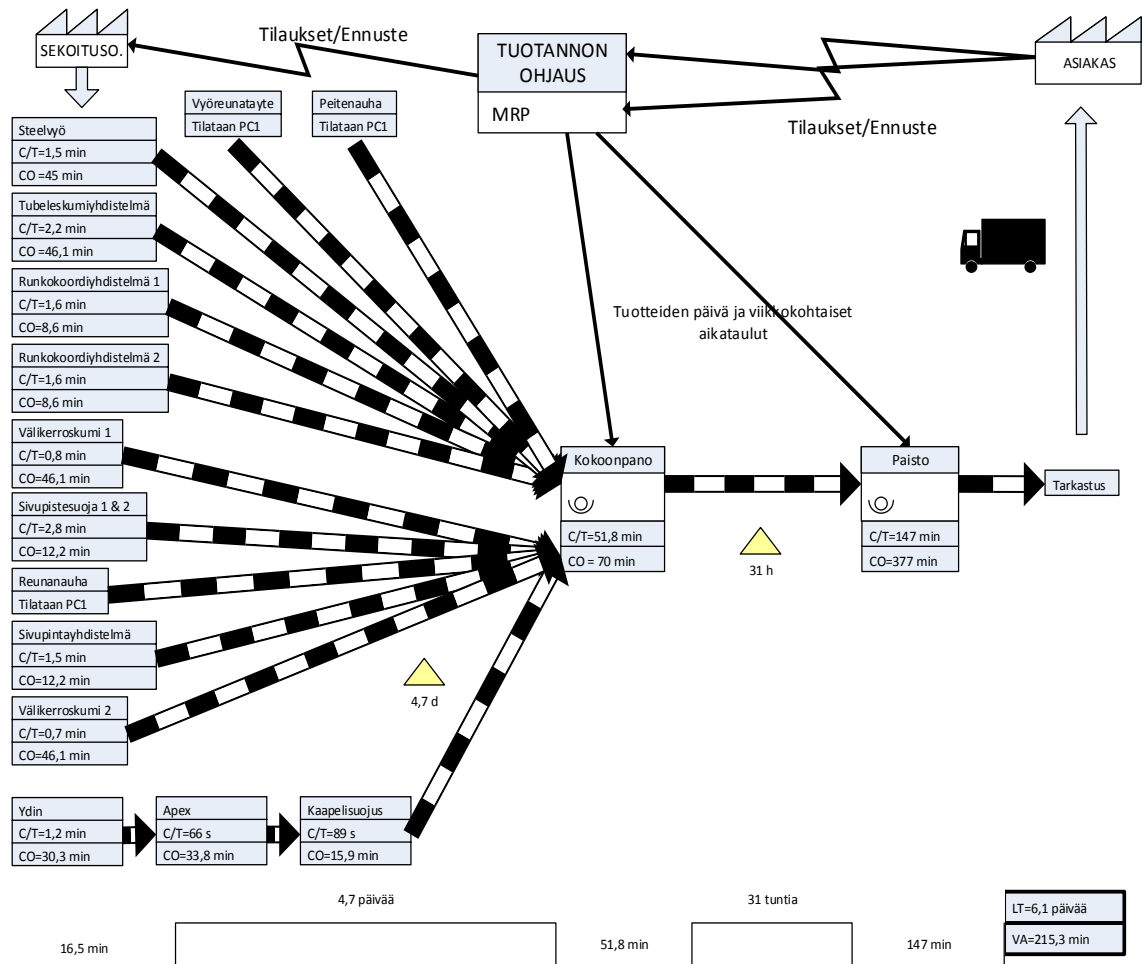


Kuva 8. Mine King L-5S arvovirtakuvaus.

Mine King noudattaa vaihtoajojen suhteen samoja lukuja kuin Forest King paitsi ytimen vaihtoajan suhteen. Välivarastoaikojen suhteen kokoonpanon ja käärimän välinen aika on yli vuorokauden, kun taas käärimästä renkaat pääsevät melkein suoraan paistoon. Edelleen komponenttien ja kokoonpanon väliin jäävä välivarastoaika on suurin yksittäisistä läpimenoaika lisäavista ajoista.

5.1.3 Forest Rider

Forest Rider on radiaalirengas ja sen tuotanto eroaa hieman ristikudosrenkaista, joten radiaalirenkaiden arvovirtakuvauskin on erinäköinen verrattuna ristikudospuoleen. Suurin ero on siinä, että erillistä taskua ei tehdä ja käärimä tapahtuu kokoonpanokoneiden yhteydessä. Tämän takia radiaalirenkaiden valmistuksessa syntyy myös vähemmän välivarastoja. Kuvasta 9 käy ilmi Forest Riderin arvovirtakuvaus.

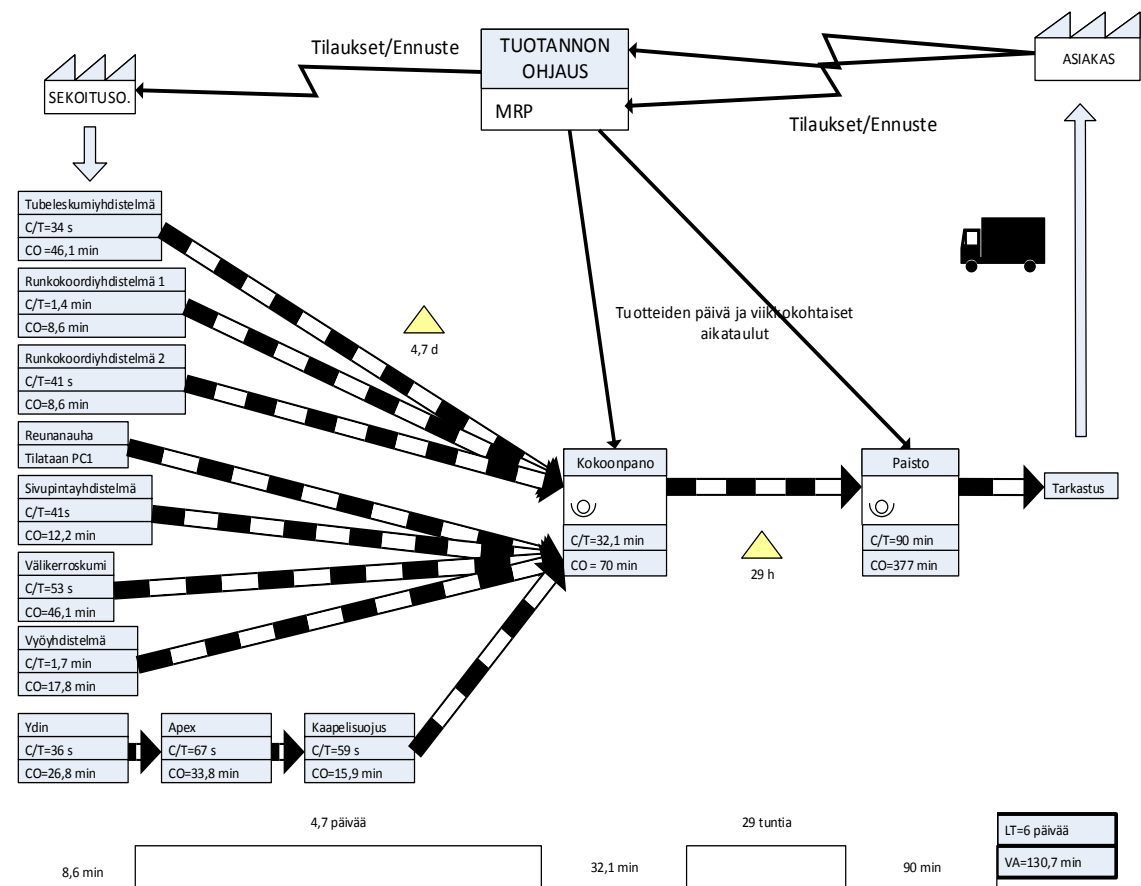


Kuva 9. Forest Rider arvovirtakuvaus.

Forest Riderin valmistus alkaa komponenttien valmistuksesta ja niiden yhteenlaskettu jaksonaika on 16,5 minuuttia. Tämän jälkeen kaikki komponentit menevät kokoonpanoon, jonka jaksonajaksi on saatu 51,8 minuuttia. Kokoonpano radiaalirenkaiden osalta sisältää kaksi vaihetta, aihion kokoonpanon sekä venytyksen johon kuuluu myös käärintä. Kokoonpanon jälkeen aihio siirtyy välivaraston kautta paistoon. Paiston kesto Forest Riderillä on 147 minuuttia. Renkaan valmistuksen arvoa lisääväksi ajaksi saadaan 215,3 minuuttia ja valmistuksen läpimenoaika yhteensä on 6,1 päivää. Forest Riderin valmistusprosessin pisin vaihtoaika on paistossa, liittyen muotinvaihtoon, noin hieman yli kuusi tuntia. Seuraavaksi pisin vaihtoaika on kokoonpanossa 70 minuuttia. Kolmanneksi pisin vaihtoaika on rollerilla 46,1 minuuttia.

5.1.4 TRI 2

TRI 2 on viimeinen tarkasteltavista renkaita ja Forest Riderin tapaan radiaalirengas. Kyseinen rengas on myös tarkasteltavista renkaista pienin, minkä myös voi huomata arvovirtakuvauksessa olevista jaksonajoista jotka ovat lyhyempiä, kuin muilla tutkittavilla renkailla. TRI 2:sen arvovirtakuvaus on kuvassa 10.



Kuva 10. TRI 2 arvovirtakuvaus.

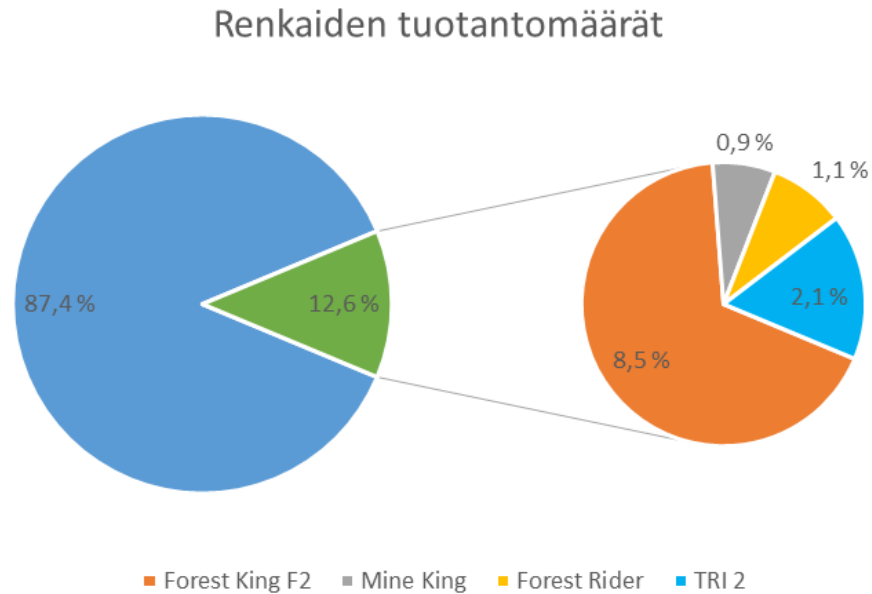
Kuvasta 10 käy ilmi, että TRI 2:sen komponenttien valmistuksen yhteenlaskettu jaksonaika on keskimäärin 8,6 minuuttia. Kokoonpano vie 32,1 minuuttia. TRI 2:sella on myös tarkasteltavista renkaista lyhin paistoaika, 90 minuuttia. Renkaan valmistuksen arvoa lisääväksi osuudeksi saadaan 130,7 minuuttia ja koko valmistusprosessin läpimenoajaksi kuusi päivää. Pisimpien vaihtoaikojen suhteen TRI 2 noudattaa samoja linjoja Forest Riderin kanssa. Muotinvaihto vie hieman yli kuusi tuntia ja seuraavana tulee kokoonpanon vaihto aika, joka on noin 70 minuuttia. TRI 2 arvoa lisääväksi ajaksi saadaan keskimäärin 131 minuuttia.

TRI 2:sen pisin vaihto aika on muiden renkaiden tavoin paistossa, hieman yli kuusi tuntia. Koska TRI 2:sta valmistetaan radiaalikonereilla, on sillä sama kokoonpanon vaihto aika kuin Forest Riderillä, eli 70 minuuttia. Kolmanneksi pisin vaihto aika on rollerilla 46,1 minuuttia. Varastoaikojen suhteen TRI 2:nen ja Forest Rider ovat lähellä toisiaan ja ristikudosrenkaita. Ero on siinä, että radiaalipuolella renkaat menevät suoraan kokoonpanosta paistoon, joten arvovirtakuvauksissa on merkittynä yksi varastoaika vähemmän. Esimerkiksi, jos tarkastellaan ristikudosrenkaita ja lasketaan kokoonpanon ja paiston väliset varastoajat yhteen, ovat ne suhteellisen lähellä radiaalirenkaiden varastoaikoja.

5.2 Varastoaikojen mittaustulokset

Varastoaikojen mittaus kokoonpanon ja paiston välillä toteutettiin käyttäen renkaiden seurantalapereita ja komponenttipuolella käyttäen komponenttipakkojen seurantalappuja. Varsinkin kokoonpanon ja paiston välillä varastoaikojen mittauksiin vaikutti paljon, miten usein kyseistä rengasta valmistettiin. Renkaiden sarjojen tuotanto voi jakautua ajallisesti mietittynä suhteellisen epätasaisesti, riippuen paljon siitä, milloin renkaan tilauksia tulee ja miten kiireelliset toimitusajat kyseisissä tilauksissa on. Tämä vaikuttaa siihen paljonko renkaista on mahdollista kerätä tietoa tutkimuksen ajankohdan aikana. Varsinkin renkaiden kohdalla, joiden valmistusmäärät ovat pieniä, voi valmistettavien sarjojen välillä olla pitkiäkin taukoja. Toisaalta renkaita, joilla on paljon kysyntää, valmistetaan toistuvasti ja usein myös varastoon, tulevia tilauksia varten.

Kuten kuvasta 11 näkee, Forest King F2:sta ja TRI 2:sta valmistetaan huomattavasti enemmän, kuin Mine Kingiä tai Forest Rideriä. Kappalemääriä katsoessa näistä neljästä tuotteesta Forest King F2:sen valmistusosuus on noin 68 prosenttia ja TRI 2:sen 17 prosenttia, joten ne yhdessä muodostavat 85 prosenttia tutkittavien renkaiden valmistuksesta. Tämä vaikuttaa suoraan siihen, paljonko tietoa eri renkaiden varastoajoista on saatavilla. Tämän takia varastoaikoja tarkasteltaessa, näille kahdelle renkaalle kertyi eniten seurantalamerkitöjä.



Kuva 11. Renkaiden prosentuaaliset tuotantomäärät vuonna 2015.

Kuvaan 11 on myös merkitty tutkittavien renkaiden osuus koko Nokian Raskaiden Renkaiden kappalemääräisestä tuotannosta. Voidaan nähdä, että vuonna 2015 neljän tutkittavan renkaan osuus koko tuotannosta on ollut lähes 13 prosenttia. Kokonaisuudessaan valmistettuja rengasnimikkeitä on noin 200. Tuotekohtaiset varastoajat on merkitty arvovirtakuvauksiin, mutta seuraavissa kappaleissa on avattu tarkemmin varastoajojen seurauksesta saatuja tuloksia.

5.2.1 Kokoonpanon jälkeiset varastoajat

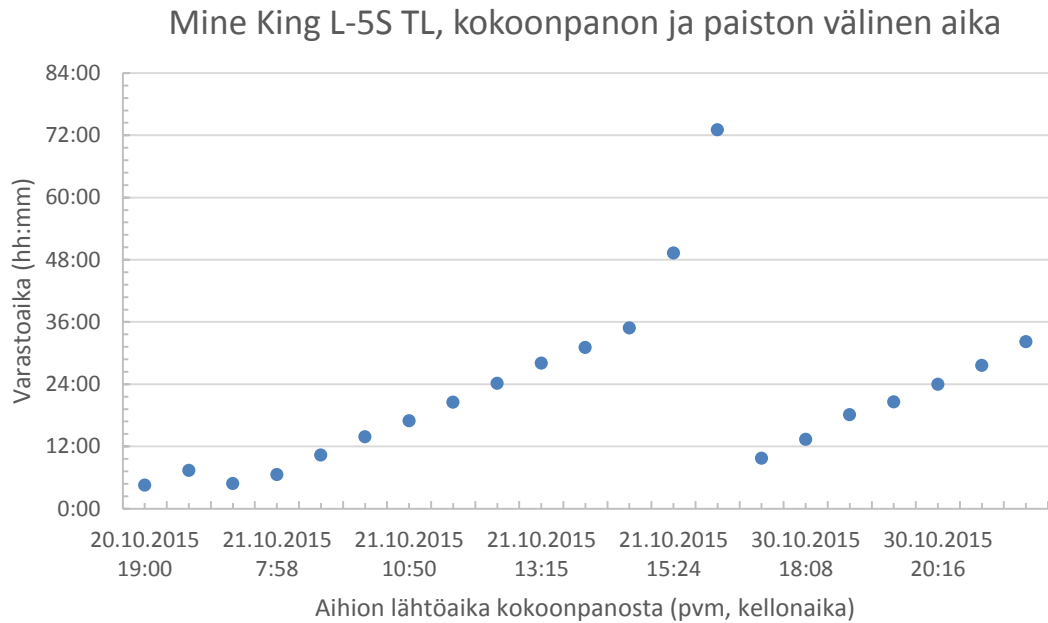
Kokoonpanon jälkeisissä varastoajoissa ristikudosrenkaille selvitettiin kokoonpanon ja käärimisen sekä käärimisen ja paiston väliset ajat. Kun taas radiaalirenkaille tuotantoprosessin erilaisuudesta johtuen selvitettiin vain kokoonpanon ja paiston välinen varasto aika. Taulukkoon 4 on koottu kokoonpanon jälkeisiä varastoajoja. Taulukkoon on merkitty kullekin tuotteelle lyhin, pisin ja keskimääräinen varasto aika. Esimerkiksi Forest King F2:sen kokoonpanon ja käärimisen välinen keskimääräinen aika on 22 tuntia 29 minuuttia ja lyhin aika tällä välillä on 4 tuntia 44 minuuttia ja pisin 46 tuntia 59 minuuttia.

Taulukko 4. Tarkasteltavien tuotteiden kokoonpanon jälkeiset varastoajat (hh:mm).

	Forest King F2	Mine King		Forest Rider	TRI 2
Kokoonpano - Käärintä	22:29	29:48	Kokoonpano - Paisto	30:44	28:57
minimi:	4:44	3:10	minimi:	3:52	0:50
maksimi:	46:59	72:11	maksimi:	55:03	64:40
Käärintä - Paisto	13:12	1:05			
minimi:	2:25	0:20			
maksimi:	45:25	2:55			

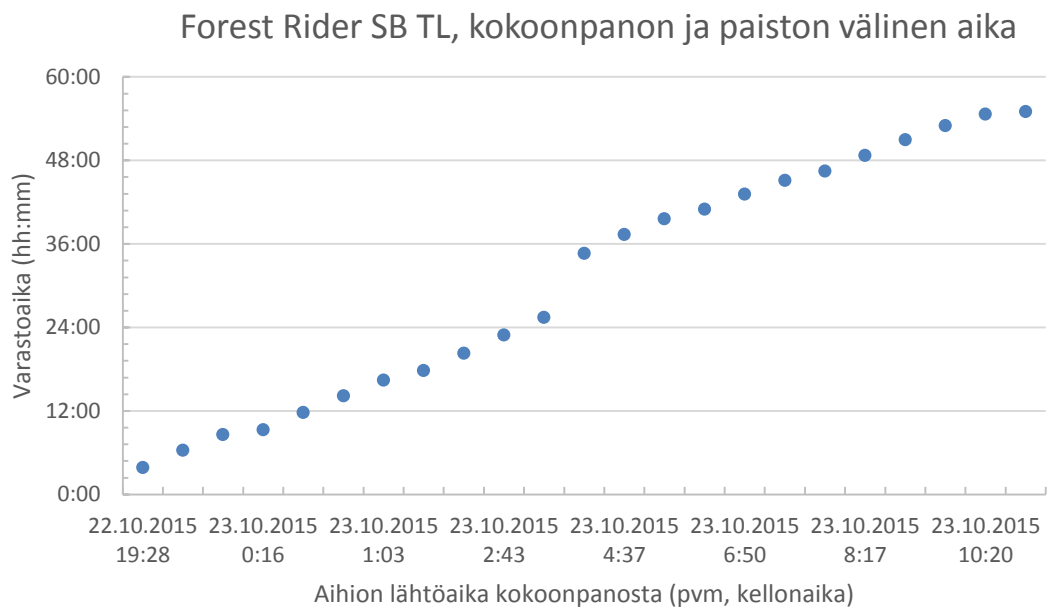
Rengaskohtaiset varastoajat on koottu kuvaajiin, joista näkee helposti niiden kehityksen. Kuvaajiin on merkitty varasto aika kokonaisuudessaan kaikille tuotteille, eli kokoonpanon ja paiston välinen aika, mikä tarkoittaa sitä, että ristikudostuotteilla kokoonpanon ja käärrinnän välinen aika sekä käärrinnän ja paiston välinen aika on laskettu yhteen. Kokoonpanon ja paiston välistä varasto aikaa säädellään tuotannonsuunnittelun puolella siten, että kokoonpanosarjoista tehdään pienempiä esimerkiksi 20 renkaan kokoisia ja vastaavasti paiston sarja voi olla jopa 100 rengasta. Tämä tarkoittaa sitä, että paisto tekee yhteen putkeen koko pitkän sarjan ja kokoonpano varmistaa pienemmillä sarjoilla, että paistolla riittää aihioita paistettavaksi.

Kuvaan 12 on merkitty Mine Kingin varasto aikojen mittaustulokset. Kuvaajan x-akseli kuvaa aikoja, jolloin aihio on valmistunut kokoonpanosta ja lähtenyt välivarastoon. Y-akseli kertoo varasto ajan, kauanko aihio on ollut välivarastossa, ennen kuin se on otettu paistoon. Y-akseli ilmoittaa varasto ajan tunneissa ja minuuteissa. Jokainen piste kuvaa yhden renkaan varasto aikaa. Kuvaajaan on siis ristikudosrenkaissa yhdistetty kokoonpanon ja käärrinnän sekä käärrinnän ja paiston väliset ajat. Kyseisen mittausjaksojen aikana Mine Kingiä on valmistettu kaksi erää, joka käy ilmi x-akselilta useamman päivän mittaisena kokoonpanon taukona. Kuvasta 12 huomaa varasto aikojen melkein lineaarisen kasvun sarjan edetessä. Kuvasta käy myös ilmi, että mittausten aikana on tehty kahta erillistä sarjaa, ensimmäinen sarja on aloitettu 20. päivä ja toinen 30. päivä.



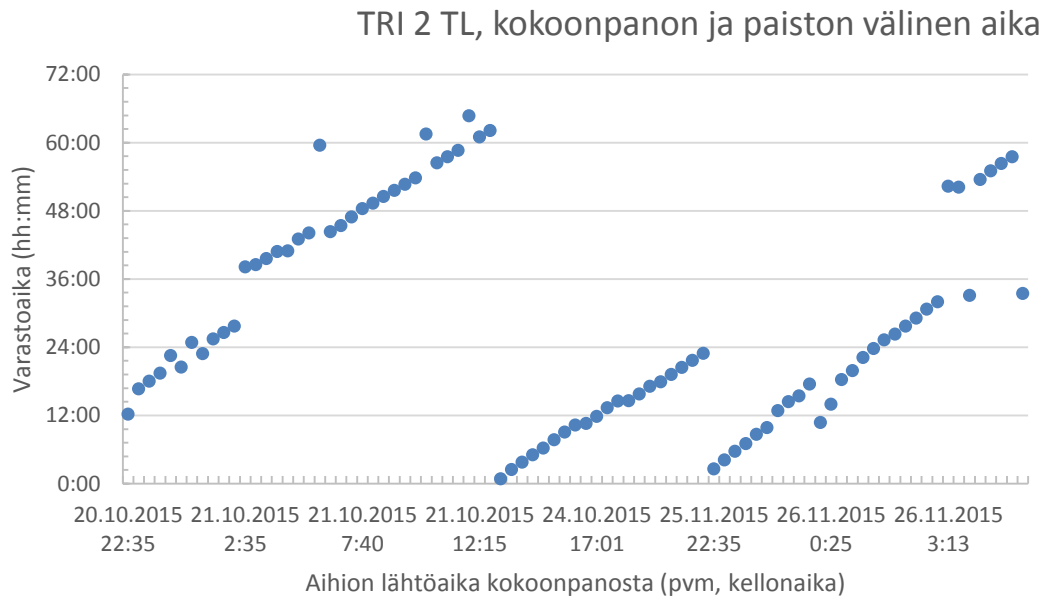
Kuva 12. Mine King varastoaajat.

Kuvasta 13 näkee Forest Riderin varastoaikojen mittaustulokset. Radiaalirenkaat menevät suoraan kokoonpanosta paistoon, joten varastoaika saadaan tästä suoraan. Kuvaajasta huomaa myös, että mittausjaksojen aikana kyseistä rengasta on valmistettu vain yksi sarja. Myös Forest Riderin varastoaika kasvaa tasaisesti sarjan edetessä.



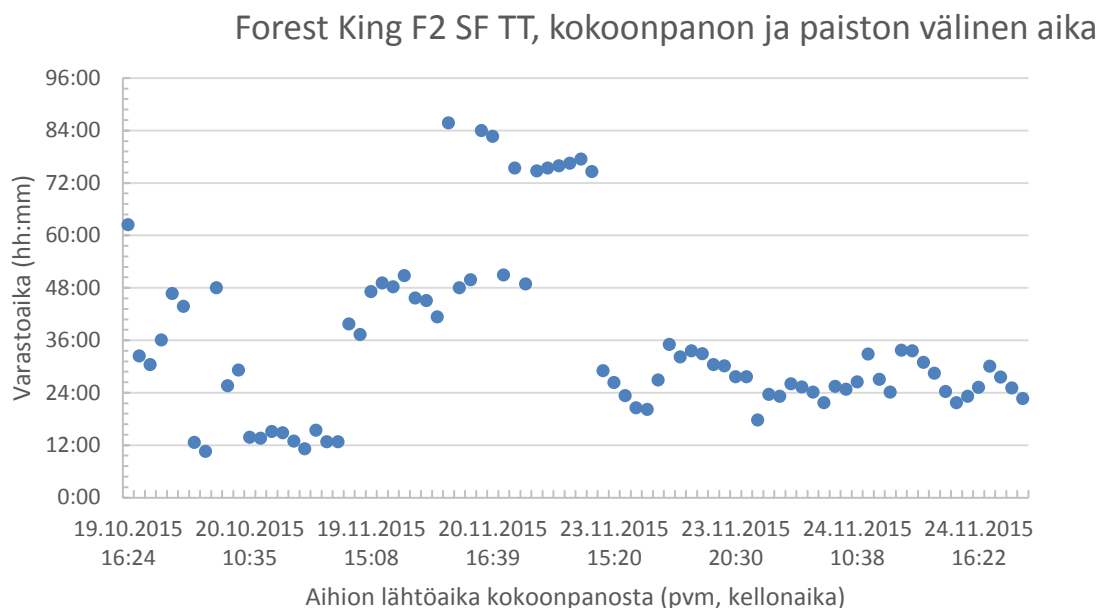
Kuva 13. Forest Rider varastoaajat.

Kuvassa 14 on TRI 2:sen varastoajat. TRI 2:sta valmistetaan enemmän, kuin Mine Kingiä tai Forest Rideriä, mikä näkyy myös saatujen varastoajkojen määrässä. Kuvassa on huomattavissa muutamia poikkeamia tasaisesti kasvavasta varastoajasta. Nämä poikkeamat voivat johtua operaattorin virhemerkinnästä renkaiden seurantalapussa tai siitä, että rengasta on jouduttu korjaamaan ennen paistoon menoa. TRI 2:sta on valmistettu kolme sarjaa mittausten aikana. Kolmannen sarjan lopussa on havaittavissa epäsäännöllisyyttä varastoajkojen kasvussa.



Kuva 14. TRI 2 varastoajat.

Viimeisenä kuvassa 15 on Forest Kingin varastoajat. Kuvaaja eroaa selvästi muista kuvaajista varastoajkojen käyttäytymisen suhteen, tähän huomioon palataan vielä tulosten analysoinnissa. Forest Kingistä on myös saatu enemmän varastoajkoja, kuin Mine Kingistä tai Forest Rideristä, mikä selittyy Forest Kingin suuremmalla valmistusmäärällä. Kuvan alussa varastoajat vaihtelevat suhteellisen paljon, mutta kuvan lopussa varastoajkojen vaihtelu tasoittuu. Forest Kingiä paistetaan kolmella muotilla ja välillä joku muotti on aina huollossa, tämä voi aiheuttaa vaihteluita varastoajkoihin.



***Kuva 15.** Forest King F2 varastoaajat.*

Kuvaajista on tarkoitus tunnistaa erilaisia säännönmukaisuuksia ja tuoda lisätukea arvovirtakuvausten pohjalta tehtäviin päätelmiin. Parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi kannattaakin käyttää erilaisia tutkimusmetodeja ja hyödyntää saatavilla olevaa informaatiota mahdollisimman monipuolisesti (Serrano et al. 2008).

5.2.2 Komponenttien varastoaajat ja mittausmäärät

Komponenttien varastoaikojen on tarkoitus kuvata kauanko keskimäärin komponenteilla kestää saapua kokoonpanoon niiden valmistuksen jälkeen. Toisin sanoen selvitetään komponenttien keskeneräistä tuotantoa ja niiden välivarastoissa viettämää aikaa. Komponenttien varastajoista löytyi suhteellisen paljon hajontaa ja näyttää sieltä, että välillä komponentit unohtuvat matkalle, koska joidenkin komponenttien kohdalla kokoonpanokoneelle saapuminen voi kestää useitakin viikkoja. Komponenttien varastoaikoja seurattiin päivän tarkkuudella. Komponenttien keskimääräiseksi varastojaksi saatiin noin viisi päivää ja pisin keskimääräinen varastoaika oli sisäkerroskumilla, jota säilytettiin välivarastossa noin seitsemän päivää. Keskimäärin kyseisellä komponentilla varastoaika oli noin neljä päivää, mutta muutaman komponenttierän pitkittynyt välivarastointi pidensi koko komponentin välivarastointiaikaa. Samaa oli havaittavissa myös muilla komponenteilla, eli muutamat pidemmät varastointiajat pidensivät koko keskimääräistä varastoaikaa huomattavasti. Komponenttien varastoaajat saattoivat vaihdella aina nollasta päivästä jopa 38 päivään.

Taulukkoon 5 on koottu yhteenveto työssä tehtyjen mittausten mittausmääristä. Kuvasta käy ilmi jaksonaikojen ja vaihtoaikojen mittausmäärät sekä NTICE-järjestelmästä saadut mittaukset.

Taulukko 5. Työn mittausmäärät.

Renkas:	Mittausmäärät:				
	Jaksonaika (Mittaus)	Vaihtoaika (Mittaus)	Jaksonaika (NTICE)	Vaihtoaika (NTICE)	Varastoaika
Forest King F2	40	5	5	5	82
Mine King L-5S	40	5	5	5	21
Forest Rider	40	5	5	5	23
TRI 2	40	5	5	5	85

Kappaleessa 4.2.2 esitelty taulukko 3 käsittelee eri mittausmenetelmät, joihin taulukossa 5 viitataan. Normit antavat aina yksittäisen arvon, joten niiden määriä ei ole taulukkaan merkitty. Jokaiselle tutkittavalle renkaalle mitattiin erilliset jaksonajat aina yhtä työkoneetta kohden. Useimmilla työkoneilla vaihtajat olivat samat renkaasta riippuen, joten näissä tapauksissa kaikille renkaille saatiin samat vaihtajat. Sekuntikellolla tehtäviä mittauksia suoritettiin aina 40 kappaletta yhteensä, tehden kaksi erillistä 20 mittauksen sarjaa. Vaihtoaikojen ollessa jaksonaikoja huomattavasti pidempiä, niistä kerättiin viisi mitaustulosta aina yhtä konetta kohden. Kokoonpanon ja paiston välisten varastoaikojen mittausmäärät käyvät ilmi varastoaika sarakkeesta ja yhteensä niitä suoritettiin 211. Komponenttien varastoaikoja kerättiin yhteensä 202.

6. TULOSTEN ANALYSOINTI

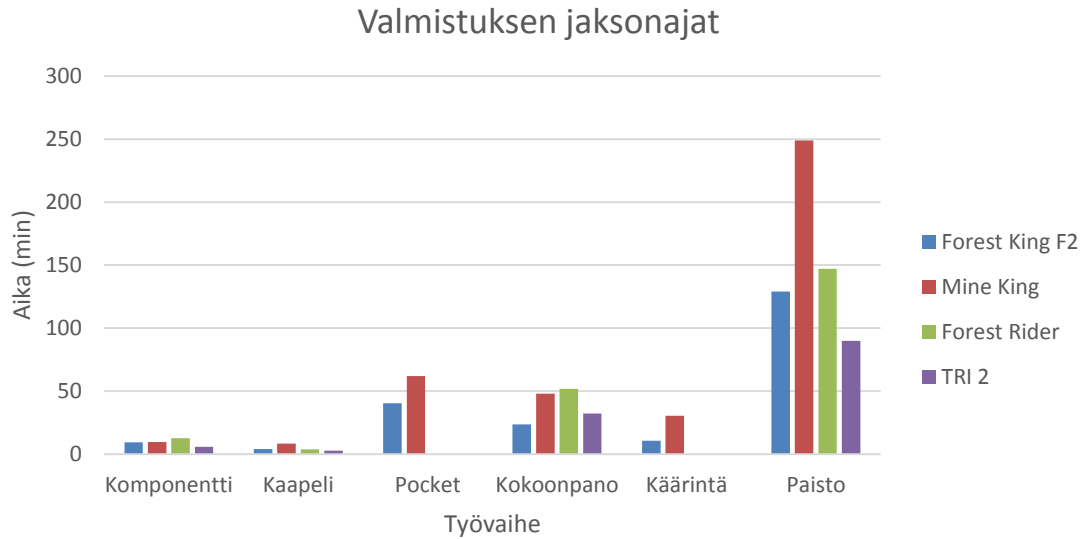
6.1 Havainnot tulosten pohjalta

Saatujen tutkimustulosten pohjalta voi tehdä useita johtopäätöksiä renkaiden valmistusprosessista ja sen sujuvuudesta sekä hahmottaa mahdollisia ongelmakohtia. Tulosten pohjalta tulisi löytää vastauksia diplomityön tutkimuskysymykseen, eli siihen kuinka tuotteiden läpimenoaikoja voi valmistusprosessissa lyhentää. Arvovirtakuvaukset antavat hyvän kuvan eri työvaiheiden kestoista ja varastoajoista. Varastoajojen mittausten pohjalta voidaan myös hakea tukea arvovirtakuvausten perusteella tehtäviin johtopäätöksiin.

Kappaleessa 3.3 on käyty läpi eri läpimenoaikaan vaikuttavia tekijöitä. Keskeisimmät tuotantoprosessin läpimenoaikoihin vaikuttavat tekijät ovat työpistekohtaiset prosessointiaijat ja prosessien väliset odotusajat (Monden 2012, kappale 7). Kirjallisuudessa on myös mainittu vaihtoajojen vaikutus läpimenoaikoihin (Monden 2012, kappale 11). Nämä kaikki läpimenoaikoihin vaikuttavat tekijät on mitattu ja merkitty arvovirtakuvauksiin. Prosessointiaijat, arvovirtakuvauksien jaksonajat ja prosessien väliset odotusajat on merkitty keskeneräisen tuotannon varastoajoina. Tämän lisäksi arvovirtakuvauksista löytyy myös vaihtoajat. Analysoimalla näitä edellä mainittuja muuttujia, pyritään pohtimaan millä tavoin läpimenoaikoja pystytään lyhentämään.

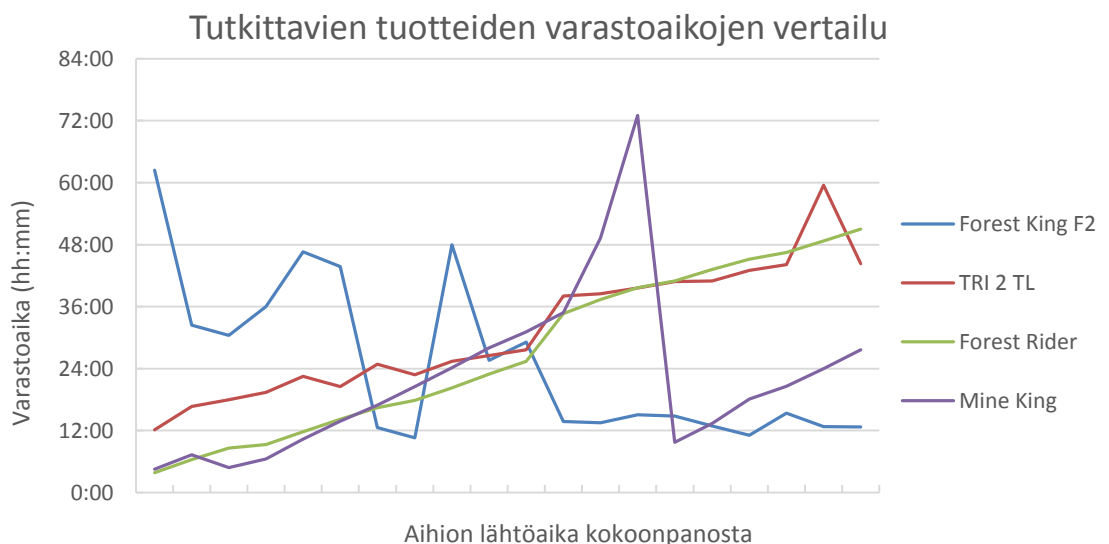
6.2 Prosessissa havaitut ongelmat

Kuvaan 16 on koottu tutkittavien renkaiden eri työvaiheiden jaksonajat. Komponenttien valmistus on taulukossa jaettu kahteen osaan, kaapelin valmistukseen ja muihin komponentteihin. Kaapelin valmistusaikaan on laskettu yhteen ytimen teko, apexointi ja kaapelisuojuksen laitto. Kuvassa merkitty komponentit, tarkoittavat loppujen komponenttien yhteenlaskettuja valmistusaikoja. Apexointi on työvaihe, jossa kaapelin ulkokehälle asetetaan kumipala, joka tukee renkaan rakennetta. Taulukosta voidaan huomata, että paisto on kaikilla tutkittavilla renkailla selvästi pisin työvaihe. Paiston jälkeen tulee pocketin kokoaminen, joka koskee vain ristikudosrenkaita ja sitten kokoonpano. Kaapelin ja komponenttien valmistukseen kuluu huomattavasti pienempi aika, kun renkaan valmistuksen muihin työvaiheisiin.



Kuva 16. Valmistuksen työvaihekohtaiset jaksonajat.

Kuten luvussa 3.4 mainitaan keinoja pullonkaulojen havaitsemiseen. Yksi keino on tutkia, minkä työpisteen eteen kertyy eniten keskeneräistä tuotantoa ja toinen on esimerkiksi tutkia työkonekohtaisia kapasiteettieroja. Jokaisella systeemillä on aina joku rajoittava tekijä, muuten kaikkien prosessien tuotto olisi ääretön, mikä ei ole mahdollista (Rahman 1998). Kuvasta 16 voidaan havaita siis, että paisto on työvaiheista prosessin pullonkaulan aiheuttaja, koska se on pisin yksittäinen työvaihe. Käyttämällä hyväksi kokoonpanon ja paiston välistä varastoaikaa, voidaan havaita keskeneräisen tuotannon kertyvän paiston eteen, mikä on nähtävissä myös kuvasta 17.



Kuva 17. Tutkittavien tuotteiden varastoaikojen vertailu.

Kuvasta 17 nähdään, että jokaisella tuotteella paitsi Forest King F2:sella varasto-aika kasvaa sarjan edetessä ennen paistoa. Tämä tarkoittaa sitä, että kokoonpanon jälkeen ensimmäiset renkaat sarjasta pääsevät suoraan paistoon, mutta koska paistoaika on pidempi kuin kokoonpanon jaksonaika, alkaa tuotteita kasaantua paiston eteen. Kasvu on paloittain lineaarista, koska jokaisen renkaan paisto lisää tietyn ajan seuraavan renkaan varasto-aikaan. Sarjan päättyessä renkaat paistetaan loppuun, jolloin uuden sarjan alkaessa ensimmäiset renkaat pääsevät suoraan paistoon. Tämä on nähtävissä esimerkiksi Mine Kingin osalta, jolla sarjan loppumisen jälkeen varasto-aika laskee uudestaan alas. Varasto-aika on myös suoraan yhteydessä keskeneräiseen tuotantoon, eli varastoajan kasvaessa myös keskeneräinen tuotanto kasvaa. Ristikudosrenkailla kokoonpanon keskeneräinen tuotanto ja varastoajat kasvavat lähinnä kokoonpanon ja käärintään välillä, koska paiston ja käärintään välillä toimii imuohjaus ja tuotteet otetaan käärintään paiston tehokkuuden mukaan.

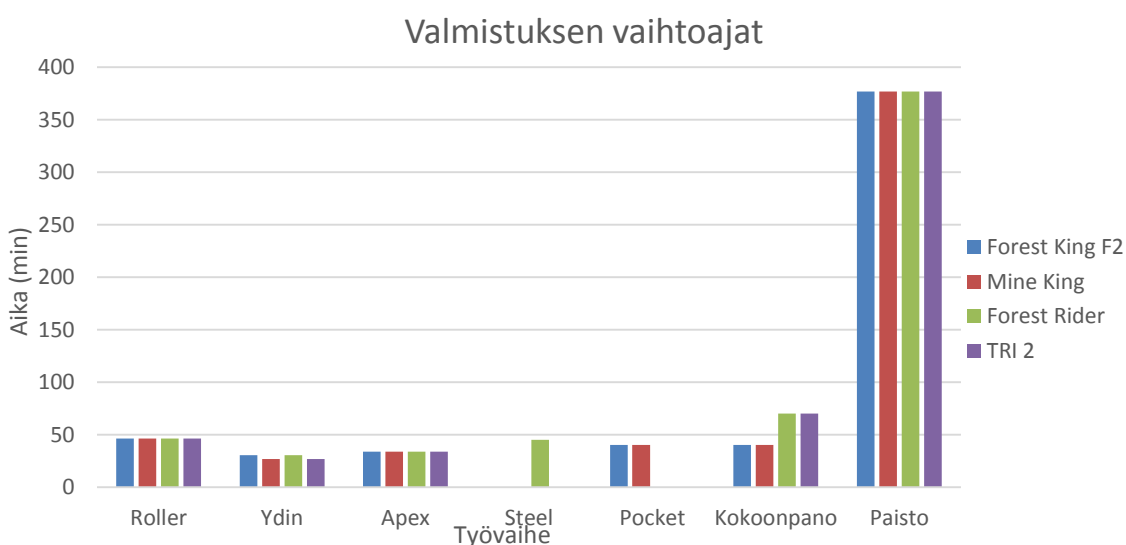
Tutkittavista tuotteista Forest King F2 ei noudata tätä samaa johdonmukaisuutta. Tähän on löydettävissä muutama eri selitys. Kyseinen tuote on tehtaassa eniten valmistettu rengas, joten sitä tuotetaan pitkiä sarjoja ja usein verrattuna muihin tuotteisiin. Koska rengas on tuotantomäärällisesti hieman eri asemassa muihin verrattuna, on siihen myös investoitu enemmän ja hankittu useampi muotti paistoa varten. Jo kahden muotin käyttö vähentää pitkän paistoaajan merkitystä pullonkaulan aiheuttajana puoleen alkuperäisestä. Muottien määrää tulee aina pohtia rengaskohtaisesti ja milloin useamman muotin hankinta ja käyttö on järkevää. Jos tuotetta, kuten Forest King F2:sta paistettaisiin vain yhdellä muotilla, kapasiteetti ei riittäisi vastaamaan tuotteen kysyntää ja periaatteessa varastoajat venyisivät äärettömän pitkiksi. Tuloksista voidaan havaita kyseisen renkaan olevan ainoa tutkittavista renkaista, jolla paisto ei ole pullonkaula. Tämä johtuu siitä, että rengas on myös ainoa, jota paistetaan useammalla muotilla. Tilanne on kuitenkin harvinaisen, sillä lähes kaikkia muita renkaita paistetaan vain yhdellä muotilla kerrallaan.

Myös komponenttipuolen välivarastointiajat ovat suhteellisen pitkiä. Jos mietitään koko tuotteen läpimenoaikaa, keskimäärin pisin aika, eli noin viisi päivää kuluu komponenttien välivarastointiin tietysti vaihdellen hieman komponenttien välillä. Toisaalta renkaan valmistuksen kannalta kriittisempää on kokoonpanon jälkeinen varasto-aika. Komponentit säilyvät suhteellisen hyvin välivarastoissakin, lukuun ottamatta tiettyjä kumeja joiden ominaisuudet muuttuvat ajan myötä. Toisaalta kokoonpanon jälkeiset rengasaihiot voivat painua kasaan oman painon johdosta, jos niiden välivarastointiajat ovat liian pitkiä. Komponenttien varasto-ajojen tarkkailua ei pystytty tämän diplomityön puitteissa toteuttamaan niin tarkasti, että voitaisiin suoraan todeta miksi ajat ovat näin pitkiä. Silti komponenttien mittaustiedoista voidaan havaita joidenkin komponenttien viettävän välivarastoissa useampiakin viikkoja, mikä kasvattaa komponenttien keskimääräistä varasto-aikaa. Nämä tapaukset ovat usein poikkeuksia ja voivat johtua esimerkiksi jonkun harvoin valmistettavan renkaan komponenteista, jolloin osa komponenteista jää yli odottamaan renkaan seuraavaa valmistuserää tai jossain tapauksissa komponenttiera voi epähuomiossa

unohtua välivarastoon. Komponenttipuolella toinen huomautettava asia on operaattoreiden toimintatavoissa. Esimerkiksi puoliksi käytettyjä komponenttikeloja ei käytetä uudestaan vaan tilalle otetaan aina täysi. Nämä puoliksi käytetyt kelat jäävät välivarastoihin vanhenemaan.

Kokoonpanon jälkeiset välivarastot voidaan todeta paistosta johtuvan pullonkaulan aiheuttamaksi. Kirjallisuudesta löytyy myös viitteitä paiston olevan usein syy rengastehtaiden pullonkauloihin. (European Tyre School, Controllability of a tyre factor 1999) Nämä pitkittyvät välivarastointiajat tuotantosarjojen aikana kasvattavat koko tuotantoprosessin läpimenoaikoja. Mitä pitempi tuotantosarja on kyseessä, sitä pidemmäksi välivarastointin aika ehtii kasvaa. Kuten luvussa 3.3.1 on mainittu, varastot voidaan nähdä kahdesta näkökulmasta: suojana virheitä vastaan tai rasitteena. Lähestyessä lean-tuotantoa varastot ovat rasite. Mietittäessä varastojen merkitystä tuotannossa, pullonkaulan aiheuttavalle työpisteelle pitäisi varmistaa jatkuva materiaalin saanti. Tämä voidaan turvata esimerkiksi erilaisin välivarastoin, mutta pyrkiessä kohti imuohjattua ja virheetöntä tuotantoa, ei varastoille pitäisi olla tarvetta.

Varasto- ja jaksonaikojen lisäksi prosessista mitattiin valmistuksen vaihtoajoja. Prosessin seitsemän pisintä vaihtoaikaa on merkitty kuvaan 18. Kuten kuvasta voidaan huomata, paistolla on merkittävästi pisin vaihtoaika. Paiston vaihtoaika tarkoittaa renkaan paistomuotoin vaihtamiseen kuluvaan aikaan. Kokoonpano tapahtuu eri koneilla radiaali- ja ristikudosrenkaille, näiden kokoonpanokoneiden vaihtoajat ovat myös erilaisia. Radiaalirenkaiden kokoonpanokoneen vaihtoaika on pidempi verrattuna ristikudosrenkaiden kokoonpanokoneeseen. Pitkät muotinvaihtoajat voivat motivoida tuotannonsuunnittelua suosimaan pitempiä sarjoja niin, että muotinvaihdot voitaisiin minimoida, mikä ennestään lisää paiston pullonkaulan vaikutusta ja kasvattaa varastoajoja.



Kuva 18. Valmistuksen keskimääräiset vaihtoajoja.

Kuvasta 18 nähdään, että joillain koneilla vaihtoajat ovat samoja eri tuotteille. Tämä johtuu siitä, että koneen asetustoimenpiteet ovat samat riippuen mitä tuotetta sillä valmistetaan. Vaihtoajat on lisäksi normitettu samoiksi tuotteesta riippumatta. Poikkeus on paisto, jossa vaihtoajat vaihtelivat noin viiden ja kahdeksan tunnin välillä. Kuvaan on kuitenkin merkitty keskimääräiset vaihtoajat. Se miksi kaikilla renkailla on sama paiston vaihto-aika, johtuu mittausasetelmasta ja mittausteknisistä syistä. Rengaskohtaisten muotinvaihtojen mittaaminen työn puitteissa ei onnistunut, johtuen muotinvaihdon järjestelystä tehtaalla. Muotinvaihto toimenpiteenä on kuitenkin riippumaton muotista ja aina lähestulkoon sama. Suurinta vaihtelua muotinvaihtoon kuluneeseen aikaan tuo hukka, ei niinkään se mistä muotista on kyse.

Paiston vaihto-aika on ehdottomasti pisin vaihtajoista ja jos pohditaan vaihtoaikojen merkitystä, on niillä suuri vaikutus tuotannon joustavuuteen. Kuten luvussa 3.2 mainitaan, vaihtoaikojen merkitys korostuu erätuotannossa, jossa koneilla valmistettava tuote vaihtuu usein ja koneen asetuksia joudutaan muuttamaan. Renkaiden tuotanto on vahvasti erätuotantoa, joten vaihtoaikojen merkitys korostuu. Koko ajan kasvavan rengasnimikkeiden määrä luo paineita vaihtoaikojen ja valmistuksen joustavuuden suhteen. Kun tehdään pitää pystyä valmistamaan koko ajan kasvava määrä eri rengasnimikkeitä, pitää tuotantokoneiden myös pystyä tähän tavoitteeseen. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotantokoneilla tehdään useammin ja suurempi määrä erilaisia tuotteita. Tällaisessa ympäristössä vaihtoaikojen merkitys korostuu. Tutkittavassa tuotantoprosessissa mittausten perusteella pisin vaihto-aika ja tuotannon pullonkaula sijoittuvat samalle koneelle. Tämä yhteisvaikutus tehostaa myös pullonkaulan vaikutusta.

6.3 Parannusehdotukset mittaustulosten pohjalta

Edellisestä luvusta voidaan havaita tuotannon läpimenoajan pääongelmien liittyvän pitkiin varastoaikoihin ja paiston pullonkaulaan. Pitkiä varastoajoja selittää osin paiston pullonkaulan aiheuttama keskeneräisen tuotannon kasvu. Komponenttien varastoajoille voi olla monta selitystä. Kuten aiemmin todettiin, jotkut komponentit voivat liittyä harvoin valmistettaviin renkasiin, jolloin komponenttipakat jäävät odottamaan seuraavaa sarjaa. Komponentteja voidaan myös tehdä tarkoituksella varastoon, esimerkiksi komponenttikoneen huollon takia, ettei tuotanto pysähdy tietyn komponentin puuttumisen takia. Komponenttien määrää ei seurata millään sähköisellä järjestelmällä, vaan niitä inventoidaan käsin kiertäen ympäri tehdasta. Tämän perusteella määritetään mitä komponentteja tarvitaan ja kuinka paljon sekä tehdään tilaukset komponenttikoneille.

Prosessin läpimenoajan parantaminen perustuu arvovirtakuvauksissa löydettyjen epäkoh-tien korjaamiseen. Parannustoimenpiteet voidaan kohdistaa paiston jaksonajan nopeuttamiseen, komponenttipuolen varastoaikojen pienentämiseen tai muotinvaihdon vaihtoajan lyhentämiseen. Luvussa 3.4 mainitun pullonkaulateorian mukaan yhden pullonkaulan poistaminen tekee jostain toisesta prosessin kohdasta aina uuden pullonkaulan. Pullonkaulateoriassa todetaan myös, että tehdään kapasiteetin määrittää prosessin pullonkaulan

kapasiteetti. Nokian Raskailla Renkailla paiston jaksonaika on yleensä yli kaksi kertaa suurempi kuin seuraavaksi suurin jaksonaika, joten tämän työn mitoissa ei ole järkeä paineutua muiden työvaiheiden tehostamiseen. Myöskään muiden työvaiheiden tehostaminen ei merkittävästi parantaisi läpimenoaikoja, koska työvaiheista lähinnä paisto kasaa eteensä paljon keskeneräistä tuotantoa, mikä lisää huomattavasti läpimenoaikoja.

6.3.1 Paistoaika

Paistoaajan lyhentäminen ratkaisisi suoraan useamman ongelman liittyen läpimenoaikoihin. Paisto kasvattaa eniten yksittäisenä työvaiheena prosessin läpimenoaikoja. Suurempi ongelma liittyy paiston aiheuttamaan pullonkulaan, eli aihioita pystytään toimittamaan paistoon nopeammin, mitä paisto pystyy paistamaan. Tämä aiheuttaa sen, että aihioita kerääntyy paiston eteen. Paiston jaksonajan pienentäminen vähentäisi siten myös kokoonpanon ja paiston välistä varastoaikaa. Paisto on tuotannon pullonkaula, joten muiden työvaiheiden jaksonaikojen parantaminen kannattaa toteuttaa vasta, kun paistoon liittyvät ongelmat on saatu ratkaistua.

Paistoaika on rengaskohtainen ja riippuu usein renkaan koosta. Esimerkiksi tutkittavien renkaiden paistoaika vaihtelee 90–249 minuutin välillä. Paistoa voidaan tehostaa kahdella tavalla: nopeuttamalla itse paistoprosessia tai lisäämällä muottien ja puristimien määrää. Paistoprosessin nopeus on pitkälti sitoutunut kumin vulkanointinopeuteen ja sitä voidaan säätää tietyillä tekijöillä. Näitä tekijöitä ovat esimerkiksi (European Tyre School, Vulcanization 1999):

- Kumimateriaalin rakenne
- Kumin lisäaineet
- Vulkanointiaine
- Vulkanointiaineen määrä
- Lämpötila

Yleisin käytetty vulkanointiaine on rikki. Rikki on hidas vulkanointiaine, joten kumiin lisätään erilaisia vulkanoinnin kiihdyttäjiä ja muita kumin ominaisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Yleensä paisto tapahtuu kuumen höyryn ja veden avulla. Paistoa on mahdollista myös nopeuttaa korvaamalla vesi tyypellä. Typen käyttäminen vähentää energian kulutusta ja estää vesivikojen syntymisen renkaaseen. (European Tyre School, Curing methods 1999)

Paiston kapasiteettia on myös mahdollista kasvattaa lisäämällä muottien ja puristimien määrää. Tällöin voitaisiin paistaa useampi rengas kerrallaan, mutta tässä ratkaisussa tulee vastaan investoinnin koko. Ei ole kannattavaa ostaa lisämuotteja renkailla joita valmistetaan harvoin. Muotti maksaa useita kymmeniä tuhansia euroja, riippuen renkaan mallista. Ylimääräisistä muoteista ei myöskään ole hyötyä, jos ei ole tarpeeksi puristimia. Puristi-

mien lisääminen vaatii huomattavia investointeja ja paljon tilaa, jota tällä hetkellä on rajoitetusti. Myös muotit vievät paljon tilaa, joten lisäämällä muottien määrää pitäisi muottien varastointikapasiteettiakin kasvattaa.

6.3.2 Komponenttien varastoajat

Kokoonpano ja paisto suunnitellaan valmiiksi tuotannosuunnittelun puolelta, mutta komponenttien hallinta tapahtuu erikseen näiden tuotannosuunnitelmien pohjalta. Rolleilla ja pintalinjalla tehtäville komponenteille käytännössä tämä toteutetaan niin, että kokoonpanokoneet ja välivarastot käydään kiertämässä päivittäin ja komponenttien määrät inventoidaan. Muut komponentit lasketaan erikseen valmistusmäärien mukaan. Inventoinnin ja päiväkohtaisen tuotannosuunnitelman perusteella tehdään tarvittavat komponenttitilaukset komponenttien valmistuskoneille. Nämä toimitetaan paperisina eri komponenttien valmistuskoneiden operaattoreille. Komponenttien varastoajat määräytyvät pitkälti sen perusteella mitä tuotteita, milloin ja paljon niitä on tilattu.

Komponenttipuolen valmistusta pitäisi kehittää reagoimaan nopeammin kokoonpanopuolen tarpeeseen, jolloin päästään lähemmäksi JIT-toimituksia. Tavoitteena on lyhentää varastoajoja, jolloin läpimenoajoja saadaan vähennettyä. Komponenttien tilausten hallinta perustuu tällä hetkellä pitkälti käsin ja silmämääräisesti tehtäviin komponenttitilauksiin. Tulevaisuudessa komponenttien valmistus on tarkoitus sijoittaa MES-järjestelmään (*Manufacturing Execution System*), jolloin komponenttien määrästä ja valmistuksesta saadaan reaaliaikaista tietoa sähköisessä muodossa. Imuohjauksen tarkoitus on vähentää keskenäistä tuotantoa tekemällä ainoastaan niitä tuotteita, mitä seuraava vaihe tarvitsee. Komponenttipuolella MES-järjestelmä ja sähköinen raportointi voi tehostaa imuohjausta. Tämä voi mahdollistaa sen, että järjestelmä luo automaattisesti komponenttivalmistukseen työjonot, kokoonpanokoneiden komponenttitilanteen ja valmistuksen komponenttitarpeen mukaan. Haasteena on saada järjestelmä toimimaan niin, että vaikka välivarastoja pienennetään, kokoonpanokoneet eivät tule kärsimään komponenttipulasta. Nykyisessä järjestelmässä tehdään asiat riskittömästi ja tilataan komponentteja reilusti, etteivät ne pääse loppumaan. Tämä järjestelmä lisää käyttövarmuutta, mutta toisaalta kasvattaa keskenäistä tuotantoa. Ongelmana voi olla myös sarjan yli jäävät komponenttipakat, jotka voivat odottaa pitkänkin aikaa seuraavan sarjan alkua. Operaattorit käyttävät mieluummin täysiä komponenttipakkoja, kuin laittavat osittain käytetyn pakan koneeseen, tämänkin seurauksena pakkoja voi jäädä välivarastoihin pitkiksi ajoiksi.

6.3.3 Vaihtoajat

Nokian Raskailla Renkailla tuotanto perustuu erätuotantoon ja erilaisia valmistettavia renkaita on lähes kaksisataa. On myös nähtävissä, että rengasnimikkeiden määrä tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Asiakkaat vaativat täsmällisempiä toimituksia, mikä tarkoittaa

taa pienempiä eriä ja useammin. Tuotannossa tämä tarkoittaa sitä, että on pystyttävä valmistamaan laajempi valikoima renkaita, pienemmissä erissä ja vielä heikentämättä tuotavuutta. Jotta lyhyellä toimitusajalla saadut tilaukset pystytään toimittamaan, vaatii tämä myös tuotannolta lyhyitä läpimenoaikoja tai vastaavasti isoja valmistuotevarastoja. (A.R. Mileham et al. 1999) Joustavan tuotannon ytimessä ovat lyhyet läpimenoajat ja nopeat vaihtoajat. Vaihtoaikojen lyhentämisen tuomat edut koko läpimenoaikojen lyhentämisessä on tuotu esille myös kirjallisuudessa, esimerkiksi Monden (2012), McIntosh et al. (1996) ja Simchi-Levi (2010) mainitsevat asiasta.

Muotinvaihto on tällä hetkellä kestoiltaan pisin tuotannon vaihtoajoista. Muotinvaihto vaikuttaa läpimenoaikoihin sarjakokojen kautta. Lyhyemmät vaihtoajat tekevät tuotantosarjojen lyhentämisestä järkevämpää, mikä taas vähentää esimerkiksi paiston pullonkaulan aiheuttaman keskeneräisen tuotannon syntymistä. Muotinvaihdon nopeuttaminen ei vaadi suuria investointeja vaan lähinnä työtapojen muutoksia ja varastotilojen uudelleen järjestelyjä. Jo suhteellisen pienillä toimenpiteillä ja investoinneilla voidaan muotinvaihtoa nopeuttaa. Paiston vaihtoaikojen nopeuttaminen ei kuitenkaan hyödytä sellaisten renkaiden osalta, joita valmistetaan lähes jatkuvasti, koska silloin ei myöskään ole tarvetta muotinvaihdolle. Paiston vaihto aika on suhteessa paljon pitempi verrattuna muiden työkoneiden vaihtoaikoihin mikä tarkoittaa, että resurssit kannattaa keskittää aluksi muotinvaihtoon. Tätä päätöstä tukee myös paiston aiheuttama pullonkaula. Onnistunut vaihtoaikojen lyhentäminen mahdollistaa tuotantosarjojen pienentämisen menettämättä kapasiteettia.

Tuotantosarjojen pienentämisellä on vaikutusta myös laatukustannuksiin. Valmistettaessa pitkiä tuotantosarjoja voi toistuva virhe tuhota koko tuotantosarjan. Virhe voi johtua esimerkiksi jonkun koneen vääränlaisista säädöistä tai vioittuneesta osasta ja sama virhe toistuu koko tuotettavan sarjan ajan. Vahinko voidaan minimoida riippuen siitä missä vaiheessa vika havaitaan. Heti tuotannon alussa havaittu vika aiheuttaa vain vähän viallisia tuotteita, mutta jos koko sarja ehditään valmistaa ja vika havaitaan vasta myöhemmin, joudutaan kaikki tuotteet korjaamaan tai romuttamaan. Pahin tilanne on, jos vasta asiakas huomaa vian. Mitä pitempi sarja on, sitä enemmän viallisia tuotteita on mahdollisesti ehditty tuottaa. Pienempi sarjakoko rajoittaa vioittuneiden erien kokoa ja vähentää samalla syntyneitä laatukustannuksia.

7. RATKAISUVAIHTOEHDOT

Läpimenoajan lyhentämiseksi voidaan tulosten analysoinnin perusteella kirjata kolme toimenpidettä: paiston jaksonajan nopeuttaminen, komponenttien varastoaikojen lyhentäminen ja muotinvaihdon nopeuttaminen. Ratkaisuvaihtoehdot vastaavat suoraan kolmeen, eniten läpimenoaikoja pidentävään tekijään. Taulukkoon 6 on listattu nämä ratkaisuvaihtoehdot ja niistä saatavat hyödyt sekä menetelmien haittapuolet.

Taulukko 6. Ratkaisuvaihtoehdot läpimenoajan lyhentämiseksi.

Ratkaisuvaihtoehto	Edut	Uhkat
Paiston jaksonajan lyhentäminen	Lyhentää suoraan pisintä työvaiheita, eli paistoa. Vähentää paiston eteen kertyvää keskeneräistä tuotantoa. Nostaa koko tehtaan kapasiteettia, pienentämällä pullonkaulan vaikutusta. Lisää myös joustavuutta.	Kallis ja hankala toteuttaa. Vaatii suuria muutoksia puristimiin.
Komponenttien varastoaikojen lyhentäminen	Komponenttien varastoajat yksittäinen pisin läpimenoaika kasvattava tekijä. Komponenttipakat vievät paljon tilaa tehtaan lattialla. Tämän tilan vapauttaminen vähentäisi komponenttien vanhenemista.	Hankala toteuttaa, voi vaatia suuriakin muutoksia prosessiin. Itsenäisesti toteutettuna voi huonontaa suorituskykyä.
Muotinvaihdon nopeuttaminen	Nopeampi paiston muotinvaihto mahdollistaa pienemmän sarjakoon hyödyntämisen. Pienemmät sarjakoot vähentävät kokoonpanon ja paiston välistä varastoaikaa. Parantaa tehtaan joustavuutta vähentämättä kapasiteettia. Suhteellisen edullinen toteuttaa. Sarjakokojen pienentäminen voi alentaa laatuksiamuksia.	Pystytäänkö nopeampaa vaihtoaikaa hyödyntämään tehokkaasti.

Näistä edellä mainituista vaihtoehdoista muotinvaihdon nopeuttaminen otetaan jatkotarkastelun kohteeksi. Muotinvaihdon nopeuttaminen tarjoaa edullisen vaihtoehdon pienentää huomattavastikin kokoonpanon ja paiston välistä varastoaikaa, tehdä tuotannosta joustavamman ja lyhentää näin läpimenoaikoja. Alkuun muotinvaihtoa voidaan nopeuttaa erittäin helpoillakin toimenpiteillä. Vaikka paiston jaksonajan nopeuttaminen toisi huomattavia etuja tuotantoon, sen toteuttaminen on paljon kalliimpaa kuin muotinvaihdon nopeuttaminen. Komponenttien varastoaikojen nopeuttaminen taas vaatisi suurempia toimintatavan muutoksia sekä uusia järjestelmiä komponenttipakkojen seuraamiseen. Se voi myös itsenäisesti toteutettuna huonontaa koko prosessin suorituskykyä, vaikeuttaen komponenttien virtausta kokoonpanoon. Toisaalta komponenttien varastoaikojen lyheneminen voi olla seurausta kahden muun toimenpiteen onnistuneesta toteutuksesta. Näiden syiden takia, se jätetään jatkotarkastelun ulkopuolelle.

7.1 Muotinvaihdon nopeuttaminen

Muotinvaihdon nopeuttamisen on tarkoitus lisätä joustavuutta koko valmistusprosessiin ja etenkin paistoon ja sitä kautta lyhentää läpimenoaikoja. Muotinvaihtoa pyritään nopeuttamaan käyttämällä hyväksi luvussa 3.2.2 esiteltyä SMED tekniikkaa. Tämä perustuu siihen, että jaetaan muotinvaihdon toimenpiteet sisäisiin ja ulkoisiin toimintoihin ja pyritään tekemään toiminnoista mahdollisimman paljon ulkoisina. Käytännössä tämä toteutetaan niin, että seurataan riittävän monta muotinvaihtoa ja selvitetään muotinvaihdon aikaset toimenpiteet sekä niiden kestot. Tämän tiedon perusteella analysoidaan SMED:tä apuna käyttäen, kuinka muotinvaihtoa pystytään nopeuttamaan.

Paljonko läpimenoaikoja lyhennetään, riippuu paljon valmistettävien sarjojen pituudesta. Pitkiä sarjoja tehdessä myös välivarastoajat kasvavat lähes lineaarisesti, johtuen jaksonaikojen erosta kokoonpanon ja paiston välillä. Teoriassa jos oletetaan, että aihio menee paistoon ajanhetkellä nolla, viettää seuraava aihio välivarastossa ajan: paiston jaksonaika vähennettynä kokoonpanon jaksonajalla. Tämä tarkoittaa sitä, että jokainen aihio kasvattaa välivarastointiaikaa kokoonpanon ja paiston jaksonajan erotuksella. Tämä tehdään sillä oletuksella, että kokoonpano toimii täydellä kapasiteetilla. Jos käytetään hyväksi arvovirtakuvausten jaksonaikoja, saadaan eri aihioille taulukon 7 osoittamat kaavat välivarastoajan kasvulle.

Taulukko 7. Renkaiden kokoonpanon ja paiston väliset varastoajat.

Rengas	Kaava	Esimerkki (n=20)
Forest King F2	Varastoaika= $105,5x(n-1)$	n. 33 tuntia
Mine King	Varastoaika= $201x(n-1)$	n. 64 tuntia
Forest Rider	Varastoaika= $95,2x(n-1)$	n. 30 tuntia
TRI 2	Varastoaika= $57,9x(n-1)$	n. 18 tuntia

Taulukkoon on kuvattu tavat laskea välivarastoaika eripituisille sarjoille. Kaavan ”n” paikalle tulee sarjan pituus ja tuloksena saadaan varastoaika minuuteissa. Liitteessä 2 on verrattu kaavalla saatuja välivarastoaikojen kehityksiä mittaamalla saatuihin, sovittamalla suoraa kumpaankin kuvaajaan ja voidaan havaita kaavan antamien aikojen olevan karkeasti suuntaa antavia. Ainoa poikkeus on Forest King F2, jonka välivarastoajat eivät noudata kaavan mallia, koska kyseistä tuotetta paistetaan useammalla puristimella yhtä aikaa. Tämä tarkoittaa sitä, että Forest King F2:sen kohdalla paisto ei muodosta vastaavaa pullonkaulaa verrattuna muihin tarkasteltaviin tuotteisiin. Myös sarjan lopussa Mine Kingin varastoaika kasvaa suhteessa nopeammin mitä kaava ennustaa. Liitteen 2 kuvaajien kulmakerroin kuvaa välivarastoajan kasvua suhteessa sarjan pituuteen. Kaavat voivat toimia suuntaa antavina laskumalleina, kun pyritään selvittämään jonkun renkaan välivarastoajan kasvua sarjan kasvaessa. Lyhentämällä sarjan pituutta puolella saadaan myös välivarastajoissa, riippuen sarjan pituudesta, jopa 50 prosentin lyhennyksiä aikaiseksi. Pullonkaula on laskettu kokoonpanon ja paiston väliselle ajalle, joten esimerkiksi käärittämisen

vaikutusta ristikudosrenkaille ei ole huomioitu. Tosin käärittäessä ei ole suurta vaikutusta kokoonpanon ja paiston väliseen varastoajan kasvuun, koska käärittämisen jaksonaika on kaikilla renkailla huomattavasti lyhyempi kuin paisto tai kokoonpano. Radiaalipuolella tätä samaa ongelmaa ei ole.

Muotinvaihdon nopeuttamisesta saadut hyödyt riippuvat paljon siitä, paljonko tällä menettelyllä pystytään sarjakokoja pienentämään. Muotinvaihtojen nopeuttaminen kuitenkin antaa mahdollisuuden tuotannosuunnittelulle suunnitella tuotantoa vapaammin. Mutta jos muotinvaihdon nopeutumista ei osata hyödyntää, jäävät myös läpimenoaikojen lyhenemiset vaatimattomammiksi. Muotinvaihdon nopeuttaminen tuo silti tuotantoon joustavuutta ja erilaisiin muutoksiin pystytään reagoimaan aikaisempaa nopeammin.

7.1.1 Muotinvaihdon analysointi

Muotinvaihtoa lähdetään nopeuttamaan käyttäen hyväksi SMED tekniikkaa. Tämä toteutettiin käytännössä tarkastelemalla viittä erillistä muotinvaihtotapahtumaa ja kirjaamalla tapahtumat ja ajat ylös erillisille muotinvaihtokorteille. Alussa oli tiedossa, että muotinvaihto on pitkä prosessi ja voi arvioiden mukaan kestää jopa kahdeksan tuntia. Muotinvaihtoa pyritään analysoimaan ja selvittämään mitkä vaiheet kestävät pitkään ja miksi. Tämän jälkeen pyritään SMED:tä hyväksikäyttäen siirtämään sisäisiä toimintoja mahdollisimman paljon ulkoisiksi. Samalla pyritään kehittämään käytettyjä työmenetelmiä ja työkaluja.

Muotinvaihtoon on määritelty 19 erillistä toimenpidettä, jotka liittyvät muottien vaihtoihin, erilaisiin rasvauksiin, puristimen osien vaihtoon, asetusten syöttämiseen ja huoltotoimenpiteisiin. Tällä hetkellä nämä kaikki tehtävät suoritetaan sisäisenä asetuksena, eli vasta sen jälkeen, kun puristin ei ole enää toiminnassa. Tavoitteena on analysoida muotinvaihdon nykytilaa ja kerätä eri toimenpiteisiin kuluneita aikoja. Tämän perusteella voidaan jotain toimenpiteitä mahdollisuuksien mukaan siirtää ulkoisena asetuksena suoritettaviksi sekä karsia kokonaan pois.

Muotinvaihtoon liittyvät toimenpiteet on koottu taulukkoon 8. Taulukosta käy ilmi muotinvaihdon vaatimat tehtävät pääpiirteittäin. Tehtävät on koottu suoritusjärjestyksessä ja jokainen on merkitty erillisellä kirjaimella. Pieniä muutoksia tehtävien järjestyksessä voi olla riippuen muotinvaihdon suorittajasta ja muottien tyypistä, mutta jokainen muotinvaihto vaatii näiden toimenpiteiden suorittamisen. Taulukkoon merkityt muotinvaihdot on mitattu minuutin tarkkuudella ja ne alkavat aina tyynyn poistolla ja loppuvat muotinvaihtolämmitykseen ja tyynyn asennukseen sekä ilmoitukseen. Lämmitys on erikseen määritelty aika, joka pitää käyttää muotinvaihtolämmittämiseen, ennen kuin paisto voidaan aloittaa. Toimenpiteiden kohdalla olevat ajat kuvaavat kauanko kunkin toimenpiteen suorittamiseen on keskimäärin mennyt. Pisimmät toimenpiteet ovat muotinvaihtolämmitys ja lämmitys. Taulukkoon merkittyihin toimenpiteisiin kuluu aikaa kokonaisuudessaan 287 mi-

nuuttia. Muotinvaihtoon myös eriteltiin muuhun toimenpiteisiin kuluva aika, eli niin sanottu hukka. Mittausten aikana jokaista muotinvaihtoa kohden ylimääräistä aikaa, joka ei edistänyt muotinvaihtoa, kului keskimäärin 90 minuuttia. Yhteensä mittausten perusteella muotinvaihtoon kuluu aikaa noin 377 minuuttia, mikä on hieman yli kuusi tuntia.

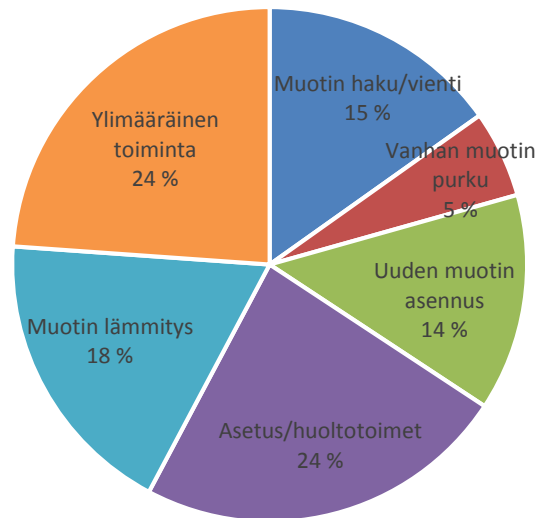
Taulukko 8. Muotinvaihdon vaatimat toimenpiteet ja niiden kestot.

Toimenpiteet					
a	Tyynyn poisto.	18 min	k	Puristusten ajo.	6 min
b	Ala- ja ylämuottien kiinnityspulttien irroitus, sekä kupukansien avaus.	21 min	l	Ylämuotin kiinnitys.	19 min
c	Vanhan muotin irroitus ja poisivienti.	18 min	m	Kupukansien kiinnitys. Tiivisteiden ja vaarnaruuvien voitelu.	7 min
d	Uuden muotin haku.	39 min	n	Alamuotin kiinnitys.	14 min
e	Kaukalon tarkistus ja puhdistus.	5 min	o	Muotin viikkomerkitöjen ja tekstien tarkistus sekä mittarengaslapun täyttö.	5 min
f	Yläkuvun muotinajon kierteiden rasvaus.	13 min	p	Risujien ja kuputiivisteiden tarkistus.	4 min
g	Alamuotin asennus.	9 min	q	Muotin lämmitys.	69 min
h	Ylämuotin nostoraksien kiinnitys.	3 min	r	Tyynyn asennus.	15 min
i	Ylämuotin nosto alamuotin päälle.	6 min	s	Ilmoitus paistajalle ja työnjohdolle.	4 min
j	Lautasen ajo muotin korkeuteen.	12 min			

Muotinvaihdon toimenpiteet voidaan jakaa kuuteen eri ryhmään, riippuen toimenpiteiden päämäärästä. Näitä ryhmiä ovat muotin haku ja vienti, vanhan muotin purku, uuden muotin asennus, asetus ja huoltotoimenpiteet, muotin lämmitys ja ylimääräinen toiminta. Taulukossa 8 esitetyt toimenpiteet voidaan jakaa näiden ryhmien alle. Muotin hakuun ja vientiin kuuluu toimenpiteet c ja d, vanhan muotin purkuun toimenpide b, uuden muotin asennukseen toimenpiteet g, h, i, l ja n, asetus ja huoltotoimenpiteisiin a, e, f, j, k, m, o, p, r ja s. Ylimääräinen toiminta tarkoittaa kaikkea muuta toimintaa mikä ei edistä muotinvaihtoa. Tähän luokkaan kuuluu muun muassa muun työn suorittaminen muotinvaihdon aikana, erilaiset tauot ja vuoronvaihtoon kuluva aika ja muut tämän tyyppiset toiminnot.

Kuvassa 19 on kuvattu toiminnot ja niiden viemän ajan prosentuaalinen osuus koko muotinvaihdon ajasta. Kuvasta voidaan huomata, että ylimääräinen toiminta vie lähes neljäsosan koko muotinvaihtoon kuluvasta ajasta. Asetus- ja huoltotoimet ovat seuraavaksi suurin kokonaisuus, johon kuuluu paljon pienempiä muotivaihdonaikana tehtäviä toimenpiteitä. Muotin lämmitykseen kuluu myös pitkä aika. Lämmitys on ennalta määrätty toimenpide, jossa puristin lämmittää muottia tunnin ajan. Muotin hakuun voi myös kulua pitkä aika riippuen minkälaisesta muotista on kyse ja miten hankalasti se on sijoitettu muottivarastoon. Jos se sattuu olemaan muottivaraston perällä, pitää sen edestä siirtää ensiksi muotteja pois, ennen kuin haettavaa muottia päästään liikuttamaan. Suurin ongelma muotinvaihdossa näyttää olevan kuitenkin ylimääräiseen toimintaan kuluva aika.

Ajankäytön osuudet eri muotinvaihdon toimenpiteissä



Kuva 19. Muotinvaihdon toimenpiteiden jaottelu suhteessa ajankäyttöön.

Muotinvaihdon suorittaa yleensä käyttöasettajat ja he tekevät tehtävän yksin. Muotinvaihtoa hankaloittaa usein se, että asettajilla on muitakin työtehtäviä, joita heidän tulee tehdä muotinvaihdon aikana. Muotinvaihdon venyessä useampaan tuntiin väliin tulee myös erilaisia taukoja, ruokatunteja ja vuoronvaihtoja, jotka entisestään pidentävät vaihtoprosessia. Muotinvaihtoa tarkasteltaessa paljon aikaa menee niin sanottuun hukkaan, tätä hukkaa poistamalla ja käyttämällä SMED:n mukaista jaottelua, voidaan muotinvaihtoa nopeuttaa.

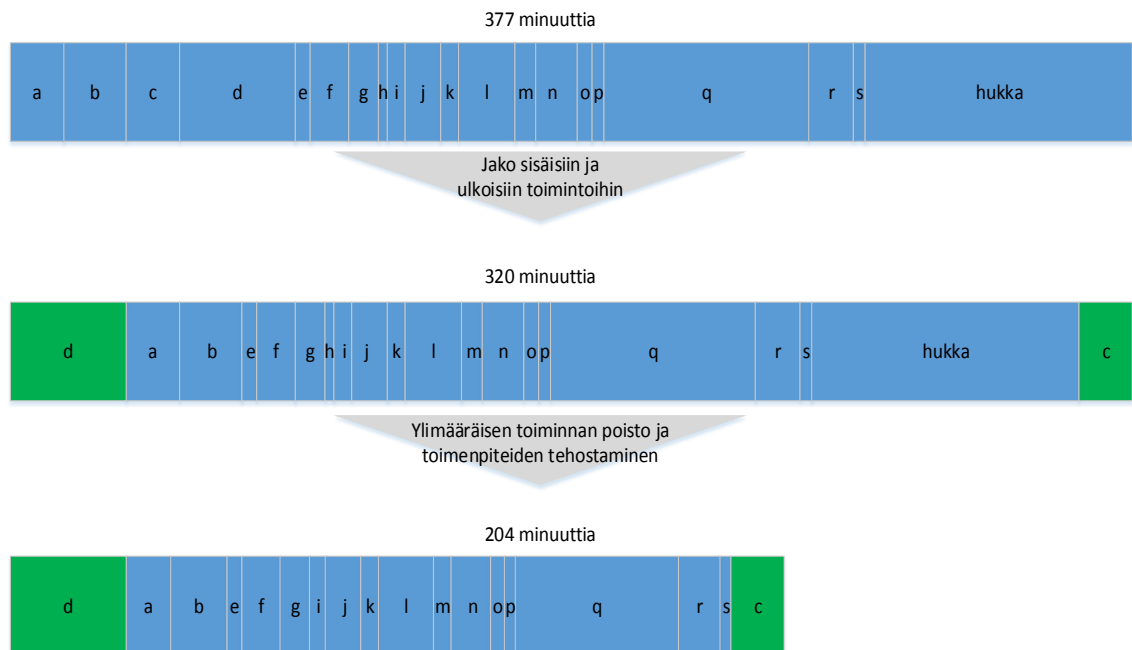
7.1.2 Parannusehdotukset

Muotinvaihdon nopeuttaminen lähtee käyntiin käyttäen hyväksi SMED menetelmän periaatteita, eli analysoimalla aluksi muotinvaihdon nykytilaa ja tämän jälkeen jakamalla toiminnot joko ulkoisiksi tai sisäisiksi. Nykytilan analysointiin kuuluu myös muotinvaihdon kriittinen tarkkailu, jotta mahdollisia parannustoimenpiteitä voidaan löytää. Tämä prosessi voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen:

1. Nykyisen tilanteen tarkastelu ja mallin luonti.
2. Toimintojen jako ulkoisiin ja sisäisiin toimintoihin.
3. Poistetaan hukkaa muotinvaihdon prosessista ja etsitään parannusmalleja nykyiseen toimintaan.

Nykyisen tilanteen kuvaaminen mahdollisimman tarkasti antaa pohjan tuleville toiminnolle. Toimintojen jakamisella on tarkoitus siirtää mahdollisimman moni työvaihe koneen ajon aikaiseen vaiheeseen. Esimerkiksi työkalujen haku ja muotin valmistelu voidaan tehdä koneen ollessa päällä ja vanhan muotin palauttaminen vasta vaihdon jälkeen, jolloin varsinainen vaihtoaika lyhenee ja kone on pysähtyneenä lyhyemmän ajan. Tarkan nykytila-analyysin pohjalta voidaan pohtia, mitä turhia toimenpiteitä, eli hukkaa vaihtotoimenpiteeseen liittyy ja miten nykyisiä työmenetelmiä voidaan kehittää entistä tehokkaammiksi. Tämä prosessi voidaan toistaa tarvittaessa ja pyrkiä iteroimalla pääsemään parhaaseen lopputulokseen.

Tarkastelun tuloksena saatiin jaoteltua muotinvaihto yhdeksääntoista eri toimenpiteeseen ja määriteltyä näiden toimenpiteiden keskimääräiset ajat. Tämän lisäksi määriteltiin erikseen hukka, eli mikä aika kuluu muihin toimenpiteisiin kuin muotinvaihtoon. Ensiksi tarkoituksena on määritellä nämä toimenpiteet aikajanelle, jonka jälkeen suorittaa SMED:n mukaiset parannustoimenpiteet. Lopputuloksena saadaan suunnitelma mahdollisille toimenpiteille muotinvaihdon nopeuttamiseksi. Tätä prosessia on havainnollistettu kuvassa 20. Kuvasta käy ilmi muotinvaihtoon liittyvät toimenpiteet, niiden yleinen suoritusjärjestys sekä parannusehdotusten vaikutukset. Kuvassa sisäiset toimenpiteet näkyvät vihreällä ja ulkoiset sinisellä värillä.



Kuva 20. SMED:n soveltaminen muotinvaihtoon.

Muotinvaihdon parannuspotentiaali perustuu osallistuvaan havainnointiin, eli muotinvaihtojen tarkasteluun ja operaattoreiden mielipiteisiin sekä kirjallisuudesta saatuihin esimerkkeihin. Parannuspotentiaalia on läpikäyty tarkemmin luvussa 4.2.1. Nykyisessä muodossa muotinvaihdon tehtäviä ei ole jaettu sisäisiin tai ulkoisiin toimintoihin. Ainoat toiminnot jotka tällä hetkellä on helppo siirtää tehtäviksi ulkoisina toimintoina ovat tehtävät d ja c, eli muotin vienti ja hakeminen sekä työkalujen siirtäminen paikalleen ja esimerkiksi siltanosturin ajaminen kohdilleen. Näillä toimenpiteillä voidaan säästää aikaa vajaa tunti. Paiston ollessa käynnissä puristin on kuuma ja voi jossain tapauksissa vuotaa kuumaa höyryä, joten puristimen lähellä tehtävät työt ovat lähes mahdottomia ja myös työturvallisuuden kannalta vaarallisia toteuttaa. Tämän takia nykymalliset puristimet osittain rajoittavat ulkoisesti tehtäviä toimenpiteitä.

Muottien siirtäminen ulkoiseksi toiminnoksi ei kuitenkaan onnistu aivan yksinkertaisesti. Muotit ovat suhteellisen isoja ja painavat useita tuhansia kiloja, joten niiden siirtely vaatii paljon tilaa ja välillä puristinten ympärillä ei ole riittävästi tilaa ja muotit voivat tukkia myös vihivaunujen, eli automaattitruckien kulkureittejä. Jos muotti ei mahdu joidenkin puristimien eteen, voi toisena vaihtoehtona olla se, että muotit asetetaan varastossa valmiiksi haettavaksi aina muotinvaihtosuunnitelman mukaan. Tällöin hakeminen onnistuu nopeasti, kun muotti odottaa esteettömästi varastossa valmiina. Tällä hetkellä ongelmana on se, että muotit voivat olla varaston nurkassa, jolloin osa muoteista täytyy nostaa pois tieltä, jotta päästään käsiksi haluttuun muottiin. Tämä pidentää huomattavasti muotinhaakuun kuluvaa aikaa. Samanlaisia toimenpiteitä voidaan suorittaa myös poisvietävän muotin suhteen. Muotti viedään pois vasta muotinvaihdon jälkeen ja jos tämä ei ole mahdollista jätetään muotti helppoon paikkaan, josta se voidaan myöhemmin kuljettaa varastoon.

Muottien kanssa toimiessa ongelmia aiheuttaa myös tämänhetkinen varaston pienuus sekä painavat segmenttimuotit, joita ei voi esimerkiksi kuljettaa varastoon vievällä hissillä. Lisäksi muottien määrä kasvaa koko ajan uusien tuotenimikkeiden myötä. Ratkaisuna tähän on varaston laajentaminen tai toisen varaston rakentaminen. Harvoin käytettyjä muotteja voidaan säilyttää toisessa varastossa ja tarpeen mukaan toimittaa etukäteen tehtaalte. Tärkeät ja usein käytetyt muotit voidaan edelleen pitää alkuperäisessä varastossa, josta ne saadaan helposti käyttöön.

Kolmas rivi kuvassa 20 esittää muotinvaihtoa, kun ylimääräiset toimenpiteet on poistettu ja jotain toimenpiteitä tehostettu. Suurin aikaa vievä yksittäinen tekijä muotinvaihdossa on ylimääräiseen toimintaan käytetty aika. Muotinvaihdon aikana ylimääräiseen toimintaan kului keskimäärin 90 minuuttia. Useimmiten ylimääräinen toiminta on jonkun muun työntekijän auttaminen tai ylimääräisen työtehtävän suorittaminen muotinvaihdon aikana. Myös ruokataukoihin ja vuoronvaihtoihin kului aikaa. Muotinvaihdon pitkittyessä todennäköisyys tauon, vuoronvaihdon tai ruokailun sattumisesta vaihdon ajalle suurenee. Ylimääräinen työ voi johtua esimerkiksi vajaasta miehityksestä tai töiden organisoinnista. Ylimääräisen työn poistaminen lähtee siitä, että organisoidaan työt niin, että muotinvaihto

voidaan suorittaa yhdessä yhtenäisessä jaksossa, eikä tarvetta muille toiminnoille tämän aikana ole.

Toimenpiteiden tehostamisella tarkoitetaan esimerkiksi luvussa 3.2.2 mainittujen menetelmien hyödyntämistä. Puristimien rakenteessa voi hyödyntää tulevaisuudessa enemmän pikakiinnikkeitä. Esimerkiksi puristimien päällä olevien kupukansien kiinnikkeet voi korvata nopeammalla pikakiinnike ratkaisulla. Muotinvaihdossa käytetään nyt jo asettimia, jotka helpottavat toimintaa, esimerkiksi normaaleissa muoteissa muotin yläosa asettuu muotin alaosan päälle lovien ansiosta oikeaan asentoon helposti. Asettimien käyttöä voidaan laajentaa muihinkin muotinasennuksen vaiheisiin, esimerkiksi muotin kohdistamista puristimeen voi helpottaa visuaalisilla merkeillä tai asettimilla. Standardoimalla käytetyt työkalut, eli pyrkimällä siihen, että mahdollisimman suuri osa tehtävistä toimenpiteistä voidaan suorittaa samoilla työkaluilla, vähennetään tarvittavien työkalujen määrää ja myös työkalun vaihtamiseen kuluva aikaa. Esimerkiksi käytetään ainoastaan samankokoisia pultteja, jolloin ne kaikki voidaan irrottaa samalla työkalulla.

Yksi tärkeä tekijä on myös vertailuanalyysi, eli niin sanottu *benchmarking*. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että asettajien kesken verrataan eri muotinvaihtoon liittyviä työtapoja, jolloin voidaan ottaa parhaat käytännöt yleiseen käyttöön. Työntekijät voivat oppia toisensa työtavoista ja pohtia samalla kriittisesti itse käyttämiään työmenetelmiä. Tämä voidaan esimerkiksi tehdä toteuttamalla osa muotinvaihdosta parityönä ja vaihtelemalla näitä pareja. Työntekijöille kannattaa järjestää opetustilaisuuksia, joissa painotetaan oikeita toimintatapoja ja selitetään heidän toiminnan merkitys koko tuotantoketjun osana sekä pienien viivästysten aiheuttamat vaikutukset kokonaisuutta ajatellen. Muotinvaihdon aikana on myös paljon turhaa tekemistä, jota pitää pyrkiä vähentämään. Esimerkiksi muotit säilytetään päällekkäin, jolloin niitä asettaessa paikoilleen puristimeen täytyy ensiksi nostaa muotin yläosa alaosan päältä pois, jonka jälkeen alaosan voi nostaa puristimeen. Tämä järjestys pakottaa tekemään yhden ylimääräisen noston ja sama ongelma toistuu muotteja purkaessa. Ratkaisuna tähän on esimerkiksi parempi teline, johon muotin osat saadaan asetettua asennusjärjestyksessä. Myös muotteihin erikseen asennettavat nostolenkit voidaan integroida valmiiksi osaksi muottia, jolloin välttyään nostolenkkien asennuksilta.

Muotin lämmitys on muotinvaihdon yksittäisistä aikaa vievistä toimenpiteistä pisimpiä. Muotti täytyy lämmittää ennen paiston aloittamista. Lämmittämätön muotti pidentää tuotantosarjan alun paistoaikoja ja vaikeuttaa renkaan asettumista muottiin sekä aiheuttaa erilaisia laatuviikoja. Muotin nopeampi lämmittäminen on mahdollista nostamalla kupupainetta korkeammalle, jolloin myös kuvun lämmittämiseen käytetyn höyryn lämpötilaa saadaan nostettua. Kupupaineella tarkoitetaan paistopuristimen sisälle, eli muotin ulkopuolelle muodostuvaa painetta paiston yhteydessä. Paineen nostaminen vaatii kuitenkin muutoksia puristimen logiikkaan ja joissain tapauksissa myös rakenteen vahvistamista. Lämmitysajan lyhentämisellä voidaan kuitenkin tehokkaasti vaikuttaa muotinvaihdon kesto.

Edellä mainittujen toimenpiteiden avulla voidaan muotinvaihtoa nopeuttaa edelleen. Eri-tyisesti nämä parannukset koskisivat työvaiheita a, b, g, h, l, m, n, q ja r. Kupukansien pikakiinnikkeet nopeuttavat työvaiheita b ja m. Nostoraksien integrointi muottiin poistaa kokonaan työvaiheen h. Moniin pitkiin työvaiheisiin kuten tyynyn poistoon (a), tyynyn asennukseen (r) ja ala- ja ylämuotin kiinnitykseen (g, n, l) saadaan ajallisia säästöjä standardoimalla työkaluja ja menetelmiä, sekä hakemalla parhaita työtapoja benchmarking-menettelmää käyttäen. Tyynyn poiston ja asennuksen voi muuttaa osittain ulkoiseksi tehtäväksi, eli uuden tyynyn voi hakea ja vanhan tyynyn voi viedä pois puristimen ollessa käytössä. Asettimien ja uudenlaisten telineiden käyttö muottien kuljetuksessa nopeuttaa muotin asennus toimenpiteitä eli työtehtäviä g ja l. Asettimet helpottavat muotin asettamista oikeaan asentoon puristimeen ja kuljetusteline muottien nostoa. Näillä saadaan muutaman minuutin suuruisia säästöjä tehtäväkohtaisesti, mutta kokonaisuudessaan nämä toimenpiteet vähentävät muotinvaihtoaikaa merkittävästi.

Muotinvaihtoa nopeuttavien toimenpiteiden jälkeen vaihto voidaan toteuttaa kolmessa ja puolessa tunnissa, saavutettu lyhennys alkuperäiseen on 46 prosenttia. Toimenpiteiden jako ulkoisiin ja sisäisiin toimintoihin säästää 57 minuuttia ja edelleen hukan poisto 90 minuuttia, tämän lisäksi toimenpiteiden kehittäminen voi säästää aikaa lähes puoli tuntia. Jatkossa lisäinvestointeja tehtäessä paiston osalta, tulisi aina miettiä niiden vaikutusta myös muotinvaihdon aikaan. Muotinvaihtoon saadaan kuitenkin jo huomattavia parannuksia pelkillä toimintatapojen muutoksilla, joten kaikki parannusehdotukset eivät vaadi suuria investointeja. Muotinvaihdon kehittäminen on iteratiivinen prosessi, joten näiden toimenpiteiden jälkeen tulee tehdä uusi kierros ja pohtia jälleen missä asioissa voidaan parantaa ja miten muotinvaihtoa voidaan muuttaa tehokkaammaksi. Muotinvaihdon nopeuttaminen vaatii myös motivaatiota henkilöstössä, jolloin uudistuksen vaatimat toimintatapojen muutokset saadaan toteutettua.

Paljonko läpimenoaikoja pystytään muotinvaihdolla nopeuttamaan, riippuu paljon kahdesta tekijästä: paljonko muotinvaihtoa saadaan todellisuudessa nopeutettua ja toiseksi miten hyvin tämän luomaa joustavuutta osataan hyödyntää. Ideaalitulanteessa toteutuisi imuohjaus, jossa kokoonpanosta tulevat renkaat menisivät välittömästi paistoon mikä tarkoittaisi sitä, että rengaskohtaisia muotteja olisi useampia ja muotinvaihdon vaatima aika olisi saatu supistettua minimiin. Työn puitteissa tehtävillä toimenpiteillä muotinvaihtoaika puolittuisi. Jos tämän perusteella tuotanto voidaan suunnitella niin, että sarjakokoja pienennetään, mutta nopeamman muotinvaihdon ansiosta sarjoja voidaan tehdä useammin, voidaan sarjakoko puolittaa. Tämä tarkoittaisi myös väliavarastointiajan puolittamista. Nykyisestä keskimäärin 30 tunnin ajasta päästäisiin 15 tuntiin, eli läpimenoaikaan saadaan suoraan 15 tunnin vähennys. Jos renkaan läpimenoaika on 7,3 (kuten Forest King ja Mine King) päivää, tarkoittaa 15 tunnin vähennys lähes kymmenen prosentin vähennystä koko läpimenoajasta. Vähennys koskee renkaan tuotantoprosessin loppupäätä, missä pitkät varastoajat vaikuttavat renkaan rakenteeseen enemmän, kun komponenttinvaiheessa.

On tärkeä huomata muotinvaihdon tuomat muut positiiviset vaikutukset, kuten joustavuus tuotevaihtojen suhteen. Muotinvaihdon nopeuttaminen on osa tuotannon siirtämistä vahvemmin kohti imuohjausta, mikä jossain vaiheessa vaikuttaa myös komponenttipuolen varastoaikoihin. Mitä tehokkaammin imuohjaus toimii, sitä tehokkaammin tuotteiden läpimenoaikoja voidaan vähentää. Tämä voi pitemmällä tähtäimellä tarkoittaa todella suuriakin parannuksia läpimenoaikoihin.

8. TUTKIMUKSEN TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

8.1 Päätulokset ja niiden tärkeys

Tuotantoprosesseja on lukemattomia erilaisia ja tässä diplomityössä tutustuttiin yhden-tyyppiseen prosessiin, liittyen erätuotantoon ja renkaiden valmistukseen. Työn tarkoituksena oli kuvata tuotantoprosessia neljän määritellyn renkaan osalta ja määrittää näiden läpimenoajat sekä tutkia ratkaisumalleja tuotantoprosessin läpimenoaikojen lyhentämiseksi. Lean-ajattelusta löytyy paljon yhtymäkohtia tuotantoprosessien parantamiseen sekä läpimenoaikojen lyhentämiseen. Lean ajattelun visiona on tuottaa parasta laatua, alhaisimmilla kustannuksilla ja lyhimmillä läpimenoajoilla (Liker 2004, s. 33). Lean ajattelussa hukalla on merkittävä asema ja sen poistamiseen nähdään paljon vaivaa. Hukkaa on muun muassa ylituotanto, odottaminen, ylimääräiset varastot ja virheet.

Tämän työn tavoitteeksi ja tutkimuskysymykseksi asetettiin tehtaan läpimenoaikojen parantaminen. Tavoitteen saavuttamiseksi asetettiin alakysymykset, joiden tarkoituksena oli selvittää läpimeno-, varasto-, vaihto- ja jaksonaikoja sekä löytää näiden tietojen avulla tuotantoprosessin ongelmia liittyen läpimenoaikoihin. Työn toteuttaminen vaati tiedon keräämistä eri tuotantovaiheista ja tuotantoprosessien kriittistä tarkastelua. Osa tiedosta kerättiin tehdasympäristössä mittaamalla ja osa saatiin tietokantoihin valmiiksi tallennetusta sekundääridatasta. Tämän kerätyn informaation perusteella tehtiin johtopäätöksiä, joilla läpimenoaikoja tulnaisiin parantamaan. Yritys valmistaa lähes 200 eri rengasnimikettä ja nämä valitut neljä tutkittavaa rengasta edustavat kokonaistuotannosta noin 13 prosenttia. Kyseiset renkaat edustavat melko suurta valmistusmäärää suhteutettuna valmistettujen nimikkeiden määrään. Puolet valituista renkaista on ristikudosrenkaita ja puolet radiaalirenkaita. Riippuen renkaan tyyppistä on valmistustapa hieman erilainen. Valitut renkaat ovat myös kooltaan ja rakenteeltaan erilaisia. Valitsemalla erityyppisiä renkaita saadaan suhteellisen kattava kuva käytetyistä valmistusmenetelmistä ja prosesseista.

Jokaisen renkaan osalta luotiin oma arvovirtakuvaus, josta käy ilmi renkaan valmistukseen liittyvät vaihto- ja jaksonajat sekä varastoajat. Näiden tietojen perusteella voidaan määrittää rengaskohtaiset läpimenoajat, jotka olivat Forest King F2:sella ja Mine Kingillä hieman yli 7 päivää ja Forest Riderillä sekä TRI 2:sella keskimäärin 6 päivää. Arvovirtakuvausten perusteella löydettiin tuotantoprosessiin ja läpimenoaikoihin liittyen kolme ongelmakohtaa: komponenttien varastoajat, paiston aiheuttama pullonkaula ja paistopuristimien pitkät vaihtoajat. Jos mietitään koko tuotteen läpimenoaikaa keskimäärin pisin aika, eli hieman alle 5 päivää kuluu komponenttien välivarastointiin. Paiston jaksonaika on kaikista tutkituista työvaiheista selvästi pisin. Varastoajoja tarkastelemalla huomattiin myös, että paiston eteen kertyy huomattava määrä keskeneräistä tuotantoa. Näiden

havaintojen perusteella voidaan todeta paiston olevan kyseisen valmistusprosessin pullonkaula. Paiston pullonkaula lisää läpimenoaikaa kasvattamalla keskeneräisen tuotannon välivarastoa kokoonpanon ja paiston välillä. Kolmantena ongelmana havaittiin paiston pitkä vaihtoaika, uuden muotin vaihto kestää keskimäärin yli 6 tuntia. Pitkä vaihtoaika tekee valmistuksesta joustamattoman ja vaihtoajoilla on myös kirjallisuudessa havaittu olevan yhteys pitkittyneisiin läpimenoaikoihin. Renkaidenvalmistus on vahvasti erätuotantoa, jossa valmistetaan eri rengasnimikkeitä sopivan kokoisissa erissä. Tämä tarkoittaa sitä, että muotteja joudutaan vaihtamaan useita kertoja vuorokaudessa, mikä vie tällä hetkellä huomattavan määrän aikaa. Muotinvaihto keskeyttää puristimen käytön useaksi tunniksi ja pahentaa näin jo paiston ennestään aiheuttamaa pullonkaulaa.

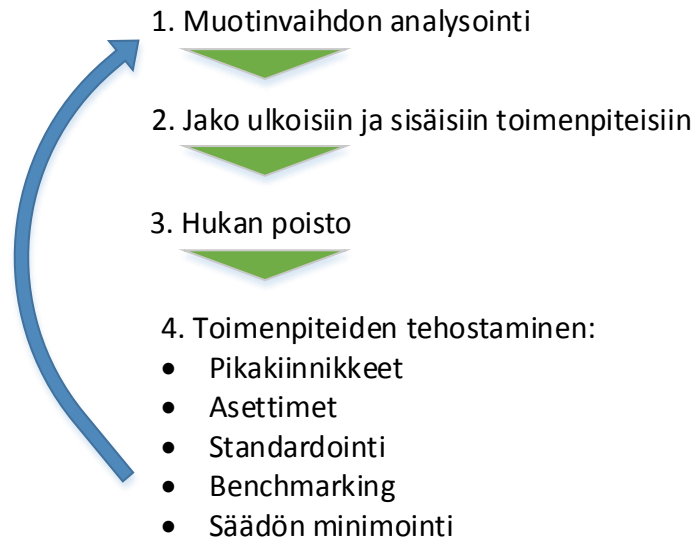
8.2 Suositukset tulosten pohjalta

Saatujen tulosten pohjalta esitellään tässä kaksi potentiaalisinta ratkaisua läpimenoaikojen lyhentämiseksi. Ratkaisut liittyivät suoraan prosessin ongelmakohtien selvittämiseen. Työn perusteella parhaat ratkaisuvaihtoehdot ovat:

1. Paiston jaksonajan lyhentäminen.
2. Muotinvaihdon nopeuttaminen.

Paistoajan lyhentäminen vaikuttaa suoraan prosessin pullonkaulaan ja vähentää paiston eteen kertyvää keskeneräistä tuotantoa ja samalla nostaa koko tehtaan kapasiteettia. Kääntöpuolena paistoajan nopeuttaminen vaatisi kalliita ja hankalia investointeja ja tämä onnistuisi käytännössä vain paistopuristimia uusimalla. Puristimia on yhteensä yli 30 kappaletta ja niiden uudistaminen on pitkäkestoinen projekti. Uusia puristimia hankkiessa tulisi paistoajan nopeuttamiseen kuitenkin kiinnittää huomiota ja tarkastella eri teknologioita, jotta optimaalinen ratkaisu löydetään. Toinen ratkaisu on paistopuristimia koskeva muotinvaihdon nopeuttaminen. Muotinvaihdon nopeuttamisen parantaa tehtaan joustavuutta ja mahdollistaa eräkokojen pienentämisen. Eräkokojen pienentäminen vähentää keskeneräisen tuotannon kertymistä paiston eteen, mikä vähentää läpimenoaikoja. Uhkana on se, pystytäänkö nopeampaa muotinvaihtoa hyödyntämään tehokkaammin tuotannosuunnittelussa. Edellä mainituista ratkaisuvaihtoehdoista jatkotarkastelun kohteeksi valittiin muotinvaihdon nopeuttaminen. Muotinvaihdon nopeuttaminen tarjoaa edullisen vaihtoehdon pienentää kokoonpanon ja paiston välistä varastoaikaa, tehdä tuotannosta joustavampaa ja lyhentää näin läpimenoaikoja. Pienemmät sarjakoot voivat vähentää laatu- ja kustannuksia. Muotinvaihdon tehostaminen ei vaadi isoja investointeja verrattuna komponenttien varastoajien tai paiston jaksonajan lyhentämiseen. Lisäksi muotinvaihdon nopeuttaminen voidaan toteuttaa suhteellisen yksinkertaisilla toimenpiteillä. Työssä muotinvaihtoa lähdettiin nopeuttamaan käyttäen hyväksi SMED-menetelmää. SMED-menetelmään kuuluu työvaiheiden jako ulkoisiin ja sisäisiin toimintoihin, jolloin mahdollisimman moni vaihtotoimenpide tehdään vielä paiston ollessa käynnissä. Tämän jälkeen

kaikkia muotinvaihtoon liittyviä toimenpiteitä pyritään tehostamaan erilaisilla menetelmillä. Kuva 21 esittää tiivistetysti prosessin, jota tämän työn pohjalta kannattaa käyttää muotinvaihdon vaihtoajan vähentämiseksi. Tehostaminen voidaan ajatella jatkuvan parantamisen prosessina, eli aina syklin päätyttyä palataan takaisin ensimmäiseen vaiheeseen. Tässä diplomityössä lasketut vähennykset muotinvaihtoon on tehty yhden syklin pohjalta.



Kuva 21. Muotinvaihdon tehostamisprosessin vaiheet.

Muotinvaihdon analysointi paljasti, että muotinvaihto kestää hieman yli 6 tuntia ja tästä ajasta ylimääräiseen toimintaan menee 24 prosenttia, muotin lämmitykseen 18 prosenttia ja muotin hakuun ja vientiin 15 prosenttia, eli näihin kolmeen toimenpiteeseen kuluu lähes 60 prosenttia koko muotinvaihtoon käytetystä ajasta. Loppu aika menee muotin asennukseen ja erilaisiin puristimen huolto- ja asetustoimintoihin. Kuvan 20 mukaisilla toiminnoilla voidaan muotinvaihtoa lyhentää 46 prosenttia, eli alkuperäisestä 6,3 tunnista noin 3,4 tuntiin.

Kuten aikaisemmin mainittiin, muotinvaihdon vaikutus läpimenoaikoihin riippuu paljon siitä, miten hyvin lyhyempää vaihtoaikaa hyödynnetään. Vaihtoajan nopeuttamisen mahdollistama sarjakoon lyhentäminen ja lyhentämällä sarjakokoa esimerkiksi puoleen, myös keskeneräisen tuotannon varasto aika kokoonpanon ja paiston välillä lyhenee myös puoleen. Lisäksi kirjallisuudessa on paljon viitteitä vaihtoajan lyhentämisen vaikutuksista läpimenoaikoihin. Muotinvaihdon nopeuttamisen tarjoamia lyhennyksiä on yksityiskohdaisemmin perusteltu luvussa 7.1.2. Tietenkin on mahdotonta sanoa päästäänkö esitettyihin aikatavoitteisiin toteuttamalla nämä toimenpiteet, esimerkiksi pystytäänkö kaikkea hukkaa poistamaan tai miten suuria muutoksia puristimiin muotin lämmityksen nopeuttaminen vaatii. Kuitenkin kirjallisuudessa on vahvoja väitteitä SMED:n tehokkuudesta ja näiden menetelmien soveltamisesta käytännössä (Pellegrini et al. 2012).

Diplomityön tavoitteeksi työn alussa määriteltiin kehittää ja kuvata Nokia Raskaiden Renkaiden tuotantoprosessia. Työ onnistui kuvaamaan valittujen renkaiden osalta tuotantoa hyvin ja arvovirtakuvaukset tuovat hyvin ilmi rengaskohtaiset vaihto-, varasto-, läpimeno- ja jaksonajat. Myös tuotannon ongelmat liittyen läpimenoaikoihin saatiin kuvattua. Ratkaisuvaihtoehdot liittyvät suoraan läpimenoaikoihin ja niihin kuvattuihin ongelmiin. Jos mietitään pelkästään läpimenoaikoja, suurin yksittäinen tekijä oli komponenttipuolen varastoajat, joten suurimmat vähennykset läpimenoaikoihin olisi voitu hakea tätä kautta. Kuitenkin päädyttiin tarkastelemaan muotinvaihdon tehokkuutta. Osasyynä tähän on se, että yrityksen sisällä on meneillään MES-järjestelmän käyttöönotto komponenttipuolelle, jolloin komponenttien liikkumisesta saadaan paljon tarkempaa tietoa mitä tämän diplomityön puitteissa pystytään keräämään. Tämän tiedon pohjalta pystytään tekemään paljon valistuneempia päätelmiä parannusehdotusten pohjalta. Paistoajan lyhentämiseen on suhteellisen yksinkertainen vastaus: puristimien lisäys tai paiston nopeuttaminen. Investoinniltaan tämän tyyppinen operaatio tulee olemaan erittäin kallis ja pitkäaikainen prosessi. Tutkimuksen edetessä havaittiin, että muotinvaihtoa voidaan nopeuttaa yksinkertaisillakin toimenpiteillä ja todettiin myös muotinvaihdon olevan ongelmallisen pitkä tällä hetkellä. Sen lisäksi, että muotinvaihdoilla pystytään vähentämään läpimenoaikoja, saadaan sillä muutoksia aikaiseksi tehtaassa pullonkaulaan eli paistoon. Tämän lisäksi se lisää tuotannon joustavuutta.

Tutkimuksen alussa asetettiin pää- ja alatutkimuskysymykset ja tutkimuksen tavoite on löytää näihin asetettuihin kysymyksiin vastaukset. Alakysymyksiin liittyen tuotantoprosessiin liittyvät ajat on määritelty arvovirtakuvauksissa ja tuotantoprosessin ongelmia on paiston pullonkaula ja sen aiheuttama välivarastoajan kasvu, komponenttien pitkät varastoajat ja muotinvaihtoajan pituus. Työhön valittiin lähtökohtana leanin-mukaisten työkalujen käyttö tuotannon tehostamisen apuna. Päättökysymyksenä pohdittiin kuinka parantaa tutkittavan tuotantoprosessin läpimenoaikoja ja vastaus lyhyesti voidaan todeta olevan: keskittymällä tuotannossa havaittuihin ongelmakohtiin, eli vähentämällä komponenttien varastoajaa, nopeuttamalla paiston jaksonaika ja tehostamalla muotinvaihtoa. Kokonaisuudessaan voidaan olla melko tyytyväisiä tutkimuksen lopputulokseen, työ onnistui tutkimaan prosessia ja rakentamaan arvovirtakuvaukset, läpimenoaikoja pidentävät tekijät löydettiin ja pystyttiin esittelemään konkreettisia ratkaisuita ongelmakohtiin.

Kohdeyrityksen kannalta optimaalinen läpimenoaikojen lyhentäminen saavutetaan käyttämällä kaikkia ratkaisuehdotuksia rinnakkain, kuitenkin tarkemmin näistä vaihtoehdoista on diplomityössä tarkasteltu vain muotinvaihdon nopeuttamista. Muotinvaihdon nopeuttaminen on ainakin osittain toteutettavissa edullisemmin ja nopeammin kuin muut vaihtoehdot. On myös hyvä muistaa, että tehtaassa prosesseja kehitetään jatkuvasti, jolloin arvovirtakuvaukset myös muuttuvat, onkin tärkeää pitää arvovirtakuvaukset ajan tasalla ja päivittää ne säännöllisin väliajoin.

Työssä tarkasteltu valmistusprosessi edustaa yhtä osaa tuotteen koko läpimenoajasta aina raaka-aineesta asiakkaalle. Tuotannon läpimenoajan lyhentäminen tehostaa tuotantoa,

mutta se vaikuttaa myös koko tuotantoketjun toimivuuteen. Tulosten perusteella prosessin yksi vaihe - paisto kokonaisuudessaan, aiheuttaa paljon tuotantotason ongelmia pitkällä vaihto- ja jaksonajoilla. Paiston on havaittu myös kirjallisuudessa tuottavan ongelmia renkaiden valmistuksessa ja olevan usein prosessin pullonkaula (European Tyre School, Controllability of a tyre factor 1999). Tuotantoa ajatellen paiston parantaminen ja kehittäminen osoittautuu läpimenoaikojen ja tuotannon toimivuuden kannalta merkittäväksi tekijäksi. Tässä yhtälössä muotinvaihtoja nopeuttamalla saatu joustavuus on tärkeä tekijä myös kasvavan tuotevalikoiman hallinnassa. Kehittämällä paistoa ja nopeuttamalla muotinvaihtoa, voidaan tuotantoon saavuttaa selkeitä parannuksia.

8.3 Tulosten kriittinen tarkastelu

Aineiston ja havaintojen luotettavuutta mitataan kahdesta eri näkökulmasta, reliabiliteetin ja validiteetin kannalta. Validiteetti tarkoittaa miten hyvin tutkimuksessa käytetyt menetelmät mittaavat juuri tutkittavaa ilmiötä, eli onko tutkittu oikeita asioita tutkimuskysymyksen näkökulmasta. Reliabiliteetilla tarkoitetaan aineiston luotettavuutta ja toistettavuutta, esimerkiksi tuottavatko mittaukset saman tuloksen muilla mittauskerroilla ja mitä virhemahdollisuuksia mittauksissa on ollut. (Saunders et al. 2000, ss. 156-157) On myös tärkeä tutkia tulosten yleistettävyyttä. Tämä tarkoittaa sitä miten hyvin tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää muissa kohteissa ja tilanteissa.

Työn alussa tutkimuskysymykseksi asetettiin "Kuinka parantaa tutkittavan tuotantoprosessin läpimenoaikoja?". Tutkimuksen validiteetin kannalta tulisi miettiä vastaako tehty tutkimus tähän kysymykseen. Työn keskeisimpiä tutkittavia ja mitattavia asioita oli kolme: vaihto-, jakson- ja varastoajat. Kirjallisuuskatsauksen perusteella voidaan todeta näiden tekijöiden vaikuttavan merkittävästi läpimenoaikoihin. Tämän perusteella todetaan tutkittavien suureiden olevan tarkoituksenmukaisia ja mittaavan tutkittavaa ilmiötä eli prosessin läpimenoaikoja.

Tutkimuksen tulokset merkittiin arvovirtakuvauksiin keskiarvoina, joten toinen pohdittava asia validiteetin näkökulmasta on, onko keskiarvojen mittaaminen perusteltua. Keskiarvojen laskeminen mittausten perusteella on yksinkertainen tapa analysoida tutkittavaa ilmiötä ja se kertoo läpimenoajasta sen ajan mikä keskimäärin kuluu yhden tuotteen valmistamiseen. Keskiarvojen mittaaminen jättää kuitenkin paljon tulkinnan varaa sille minkä ajan välissä läpimenoajat vaihtelevat. Toinen lähestymistapa, joka vastaisi näihin kysymyksiin on pohtia mittaustulosten hajontaa ja vaihteluväliä. Tämä tarkastelu vastaa kysymykseen, miten lähelle keskiarvoa tuotteiden läpimenoajat sijoittuvat. Tutkimuksessa on esitelty myös tulosten vaihteluvälejä, esimerkiksi varastoajoja kuvaavissa kuvissa. Suuri osa mitatuista suureista on selvitetty käyttäen normeja ja näille ei voida laskea hajontaa tai vaihteluväliä. Hajontaa tutkimalla voidaan selvittää prosessin kohdat, joissa esiintyy paljon vaihtelua ja selvittää miksi joillain tuotteilla kyseinen vaihe kestää pitempään kuin toisilla. Vaihtelua vähentämällä läpimenoajan ennustettavuus olisi paljon tar-

kempi. Toisaalta keskiarvot antavat selkeän kuvan mitkä prosessin vaiheet pidentävät läpimenoaikoja eniten ja tämän perusteella voidaan lähteä parantamaan prosessin oikeita ongelmakohtia.

Reliabiliteetin kannalta tulee pohtia primääri- ja sekundääridatan luotettavuutta. Primääridata hankittiin juuri tätä työtä varten ja mittauksissa mitattiin vain työlle oleellisia asioita, eli vaihto-, jakson- sekä varastoajoja. Vaihto- ja jaksonaikojen osalta mittaustilanne voi vääristää tuloksia, työntekijät voivat työskennellä normaalista poikkeavasti, esimerkiksi tehokkaammin antaakseen hyvän kuvan toiminnasta, mikä vääristää todellisia aikoja (Saunders & Lewis 2000, s. 293). Mittaukset tehtiin käsin, joten inhimillisiäkin virheitä tapahtuu, tästä esimerkkinä kellon virhepainallukset. Todennäköisesti suurempaa vääristymää tuloksiin aiheutti mittaustilanteen aiheuttama muutos työntekijöiden käytöksessä, kuin inhimillinen mittaajasta johtuva virhepainallus. Virhepainallus voi aiheuttaa yksittäisen muutaman sekunnin virheen, kun taas työntekijän käytöksen muutos voi aiheuttaa systemaattisesti koko mittausjakson kestävän vääristymän työntekonopeuteen ja samalla työkohtaisiin jaksonaikoihin. Todennäköisyys sille, että mittaustilanne aiheuttaa muutoksia työntekijän toimintaan on kohtalaisen suuri. Esimerkiksi tarkasteltaessa muotinvaihtoa, havainnointiin liittyi erilaisten kysymysten esittämistä käyttöasettajalle, jotta vaihdosta saataisiin tarkempaa tietoa. Tämän lisäksi, jotta tuotantoprosessin läpimenoajoista saataisiin kattavampi kuvaus, valittiin tarkasteluun neljä toisistaan poikkeavaa tuotetta.

Yksi suuri luotettavuuteen vaikuttava tekijä on suoritettujen mittausten määrä. Usein mittausten luotettavuutta voidaan parantaa mittauksia lisäämällä. Toisaalta on hankalaa arvioida, mikä määrä mittauksia on riittävä mihinkin tarkoitukseen. Kyseisessä työssä mittausten määrää osittain rajoitti joidenkin työvaiheiden pituus. Työvaiheiden kesto vaihteli muutamasta sekunnista jopa kahdeksaan tuntiin. Esimerkiksi kahdeksan tunnin mittauksia ei voi suorittaa monta työn mittakaavaan suhteutettuna. Toinen mittauksia vaikeuttava tekijä oli olla oikealla koneella oikeaan aikaan. Tehtaalla tehdään lähes kahtasataa eri rengasnimikettä ja jokainen rengas koostuu useista eri komponenteista. Joitain komponentteja tai renkaita tehdään harvoin ja vain pieniä sarjoja. Mittaustuloksista on havaittavissa kuitenkin säännönmukaisuutta ja toistuvuutta, joten voidaan olettaa tulosten olevan jossain määrin luotettavia. Lisäksi kyseiset tulokset riittivät tarpeeksi tarkan arvovirtakuvauksen laatimiseen. SMED-analyysiä tehtäessä mittausmäärää rajoitti vaihtoajan pitkä kesto. Analyysin tarkkuutta olisi voinut parantaa ottamalla tarkasteluun useampia muotinvaihtoja.

Varastoajojen mittaamiseen käytettyjä seurantapapereita arvioitaessa suurin virhelähde on operaattorissa, joka tekee merkinnät paperiin. Operaattori voi käytännössä merkitä ajan tai jäljitettävyyden numeron väärin, tai unohtaa liittää mukaan ”post-it” lapun. Varastoajojen mittauksissa pyrittiin pääsemään luotettavaan määrään mittaustuloksia jatkamalla seuranta tarpeeksi pitkään noin yhden kuukauden ajan. Toisaalta tiettyjä renkaita valmistetaan enemmän kuin toisia, joten niistä saatiin myös määrällisesti enemmän tietoa.

Muotinvaihtoon etsittiin parannuskeinoja havainnoimalla käyttöasettajan toimintaa vaihtotoimenpiteen aikana sekä keskustelemalla heidän kanssaan. Havainnointi on subjektiivinen tapa tulkita tiettyä toimintaa ja varsinkin, jos asiasta ei ole kovin syvällistä kokemusta voi havainnointi kiinnittyä epäolennaisiin asioihin. Toisaalta juttelemalla käyttöasettajien kanssa muotinvaihdosta ja kyselemällä eri toimenpiteistä voi saada paremman kuvan kyseisen prosessin ongelmista.

Sekundääriaineiston osalta virhemahdollisuudet ovat aineiston tulkinnessa ja alkuperäisen merkitsijän tekemisessä virheissä sekä aineiston soveltuvuudessa tähän tutkimukseen. Normien oikeellisuutta on pyritty varmistamaan esimerkiksi menemällä laitteelle ja suorittamalla jakson- tai vaihtoajan mittaus ja vertaamalla sitä asetettuun normiin. Työaika-raportteihin sisältyy myös suuri virhemahdollisuus, riippuen kuinka tarkasti operaattori on työajat merkinnyt. Sama virhemahdollisuus liittyy seurantalappujen merkintöihin. Työaika-raportista on kuitenkin helppo havaita selkeät virheet ja jos samoille tuotteille saadaan samoja suoritusajkoja useammasta raportista eri henkilöiltä, voidaan olla varmempia merkintöjen oikeellisuudesta.

Lopuksi jää kysymys, kuinka yleistettäviä tutkimuksen tulokset ovat muissa kohteissa, esimerkiksi tehtaissa joissa tehdään erätuotantoa useilla tuotevaihdoin. Todennäköisesti monessa tehtaassa vaihto-, jakson- ja varastoajat muodostavat tärkeän osan läpimenoajoista. Erätuotanto, jossa tehdään paljon tuotevaihtoja, korostaa vaihtoajkojen merkitystä. Kiinnittämällä huomiota näihin kolmeen tekijään päästään käsiksi läpimenoajkoja pidentäviin tekijöihin. Tietenkin merkittävien läpimenoajkoja lisäävät tekijät ovat täysin prosessikohtaisia ja riippuvat tarkasteltavasta tehtaasta. Tämä työ esittelee tavan lyhentää läpimenoajkoja parantamalla vaihtoajkoja. Työssä esitellään SMED-tekniikka ja kuinka sitä voidaan soveltaa muotinvaihdon nopeuttamiseen. SMED on käyttökelpoinen useissa eri käyttökohteissa ja sillä on saatu lyhennettyä vaihtoajkoja huomattavasti.

Arvovirtakuvauksista voidaan huomata paiston ja muotinvaihdon olevan merkittävästi pisimmät vaiheet verrattuna muihin työvaiheisiin. Tämä tarkoittaa sitä, että pienet mitausvirheet eivät olisi muuttaneet prosessissa löytyneitä ongelmakohtia. Työ antaa esimerkin, kuinka läpimenoajkoja voidaan tutkia ja parantaa erätuotannossa käyttäen hyväksi arvovirtakuvauksia. Jokainen tehdas ja prosessi ovat erilaisia, joten on hankala yleistää mikä kussakin ympäristössä on keskeinen läpimenoaika lisäävä tekijä. Työn perusteella voidaan kuitenkin todeta, että tarkkailemalla vaihto-, jakson- ja varastoajkoja pystytään läpimenoajkoja pidentäviä tekijöitä kartoittamaan ja korjaamaan.

8.4 Jatkotutkimustarpeet

Tämä tutkimus antoi vastauksia useaan kysymykseen ja loi lisäinformaatiota erityisesti valmistusprosessin osalta, mutta samalla se herätti joukon uusia kysymyksiä, jotka tarjoavat haasteita ja tutkimuskohteita myös jatkossa. Kohdeyrityksen valmistusprosessien

kehittyessä myös diplomityössä käsitellyt aiheet voivat muuttua ja tarvita myöhemmin jatkotutkimusta. Tunnistettuja jatkotutkimusaiheita ovat:

- Komponenttipuolen varastoaikojen jatkoselvitys: Tutkimuksessa kerättiin komponenttipuolen varastoaikoja, samalla kävi ilmi, että tulosten hajonta on melko suurta. Osasyynä tähän on se, että kaikkia komponenttipakkoja ei käytetä aina kokonaan, jolloin ne jäävät odottamaan seuraavaa valmistuserää ja tästä johtuen niiden varastoaika voi venyä. Jatkoselvityksenä tulisi tarkemmin tutkia mistä tämä hajonta johtuu ja kuinka sitä voidaan vähentää.
- Työntekijöiden informaation siirtämisen tehostaminen: Muotinvaihto sisältää paljon erilaisia työvaiheita. Miten paljon työntekijöiden koulutuksella ja benchmarkkausella voidaan saavuttaa lisätuloksia? Voiko benchmarkkausta optimoida tällaiseen tuotantoprosessiin ja onko aiheesta olemassa tieteellistä tutkimusta?
- Imuohjauksen kehittäminen komponenttipuolella: Tutkimuksessa huomattiin komponenttipuolen tuotannon ohjautuvan kokoonpanokoneilla tehtävien inventointien tai valmistusmäärien perusteella. Tulevana tutkimuskohteena komponenttipuolen tuotannonohjausta tulisi kehittää niin, että imuohjaus saadaan toteutettua tehokkaammin ja läpimenoaikoja vähennettyä.
- SMED:n soveltamisesta saadut säästöt muotinvaihtoon: Tutkimuksessa tehtiin suosituksia ja arvioita muotinvaihdon nopeuttamiselle. Jatkotutkimuksena tulisi analysoida kuinka tehokkaasti nämä toimenpiteet todellisuudessa nopeuttivat vaihtoaikaa ja miten lähelle työssä tehtyjä arvioita päästiin. Samalla tulisi miettiä onko muita vaihtoikaan liittyviä tehostamismenetelmiä tullut ilmi.

Työ herätti myös kysymyksiä liittyen asioiden tekniseen toteutettavuuteen esimerkiksi paistoajan nopeuttamisen suhteen. Diplomityön toteuttaminen keskittyi vahvasti lean tyyppiseen tuotantoon ja ajatteluun sekä näiden mallien hyväksikäyttöön. Leanille tyyppilistä on jatkuva parantaminen, joten myöskään näiden työssä tarjottujen ratkaisujen varaan ei kannata jäädä, vaan niitä tulee myös jatkossa arvioida ja kehittää.

LÄHTEET

Mileham, A.R., Culley, S.J., Owen, G.W. & McIntosh, R.I. 1999. Rapid changeover – a prerequisite for responsive manufacturing. *International Journal of Operations & Production Management* 19, 8, pp. 785-796.

Al-Aomar, R.A. 2011. Applying 5S LEAN Technology: An infrastructure for continuous process improvement. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 59, pp. 2014-2019.

Alden, J.M., Burns, L.D., Costy, T., Hutton, R.D., Jackson, C.A., Kim, D.S., Kohls, K.A., Owen, J.H., Turnquist, M.A. & Veen, D.J.V. 2006. General Motors increases its production throughput. *Interfaces* 36, 1, pp. 6-25.

Angelis, J., Conti, R., Cooper, C. & Gill, C. 2011. Building a high-commitment lean culture. *Journal of Manufacturing Technology Management* 22, 5, pp. 569-586.

Aziz, M.H., Bohez, E.L.J., Pisuchpen, R. & Parnichkun, M. 2013. Petri Net model of repetitive push manufacturing with Polca to minimise value-added WIP. *International Journal of Production Research* 51, 15, pp. 4464-4483.

Betterton, C.E. & Cox III, J.F. 2009. Espoused drum-buffer-rope flow control in serial lines: A comparative study of simulation models. *International Journal of Production Economics* 117, 1, pp. 66-79.

Bhamu, J. & Kuldip, S.S. 2014. Lean manufacturing: literature review and research issues. *International Journal of Operation & Production Management* 34, 7, pp. 876-940.

Bikram, J.S. & Khanduja, D. 2010. SMED: for quick changeovers in foundry SMEs. *International Journal of Productivity and Performance Management* 59, 1, pp. 98-116.

Boyle, T.A. & Scherrer-Rathje, M. 2009. An empirical examination of the best practices to ensure manufacturing flexibility. *Journal of Manufacturing Technology Management* 20, 3, pp. 348-366.

Chen, J.C., Li, Y. & Shady, B.D. 2010. From value stream mapping toward a lean/sigma continuous improvement process: an industrial case study. *International Journal of Production Research* 48, 4, pp. 1069-1086.

Cooney, R. 2002. Is “lean” a universal production system? Batch production in the automotive industry. *International Journal of Operations & Production Management* 22, 10, pp. 1130-1147.

Demeter, K. & Matyusz, Z. 2011. The impact of lean practices on inventory turnover. *International Journal of Production Economics* 133, 1, pp. 154-163.

Dixon, D. 2008. Lesson in lean: Value stream mapping. *Fabricating & Metalworking* 7, 8, pp. 22-24.

- European Tyre School, Controllability of a tyre factor 1999. [viitattu 7.12.2015]. Saatavissa: https://www.tut.fi/ms/muo/tyreschool/moduulit/moduuli_3/hypertext/index.html.
- European Tyre School, Curing methods 1999. [viitattu 14.12.2015]. Saatavissa: https://www.tut.fi/ms/muo/tyreschool/moduulit/moduuli_2/hypertext_2/index.html.
- European Tyre School Vulcanization 1999. [viitattu 14.12.2015]. Saatavissa: https://www.tut.fi/ms/muo/tyreschool/moduulit/moduuli_6/hypertext/index.html.
- Fry, T.D. 1990. Controlling input: the real key to shorter lead times. *The International Journal of Logistics Management* 1, 1, pp. 7-12.
- Gapp, R., Fisher, R. & Kobayashi, K. 2008. Implementing 5S within a Japanese context: an integrated management system. *Management Decision* 46, 4, pp. 565-579.
- Hakkapeliitta eAcademy 2015. [viitattu 10.11.2015]. Saatavissa: https://gimlet.nokiantyres.com/players/nokianrenkaat/RR_intro/fi/Player.aspx?clid=174&cid=2814.
- Hines, P. & Rich, N. 1997. The seven value stream mapping tools. *International Journal of Operations & Production Management* 17, 1, pp. 46.
- Holweg, M. 2007. The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management* 25, 2, pp. 420-437.
- Karmarkar, U.S. 1987. Lot sizes, lead times and in-process inventories. *Management science* 33, 3, pp. 409-418.
- Kasanen, E., Lukka, K. & Siitonen, A. 1993. The constructive approach in management accounting research. *Journal of Management Accounting Research* 5, pp. 243.
- Krafcik, J.F. 1988. Triumph Of The Lean Production System. *Sloan management review* 30, 1, pp. 41.
- Land, M. & Gaalman, G. 1996. Workload control concepts in job shops A critical assessment. *International Journal of Production Economics* 46-47, pp. 535-548.
- Lewis, J. 2005. Identifying seven types of waste. *Upholstery Manufacturing* 18, 10, pp. 20-24.
- Liker, J.K. & Meier, D. 2006. *The Toyota way fieldbook: A practical guide for implementing Toyota's 4Ps*. New York, McGraw-Hill. 475 p.
- Liker, J.K. 2004. *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. New York, McGraw-Hill. 330 p.
- Lovelle, J. 2001. Mapping the value stream. *IIE Solutions* 33, 2, 26 p.
- Lu, J., Yang, T. & Wang, C. 2011. A lean pull system design analysed by value stream mapping and multiple criteria decision-making method under demand uncertainty. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 24, 3, pp. 211-228.

- Marek, R.P., Elkins, D.A. & Smith, D.R. 2001. Manufacturing controls: understanding the fundamentals of Kanban and CONWIP pull systems using simulation. Proceedings of the 33rd conference on Winter simulation, IEEE Computer Society. pp. 921-929.
- Maxie Burns, O., Turnipseed, D. & Riggs, W.E. 1991. Critical success factors in manufacturing resource planning implementation. *International Journal of Operations & Production Management* 11, 4, pp. 5-19.
- McIntosh, R., Culley, S., Gest, G., Mileham, T. & Owen, G. 1996. An assessment of the role of design in the improvement of changeover performance. *International Journal of Operations & Production Management* 16, 9, pp. 5-22.
- McIntosh, R., Culley, S., Mileham, A. & Owen, G. 2000. A critical evaluation of Shingo's' SMED'(Single Minute Exchange of Die) methodology. *International Journal of Production Research* 38, 11, pp. 2377-2395.
- Monden, Y. 2012. *Toyota production system: an integrated approach to just-in-time*. Boca Raton, CRC Press. 420 p.
- Monden, Y. 1983. *Toyota production system: practical approach to production management*. Norcross, Ga, Industrial Engineering and Management Press. Institute of Industrial Engineers. 247 p.
- Nokian Renkaat. 2015. Nokian Forest King F2. [viitattu 17.11.2015]. Saatavissa: <https://www.nokianrenkaat.fi/yritys/uutinen/nokian-forest-king-f2-telapittoa-vaativaan-metsakayttoon/>.
- Nokian Renkaat. 2015. Nokian Forest Rider. [viitattu 18.11.2015]. Saatavissa: <http://www.nokianraskaatrenkaat.fi/renkaat/rengas/nokian-forest-rider-tractor-based-machines/>.
- Nokian Renkaat. 2015. Nokian Mine King L-5S. [viitattu 17.11.2015]. Saatavissa: <http://www.nokianraskaatrenkaat.fi/renkaat/rengas/nokian-mine-king-l-5s/>.
- Nokian Renkaat. 2015. Nokian TRI 2. [viitattu 18.11.2015]. Saatavissa: <http://www.nokianraskaatrenkaat.fi/renkaat/rengas/nokian-tri-2/>.
- Nokian Renkaat. 2015. Vuosikertomus 2014. [viitattu 10.11.2015]. Saatavissa: <http://vuosikertomus2014.nokianrenkaat.fi/>.
- Patel, S., Dale, B.G. & Shaw, P. 2001. Study and Implementation of Single Minute Exchange of Die (SMED) Methodology in a Setup Reduction Kaizen. *The TQM Magazine* 13, 3, pp. 175-179.
- Pegels, C.C. & Watrous, C. 2005. Application of the theory of constraints to a bottleneck operation in a manufacturing plant. *Journal of Manufacturing Technology Management* 16, 3, pp. 302-311.

- Pellegrini, S., Shetty, D. & Manzione, L. 2012. Study and Implementation of Single Minute Exchange of Die (SMED) Methodology in a Setup Reduction Kaizen. *International Conference on Industrial Engineering and Operations* pp. 2353-2363.
- Rahman, S. 1998. Theory of constraints: a review of the philosophy and its applications. *International Journal of Operations & Production Management* 18, 4, pp. 336-355.
- Reynolds, D. 1999. Inventory-Turnover Analysis Its Importance for On-site Food Service. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly* 40, 2, pp. 54-58.
- Roser, C., Nakano, M. & Tanaka, M. 2003. Comparison of bottleneck detection methods for AGV systems. *Simulation Conference, 2003. Proceedings of the 2003 Winter, IEEE.* pp. 1192-1198.
- Rother, M. & Shook, J. 1999. *Learning to see.* Lean Enterprise Institute pp. 1-138.
- Rust, K. 2008. Using Little's Law to estimate cycle time and cost. *Proceedings of the 40th Conference on Winter Simulation, Winter Simulation Conference.* pp. 2223-2228.
- Sahoo, A., Singh, N., Shankar, R. & Tiwari, M. 2008. Lean philosophy: implementation in a forging company. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 36, 5, pp. 451-462.
- Saunders, M., Lewis, P. & Thornhill, A. 2000. *Research Methods for Business Students.* 5th ed. England, Pearson education. 615 p.
- Serrano, I., Ochoa, C. & Castro, R.D. 2008. Evaluation of value stream mapping in manufacturing system redesign. *International Journal of Production Research* 46, 16, pp. 4409-4430.
- Seth, D. & Gupta, V. 2005. Application of value stream mapping for lean operations and cycle time reduction: an Indian case study. *Production Planning & Control* 16, 1, pp. 44-59.
- Simchi-Levi, D. 2010. *Operations rules: delivering customer value through flexible operations.* Cambridge, Mass., MIT Press. 251 p.
- Sohlenius, G. 1992. Concurrent Engineering. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 41, 2, pp. 645-655.
- Stevenson, M., Hendry, L.C. & Kingsman, B.G. 2005. A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. *International Journal of Production Research* 43, 5, pp. 869-898.
- Stevenson, W.J. 2012. *Operations management.* New York, McGraw-Hill/Irwin. 945 p.
- Swanson, C.A. & Lankford, W.M. 1998. Just-in-time manufacturing. *Business Process Management Journal* 4, 4, pp. 333.

Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X. & Yang, K. 2015. Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process. *International Journal of Production Economics* 160, pp. 202-212.

Ulutas, B. 2011. An application of SMED Methodology. *World academy of science, engineering and technology* 79, pp. 101.

Vollmann, T.E., Berry, W.L. & Whybark, D.C. 2005. *Manufacturing planning and control systems for supply chain management*. New York, McGraw-Hill. 560 p.

Womack, J.P. & Jones, D.T. 2003. *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. New York, Free Press. 403 p.

Womack, J.P. 2006. Lean tools: value stream mapping. *Manufacturing Engineering* 136, 5, pp. 145-146,148,150-156.

LIITE 2: VÄLIVARASTOAIKOJEN KEHITYSTEN VERTAILU

Punainen suora on teoreettinen ja sininen suora mittausten pohjalta määritetty.

