



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JOONAS KOSKI
TUOTANNOHJAUKSEN KEHITTÄMINEN VENTTIILITUO-
TANNOSSA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Kari Koskinen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden
tiedekuntaneuvoston kokouksessa
4. kesäkuuta 2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan Koulutusohjelma

KOSKI, JOONAS: Tuotannonohjauksen kehittäminen venttiilituotannossa

Diplomityö, 85 sivua, 2 liitesivua

Tammikuu 2015

Pääaine: Tuotantotekniikka

Tarkastaja: professori Kari Koskinen

Avainsanat: tuotannonohjaus, imuohjaus, työntöohjaus, tilaus-toimitusprosessi

Diplomityössä tutkittiin venttiileitä kaukolämpö- ja kaukokylmäputkistoihin valmistavan yrityksen yhden venttiiliperheen tuotannonohjauksen kehittämistä vertaamalla työntö- ja imuohjausta. Tutkimuskohteena olevan tuotannon vuosittaiset valmistusmäärät ovat kasvaneet merkittävästi viime vuosina ja kasvun odotetaan edelleen jatkuvan. Venttiilien tuotannonohjaus on toteutettu samalla tavalla kuin yrityksen muiden venttiilien vaikka rakenne, valmistusprosessit ja vuosivolyymit eroavat merkittävästi. Tuotannonohjausta on pyritty kehittämään valmistettaville tuotteille sopivammaksi, mutta lopputuloksena on ollut työläs ja vaihteleva ohjaustapa. Tuotannonohjauksen haasteita lisäävät vielä yrityksen sesonkiluonteiset markkinat.

Tutkimus jakautui kahteen osaan, joista ensimmäisenä toteutettiin kirjallisuustutkimus tuotannonohjauksen teoriasta. Kirjallisuustutkimuksen tarkoituksena oli tutustua sekä tuotannon että tuotannonohjauksen periaatteisiin ja tavoitteisiin, jonka jälkeen imu- ja työntöohjausta vertailtiin teoreettisesta näkökulmasta. Tutkimuksen seuraavassa osassa siirryttiin työn käytännön osuuteen, jonka tarkoituksena oli muodostaa kuva kohdeyrityksen tuotannonohjauksen nykytilasta sekä vertailla imu- ja työntöohjauksen toimivuutta venttiilien valmistuksessa. Tuotannonohjausmenetelmien vertailu toteutettiin Excel taulukkolaskentaohjelmaan kehitetyllä simulaatiomallilla.

Nykytilan kuvauksesta havaittiin, että tuotannonohjauksen suurimmat haasteet johtuvat tilaus-toimitusprosessin vaihtelevuudesta. Vaihtelun poistamiseksi työssä kehitettiin kaksi imu- ja työntöohjaukseen perustuvaa vakioitua tuotannonohjausmallia, joita vertailtiin simulaation avulla käyttämällä vuosien 2011-2013 venttiilien kulutusta. Simulaatiomallista saatujen tuloksien perusteella voitiin todeta, että imuohjauksen mahdollistama joustavuus tuotannossa pienentäisi puolivalmis- ja valmisvaraston arvoja noin 40-50 prosenttia verrattuna työntöohjaukseen. Suurimpina tekijöinä tässä olivat imuohjauksen puskurivarastot, joiden avulla venttiileitä voidaan valmistaa lyhyemmällä läpimenoajalla pienemmissä erissä. Tuotannon nykytilaan verrattuna imuohjauksella voitaisiin vapauttaa noin viisi prosenttia puolivalmis- ja valmisvarastoon sitoutuneesta pääomasta. Nykytilaan verrattuna imuohjauksella puolivalmisvaraston arvot laskisivat noin 30 prosenttia ja valmisvaraston 10 prosentin kasvulla mahdollistettaisiin venttiilien lyhyemmät toimitusajat asiakkaille.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

KOSKI, JOONAS: Development of Production Control in Valve Manufacturing

Master of Science Thesis, 85 pages, 2 Appendix pages

January 2015

Major: Production Engineering

Examiner: Professor Kari Koskinen

Keywords: production control, pull production, push production, order-to-delivery process

This thesis was done to a company that produces valves for district heating and cooling pipes. The thesis focuses on the development of production control of one of the company's product families by comparing push and pull production. The annual production volumes for the product family have increased significantly in the recent years and are expected to continue increasing. The production control of the valves has been carried out similarly to the company's other valves even though the structure of the valve, the manufacturing process and the annual volumes differ significantly. The company has tried to develop the production control to suit the valves better, but the end result has been a more complicated and laborious way of control. The challenges for the production control are further increased by the company's seasonal markets.

The study of this thesis has been divided into two parts of which the first one consist of a literature review of production control. The purpose of the literature review was to study the principles and goals of both production and production control, followed by a theoretical comparison of push and pull production. The second part of this thesis is a practical study of the current state of production control in the company and the comparison of push and pull production's impact on the production. The comparison was carried out with a simulation model done with Excel spreadsheet program.

The study of the current state of production control showed that biggest challenges resulted from the variability of the order-to-delivery process. To eliminate this variability two different production control models were developed based on pull and push production, which were then compared with a simulation model based on the consumption of valves in 2011-2013. The results of the simulation model showed that with the flexibility that pull production offers, the semi-finished and finished goods inventory was possible to decrease by 40-50 percent. The major factors in the decrease were buffer stocks that made it possible to produce valves in smaller batches with shorter lead time. Compared to the current state, pull production would free 5 percent of capital committed to the semi-finished and finished goods inventory. With pull production the semi-finished goods inventory could be decreased by 30 percent and the finished goods inventory increased by 10 percent to allow shorter delivery times to customers.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin kaukolämpö- ja kaukokylmäventtiileitä valmistavalle yritykselle 29.10.2013–9.12.2014 välisenä aikana. Suurimmat kiitokset yrityksen tuotannonkehityspäällikölle Juho Rentolalle, joka mahdollisti tämän työn ja tarjosi uskomattoman tuen yli vuoden mittaiseen projektiin. Suuret kiitokset myös tehtaan työntekijöille, jotka tarjosivat valtavan määrän tietoa päivittäisestä valmistuksesta.

Yrityksen henkilökunnan lisäksi haluan kiittää Tampereen teknillisen yliopiston henkilökunnan jäseniä, jotka ovat vuodesta 2007 lähtien tarjonneet valtavan määrän tietoa ja mahdollistaneet tämän työn tekemisen. Professori Paul Anderssonin muistoa kunnioittaen haluan välittää hänelle kiitokset työn ohjauksesta sekä tutkija Hasse Nylundille ja professori Kari Koskiselle kiitokset työn arvostelusta ja loppuun saattamisesta.

Viimeiset ja tärkeimmät kiitokset avopuolisolleni, vanhemmilleni ja siskolleni! Kiitokset valtavasta tuesta, jonka olette tarjonneet koko opintojeni ajalle. Ilman teitä en olisi tässä kirjoittamassa diplomityöni viimeisiä sanoja.

Nokia, 9.12.2014

Joonas Koski

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	1
1.1	Työn tavoitteet ja rajaus	1
1.2	Työn rakenne ja tutkimusmenetelmät	2
2	Tuotannon ominaispiirteet	3
2.1	Tuotantomuotojen jaottelu	5
2.2	Tuotannon kilpailutekijät ja tavoitteet	8
3	Tuotannonohjauksen tehtävät ja tavoitteet	11
3.1	Tuotannonohjauksen tavoitteet	13
3.2	Tuotannonohjausprosessi	15
3.2.1	Kokonaissuunnittelu	16
3.2.2	Karkeasuunnittelu	18
3.2.3	Hienosuunnittelu	19
3.3	Tuotannon ohjattavuus	20
4	Tuotannonohjausmenetelmät ja – filosofiat	25
4.1	Työntö- ja imuohjaus	25
4.1.1	Kanban-järjestelmä	27
4.1.2	Työntö- ja imuohjauksen vertailua	30
4.2	MRP- ja MRP II-tuotannonohjausmenetelmät	32
4.3	JIT-tuotannonohjausfilosofia	34
5	Kohdeyritys ja tuotannonohjauksen nykytila	42
5.1	Kohdeyrityksen tuotteet ja markkinat	42
5.2	Venttiilien valmistus	46
5.3	Tuotannonohjauksen nykytila	47
5.4	Nykytilan arvovirtakuvaus	49
5.5	Nykytilan tuotannonohjauksen haasteet	50
6	Tulevaisuuden vaihtoehtoiset tuotannonohjausmallit	52
6.1	Imuohjaus kohdeyrityksessä	53
6.1.1	Tasoitettu tuotanto	56
6.1.2	Valmisvaraston minimi- ja maksimirajat	58
6.1.3	Puolivalmisteverastojen puskurit sekä valmistusimpulssit	61
6.2	Työntöohjaus kohdeyrityksessä	66
6.2.1	Työntöohjauksen eräkoot ja työjono	68
6.2.2	Valmisvaraston mitoittaminen	71
7	Tuotannonohjausmallien vertailu ja simuloinnin tulokset	72
7.1	Puolivalmis- ja valmisvaraston tulokset	73
7.2	Simuloinnin yhteenvedo ja tuotannonohjausmallin valinta	77
8	Tuotannonohjauksen jatkokehitys	80
9	Johtopäätökset	82
	Lähteet	84
	Liite 1: Nykytilan arvovirtakuvaus	86
	Liite 2: Imuohjauksen arvovirtakuvaus	87

LYHENTEET, TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

ATO	Assemble-to-order, Asiakasohjautuva kokoonpano
CODP	Customer Order Decoupling Point, Asiakastilauksen kytkeytymiskohdaksi
ETO	Engineer-to-order, Asiakasohjautuva tuotesuunnittelu
FIFO	First in, First out, Varastonhallintatapa
HEIJUNKA	Tuotannon tasapainottaminen JIT-filosofiassa
JIT	Just-In-Time, Japanilainen tuotantofilosofia
JOT	Juuri-Oikeaan-Tarpeeseen, JIT:in suomennos
KANBAN	Valmistusimpulssin välittämisen työkalu
KET	Keskeneräinen tuotanto
MPS	Master Production Schedule, Karkeavalmistussuunnitelma
MRP	Materials Requirements Planning, Tuotannonohjaukseen käytettävä materiaalinhallintajärjestelmä.
MRP II	Manufacturing Resource Planning, Tuotannonohjaukseen käytettävä materiaalinhallintajärjestelmä.
MTO	Make-To-Order, Tilausohjautuva tuotanto
MTS	Make-To-Stock, Varasto-ohjautuva tuotanto
RCCP	Rough-cut Capacity Planning, Karkeakapasiteettisuunnittelu, MRP II järjestelmän työkalu
VSM	Value Stream Mapping, Arvovirtakuvaus

1 JOHDANTO

Diplomityön kohdeyritys on suomalainen hitsattavien kaukolämpö- ja kaukokylmäventtiilien valmistaja, jonka tuotevalikoimaan kuuluvat myös öljy ja kaasuverkostoihin sekä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiin kehitettyjä venttiileitä. Yrityksen yhden venttiiliperheen kysyntä on kasvanut merkittävästi viime vuosina ja kysynnän uskotaan jatkavan kasvua myös seuraavina vuosina. Venttiiliperheen operatiivinen toiminnanohjaus on toteutettu samalla tavalla kuin yrityksen muiden tuotteiden vaikka venttiilien rakenne, valmistusprosessi, vuosivolyymit ja asiakkaiden vaatima palvelutaso toimitusaikojen muodossa on erilainen. Tuotannonohjaukselta on pyritty kehittämään kyseisille venttiileille sopivammaksi, mutta ilman vakioituja toimintatapoja ohjauksesta on tullut työlästä ja vaihtelevaa. Tuotannonohjauksen vaihtelevuuden lisäksi yrityksen markkinat asettavat sille suuria haasteita, sillä lähes 80 prosenttia venttiileistä myydään huhtikuun ja syyskuun välisenä aikana, jolloin kaukolämpölinjoja rakennetaan ja huolletaan. Vaihtelevat ohjausprosessit ja haastavat markkinat ovat aiheuttaneet tuotannossa varastojen kasvun sekä tehneet palvelutason ylläpidosta haastavan.

1.1 Työn tavoitteet ja rajaus

Diplomityön päätavoitteena on vakioituneen tuotannonohjauksen kehittäminen imu- ja työntöohjauksella vertailemalla. Uudella tuotannonohjauksella tuotannon pitäisi pystyä vastamaan asiakkaiden tilauksiin maksimissaan kolmen viikon toimitusajalla. Varastojen osalta tavoitteet asetettiin siten, että puolivalmisvaraston kasvu tulisi saada hallintaan. Puolivalmis- tai valmisvaraston pienentämiselle ei asetettu selkeitä tavoitteita, mutta yritys halusi, että varastoissa olisi oikeita puolivalmisteita ja tuotteita palvelutason parantamiseksi. Aineet ja tarvikkeet – varasto rajattiin työstä pois sillä ajatuksella, että tuotannolla olisi aina käytettävissä tarvittavat osto-osat. Tuotannonohjauksen kehittämisessä tulee kuitenkin huomioida yrityksen kokonaisvaltainen tavoite tämän varaston pienentämiseksi.

Venttiiliperheen osalta on myös hiljattain saatu päätökseen merkittävä layout muutos, joten työstä rajattiin pois layoutin kehittäminen ja tuotannonohjaus päätettiin suunnitella nykyisen layoutin mukaisesti.

1.2 Työn rakenne ja tutkimusmenetelmät

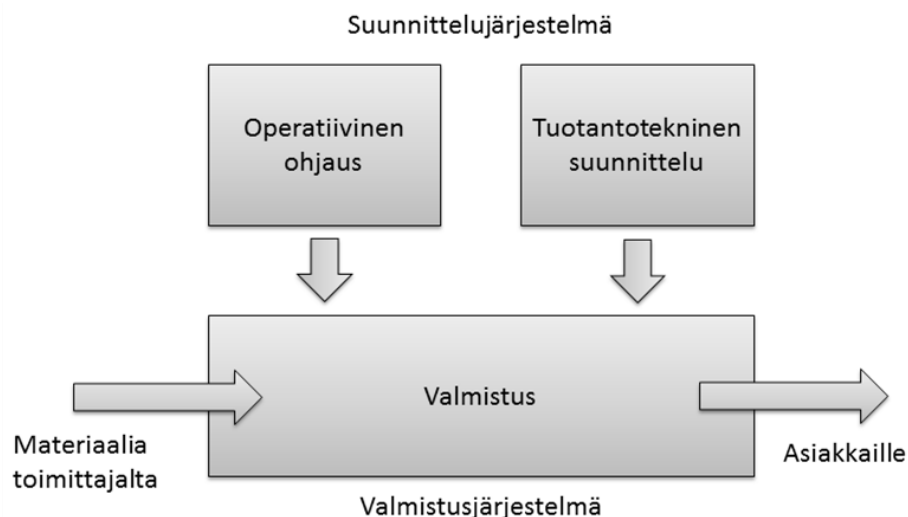
Työn rakenne jakautuu kahteen osaan siten, että luvut 2-4 käsittelevät työn teoriaosuutta ja luvut 5-9 työn käytännöosuutta. Kirjallisuustutkimuksen pohjalta tehdyssä teoriaosassa esitellään yleisesti tuotantojärjestelmän toimintaa ja tuotannonohjauksen merkitystä tuotantojärjestelmälle. Tämän jälkeen työssä syvennyttään tuotannonohjaukseen käsittelemällä yleistä tuotannonohjausprosessia kokonaissuunnittelusta valmistuksen ohjaukseen. Teorian viimeisessä luvussa esitellään erilaisia tuotannonohjausmuotoja ja japanilainen tuotannonohjausfilosofia Just-in-time (JIT).

Työn käytännöosuudessa esitellään ensimmäiseksi kohdeyritystä ja sen nykyistä tuotannonohjausta. Nykytilan kuvaus perustuu kirjoittajan omiin kokemuksiin tuotannosta sekä lukuisiin keskusteluihin yrityksen työntekijöiden kanssa. Kuvauksen muodostamiseksi on myös analysoitu toiminnanohjausjärjestelmästä saatua dataa. Luvussa 6 siirrytään kuvailemaan mahdollisia tulevaisuuden tuotannonohjausmalleja, joita vertaillaan luvussa 7. Ohjaustapojen vertailu tehtiin Excel taulukkolaskentaohjelmaan kehitetyllä simulaatiomallilla. Työn viimeisissä luvuissa 8-9 kerrotaan työstä syntyneet johtopäätökset vaihtoehtoisista tuotannonohjausmalleista sekä jatkokehityksen tarpeesta.

2 TUOTANNON OMINAISPIIRTEET

Haverila et al. (2009) kirjoittavat, että ”tuotantoprosessia voidaan pitää valmistavan yrityksen yhtenä keskeisimmistä toiminnoista.” Tuotannon tehtävänä on muuttaa tuotantontekijät markkinoille tarkoitettaviksi hyödykkeiksi. Tuotantontekijöitä ovat työ, pääoma ja materiaali. Tuotannon sijasta puhutaan usein valmistuksesta, joka on yksi yrityksen tärkeimmistä toiminnoista ja tuotannon keskeinen osa. Tuotanto määritellään kuitenkin nykyään laajemmassa muodossa käsittäen yrityksen kaikki toiminnot, jotka tarvitaan tuotteen aikaansaamiseksi. Tuotanto voidaan määritellä hankinnan, valmistuksen, jakelun sekä tilauskohtaisen tuotesuunnittelun muodostamaksi kokonaisuudeksi. (Haverila et al. 2009, s. 397)

Tuotantojärjestelmän voidaan kuvata olevan mikä tahansa järjestelmä, joka tuottaa jotain. Tarkemmin kuvattuna tuotantojärjestelmä on järjestelmä, joka muokkaa jostakin syötteestä tuotoksen, jolla on jokin arvo. Lapinleimu et al. (1997) esittävät kirjassaan ”Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät”, että ”tuotantojärjestelmän tehtävä on saada materiaali virtaamaan valmistuksessa tilauksesta toimitukseksi. Virtauksen aikana materiaali jalostuu tuotteeksi ja sen arvo lisääntyy jalostusarvon verran.” Tuotantojärjestelmä koostuu kahdesta toiminnosta: valmistusjärjestelmästä ja suunnittelujärjestelmästä. Näiden välistä yhteyttä on kuvattu alla olevassa kuvassa 2.1.



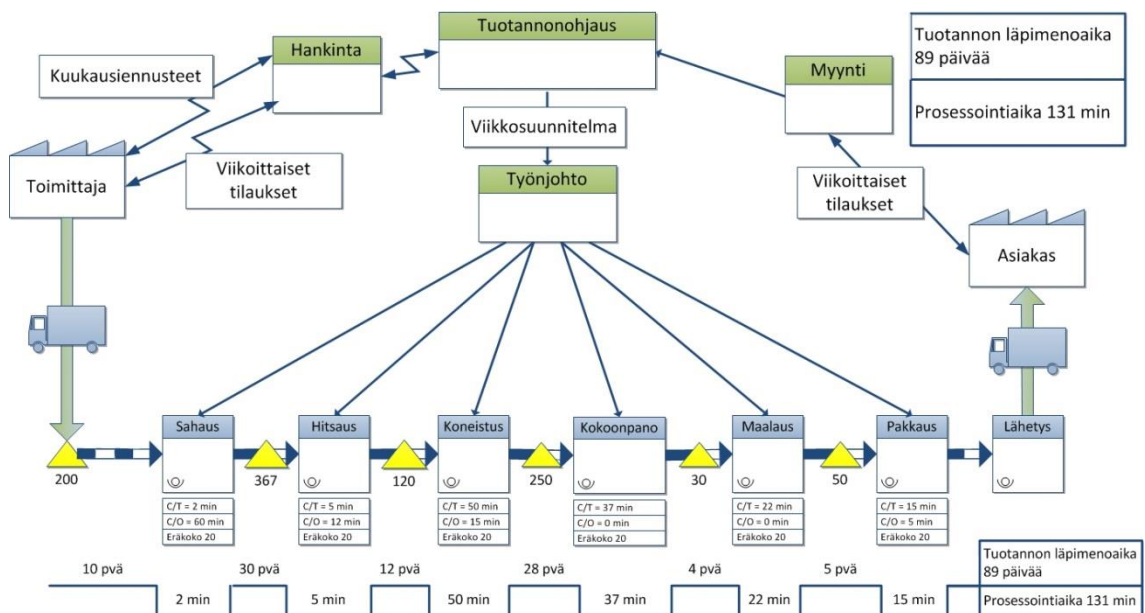
Kuva 2.1. Tuotantojärjestelmä (Lapinleimu et al. 1997, s. 15)

Tuotteen arvon jalostus tapahtuu tuotantojärjestelmän valmistusjärjestelmässä. Suunnittelujärjestelmällä luodaan valmiudet tuotteen valmistukselle sekä ajoitetaan ja annetaan toteutusimpulssit tuotannolle. (Lapinleimu et al. 1997, s. 15)

Materiaalivirta lähtee liikkeelle toimittajalta, joka toimittaa tarvittavan materiaalin yrityksen varastoihin. Varastoista materiaali virtaa eteenpäin tuotantoon, jossa tapahtuu materiaalin muokkaus asiakkaan tilaamaksi tuotteeksi. Tuotannossa olevaa materiaalia kutsutaan keskeneräiseksi tuotannoksi (KET) ja varastoja tuotantoprosessien välillä keskeneräisen tuotannon varastoiksi. Valmistettu tuote virtaa eteenpäin valmisvarastoon, josta se tämän jälkeen virtaa asiakkaalle. (Sipper & Bulfin 1998, s. 8)

Materiaalivirta on osa arvovirtaa, jolla kuvataan kaikkia toimintoja, jotka tarvitaan tuotteen toimittamiseen asiakkaalle. Materiaalivirran lisäksi arvovirta käsittää työn ja informaatio virtauksen prosessien läpi. Arvovirta alkaa asiakkaasta ja käy läpi jokaisen vaiheen, joka tarvitaan tuotteen valmistukseen ja toimittamiseen asiakkaalle aina raakamateriaaliin saakka. Arvovirran kuvaamiseksi on kehitetty työkalu nimeltä arvovirtakuvaus (Eng. Value stream mapping, VSM), jolla pystytään visuaalisesti kuvaamaan arvovirta raakamateriaalista tuotteen toimitukseen saakka valmiiksi annetuilla työkaluilla. Arvovirtakuvauksen tarkoituksena on suunnata ihmisten keskittyminen kokonaisprosessin parantamiseen yksittäisten prosessien sijaan. (Sayer & Williams 2007; Liker & Meier 2006, s. 37-39)

Kuvassa 2.2 on esitetty, miltä arvovirtakuvaus voisi näyttää. Kuvan keskellä on kuvattu valmistusprosessin vaiheet vasemmalta oikealle. Yläosassa on kuvattu tiedon virtaus ja alhaalla näkyvä aikajana kuvaa prosessin läpimenoaikaa.



Kuva 2.2. Esimerkki arvovirtakuvauksesta

Arvovirtakuvauksella pyritään kehittämään tuotannon joustavuutta, materiaalien ja tiedon virtaa, lyhentämään läpimenoaikoja sekä huomioimaan asiakkaan vaatimukset entistä paremmin. Arvovirtakuvauksella mahdollistetaan tuotannon ongelmakohtien tunnistaminen ja niiden poistamiseen tarvittavien suunnitelmien muodostaminen. Arvovirtakuvaus tehdään yleensä kaksi kertaa, josta toinen on kuvaus nykytilasta ja toinen tulevaisuudentilasta eli tavoite, johon kehitysprosesseilla pyritään (Liker & Meier 2006, s. 46-47)

2.1 Tuotantomuotojen jaottelu

Tuotantojärjestelmän ominaisuuksiin sekä ohjauksen periaatteisiin vaikuttaa merkittävästi yrityksen valitsema tuotantomuoto. Tuotantomuodon valintaan vaikuttavat tuotteiden valmistusmäärä, konstruktio, valmistustekniikka sekä jakelutiet. Erilaiset tuotantomuodot voidaan jakaa tuotteen, valmistusaloitteen ja tuotantoerän koon sekä toistuvuuden mukaan. Haverila et al. (2009) esittävät erilaiset tuotantomuodot niiden jaottelun perusteella seuraavan kuvan 2.3 mukaisesti.

Tuotteen mukaan

Tilaustuotanto	Vakiotuotanto
----------------	---------------

Valmistusaloitteen mukaan

Asiakasohjautuva tuotanto	Varasto-ohjautuva tuotanto
---------------------------	----------------------------

Valmistusprosessin jatkuvuuden mukaan

Kappaletavaratuotanto		Prosessituotanto
Yksittäistuotanto	Sarjatuotanto	Jatkuvatuotanto

Kuva 2.3 Tuotantomuodot (Haverila et al. 2009, s. 354)

Tuotanto voidaan jakaa valmistettavan tuotteen perusteella joko tilaustuotantoon tai vakiotuotantoon. Tilaustuotannossa asiakkaalla on mahdollisuus vaikuttaa tuotteen ominaisuuksiin ja tuote valmistetaan tilauskohtaisen suunnittelun mukaan. Tilaustuotteet ovat ainutlaatuisia tuotteita, jonka taustalla on kuitenkin toistuva teknologia ja kertynyt osaaminen, jolla yritys mahdollistaa kilpailun. Tuotteet määritellään tilaustuotteiksi, jos pienikin osa tuotteesta suunnitellaan ja valmistetaan asiakaskohtaisesti. (Lapinleimu 2001, s. 77; Haverila et al. 2009, s. 353)

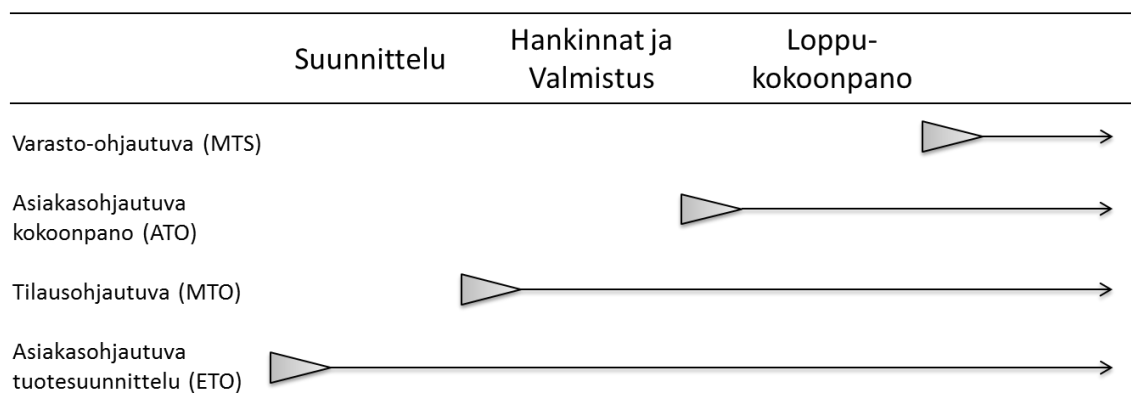
Vakiotuotannossa valmistettavat tuotteet ovat toistuvia ja valmistus tapahtuu samoilla perustiedoilla ilman tilauskohtaista suunnittelua. Tuotteen valmistuserät vaihtelevat

tuotteen luonteen ja kysynnän kokonaisvolyymien perusteella yhdestä tuhansiin kappaaleisiin. (Lapinleimu 2001, s. 77; Haverila et al. 2009, s. 353)

Haverila et al. (2009) jakavat tuotannon valmistusaloitteen perusteella asiakasohjautuvaksi ja varasto-ohjautuvaksi tuotannoksi. Asiakasohjautuvalla tuotannolla tarkoitetaan, että tuotteen valmistuksen aloittaminen perustuu asiakkaan tilaukseen ja varasto-ohjautuvassa tuotannossa valmistusaloite syntyy tuotevaraston täydennystarpeen perusteella. Valmistusaloite käsitettä on kuitenkin monesti kirjallisuudessa laajennettu hieman tarkemmaksi sen mukaan, missä vaiheessa valmistusta asiakkaan tilaus kytkeytyy tuotteeseen. Tätä pistettä voidaan kutsua asiakastilauksen kytkeytymiskohtaksi tai asiakastilausohjautuvuusasteeksi (Customer Order Decoupling Point, CODP tai Order Penetration Point, OPP). Erilaisia ohjausvaihtoehtoja on näin ollen neljä:

- Varasto-ohjautuva tuotanto (make-to-stock, MTS)
- Tilausohjautuva tuotanto (make-to-order, MTO)
- Asiakasohjautuva kokoonpano (assemble-to-order, ATO)
- Asiakasohjautuva tuotesuunnittelu (engineer-to-order, ETO)

Olhager J. kuvaa asiakastilauksen kytkeytymiskohtaa eri ohjausvaihtoehtojen kanssa seuraavasti (kuva 2.4):



Kuva 2.4. Tuotantomuodot valmistusaloitteen mukaan (Olhager J. 2003, s. 320)

Kuvassa 2.4 on esitelty eri tuotantomuodot valmistusaloitteen perusteella jaettuna. Kuvassa harmaa kolmio esittää asiakastilauksen kytkeytymiskohtaa (OPP). Kytkeytymiskohta jakaa valmistuksen ennusteen ja asiakastilauksen perusteella tehtäväksi. Ennen kytkeytymiskohtaa valmistus tapahtuu ennusteiden perusteella ja tämän jälkeen asiakkaan tilauksen perusteella. Kuten aiemmin kirjoitettiin, varasto-ohjautuvassa tuotannossa (MTS) valmistusaloite syntyy varaston täydennystarpeesta ja toimituskyky määräytyy varastossa olevien tuotteiden perusteella. Varastot aiheuttavat yritykselle aina kustannuksia, joten varastotasot on mietittävä tarkkaan asiakkaan palvelutasojen perusteella. (Vollman et al. 2005 s. 21)

Tilausohjautuvassa tuotannossa (MTO) valmistusaloite syntyy asiakkaan tilauksesta, mikä vähentää etukäteissuunnittelun mahdollisuutta. Tuotteet ovat tyypillisesti erilaisia tilaustuotteita, joiden konstruktio määritellään vasta tilausvaiheessa, mistä johtuen tuotteita ei voida valmistaa varastoon. Epävarmuus tuotteiden kysynnässä sekä asiakaskohteisissa rakenteissa vaativat tuotannolta joustavuutta. Tilausohjautuvalla tuotannolla voidaan myös valmistaa vakiotuotteita, mutta tällöin edellytyksenä on, että tuotannon läpimenoaika on lyhyempi kuin asiakkaan vaatima toimitusaika. Tilausohjautuva tuotanto eroaa asiakasohjautuvasta tuotesuunnittelusta (ETO) siten, että pelkästään tuotteen konstruktio määritellään asiakkaan kanssa, eikä täten tarvita asiakaskohtaista suunnittelua. (Hallgren M. & Olhager, 2006, s. 3875, Haverila et al. 2009, s.354)

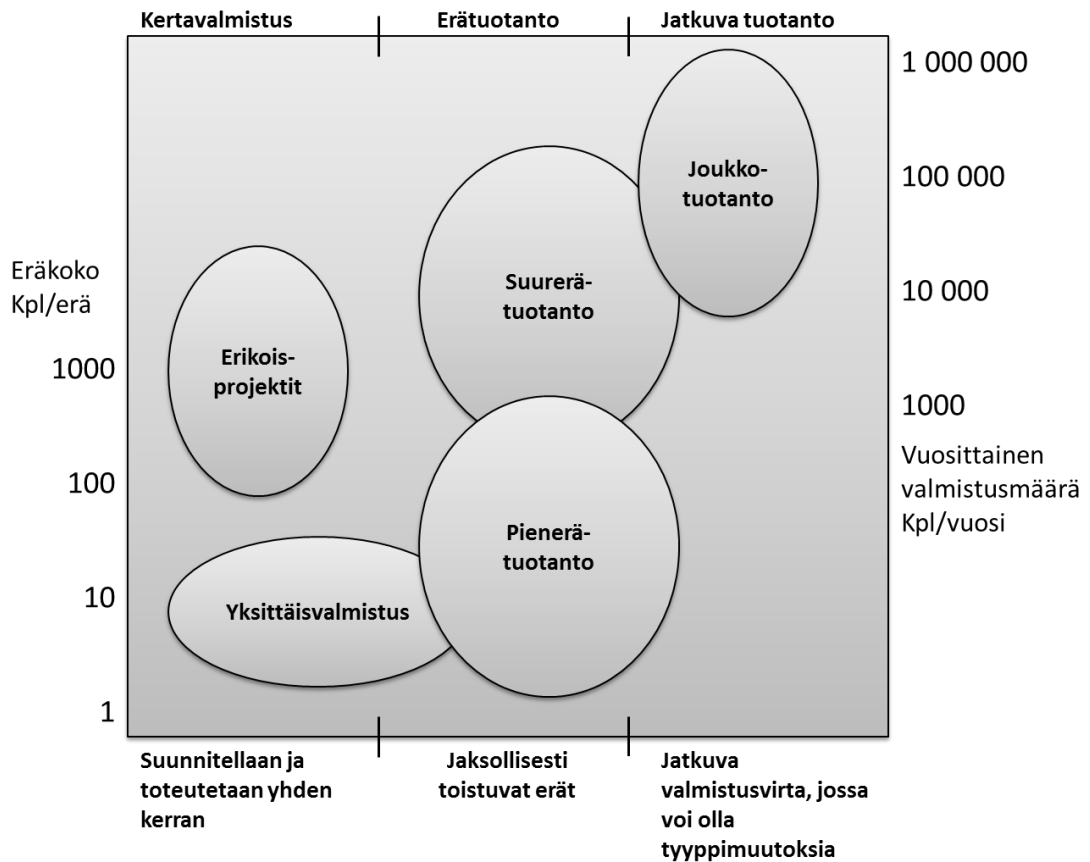
Asiakasohjautuva kokoonpano (ATO) sijoittuu varasto- ja tilausohjautuvan tuotannon väliin. Asiakasohjautuvassa kokoonpanossa vakiotuotteista on olemassa niin monia eri variaatioita, että niiden valmistaminen varastoon on kannattamatonta tai mahdotonta. Tällöin yritys valmistaa puolivalmisteita tai tuotteen eri moduuleita puolivalmisvarastoon, joista asiakkaan tilauksen perusteella kootaan valmis tuote. (Hallgren M. & Olhager, 2006, s. 3875, Haverila et al. 2009, s.354)

Asiakastilauksen kytkeytymiskohdan valintaan vaikuttavat niin markkinat, tuote kuin itse tuotanto. Usein yritykset hyödyntävät edellä mainituista ohjaustavoista useampia samanaikaisesti.

Tuotanto voidaan jakaa tuotantoerien koon mukaan yksittäis-, sarja- ja jatkuvaan tuotantoon. Yksittäistuotannolla tarkoitetaan, että tuotannon erä koko on yksi. Yksittäistuotannolla valmistetaan ainutlaatuisia tuotteita, jotka voivat poiketa edeltävistä ja seuraavista valmistettavista tuotteista. Yksittäistuotannolla voidaan myös valmistaa tuotteita, joiden menekki on pientä ja joiden varastointi on kannattamatonta tai mahdotonta. Tämän tyylliset tuotteet ovat asiakasohjautuvia tilaustuotteita. Nykypäivänä yksittäisvalmistus on myös mahdollista vakiotuotteille joustavien tietokoneohjattujen valmistusjärjestelmien avulla. (Haverila et al. 2009, s.355)

Sarjatuotannossa tai erätuotannossa valmistetaan tuotetta tietyn suuruinen erä kerrallaan. Tuotanto, jossa tuotteita valmistetaan yksin kappalein mutta toistuvasti on myös erätuotantoa vaikka monesti sitä virheellisesti kutsutaan yksittäistuotannoksi. Eräkoot voivat olla esimerkiksi 1-100 kappaletta ja toistuvuus sarjalla 2-100 kertaa vuodessa. Erätuotannon kilpailukyky perustuu siihen, että tuotteen ja tuotannon suunnitteluvaiheessa kehitetään valmistusvalmiudet niin pitkälle, että valmistus on lähes pelkästään jalostavaa työtä. Erien avulla mahdollistetaan asetusten määrän vähentäminen, mikä kasvattaa tuotannon tehokkuutta. Eräkoot valitaankin siten, että vaihtojen aiheuttamat kustannukset ja kapasiteettihäviöt pyritään minimoimaan. Eräkoot ovat sitä suurempia, mitä kalliimmaksi tuotteiden vaihtaminen tulee (Lapinleimu et al. 1997, s. 46, Haverila

et al. 2009, s.355). Alla olevassa kuvassa 2.5 on kuvattu tuotantomuotoja volyymin ja toistuvuuden perusteella jaettuna.



Kuva 2.5. Tuotantomuodot jaettuna volyymin ja toistuvuuden mukaan (Lapinleimu et al. 1997, s. 45)

Jatkuva tuotanto, jota voidaan myös kutsua joukkotuotannoksi ja massatuotannoksi aiheutuu kun suurivolyymisessa valmistuksessa erät seuraavat toisiaan. Jatkuvassa tuotannossa voidaan myös valmistaa eri tuotetyyppejä, mutta tällöin tuotantokaluston on mukauduttava nopeasti tuotetyyppien vaihdoksiin ilman merkittäviä tuotantomenetyksiä. Jatkuvassa tuotannossa tuotteet valmistetaan varta vasten suunnitellussa valmistusjärjestelmässä ja sen kehittäminen tapahtuu yhteistyössä tuotesuunnittelun kanssa. (Lapinleimu et al. 1997, s. 47)

2.2 Tuotannon kilpailutekijät ja tavoitteet

Tuotannolle asetettavat tavoitteet muodostetaan yrityksen kilpailutekijöiden avulla. Kilpailutekijät ovat yleensä asiakaslähtöisiä ja ne kertovat, millä perusteilla asiakas valitsee tuotteensa. Bellgran ja Säfsten (2010) sekä Ward ja Duray (2000) esittävät omissa teoksissaan seuraavat neljä kilpailutekijää, jotka esiintyvät yleisesti kirjallisuudessa:

- *Kustannukset* – Kyky valmistaa ja toimittaa tuotteita kustannustehokkaasti.
- *Laatu* – Kyky valmistaa tuotteita, jotka vastaavat asiakkaan odotuksia.
- *Toimituskyky* – Kyky toimittaa tuotteita luotettavasti ja nopeasti.
- *Joustavuus* – Kyky muuntaa tuotantoa nopeasti ja tehokkaasti tarpeen vaatiessa.

Viidenneksi kilpailutekijäksi on kirjallisuudessa esitetty myös *innovatiivisuutta* eli kykyä kehittää ja uudistaa tuotteita ja toimintaa. Yrityksen valitsevat kilpailutekijät ja niiden yhdistelmät muodostavat tuotannolle ja sen johtamiselle tavoitteet.

Tuotannon keskeisimpiä tavoitteita on kustannustehokkuus. Tuotannon kokonaiskustannukset minimoidaan tehokkaalla resurssien käytöllä sekä pitämällä toimintaan sitoutunut pääoman määrä mahdollisimman pienenä. Sitoutuneen pääoman määrää voidaan pienentää lyhentämällä läpimenoaikaa, jolloin tuotannossa olevan keskeneräisen työn määrä vähenee sekä valmisvaraston tasot pienenevät. Suuret varastot heikentävät tuotannon joustavuutta ja aiheuttavat epäkuranttiusriskin, mikä vaikeuttaa muutoksien tekoa tuotteisiin tai aiheuttaa yritykselle taloudellisia menetyksiä. Tuotannon kustannuksiin vaikuttaa myös merkittävästi materiaalikustannukset, jotka ovat usein työ- ja pääomakustannuksia suuremmat. Tuotannon kustannustehokkuus pienentää tuotteiden yksikkökustannuksia, mikä johtaa yrityksen kannattavuuden paranemiseen sekä hintakilpailukykyyn. (Lapinleimu 2000, s. 70, Haverila et al. 2009, s. 357)

Laadulla tarkoitetaan yleisesti sitä, että yrityksen valmistama tuote vastaa asiakkaan odotuksia. Laatu käsite sisältää tuotelaadun lisäksi myös yrityksen toiminnan laadun sekä ulospäin että yrityksen sisällä. Toiminnan sisäisellä laadulla varmistetaan, että tuotantoprosessin seuraava vaihe, sisäinen asiakas, saa myös valmistukseensa laadukkaan osavalmisteen ajallaan. Korkealla sisäisellä laadulla mahdollistetaan minimi läpimenoajat, kun myöhästymiset ja virheelliset työt saadaan poistettua. (Lapinleimu I. 2000, s. 70)

Aikatavoitteet voidaan tuotannon osalta jakaa kahteen eri tavoitteeseen, toimitusnopeuteen ja tuotannon läpimenoaikaan. Nämä molemmat liittyvät hyvin vahvasti toisiinsa. Toimitusnopeus saavutetaan nopealla tilaus-toimitusprosessilla, mikä varsinkin asiakasohjautuvassa tuotannossa on erityisen tärkeää. Lyhyet läpimenoajat mahdollistavat lyhyiden toimitusaikojen lisäksi tuotannon prosessien tehostamisen, toiminnan laadun parantamisen sekä kustannusten pienentämisen. Lapinleimu (2000) kirjoittaakin kirjassaan, että ”läpimenoaikaa ei yksinkertaisesti saa lyhyeksi toimimalla huonosti” (Lapinleimu 2000, s. 67, Haverila et al. 2009, s. 357). Läpimenoajan lyhentäminen on yksi merkittävimmistä tuotannon ja tuotannonohjauksen kehittämisen tekijöistä.

Lyhyt läpimenoaika mahdollistaa tuotannon joustavuuden, kyvyn muuntautua eri volyymien, tuotemixien, uusien tuotteiden ja teknologioiden mukaan nopeasti ja tehokkaasti. Volyymijoustavuudella tarkoitetaan tuotannon kykyä valmistaa eri tuotantomää-

riä ja tuotemixi joustavuudella tuotannon kykyä valmistaa eri tuotetyyppejä menekin vaihdellessa. Uuden tuotteen valmistuksessa tuotannon tulee joustavasti mukauttaa resurssinsa uuden tuotteen valmistukseen ja uuden teknologian käyttöönottoon. Joustavuus mahdollistaa tuotannon nopean reagoinnin muutoksiin säilyttäen edelleen kustannustehokkuuden, laadun ja toimitusvarmuuden. (Haverila et al. 2009, s. 357; Slack et al. 2007, s. 46)

Tuotannon viimeisenä tavoitteena voidaan mainita innovatiivisuus ja kehittyminen, jotka mahdollistavat tuotannon jatkuvan parantamisen. Innovatiivisuus liittyy ihmisten tärkeyden korostamiseen, joka voidaan nähdä uutena ulottuvuutena tuotannon kehittämisessä. Lapinleimun (2000) mukaan organisaation on oltava oppimiskykyinen ja yrityksen on tuettava

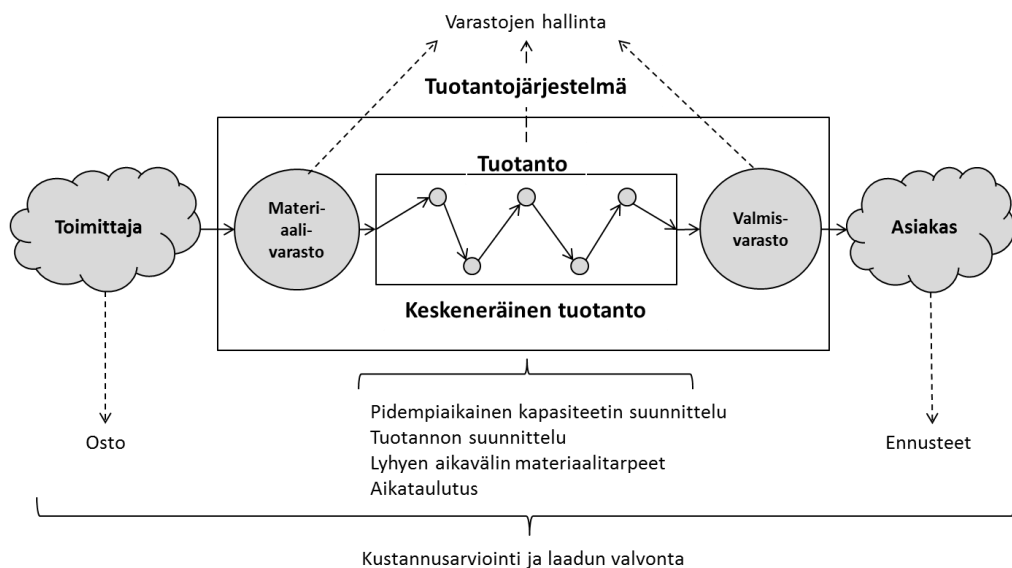
- innovatiivisuutta ja aloitteellisuutta
- tiimityötä
- jatkuvaa parantamista
- yksilöiden kehittymistä
- laaja-alaista laatu vastuuta tuotteesta ja toiminnasta
- yhteistyösuhteita koko verkossa.

Innovatiivisuus ja kehittyminen eivät ole erillisiä toimintoja vaan ne tulee näkyä ja olla osana tuotannon jokapäiväistä toimintaa. (Lapinleimu 2000, s. 72)

3 TUOTANNONOHJAUKSEN TEHTÄVÄT JA TAVOITTEET

Tuotannonohjaus on yrityksen tilaustoimitusprosessin eri tehtävien ja toimintojen suunnittelua ja hallintaa. Tuotannonohjaus käsitteen sijaan nykyään puhutaan usein toiminnanohjauksesta, koska yrityksen toimintojen hallinta käsittää tuotannon lisäksi myös monien muiden osa-alueiden ohjausta, kuten myynnin, jakelun, tuotesuunnittelun ja hankintojen ohjausta. Tuotannon- sekä toiminnanohjauksen lisäksi kirjallisuudessa käytetään myös käsitettä valmistuksenohjaus, jolla käsitetään tuotteiden valmistuksen suunnittelu ja ohjaus (Haverila et al. 2009, s. 397). Diplomityö painottuu kuitenkin tuotannon ja sen ohjauksen kehittämiseen, joten jatkossa ohjauksesta puhuttaessa käytetään tämän luvun otsikon mukaan käsitettä tuotannonohjaus, joka sisältää laajalti valmistuksenohjauksen.

Tuotannonohjauksella pyritään hallitsemaan tuotannon monimuotoista kokonaisuutta, joka koostuu monista erillisistä osatehtävistä, toiminnoista ja prosesseista. Tuotantoon liittyy päivittäin satoja erilaisia suunnittelu-, valmistus- ja materiaalinkäsittelytehtäviä, joita tuotannonohjaus pyrkii parhaalla mahdollisella tavalla organisoimaan ja hallitsemaan siten, että tuotannolle asetetut tavoitteet toteutuvat. Tuotannon tavoitteet riippuvat yrityksen valitsemasta strategiasta sekä sen liiketoiminnallisista tavoitteista (Haverila et al. 2009, s. 397). Tuotannonohjauksen tehtävä on yhdistää tuotannon fyysiset materiaali virtaukset ja informaatiovirtaukset, jotka on esitetty kuvassa 3.1.



Kuva 3.1. Tuotannonohjauksen elementtejä (Sipper & Bulfin 1998, s. 16)

Tuotantojärjestelmän ulkopuolinen ympäristö, asiakkaat ja toimittajat, ovat yhteydessä tuotantojärjestelmään sekä oston että ennusteiden kautta. Osto yhdistää tuotannon ulkopuolisten toimittajien kanssa, jotka toimittavat tarvittavat materiaalit tuotteiden valmistusta varten. Ennusteet taas yhdistävät järjestelmän asiakkaihin ja käynnistävät tuotannon suunnittelun ja -ohjauksen. (Sipper & Bulfin 1998, s. 16)

Tuotannon pidemmän aikavälin kapasiteetin suunnittelulla varmistetaan riittävä kapasiteetti, niin koneet kuin ihmiset, täyttämään tulevat tarpeet. Tuotannon suunnittelu muokkaa asiakkaiden ennusteet tuotantosuunnitelmaksi, jossa määritellään tarpeet materiaallille, kapasiteetille sekä tuotannon aikataulutukselle. (Sipper & Bulfin 1998, s. 16)

Hopp ja Spearman (2000) kirjoittavat kirjassaan *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*, että tuotannon operatiivisella johtajalla on kolme johdettavaa tekijää: informaatio, ohjaus ja puskuri. Informaatiolla he tarkoittavat tuotantojärjestelmästä saatavaa tietoa, esimerkiksi varastoarvoja. Ohjauksella he tarkoittavat operatiivisia sääntöjä, jotka määrittävät esimerkiksi varastoarvojen suuruuden. Puskureilla, esimerkiksi varmuusvarastoilla, suojataan järjestelmää vaihteluilta. Jokaista kolmea osaluetta tulee ohjata yhdessä, jotta saavutetaan tuotantojärjestelmän parhain mahdollinen tehokkuus. Jos jokin osa-alue ”laahaa” perässä, sitä joudutaan kompensoimaan toisella tekijällä, esimerkiksi varmuusvarastojen kasvattamisella.

Tässä luvussa tullaan käsittelemään tuotannonohjauksen tavoitteita ja prosessia. Ennen näiden käsittelyä määritetään vielä kaksi käsitettä, kapasiteetti ja läpimenoaika, jotka tulevat esiintymään usein seuraavien lukujen ja koko työn aikana. Haverila et al. (2009) määrittelevät termin kapasiteetti seuraavasti: ”Kapasiteetti on tuotantokykyä kuvaava mittari, joka ilmoittaa tuotantoyksikön enimmäissuorituskyvyn aikayksikössä.” Kapasiteetti voidaan eri prosesseista riippuen määritellä hieman eri tavoilla. Jos kapasiteettivaatimukset tuotteiden välillä eroavat vain vähän, voidaan se ilmoittaa tuoteyksiköissä ja taas toisaalta jos kapasiteettivaatimuksissa on eroavaisuuksia, kapasiteetti voidaan ilmoittaa myös tuotantoresurssin käyttöaikana.

Läpimenoaika kertoo kokonaisajan, jonka toimintaketju vaatii. Läpimenoajalla tarkoitetaan tavallisemmin kokonaisläpimenoaikaa tai valmistuksen läpimenoaikaa. Kokonaisläpimenoaika määrittää kokonaisajan, joka vaaditaan tilauksen saannista tuotteen toimittamiseen asiakkaalle. Valmistuksen läpimenoaika taas kuvaa aikaa, joka vaaditaan tuotteen valmistuksen aloittamisesta tuotteen valmistukseen. Läpimenoaika koostuu valmistuksen kokonaisajasta eli se ottaa huomioon asetusajat, odotusajat sekä prosessointiajat. Läpimenoajan lyhentäminen on yksi merkittävistä tuotannon tavoitteista ja käsite tulee näin ollen esiintymään työssä useamman kerran.

3.1 Tuotannonohjauksen tavoitteet

Tuotannonohjauksen tavoitteet perustuvat tuotannon yleisiin tavoitteisiin, jotka ovat yleensä mallia: kustannusten minimointi, lyhyt toimitusaika, hyvä laatu sekä joustavuus. Haverila et al. (2009) mukaan tuotannonohjauksen keskeisimmät tavoitteet ovat

- Kapasiteetin korkea tuottavuus
- Vaihto-omaisuuden minimointi
- Toimitusvarmuus
- Lyhyt läpimenoaika

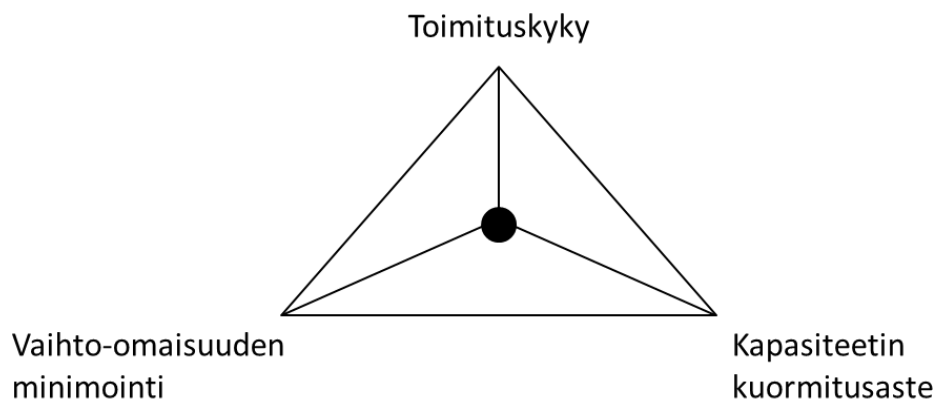
Kapasiteetin korkealla tuottavuudella mahdollistetaan tuotannon keskeisten resurssien mahdollisimman tehokas käyttö, jolloin myös tuotantoon, tuotantolaitteisiin ja -tiloihin, sitoutuneen pääoman tuottavuus on korkeimmillaan. Vaihto-omaisuuden minimoiminen tarkoittaa yrityksen raaka-aineisiin, keskeneräiseen työhön sekä valmiisiin tuotteisiin sitoutuneen pääoman minimointia. Pienentämällä varastoarvoja yritys pystyy vapauttamaan pääomaa muihin toimintoihin, kuten esimerkiksi investointeihin. (Haverila et al. 2009, s. 402)

Korkealla toimitusvarmuudella tuotanto pyrkii vastaamaan yrityksen ulkoisten asiakkaiden toimitusaika vaatimuksiin. Tuotannossa myös jokaista prosessia voidaan pitää tuotannon sisäisenä asiakkaana ja tässä tapauksessa korkea toimitusvarmuus sisäiselle asiakkaalle varmistaa, että materiaalit tai puolivalmisteet toimitetaan ajoissa. Korkea toimitusvarmuus tuotannon sisäiselle asiakkaalle mahdollistaa korkean toimitusvarmuuden yrityksen ulkoisille asiakkaille. (Sipper & Bulfin 1998, s. 488)

Tuotannon lyhyet läpimenoajat pienentävät keskeneräisen tuotannon määrää ja näin ollen siihen sitoutuneen pääoman määrää. Lyhyt läpimenoaika mahdollistaa myös korkean toimitusvarmuuden, kehittää laatua sekä helpottaa kapasiteetin suunnittelua. Sipper ja Bulfin (1998) esittävät oman näkemyksensä lyhyen läpimenoajan eduista seuraavasti:

1. Reagointi asiakkaiden tarpeisiin parempaa – Mitä lyhyempi tuotteen läpimenoaika, sitä lyhyempi kokonaisläpimenoaika tilauksesta toimitukseen on.
2. Mahdollistaa joustavuuden – Lyhyt läpimenoaika mahdollistaa nopeammat muutokset tuotantosuunnitelmaan.
3. Parantaa laatua – Pitkät läpimenoajat sisältävät usein jonoja ja varastoja valmistusprosessien välissä ja näin ollen tuotteeseen tapahtuvan virheen havaitsemisaika pitenee.
4. Ennusteiden käyttö vähenee – Jos tuotannon läpimenoajat ovat pitempiä kuin asiakkaiden vaatimat toimitusajat, tuotannon aloitus tapahtuu ennusteiden perusteella.
5. Ennusteet paranevat – Lyhentämällä läpimenoaikkaa, ennusteiden aikaväli pienee ja reagointi asiakkaiden vaatimuksiin paranee.

Tuotannonohjauksen haasteellisuuteen vaikuttavat merkittävästi sen ristiriitaiset tavoitteet. Korkea toimitusvarmuus vaatii suuret raaka-aine-, puolivalmiste- ja valmistuotevarastot, jotka kasvattavat vaihto-omaisuuden määrää. Hyvä toimitusvarmuus vaatii myös pienten tuotantoerien joustavaa valmistusta, joka taas usein pienentää koneiden ja laitteiden kuormitusastetta. Tuotantoeriä vaihdettaessa, koneille tehtävät asetukset seisottavat konetta asetusajojen verran ja näin ollen menetetään tuotantoa. Suuremmat tuotantoerät pienentävät tehtävien asetusten määrää ja kasvattavat kapasiteettia. Suuret tuotantoerät vaativat kuitenkin suuria varastoja. Tuotannonohjauksen tavoitteiden ristiriitaisuutta on esitetty alla olevassa kuvassa 3.2. (Haverila et al. 2009, s. 403)



Kuva 3.2. Tuotannonohjauksen ristiriitaiset tavoitteet (Haverila et al. 2009, s. 404)

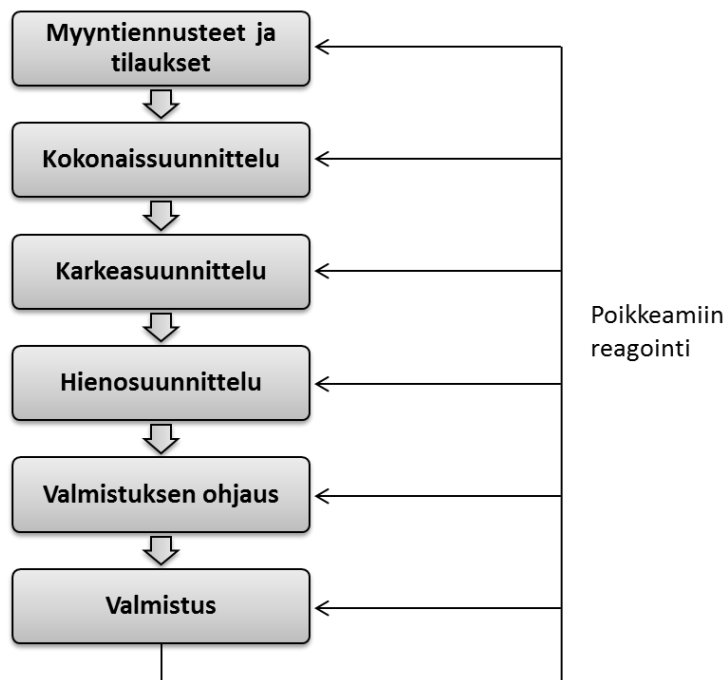
Tuotannonohjauksen läpimenoajan lyhentäminen on osoittautunut toimivaksi keinoksi muiden ristiriitaisten tavoitteiden saavuttamisessa. Lyhyt läpimenoaika mahdollistaa tuotteiden valmistuksen pienemmissä erissä, jotka pienentävät sitoutuneen pääoman määrää niin raaka-aineissa kuin keskeneräisessä tuotannossa. Lyhyt läpimenoaika parantaa myös yrityksen toimituskykyä. Asiakasohjautuvassa tuotannossa, jossa valmistusimpulssi saadaan suoraan asiakkaan tilauksesta, lyhyt läpimenoaika vaikuttaa suoraan toimitusaikaan. Varasto-ohjautuvassa tuotannossa, jossa tuotteet tehdään varastoon, lyhyt läpimenoaika mahdollistaa halutun palvelutason saavuttamisen pienemmillä varastoilla. (Haverila et al. 2009, s. 404)

Tuotannon tavoitteet riippuvat merkittävästi yrityksen valitsemasta strategiasta ja kilpailutekijöistä. Matalat kustannukset vaativat pieniä varastoja ja korkeaa kapasiteetin kuormitusastetta, lyhyet toimitusajat taas lyhyttä läpimenoaikaa ja suurempia varastoja. (Haverila et al. 2009, s. 404)

3.2 Tuotannonohjausprosessi

Tuotannonohjausprosessin tehtävät ja ohjausperiaatteet vaihtelevat hyvin paljon eri yritysten välillä riippuen yrityksen toimialasta, tuotteesta, tavoitteista, tuotantoprosessista, organisointiperiaatteesta ja tietojärjestelmästä. Tuotannonohjausprosessin organisointi ja käytettävät menetelmät ovat yrityskohtaisia ja usein pitkän aikavälin kehityksen tulosta. Järjestelmän osa-alueet ovat kehittyneet eri aikakausina eri lähtökohdista ja tästä syystä yritysten tuotannonohjausprosessit voivat vaihdella hyvinkin paljon saman toimialan yritysten välillä. (Haverila et al. 2009, s. 409-410)

Haverila et al. (2009) jakavat tuotannonohjausprosessin suunnittelutehtävät ja päätöksentekovaiheet kuvan 3.3 mukaisesti eri tasoihin. Ohjauksen ylimmillä tasoilla ei tehdä yksityiskohtaisia suunnitelmia vaan tehtävät liittyvät pidemmän aikajänteen myynnin ja tuotannon tasapainottamiseen. Siirryttäessä hierarkkisessa prosessissa kohti alatasoja, suunnitelmat muuttuvat yksityiskohtaisemmiksi ja aikajänteet päätöksenteolle lyhenevät viikkoihin ja päiviin.



Kuva 3.3. Tuotannonohjausprosessi (Haverila et al. 2009, s. 409)

Kuvassa 3.3 on esitetty tuotannonohjausprosessin osa-alueet ja suunnittelutehtävät sekä miten ne liittyvät toisiinsa. Teoriassa tuotannonohjausprosessi näyttää suoraviivaiselta prosessilta, jolla ohjataan valmistusta ennusteiden ja tilauksien mukaan. Käytännössä kuitenkin ohjausprosessi on hyvinkin iteratiivinen ja uudelleenjärjestelyjä joudutaan tekemään poikkeamien esiintyessä. Uudelleenjärjestelyä esiintyy aina sitä enemmän mitä tarkempia tuotantosuunnitelmia on lähtökohtaisesti tehty. Tilausten ennustettavuus,

materiaalipuutteet ja laiteviat kaikki johtavat tuotantosuunnitelman muuttamiseen ja valmistuksen ohjaukseen. (Haverila et al. 2009, s. 409)

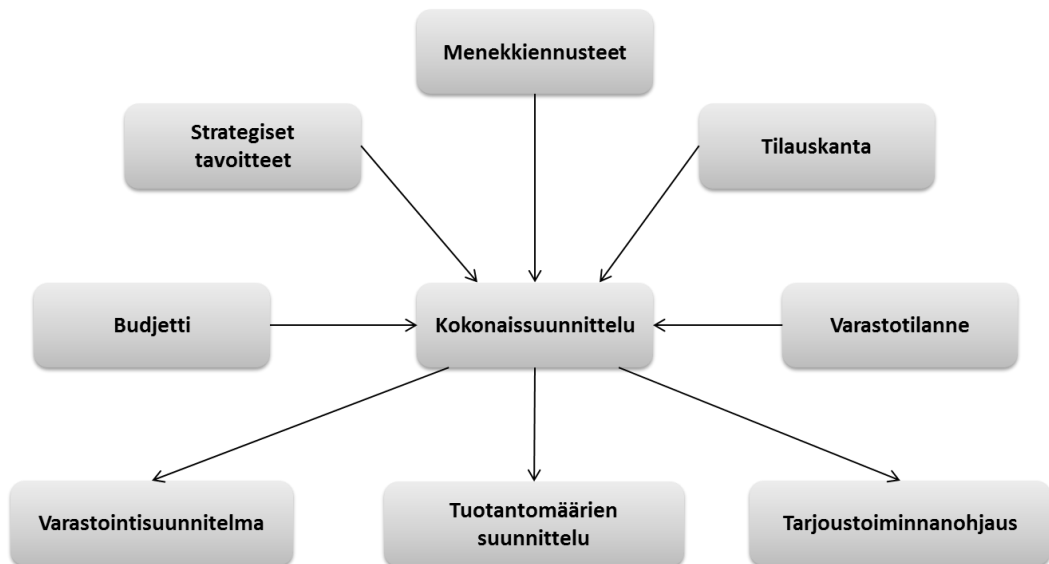
Kuvasta 3.3 nähdään, että tuotannonohjausprosessi voidaan jakaa kolmeen suunnittelutasoon: kokonais-, karkea- ja hienosuunnitteluun. Suunnittelutasojen tärkeimmät tehtävät voidaan jakaa seuraavasti (Kouri I. 2013; Vollman et al. 2005; Stevenson 2011; Siper & Bulfin 1998):

- Kokonaissuunnittelu (Sales and Operational Planning/ Aggregate Planning)
 - o Pidemmän aikajänteen myynnin ja tuotannon tasapainottaminen
 - o Resurssien ja kapasiteetin määrän suunnittelu
- Karkeasuunnittelu (Master Production Schedule)
 - o Tuotannon määrän ja ajoituksen suunnittelu
 - o Resurssien hallinta
- Hienosuunnittelu (Operations Scheduling)
 - o Valmistustehtävien aikataulun laadinta
 - o Valmistusjärjestyksen ja prioriteettien suunnittelu

Englanninkielisessä kirjallisuudessa suunnittelutasojen nimitykset vaihtelevat kirjoittajasta riippuen, mutta ovat usein kuvaavampia suunnittelutasojen sisällöstä kuin suomenkieliset termit. Seuraavissa luvuissa esitellään tuotannonohjauksen suunnittelutasojen lähtökohdat sekä syvennyttään tarkemmin tasojen tärkeimpiin tehtäviin.

3.2.1 Kokonaissuunnittelu

Kokonaissuunnittelu on ylimmän tason suunnittelua ja se toimii linkkinä yrityksen ylimmän johdon ja tuotannon välillä. Kokonaissuunnittelu yhdistää myös tuotannon yrityksen muiden osa-alueiden kanssa. Se perustuu yrityksen strategiaan tavoitteisiin, tilauskantaan, menekkiennusteisiin sekä varastotilanteeseen ja sen tärkein tehtävä on myynnin ja tuotannon tasapainottaminen. Kokonaissuunnitteluvaiheessa yritys pyrkii menekkiennusteiden perusteella arvioimaan kysynnän tason ja sopeuttamaan tämän avulla tuotannon kapasiteetin ja materiaalivarastojen tason näihin tarpeisiin. Alla olevassa kuvassa 3.4 on esitetty kokonaissuunnittelun lähtökohdat ja suunnittelun aikana tehtävät päätökset. (Vollman et al. 2005 s. 61-62; Haverila et al. 2009 s. 411-412)



Kuva 3.4. Kokonaissuunnittelu (Haverila et al. 2009, s. 412)

Kokonaissuunnittelun lähtökohtana toimivat menekkiennusteet, joita tarvitaan, koska menekin muutokset ovat usein nopeampia kuin yrityksen tuotannon reagoitokyky. Ennusteiden muuttuessa tilauksiksi suunnitelmia tulee usein tarkastella ja muuttaa, jotta tuotanto pystyy vastaamaan muuttuneisiin olosuhteisiin. Menekkiennusteiden perusteella yritys suunnittelee tuotantovolyymit, varastotasot sekä resurssien ja tuotannon kapasiteetin kokonaistarpeet, jotta ennusteisiin pystytään vastamaan. Kokonaissuunnitelman lopputuloksena syntyy suunnitelma siitä, mitä yritys aikoo myydä, valmistaa ja varastoida sen hetkisen tiedon perusteella. (Vollman et al. 2005 s. 64; Haverila et al. 2009 s. 412; Kouri I. 2013)

Kokonaissuunnittelun avulla pyritään myös hallitsemaan menekinvaihteluita, jotka voidaan jakaa seuraavasti: satunnaisvaihtelu, kausivaihtelu, trendi ja suhdannevaihtelu. Satunnaisvaihtelu johtuu asiakkaiden ostopäätösten epätasaisesta jakautumisesta ja kausivaihtelu syntyy vuodenaikojen vaikuttaessa menekkiin. Trendillä tarkoitetaan pidemmän aikavälin samansuuntaista kehitystä ja suhdannevaihteluilla pitkän aikavälin kokonaistalouden vaihteluita. Tuotannon joustavuus on usein pienempää kuin menekinvaihtelut ja tästä syystä kokonaissuunnittelu pyrkii ennakoitua miettimään, miten vaihteluita hallitaan. Toisinaan kysyntä voi olla suunniteltuja tuotantomääriä suurempaa ja toisinaan taas pienempää. Alla on listattu muutamia keinoja, joilla voidaan pyrkiä hallitsemaan menekin vaihteluita (Kouri 2013; Haverila et al. 2009 s. 413; Stevenson 2011 s. 480):

- Tuotteiden varastointi
- Kapasiteettijoustopien käyttö
- Toimitusaikojen siirto tai toimitusten myöhästyttäminen
- Menekkiin vaikuttaminen
- Alihankinta

Tuotteiden varastointi on vaihtelun hallitsemiseen käyttökelpoinen keino, jos tuotteet ovat varastoitavissa. Varastoja voidaan kasvattaa hiljaisena aikana, jolloin tuotannon kapasiteetti on suurempi kuin kysyntä ja menekin aikana kysyntään pystytään vastaamaan purkamalla varastoja. Varastot kuitenkin aiheuttavat kustannuksia sitomalla yrityksen pääomaa ja tuotantotiloja sekä ne voivat myös aiheuttaa tiettyjä laadullisia ongelmia tuotteissa. Kapasiteettijoustoilla tarkoitetaan kapasiteetin kasvattamista ja pienentämistä. Pitkällä aikajänteellä kapasiteetin lisäys on mahdollista uusilla koneinvestoinneilla ja lisähenkilökunnan palkkauksella ja lyhyellä aikajänteellä kapasiteettia voidaan kasvattaa esimerkiksi ylityötunneilla, vuoroja lisäämällä sekä määräaikaisilla työntekijöillä. (Haverila et al. 2009 s. 414; Stevenson 2011 s. 480)

Menekivaihteluita voidaan myös pyrkiä hallitsemaan toimitusaikoja siirtämällä, joka voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa menetettyjä toimituksia ja asiakkaita. Menekkiin vaikuttamisella tarkoitetaan myynninedistämisen keinoja, joita ovat muun muassa hinnoittelu ja erilaiset kampanjat. Hinnoittelua voidaan muuttaa esimerkiksi tarjoamalla tuotteita halvemmalla hinnalla ennen ja jälkeen sesongin. (Haverila et al. 2009 s. 4134; Stevenson 2011 s. 480)

Menekinvaihtelun hallintaan tarvittavaa kapasiteettijoustoja yritys voi myös saada hyödyntämällä alihankintaa. Alihankinnalla yritys ostaa itselleen lisää kapasiteettia, mutta ongelmaksi voi muodostua korkeat kustannukset sekä heikentynyt laatu. Menekinvaihtelun hallinnan keinoja on harkittava kokonaissuunnitelmaa tehtäessä ja usein valinta perustuu eri vaihtoehtojen kustannusten analysointiin. (Stevenson 2011 s. 481)

3.2.2 Karkeasuunnittelu

Karkeasuunnittelu on kokonaissuunnittelua yksityiskohtaisempaa ja sitä tehdään tavallisesti muutaman viikon aikajänteellä. Kokonaissuunnitelma pyrkii tasapainottamaan myynnin ja tuotannon ja karkeasuunnitelma tarkentaa tehtävät tuotteet ja niiden volyymit. Karkeasuunnittelun tarkoituksena on muodostaa kokonaissuunnitelman perusteella karkeatuotantosuunnitelma, joka määrittelee tuotantomäärät ja tuotannonajotukset yrityksen tilauskannan ja tuotteiden varastotilanteen perusteella. Karkeasuunnittelussa hyödynnetään myös edelleen menekkiennusteita, mutta niiden merkitys on paljon pienempi kuin kokonaissuunnittelussa. (Vollman et al. 2005 s. 169-170; Haverila et al. 2009 s. 415)

Haverila et al. (2009) mainitsevat karkeasuunnittelun tehtäviksi: resurssien käytön yleissuunnittelun ja toimituskyvyn määrittelyn. Karkeatuotantosuunnitelman perusteella määritellään tuotannon vaatimat resurssit ja muodostetaan niiden käytöstä kuormitus-suunnitelma, jolla ylläpidetään tietoa tuotantoerien tai tilausten vaatimasta valmistuskapasiteetista. Kuormitussuunnitelman perusteella voidaan havaita tuotannon pullonkauloja, jotka estävät tuotantosuunnitelman toteuttamisen. Karkeatuotantosuunnitelmaa yh-

dessä kuormitussuunnitelman kanssa voidaan hyödyntää myös työvälineenä myynnin ja tuotannon välillä toimitusaikojen määrittelyyn. Asiakasohjautuvassa tuotannossa luvatut toimitusajat perustuvat usein näihin karkeisiin suunnitelmiin ja varasto-ohjautuvassa suunnitelmia hyödynnetään varastotilanteiden seuraamiseen sekä tilauskannan kehittymiseen. Näiden perusteella voidaan määrittää sopivat tuotantoerät, jotka tuotannon tulisi valmistaa toimituskyvyn ylläpitämiseksi. (Vollman et al. 2005 s. 170-171; Haverila et al. 2009 s. 416)

Karkeasuunnittelu on jatkuvaa tilauskantojen ja varastotasojen seuranta ja suunnitelman päivittämistä näiden mukaan. Muutokset tuotantosuunnitelmaan varsinkin lyhyellä aikavälillä voivat kuitenkin olla haitallisia tuotannonohjaukselle. Tämän takia karkeatuotantosuunnitelman apuna hyödynnetään aikavälejä, jotka määrittelevät miten uusia tilauksia voidaan asettaa suunnitelmaan. Stevenson (2011) ja Kouri (2013) jakavat nämä aikavälit kuvan 3.5 mukaisesti.

Ajanjakso								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Jäässä			Hyytynyt		Joustava			

Kuva 3.5. Karkeasuunnittelun aikavälit (Stevenson W. 2011, s. 495)

Jäässä oleva aikaväli on kirjaimellisesti jäädytetty ja muutokset tälle ajanjaksolle ovat lähes mahdottomia. Muutokset aikavälille aiheuttavat suuria kustannuksia ja vaativat tuotannolta ja yrityksen muilta osa-alueilta ylimääräisiä ponnisteluja tai esimerkiksi toisen tilauksen toimitusajan siirtämistä. Seuraavalle ”hyytynyt” aikavälille muutokset ovat helpompia, mutta vaativat kuitenkin joustavuutta tuotannolta. Viimeiselle ”joustava” aikavälille ajoitetaan uudet tilaukset ja muutostenteko on helppoa. Karkeasuunnittelun aikavälit riippuvat merkittävästi yrityksen tuotteista ja toimintatavoista, mutta ovat merkittävä osa toimivaa karkeasuunnittelua. (Stevenson 2011, s. 495)

3.2.3 Hienosuunnittelu

Hienosuunnittelun tehtävänä on muodostaa karkeasta tuotantosuunnitelmasta yksityiskohtainen ja tarkka valmistussuunnitelma, jonka perusteella tuotteet valmistetaan. Hienosuunnittelun aikana muodostetaan tuotantoerät sekä suunnitellaan työvaiheiden ajoitus. Tarkka tuotantosuunnitelma käsittää myös tarkat tuotantosuunnitelmat tuotantorurssien käytöstä. Tarkkojen suunnitelmien vaatimuksena on tuntemus tuotantoerän työvaiheista sekä vaiheajoista, jolla tarkoitetaan erillisten työvaiheiden kestoa. Valmistussuunnitelmaa tehtäessä on myös tiedettävä tuotannon todellinen tilanne, johon vaikuttavat kuormitusryhmien työjonot, jättämät ja tuotantohäiriöt. Valmistussuunnitelma tehdään yleensä hyvin lyhyelle aikavälille, yleensä viikosta yhteen päivään, jotta sen

suunnittelu tapahtuu mahdollisimman tarkkojen tietojen perusteella. (Haverila et al. 2009, s. 417-418)

Tuotannon hienosuunnittelu asettaa monia haasteita tuottavuuden, kustannusten sekä läpimeno- ja asetusajojen suhteen. Valmistussuunnitelman tulisi vastata tuotannon tavoitteisiin mahdollisimman hyvin, yleisimpinä tavoitteina hyvä toimitusvarmuus ja korkea tuottavuus.

Pitkät asetusajat erien välillä vaativat eräkokojen suurentamista kustannusten minimoimiseksi. Suuret eräkoot taas kasvattavat yleensä läpimenoaikoja, mikä voi vaikuttaa negatiivisesti tuotannon toimitusvarmuuteen. Hienosuunnittelun yhtenä ongelmana ovat myös pullonkaulatyövaiheet, jotka rajoittavat tuotannon kokonaiskapasiteettia. Pullonkaulassa menetetty tuotanto rajoittaa koko tehtaan tuotantoa. Pullonkaulan korkeat käyttösuhteet voivat helposti pidentää läpimenoaikoja ja tällöin joudutaan valitsemaan korkean tuottavuuden tai nopean läpimenoajan väliltä. (Haverila et al. 2009, s. 418)

Karkean tuotantosuunnitelman pohjalta tehdyn tarkan valmistussuunnitelman jälkeen jää jäljelle valmistuksen ohjaus. Haverila et al. (2009) ovat määrittäneet valmistuksen ohjauksen tehtäviksi työn suorittamisen yksityiskohtaisen suunnittelun, työnjakelun, työtehtävien ohjaaminen, valvonta ja raportointi. Valmistuksen ohjaamisen haasteellisuus riippuu suuresti tehtävien toistuvuudesta ja yrityksen layoutista. Tilaustuotteiden osalta tuotanto vaatii enemmän ohjausta, kun taas vakiotuotteiden osalta työvaiheet ovat samanlaisia. Valmistuksen ohjattavuuteen vaikuttaa myös suuresti ohjattavien pisteiden määrä, jos pisteitä on paljon, ohjattavuus on työlästä. (Haverila et al. 2009, s. 425)

Valmistuksen ohjaus raportoi tietoa toteutuneista tapahtumista takaisin karkea- ja hienosuunnittelulle, jonka avulla päivitetään materiaali- ja kuormituskirjanpitoa ja seurataan ajoituksen toteutumista. Raportoinnin perusteella voidaan myös seurata tuotannon tuottavuutta, läpimenoaikoja sekä eri työvaiheiden vaatimia työmääriä. (Haverila et al. 2009, s. 425-42)

3.3 Tuotannon ohjattavuus

Eloranta ja Räisänen (1986) määrittivät tuotannon ohjattavuuden ”tuotantojärjestelmän kyvyksi saavuttaa sille asetetut ohjaustavoitteet.” Lapinleimu (2000) täydensi määritelmää teoksessaan *Ideaalitehdas* seuraavasti: ”Ohjattavuus on tuotantojärjestelmän kyky sallia aikataulumuutoksia sekä toteuttaa ne häiriöttä ja varmasti.” Tuotannon ohjattavuudella kuvaillaan tuotannon reagointikykyä erilaisiin kysynnän muutoksiin ja poikkeamatilanteisiin. Haverila et al. (2009) mukaan tuotantojärjestelmä sisältää lukuisia eri tekijöitä, jotka vaikuttavat tuotannon ohjattavuuteen ja alla on esitetty niistä muutamia:

- tuotantomuoto
- tuotannon läpimenoaika
- valmistuserien suuruus
- materiaalivirtojen ja layoutin selkeys
- henkilöstön osaaminen ja motivaatio
- toiminnan organisointiperiaatteet ja laatu
- kapasiteetin joustavuus tuotantomäärän ja tuotemixin muutoksille
- keskeneräisen tuotannon määrä
- tuotteiden ja tuotevariaatioiden määrä
- ohjattavien työvaiheiden määrä

Kuten yllä olevasta listasta huomataan, tuotannon ohjattavuuteen vaikuttavat tekijät kattavat koko yrityksen eri osa-alueet myynnistä ja hankinnoista valmistukseen asti. Tuotannon ohjattavuuteen vaikuttavat tekijät, ohjattavuusominaisuudet, voidaan jakaa tuotannonohjauksen tavoitteiden (luku 3.1) mukaan kolmeen kategoriaan (Eloranta & Räisänen 1986, s. 97; Lapinleimu et al. 1997, s. 230):

- toimituskyvyn ohjattavuus
- materiaalin ohjattavuus
- kapasiteetin ohjattavuus.

Nämä tekijät voidaan edelleen jakaa osatekijöihin, ulkoisiin ja sisäisiin ohjattavuusominaisuuksiin, jotka määrittelevät ohjattavuustekijöiden lähtökohdan. Ulkoiset ohjattavuustekijät riippuvat tuotannonjärjestelmän ulkopuolisista tekijöistä, esimerkkeinä toimitusaikavaatimukset, menekin ennustettavuus ja materiaalien toimitusaika. Ulkoisten ohjattavuustekijöiden säätely on erittäin vaikeaa, mutta sopeutuminen niihin on kuitenkin ensiarvoisen tärkeää. Sisäiset ohjattavuustekijät, esimerkiksi tuotannon läpimenoaika, kapasiteetin joustavuus, keskeneräisen tuotannon määrä ja ohjattavien työvaiheiden määrä, riippuvat tuotannon ja organisaation omasta toiminnasta. Näiden muuttaminen saattaa myös olla vaikeaa tai ainakin hidasta. (Eloranta & Räisänen 1986, s. 97; Kouri 2013)

Toimituskyvyn ohjattavuudella tarkoitetaan yleensä tuotannon reagointikykyä asiakkaalta tuleviin muutostarpeisiin kuten tuotteisiin, tuotteiden toimitusaikaan ja toimitettavien tuotteiden määrään. Ohjattavuuden kannalta keskeinen kysymys on, minkälaisia asiakastoivomuksia tuotanto voi toteuttaa ilman että ohjauksen muut tavoitteet kärsivät. Eloranta ja Räisänen (1986) toteavatkin teoksessaan, että tuotannon ”toimituskyky ei voi perustua operatiivisen tason taikatemppeihin, vaan toimituskyky on tuotannon ja sen organisaation sisään rakennettu ominaisuus.” (Eloranta & Räisänen 1986, s. 98)

Toimituskyvyn ohjattavuuteen vaikuttavat merkittävästi erilaiset markkinatekijöistä johtuvat muuttujat, kuten kysynnän vaihtelu ja sen epävarmuus, toimitusaikavaatimukset ja markkinoiden kompleksisuus. Nämä ulkoiset ohjattavuusominaisuudet ai-

heuttavat vaatimukset tuotannon sisäisille ohjattavuusominaisuuksille, jotka perustuvat paljolti kapasiteetin ja materiaalin ohjattavuuteen. Toimituskyvyn ohjattavuuden kannalta materiaalien ja kapasiteetin monimutkaisuus, läpimenoaika ja epävarmuustekijät ovat hallitsevassa roolissa. Toimituskyvyn ohjattavuudella on suuri vaikutus tuotannonohjauksen tavoitteisiin, joista tärkeimpinä voidaan mainita (Eloranta & Räisänen 1986, s. 98):

- toimitusaika
- toimitusaikapito
- katemenetykset toimituskyvyn takia
- puolivalmisteisiin ja lopputuotteisiin sitoutunut vaihto-omaisuus.

Materiaalien ohjattavuudessa yrityksen hankintaosasto nousee merkittävään rooliin. Jos toimituskyvyn ohjattavuus kuvastaa tuotannon reagointikykyä asiakkaalta tuleviin muutostarpeisiin, niin materiaalin ohjattavuutta voitaisiin kuvailla hankinnan reagointikykyinä näihin muutostarpeisiin. Materiaalien ohjattavuustekijät koostuvat ulkoisista ja sisäisistä ohjattavuustekijöistä. Tärkeimpiä niistä ovat materiaalitarpeiden ennakoitavuus, materiaalien vaihtokelpoisuus, materiaalien toimitusaika, materiaalien toimitusaikapito sekä materiaalien laatuhäiriöt. Materiaalien ohjattavuus vaikuttaa useisiin tuotannonohjauksen tavoitteisiin kuten (Eloranta & Räisänen 1986, s. 102),

- vaihto-omaisuuden kiertoon
- vaihto-omaisuudesta aiheutuviin kustannuksiin
- toimituskykyyn
- materiaalien puutekustannuksiin
- kapasiteetin käyttöasteeseen.

Kapasiteetin ohjattavuus vaikuttaa merkittävästi koko tuotannon toimintaan ja tärkeimpinä kapasiteetin ohjattavuusominaisuuksina voidaan pitää tuotannon läpimenoaikaa, layoutia, asetusaijoja, materiaaliavuota, henkilöstötekijöitä, ylimääräisen kapasiteetin saatavuutta ja kapasiteetin käytettävyyttä. Kapasiteetin joustavuudella ja tuotannon lyhyillä läpimenoajoilla mahdollistetaan nopea reagointi asiakastarpeiden muutoksiin. Lyhyet läpimenoajat ja pienet eräkoot vaikuttavat tuotantosuunnitelman joustavuuteen, joka mahdollistaa taas tarpeellisten muutosten tekemisen siihen aiheuttamatta häiriöitä tuotantoon. Kapasiteetin ohjattavuudella on merkittävä rooli tuotannon ohjauksen tavoitteiden saavuttamisessa ja tärkeimpiä tavoitemuuttujia ovat (Eloranta & Räisänen 1986, s. 103-104; Lapinleimu et al. 1997, s. 234):

- kapasiteetin käyttöastetta kuvaavat mittarit
- kapasiteettimenetykset
- läpimenoaika ja toimitusaika
- tehtaan sisäinen ja ulkoinen toimitusaikapito
- keskeneräinen tuotanto ja puolivalmisvarastot

Tuotantoa kehitettäessä tuotannonohjauksella on merkittävä rooli. Hyvällä ohjattavuudella mahdollistetaan yrityksen resurssien tehokas käyttö sekä välilliset kustannukset ja toiminnan virheet ovat huomattavasti vähäisemmät. Ohjattavuuden kehittämisen keskeisiä keinoja ovat (Kouri 2013; Haverila et al. 2009, s. 405):

- tehtaan layout-ratkaisu
- läpimenoajan lyhentäminen
- suunnitteluajankänteiden lyhentäminen
- tuotestandardointi
- menekinvaihtelujen ja tuotannon tasoittaminen
- kapasiteettijouston kasvattaminen
- häiriöiden ja hajontailmiöiden vähentäminen
- arvoketjun johtaminen – vastuu arvoketjun toiminnasta
- arvoketjun visuaalisuuden, läpinäkyvyyden kehittäminen

Luvussa 3.1 kuvattiin läpimenoajan lyhentämisen vaikutuksia tuotantoon. Sen avulla mahdollistetaan hyvä toimituskyky, pieni sitoutunut pääoma sekä korkea kapasiteetin kuormitusaste. Läpimenoaika voidaan merkittävästi lyhentää valmistuserien koon pienentämisellä sekä tuotannon välivarastojen poistamisella. Suuremmilla valmistuserillä tuotannon läpimenoajat kasvavat, sillä mitä enemmän erässä on tuotteita, sitä kauemmin ne joutuvat jonottamaan työvaiheeseen. Työvaiheiden välillä on usein suurien eräkokojen takia turhia välivarastoja pidentämässä läpimenoaika ja kasvattamassa varastojen aiheuttamia välillisiä kustannuksia. Läpimenoaika voidaan myös lyhentää selkeyttämällä tuotannon materiaalivirtoja ja sijoittamalla työpisteet tuotteiden valmistusvaiheiden mukaiseen järjestykseen. (Haverila et al. 2009, s. 406)

Valmistuksen eräkokojen pienentämisen edellytyksenä on yleensä asetusaikojen lyhentäminen. Asetusaika on se aika, joka kuluu työpisteessä vaihdettaessa tuotteesta toiseen. Asetusaika käsittää esimerkiksi työkalun vaihdot, kiinnittimen vaihdot, ohjelmien ja raaka-aineiden vaihdot. Jos asetusatjat ovat pitkiä ja tuotantoerät pieniä, tuotannon kapasiteetti kuluu asetusten tekoon, jolloin kapasiteetin kuormitusaste pienenee. (Haverila et al. 2009, s. 406)

Läpimenoaikojen lyhentämisellä on myös huomattu olevan vaikutus laatuun. Lyhyen läpimenoajan ansiosta valmistusprosesseissa tapahtuvat virheet ja häiriöt huomataan nopeammin ja näin ollen niiden syihin pystytään reagoimaan nopeammin. Häiriöt myös pysäyttävät koko tuotannon nopeammin, jolloin koko henkilöstön on ryhdyttävä karsimaan virheitä ja ennaltaehkäisemään tuotantoprosessin seisokkeja. (Haverila et al. 2009, s. 407)

Koko tuotantoprosessin tuottavuus kasvaa lyhyen läpimenoajan ansiosta, koska toiminnanlaatu paranee ja virheiden aiheuttamat kustannukset vähenevät. Myös toiminnan ohjaamisen vaatimat välilliset kustannukset pienenevät, koska ohjaaminen ja materiaali-

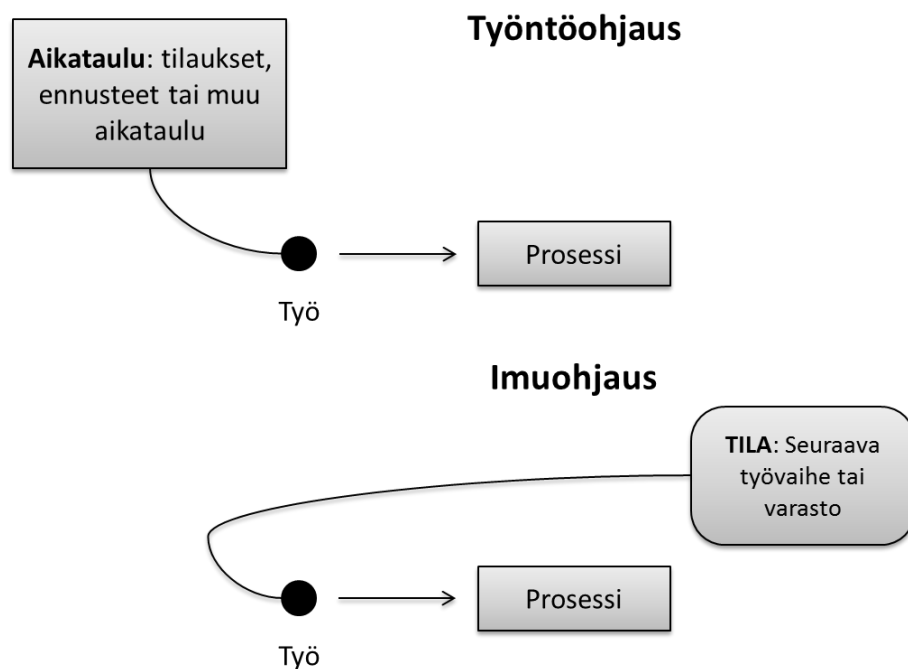
en käsittely vaativat vähemmän työtä. Selkeät materiaalivirrat ja kompaktit layoutit edelleen laskevat kustannuksia. Työntekijät pystyvät lyhyen läpimenoajan mahdollistamien tekijöiden ansiosta keskittymään omiin valmistustöihin ja koko toiminta on näin tehokkaampaa ja selkeämpää. (Haverila et al. 2009, s. 407)

4 TUOTANNONOHJAUSMENETELMÄT JA – FILOSOFIAT

Tässä luvussa esitellään yleisesti kirjallisuudessa esiintyviä tuotannonohjausmenetelmiä ja –filosofioita. Ensimmäiset luvut käsittelevät työntö- ja imuohjausta sekä niiden välistä eroja. Näiden jälkeen esitellään MRP-järjestelmän toimintaa sekä Japanissa kehitettyä JIT-filosofiaa.

4.1 Työntö- ja imuohjaus

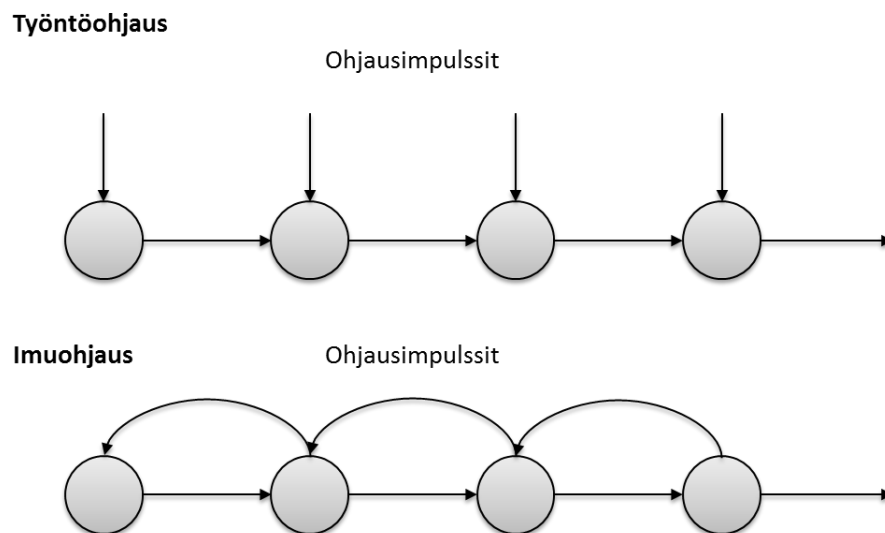
Työntö- ja imuohjaus ovat tuotannonohjausmenetelmiä, jotka eroavat toisistaan valmistusimpulssin myötä. Työntöohjauksessa valmistusimpulssi tulee tuotantojärjestelmän ulkopuolelta ja imuohjauksessa impulssi saadaan suoraan tuotantojärjestelmän sisältä. Työntöohjauksessa valmistus perustuu ennalta luotuihin aikatauluihin kun taas imuohjauksessa valmistuksen määrää joko prosessin jälkeen olevan varaston määrät tai mahdollisesti seuraavan työvaiheen tila. Spearman ja Hopp (2000) kuvaavat valmistuksen aloittavia impulsseja näiden kahden menetelmän välillä seuraavan kuvan 4.1 mukaisesti.



Kuva 4.1. Valmistusimpulssit työntö- ja imuohjauksessa

Työntöohjauksessa töitä vapautetaan tuotantoon ennalta laaditun valmistussuunnitelman mukaan, joka on tehty joko ennusteiden tai asiakastilausten perusteella. Valmistussuunnitelmassa määritellään töille niiden valmistuspäivä, jota hyödynnetään tuotannon aloituksen määrittämiseen. Tuotannon aloitusaika lasketaan vähentämällä työn läpimenoaika valmistuspäivästä. Valmistussuunnitelman perusteella työt vapautetaan valmistusprosessin ensimmäiseen vaiheeseen, josta se tämän jälkeen työnnetään prosessista toiseen välittämättä seuraavan työvaiheen tilanteesta. (Hopp & Spearman 2000, s. 340; Haverila et al. 2009, s. 422)

Imuohjauksessa valmistusimpulssi saadaan prosessin seuraavilta vaiheilta. Haverila et al. (2009) mukaan imuohjauksen idea perustuu siihen, ”että tuotteita tai osia valmistetaan ainoastaan todellisen välittömän tarpeen verran.” Valmistusimpulssi tai imuohjauksen tapauksessa tarveimpulssi etenee valmistusketjun lopusta alkuun päin, osat siis ”imetään” edellisistä työvaiheista. Työntö- ja imuohjauksen ohjausimpulssien eroa on kuvattu seuraavassa kuvassa 4.2.



Kuva 4.2. Työntö- ja imuohjaus (Haverila et al. 2009, s. 423)

Käytännössä imuohjaus toteutetaan pienten välivarastojen tai imuohjauspuskureiden avulla ja valmistusimpulssi syntyy kun osia käytetään näistä varastoista. Valmistusimpulssi edelliselle työvaiheelle voidaan välittää niin kutsuttujen *kanban*-korttien avulla tai esimerkiksi yksinkertaisesti tyhjien kuljetuslaatikoiden avulla, jonka saapuminen prosessin eteen ilmaisee valmistustarpeen. Kanban-korttien käyttöä imuohjauksessa esitellään seuraavassa luvussa 4.1.1. Imuohjaus soveltuu vakio-osille ja materiaaleille, joiden menekki on suhteellisen tasaista. Imuohjaus edellyttää valmistusprosessilta myös lyhyttä läpimenoaikaa ja virheetöntä laatua, koska yhdenkin valmistusvaiheen ongelmat pysäyttävät koko tuotantoprosessin. (Hopp & Spearman 2000, s. 340; Haverila et al. 2009, s. 422-423)

Hopp ja Spearmanin (2000) mukaan työntö- ja imuohjausta voidaan vertailla vielä varasto- ja tilausohjautuvan tuotannon mukaan, jotka esiteltiin diplomityön alussa luvussa 2.1. Imuohjaus voidaan luokitella varasto-ohjautuvaksi (Make-to-stock, MTS) tuotannoksi ja työntöohjaus tilausohjautuvaksi (Make-to-order, MTO), sillä imuohjauksessa valmistusimpulssin aiheuttaa varaston määrät tai toisin sanoen imuohjauspuskureiden tasot. Työntöohjaus taas luokitellaan tilausohjautuvaksi tuotannoksi, koska valmistuksen määräävät asiakastilaukset (tai ennusteet).

4.1.1 Kanban-järjestelmä

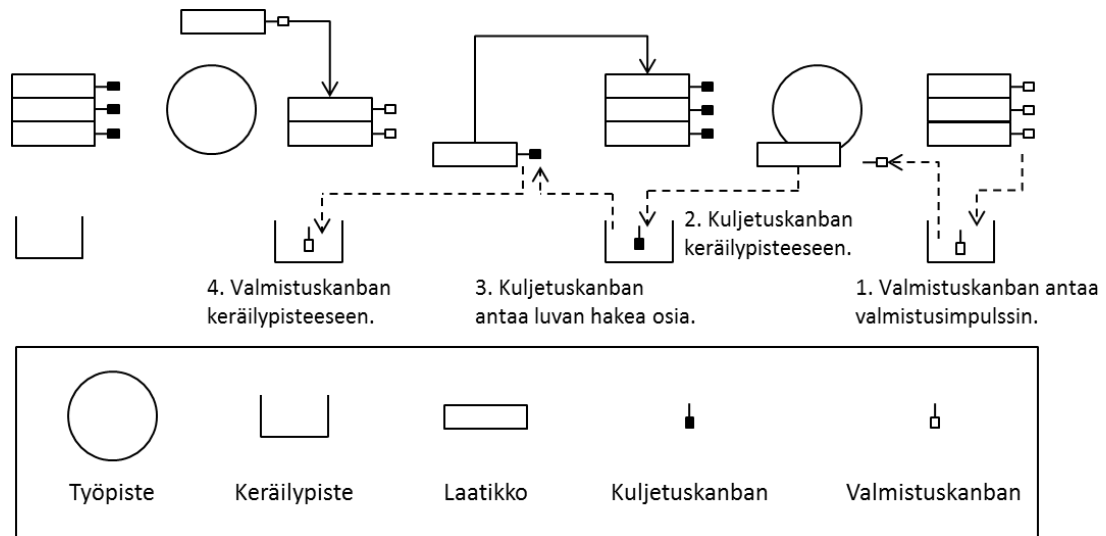
Kanban-järjestelmä kehitettiin alunperin Toyotalla Japanissa, jossa kortteja hyödynnettiin materiaalien ohjaukseen. Sana *kanban* tulee japaninkielestä ja suomennettuna se tarkoittaa sanaa kortti. Kanban-järjestelmä perustuu edellisessä luvussa esitettyyn imuohjaukseen, jossa osia ja tuotteita valmistetaan ainoastaan tarpeeseen. Perinteiseen työntöohjaukseen verrattuna, jossa tuotanto perustuu ennalta laadittuun valmistussuunnitelmaan, kanban-järjestelmässä välitetään kortin avulla valmistusimpulssi edelliselle työvaiheelle, mikä antaa ”luvan” valmistaa tiettyä kortin määrittämää osaa tai tuotetta tietyn kokoisen erän. Smalley (2009) esittelee kirjassaan ”Creating Level Pull” neljä merkittävintä hyötyä, joita kanban-järjestelmä tarjoaa:

1. Estää osien ja tuotteiden ylituotantoa. Kanban-järjestelmässä valmistetaan vain tarpeeseen.
2. Tarjoaa tarkat valmistusohjeet prosesseille, jotka perustuvat prosessien välisien puskurivarastojen ja valmisvaraston täydentämiseen.
3. Toimii visuaalisena työkaluna työnjohdolle. Korttien perusteella voidaan nopeasti määrittää, onko tuotanto aikataulussa vai ei.
4. Toimii työkaluna jatkuvalla parantamiselle. Kortteja vähentämälle voidaan pienentää varastoja ja näiden avulla läpimenoaikaa.

Yksikertaisuudessaan kanban-järjestelmän toimintaperiaatetta voidaan verrata supermarketin toimintaperiaatteeseen ja tästä syystä kanban-järjestelmän välivarastoja usein kutsutaankin supermarketiksi. Supermarketissa asiakkaat ostavat tuotteita, jotka ovat valmiiksi hyllyillä. Hyllyt täytetään tämän jälkeen asiakasostojen perusteella. Sama toimintaperiaate pätee tehtaan kanban-järjestelmään. Valmistusprosessin seuraava vaihe noutaa edellisen vaiheen välivarastosta osia tarpeensa mukaan ja tämän jälkeen varasto täydennetään edellisestä valmistusprosessista. (Productivity Press Development Team, 2002, s.3)

Toyotan kehittämä kanban-järjestelmä käyttää kahden tyyppisiä kortteja, joista toinen antaa luvan valmistukselle ja toinen materiaalien ja osien liikuttelulle. Järjestelmää kutsutaan ”kaksi-kortti” -järjestelmäksi, jonka toimintaperiaate on kuvattu alla olevassa kuvassa 4.3. ”Kaksi-kortti” -järjestelmä vaatii välivarastot tai toiselta nimeltä puskurivarastot sekä valmistuksessa tarvittaville osille ja komponenteille ennen työpisteitä että puskurivaraston työpisteen jälkeen, työpisteestä valmistuville komponenteille tai tuot-

teille. Työpisteet on kuvattu kuvassa ympyröillä ja puskurivarastot suorakulmioilla, jotka esittävät varastossa olevia ennalta määrätyn kokoisia laatikoita tai esimerkiksi kuljetuslavoja. (Hopp & Spearman 2000, s. 162)



Kuva 4.3. Toyotan ”kaksi-kortti” kanban-järjestelmä (Hopp & Spearman 2000, s.163)

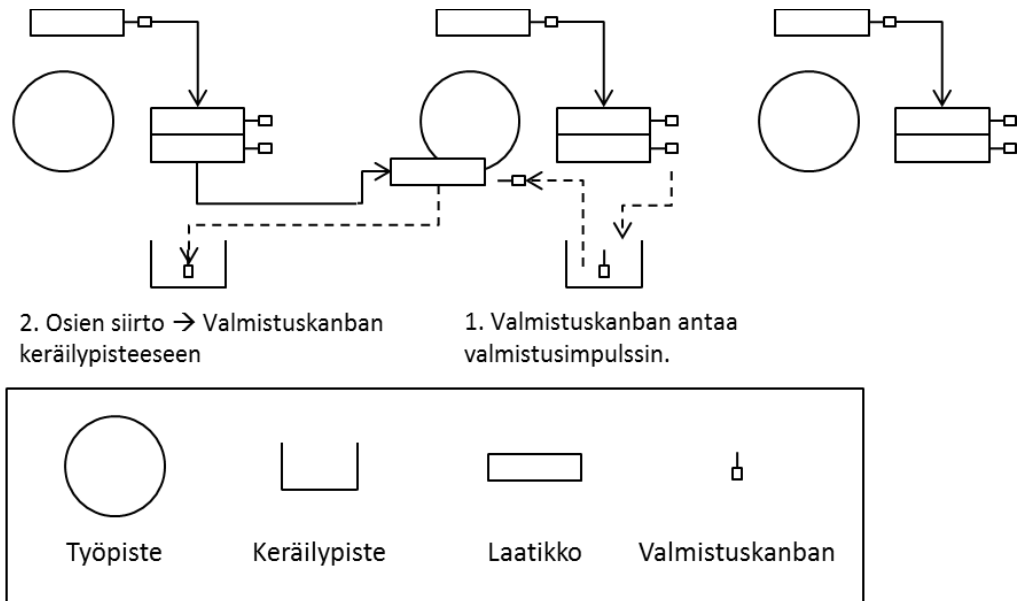
Järjestelmän toimintaperiaate voidaan jakaa seuraaviin osiin:

1. Kun työpiste vapautuu edellisestä työstä, operaattori ottaa seuraavan valmistuskanbanin keräilypisteestä. Valmistuskanban kertoo operaattorille, mitä hänen tulisi valmistaa ja kuinka paljon.
2. Operaattori tarkastaa tämän jälkeen valmistukseen tarvittavat osat työpisteen eteen sijoitetusta välivarastosta. Jos osat löytyvät, operaattori irrottaa niistä kuljetuskanbanin ja siirtää tämän keräilypisteeseen.
3. Keräilypisteessä olevat kuljetuskanbanit antavat luvan siirtää osia edellisen työvaiheen eteen sijoitetusta varastosta seuraavan työpisteen varastoon.
4. Välivarastosta haetusta lavasta/laatikosta poistetaan valmistuskanban kortti ja se sijoitetaan keräilypisteeseen. Valmistuskanbanin tilalle asetetaan kuljetuskanban. Irrotettu valmistuskanban on nyt merkinä edelliselle työvaiheelle, että varastoa tulisi täydentää. (Hopp & Spearman 2000, s.163-164)

Toyotan ”kaksi-kortti” -järjestelmä sopii erinomaisesti paikkoihin, joissa työpisteiden väliset etäisyydet ovat suuria. Välivarastot sekä ennen että jälkeen työpisteiden mahdollistavat jatkuvan työn työpisteissä ja materiaalin siirto työpisteeltä toiseen hoidetaan erillisen ”kuljettajan” avulla. Kuljettaja toimittaa kuljetuskanbanien mukaan osia ja komponentteja varastosta toiseen sekä palauttaa keräilypisteiltä valmistuskanbanit työpisteille. (Hopp & Spearman 2000, s.164)

Tehtaissa, joissa työpisteet on sijoitettu toistensa läheisyyteen, kaksi-kortti järjestelmän useat välivarastot ja erilliset kuljetuskanbanit ovat turhia. Keskeneräisen työn siirto työ-

pisteiltä toiseen on helpompaa ja toiminta vaati vain yhden välivaraston työpisteiden välissä kaksi-kortti järjestelmän kahteen välivarastoon verrattuna. Tällaista järjestelmää kutsutaan ”yksi-kortti” -järjestelmäksi eli se sisältää pelkästään valmistuskanbaneita. Järjestelmän toimintaa on esitetty alla olevassa kuvassa 4.4. (Hopp & Spearman 2000, s.164)



Kuva 4.4. ”Yksi-kortti” kanban-järjestelmä (Hopp & Spearman 2000, s.164)

”Yksi-kortti” järjestelmän toimintaperiaate on hyvin samankaltainen kuin aikaisemmin esitetyn ”kaksi-kortti” järjestelmän:

1. Operaattori poimii keräilypisteestä valmistuskanbanin, joka toimii valmistusimpulssina.
2. Tämän jälkeen operaattori hakee välivarastosta tarvitsemansa osat ja irrottaa näissä kiinni olevan valmistuskanbanin, jonka hän sijoittaa edellisen työpisteen kanban keräilypisteeseen. Tämä valmistuskanban toimii nyt valmistusimpulssina edelliselle työvaiheelle välivaraston täydentämiseksi.

”Yksi-kortti” -järjestelmän periaatteellinen ero ”kaksi-kortti” -järjestelmään on materiaalien kuljetuksissa, muuten järjestelmien toimintaperiaate on sama. ”Kaksi-kortti” -järjestelmän kuljetuskanbanit määrittävät tarkasti materiaalien ja osien siirron eräkoot ja täten kontrolloivat keskeneräisen tuotannon määrä kuljetusoperaatioissa. Jos nämä operaatiot ovat nopeita ja ennustettavissa, kuljetuskanbanit saattavat olla turhia. Jos taas kuljetusoperaatiot tapahtuvat epäsäännöllisesti ja hitaasti, keskeneräisen tuotannon määrää näissä on hyvä kontrolloida. (Hopp & Spearman 2000, s.164)

Kanban-järjestelmien sekä ”yksi-kortti”- että ”kaksi-kortti” -järjestelmien valmistus tapahtuu ainoastaan tarpeeseen ja tämän tarpeen välittämiseen käytetään tässä luvussa kuvailtuja valmistus- ja kuljetuskortteja eli kanbaneja. Kortit määrittelevät valmistuksen

aloituksen sekä valmistuksen eräkoot ja toimivat näin ohjausimpulsseina työpisteille. Kanban-järjestelmissä tehtaalla liikkuvien korttien lukumäärät määrittelevät suoraan tehtaan keskeneräisen tuotannon määrän ja näin ollen kortteja vähentämällä tai lisäämällä voidaan tähän määrään vaikuttaa laskevasti tai kasvattavasti.

4.1.2 Työntö- ja imuohjauksen vertailua

Työntöohjausta voidaan kuvailla siten, että se pyrkii ohjaamaan läpimenoa tuotanto-suunnitelmalla ja mittaamaan keskeneräistä tuotantoa havaitakseen ongelmia toimitusten täyttämisisä. Ohjaamalla läpimenoa työntöohjaus pyrkii säilyttämään koneiden korkeat käyttösuhteet. Imuohjaus taas päinvastoin pyrkii ohjaamaan keskeneräistä tuotantoa ja mittaamaan läpimenoa, jota sitten verrataan kysyntään. Koneiden käyttösuhteet eivät näin ollen ole merkittävässä asemassa vaan imuohjaus pyrkii estämään ylituotantoa. Tuotannonohjausmenetelmiä voidaan siis vertailla seuraavasti (Spearman & Zanakis 1992, s. 521-523):

- Työntöohjaus ohjaa läpimenoa ja mittaa keskeneräistä tuotantoa
- Imuohjaus ohjaa keskeneräistä tuotantoa ja mittaa läpimenoa.

Haverila et al. (2009) kirjoittavat työntöohjauksen osoittautuvan ongelmalliseksi monimutkaisten ja pitkien valmistusketjujen ohjauksessa. Ongelmat johtuvat usein tuotanto-suunnitelman ja todellisen valmistustilanteen ristiriitaisuuksista, jolloin suunnitelmat eivät täysin vastaa todellisuutta ja valmistuskaan ei aina pysty toimimaan suunnitelmien mukaisesti. Tällöin pitkissä valmistusketjuissa muodostuu helposti välivarastoja eli keskeneräistä työtä työvaiheiden eteen. Suunnitelmien ja todellisen valmistustilanteen ristiriitaisuuksia pyritään usein helpottamaan vaiheiden välisillä varastoilla, jotka taas edelleen vaikeuttavat ohjausta, koska hallittavien asioiden määrä kasvaa ja läpimenoajat pitenevät huomattavasti. Haverila et al. (2009) mainitsevat vielä lopuksi työntöohjauksen olevan hyvä suunnittelumenetelmä, mutta edellyttävän selkeitä ja hallittavia valmistusprosesseja sekä hyvää laatua ja kurinalaista toimintaa.

Hopp ja Spearman (2000) esittävät kirjassaan imuohjauksen tuomia etuja ja painottavat, että edut johtuvat keskeneräisen tuotannon (KET) määrän rajoittamisesta eikä niinkään itse imusta. Imuohjauksessa valmistus tapahtuu vain tarpeeseen ja tarpeet ovat sekä ulkoisten asiakkaiden tarpeita että seuraavien työvaiheiden tarpeita, jotka tyhjentävät väli-varastoja. Imuohjaus rajoittaa KET:iä sillä, että valmistus aloitetaan vasta kun osa tai tuote on hävinnyt varastosta. Kanban korteilla toimivassa imuohjauksessa korttien määrä määrittää KET:in määrän ja näin ollen se on rajoitettu tiettyyn tasoon. KET:in rajoittamisen tuomat edut voidaan jakaa seuraavasti:

- Vähentää valmistuskustannuksia
- Vähentää vaihtelua
- Parantaa laatua
- Mahdollistaa joustavuuden

Kun keskeneräistä tuotantoa rajoitetaan imuohjauksen tavoin, häiriöt tuotantolinjastossa esimerkiksi konerikot, eivät pääse kasvattamaan KET:iä yli tietyn ennalta määritetyn tason. Puhtaassa työntöohjauksessa valmistusta jatkettaisiin normaalisti ja häiriö linjassa aiheuttaisi KET:in kasvun rajoittamattomasti. Imuohjauksessa valmistus loppuisi kun valmistusimpulsseja ei enää saataisi seuraavasta työvaiheesta. KET:in rajoittaminen säilyttää tuotantolinjan joustavuuden ja näin ollen mahdollistaa muutokset tuotteissa ja niiden aikatauluissa. Niin kauan kun töitä ei ole vapautettu tuotantoon niihin voidaan vielä tehdä muutoksia ja töiden prioriteetteja voidaan vielä muuttaa. Kun työt on vapautettu lattialle, muutokset tuotteisiin ja niiden valmistuspäiviin ovat kalliita. KET:in rajoittaminen siis pienentää kustannuksia, jotka aiheutuvat tuotteiden ja aikataulujen muutoksista. Varastoidut tuotteet aiheuttavat aina myös varastointikustannuksia ja näin ollen rajoittamalla KET:iä, varastointikustannuksia voidaan rajoittaa. (Hopp & Spearman 2000, s.345)

Vaihtelun vähentämisellä tarkoitetaan läpimenoaikojen vaihtelua, johon keskeneräinen tuotanto vaikuttaa merkittävästi. Läpimenoajan perusteella määritellään tuotteiden toimitusajat ja suurella läpimenoajan vaihtelulla toimitusajat pitenevät. Esimerkkinä jos normaali läpimenoaika on 10 päivää plus tai miinus 5 päivää niin korkean toimitusvarmuuden pitämiseksi asiakkaalle luvataan toimitusajaksi 15 päivää. Jos taas vaihtelu saadaan pienennettyä yhteen päivään, toimitusajaksi voidaan luvata 11 päivää. Imuohjaus rajoittaa keskeneräistä tuotantoa kun taas työntöohjauksessa keskeneräisen tuotannon määrä voi kasvaa rajoittamattomasti ja näin ollen myös läpimenoajat kasvavat samassa suhteessa. Vaihtelulla voidaan tarkoittaa myös työpisteiden sisäistä vaihtelua. Pienet välivarastot ja näin ollen pieni keskeneräisen tuotannon määrä on herkempi vaihteluille, esimerkiksi konerikot ja asetusajat, jolloin tämän vaihtelun poistamiseksi on tehtävä töitä. Työntöohjauksessa sisäiset vaihtelut usein häviävät suuren keskeneräisen tuotannon määrän takia ja paine vaihtelun pienentämiseksi häviää. (Hopp & Spearman 2000, s.346)

Tuotteiden laatu vaikuttaa imuohjauksessa tuotantoon samaan tapaan kuin konerikot. Keskeneräisen tuotannon määrän ollessa pieni, laaturvirheet aiheuttavat tuotantolinjan pysäytyksen siihen saakka kunnes edellinen työvaihe on saanut jälleen täydennettyä välivaraston. Laaturvirheiden merkittävä vaikutus tuotantolinjaan kasvattaa painetta näiden poistamiseksi ja näin ollen laatu paranee. (Hopp & Spearman 2000, s. 347)

Viimeisempänä etuna Hopp ja Spearman mainitsevat joustavuuden, jonka imuohjaus mahdollistaa. Työntöohjauksessa töitä vapautetaan tuotantoon tuotantosuunnitelman perusteella ja kuten aikaisemmin mainittiin, suunnitelman ja todellisen valmistustilanteen välillä on usein ristiriitaisuuksia. Näin ollen töitä voidaan vapauttaa jo ennalta ylikuormitetuun tilanteeseen, jolloin keskeneräisen tuotannon määrä kasvaa ja joustavuus pienenee muutamalla eri tavalla. Ensiksi tekniset muutokset töihin, jotka on jo vapautettu tuotantoon, vaikeutuvat selvästi. Toiseksi korkeat KET määrät vaikeuttavat aikatau-

lumuutoksia, kun korkeamman prioriteetin tuotteita joudutaan vapauttamaan tuotantoon. Kolmanneksi voidaan vielä mainita, että jos KET määrät ovat korkeita, töitä joudutaan vapauttamaan tuotantoon hyvissä ajoin ennen haluttua valmistuspäivää. Imuohjaus mahdollistaa tuotannon joustavuuden, sillä se estää töiden vapautumisen tuotantoon jos linjasto on jostain syystä ruuhkautunut. Näin ollen töihin voidaan vielä tehdä teknisiä sekä aikataulullisia muutoksia. (Hopp & Spearman 2000, s.348)

Bonney et al. (1999) kirjoittavat artikkelissaan, että parhaimmat tuotantomenetelmät ja -järjestelmät ovat kuitenkin sekoitus työntö- ja imuohjausta. Imuohjausta harjoittava tuotanto voi esimerkiksi hyödyntää työntöohjausta pitkien toimitusaikojen omaavien komponenttien hankinnassa. Työntöohjauksella voidaan myös suunnitella koko tilauksen aikataulu ja tilauskohtaiset valmistustehtävät ja kokoonpanojen vakio-osien valmistus voidaan ohjata imuohjauksella. Vakio-osien imuohjausta käytetään usein sen toimintavarmuuden vuoksi. Erilaiset materiaalikirjanpidon virheet ja valmistusohjauksen ongelmat eivät häiritse imuohjausjärjestelmää. (Haverila et al. 2009, s. 423)

4.2 MRP- ja MRP II-tuotannonohjausmenetelmät

Termillä MRP voidaan kirjallisuudessa tarkoittaa useampia eri asioita. Alun perin termillä käsitettiin MRP -tuotannonohjausmenetelmä, joka tuli sanoista ”Material Requirement Planning”, materiaalityöiden suunnittelu. Tämän jälkeen menetelmää kehitettiin eteenpäin ja sitä aloitettiin kutsua termillä MRP II, jolla tarkoitettiin käsitettä ”Manufacturing Resource Planning”, tuotannon resurssien suunnittelu. Menetelmät pohjautuvat työntöohjaukseen, minkä takia termiä MRP käytetään usein myös kuvaamaan pelkästään työntöohjausta. (Benton & Shin 1998, Sipper & Bulfin 1998, s. 533)

MRP kehitettiin vuonna 1964 IBM:llä Joseph Orlickyn ja muiden työntekijöiden toimesta, mutta sen käyttö laajeni merkittävästi vasta vuoden 1972 jälkeen. MRP-järjestelmä kehitettiin nimensä mukaisesti materiaalityöiden suunnitteluun. Järjestelmän tehtävä on yrityksen ulkopuolisten materiaalityöiden perusteella suunnitella ja aikatauluttaa työt tuotantoon ja niiden pohjalta muodostaa materiaalien ostotarpeita. Järjestelmä vastaa sekä lopputuotteiden, puolivalmisteiden että raaka-aineiden määristä ja aikatauluksista siten, että tuotanto pystyy vastaamaan asiakkaiden toimitusaikoihin. Materiaalien tarvelaskenta perustuu tuotteiden rakenteisiin (Bill of materials, BOM). Tuoterakenteet on jaettu hierarkkiseen rakenteeseen, jossa alin taso kuvaa ostettavia komponentteja ja ylin taso lopputuotetta. MRP-järjestelmä tarvitsee tuoterakenteiden lisäksi karkean valmistussuunnitelman (Master Production Schedule, MPS), joka kertoo järjestelmälle tuotteiden bruttotarpeen, sen hetkiset varastotasot sekä eräänntyvät tilaukset, valmistettavat ja ostettavat. (Hopp & Spearman 2000, s. 109-111)

MRP:n perus toimintaperiaate jokaiselle osalle on seuraava:

1. *Nettouttaminen* – Järjestelmä määrittää osien nettotarpeet vähentämällä sen hetkiset varastoarvot ja erääntyvät tilaukset bruttotarpeista. Lopputuotteiden bruttotarpeet perustuvat karkeaan valmistussuunnitelmaan ja alempien tasojen osien tarpeet MRP:n operaatioihin.
2. *Erien muodostaminen* – Järjestelmä jakaa nettotarpeet sopiviin eräkokoihin muodostaakseen tuotannolle töitä.
3. *Aikataulutaminen* – Määrittää tuotannon aloitusajat valmistuspäivän ja läpimenoajan perusteella.
4. *Tuoterakenteen läpikäynti* – Hyödyntäen tuotannon aloitusaikoja, eräkokoja ja tuoterakenteita järjestelmä muodostaa bruttotarpeet rakenteen alemman tason osille.
5. *Iterointi* – Vaiheiden läpikäynti kunnes tuoterakenteen kaikki taso on käyty läpi.

MRP-järjestelmä muodostaa karkeanvalmistussuunnitelman ja tuoterakenteiden perusteella tuotanto- ja materiaalityötarpeet. Tarpeet muuttuvat tuotannon töiksi ja ostotilauksiksi kun ne vapautetaan. (Hopp & Spearman 2000, s. 114-115)

MRP-järjestelmä tarjosi yksinkertaisen tavan materiaalityötarpeiden suunnitteluun ja hankintaan. Järjestelmässä havaittiin kuitenkin heti alkujaan muutamia ongelmia, joista vakavampia olivat: kapasiteettisuunnittelun puute, pitkät suunnitellut läpimenoajat ja järjestelmän ”hermostuneisuus”. Järjestelmän hermostuneisuudella tarkoitetaan tässä kohtaa, että pienetkin muutokset MRP:hen saattoivat aiheuttaa isoja ongelmia tuotannolle. Nämä ongelmat johtivat lopulta MRP II-järjestelmän kehittämiseen. MRP II-järjestelmän tehtävä oli yhdistää aikaisemman järjestelmän ominaisuudet kysynnänhallinnan, karkeanvalmistussuunnitelman, kapasiteettisuunnittelun, kapasiteettitarvelaskennan ja lattiataso-ohjauksen kanssa ja luoda yrityksille todellinen integroitu tuotannon johtamisjärjestelmä. (Hopp & Spearman 2000, s. 135)

Hopp ja Spearman (2000) esittelevät kirjassaan ”Factory Physics” MRP II-järjestelmän hierarkian, jonka he jakavat kolmeen eri aikajänteeseen, pitkän ja keskipitkän aikavälin suunnittelu sekä lyhyen aikavälin hallinta. MRP II-järjestelmän pitkän aikavälin suunnittelu sisältää resurssien suunnittelun, kokonaissuunnittelun sekä ennusteet. Pitkän aikavälin ennusteiden pohjalta määritellään tuotannon kapasiteetti, työkalu ja työntekijä vaatimukset. Lyhyen aikavälin ennusteiden avulla muunnetaan pitkän aikavälin ennusteet tuotekohtaisiksi ennusteiksi kysynnän hallinnalle. (Hopp & Spearman 2000, s. 136)

Keskipitkän aikavälin suunnittelu sisältää kysynnän hallinnan, karkean kapasiteetti- ja tuotannosuunnittelun, materiaalityötarvelaskennan sekä kapasiteetin hienosuunnittelun. Kysynnän hallinta määrittelee järjestelmälle asiakastilaukset sekä ennusteet seuraavista tilauksista. Tilauksien perusteella järjestelmä luo karkeantason valmistussuunnitelman ottaen huomioon tuotannon kokonaiskapasiteetin. Ennen materiaalityötarvelaskentaa

järjestelmä tarkastaa vielä tuotantosuunnitelman kokonaiskapasiteettia tarkemmalla karkeankapasiteettisuunnittelun (Rough-cut capacity planning, RCCP) avulla. (Hopp & Spearman 2000, s. 137)

Muodostetun karkean tuotantosuunnitelman perusteella järjestelmä laskee materiaalitarpeet ja suunnittelee tuotantoon työt samalla tavalla kuin MRP-järjestelmä. Hopp ja Spearmanin kuvaamaan mallin viimeinen taso eli lyhyen aikavälin hallinta koostuu töiden vapautuksista, toimituksista sekä lattiataason ohjauksesta ja mittauksesta. Työn vapauttaminen MRP II-järjestelmässä muuttaa suunnitellun työn erääntyväksi tilaukseksi. (Hopp & Spearman 2000, s. 140-141)

Lattiataason ohjauksella ja mittauksella tarkoitetaan tuotannon syötteiden ja ulostulojen tarkastelua ja hallintaa, minkä avulla mahdollistetaan läpimenoaikojen hallinta. Prosessi toimii seuraavasti:

1. Keskeneräisen tuotannon määrää seurataan jokaisella työpisteellä
2. Jos KET arvot kasvavat tietyn rajan yli, töiden vapautuksia tulee vähentää.
3. Jos KET arvot laskevat tietyn rajan alle, töitä voidaan vapauttaa enemmän.
4. Jos arvot pysyvät tiettyjen rajojen sisällä, töiden vapautustahti on sopiva sen hetkisille olosuhteille.

Mahdolliset toimenpiteet toteutetaan muuttamalla tuotannon karkeata valmistussuunnitelmaa. MRP II pyrkii siis mittamaan keskeneräisen tuotannon määrää, jonka perusteella käyttäjä toteuttaa tarvittavat muutokset suunnitelmiin. (Hopp & Spearman 2000, s. 141)

4.3 JIT-tuotannonohjausfilosofia

Just-in-time (JIT) tai suomennettuna Juuri-oikeaan-tarpeeseen (JOT) on Japanissa kehitetty tuotantoperiaate tai jopa tuotantofilosofia, joka on osoittanut monella alueella perinteisempiä toimintamalleja paremmaksi. JIT-filosofia ja sen sisältämät tekniikat pureutuvat tuotannonohjausta syvemmälle ja pyrkivät muuttamaan yrityksen koko tuotantoa helpottaen täten sen ohjausta. JIT-tuotannon tunnusmerkkeinä voidaan pitkää korkeaa tuottavuutta, pientä sitoutunutta pääomaa, korkeaa laatua sekä nopeaa läpimenoaika. Vertailtaessa tunnusmerkkejä luvussa 3.1 esitettyihin tuotannonohjauksen tavoitteisiin, huomaamme hyvin niiden samankaltaisuuden. (Haverila et al. 2009, s. 428)

JIT-periaatteet ja ideat ovat lähtöisin Toyotalta ja JIT-tuotantomallin kehittäjänä pidetään Taiichi Ohnoa. Hopp ja Spearmanin (2000) mukaan JIT:in kehitys sai alkunsa vuonna 1945, kun sen aikainen Toyotan presidentti Toyoda Kiichiro vaati, että ”Toyotan tulisi ottaa amerikkalaiset autonvalmistajat kiinni kolmessa vuodessa, koska muuten japanilainen autovalmistus ei selviäisi.” Japanin talous oli tähän aikaan hyvin heikossa tilanteessa toisen maailman sodan johdosta ja tuottavuus tehtaissa oli vain noin yhdeksäs osa verrattuna amerikkalaiseen valmistukseen. Taiichi Ohno huomasi, että ainoa

tapa, jolla Toyota pystyisi kilpailemaan amerikkalaisten kanssa oli pienentää sen aikais-ta suurta ero tuottavuudessa. Hän väitti, että tuottavuutta voitaisiin parantaa vain ja ai-noastaan poistamalla tuotannosta hukkaa, joka lopulta pienentäisi valmistuskustannuk-sia. Amerikkalaiset autonvalmistajat hyödynsivät tähän aikaan massavalmistusta, jolla he saivat pienennettyä valmistuskustannuksia, mutta Japanin pienten markkinoiden vuoksi tämä malli ei sopinut Toyotalle. Tästä johtuen Toyotalle päätettiin, että heidän tuotantostrategiansa tulisi olemaan monien erilaisten mallien valmistus pienemmissä erissä. (Hopp & Spearman 2000, s. 152)

Taiichi Ohnon kehittämän JIT tuotantoperiaatteen tarkoitus on yksinkertaisemmillaan osien ja tuotteiden valmistusta juuri oikeaan aikaan oikeissa määrissä, ei liian aikaisin, jolloin tuotteet odottaisivat varastossa, eikä liian myöhään, jolloin asiakkaat joutuisivat odottamaan tuotettaan. JIT:iä voidaan pitää kurinalaisena tuotantomallina, jonka tarkoi-tuksena on parantaa tuottavuutta poistamalla tuotannosta hukkaa eli arvoa lisäämättömiä toimintoja. Toyotan Taiichi Ohno jakoi hukan seitsemään eri kategoriaan:

- Ylituotanto
- Odottaminen
- Materiaalien siirto
- Yliprosessointi
- Varastointi
- Turhat liikkeet
- Virheelliset tuotteet

JIT tarjoaa kustannustehokkaan tavan valmistaa ja toimittaa laadukkaita osia ja tuotteita vain tarpeen saneleman määrän oikeaan aikaan ja oikeaan paikkaan minimaalisella re-surssien (tilat, koneet, työkalut, materiaalit, henkilöstö) käytöllä. Toyota kehitti aikoi-naan monia eri prosesseja helpottaakseen JIT tuotantomallin implementointia, joista esimerkkeinä edellisessä luvussa esiteltä kanban-järjestelmä, asetusajojen lyhentämi-nen, työntekijöiden kouluttaminen, toimittaja suhteiden kehittäminen ja laadun valvon-ta. JIT implementointiin liittyviä tekijöitä esitellään lisää myöhemmin tässä luvussa. (Slack 2007, s. 466)

Saavuttaakseen Taiichi Ohnon tavoitteet osien ja tuotteiden valmistuksesta vain tarpee-seen ja juuri oikeaan aikaan, tuotantoympäristön tulee toimia lähes täydellisesti. Kirjal-lisuudessa käytetäänkin usein JIT tuotantomallille nimitystä nollavarastotuotanto tai nollavarastot (stockless production, zero inventories). Nollavarasto termeillä halutaan kuitenkin kuvailla niin sanottua täydellistä tilaa, jopa mahdotonta tilaa, joka kannustaa yrityksiä jatkuvaan parantamiseen. Hopp ja Spearman (2000) esittävät kirjassaan vielä seitsemän muuta ”nolla” tavoitetta, jotka vaaditaan JIT:in nollavarasto tavoitteeseen:

1. *Nolla laatuvirhettä* – JIT tuotantoympäristössä, jossa osia ja tuotteita valmistetaan vain tarpeeseen, laatuvirheet pysäyttävät tuotannon. Nolla varastoilla virheellistä osaa ei voi korvata varastosta vaan se joudutaan valmistamaan uudelleen.
2. *Eräkoko nolla (ei yhtään ylimääräistä)* – JIT tuotantomallissa tavoitteena on valmistaa vain tarpeeseen. Valmistamalla vain tarpeellinen määrä tuotanto pystyy vastaamaan paremmin asiakkaiden tarpeisiin. Tavoite tunnetaan myös nimellä ”eräkoko yksi”.
3. *Nolla asetusta* – Suuret asetusajat pakottavat tuotantoa valmistamaan isoja eräkokoja säilyttääkseen korkean tuottavuuden. Jos tavoite eräkoolle on yksi, asetukset tulee pystyä poistamaan, jotta tuottavuus saadaan säilytettyä korkealla tasolla.
4. *Nolla konerikkoa* – Ideaalinen JIT ympäristö nollavarastoilla pysähtyy saman tien konerikon sattuessa, koska keskeneräistä tuotantoa ei ole varastoitu mahdollisten häiriö tilanteiden pelastamiseksi.
5. *Nolla kuljetusta* – JIT ympäristössä, jossa valmistetaan vain tarpeeseen, ylimääräistä materiaalien kuljetusta ei tarvita. Ylimääräiset kuljetukset tulee ottaa huomioon valmistuksessa ja näin ollen valmistuksen aloitukseen joudutaan huomioimaan kuljetusaika.
6. *Läpimenoaika nolla* – Kun osia valmistetaan vain tarpeeseen, osan tulee olla välittömästi seuraavan työvaiheen käytössä kun sille syntyy tarve. Näin ollen voidaan puhua nolla läpimenoajasta.
7. *Nolla yllättävää muutosta* – JIT tuotannon tuotantosuunnitelma on tasoitettu volyymien ja tuotemixien suhteen ja keskeneräinen tuotanto on poistettu kokonaan. Yllättävät muutokset, johon normaalisti voitaisiin vastata varastoilla sekoittavat nyt koko valmistuksen ja aiheuttavat toisien tuotteiden myöhästymisen aikataulun suhteen. (Hopp & Spearman 2000, s. 153)

Nämä kaikki ”nolla” tavoitteet samaan tapaan kuin nollavarastot ovat ideaalisen tuotantoympäristön tavoitteita ja kuten aikaisemmin todettiin, monessa tapauksessa jopa mahdollisia tavoitteita. Ne kuitenkin antavat tuotannon kehitykselle suunnan ja auttavat jatkuvaa parantamista. JIT yritys pyrkii muuttamaan ympäristöään kohti sen tuotantotrategiaa ja tavoitteita sen sijasta että se muuttaisi tuotantoaan ympäristön tarjoamien muuttujien mukaan. Esimerkkeinä tästä kehityksestä voidaan mainita asetusajojen pienentäminen eräkokojen minimoimiseksi, toimittajien ja yritysten välinen yhteistyö toimituskokojen ja -aikojen minimoimiseksi sekä yrityksen suunnittelun ja tuotannon yhteistyö tuotteiden suunnittelussa tuotteiden valmistuksen helpottamiseksi. (Hopp & Spearman 2000, s. 153)

Juuri oikeaan tarpeeseen valmistaminen vaatii tuotantoympäristöltä paljon muutakin kuin kanban-korteilla toimivan imuohjauksen. Monden (2012) sekä Hopp ja Spearman

(2000) esittelevät kirjoissaan seuraavia JIT-tuotantofilosofian implementoinnin ja jatkuvan toiminnan vaatimuksia:

- Imuohjaus
- Tasoitettu tuotanto
- Asetusaikojen lyhentäminen
- Standardisoidut toimintatavat
- Tehtaan layout ja monitaitoiset työntekijät
- Kokonaisvaltainen laatujohtaminen

JIT-tuotantofilosofia ohjaa tuotantoaan asiakaslähtöisen imuohjauksen (luku 4.1) avulla. Imuohjaus perustuu välittömään asiakaskysyntään, jonka perusteella tuotanto täydentää varastojaan kysynnän mukaan. Imuohjauksen avulla JIT tuotanto pystyy tarjoamaan asiakkaallensa hänen haluamansa tuotteen oikeaan aikaan ja oikeissa määrissä. Imuohjauksen ideaalisena tilanteena voidaan pitää niin sanottua ”yhden kappaleen virtausta”, jossa tuotanto valmistaa vain asiakastilauksen perusteella ilman minkäänlaisia väli- tai valmisvarastoja. Todellisessa tilanteessa tuotanto kuitenkin kärsii erilaisista katkoksisista ja näin ollen imuohjauksen toiminnan kannalta yritykset hyödyntävät usein pieniä väli-varastoja tuotantonsa tasoittamiseksi. Väli-varastoja täydennetään aina asiakkaan tarpeen mukaan, jolloin tuotanto välttyy ylituotannolta ja tämän seurauksena johtuvasta varastojen kasvusta. Varastojen täydennystarpeita voidaan ohjata erilaisilla signaaleilla, joista varmasti yleisimmin käytetty ohjaustapa on luvussa 4.1.1 esitetty kanban-järjestelmä. (Liker 2004, s. 105-109)

JIT tuotanto vaatii kanban-järjestelmän tueksi tasoitetun tuotannon. Suuret muutokset tuotantovolyyymeissä tai valmistettavissa tuotteissa hankaloittavat imuohjaus periaattein toimivaa tuotantoa ja saattavat aiheuttaa sen, että tuotantoprosessit eivät pystykään täyttämään asiakkaan tai seuraavan työvaiheen tarpeita. Tuotanto joutuu näin ollen kasvatamaan varastojaan tai lisäämään kapasiteettiaan, jotta se pystyisi vastaamaan näihin muutoksiin. Tuotannon tarpeet muodostuvat aina lopulta asiakaskysynnän perusteella, joka saattaa vaihdella hyvinkin paljon. Tasoitetun tuotannon tai *heijunkan*, joka on japaninkielien termi tasoitetulle tuotannolle, tarkoituksena on tasoittaa tuotanto volyymien ja eri tuotteiden välillä. Tasoitettu tuotanto ei pyri valmistamaan tuotteita suoraan siinä järjestyksessä, kun asiakkaat niitä tarvitsevat, vaan muodostamaan tietyn ajanjakson kokonaiskysynnän perusteella tuotantosuunnitelman, jolla näihin tarpeisiin voidaan vastata. Tasoitettu tuotanto pyrkii valmistamaan joka päivä tai esimerkiksi joka viikko saman määrän tuotteita sekä saman tuotemiksin pienillä eräkooilla. (Liker 2004, s. 105-109)

Tuotannon tasoittaminen alkaa karkeasta tuotantosuunnitelmasta, joka kertoo kuinka paljon mitäkin tuotetta tulisi valmistaa tietyssä ajanjaksossa, esimerkiksi kuukaudessa. Tämän jälkeen tuotantosuunnitelman perusteella voidaan muodostaa esimerkiksi valmistusprosessin loppukokoonpanolle hienosuunnitelma tai työjono, joka tarkentaa kar-

keasuunnitelman päivä- tai jopa tuntitason valmistussuunnitelmaksi. Jos esimerkiksi kuukauden karkeasuunnitelma vaatii 10,000 tuotteen valmistamisen ja kuukaudessa on 20 työpäivää, niin loppukokoonpanon suunnitelma vaatisi 500 tuotteen valmistamisen päivässä ja kahdessa vuorossa toimiva loppukokoonpano 250 tuotteen valmistamisen vuorossa. Jos jokaisessa vuorossa on 480 minuuttia, niin keskiarvallisesti tuotteita tulisi valmistua joka 1,92 minuutti ($480/250=1,92$). Ideaalisessa tilanteessa voitaisiin todeta, että jokaisen tuotteen valmistus kestää 1,92 minuuttia, mutta todellisessa tilanteessa tuotteiden valmistusajat voivat vaihdella toisen ollessa pidempi ja toisen lyhyempi. Vaihtelut eivät ole tasoitetulle tuotannolle vaarallisia, jos jättämät saadaan kiinni esimerkiksi seuraavan tunnin aikana, mutta jättämät, jotka pitenevät vuoron mittaisiksi tai jopa päiviksi vaativat jo toimenpiteitä, esimerkiksi ylitöitä. Kun karkeasuunnitelman kokonaismäärät on saatu jaettu päiväkohtaisiksi tarpeiksi, muodostetaan vielä tuotekohtaisten tarpeiden perusteella työjono. Jos karkeasuunnitelman 10,000 tuotetta koostuu 5000 tuote A:sta, 2500 tuote B:stä ja 2500 tuote C:stä, niin tämä tarkoittaa että päivittäin valmistettava 500 tuotetta tulisi koostua

$$0,5 \times 500 = 250 \text{ (tuote A)}$$

$$0,25 \times 500 = 125 \text{ (tuote B)}$$

$$0,25 \times 500 = 125 \text{ (tuote C).}$$

Päivittäisten tuotekohtaisen määrrien avulla voidaan muodostaa seuraavanlainen työjono: A-B-A-C-A-B-A-C-A-B-A-C-A-B-A-C-A-B-A...

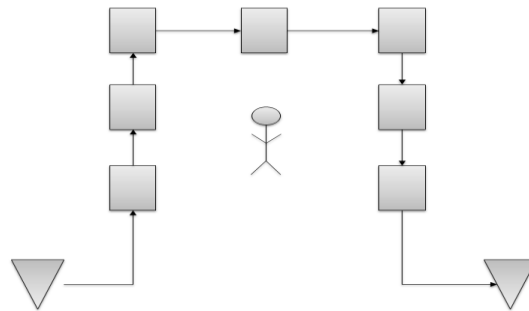
joka vastaa karkeasuunnitelman vaatimaa 50-25-25 valmistusta tuotteiden A, B, ja C osalta. Tämänlainen tasoitettu tuotanto vaatii, että tuotantojärjestelmä on tarpeeksi joustava, jotta se pystyy valmistamaan työjonon mukaisesti eri tuotteita pienissä määrissä. (Hopp & Spearman 2000, s. 156-157)

Tasoitetun tuotannon pienet eräkoot vaativat tuotannolta erittäin lyhyitä asetusajoja, joka on yksi JIT tuotannon kulmakivistä. JIT tuotannon kehittäjänä pidetty Toyotan Taiichi Ohno huomasi jo varhain, että asetusajojen lyhentäminen mahdollistaisi eräkojen pienentämisen ja näin ollen valmis- ja välivarastojen pienentämisen. Japanissa tuli tunnetuksi käsite ”Single minute exchange of die” (SMED), jonka ajatuksena oli, että kaikki asetukset pystyttäisiin tekemään alle 10 minuutin. Toyotalla pystyttiin muun muassa vuonna 1970 lyhentämään 800 tonnin prässin asetus aika kolmesta tunnista kolmeen minuuttiin. Samaan aikaan amerikkalaiset ja eurooppalaiset yritykset käyttivät asetusten tekemiseen useita tunteja tai pahimmillaan koko päivän ja muokkasivat eräkokonsa näiden aikojen mukaan. Lyhyiden asetusajojen avulla pienennetyt eräkoot mahdollistavat läpimenoajojen lyhentymisen, jolloin tuotanto pystyy vastaamaan asiakkaan kysynnän muutoksiin nopeammin pienemmillä varastoilla. Lyhyillä asetusajoilla myös koneiden käyttösuhteet parantuvat. JIT tuotannossa koneiden korkeat käyttösuhteet ovat kuitenkin pienemmässä roolissa, koska ylituotannon uskotaan olevan pahin kaikista hukista ja näin ollen pahempi kuin pienet käyttösuhteet. (Monden 2012, Hopp & Spearman 2000, s.158)

JIT tuotantomallin kehittämisen lähtökohtana toimi tuottavuuden parantaminen. JIT mallin kehittäjä Taiichi Ohno kuitenkin huomasi, että tasaisen materiaalivirtauksen saavuttaminen läpi tuotannon ilman ylimääräistä keskeneräistä tuotantoa oli mahdotonta, jos työntekijät valmistivat suuria eriä yksittäisillä koneilla. Tasaisen materiaalivirtauksen saavuttamiseksi JIT tuotantoa palveli paremmin monitaitoiset työntekijät, jotka pystyivät siirtymään koneelta toiselle. Monitaitoiset työntekijät lisäävät JIT tuotannon joustavuutta ja parantavat tuotannon kykyä vastata asiakastarpeiden muutoksiin sekä muihin yllättäviin tilanteisiin. Toyotalla hyödynnetään työntekijöiden rotaatiota eri työpisteiden välillä, joka sekä lisää tuotannon joustavuutta että:

- Kehittää työntekijöiden monitaitoisuutta
- Vähentää tylsistymistä ja väsymistä
- Auttaa työntekijöitä ymmärtää tuotannon kokonaisuutena
- Lisää potentiaalia kehitysideoiden muodostumiselle.

Työntekijöiden monitaitoisuus luo myös mahdollisuuden sille, että yksi työntekijä voi samanaikaisesti käyttää useampaa konetta. Työntekijä voi vaihtaa kappaleen toiseen koneeseen ja samanaikaisesti kuin kone jalostaa tuotetta, hän voi toimia myös toisella koneella. Tärkeintä on kuitenkin muistaa JIT tuotannon keskeytymätön materiaalivirtaus. Materiaalivirtauksen ylläpitämiseksi JIT tuotannon yhteydessä puhutaan usein U-mallisista valmistussoluista, joka mahdollistaa yhden työntekijän ja useamman työkonen samanaikaisen käytön. Alla olevassa kuvassa 4.5 on esitetty U-mallinen valmistussolu.



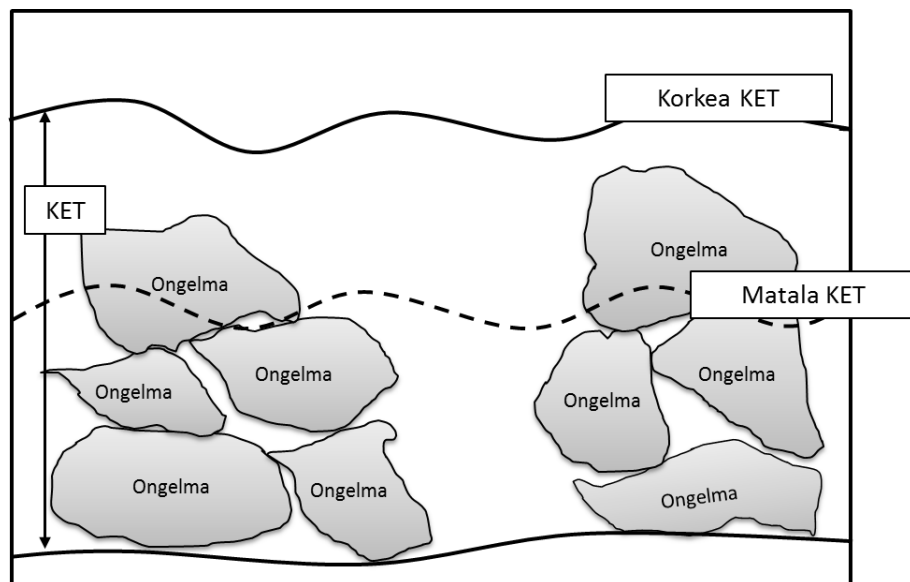
Kuva 4.5. U-mallinen valmistussolu (Hopp & Spearman 2000, s. 160)

JIT tuotantomallin lopullinen tavoite on tuotantokustannusten alentaminen, poistamalla tuotannosta tehostomuutta kuten ylimääräisiä varastoja. Vakioidut toimintatavat ovat JIT tuotannon lähtökohta kehittämisellä ja Liker (2004) kirjoittaakin kirjassaan, että prosessien parantaminen on mahdotonta ennen kuin toimintatavat on vakioitu. Liker (2004) kirjoittaa, että Toyotalla vakioitu työ koostui kolmesta elementistä:

- Tahtiajasta – Kahden tuotteen valmistumisen välinen aika
- Työtehtävien ja prosessien järjestys - Missä järjestyksessä osa tai tuote valmistetaan.
- Varastotasot – Kuinka suuret varastojen tulisi olla, jotta työntekijä pystyy suorittamaan standarditason vaatiman määrän töitä.

Vakioidut toimitavat saattavat kuulostaa negatiiviselta ja vain johdon käyttämältä työkalulta, jolla pakotetaan työntekijät toimimaan tietyllä tavalla. Liker (2004) kirjoittaa kuitenkin, että vakioitujen toimintatapojen tehtävä on toimia perustana kehitykselle ja innovaatioille tuotannossa. Vakioidut toimintatavat toimivat myös tuotteiden ja osien laadun lähtökohtana. Vakiointi mahdollistaa yhtenäiset toimintatavat, joilla päivästä toiseen mahdollistetaan laadukkaiden osien ja tuotteiden valmistus. (Liker 2004, s. 142-143)

Vakioiduilla toimintatavoilla varmistettu laatu päivästä toiseen on JIT tuotannon edellytys. Suurista eräkooista ja suurilla varastoilla työntekijät voivat valita niin sanotusti ”parhaat päältä” ja heittää laatuvirheelliset kappaleet romutukseen. JIT tuotannossa pienet eräkoot ja pienet varastot tarkoittavat, että tätä valinnanvaraa ei ole ja laatuvirheet tarkoittavat käytännössä tuotantolinjan pysäytystä. JIT tuotannosta käytetään usein alla olevan kuvan 4.6 mukaista vertauskuvaa joesta ja sen pohjalla makaavista kivistä.



Kuva 4.6. Joki vertauskuva KET:in vaikutuksesta JIT tuotantoon (Sipper & Bulfin 1998, s. 546)

Kuvassa vedenpinta kuvaa tuotannossa olevan KET:in määrä ja kivet ongelmia. Mitä korkeammalla vedenpinta on, sen paremmin kivet pysyvät piilossa vedessä. Samaan tapaan tuotannossa ongelmat pysyvät piilossa jos keskeneräistä tuotantoa on paljon, mutta kun sen määrää lasketaan ongelmat tulevat esille. JIT tuotanto siis paljastaa valmistuksessa esiintyviä ongelmia, mutta samalla se auttaa ratkaisemaan niiden lähteen. Pienellä keskeneräisellä tuotannolla, jossa osat otetaan nopeasti käyttöön seuraavissa valmistusvaiheissa, työpisteet saavat välitöntä palautetta osien laadusta ja pystyvät näin ollen tarttumaan nopeasti potentiaalisiin ongelmiin. JIT tuotannon uskotaan näin ollen

lisäävän laadun tietoisuutta työntekijöiden keskuudessa ja tämä nähdään parantuneena laatuna asiakkaalla.

Asetusaikojen lyhentymisen ja pienet eräkoot herättivät japanilaiset JIT tuotannon kehitysvaiheissa erilaisiin tapoihin parantaa laatua, joista Hopp ja Spearman (2000) esittelevät seitsemän periaatetta, jotka havaittiin Japanissa elintärkeiksi laadun kannalta:

1. *Prosessin valvonta.* Japanilaiset antoivat työntekijöilleen paljon vastuuta oman prosessinsa toimivuudesta sekä sen muuttamisesta kun havaittiin ongelmia. Prosesseja valvottiin myös erilaisilla tilastollisilla menetelmillä.
2. *Helposti havaittavissa oleva laatu.* Japanilaiset hyödynsivät visuaalisia ohjauskeinoja laadun mittaamiseksi.
3. *Vaatimukset ohjeiden noudattamisesta.* Japanilaisia työntekijöitä kannustettiin vaatiman standardien mukaista laatua työn jokaisessa vaiheessa. Jos toimittajalta tulleet osat olivat virheellisiä, ne lähetettiin takaisin. Jos osa tuotantolinjalla oli virheellinen, sitä ei hyväksytty seuraavassa työpisteessä. Laatu tuli aina ennen valmista tuotetta.
4. *Linjan pysäytys.* Laatu ensin -asennetta hyödynnettiin myös tuotantolinjan pysäytyksissä. Jokaisella työntekijällä oli oikeus pysäyttää linja korjatakseen laatuvirhe.
5. *Omien virheiden korjaus.* Työntekijöiden tuli aina korjata omat virheensä, erillistä linjastoa tai työpistettä ei virheellisille tuotteille ollut. Näin ollen työntekijöille annettiin täysi vastuu laadusta.
6. *100 prosentin tarkastus.* Japanilaisten yritysten pitkän ajan tavoite oli, että jokainen tuote tarkastettiin.
7. *Jatkuva parantaminen.* Japanilaiset pyrkivät kehittämään tuotantoaan kohti ”nolla virhettä”. Näin ollen tuotannossa on jatkuvasti varaa parantamiselle.

5 KOHDEYRITYS JA TUOTANNONOHJAUKSEN NYKYTILA

Diplomityön ensimmäiset kolme lukua keskittyivät työn teoriaosuuden tarkasteluun. Seuraavat luvut hyödyntävät tätä teoriaa ja esittelevät diplomityön käytännönsuuden. Käytännönsuuden ensimmäisessä luvussa tarkastellaan kohdeyrityksen markkinoita, tuotteita ja niiden valmistusta sekä työn aiheena ollutta tuotannonohjausta; sen nykytilaa ja nykytilan haasteita. Työn käytännönsuus jatkuu luvuissa 6-8, joissa esitellään tuotannonohjauksen mahdollisia uusia toimintamalleja sekä vertaillaan näitä hyödyntäen Exceliin rakennettua simulointimallia. Luvun 7 lopussa esitellään myös uuden tuotannonohjausmallin valinta.

5.1 Kohdeyrityksen tuotteet ja markkinat

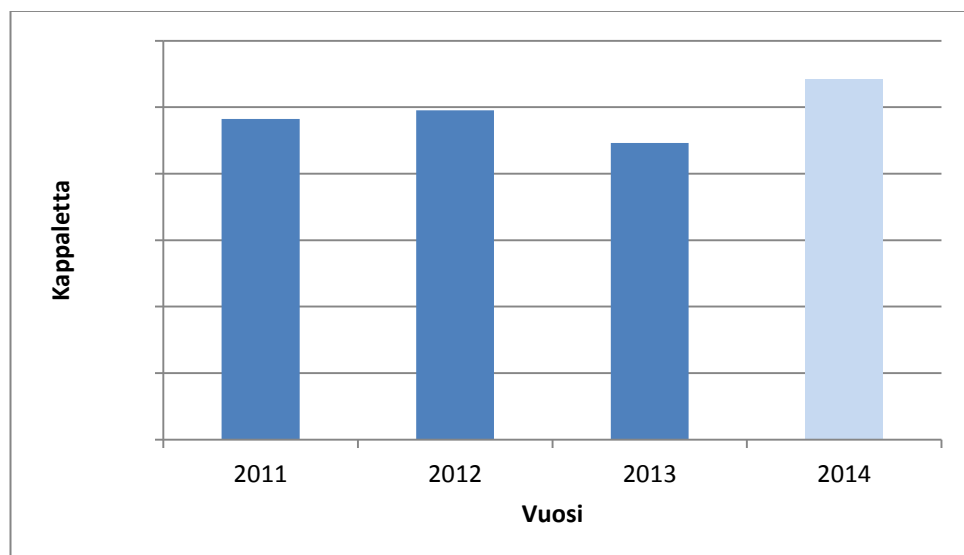
Diplomityön kohdeyrityksenä toimi suomalainen hitsattavien kaukolämpö- ja kaukokylmäventtiilien valmistaja. Kohdeyrityksen tuotevalikoimaan kuuluu myös öljy ja kaasuverkostoihin sekä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiin kehitettyjä venttiileitä. Yrityksen tuotteista suurin osa menee vientiin ja suurimmat markkina-alueet löytyvät Venäjältä ja Aasiasta. Hitsattavia venttiileitä toimitetaan ympäri maailmaa Suomesta Euroopan maihin, Lähi-itään ja Pohjois-Amerikkaan.

Yrityksen tuotteista suurin osa on yksinkertaisia sulkuventtiileitä, toiselta nimeltään on/off-venttiileitä eli venttiili on joko auki tai kiinni. Sulkuventtiilit voidaan jakaa kahteen kategoriaan venttiilin sulkevan elementin perusteella. Venttiilien koot vaihtelevat hyvinkin paljon niiden käyttökohteista riippuen, toisten ollessa käsin liikuteltavia ja toisten ollessa niin raskaita, että suurin osa osista vaatii jonkinlaisen apuvälineen siirteilyyn ja valmistukseen. Kaukolämpö- ja kaukokylmä venttiilien koot ilmoitetaan aina DN-standardikokona, joka on Euroopassa käytetty standardi putkikooille. Venttiilit jaetaan markkina-alueen perusteella DIN- ja GOST-standardin venttiileihin, jotka ovat teollisuustuotteiden valmistusta koskevia standardeja. DIN-standardi on yleisesti Euroopassa käytetty standardi ja GOST taas Aasian maissa ja Venäjällä käytetty standardi. Hitsattavissa venttiileissä nämä standardit määrittävät venttiilien hitsauspäiden mitat. Sulkuelimen toimintaperiaatteen, venttiilin koon (DN-koko) ja hitsipäiden mittojen (DIN- ja GOST-standardi) lisäksi venttiileitä voidaan vielä jakaa käyttölaitteen perusteella mekaanisiin, sähköisiin ja hydraulisiin venttiileihin. Käyttölaitteella tarkoitetaan venttiilin asennettavaa laitetta, jolla asiakas pystyy sulkemaan ja avaamaan venttiilin.

Muita varioivia tekijöitä venttiileissä ovat muun muassa paine- ja tiiveysluokat sekä käyttölämpötila-alueet, mutta nämä eivät tässä diplomityössä ole vaikuttavia tekijöitä.

Diplomityön kehityskohteeksi valittiin yrityksen yksi venttiiliperhe, jonka venttiilit toimivat kaikki samalla sulkutoimintaperiaatteella. Venttiiliperhe sisältää 8 eri DN-kokoa sekä näistä kaikista kokoluokista vielä DIN- ja GOST-standardin venttiilit. Kehityskohteen venttiileitä on yhteensä 15kpl, kun huomioidaan, että tiettyjä tuotteita valmistetaan vain DIN- tai GOST-standardin mukaisesti. Kyseinen venttiiliperhe valittiin kehityskohteeksi sen käyttämien samojen tuotantoresurssien sekä samanlaisen rakenteen perusteella. Venttiilin käyttölaite asennetaan valitun venttiiliperheen osalta vasta loppukokopanossa asiakkaan tilauksen perusteella. Näin ollen käyttölaite ei tule olemaan merkittävässä roolissa tuotannonohjauksen kehitysprojektissa.

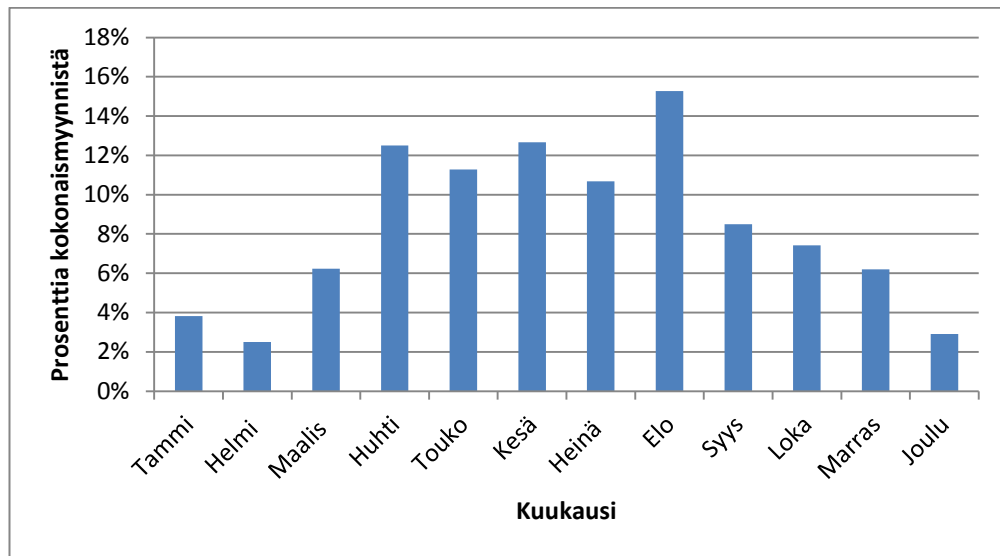
Kehityksen kohteena olleen venttiiliperheen suurin käyttökohde on kaukolämpö ja suurimmat markkinat löytyvät Venäjältä ja Kiinasta. Käyttökohde ja markkinat asettavat suuren haasteen venttiilien valmistukselle, koska venttiilien kysyntä niiden käyttökohdeesta johtuen asettuu kesälle. Venttiilien suurin menekki asettuu kaukolämpölinjojen rakentamisen sekä huolto ajanjaksolle, joka suurimmissa markkina-alueissa Venäjällä ja Kiinassa on kesällä. Myös Euroopassa luonnollisesti kaukolämpölinjojen huolto ja rakentaminen ajoittuu kesälle ja talvella linjat huolehtivat kaupunkien asukkaiden lämmityksestä. Venttiiliperheen kokonaismyyntiä vuosilta 2011-2014 on esitetty alla olevassa kuvassa 5.1, josta on kuitenkin luottamuksellisista syistä poistettu tarkat kappalemäärät.



Kuva 5.1. Venttiiliperheen vuosittainen kokonaismyynti vuosilta 2010-2014

Kuvassa vuosi 2014 on esitetty haaleammalla värillä, koska kirjoitushetkellä (loppuvuosi 2014) vuosi 2014 oli vielä kesken ja tämän takia kokonaismäärä ei pystytty esittämään. Venttiiliperheen kokonaismyynnistä huomataan, että myytyjen venttiilien määrät

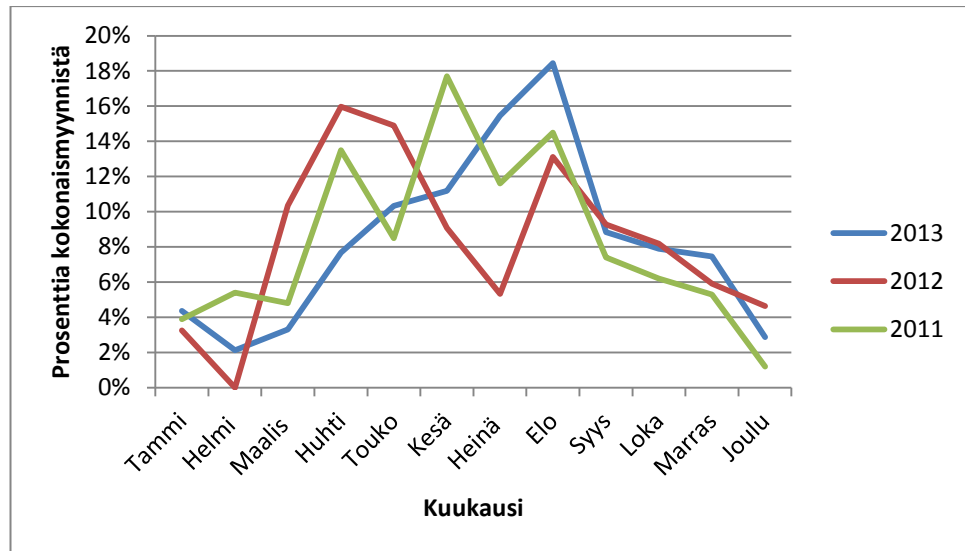
ovat pysyneet hyvinkin samanlaisina, pientä pudotusta vuonna 2013, mutta taas vuodelta 2014 nähtävissä pientä kasvua. Seuraavassa kuvassa 5.2 on esitetty vuosien 2011–2013 kuukausittainen keskiarvomyynti.



Kuva 5.2. Venttiiliperheen kuukausittainen keskiarvomyynti vuosilta 2011–2013

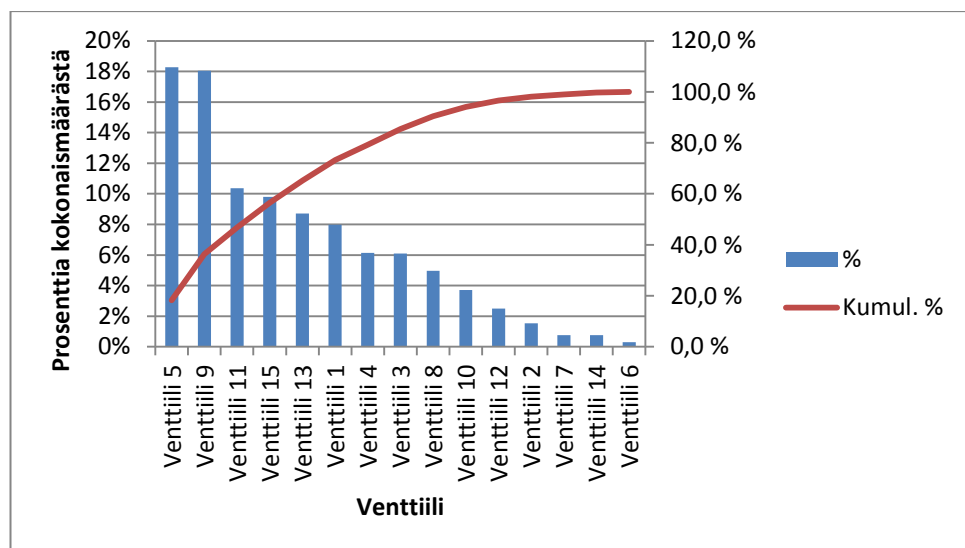
Kuvasta 5.2 on hyvin nähtävissä venttiiliperheen myynnin sesonkilaatuisuus. Huhtikuu - elokuu aikana on keskiarvillisesti myyty yli 60 prosenttia vuoden kokonaismäärästä. Jos kappalemäärään otetaan vielä huomioon syyskuu, niin myynnin osuus näille kuudelle kuukaudelle on jo noin 75 prosenttia.

Kuvassa 5.2 sesonki näyttää olevan hyvin ennustettavissa. Menekki kasvaa vahvasti huhtikuussa ja sesonki jatkuu aina elokuulle saakka, jonka jälkeen menekki alkaa tasaisesti laskea. Tämän tyylinen sesonki olisi helposti ennustettavissa ja näin ollen tuotannon suunnittelu olisi helpompaa. Seuraavassa kuvassa 5.3 on kuitenkin esitetty myynnin todellinen tilanne vuosilta 2011–2013.



Kuva 5.3. Venttiiliperheen kokonaismyynti vuosina 2011-2013

Kuvasta 5.3. nähdään, että sesongin ajankohta ja volyyymi vaihtelevat voimakkaasti eri vuosina. Vuonna 2013 sesonki ajoittuu loppukesään heinä- ja elokuun ollessa kiireellisimmät kuukaudet. Vuonna 2012 sesonki taas ajoittuu voimakkaasti alkukesään heinäkuun ollessa hiljainen kuukausi. Vuonna 2011 sesonki on vaihdellut kesäkuukausina, toisten ollessa hiljaisempia ja toisten kiireellisimpiä. Yhteenvetona sesongista voidaan vain todeta sen ajoittuvan maaliskuun ja syyskuun välille. Myynnin historian tarkemmalla tutkimuksella olisi voitu mahdollisesti löytää jotain yksittäisiä syitä siihen, minkä takia sesonki on vaihdellut voimakkaasti. Tämän diplomityön puitteissa ei kuitenkaan tarkempaa analyysiä tehty. Sesongin lisäksi myynnistä tutkittiin venttiilikohtaista myyntiä. Alla olevassa kuvassa 5.4 on esitetty venttiilikohtaista myyntiä vuosilta 2011-2013 sekä niiden kumulatiivista osuutta.



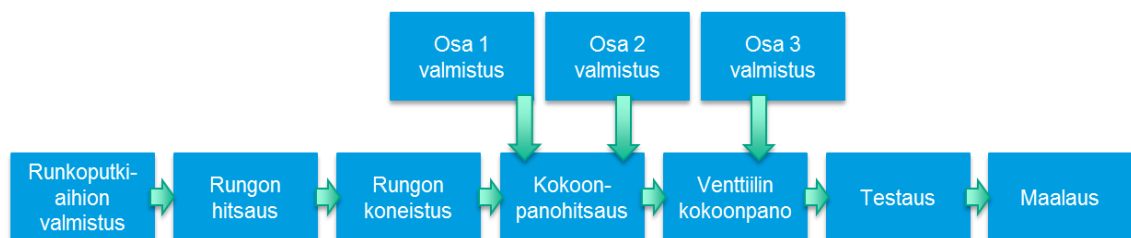
Kuva 5.4. Venttiilikohtainen myynti vuosina 2011-2013

Kuvasta 5.4 voidaan todeta, että kaksi venttiiliä muodostavat jo hieman vajaa 40 prosenttia kokonaisymyynnistä. Tämän jälkeen venttiilikohtaiset myyntimäärät laskevat selkeästi ja voidaan todeta, että noin 47 prosenttia venttiilinimikkeistä muodostavat 80 prosenttia kokonaisymyynnistä. Suurimmista markkina-alueista johtuen eli Venäjältä ja Kiinasta, menekki GOST-standardin venttiileillä on suurempaa kuin DIN-standardin venttiileillä.

Luvussa 3.2 kirjoitettiin menekkiennusteiden tärkeydestä tuotannon kokonaissuunnittelulle. Kohdeyrityksen menekkiennusteiden luominen ja näiden hyödyntäminen tuotannosuunnitteluun on selkeä kehittämistä vaativa kohde ja diplomityön rinnalla kohdeyrityksessä olikin projekti käynnissä näiden ennusteiden luomiseksi. Tuotannossa on aikaisemmin muodostettu ennusteet aikaisempien vuosien kulutuksen perusteella ja käytännössä vain hyväksytetty tämä ennuste myynnissä. Lähtökohtana tämä on väärin, koska tuotannolla ei ole riittävästi tietoa markkinoista ja asiakkaista ja tästä johtuen ennusteiden on tultava myynnistä. Riittävien tarkkojen ennusteiden muodostaminen on haastavaa ja haastavammaksi siitä tekee vuodesta toiseen vaihtelevat kausivaihtelut.

5.2 Venttiilien valmistus

Kehityskohteeksi valitun venttiiliperheen eri venttiilit käyttävät tuotannossa samoja resursseja ja valmistusprosessi eri venttiilien välillä on hyvin samanlainen. Erot valmistusprosesseissa aiheutuvat käytännössä vain tiettyjen vaiheiden poisjäännillä. Venttiilien yleisin valmistusprosessi on esitetty alla olevassa kuvassa 5.5. Venttiilien valmistus alkaa sahalta, jossa putkesta valmistetaan venttiilin rungon aihio. Aihio siirtyy tämän jälkeen hitsattavaksi tuotannon hitsaussoluun ja hitsaussolusta koneistukseen. Koneistuksen jälkeen runkoon hitsataan kokoonpanohitsaussolussa osa 1 ja osa 2, jotka ovat myös tuotannon omavalmisteita. Kokoonpanohitsauksen jälkeen venttiili siirtyy kokoonpanoon, jossa runkoon asennetaan tuotannon omavalmiste osa 3. Kokoonpanon jälkeen jokainen venttiili testataan sekä runkotestillä että tiiveystestillä. Runkotestin tarkoituksena on tarkistaa venttiilin hitsaussaumojen pitävyydet ja tiiveystestillä venttiilin sulkuelimen toiminta. Hyväksytyyn testaukseen jälkeen venttiili vielä maalataan.

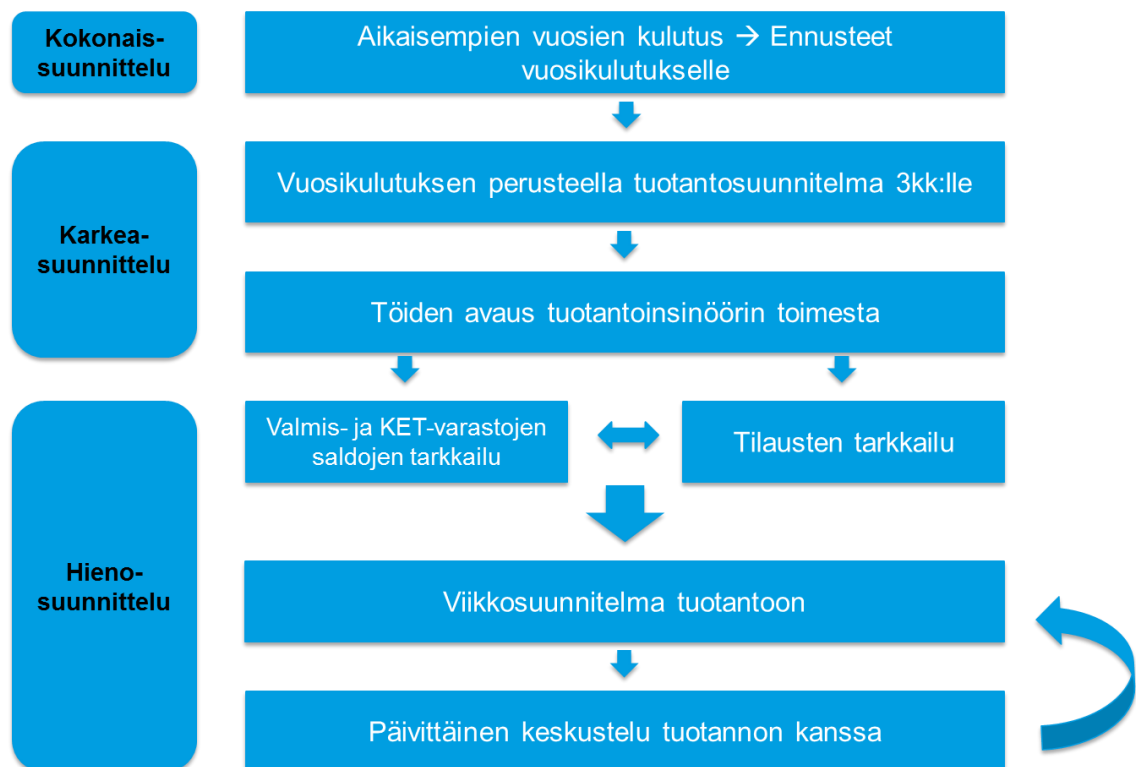


Kuva 5.5. Venttiilien valmistusprosessi

5.3 Tuotannonohjauksen nykytila

Diplomityön päätavoitteena oli tutkia työntö- ja imuohjauksen eroja valitun venttiiliperheen tuotannossa ja näiden tutkimustulosten perusteella uuden toimintamallin kehittäminen tuotannonohjaukseen. Kehitysprojekti aloitettiin tutkimalla yrityksen nykyistä tuotannonohjausta ja sen etuja ja haasteita

Tuotannonohjauksen teoriaa käsiteltiin tämän työn luvussa 3, jossa esiteltiin muun muassa tuotannonohjausprosessin teoreettinen jako kolmeen eri suunnittelutasoon. Kohdeyrityksen tuotannonohjaus seuraa karkealla tasolla tätä teoreettista prosessia ja näin ollen nykytila voidaan kuvata tässä luvussa hyödyntäen näitä tuotannonohjausprosessin eri suunnittelutasoja. Kohdeyrityksen tuotannonohjauksen nykytila on kuvattu alla olevassa kuvassa 5.6. Menekkiennusteiden perusteella määritellään karkeatuotantosuunnitelma kolmelle kuukaudelle, joka tämän jälkeen syötetään tuotannonohjausjärjestelmään. Viikoittainen hienosuunnittelu toteutetaan tarkkailemalla tuotannonohjausjärjestelmästä tilauksia sekä puolivalmisteiden että valmisventtiilien saldoja ja näiden tuloksena saadaan tuotannolle viikkosuunnitelma valmistettavista tuotteista ja komponenteista. Seuraavissa kappaleissa käsitellään tuotannonohjausprosessin kolmea suunnittelutasoa yksityiskohtaisemmin.



Kuva 5.6. Kohdeyrityksen tuotannonohjauksen nykytila

Kohdeyrityksessä kokonaissuunnittelun osuus tuotannonohjauksessa on hyvin pieni. Yleisesti lähtökohtana toimivat menekkiennusteet myynniltä puuttuvat ja tuotanto käy-

tännössä ennustaa itse tulevan vuoden kulutuksen. Ennuste perustuu edellisten vuosien kulutukseen ja myynnin määrittämään kasvuprosenttiin esimerkiksi 5 prosenttiin, joka lasketaan jokaiselle eri venttiilille. Tuotannon muodostamat menekkiennusteet näytetään tämän jälkeen myyntijohtajalle, joka saa vielä mahdollisuuden kommentoida lukuja. Kokonaissuunnittelun liittyvän tilauskannan ja varastotilanteen tuotanto saa suoraan toiminnanohjausjärjestelmästä.

Luvussa 5.1 esiteltiin kohdeyrityksen myyntiä ja markkinoita, jotka ovat erittäin sesonkiloontoisia, talvella tilauskanta on pieni ja kesällä käytännössä niin suuri, ettei siihen pystytä vastaamaan ilman varastopuskureita. Kohdeyrityksen kokonaissuunnitelma myynnin ja tuotannon tasapainottamiseksi on selvä, talvella tehdään varastoon venttiileitä, jotka ovat volyymiltaan suuria ja omakustannehinnaltaan pienempiä, ja kesällä varastot auttavat kompensoimaan puuttuvan kapasiteetin tilausten täyttämiseksi. Kohdeyrityksessä ei ole kuitenkaan selkeitä varastointisuunnitelmia eikä varastointimääriä vaan venttiileitä pyritään tekemään ainakin yhtä paljon kuin edellisenä talvena. Määrät perustuvat ennemminkin kokemuksiin niin sanotuista ”hyvistä” varastomääristä kuin yhdessä luoduista säännöistä esimerkiksi minimi ja maksimi varastomääristä.

Karkeasuunnitteluvaiheessa tehdaspäällikkö, joka vastaa venttiiliperheen tuotannosta, määrittelee menekkiennusteiden, tilauksien ja varastomäärien perusteella kolmen kuukauden karkeasuunnitelman, jonka tuotantoinsinööri syöttää toiminnanohjausjärjestelmään. Karkeatuotantosuunnitelma on viikkotason suunnitelma jokaiselle eri venttiilille. Karkeasuunnitelma määrittää mitä venttiileitä tulisi valmistua tietyinä viikkona ja kuinka paljon. Tuotantoinsinööri, joka syöttää näiden päätason venttiilien työt toiminnanohjausjärjestelmään, avaa myös alitason rakenteille työt erikseen sen mukaan, mitkä puolivalmisteet ovat toiminnanohjausjärjestelmän mukaan loppumassa. Karkeasuunnitelma tehdään neljä kertaa vuodessa eli karkeasuunnitelma ei ole rullaava. Jokainen kuukausi suunnitellaan kerran vuodessa ja tämän jälkeen suunnitelmaan kosketaan ainoastaan poistamalla toiminnanohjausjärjestelmästä tekemättömät työt ennen seuraavien töiden avausta.

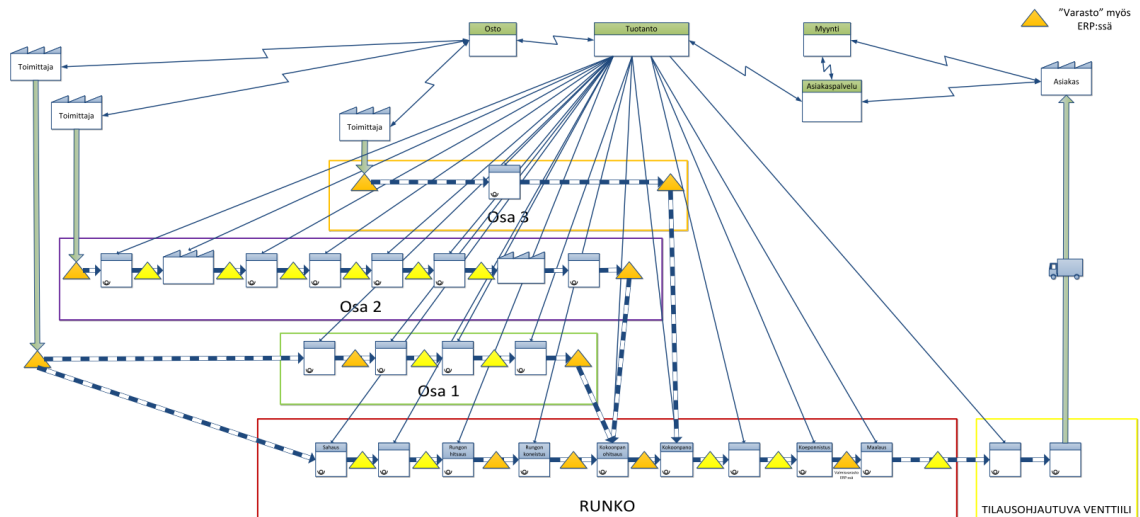
Kohdeyrityksen karkeatuotantosuunnitelma ei monelta osin vastaa todellisuutta, joten hienosuunnittelussa karkeasuunnitelmaa ei käytetä hyväksi. Venttiilit tehdään lähes poikkeuksetta aina eri aikaan ja eri määrissä kuin mitä karkeassa tuotantosuunnitelmasa on määritetty. Karkeasuunnitelman kokonaismäärät venttiileille on ainoa tieto, joka edes suuntaa antavasti vastaa todellisuutta. Karkeasuunnitelman päätehtävänä on saada työ auki toiminnanohjausjärjestelmään, jotta tuotanto pystyy kuittaamaan sinne tehdyt työt ja näin ollen saadaan materiaalit kulumaan todenmukaisesti. Toinen tehtävä karkeasuunnitelmalla on antaa jonkinlainen ostoimpulssi hankintaan, jonka perusteella voidaan tehdä pidemmän toimitusajan komponenttien ostot. Suurin osa materiaaleista ja osista ostetaan kuitenkin tehdaspäällikön antaman ostoimpulssin perusteella tai hankinnan ja tehdaspäällikön yhteisen suunnitelman mukaisesti. Jos materiaalit ja osat ostettaisiin

pelkästään toiminnanohjausjärjestelmän perusteella, niin lopputuloksena olisi, että varastossa olisi väärää materiaaleja ja osia väärään aikaan, toisia liian paljon ja toisia liian vähän. Hankinnan rooliin on käytännössä kuulunut vain ostotilausten ja toimittajien välisten sopimusten tekeminen. Tehdaspäällikkö vastaa kohdeyrityksessä varastoista ja niiden arvoista.

Venttiiliperheen tuotannosta vastaa tehdaspäällikkö, joka yksinään hoitaa sekä tuotannon suunnittelun että työnjohtamisen. Hienosuunnitteluvaiheessa tehdaspäällikkö muodostaa valmisventtiilien ja puolivalmisteiden saldojen, osatilanteen sekä asiakastilausten perusteella viikkosuunnitelman tuotantoon. Viikkosuunnitelma muodostetaan erikseen jokaiselle työpisteelle, mikä käydään läpi yhdessä tuotannon kanssa viikoittaisessa tuotantopalaverissa. Viikkosuunnitelma toimitetaan manuaalisesti tehtaan työväelle eli toiminnanohjausjärjestelmän työjonoja ei hyödynnetä ohjaukseen. Toiminnanohjausjärjestelmästä löytyvät karkeatuotantosuunnitelman mukaiset työjonot, mutta todellinen työjono poikkeaa näistä aina. Kohdeyrityksessä tuotantoinsinööri on usean eri valmistuksen jaettu resurssi, näin ollen resurssit tuotannolla eivät riitä työjonojen päivittämiseen toiminnanohjausjärjestelmässä. Tehdaspäällikön muodostamassa viikkosuunnitelmassa ei oteta kantaa valmistettaviin määriin vaan määrät päätetään jokapäiväisessä keskustelussa sekä osatilanteen mukaan, jos osat loppuvat niin työntekijät vaihtavat seuraavaan työhön. Viikkosuunnitelmassa ei käytetä kapasiteetin suunnittelussa hyväksi kapasiteetilaskureita vaan suunnitelmat perustuvat kokemuksiin, kuinka paljon työntekijät ja koneet pystyvät valmistamaan.

5.4 Nykytilan arvovirtakuvaus

Arvovirran kuvaaminen (luku 2.1) on erinomainen lähtökohta diplomityön kehitysprojektille. Alla olevassa kuvassa 5.7 sekä liitteessä 1. on esitetty kohdeyrityksen kokoprosessin nykytilan arvovirtakuvaus. Kuvauksesta on jätetty pois tuotannolliset ajat ja keskeneräisen tuotannon määrät, koska tässä kohtaa arvovirtakuvauksella on haluttu esittää tuotannonohjauksen haastavuutta. Tehdaspäällikkö ohjaa jokaista tuotannon vaihetta erikseen ja kuvasta voidaan havaita ohjattavien pisteiden suuri lukumäärä. Kuvasta voidaan myös havaita valmistuksen varastoja, jotka on esitetty keltaisella kolmiolla. Käytännössä jokaisen työvaiheen jälkeen on jonkinlainen varasto, joko ennalta määrätty puskurivarasto tai sitten vain kertymä keskeneräistä tuotantoa. Nykyisellä ohjaustavalla keskeneräistä tuotantoa kertyy väkisinkin työvaiheiden edelle. Monimutkainen ja työläs ohjaus aiheuttaa vaihtelua ja vaihtelu taas kerryttää ja vaatii keskeneräistä työtä häiriöiden kompensoimiseksi.



Kuva 5.7. Kohdeyrityksen nykytilan arvovirtakuvaus

Tuotannon kokonaisprosessin kuvaamisen lisäksi, yksittäisten venttiilien valmistusprosesseista tehtiin arvovirtakuvauksia, johon kerättiin sekä valmistusajat että keskeneräisen työn määrät. Kuvauksia ei kuitenkaan esitetä tarkemmin tässä työssä. Arvot kuvauksiin saatiin sekä toiminnanohjausjärjestelmästä että kellottamalla valmistusvaiheiden kestoja. Yhden venttiilin läpimenoajaksi laskettiin 317 päivää ottaen huomioon putken materiaalivaraston sekä valmisventtiilivaraston suuruuden. Jos laskuihin otetaan huomioon pelkästään keskeneräinen tuotanto niin tulokseksi saadaan 142 päivää. Prosessointiajaksi eli venttiilin rungon valmistuksen kestoksi saatiin 628 minuuttia eli hieman yli yksi vuoro. Arvovirtakuvaukseen otetut arvot kuvaavat yhden päivän tilannetta ja varaston suuruudet vaihtelevat tuotannon mukaan, mutta saadut tulokset kertovat suuntaa antavasti tuotannon ongelmista, jotka suurelta osin johtuvat tuotannonohjauksesta.

5.5 Nykytilan tuotannonohjauksen haasteet

Tuotannonohjauksen ylimmän tason suunnittelu eli kokonaissuunnittelun tarkoituksena on toimia linkkinä yrityksen korkeimman johdon ja tuotannon välillä sekä yhdistää tuotanto myös yrityksen muiden osa-alueiden välillä. Kohdeyrityksessä kokonaissuunnittelun osuus on hyvin pieni. Puuttuvien menekkiennusteiden ja yhteisten tavoitteiden johdosta tuotannolla ei ole selviä varastointisuunnitelmia eikä myöskään suunnitelmia tuotantomääristä. Haastavat sesonkiluontoiset markkinat vaativat varastointia ja siten pelisäännöt tuotantomääristä ja varastojen suuruuksista olisivat elintärkeä lähtökohta tuotannonohjaukselle toimituskyvyn varmistamiseksi.

Tuotannon karkeassa kolmen kuukauden tuotantosuunnitelmassa tuotantomäärät ja ajankohdat on määritetty, mutta haasteena on niiden toteuttaminen. Suunnitelma ei vastaa todellisuutta, minkä takia sitä ei voida hyödyntää yrityksen työkaluna. Hienosuunni-

telma eli kohdeyityksen tuotannon viikkosuunnitelma välittää tuotannon työpisteille viikoittaiset työjonot. Hienosuunnitelman muodostaminen jokaiselle työpisteelle on työlästä ja kokemuksiin perustuvan kapasiteettisuunnittelun myötä suunnitelmat muuttuvat loppuviikosta.

Kohdeyityksen yhteisten tavoitteiden ja pelisääntöjen puuttuminen aiheuttaa vaihtelua tuotannossa. Tätä vaihtelua pahentavat entisestään tuotannon sekavat prosessit, välillä tuotanto toimii imuohjautuvasti ja osia ja venttiileitä valmistetaan tarpeeseen ja toisinaan näitä valmistetaan taas työntöohjautuvasti eli osia työnnetään tuotannon alkupäästä. Vaihtelut tuotannossa aiheuttavat myös haasteita ostoon. Toiminnanohjausjärjestelmän jatkuvaan päivittämiseen tuotannolla ei ole tällä hetkellä resursseja, joten ostoimpulssit tulevat suoraan tehdaspäälliköltä, joka joutuu vaihteluiden takia pitämään liian suuria puskureita osto-osissa ja materiaaleissa.

Kohdeyityksessä tuotannonohjaus on työlästä ja liian vaihtelevaa. Pitkäjänteinen suunnittelu ei ole mahdollista puuttuvien tavoitteiden ja sekavien prosessien johdosta. Seuraavassa luvussa esitellään kaksi mahdollista uutta toimintamallia tuotannonohjaukselle, joiden tavoitteena on luoda kohdeyitykselle vakioidut toimintatavat tuotannon ohjaamiseksi.

6 TULEVAISUUDEN VAIHTOEHTOISET TUOTANNONOHJAUSMALLIT

Edellisessä luvussa kuvattiin kohdeyrityksen nykytilaa niin myynnin kuin tuotannon kannalta ja esitettiin tuotannonohjauksen nykytilan haasteita. Tässä luvussa esitetään kohdeyritykselle kaksi mahdollista toimintamallia, jolla tuotantoa voitaisiin jatkossa ohjata sekä verrataan näitä keskenään. Jeffrey Liker kirjoittaa kirjassaan ”The Toyota Way” seuraavasti: ”It is impossible to improve any process until it is standardized” eli on mahdotonta kehittää mitään prosessia ennen kuin se vakioidaan. Tämän luvun tärkeimpänä tavoitteena on esittää kaksi toisistaan poikkeavaa *vakioitua* toimintamallia, jotka mahdollistavat tulevaisuudessa niiden jatkokehittämisen. Ensimmäinen toimintamalli perustuu luvussa 4 esitettyyn imuohjaukseen ja toinen malli samassa luvussa esitettyyn työntöohjaukseen. Kohdeyrityksen tuotannonohjaus on tällä hetkellä sekoitus imu- ja työntöohjausta ilman määriteltäviä valmis- tai puolivalmisvaraston puskuritasoja, joita imuohjaus vaatisi ja ilman tarkkoja aikatauluja ja tietoa valmistusajoista, joita taas työntöohjaus tarvitsisi. (Hopp & Spearman 2000, s. 340; Haverila et al. 2009, s. 422)

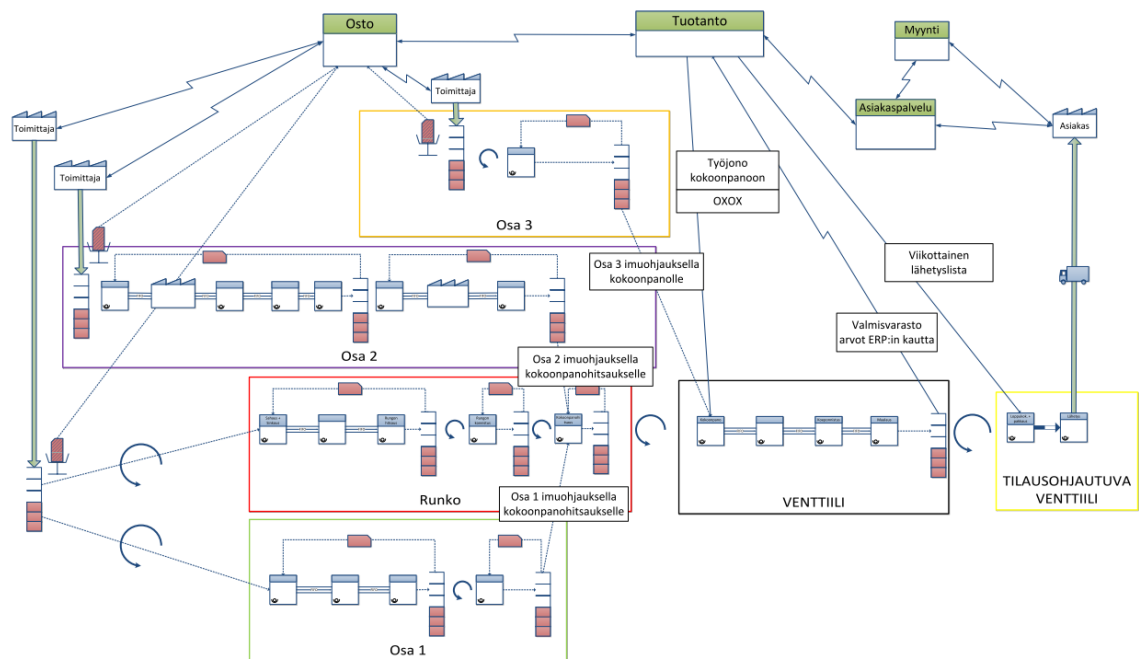
Kehitysprosessin lähtökohtana kummallekin toimintamallille oli venttiilien vuosivolyymit. Vuosivolyymit laskettiin samalla tavalla kuin tuotanto on laskenut menekkiennusteet aikaisempina vuosina eli volyymeiksi laskettiin kolmen aikaisemman vuoden kulutuksen keskiarvo, ottaen huomioon tiettyjen uusien tuotteiden nolla kulutuksen aikaisempina vuosina. Volyymeihin laskettiin myös mukaan odotettu viiden prosentin kasvu seuraavalle vuodelle. Kehitysprosessin tueksi tarvittiin myös jokin työkalu, jolla pystyttiin arvioimaan kehitettyjen mallien toimivuutta käytännön toiminnassa sekä vertailemaan näitä malleja keskenään. Työkaluksi päätettiin rakentaa simulaatiomalli Microsoftin Excel -ohjelmalla. Ohjelmalla saatiin rakennettua yksinkertainen simulaatiomalli, joka vertaili rakennettuja toimintamalleja vuoden 2011-2013 tilanteisiin. Simulaatiomalli rakennettiin toimimaan viikkotasolla eli se pystyi syötetyn datan avulla muodostamaan todellisen kulutuksen jokaiselle venttiilille vuosien 2011-2013 jokaiselle viikolle. Mallin ensimmäiset versiot vertasivat vain valmistuneita venttiileitä tilattuihin venttiileihin, mutta ohjelman mahdollistamat vapaat muutokset johtivat siihen, että lopuen lopuksi mallilla pystyttiin todentamaan sekä puolivalmisvarastojen että valmisvaraston käyttäytymistä verrattuna oikeisiin asiakastilauksiin. Simulaatiomalliin syötettyjen kapasiteettitietojen avulla mallilla pystyttiin myös tarkkailemaan viikoittaista kapasiteettitarvetta. Simulaatiomallilla voitiin tarkastella muun muassa seuraavia lukuja:

- Valmistuneiden venttiilien määrä
- Valmisvaraston suuruus
- Keskeneräisen tuotannon suuruus
- Työpisteiden viikoittainen kapasiteetti

Luvussa 7 esitetyt tulokset uusista tuotannonohjauksen toimintamalleista on kaikki saatu hyödyntämällä Excelin simulaatiomallia.

6.1 Imuohjaus kohdeyrityksessä

Imuohjauksessa valmistus tapahtuu vain tarpeeseen ja nämä tarpeet ovat sekä ulkoisten asiakkaiden että seuraavien työvaiheiden tarpeita, jotka tyhjentävät tuotannon välivarastoja. Imuohjaus rajoittaa tuotannon keskeneräistä tuotantoa, sillä valmistus aloitetaan vasta kun osa tai tuote on hävinnyt varastosta. Keskeneräistä tuotantoa rajoittamalla voidaan pienentää valmistuskustannuksia, vähentää tuotannon vaihtelua, parantaa laatua sekä mahdollistaa tuotannon joustavuus. Imuohjaus voidaan luokitella varasto-ohjautuvaksi tuotannoksi, sillä valmistusimpulssin aiheuttavat varastoarvot. Luvussa 5.4 esitettiin tuotannon nykytilan arvovirtakuvaus ja alla olevassa kuvassa 6.1 on esitetty tavoitetilan kuvaus hyödyntäen imuohjausta. Arvovirtakuvaus on nähtävissä myös liitteessä 2.

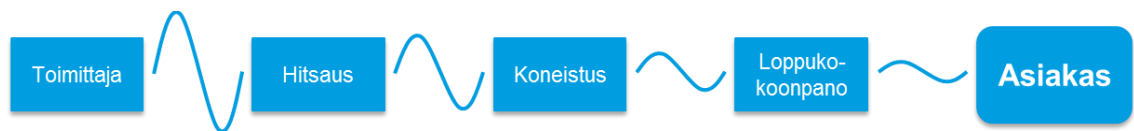


Kuva 6.1. Tavoitetilan arvovirtakuvaus

Arvovirtakuvauksesta voidaan havaita imuohjauksen tuoma yksinkertaisuus ja tuotannon itseohjautuvuus verrattuna nykytilan kuvaukseen. Imuohjautuvassa tuotannossa ohjauspisteiden määrä vähenee yhteen. Kohdeyrityksen tapauksessa ohjauspisteinä toi-

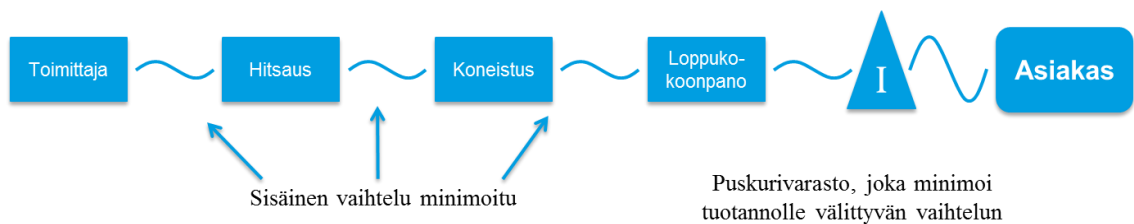
miä venttiilien kokoonpano, joka välittää tarpeet muille työpisteille. Kokoonpanolle tarpeet välittyvät venttiilien valmisvarastosta. Nykytilaan verrattuna valmisvarastolle muodostetaan selkeät minimi- ja maksimirajat, joiden perusteella venttiileitä varastoidaan. Kysynnän ollessa kohdeyrityksen tapauksessa hyvinkin vaihtelevaa, valmisvarastopuskureilla pienennetään tämän vaihtelun vaikutusta tuotantoon ja mahdollistetaan valmistuksen korkea tehokkuuden säilyttäminen. Valmisvaraston minimi- ja maksimirajoja esitellään myöhemmin luvussa 6.1.2.

Imuohjaus vaatii toimiakseen tasoitetun tuotannon, josta kirjoitettiin luvussa 4.3, kun kirjoitettiin JIT tuotannon implementoinnin vaatimuksista. Suuret muutokset tuotantovolyymeissa tai valmistettavissa tuotteissa hankaloittavat imuohjauksella toimivaa tuotantoa. Suuret muutokset vaativat joko varastojen kasvattamista tai kapasiteetin lisäystä, jotta näihin muutoksiin pystytään vastaamaan. Tuotannon tarpeet muodostuvat lopulta aina asiakaskysynnän perusteella, joka varsinkin kohdeyrityksen tapauksessa vaihtelee hyvin paljon. Alla olevassa kuvassa 6.2 on esitetty asiakastarpeiden vaihtelun vaikutus tuotantoon.



Kuva 6.2. Työntöohjaus ja tasoittamaton tuotanto (Smalley 2009, s.7)

Asiakastarpeista aiheutuva vaihtelu pahenee tuotannon alkupäähän mennessä samaan tapaan kuin liikenteessä autojonon viimeiselle autolle välittyvä nopeuden vaihtelu. Tuotannossa ainoa keino tämän vaihtelun poistamiseksi on suurentaa varastoja. Seuraavassa kuvassa 6.3 on esitetty tilanne, jossa tuotanto toimii imuohjautuvasti ja sen tuotanto on tasoitettu.



Kuva 6.3. Imuohjaus ja tasoitettu tuotanto (Smalley 2009, s.8)

Loppukokoonpanon ja asiakkaiden välisellä puskurivarastolla voidaan estää asiakastarpeista aiheutuvan vaihtelun välittyminen tuotannolle ja näin ollen mahdollistetaan tuotannon tasoittaminen ja tuotannon sisäisten vaihteluiden minimoiminen. Tasoitettu tuotanto ei pyri valmistamaan tuotteita siinä järjestyksessä, kun asiakkaat niitä tarvitsevat, vaan muodostamaan tietyn ajanjakson kokonaiskysynnän perusteella tuotantosuosittelman, jolla näihin tarpeisiin voidaan vastata. Tasoitettu tuotanto pyrkii valmistamaan tietyn ajanjakson välein saman määrän tuotteita sekä saman tuotemiksin pienillä eräko-

illa. Kohdeyrityksessä tasoitettu tuotanto rakennetaan valmisvaraston tarpeiden sekä menekkiennusteiden perusteella ja välitetään tuotannolle venttiilien kokoonpanon kautta, jolle toimitetaan viikoittainen tuotanto-ohjelma vakioitujen eräkokojen mukaan. Kohdeyrityksen tasoitetusta tuotannosta kirjoitetaan lisää seuraavassa luvussa 6.1.1.

Venttiilien kokoonpanon tuotanto-ohjelma muodostaa tarpeet edellisille työvaiheille puskurivarastojen kautta. Kokoonpanossa tarvittaville osille on kaikille laskettu tarvittavat puskurivarastojen suuruudet sekä täydennyksien eräkoot. Kun tietty määrä osia on käytetty, välittyy valmistusimpulssi täydennystä varten edelliselle työpisteelle kanban-kortilla, jonka toimintaperiaatteesta kirjoitettiin luvussa 4.1.1. Kanban-kortti on tapa ilmoittaa edelliselle työpisteelle, mitä valmistetaan ja milloin. Se estää ylituotantoa, sillä kanban-järjestelmässä valmistetaan vain tarpeeseen. Kanban-järjestelmää voidaan helposti muokata muuttuvien tuotantomäärien mukaan vähentämällä tai lisäämällä kortteja ja se asettaa tarkat rajoitteet keskeneräisen tuotannon määrälle.

Kokoonpanon edellisillä työvaiheilla on käytössään samanlaiset puskurivarastot kuin kokoonpanolla ja niiden täydennystarpeet välitetään samaan tapaan kanban-korteilla edellisille työvaiheille kuin kokoonpanosta. Puskurivarastot on merkitty kuvassa 6.1 kuvan 6.4 mukaisin symbolein. Puskurivarastojen laskentaa, eräkokoja sekä täydennysimpulssien muodostumista on esitetty luvussa 6.1.3.



Kuva 6.4. Puskurivaraston symboli

Samalla tavalla kuin valmistusimpulssi välittyy tuotannossa edellisille työvaiheille, voidaan ostokomponenttien tarvetiedot välittää hankintaan tai jopa suoraan kotiinkutsuna toimittajalle. Osto komponenteille lasketaan tarvittavat puskuritasot osien täydennysaikojen ja kulutusten perusteella, ja hankintaimpulssi voidaan välittää kanban-kortin avulla.

Imuohjaus mahdollistaa vakioituneen tavan ohjata tuotantoa. Verrattuna nykytilaan imuohjaus vaatii tuotannonohjausprosessilta suunnitelmallisuutta, joka tarkoittaa, että kaikki varastot niin valmis-, puolivalmis- ja ostokomponenttienvarastot on tarkkaan mitoitettu kulutuksen mukaan, ja että näitä suunnitelmia seurataan ja päivitetään muuttuvien tilanteiden mukaan. Tuotannonohjauksen suunnitelmallisuus ja tarkkaan mitoitettut valmis- ja puolivalmispuskurit pienentävät markkinoista heijastuvaa vaihtelua tuotannolle ja mahdollistavat näin tehokkaan valmistuksen. Vaihtelun pienentäminen pienentää myös tuotannon varastoja, sillä tuotannon ei enää tarvitse varautua jokaiseen mahdolliseen

yllättävään tilanteeseen. Vakioidut toimintatavat mahdollistavat tuotannon jatkuvan parantamisen, sillä ne korostavat poikkeamia, johon on tartuttava välittömästi.

Imuohjaus rajoittaa keskeneräistä tuotantoa, sillä tuotanto valmistaa vain tarpeeseen, joka kohdeyrityksen tapauksessa välitetään tuotannolle venttiilien kokoonpanon tuotanto-ohjelmalla sekä kanban-korteilla. Keskeneräisen tuotannon rajoittaminen sekä tarpeeseen valmistus varmistaa, että tuotannolla on tarvittavat osat ja komponentit oikeaan aikaan oikeaan tarpeeseen. Tarpeeseen valmistus myös pienentää tuotannon varastoja, jonka hyödyistä on kirjoitettu työn teoria osassa monesti. Kohdeyrityksen tapauksessa suurimmat hyödyt varastojen pienenemisestä ovat vapautunut tuotantotila ja sitoutunut pääoma. Vapautuneen tuotantotilan ja varastojen suunnitelmallisuuden avulla tuotannolle voidaan rakentaa selkeät varastopaikat, jotka vähentävät turhaa osien hakemista työntekijöiden keskuudessa. Keskeneräisen tuotannon rajoittaminen ja näin ollen sen pieneneminen lyhentää myös venttiilien läpimenoaikaa, jolla on suora vaikutus venttiilien toimitusaikaan. Kohdeyrityksen tapauksessa toimitusaikaa saadaan myös lyhennettyä tarkoin suunnitelluilla puskurivarastoilla, jotka mahdollistavat sen, että tilauksen tullessa venttiilin osat on valmistettu tiettyyn pisteeseen saakka valmiiksi.

Imuohjaus parantaa merkittävästi tuotannon ohjattavuutta lyhyemmillä läpimenoajoilla ja pienillä eräkoilla. Tuotannonohjaus on yksinkertaista ja yksinkertaisuus mahdollistaa joustavuuden. Imuohjauksen etuja on esitetty työn teoria osuudessa ja tässä luvussa on käsitelty sen hyötyjä kohdeyritykselle. Vakioidut toimintatavat, suunnitelmallisuus ja yksinkertaisuus vaikuttavat tuotannon jokaiseen osa-alueeseen ja mahdollistavat niiden jatkuvan parantamisen.

6.1.1 Tasoitettu tuotanto

Tasoitetun tuotannon merkityksestä imuohjaukselle kirjoitettiin edellisessä luvussa 6.1 sekä työn teoriaosassa luvussa 4.3. Kohdeyrityksen tapauksessa tasoitetulla tuotannolla voidaan pienentää tuotantoon heijastunutta vaihtelua siten, että venttiileitä valmistetaan tasaisesti niiden kulutuksen mukaan. Tasoitetulla tuotannolla ei voida kuitenkaan yksinään poistaa markkinoiden aiheuttamaa vaihtelua vaan se vaatii tuekseen valmisventtiilien puskurivaraston, josta kirjoitetaan lisää seuraavassa luvussa 6.1.2. Puskurivarasto antaa käytännössä tuotannolle mahdollisuuden valmistaa venttiileitä tasaisesti ja tasainen tuotanto taas varmistaa, että puskurivarastoa saadaan täydennettyä vaadittavien täydennysaikojen puitteissa. Puskurivarasto ja tasoitettu tuotanto perustuvat kumpikin venttiilien kulutukseen ja näin ollen vaativat säännöllistä tarkkailua ja päivittämistä kulutuksen muuttuessa. Imuohjaus, joka perustuu puskurivarastojen täydentämiseen, vaatii tuotannolta tasaisen kulutuksen, joka varmistetaan tasoitetulla tuotannolla. Tasainen kulutus mahdollistaa sekä tuotannon puolivalmisteverastojen että ostokomponenttien varastojen pienentämisen ja näin ollen vapauttaa pääomaa ja varastointitilaa muuhun käyttöön.

Tasoitettu tuotanto kohdeyrityksen tapauksessa on käytännössä karkeasuunnitelma venttiilien kokoonpanolle. Karkeasuunnitelma muodostettiin tässä työssä koko vuodelle menekkiennusteiden perusteella eikä karkeasuunnitelma lähdetty päivittämään kesken simulaatioiden vaan venttiileitä valmistettiin samalla syklillä läpi vuoden. Karkeasuunnitelmaan muodostamista varten jokaiselle venttiilikokoluokalle päätettiin standardi eräkoot. Tähän asti venttiileitä on valmistettu vaihtelevin eräkoin, jotka ovat perustuneet sen hetkiseen materiaalitilanteeseen ja asiakastarpeeseen. Eräkoot määriteltiin vuorokohtaisen valmistuksen mukaan, harvemmin kuluville venttiileille eräkoko on yhdessä vuorossa valmistettavien venttiileiden määrä ja useammin kuluville eräkoko on kahdessa vuorossa valmistettavien venttiilien määrä. Eräkokojen määrittelyn jälkeen jokaiselle venttiilikoolle laskettiin viikko kulutus menekkiennusteiden perusteella ja tämän jälkeen jokaisen erän niin sanottu viikkoriitto eli kuinka monta viikkoa yksi venttiilierä riittää verrattuna keskimääräiseen kulutukseen. Viikkoriiton perusteella voitiin määrittää, kuinka usein tiettyä venttiilikokoa tuotannon pitää valmistaa, jotta tuotanto pystyy vastaamaan vaihteleviin asiakastarpeisiin. Viikkoriiton mukaan venttiilit voitiin jakaa viiteen kategoriaan seuraavasti:

- A – Kolmen viikon välein valmistettavat
- B – Neljän viikon välein valmistettavat
- C – Viiden viikon välein valmistettavat
- D – Kuuden viikon välein valmistettavat
- Harvoin – Harvemmin valmistettavat

Venttiilit jakautuivat näihin kategorioihin alla olevan taulukon 6.1 mukaisesti:

Taulukko 6.1. Venttiilien jako viikkoriiton perusteella

Nimike	Kategoria
Venttiili 9	A
Venttiili 5	
Venttiili 15	
Venttiili 13	B
Venttiili 11	
Venttiili 1	C
Venttiili 4	
Venttiili 8	
Venttiili 10	D
Venttiili 12	
Venttiili 3	
Venttiili 14	Harvoin
Venttiili 2	
Venttiili 7	
Venttiili 6	

Eräkokoja pienentämällä venttiileitä voitaisiin valmistaa vieläkin useammin ja tasaisemmin. Kun otetaan kuitenkin huomioon tuotannon asetusajat ja tyypilliset asiakastarpeet, niin voidaan todeta, että tiettyjen venttiilien osalta on tehokkaampaa ja kannattavampaa valmistaa venttiileitä harvemmin hieman suuremmissa erissä. Kohdeyrityksen markkinoista johtuen venttiilien kulutus on kesäisin paljon suurempi kuin talvella ja näin ollen voitaisiin myös ajatella, että valmistettavat erät olisivat talvella suurempia kuin kesällä. Simulaatioiden perusteella määritetyt eräkoot havaittiin kuitenkin toimiviksi ja vaihteluiden poistamiseksi eräkoot pidettiin samankokoisina läpi vuoden. Taulukossa 6.1 esitettyjen kategorioiden mukaan muodostettiin alla olevassa taulukossa 6.2 esitetty karkeatyöjono venttiilien kokoonpanolle:

Taulukko 6.2. Venttiilien kokoonpanon työjono

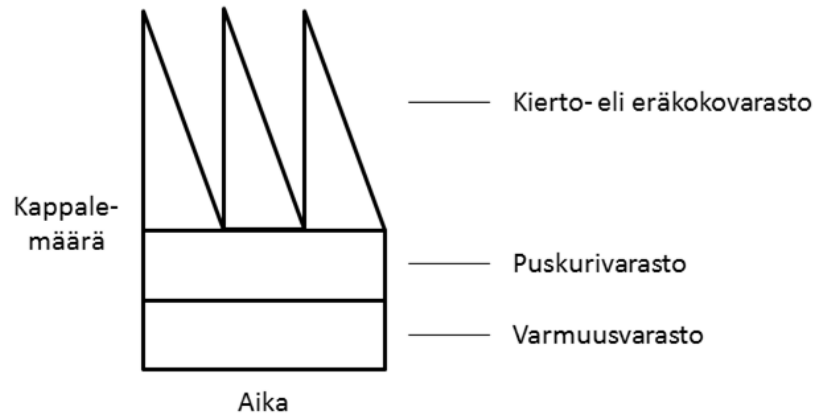
	MA	TI	KE	TO	PE
1	Venttiili 9	Venttiili 9	Venttiili 13	Venttiili 13	Venttiili 1
2	Venttiili 5	Venttiili 5	Venttiili 10	Venttiili 14	Venttiili 4
3	Venttiili 15	Venttiili 15	Venttiili 11	Venttiili 11	Venttiili 8
4	Venttiili 9	Venttiili 9	Venttiili 12	Venttiili 2	
5	Venttiili 5	Venttiili 5	Venttiili 13	Venttiili 13	
6	Venttiili 15	Venttiili 15	Venttiili 3	Venttiili 7	Venttiili 1

Kokoonpanon työjonoa ei haluttu kuormittaa täysin viidellä vuorolla viikossa, joten harmaat laatikot esittävät työjonossa vapaita vuoroja, joita voidaan käyttää harvemmin valmistettaville venttiileille, jättämän kiinnittämiseksi tai yllättävien isojen tilauksien täyttämiseksi. Vapailta päivillä pyritään säilyttämään tuotannon joustavuus. Kokoonpanon työjono lyödään lukkoon aina edellisellä viikolla, jonka jälkeen siihen ei tehdä muutoksia ja näin ollen harmaat päivät kuormitetaan tarvittavilla venttiileillä aina edellisellä viikolla.

Tässä luvussa esitettyä tasoitettua työjonoa käytettiin simulaatioissa kaikille tutkittaville vuosille 2011-2013 ja luvussa 7 esitetyt tulokset perustuvat edellisessä taulukossa 6.2 esitettyyn työjonoon. Todellisuudessa tasoitettua työjonoa tulisi päivittää tuotannon todellisen tilanteen mukaan ottaen huomioon valmisvaraston tilanteen, sen hetkiset menekkiennusteet sekä tilaukset. Karkeaksi säännöksi voisi ajatella, että työjono päivitetäisiin esimerkiksi joka kuukausi.

6.1.2 Valmisvaraston minimi- ja maksimirajat

Valmisvarastojen minimi- ja maksimirajojen laskemiseksi hyödynnettiin Art Smalleyn esittämää mallia kirjassaan ”Creating level Pull”, jossa hän jakaa varaston kolmeen osaan alla olevan kuvan 6.5 mukaisesti.



Kuva 6.5. Valmisvaraston jako (Smalley 2009, s.20)

Valmisvarasto jaetaan laskentaa varten kolmeen osaan seuraavasti:

1. Kierto- eli eräkokovarasto
2. Puskurivarasto
3. Varmuusvarasto

Kierto- eli eräkokovaraston tehtävänä on toimia venttiilien normaali kulutusta vastaavana varastona ja näin ollen määrääviä tekijöitä sille ovat venttiilien normaalikulutus sekä varaston täydennysaika eli kuinka nopeasti varasto täydennetään. Eräkokovaraston laskentaa varten venttiileiden normaalikulutus laskettiin vuosien 2012-2013 keskiarvokulutuksien mukaan vuoden jokaiselle viikolle ja täydennysaikoina käytettiin edellisessä luvussa määritellyjä valmistusvälejä eli kuinka usein tiettyä venttiiliä valmistetaan. Eräkokovarasto jokaiselle venttiilille laskettiin kertomalla keskiarvokulutus varaston täydennysvälillä.

Puskurivaraston tehtävänä on turvata kulutuksessa aiheutuvat vaihtelut toimitusajoissa ja toimitusmäärissä. Puskurivaraston laskemiseen hyödynnettiin Darren Dolcemascolon kirjassa ”Improving the Extended Value Stream: Lean for Entire Supply Chain” esittämää kaavaa:

$$\text{Puskurivarasto} = \text{Palvelutason määrittämä kerroin} \times \text{kulutuksen keskihajonta.}$$

Puskurivaraston laskenta perustuu yrityksen määrittämään palvelutasoon, joka kertoo kuinka suureen osaan vaihtelusta yritys varautuu puskurivarastoillaan. 100 prosentin palvelutasolla yritys pystyy aina tyydyttämään asiakkaiden kysynnän ja alle 100 prosentin palvelutasolla on mahdollista, että suurimpiin vaihteluihin ei pystytä vastaamaan suoraan varastosta. Palvelutason lähentyessä 100 prosenttia yrityksen kustannukset nousevat selvästi suurentuneiden varastojen myötä. Dolcemascolo määrittää kirjassaan alla olevan taulukon 6.3 mukaiset palvelukertoimet 90-99 prosentin palvelutasoille. Palvelu-

kertoimet perustuvat suoraan normaalijakauman z-arvoon ja näin ollen ovat helposti määriteltävissä eri palvelutasoille esimerkiksi Excelin $=\text{norm_jakauma.käänt}(palvelutaso)$ kaavalla.

Taulukko 6.3. *Palvelukertoimet puskurivaraston laskentaan*

Palvelutaso	Palvelukerroin
99 %	2,326
97,50 %	1,960
95 %	1,645
92,50 %	1,440
90 %	1,282

Kohdeyrityksen minimivarastojen laskentaa varten päädyttiin 95 prosentin palvelutasoon.

Valmisvaraston viimeisenä tekijänä on varmuusvarasto, jolla pyritään varautumaan tuotannossa esiintyviin häiriöihin, kuten konerikkoihin, laatuongelmiin tai esimerkiksi osatoimitusten myöhästymisiin. Kohdeyrityksen tapauksessa varmuusvaraston laskennassa päädyttiin käyttämään yleisesti kirjallisuudessa esiintyvää 20 prosentin varmuusvarastoa eräkokovarastosta. Kohdeyrityksen valmisvaraston minimirajat jokaiselle venttiilille laskettiin alla olevan taulukon 6.4 mukaisesti:

Taulukko 6.4. *Valmisvaraston minimirajat*

	Viikoittainen keskiarvokulutus x täydennysaika (viikoissa)	Eräkokovarasto
+	Kulutuksen keskihajonta x palvelukerroin (1,645)	Puskurivarasto
+	20 % x Eräkokovarasto	Varmuusvarasto
=		Valmisvarasto minimiraja

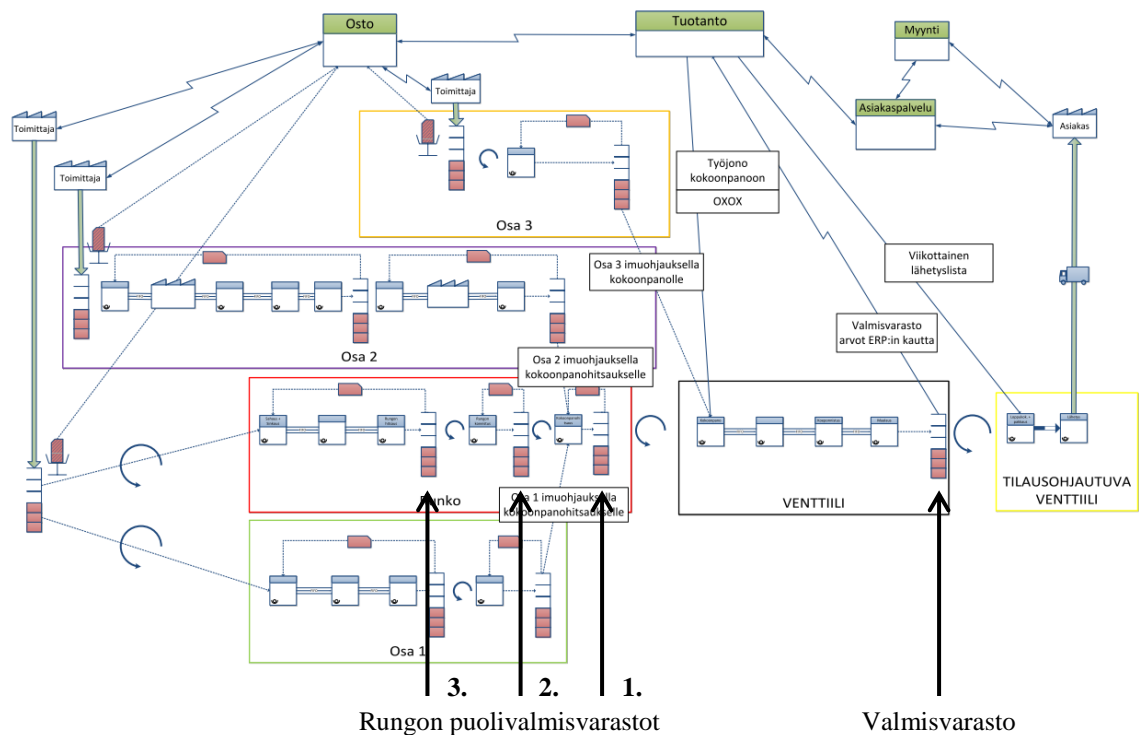
Kohdeyrityksen markkinat ovat erittäin sesonkiluoteiset, kuten luvussa 5.1 kirjoitettiin. Venttiileistä myydään 80 prosenttia huhti-elokuun aikana, joten venttiileiden varastointi normaalin kulutuksen ja vaihtelun mukaan on haastavaa. Venttiileitä valmistetaan talven aikana varastoon, joten venttiileille tulee myös määrittää maksimirajat, jotka ohjaavat valmistusta. Maksimirajat voidaan määrittää monella eri tavalla, mutta suurimpana ohjaavana tekijänä niissä on yleensä kustannukset eli kuinka paljon yritys on valmis sitomaan rahaa kiinni varastoon. Kohdeyrityksen tapauksessa maksimirajat määritettiin yhdessä johdon kanssa siten, että ne ovat kolmasosa vuoden kulutuksesta.

Tässä luvussa esitetyt minimi- ja maksimirajat toimivat imuohjauksen ohjaavina tekijöinä, joiden avulla voidaan päivittää tuotannolle rakennettua tasaisen tuotannon mallia. Rajojen avulla voidaan helposti säädellä valmistusta muuttuvan kulutuksen mukaan. Minimi- ja maksimirajat vaativat jatkuvaa tarkkailua ja rajojen päivittämistä, kuten imuohjaukset muut osa-alueet. Kohdeyritykselle varastojen minimi- ja maksimirajat

ovat kokonaan uusi käsite ja näin ollen rajojen seuranta ja päivittäminen on ensiarvoisen tärkeää.

6.1.3 Puolivalmisteverastojen puskurit sekä valmistusimpulssit

Edellisessä luvussa mitoitettiin kohdeyrityksen valmisvarasto ja tämän luvun tarkoituksena on siirtyä lähemmäksi tuotannon alkupäätä ja esittää venttiilin rungon puolivalmisteverastojen mitoittaminen sekä valmistus- eli täydennysimpulssien siirtyminen edellisille työvaiheille. Valmisvarastojen ja rungon puolivalmisteverastojen sijoittuminen tuotannossa on vielä havainnollistettu alla olevaan kuvaan 6.6. Kuten luvussa 6.1 kirjoitettiin, imuohjaus on varasto-ohjautuva tuotannonohjausmenetelmä, sillä varastotasot aiheuttavat valmistusimpulssia. Imuohjaus rajoittaa keskeneräistä tuotantoa tarkoin mitoitetuilla puskurivarastoilla, joita täydennetään vasta, kun varasto on alittanut ennalta määrätyn hälytysrajan. Puskurivarastojen täydennykset tapahtuvat ennalta määritettyjen eräkokojen mukaan, eriä valmistetaan vain tarpeeseen eli kun seuraava työvaihe on kuluttanut tietyn kappalemäärän puskurivarastosta, saa edellinen työvaihe luvan täydentää varastoa.



Kuva 6.6. Valmis- ja puskurivarastojen sijoittuminen tuotantoon

Kuten kuvasta 6.6 huomataan, kohdeyrityksen tapauksessa mitoitettavia rungon puolivalmisteverastojen puskurivarastoja on kolme:

1. Kokoonpanohitsatut rungot
2. Koneistetut rungot
3. Karaholkkihitsatut rungot

Tuotannon muiden puskurivarastojen mitoittamista tai täydennysperiaatteita ei käydä tässä työssä tarkemmin läpi, sillä mitoittaminen ja valmistusimpulssit toteutetaan vastaavalla tavalla kuin tässä luvussa esitetyt rungon puskurivarastot. Tuotannon ohjaaminen perustuu venttiilin runkoon ja muita valmistettavia komponentteja voidaan pitää osavalmisteina, jotka valmistusketjun tietyissä vaiheissa liitetään venttiilin runkoon.

Puskurivarastojen mitoittaminen on tehty simulaatiomallin avulla, johon on mallinnettu tässä luvussa esitetyt rungon puolivalmisteiden puskurivarastot. Puskurivarastoille on mallinnettu todenmukainen kulutus ja täydennys sitä mukaan kun työpisteet kuluttavat osia. Näin ollen mallin avulla on voitu tutkia useita eri puskurivaraston tasoja ja niiden vaikutusta valmistukseen sekä keskeneräisen tuotannon määrään ja puolivalmisteiden arvoon.

Varastot pohjautuvat luvussa 6.1.1. esitettyihin kokoonpanon eräkokoihin. Ensimmäinen varasto, kokoonpanohitsatut rungot, on venttiilien kokoonpanon varasto eli kokoonpano saa tarvittavat runkonsa tästä varastosta. Kokoonpanohitsattujen runkojen varastot on mitoitettu siten, että varastossa on yhden kokoonpanon valmistuserän vastaava eräko. Varastoissa on otettu myös huomioon normaalille FIN-lavalle menevien runkojen määrä ja näin ollen muutamalle koolle joudutaan varastoimaan hieman enemmän kuin mitä kokoonpano tarvitsee yhden erän aikana. Poikkeuksena on luvussa 6.1.1 esitetty kategoria ”harvoin”. Näitä runkoja ei varastoida kokoonpanohitsattuina runkoina vaan valmistetaan vain tarpeeseen. Valmistus- eli täydennysimpulssit välittyvät kokoonpanohitsaukselle kanban-korteilla, jotka on kiinnitetty jokaisen lavan kylkeen. Aina kun kokoonpanijat käyttävät FIN-lavan tyhjäksi, toimittavat he kanban-kortin edelliselle työpisteelle eli kokoonpanohitsille. Rungot, joita ei varastoida valmistetaan niin sanotun erikoistuotekanbanin avulla, jonka tehdaspäällikkö toimittaa kokoonpanohitsille. Erikoistuotekanbania käytetään vain kerran ja tämän jälkeen se toimitetaan takaisin tehdaspäällikölle. Kanban-korttien määrä jokaiselle venttiilille on esitetty alla olevassa taulukossa 6.5. Taulukossa on myös esitetty kokoonpanohitsattujen runkojen varaston koko verrattuna kokoonpanon eräkokoon sekä laskettu varastonkierto, jolla kuvataan kuinka monta kertaa varasto kiertää vuoden aikana, runkojen kulutuksen mukaan. Varastonkierron keskiarvoksi on saatu 11.

Taulukko 6.5. Kokoonpanohitsattujen runkojen puskurivarasto

Kategoria	Nimike	Kanban-korttien määrä	Varasto/kokoonpanon eräkkoko	Varastonkierto
A	Venttiili 9	3	1,2	13,8
	Venttiili 5	2	1,0	15,0
	Venttiili 15	6	1,0	15,0
B	Venttiili 13	6	1,0	13,3
	Venttiili 11	4	1,0	11,9
C	Venttiili 1	1	1,0	10,7
	Venttiili 4	1	1,0	10,0
	Venttiili 8	2	1,6	6,3
D	Venttiili 10	2	1,0	8,8
	Venttiili 12	3	1,0	8,3
	Venttiili 3	1	1,0	7,9
Harvoin	Venttiili 14	0		
	Venttiili 2	0		
	Venttiili 7	0		
	Venttiili 6	0		

Keskiarvo 11,0

Kesän sesonki ja suuret vaihtelut tuotannossa ovat vaatineet tuotannolta ylimääräistä kapasiteettia, jotta kesän kiireisiin tilauksiin pystytään vastaamaan. Venttiilien tasainen valmistus ja luvussa 6.1.2 esitetyt valmisvaraston minimi- ja maksimirajat poistavat vaihtelun ja näin ollen vapauttavat kapasiteettia muihin töihin. Kokoonpanohitsauksen tapauksessa koko puskurin täyttäminen kestäisi hieman yli kaksi viikkoa, joten kapasiteetti mielessä puskurivaraston suuruus ja täydennettävät eräkoot voidaan pitää pieninä. Asetusajat työpisteellä ovat lyhyet, joten tämä edesauttaa lyhyiden sarjojen valmistusta. Pienet puskurivarastot ja kokoonpanohitsattujen runkojen osalta varastot, jotka ovat juuri kokoonpanon valmistavan eräkoon suuruiset vaativat tuotannolta laadullisesti paljon. Yksikin virheellinen runko aiheuttaa sen, että kokoonpanon eräkkoko jää vajaaksi. Korkeat laatuvaatimukset vaativat työpisteiltä tarkkaa laadun valvontaa ja tuotannon sisäisen asiakkuus nousee yhtä tärkeään rooliin kuin tuotannon ulkoiset asiakkaat. Korkea laatu on yksi imuohjauksen implementoinnin vaatimuksista, kuten luvussa 4.3 todettiin. Pienet puskurivarastot paljastavat heti tuotannon ongelmat ja vaativat nopeita toimenpiteitä. Kokoonpanohitsauksen tapauksessa työntekijä tulisi kouluttaa myös muihin tehtäviin, jotta ylimääräinen kapasiteetti saadaan suunnattua tehokkaaseen valmistukseen.

Koneistettujen runkojen osalta lähestymistapa on samanlainen kuin kokoonpanohitsatuilla rungoilla. Työpisteellä on käytössään kaksi koneistuskeskusta, jotka on yhdistetty joustavaan valmistusjärjestelmään, ja näitä koneita voidaan tietyin poikkeuksin käyttää hyvinkin ristiin eli suurin osa rungoista voidaan koneistaa kummalla tahansa koneella.

Joustava valmistusjärjestelmä minimoi asetusajat ja kappaleen vaihtoajat, joten koneilla voidaan ajaa vaikka yhden kappaleen sarjoja ilman, että koneistuksen tehokkuus heikkenee. Koneistuskeskuksilla koneistetaan runkojen lisäksi myös muita tuotannon kappaleita, jotka sitovat niiden kapasiteettia. Koneistuskapasiteetti on kuitenkin joustava, joten sitä voidaan helposti lisätä tai vähentää riippuen tuotantotilanteesta. Koneistukseen on samaan tapaan kuin kokoonpanohitsaukselle varattu ylikapasiteettia suuren vaihtelun johdosta, mistä syystä koneistuksesta syntyy herkästi ylituotantoa, joka näkyy tuotannon keskeneräisen työn määrässä.

Koneistettujen runkojen puskurivarasto on mitoitettu siten, että jokaista runkoa varastoidaan vähintään samansuuruinen erä kuin mitä kokoonpanohitsaus maksimissaan tarvitsee täydentäessään kokoonpanohitsattujen runkojen puskurivarastoa. Katteoria A ja B venttiilien rungoille on myös mitoitettu 30-50 prosentin varmuusvarasto riippuen, paljonko runkoja mahtuu FIN-lavalle. Varmuusvarastolla pyritään pienentämään konerikkojen ja muiden häiriöiden vaikutusta tuotannon seuraaville työpisteille. Muiden kategorioiden venttiilien rungoille varmuusvarastoa ei nähty tarpeelliseksi, sillä venttiilien valmisvaraston mitoituksessa otettiin huomioon tuotannosta aiheutuvat häiriöt valmiiden venttiileiden varmuusvarastolla. Alla olevassa taulukossa 6.6. on esitetty koneistettujen runkojen kanban-korttien määrät, koneistettujen runkojen puskurivaraston maksimimäärät verrattuna kokoonpanohitsauksen maksimi tarpeisiin sekä runkojen varastonkierto.

Taulukko 6.6. Koneistettujen runkojen puskurivarasto

Kategoria	Nimike	Kanban-korttien määrä	Varasto/kokoonpanohitsauksen eräkkoko	Varastonkierto
A	Venttiili 9	3	1,3	13,8
	Venttiili 5	3	1,5	10,0
	Venttiili 15	4	1,3	11,3
B	Venttiili 13	4	1,3	10,0
	Venttiili 11	3	1,5	7,9
C	Venttiili 1	1	1,0	10,7
	Venttiili 4	1	1,0	10,0
	Venttiili 8	2	1,0	6,3
D	Venttiili 10	1	1,0	8,8
	Venttiili 12	2	1,3	6,3
	Venttiili 3	1	1,0	7,9
Harvoin	Venttiili 14	2	1,0	2,5
	Venttiili 2	1	1,0	2,1
	Venttiili 7	1	1,0	2,0
	Venttiili 6	1	1,0	1,0

Keskiarvo 7,4

Viimeisen kategorian venttiileitä varastoidaan koneistettuina runkoina, jotta myös niiden palvelutaso pystytään pitämään korkealla tasolla ja toimitusajat lyhyinä. Eräkoot on mitoitettu kokoonpanon eräkokojen mukaan. Varastonkierto näillä venttiileillä on pieni, mutta normaalien asiakastilauksien suuruuksista johtuen runkoja ei kannata varastoida pienempää määrää.

Karaholkkihitsatut rungot ovat viimeinen mitoitettava puskurivarasto ja näin ollen tuotannon ensimmäinen runkojen puskurivarasto. Karaholkkihitsattujen runkojen ohjaus on hieman monimutkaisempi kuin koneistettujen tai kokoonpanohitsattujen, sillä nämä virtaavat kolmen eri työpisteen läpi. Runkojen valmistus aloitetaan sahalta, joka on useamman eri tuotantolinjan jaettu resurssi, näin ollen sen ohjaaminen on monimutkaisempaa kuin muiden työpisteiden. Sahan jälkeen runko virtaa vielä toisen työpisteen kautta ennen hitsaussolua. Näiden työpisteiden välille ei kuitenkaan koettu tarvittavan ylimääräistä puskurivarastoa kasvattamaan keskeneräisen tuotannon määrää, vaan runko virtaa FIFO – periaatteella sahan ja hitsaussolun välisen työpisteen läpi eli ensimmäiset työpisteelle saapuneet rungot valmistetaan ensimmäiseksi. Ohjauksen haastavuutta lisää myös se, että samasta putkesta voidaan valmistaa useampaa eri karaholkkihitsattua runkoa alla olevan taulukon 6.7. mukaisesti. Yhdeksästä eri putkesta voidaan valmistaa 11 eri karaholkkihitsattua runkoa ja näistä koneistuksessa 15 eri koneistettua runkoa. Keskeneräisen tuotannon määrän rajoittamiseksi on kuitenkin hyvä, että eri variaatiot rungoista lisääntyvät vasta tuotannon myöhäisemmissä vaiheissa.

Taulukko 6.7. Karaholkkihitsatut rungot

Koneistettu runko	Karaholkkihitsattu runko	Putket
Venttiili 1	KH-runko 1	Putki 1
Venttiili 2	KH-runko 2	Putki 2
Venttiili 3	KH-runko 3	
Venttiili 4	KH-runko 4	Putki 3
Venttiili 5		
Venttiili 6	KH-runko 5	Putki 4
Venttiili 7	KH-runko 6	
Venttiili 8	KH-runko 7	Putki 5
Venttiili 9		
Venttiili 10	KH-runko 8	Putki 6
Venttiili 11	KH-runko 9	Putki 7
Venttiili 12	KH-runko 10	Putki 8
Venttiili 13		
Venttiili 14	KH-runko 11	Putki 9
Venttiili 15		

Kohdeyhteyksien saha mahdollistaa miehittämättömän ajon illan ja yön aikana, minkä takia putket sahataan aina kerralla loppuun eli tuotannon raaka-aine varastossa varastoi-

daan ainoastaan vakiomittaisia putkia. Vakiomittaiset putket kertovat tällä hetkellä suoraan sahausen eräkoon, joten niitä ei tarvitse sen tarkemmin tässä työssä laskea. Karaholkkihitsattuja runkoja tullaan ohjaamaan kanban-työkalulla, joka on esitetty alla olevassa kuvassa 6.7.



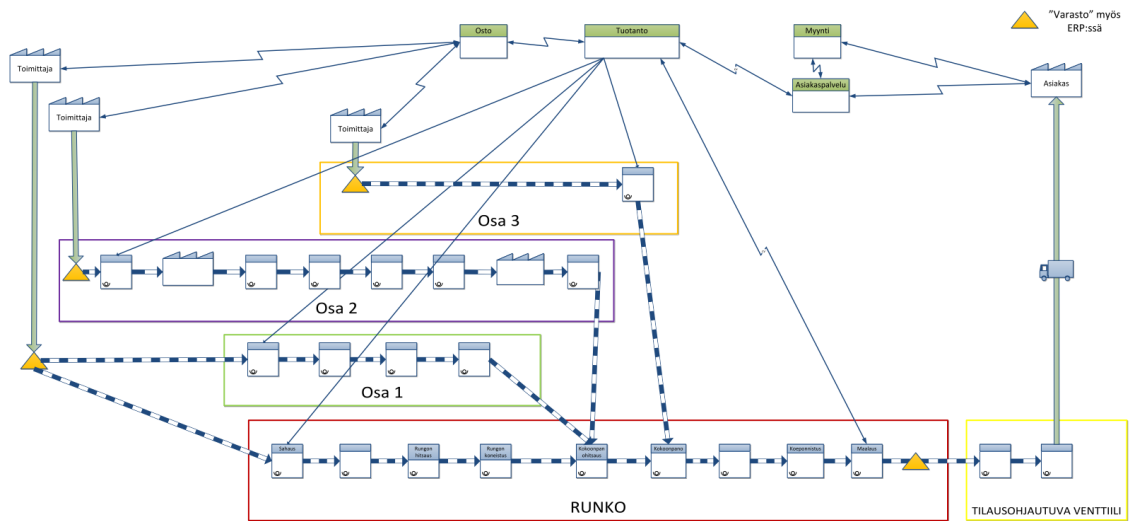
Kuva 6.7. Karaholkkihitsattujen runkojen kanban-työkalu

Karaholkkihitsatut rungot varastoidaan FIN-lavalla, joille jokaiselle tehdään kanban-kortit, jotka ilmoittavat lavalla olevan eräkoon. Kanban-kortti pysyy lavan yhteydessä kunnes koneistus ottaa lavalta viimeisen rungon ja tämän jälkeen kortti siirretään runkojen kanban-työkaluun. Työkalussa on selkeästi merkattu jokaiselle eri koolle sekä hälytysrajat että varmuusvarasto. Työkalun täyttäminen tapahtuu aina alhaalta ylös ja kun kortti laitetaan työkalun hälytysraja kohtaan, työkalu antaa valmistusimpulssin sahalle. Karaholkkihitsattujen runkojen varmuusvarasto on mitoitettu neljän viikon toimitusajalla eli tuotannolla on näin ollen neljä viikkoa aikaa täydentää karaholkkihitsattujen runkojen varasto. Työkalun avulla voidaan helposti päivittää runkojen hälytysrajaa siirtämällä sitä työkalussa ylös tai alas. Karaholkkihitsattujen runkojen maksimimäärä voidaan myös päivittää vähentämällä tai lisäämällä tuotannossa olevien korttien määrää.

6.2 Työntöohjaus kohdeyrityksessä

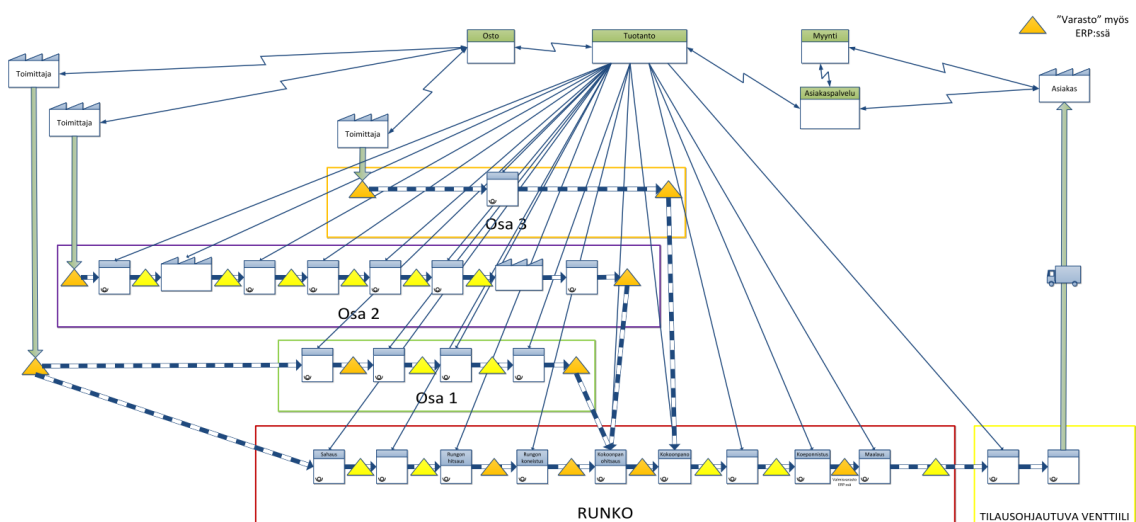
Kohdeyrityksen muiden venttiiliperheiden valmistusta ohjataan työntöohjauksen avulla ja näin ollen työntöohjaus on hyvin luonteva vaihtoehto imuohjaukselle. Työntöohjauksella ohjatun tuotannon ideaalinen arvovirtakuvaus on esitetty alla olevassa kuvassa 6.8. Ideaalissa tapauksessa tuotannon ohjaaja välittää tuotannon ensimmäiselle vaiheelle työn aloituskäskyn ja tämän jälkeen tuotantoerä työnnetään muiden työpisteiden läpi ilman välivarastoja. Tämä kuitenkin vaatisi sen, että työpisteet on tarkkaan tasapainotettu siten, että keskeneräistä työtä ei synny. Tasapainotetussa tuotannossa seuraavan valmistusvaiheen tulisi vapautua samaan aikaan kun edellinen työvaihe saa tehtävänsä suoritettua. Ideaalinen työntöohjaus ei myöskään siedä vaihtelua. Jos tuotantoerän valmistus keskeytetään kiireellisemmän tilauksen johdosta, niin työn alla oleva tuotantoerä kokonaisuudessaan siirtyy keskeneräiseksi tuotannoksi. Työntöohjauksessa vaihtelu

voidaan poistaa samalla tavalla kuin imuohjauksessa eli valmisvarastolla. Työntöohjauksen valmisvaraston muodostamista esitellään luvussa 6.2.2. Työntöohjauksessa keskeneräistä tuotantoa syntyy myös konerikkojen johdosta sekä muiden tuotannon häiriötekijöiden takia. Jos työpisteen työntekijä sairastuu päiväksi ja työpisteelle ei ole muuta käyttäjää, niin todennäköisesti tämän työpisteen eteen syntyy keskeneräistä työtä.



Kuva 6.8. Työntöohjauksen teoreettinen arvovirtakuvaus

Työntöohjauksen arvovirtakuvaus muuttuu hyvin nopeasti kuvan 6.9 mukaiseksi, jossa jokaisen työpisteen edessä on keskeneräistä työtä odottamassa valmistusta. Keskeneräinen työ aiheuttaa valmistussuunnitelmassa usein jättämää ja tämän takia tuotannonohjaus joutuu muokkaamaan työpisteiden työjonoja uudestaan sen mukaan mikä tehtävistä on kiireellisin. Näin ollen päädytään nopeasti siihen tilanteeseen, että jokaista työpistettä joudutaan ohjaamaan verrattuna siihen, että ensimmäiselle työpisteelle annetaan työn aloituskäske ja tämän jälkeen tuotantoerä työnnetään jokaisen työpisteen läpi.



Kuva 6.9. Työntöohjauksen todellinen arvovirtakuvaus

Työntöohjauksen todellinen arvovirtakuvaus yllä olevassa kuvassa 6.9 on sama kuva kuin millä tuotannon nykytilaa kuvattiin luvussa 5.4. Todellisuudessa tuotannon nykytila poikkeaa kuitenkin työntöohjauksesta, sillä töitä aloitetaan joskus vain puskurivarastojen kasvattamiseksi ja taas toisinaan työntöohjausmaisesti tilauksia varten. Nykytila on kuitenkin monella tapaa huonon työntöohjauksen tulosta.

Seuraavissa luvuissa esitellään työntöohjausmallin rakentamista kohdeyrityksen tuotannolle. Ensimmäiseksi muodostetaan jokaiselle venttiilille tarkat eräkoot, tämän jälkeen mitoitetaan valmisvarasto vaihtelun poistamiseksi ja viimeiseksi muodostetaan valmistussuunnitelma, jonka perusteella töitä avataan simulaatiomallissa.

6.2.1 Työntöohjauksen eräkoot ja työjono

Työntöohjauksen eräkokojen määrittäminen eri venttiileille perustuu ennustettuun vuosikulutukseen sekä vakiomittaisista putkista sahattavien runkojen lukumääriin. Luvun 6 alussa kirjoitettiin ennusteprosessista, jolla määritettiin vuosikulutukset jokaiselle venttiilille ja samat vuosikulutusarviot olivat käytössä imuohjauksen määrittämisessä. Kohdeyrityksen eri venttiiliperheiden eräkoot perustuvat putkikerrannaisiin ja näin ollen tässäkin työssä on eräkoot määritetty putkikerrannaisten mukaan. Toinen ohjaava tekijä muiden venttiiliperheiden eräkoille on ollut valmistuserien määrä vuodessa, jotka on pyritty pitämään neljän ja kuuden erän välillä. Eräkojoja ohjaavana tekijänä hyödynnetään myös luvussa 6.1.3 ensimmäisen kerran esitettyä taulukkoa 6.8, jossa näkyvät putkien suhteet venttiileihin.

Taulukko 6.8. Karaholkkihitsatut rungot

Koneistettu runko	Karaholkkihitsattu runko	Putket
Venttiili 1	KH-runko 1	Putki 1
Venttiili 2	KH-runko 2	Putki 2
Venttiili 3	KH-runko 3	
Venttiili 4	KH-runko 4	Putki 3
Venttiili 5		
Venttiili 6	KH-runko 5	Putki 4
Venttiili 7	KH-runko 6	
Venttiili 8	KH-runko 7	Putki 5
Venttiili 9		
Venttiili 10	KH-runko 8	Putki 6
Venttiili 11	KH-runko 9	Putki 7
Venttiili 12	KH-runko 10	Putki 8
Venttiili 13		
Venttiili 14	KH-runko 11	Putki 9
Venttiili 15		

Tietyistä putkista voidaan taulukon 6.8 mukaisesti tehdä kahta eri venttiiliä, joten valmistussuunnitelmassa voidaan eräkokoja pienentää valmistamalla nämä kaksi eri venttiiliä peräkkäin. Näiden venttiilien tapauksissa on vuosikulutuksen perusteella laskettu, miten putkesta sahattavat rungot jakautuvat eri venttiilityypeille. Alla olevassa taulukossa 6.9 on esitetty jokaiselle venttiilierälle tarvittavien putkien lukumäärä sekä valmistuserin määrä vuodessa.

Taulukko 6.9. Työntöohjauksen valmistuserien määrittely

Nimike	Putki	Putkien lukumäärä	Valmistuserin määrä vuodessa
Venttiili 1	Putki 1	1	3,9
Venttiili 2	Putki 2	1	3,9
Venttiili 3			
Venttiili 4	Putki 3	3	4,7
Venttiili 5			
Venttiili 6	Putki 4	1	0,9
Venttiili 7			
Venttiili 8	Putki 5	3	4,8
Venttiili 9			
Venttiili 10	Putki 6	1	1,5
Venttiili 11	Putki 7	1	2,6
Venttiili 12	Putki 8	1	5,3
Venttiili 13			
Venttiili 14	Putki 9	1	5,6
Venttiili 15			

Eräkokojen pienentämiseksi tulisi toimittajien kanssa neuvotella lyhyemmistä putkista tai kohdeyrityksen tulisi miettiä runkoaihioiden varastointiratkaisua. Tuotantoerät määritettiin kuitenkin tässä työssä nykyisten putkikokojen ja ratkaisujen mukaan.

Tuotannon kuormittaminen työntöohjauksessa tapahtuu töiden valmistuspäivien mukaan, josta tuotantoerän läpimenoajan perusteella on laskettu aloituspäivä työlle. Tässä työssä, kuten myös kohdeyrityksessä käytännössä, työntöohjauksen kuormittaminen joudutaan tekemään ennusteiden perusteella, sillä läpimenoajat ovat liian pitkiä verrattuna asiakkaiden toimitusaika vaatimuksiin, joten valmistuspäiviä ei voida sitoa tilauksien mukaan. Valmistussuunnitelman tekeminen ennusteiden perusteella vaatii, että valmisvarastoa kasvatetaan tasaisesti laskettujen eräkokojen ja tuotantoerien mukaan, millä varmistetaan, että valmisvarastossa on tarpeeksi venttiileitä, jotta haluttu palvelutaso pystytään säilyttämään. Valmisvaraston mitoittaminen työntöohjauksessa esitetään seuraavassa luvussa.

Työntöohjauksen valmistussuunnitelma muodostetaan samalla tavalla kuin imuohjauksen tasoitetun tuotannon valmistussuunnitelma eli tuotantoerille lasketaan niiden val-

mistusfrekvenssi. Edellisen luvun taulukon 6.9 mukaan voidaan laskea, kuinka usein tietyn venttiilin tuotantoerä tulisi valmistaa, tulokset on esitetty alla olevassa taulukossa 6.10.

Taulukko 6.10. Tuotantoerien valmistusfrekvenssi

Nimike	Viikkoa tuotantoerien välissä
Venttiili 1	13,2
Venttiili 2	13,9
Venttiili 3	13,2
Venttiili 4	11,3
Venttiili 5	11,0
Venttiili 6	52,0
Venttiili 7	57,2
Venttiili 8	10,4
Venttiili 9	11,0
Venttiili 10	34,2
Venttiili 11	19,7
Venttiili 12	10,4
Venttiili 13	9,8
Venttiili 14	10,4
Venttiili 15	9,2

Työntöohjauksessa tuotannon työjono on muodostettu venttiilien kokoonpanolle, joka on tuotannon pullonkaula. Käytännössä työjono simulaatiota varten muodostetaan siten, että ensimmäiseksi jokaista venttiiliä tehdään yhden tuotantoerän verran, jolloin valmistusvarastoa saadaan kasvatettua tasaisesti. Kokoonpanon kuormittamisessa otetaan huomioon mahdolliset tuotannon häiriötekijät siten, että kuormitus lasketaan 90 prosenttiin olemassa olevasta kapasiteetista. Ensimmäisen työjonon suorittamiseksi kokoonpanolla kestää noin 11 viikkoa. Muiden työpisteiden kapasiteettia ei tässä kohtaa tarvitse ottaa huomioon, koska kuten luvussa 6.1.3 kirjoitettiin, muilla työpisteillä on ylikapasiteettia kokoonpanoon nähden, ja näin työjonon suorittamisen kesto voidaan laskea pullonkaula työpisteen mukaan. Ensimmäisen työjonon jälkeen kokoonpano kuormitetaan koko vuodelle siten, että taulukon 6.10 mukaiset frekvenssit toteutuvat. Tietyissä tapauksissa näistä frekvensseistä joudutaan joustamaan siten, että tuotantoerä aloitetaan hieman aikaisemmin kuin mitä vuosikulutus vaatisi. Tämä on kuitenkin yksi työntöohjauksen periaatteista eli työpisteet pyritään kuormittamaan mahdollisimman tehokkaasti. Työntöohjauksella ei yritetä rajoittaa ylituotantoa tai keskeneräistä tuotantoa, vaan seuraavat valmistuserät aloitetaan heti kun työpiste vapautuu edellisestä tehtävästä.

6.2.2 Valmisvaraston mitoittaminen

Työntöohjauksessa venttiileitä valmistetaan suuremmissa erissä harvemmin kuin taas imuohjauksen avulla mahdollistetaan pienien erien valmistus useammin. Harvemmin valmistettavat suuret erät vaativat, että valmisvarastossa varastoidaan enemmän venttiileitä kuin imuohjauksella ohjatussa tuotannossa. Esimerkiksi ”venttiilin 1” tapauksessa, imuohjauksessa tuotannossa venttiiliä valmistetaan viiden viikon välein pieni erä, työohjauksessa tuotannossa venttiiliä tulisi valmistaa yksi erä noin 13 viikon välein. Näin ollen työntöohjauksessa tuotannossa tulee valmisvarastossa varastoida noin 13 viikon kulutus verrattuna viiden viikon kulutukseen.

Valmisvaraston mitoittamiseen voidaan käyttää luvun 6.1.2 taulukon 6.4 esittämää valmisvaraston mitoituskaavaa. Työntöohjauksen tapauksessa varaston täydennysaikana pitää käyttää 11 viikkoa. Tämä on se aika, joka tuotannolla kestäisi valmistaa tietyn venttiilin valmistuserä, jos työjonolle on edelle asetettu tehtäväksi kaikkien muiden venttiilien erät. Täydennysaikana voitaisiin käyttää myös edellisen luvun taulukon 6.10 aikoja, mutta kuten aikaisemmin kirjoitettiin, työntöohjauksessa tuotannossa täydennysajat vaihtelevat tuotannossa olevan kuorman mukaan. Taulukon aikoja käytettäessä venttiilin valmisvaraston arvo kasvaisi 16 prosenttia verrattuna 11 viikon täydennysaikaan. Työntöohjauksen valmisvarastosta kirjoitetaan lisää seuraavassa luvussa, joka käsittelee sekä imu- että työntöohjauksen simuloinnin tuloksia. Työntöohjauksen valmisvarastosta tullaan huomaamaan ennusteiden suuri merkitys varastoon sidotun pääoman määrään sekä asiakkaiden palvelutasoon.

7 TUOTANNONOHJAUSMALLIEN VERTAILU JA SIMULOINNIN TULOKSET

Tässä luvussa esitellään imu- ja työntöohjauksen tuloksia kohdeyrityksen tuotannossa. Tulokset perustuvat Microsoft Excelillä rakennettuun simulaatiomalliin, jonka avulla voitiin vertailla näiden kahden tuotannonohjausmallin käyttöä valmistuksen ohjaamisessa. Simulaatiomalli perustuu vuosien 2011–2013 venttiilien todelliseen kulutukseen ja luvussa 6. esitettyihin tuotannonohjausmalleihin ja niiden muodostamiin valmistusimpulsseihin. Simulaatiomallin avulla pystyttiin vertailemaan sekä valmis- että puolivalmisvaraston tilannetta oikeiden asiakastilauksien mukaan. Simulaatio toteutettiin jokaiselle vuodelle omanaan ja varastojen tilannetta seurattiin viikkotasolla, jonka todettiin olevan riittävä aikajänne vertailukelpoisten tuloksien saamiseksi.

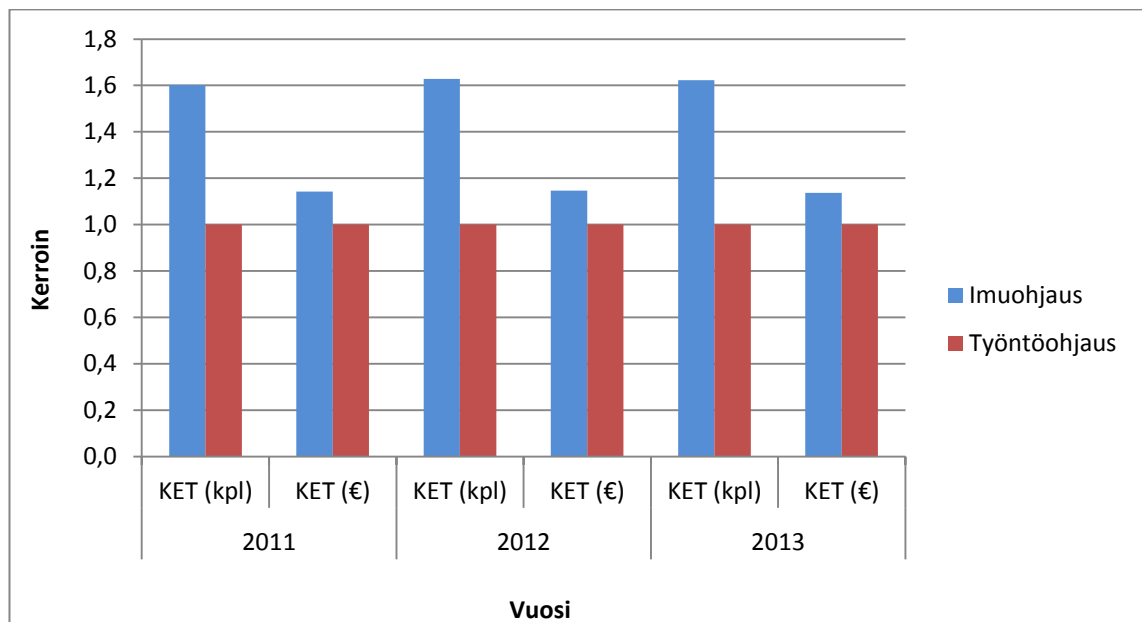
Imuohjauksen tapauksessa simulaatiomalliin rakennettiin venttiilien kokoonpanolle luvussa 6.1.1 esitetty tasoitettun tuotannon työjono, jonka perusteella valmistusimpulssit välittyivät tuotannon muille työpisteille. Työjono määriteltiin koko vuodelle ja muutoksia tähän tehtiin tapauksissa, jossa tilattua venttiiliä ei ollut varastossa tai jos valmisvarasto ylitti sille määritetyt maksimirajat. Muutokset tehtiin kuitenkin kolmen viikon toimitusajan puitteissa, joka asetettiin yhdeksi tämän työn tavoitteeksi. Työntöohjauksessa työpisteiden kuormittaminen tehtiin luvussa 6.2.1. esitetyn työjonon mukaisesti siten, että työpisteet aloittavat aina työjonon seuraavan työn kun edellinen on saatu valmiiksi ja valmistettu erä siirretään seuraavaan työpisteeseen. Molemmissa tapauksissa työpisteiden maksimi kapasiteettina on käytetty 90 prosenttia olemassa olevasta kapasiteetista, millä on pyritty simuloimaan mahdollisia tuotannon häiriöitä kuten konerikkoja tai esimerkiksi työntekijän poissaoloa. Imuohjauksessa kapasiteettia käytetään kuitenkin valmistusimpulssien mukaan eli työpisteiden käyttöaste muuttuu viikosta toiseen maksimiarvon ollessa 90 prosenttia kapasiteetista.

Simulaation tulokset esitellään seuraavissa luvuissa 7.1–7.2 siten, että ne on jaettu ensiksi varastojen, puolivalmis- ja valmisvaraston, mukaan tarkasteltaviksi ja tämän jälkeen tuotannonohjausmallien eroja tarkastellaan kokonaisuutena. Luvun 7.2 lopputuloksena valitaan tuotannonohjausmalleista parempi, minkä jälkeen mallia vertaillaan kohdeyrityksen tuotannon nykytilaan. Tuloksista on jätetty pois tarkat kappale- ja euromäärät, joten ne on esitetty imuohjauksen varastojen muutoksina verrattuna työntöohjaukseen.

7.1 Puolivalmis- ja valmisvaraston tulokset

Simulaatiomalliin rakennettiin luvussa 6.1.3 esitetyt venttiilin rungon puolivalmisvarastot: kokoonpanohitsatut, koneistetut ja karaholkkihitsatut rungot, keskeneräisen tuotannon mittaamiseksi. Imuohjauksen tapauksessa simulaatiomalliin on määritetty jokaiselle puolivalmisvaraston rungolle luvun 6.1.3 mukaiset puskuritasot sekä valmistusimpulsin muodostuminen, joka perustui lavan tyhjentymiseen. Työntöohjauksessa työpisteet aloittavat aina työjonon seuraavan työn kun edellinen on saatu valmiiksi ja valmistettu erä siirretään seuraavaan työpisteeseen, kuten edellisessä luvussa todettiin.

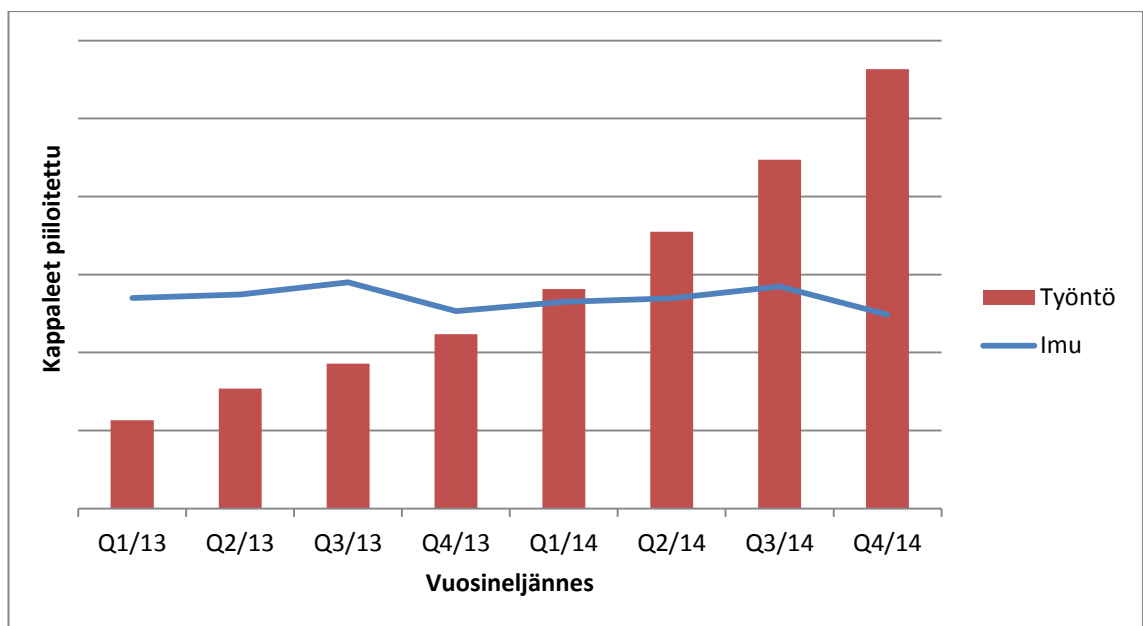
Alla olevassa kuvassa 7.1 on esitetty keskeneräisen tuotannon tulokset kappaleina ja euroina mitattuna vuosilta 2011–2013. Imuohjatussa tuotannossa keskeneräistä tuotantoa (KET) kappaleina oli noin 60 prosenttia enemmän kuin työntöohjauksella toimivassa tuotannossa, euroina mitattuna KET:ä oli kuitenkin vain noin 10-15 prosenttia enemmän.



Kuva 7.1. Puolivalmisteveraston vertailu kappaleina ja euroissa vuosilta 2011-2013

Keskeneräisen tuotannon kehittymisestä vuoden 2013 aikana tehtiin vielä tarkempi tutkimus, jossa mitattiin KET:in muutosta vuosineljänneksittäin. Tulokset on esitetty kuvassa 7.2, josta on kuitenkin jätetty tarkat kappalemäärät pois. Kuvassa Q1/13-Q4/13 on saatu simulaatiomallin avulla ja vuoden 2014 arvot on laskettu havaitun kasvuprosentin avulla. Tuloksista huomattiin, että KET kasvoi työntöohjauksessa keskimäärin noin 26 prosenttia vuosineljänneksien välillä, kun taas imuohjauksessa se pysyi lähes samana, vain noin 2 prosentin lasku oli havaittavissa. Näin ollen, jos työntöohjauksessa keskeneräinen tuotanto kasvaisi lasketulla vakioarvolla, niin sen KET kappaleina mitattuna saavuttaisi imuohjauksen määrät seuraavan vuoden ensimmäisellä vuosineljänneksellä

ja kahden vuoden sisällä se kasvasi kaksinkertaiseksi verrattuna imuohjaukseen. Tämä KET:in kasvu voidaan selittää sillä, että työntöohjaus ei pyri rajoittamaan keskeneräistä tuotantoa samalla tavalla kuin imuohjaus. Imuohjaus estää ylituotantoa, sillä valmistuspulssit välittyvät edellisille työpisteille vasta kun varastosta on kulutettu ennalta määritetty erä valmisventtiileitä tai puolivalmisteita. Työntöohjauksessa vain ensimmäinen työpiste aloittaa valmistuksen aikataulujen mukaisesti. Seuraavat työpisteet aloittavat heti uuden tuotantoerän valmistuksen, kun edellinen työ on saatu päätökseen huolimatta siitä, mikä seuraavien työpisteiden tilanne on. Kohdeyrityksen tuotannon työpisteet eivät myöskään ole tasapainotettu siten, että puolivalmisteet virtaisivat työpisteeltä toiselle heti kun edelliset työt on valmiita. Näin ollen puolivalmisteet siirretään työpisteiden eteen odottamaan vuoroaan, jolloin keskeneräisen tuotannon määrä kasvaa.



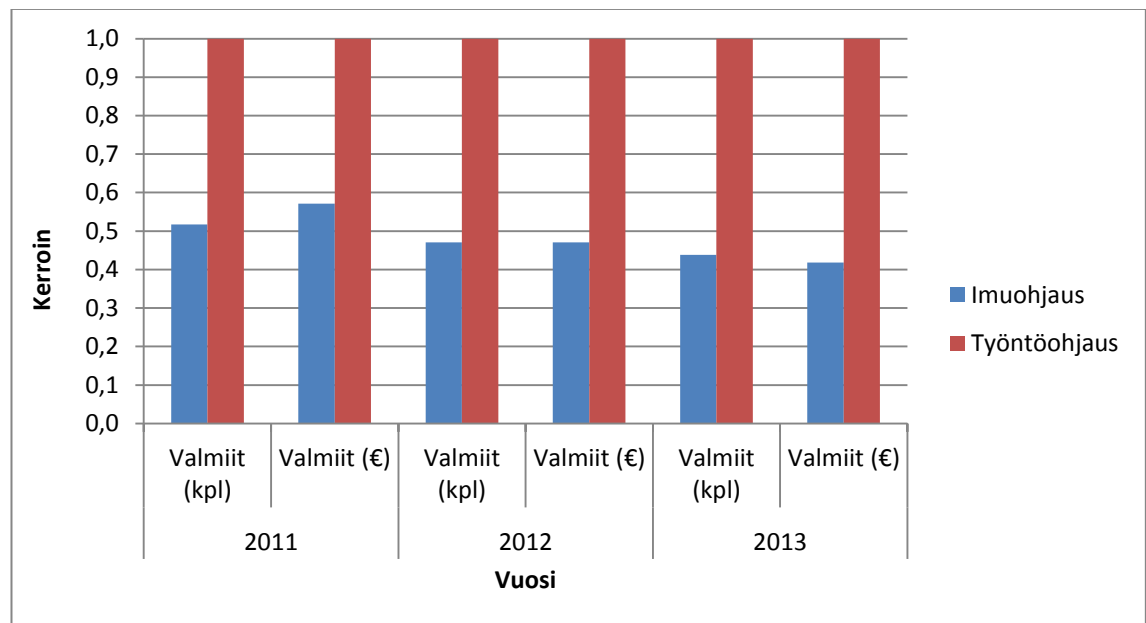
Kuva 7.2. Puolivalmisteverastojen kehitys vuosineljänneksittäin

Simulointimallissa määriteltiin jokaiselle eri venttiilille valmisvaraston lähtökohta, venttiilien määrä vuoden ensimmäisellä viikolla, luvussa 6.1.2 ja 6.2.2 esitettyjen minimimäärien laskennan mukaan. Työntöohjaukselle venttiilien valmisvaraston lähtökohta oli noin kaksi kertaa suurempi kuin mitä imuohjaukselle, sillä varaston täydennysaika työntöohjauksessa on huomattavasti pidempi verrattuna imuohjaukseen, jolloin venttiileitä valmistetaan pienemmissä erissä useammin.

Simulaatioiden perusteella voitiin todeta, että luvussa 6.1.2 esitetty valmisvaraston minimirajojen mitoitus oli imuohjauksen tapauksessa toimiva. Varastolla pystyttiin selvästi pienentämään tuotantoon heijastunutta vaihtelua, jolloin tuotanto pystyi valmistamaan venttiileitä luvussa 6.1.1 esitetyn tasoitettun tuotannon mallin mukaan. Työntöohjauksessa valmisvaraston mitoittaminen todettiin haastavammaksi, sillä tuotannon joustavuus on hyvin minimaalinen. Ensimmäiselle viikolle asetetut valmisvaraston arvot oli-

vat monille venttiileille liian suuret vuonna 2013, mutta vuonna 2012 ja 2011 muutamia venttiileitä olisi tarvittu enemmän. Vuonna 2012 16 venttiiliä olisi jäänyt toimittamatta ja vuonna 2011 15 venttiiliä olisi jäänyt toimittamatta. Työntöohjauksen työjonoa jouduttiin myös muokkaamaan muutama otteeseen eli töitä jouduttiin aikaistamaan, jotta venttiilit saatiin valmistettua tilauksille. Työntöohjauksessa työjonojen muokkaaminen aiheuttaa aina keskeneräisen tuotannon kasvun.

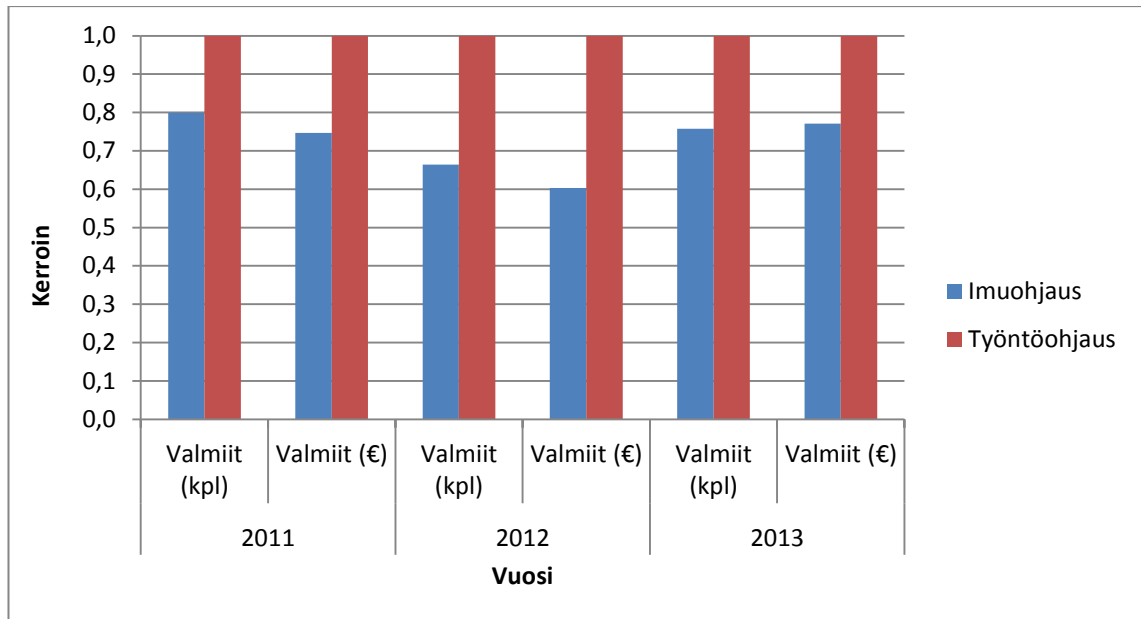
Alla olevassa kuvassa 7.3 on esitetty valmisvaraston keskimääräiset kappalemäärät ja arvot vuosina 2011–2013, kun minimivaraston mitoitus toteutettiin 11 viikon täydennysajan perusteella.



Kuva 7.3. Valmisvaraston vertailu kappaleina ja euroissa vuosilta 2011-2013, työntöohjauksen valmisvarasto mitoitettu 11 viikon täydennysajan perusteella

Imuohjauksessa valmisvarasto on keskimäärin noin 50 prosenttia pienempi sekä kappalein että euroina mitattuna, kuin työntöohjauksessa, mikä johtuu pienemmistä eräkooista sekä venttiilien valmistustiheydestä.

Imuohjauksen ja työntöohjauksen väliset erot valmisvarastossa olivat niin suuret, että valmisvarastoa päädyttiin tarkastelemaan vielä toisella lähestymistavalla, jotta tuloksia voitiin pitää arviointikelpoisina. Ensimmäisen viikon valmisvarasto päätettiin mitoittaa työntöohjauksen tapauksessa siten, että valmisvarasto kävisi vuoden jonakin viikkona nollassa eli tyhjentyisi täysin. Jokaisen venttiilin osalta valmisvarastoa olisi siis juuri oikea määrä ja tätä pienemmät varastot aiheuttaisivat palvelutason heikkenemisen eikä jokaista tilausta pystyittäisi toimittamaan. Tämän tarkastelun tulokset on esitetty alla olevassa kuvassa 7.4.



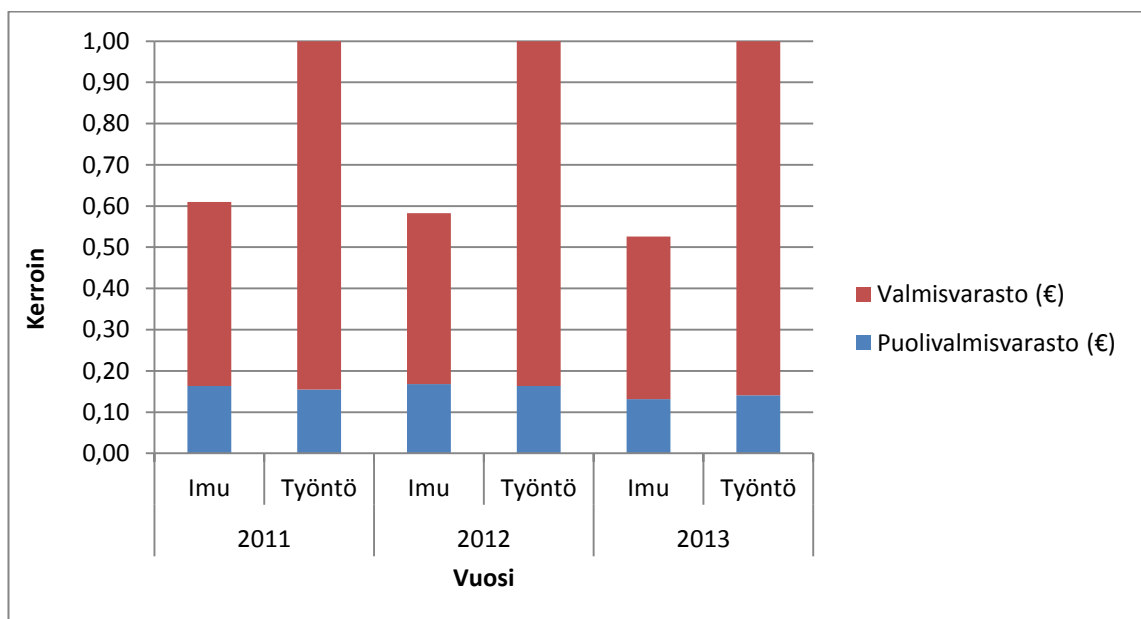
Kuva 7.4. Valmisvaraston vertailu kappaleina ja euroissa vuosilta 2011-2013, työntöohjauksen valmisvarasto mitoitettu riiton mukaan

Tuloksista voidaan edelleen todeta työntöohjauksen suuremmat valmisvarastot verrattuna imuohjaukseen. Tällä kertaa valmisvarastojen erot pienentyivät, mutta edelleen imuohjauksen valmisvarastot euroina mitattuina olivat 20–30 prosenttia pienemmät. Tämän tyylinen valmisvaraston mitoitus on kuitenkin mahdotonta, koska todellisuudessa venttiilien kulutusta ei voida mitenkään tarkasti ennustaa ja valmisvarastossa joudutaan pitämään puskurivarastoa vaihtelevan kulutuksen myötä.

Työntöohjaus pienentää tuotannon joustavuutta merkittävästi. Työpisteiden käyttöasteiden korkealla pitäminen aiheuttaa sen, että pahimmassa tapauksessa rungot on valmiiksi kokoonpanohitsattuna kuusi viikkoa aikaisemmin kuin kokoonpano tarvitsisi ne käyttöönsä. Tämä aiheuttaa sen, että työjonojen päivittäminen hankaloituu. Käytännössä työt joudutaan siis suunnittelemaan yli kuukauden etukäteen ja töiden muokkaaminen tämän jälkeen aiheuttaa keskeneräisen tuotannon kasvun. Työjonoja päivittämällä valmisvarastoa saataisiin laskettua, mutta tämä aiheuttaisi keskeneräisen tuotannon räjähdysmäisen kasvun. Venttiilien kulutusta on myös vaikea ennustaa varsinkin sesongille ja näin ollen venttiilierien poistaminen työjonolta on riski ja saattaa aiheuttaa sen, että varastot loppuvat kokonaan eikä asiakasta pystytä palvelemaan. Käytännössä työjonojen päivittäminen itsessään vaatii valmisvarastoa enemmän.

7.2 Simuloinnin yhteenveto ja tuotannonohjausmallin valinta

Työntöohjauksen ongelmaksi kohdeyrityksen tapauksessa muodostuvat vaihtelevat kulutukset, joita joudutaan kompensoimaan suurilla valmisvarastoilla. Ennalta laadittujen suunnitelmien mukaan toimiva tuotannonohjausmalli pienentää tuotannon joustavuutta, jota kohdeyrityksen markkinat vaativat. Suunnitelmat eivät aina täysin vastaa todellisuutta ja työntöohjauksen tapauksessa näiden suunnitelmien muokkaaminen muodostaa helposti välivarastoja eli keskeneräistä tuotantoa työvaiheiden eteen. Aikaisemmat tulokset keskeneräisestä tuotannosta ja valmisvarastoista luvussa 7.1 oli muodostettu siten, että työntöohjauksen työjonoon tehtiin muutoksia vain jos tilaukset jäivät toimittamatta. Nyt alla olevassa kuvassa 7.5 on esitetty vertailu kokonaisuutena siten, että työntöohjauksesta on kokoonpanolta poistettua muutamia töitä, jos valmisvarasto näyttää kasvavan liian suureksi. Nämä työt on kuitenkin aina ehditty jo aloittaa eli työnnetty tuotantoon ja näin ollen töiden keskeytys aiheuttaa välittömästi puolivalmisvarastojen kasvun. Muutamilla töiden muokkauksilla keskeneräinen tuotanto kasvoi samansuuruisiksi kuin imuohjauksessa valmisvarastojen silti pysyessä korkealla.



Kuva 7.5. Imu- ja työntöohjauksen vertailujen kokonaistulokset

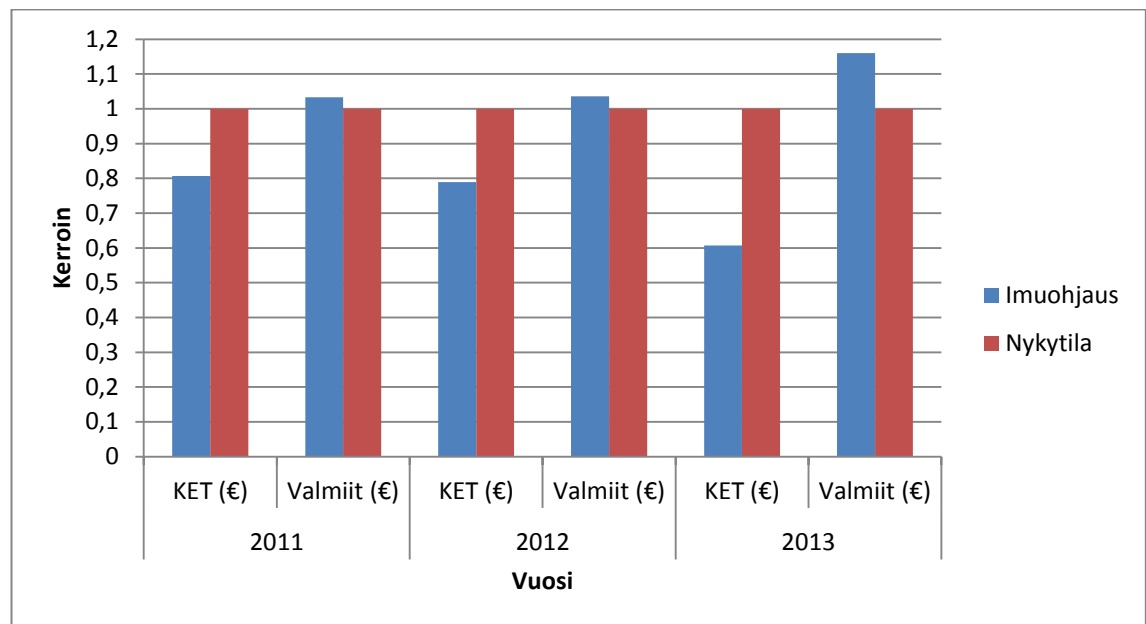
Tulokset yllä olevassa kuvassa on esitetty siten, että imuohjausta on verrattu työntöohjaukseen, joten kuvasta voimme selkeästi nähdä, että imuohjauksessa yhteenlasketut varastot ovat 40–50 prosenttia pienemmät kuin työntöohjauksessa.

Imuohjauksessa tuotanto valmistaa vain tarpeeseen ja keskeneräinen tuotanto on rajoitettu ennalta määritettyjen puskurivarastojen avulla. Työntöohjauksessa tuotanto pyrkii maksimoimaan työpisteiden käyttöastetta ja valmistus ei ole millään tavalla riippuvai-

nen seuraavien työvaiheiden tilanteesta. Tästä johtuen keskeneräinen tuotanto kasvaa ja työjonojen muokkaaminen ilman KET:in räjähdysmäistä kasvua on käytännössä mahdotonta. Vuosien 2011 ja 2012 simulointi osoitti, että työntöohjauksella venttiileitä olisi jäänyt toimittamatta tuotannon huonon joustavuuden takia. Kohdeyrityksen tapauksessa valitettavasti asiakas ei aina tilaa sitä venttiiliä, johon tuotanto on varautunut ja näin ollen asiakasta ei aina pystytä palvelemaan.

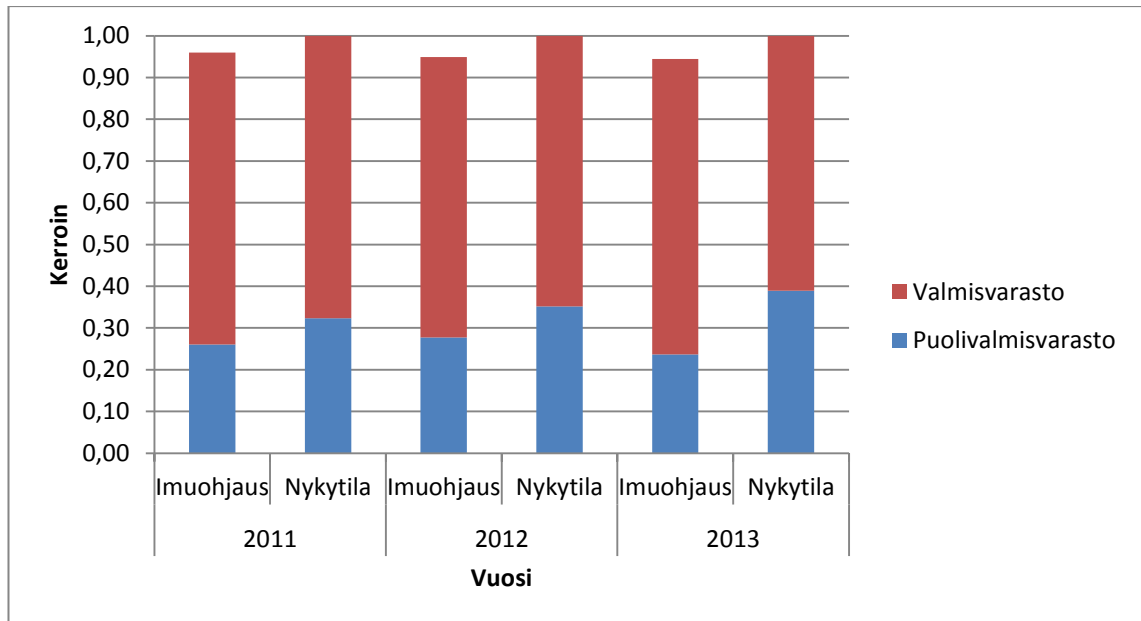
Imuohjauksessa venttiilien valmisvarasto pystytään pitämään maltillisella tasolla ja yllättävät kysyntäpiikit pystytään valmistamaan tuotannon oikein mitoitettujen puskurivarastojen avulla. Mitoitettu järjestelmä ei kuinkaan mukaudu jokaiseen tilanteeseen vaan kysynnän muuttuessa järjestelmää tulee päivittää ja puskurivarastoja mitoittaa uudelleen. Tämä voidaan kuitenkin toteuttaa yksinkertaisesti lava eli kortti määriä muuttamalla. Simuloinnit ja niiden tulokset osoittavat selvästi, että kohdeyrityksen tuotannolle imuohjaus on toimivampi tuotannonohjausmalli.

Ennen imuohjauksen viemistä käytäntöön, uutta toiminnanohjausmallia vertailtiin vielä nykytilaan. Alla olevassa kuvassa 7.6 on esitetty varastojen vertailu imuohjauksen ja nykytilan välillä. Vertailu on tehty vuosille 2011–2013. Tulokset on esitetty alla olevassa kuvassa siten, että imuohjausta on verrattu nykytilaan.



Kuva 7.6. Imuohjauksen ja nykytilan vertailu, puolivalmisteet ja valmiit venttiilit erikseen esitettynä

Puolivalmistevarastot on imuohjauksella saatu laskettua 20-40 prosenttia ja valmisvarastoa kasvatettua 5-15 prosenttia. Seuraavassa kuvassa 7.7 on esitetty vielä varastojen kokonaistilannetta.



Kuva 7.7. Imuohjauksen ja nykytilan vertailu kokonaisuutena

Vaikka valmisvarasto on imuohjauksen tapauksessa kasvanut, niin kokonaistilannetta vertaillen nähdään noin 5 prosentin säästöt nykytilaan verrattuna. Valmisvaraston kasvulla parannetaan yrityksen palvelutasoa ja tämän merkitystä ei diplomityön puitteissa pystytä arvioimaan. Yhdeksi työn tavoitteeksi asetettiin venttiilien toimitusajan lyhentäminen ja pelkästään valmisvaraston pienellä kasvulla mahdollistetaan tämä. Lyhyemmällä toimitusajalla yritys pystyisi myymään enemmän venttiileitä.

Suuremmalla valmisvarastolla pienennetään tuotantoon heijastunutta vaihtelua, kuten tässä työssä on monesti todettu. Vaihtelun pienentäminen mahdollistaa realistisempien suunnitelmien tekemisen tuotantoon ja näin ollen ostokomponenttien puskuritasoja voitaisiin pienentää. Ostokomponentit jätettiin kuitenkin tästä työstä pois, joten lopuksi voidaan vain todeta tuon 5 prosentin säästön olevan vasta pieni alku kohdeyrityksen valmistukselle.

8 TUOTANNONOHJAUKSEN JATKOKEHITYS

Diplomityön päätavoitteena oli venttiilivalmistuksen tuotannonohjauksen kehittämismahdollisuuksien tutkiminen imu- ja työntöohjausta vertailemalla. Simulaatiomallin avulla saatujen tulosten perusteella oli helppo tehdä ratkaisu imuohjauksen viemisestä tuotantoon. Tulokset tuotannonohjausmallien vertailusta saatiin kuitenkin valmiiksi vasta kesän kiireisimpään sesonkiaikaan ja näin ollen diplomityön aikana ei imuohjausta päästy testaamaan käytännössä. Diplomityön aikana havaittuihin tuotannonohjauksen kokonaissuunnittelun puutteisiin saatiin kuitenkin toteutettua kehitystoimenpiteitä. Menekkiennusteiden muodostaminen siirrettiin diplomityön aikana myynnille, jolla on organisaatiossa tarkin tieto asiakaskunnasta ja heidän tulevista tarpeistaan. Tuotanto on kuitenkin osallistunut edelleen ennusteiden muodostamiseen, sillä heillä on käytännönläheinen ja historiaan perustuva näkemys ennusteiden muodostamisesta. Menekkiennusteiden avulla tuotanto on pystynyt paremmin suunnittelemaan kapasiteettiaan ja tämän johdosta muun muassa venttiilien kokoonpano on ensimmäistä kertaa siirretty kahteen vuoroon yhden vuoron sijasta. Ennusteiden avulla tuotanto on myös määrittänyt valmistusvarastolleen minimi- ja maksimirajat, joiden perusteella on pystytty tarkemmin suunnittelemaan valmistettavia kokonaismääriä sekä ohjaamaan päivittäistä valmistusta tarkemmin kohti asiakkaiden kysyntää.

Hienosuunnitteluun on venttiilien kokoonpanon osalta, jonka todettiin olevan valmistuksen pullonkaula, otettu käyttöön ohjaustaulu, johon tehdaspäällikkö täyttää joka maanantaina viikon valmistettavat venttiilit ja niiden määrät. Ohjaustaulua varten on kehitetty yksinkertainen kapasiteetilaskuri, jonka avulla ohjaustaulun viikko-ohjelma voidaan toteuttaa päiväkohtaisena tuotanto-ohjelmana. Valmistettavien venttiilityyppien ja -määrien lisäksi kokoonpanijat kommentoivat tauluun tuotannossa esiintyviä ongelmia. Ongelmat pystytään taulun avulla tuomaan paremmin esille, jolloin niihin reagoiminen nopeutuu.

Nykyiset varastot ovat piilottaneet monia tuotannon ongelmia. Kun keskeneräinen tuotanto mitoitetaan tarkkaan kulutuksen mukaan niin mahdolliset laatuongelmat ja tuotannonhäiriöt pahimmassa tapauksessa pysäyttävät tuotannon ja näin ollen vaativat nopeita toimenpiteitä yrityksen organisaatiolta. Ennen imuohjauksen käyttöönottoa yrityksen tulisi miettiä, miten näihin häiriöihin reagoidaan. Laadun varmistaminen ja kehittäminen on tärkeä osa imuohjausta ja vaatii kohdeyrityksen kulttuuriin muutosta.

Imuohjaus toimii ennalta määritettyjen eräkokojen ja puskurivarastojen mukaan, jotka tässä työssä on mitoitettu vuosien 2011-2013 venttiilien kulutuksen perusteella. Vaihte-

levat kulutukset vaativat kuitenkin järjestelmän päivittämistä toiminnan jatkuvuuden kannalta ja näin ollen ennen tuotantoon viemistä puolivalmisvaraston puskuritasot on mitoitettava uudestaan ottamalla huomioon vuoden 2014 kulutus. Järjestelmän käyttöönoton jälkeen puskurivarastotasojen tarkastelua ja uudelleen mitoitusta on tehtävä useamman kerran vuodessa.

Diplomityössä raaka-aineiden ja tarvikkeiden varasto rajattiin pois sillä ajatuksella, että tuotannolla on aina käytettävissä tarvittavat komponentit. Käytännössä imuohjauksen toteuttaminen vaatii kuitenkin näiden varastojen ja ostoprosessien kehittämisen. Materiaalienohjaus päätettiin yrityksessä toteuttaa myös imuohjauksella ja kesän aikana venttiilien kokoonpanon osille saatiin toteutettua kanban-järjestelmä, jota on syksyn aikana laajennettu myös muille venttiilien osille.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän diplomityön tarkoituksena oli tutkia yhden kohdeyrityksen venttiiliperheen tuotannonohjausta ja sen kehittämismahdollisuuksia. Venttiiliperheen kysyntä on kasvanut rajusti viime vuosina ja kysynnän odotetaan jatkavan kasvua myös seuraavina vuosina. Tämän hetkinen venttiilien operatiivinen toiminnanohjaus on toteutettu samalla tavalla kuin yrityksen muiden tuotteiden, jotka kuitenkin poikkeavat merkittävästi valmistusprosessin, volyymin ja asiakkaiden toimitusaikavaatimusten osalta. Keskeisin tavoite tässä työssä oli vakioidun ohjaustavan kehittäminen imu- ja työntöohjausta vertaamalla. Asiakkaiden palvelutasolle asetettiin maksimissaan kolmen viikon toimitusaika tavoite. Puolivalmiste- ja valmisvarastolle ei asetettu varastoarvojen vähentämistavoitteita, mutta varastot haluttiin saada hallintaan siten, että varastossa olevat komponentit ja valmi tuotteet vastaisivat asiakkaiden kysyntää.

Yrityksen markkinat asettavat tuotannolle suurimmat haasteet. Venttiilien suurin kulu- tus ajoittuu kesälle, jolloin asiakkaat rakentavat ja huoltavat kaukolämpölinjoja. Huhti- kuusta syyskuun loppuun ajoittuvan sesongin aikana yritys myy lähes 80 prosenttia venttiileistä, joten talvella kulutus jää hyvin pieneksi. Markkinoiden haastavuutta lisää sesongin ajankohta ja volyymien vaihtelu, sillä toisinaan sesonki painottuu alkukesään ja toisinaan taas loppukesään.

Vaihtelu on tuotannon pahin vihollinen ja kohdeyrityksen tapauksessa se tarkoittaa yli- määräisiä varastoja, ylimääräistä kapasiteettia ja palvelutason vaihtelua toimitusaikojen muodossa. Vakioidulla tuotannonohjaustavalla mahdollistetaan tilaustoimitusprosessin eri toimintojen suunnittelu ja hallinta ja näin ollen vaihtelun pienentäminen. Kohdeyri- tyksessä vakioitujen toimintatapojen kehittäminen tulisi yltää aina johtoon saakka, jonka tehtävänä on yhtenäistää tuotanto yrityksen muiden osa-alueiden kanssa. Tämä diplomiti- työ keskittyi valmistuksen ohjauksen kehittämiseen ja vertailukohteiksi otettiin työntö- ja imuohjaus, jotka eroavat toisistaan valmistusimpulssin myötä. Työntöohjauksessa valmistusimpulssi tulee tuotantojärjestelmän ulkopuolelta ennalta luotujen aikataulujen perusteella, kun taas imuohjauksessa valmistusimpulssi saadaan suoraan tuotantojärjes- telmän sisäältä. Imuohjauksessa valmistuksen määräävät prosessien jälkeen olevan varas- ton määrät.

Työntöohjauksella venttiileitä joudutaan valmistamaan isompia tuotantoeriä, mistä joh- tuen venttiilien valmistusajat pitenevät ja tuotannon joustavuus heikkenee. Valmistuk- sen aikataulut vaatisi tarkkoja menekkiennusteita, joita tuotannolla ei tällä hetkellä

ole. Markkinoiden ennustaminen voimakkaan sesongin myötä on haastavaa ja työntöohjauksen vaatimien tarkkojen ennusteiden luominen käytännössä mahdotonta. Vaihteleva kulutus ja pitkät valmistusajat edellyttävät suuria valmisvarastoja, jotka työntöohjauksessa kasvavat noin 40-50 prosenttia suuremmiksi kuin imuohjauksessa. Imuohjaus mahdollistaa pienien sarjojen valmistamisen lyhyillä toimitusajoilla ja näin ollen valmisvarasto on merkittävästi pienempi kuin työntöohjauksessa. Imuohjauksessa puolivalmisteverastot ovat tarkkaan mitoitettu venttiilien kulutuksen mukaan eikä keskenäinen tuotanto pääse kasvamaan yli määritetyn maksimirajan. Työntöohjauksessa keskenäistä tuotantoa ei ole mitoitettu mitenkään, joten pienetkin tuotannonhäiriöt ja kohdeyrityksen tuotannon epätasapaino aiheuttavat keskenäisen työn kasvun. Työssä havaittiin, että jo yhden vuoden työntöohjauksen käytön jälkeen keskenäinen tuotanto olisi suurempi kuin imuohjauksessa.

Imuohjauksen joustavuus pienentää puolivalmis- ja valmisvarastoja kokonaisuudessaan noin 40-50 prosenttia työntöohjaukseen verrattuna ja mahdollistaa yrityksen asettaman kolmen viikon maksimi toimitusaikatavoitteen. Pienellä kulutuksen mukaan mitoitetulla valmisvarastolla pienennetään markkinoista tuotantoon heijastunutta vaihtelua ja mahdollistetaan venttiilien tasainen valmistus läpi vuoden. Tasaisella valmistuksella yritys pystyy puolivalmis- ja valmisvarastojen lisäksi pienentämään raaka-aine varastojaan, joissa tähän mennessä on pidetty suuria puskureita tuotannon vaihtelevuuden takia.

Tuotannon nykyisiin puolivalmis- ja valmisvarastoihin verrattuna imuohjauksella mahdollistetaan noin 5 prosentin säästöt. Puolivalmisteverastot saadaan imuohjauksella laskettua noin 20-40 prosenttia ja samaan aikaan valmisvarastoa kasvatettua noin 5-15 prosenttia. Valmisvaraston kasvulla parannetaan yrityksen palvelutasoa ja mahdollistetaan toimitusaikojen lyhentäminen. Suuremmalla valmisvarastolla pienennetään myös tuotantoon heijastunutta vaihtelua, joka mahdollistaa realistisempien suunnitelmien teon ja ostokomponenttien puskuritasojen laskemisen.

LÄHTEET

Benton W., Shin H., 1998, Manufacturing planning and control: The evolution of MRP and JIT integration, *European Journal of Operational Research* 110 (1998), pp. 411-440

Bonney M., Zhang Z., Head M., Tien C., Barson R., 1999, Are push and pull systems really so different?, *International Journal of Production Economics*, 59 (1999), pp. 53-64

Bonvik A., Couch C., Gershwin S., 2010, A comparison of production-line control mechanisms, *International Journal of Research* 35(2010)3, pp. 789-804

Dolcemascolo D., 2006, *Improving the Extended Value Stream: Lean for the Entire Supply Chain*, Productivity Press, 224

Eloranta E., Räisänen J., 1986, *Ohjattavuusanalyysi – Tutkimus tuotannon ja sen ohjauksen kehittämistä Suomessa*, 223

Haverila M., Uusi-Rauva E., Kouri I., Miettinen A., 2009, *Teollisuustalous*, Tampere, Infacs Oy, 509

Hallgren M., Olhager J., 2006, Differentiating Manufacturing Focus, *International Journal of Production Research*, Vol. 44, Iss. 18-19

Hopp W., Spearman M., 2000, *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*, Second Edition, New York, Irwin/McGraw-Hill, 698

Kouri I., 2013, Kilpailukykyinen tuotannonohjaus menestyksen perustana 26.-27.11.2013 –koulutuksen materiaali, [viitattu 22.12.2013]

Lapinleimu I., 2000, *Ideaalitehdas: tehtaan suunnittelun teorian kiteytys*, Tampereen teknillinen korkeakoulu, 197

Lapinleimu I., Kauppinen V., Torvinen S., 1997, *Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät*, WSOY, 398

Liker J., 2004, *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, McGraw-Hill Professional, 330

Liker J., Meier D., 2006, *The Toyota Way Fieldbook: A Practical Guide for Implementing Toyota's 4P's*, McGraw-Hill Professional, 476

Monden Y., 2012, *Toyota Production System – An Integrated Approach to Just-in-Time*, Fourth Edition, CRC Press, Boca Raton, 566

Olhager, J. 2003, Strategic positioning of the order penetration point, *International journal of production economics*, Vol. 2003, no. 85, s. 319–329.

Productivity Press Development Team, 2002, *Kanban for the Shopfloor*, Productivity Press, 120

Rother M., Shook J., 1999, *Learning to see: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*, Learning Enterprise Institute, 102

Sayer N., Williams B., 2007, *Lean for Dummies*, Hoboken, Wiley Publishing, Inc., 384

Sipper D., Bulfin R. Jr., 1998, *Production: Planning, Control and Integration*, Singapore, McGraw-Hill, 630

Slack N., Chambers S., Johnston R., 2007, *Operations Management*, Fifth Edition, Pearson Education, 728

Smalley A., 2009, *Creating Level Pull*, Lean Enterprise Institute, 114

Spearman M., Zazanis M., 1990, Push and Pull Production Systems: Issues and Comparisons, *Operations Research*, 40(1992)3, pp. 521-532

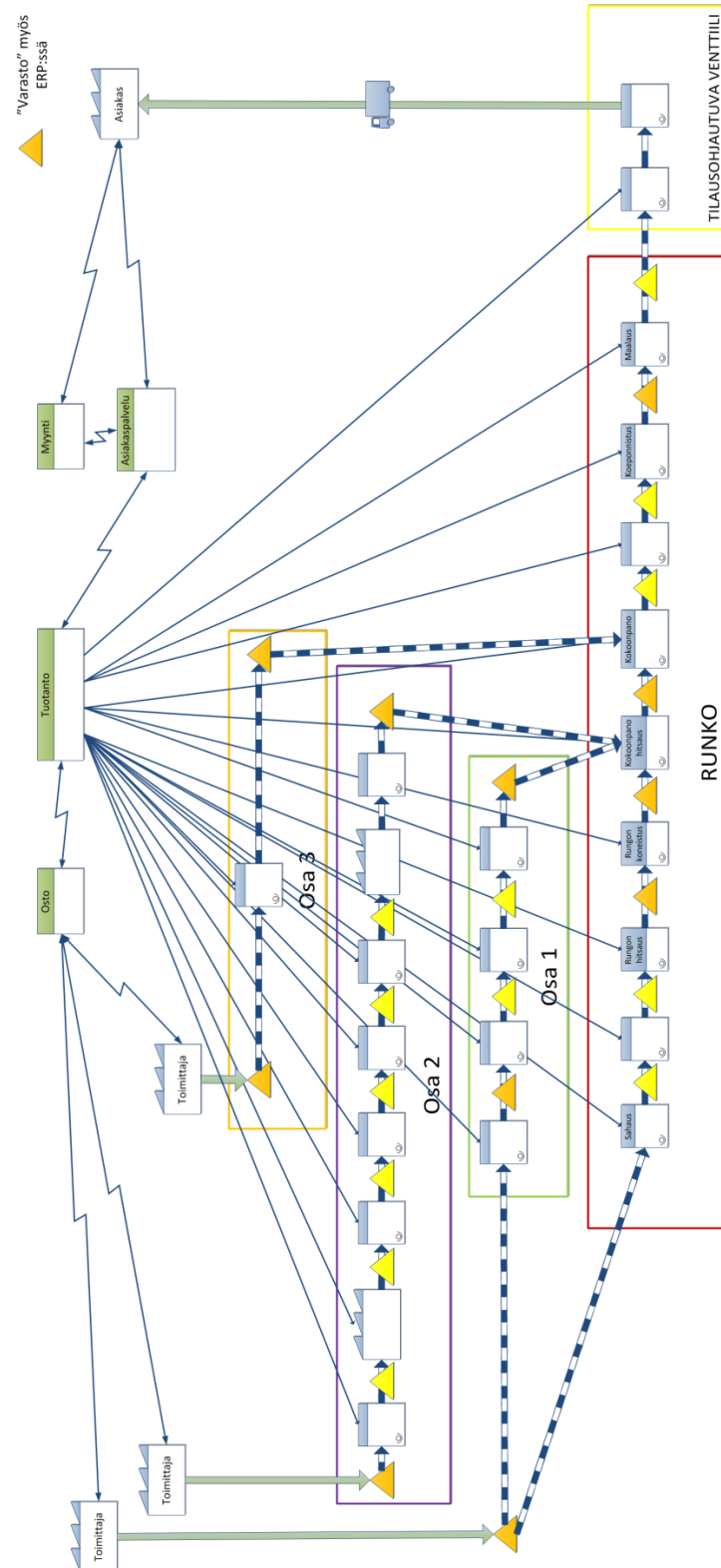
Stevenson W., 2011, *Operations Management*, 11th Edition, McGraw-Hill, 944

Vollman T., Berry W., Whybark D., Jacobs F., 2005, *Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management*, New York, Irwin/McGraw-Hill, 712

Ward P., Duray R., 2000, Manufacturing strategy in context: environment, competitive strategy and manufacturing strategy, *Journal of Operations Management* 18(2000)2 , pp. 123-138

Womack J., Jones D., 1996, *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*, Great Britain, Simon & Schuster UK Ltd, 350

LIITE 1: NYKYTILAN ARVOVIRTAKUVAUS



LIITE 2: IMUOHJAUKSEN ARVOVIRTAKUVAUS

