

LAPPEENRANNAN – LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
LUT Konetekniikka

Petteri Suhonen

**OHUTSEINÄMÄISTEN PUTKITUOTTEIDEN VALMISTUKSEN
AUTOMATISOINNIN VAIKUTUKSET TUOTANNON OHJAUKSEEN**

Tarkastajat: Professori Juha Varis
DI Mikko Pölkki

Ohjaaja: DI Mikko Pölkki

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan – Lahden teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
LUT Konetekniikka

Petteri Suhonen

Ohutseinämäisten putkituotteiden valmistuksen automatisoinnin vaikutukset tuotannon ohjaukseen

Diplomityö

2020

80 sivua, 25 kuvaa ja 1 taulukko

Tarkastajat: Professori Juha Varis
DI Mikko Pölkki

Hakusanat: JIT, Lean, ToC, toiminnan johtaminen, tuotannon ohjaus

Tämä tutkimus on toteutettu yhteistyössä metallituotteita valmistavan yrityksen kanssa. Tutkimuksen kohdeyritys valmistaa kaikki tuotteensa tilaustyönä asiakkaan tarpeen mukaisesti. Kohdeyrityksen tavoitteena on lisätä automaatioastetta ohutseinämäisten putkituotteiden valmistuksessa, minkä vuoksi suunnitelmissa on investoida hitsausrobotisoluun.

Kohdeyrityksen tilanne huomioiden tämän tutkimuksen tavoite on selvittää tuotannon ohjauksen nykytila ohutseinämäisten putkituotteiden valmistuksen osalta sekä esittää kehitysehdotuksia tarvittavista muutoksista tuotannon ohjaukseen hitsausrobotisolun käyttöönoton yhteydessä. Tutkimus koostuu kahdesta osasta, jotka ovat kirjallisuuskatsaus sekä empiirinen osuus. Kirjallisuuskatsauksessa käsitellään erityisesti tuotannon ohjausta, mutta myös toiminnan johtamiseen ja toiminnan ohjaamiseen liittyviä asioita. Empiirinen osuus puolestaan koostuu haastatteluista sekä mittauskokeista.

Tulosten perusteella kohdeyrityksen tuotannon ohjaus ohutseinämäisten putkituotteiden valmistuksessa on nykyisellään toimiva. Investoitava hitsausrobotisolu tulee kuitenkin vaikuttamaan niin valmistuksen ohjaukseen kuin materiaalivirtoihinkin. Kohdeyrityksen tuotannon ohjauksen toimivuuden vuoksi, esitetyt kehitysehdotukset perustuvat mahdollisimman pieniin muutoksiin. Tällä varmistetaan, ettei tuotannon ohjausta muuteta liikaa ja sitä kautta sen toimivuutta heikennetä.

Tutkimuksessa on myös esitetty ehdotuksia, miten hitsausrobotisolun käyttämisestä saataisiin mahdollisimman tehokasta. Näissäkin ehdotuksissa pääpaino on pienissä muutoksissa, jotka eivät aiheuta lisäkustannuksia. Tulosten perusteella on kuitenkin mahdollista, että hitsausrobotisolun tehokas hyödyntäminen jatkossa vaatii lisäinvestointeja joko työvoimaan tai laitteisiin.

ABSTRACT

Lappeenranta – Lahti University of Technology
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Petteri Suhonen

Automatization of production of thin-walled pipe products and its impacts to the production control

Master's thesis

2020

80 pages, 25 figures and 1 table

Examiners: Professor Juha Varis
M. Sc. (Tech.) Mikko Pölkki

Keywords: JIT, Lean, production control, production management, ToC

This research has been carried out in collaboration with a company that manufactures metal products. The company manufactures all its products based on the needs of customers. The company aims to increase the degree of automation in the production line of thin-walled pipe products and therefore the company have plans to invest in a welding robot cell.

Considering the situation of the company, the goal of this research is to find out how the production control is carried out now in production line of thin-walled pipe products. Other goal is to present development ideas about the things that needs to be changed in production control after welding robot cell has been implemented to the production line. This research consists of two parts, which are the literature review and the empirical part. The literature review mainly discusses about production control, but issues related to production management are included also. The empirical part consists of interviews and measurement tests.

Results of the study are that currently there are no significant problems in production control regarding production line of thin-walled pipe products, but the planned investment will have effect on production control. There will be changes in manufacturing control but also in material flow. Because now production control is working efficiently, it is not reasonable to make big changes to production control. That is why suggested development ideas are focusing on small changes so the production control will work efficiently also after implementing the new investment.

The research also presents suggestions on how to use welding robot cell efficiently. Most of the development ideas about efficient use of welding robot cell are based on small changes that do not need investments. However, it is possible that the efficient use of the welding robot cell will require investments in either labor or equipment in the future.

ALKUSANAT

Haluan kiittää kohdeyritystä mahdollisuudesta tehdä tämä diplomityö yhteistyössä heidän kanssaan. Erityiskiitoksen ansaitsevat myös diplomityöni tarkastajat Juha Varis ja Mikko Pölkki. Haluan myös kiittää koko yrityksen henkilöstöä kaikesta saamastani avusta tämän diplomityön läpiviemiseksi.

Viiden vuoden opiskelu-urakka alkaa olemaan paketissa. Näistä viidestä vuodesta mukaan tarttuu toki yksi kappale tutkintoja, mutta sen lisäksi mukaan on tarttunut lukematon määrä unohtumattomia hetkiä ja uusia ystäviä. Haluankin kiittää niin uusia kuin jo pitkään matkassa mukana kulkeneita ystäviäni hienoista hetkistä opiskelujen aikana. Yhteinen ajanvietto on tarjonnut täydellisen vastapainon opiskelulle. Kiitokset myös tyttöystävälleni, kun olet ollut vierellä tsemppaamassa jo useamman vuoden ajan.

Viimeisimpänä, muttei vähäisimpänä, haluan kiittää vanhempiani kaikesta saamastani tuesta läpi opiskeluaikojen ja koko elämäni ajan. Olette aina olleet puskemassa minua elämässä eteenpäin, kiitos siitä.

Petteri Suhonen

Petteri Suhonen

Lappeenrannassa 11.5.2020

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO	8
1.1	Kohdeyrityksen tilanne	9
1.2	Tutkimuksen tavoite	9
1.3	Tutkimuskysymykset	10
1.4	Tutkimusmenetelmät	10
1.5	Tutkimuksen rajaus	11
1.6	Tutkimuksen eteneminen ja aikataulu	11
2	TOIMINNAN JOHTAMINEN	13
2.1	Tuotantoprosessi	14
2.2	Tuottavuus, tehokkuus, kannattavuus ja tehollisuus.....	15
2.3	Valmistavan yrityksen kilpailutekijät ja tuotantotavoitteet	16
2.4	Eri tuotantomuodot	20
2.5	Laatujohtaminen osana toiminnan johtamisesta	21
2.5.1	Laatukustannukset	22
2.5.2	Laadunvalvonnan työkalut.....	23
3	TOIMINNAN OHJAUS	28
3.1	Toiminnan ohjaukseen liittyvää käsitteistöä.....	28
3.2	Toiminnan ohjauksen tehtävät ja tavoitteet	30
3.3	Toiminnanohjausprosessi.....	32
3.3.1	Kokonaissuunnittelu	34
3.3.2	Karkeasuunnittelu	35
3.3.3	Hienosuunnittelu	36
3.3.4	Valmistuksen ohjaus	40
3.4	Tuotannon ohjauksen muodot ja eri toimintamallit.....	44
3.4.1	Just in Time.....	47
3.4.2	Theory of Constraints	48

4	LEAN-TOIMINTAMALLI	53
4.1	Lean-toimintamallin viisi periaatetta.....	53
4.2	Hukan lähteet	55
5	TAUSTASELVITYS KOHDEYRITYKSEN TUOTANNON OHJAUKSESTA	58
5.1	Tutkimusmenetelmät ja niiden tavoitteet.....	58
5.2	Tuotannon ohjaus ohutseinämäisten putkituotteiden valmistuksessa.....	59
5.2.1	Työmääräimien tekeminen ja niiden liike tuotannon läpi	59
5.2.2	Työvaiheiden etenemisen seuranta	62
5.2.3	Materiaalivirrat ohutseinämäisten putkituotteiden valmistuksessa	63
5.3	Kapasiteetin määrittäminen hitsausta edeltävillä työvaiheilla	64
5.4	Yhteenveto tuotannon ohjauksen nykytilasta	65
6	TARVITTAVAT MUUTOKSET TUOTANNON OHJAUKSESSA	67
6.1	Muutokset valmistustoiminnan ohjauksessa.....	68
6.2	Muutokset materiaalien virtauksessa	70
6.3	Robottisolun tehokas hyödyntäminen.....	72
7	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	76
	LÄHTEET	78

LYHENNELUETTELO

<i>DBR</i>	Drum-Buffer-Rope
<i>FCFS</i>	First Come, First Served
<i>FIFO</i>	First In, First Out
<i>JIT</i>	Just in Time (suom. JOT, Juuri Oikeaan Tarpeeseen)
<i>KET</i>	Keskeneräinen tuotanto
<i>MRP</i>	Materials Requirements Planning (suom. materiaalitovelaskenta)
<i>ToC</i>	Theory of Constraints (suom. resurssikapeikkoajattelu)

1 JOHDANTO

Nykypäivänä valmistavat metalliteollisuuden yritykset toimivat erittäin kilpaillussa ja haastavassa toimintaympäristössä. Tämä on seurausta edelleen kasvavista globaaleista markkinoista sekä asiakkaiden kasvaneista laatuvaatimuksista. Lisäksi, vaikka asiakkaat vaativat yhä parempaa laatua, odottavat he yhä alhaisempia hintoja. Tähän kaksijakoiseen ongelmaan valmistavan yrityksen pitäisi pystyä liiketoiminnallaan vastaamaan voimakkaan kilpailutilanteen lisäksi (Kalpakjian & Schmid 2010, s. 32). Tämä herättää kysymyksen, mitä keinoja yrityksellä on vastata tähän?

Kalpakjian ja Schmid (2010, s. 32) toteavat teoksessaan, että valmistettavan tuotteen valmistuskustannukset ovat tyypillisesti noin neljäkymmentä prosenttia tuotteen myyntihinnasta. Myyntihinta määräytyy yleensä markkinoiden perusteella, mutta valmistuskustannukset eivät, joten yritys pystyy omalla toiminnallaan joko kasvattamaan tai laskemaan valmistuskustannuksiaan. Valmistuskustannuksiin ja laadun tuottamiseen pystytään vaikuttamaan tehokkaalla toiminnan (tuotannon) johtamisella sekä ohjaamisella, ja näihin liittyviin asioihin onkin kiinnitetty paljon huomiota viime vuosien aikana.

Jo vuonna 2010 toiminnan johtamiseen ja ohjaamiseen liittyvät asiat olivat pinnalla. Tämä voidaan todeta sen aikaisista yleisistä valmistuksen trendeistä, jotka tosin ovat ajankohtaisia vielä tänäkin päivänä. Trendejä olivat muun muassa:

- Lean-tuotanto ja informaatioteknologia työkaluina globaaleihin haasteisiin vastaamiseen.
- Joustavien tuotantomenetelmien käyttöönotto helpottamaan mukautumista muuttuviin globaaleihin markkinoihin ja toimitusajoista kiinnipitämiseen.
- Laadun rakentaminen tuotteeseen jokaisessa tuotantovaiheessa.
- Jatkuva pyrkimys tuottavuuden tehostamiseen ja hukkien eliminointiin optimoimalla organisaation resursseja.

(Kalpakjian & Schmid 2010, s. 34-35)

1.1 Kohdeyrityksen tilanne

Tämän tutkimuksen kohdeyritys valmistaa erilaisia metallituotteita ja -rakenteita. Tuotevalikoimaan kuuluu muun muassa ohutseinämäisiä putkituotteita ja tukirakenteita, mitkä räätälöidään aina asiakkaan vaatimuksien mukaisesti tilaustyönä. Tuotteiden ja rakenteiden valmistus tapahtuu sekä automaation että manuaalisen työvoiman avulla. Kokoonpano tapahtuu täysin manuaalisesti osittain omissa ja osittain asiakkaan tuotantotiloissa.

Tällä hetkellä kohdeyritys on automatisoinut muun muassa putkituotteiden leikkauksen sekä taivutuksen, mutta tavaroiden liikuttelu tapahtuu työvoimaa käyttäen. Myös putkituotteiden kokoonpano tapahtuu toistaiseksi käsin hitsaamalla. Yrityksellä on kuitenkin halu laajentaa automaatiota myös putkituotteiden kokoonpanoon, mikä toteutettaisiin investoimalla hitsausrobotti tätä tehtävää varten.

Robottisolun implementointi osaksi tuotantolinjaa aiheuttaa todennäköisesti muutoksia varsinkin putkituotteiden valmistuksen tuotannon ohjaukseen. Tästä syystä yrityksellä on tarve sekä selvittää tuotannon ohjauksen nykytilanne putkituotteiden valmistuksen osalta että miettiä robotin implementoimisen vaikutuksia jo olemassa olevaan tuotannon ohjaustapaan. Lisäksi robottisolun implementointi vaatii layoutin toimivuuden tarkastelua.

1.2 Tutkimuksen tavoite

Kohdeyrityksen tilanteeseen pohjaten, tämän tutkimuksen tavoitteena on

- tehdä taustaselvitys yrityksen tuotannon ohjauksen nykytilanteesta ohutseinämäisten putkituotteiden valmistuksen osalta,
- esittää ehdotuksia tarvittavista muutoksista tuotannon ohjaukseen robottisolun implementoinnin yhteydessä ja
- tehdä muutosehdotuksia layoutiin, mikäli niille on tarvetta.

Taustaselvityksessä selvitetään yrityksen tämänhetkinen tuotannon ohjauksen tilanne ohutseinämäisten putkituotteiden valmistuksen osalta. Taustaselvityksen perusteella pystytään ottamaan kantaa toiseen tavoitteeseen eli selvittämään investoinnin vaatimat muutokset tuotannon ohjaukseen. Viimeisenä tavoitteena on tarkastella yrityksen olemassa olevaa layoutia, ja esittää siihen tarvittavia muutoksia, jotta robottisolu pystytään

implementoimaan tuotantolinjaan niin, että materiaalien virtaus on mahdollisimman tehokas ja sujuva.

1.3 Tutkimuskysymykset

Seuraavat tutkimuskysymykset ovat asetettu kohdeyrityksen tilannetta ja tutkimuksen tavoitteita mukailleen:

- Mitä eroa on toiminnan ja tuotannon ohjauksella?
- Mihin toiminnan ohjaus perustuu?
- Millä keinoilla tuotantoa voidaan ohjata?
- Miten kohdeyrityksessä ohjataan tuotantoa tällä hetkellä?
- Mitkä asiat vaativat muutosta tuotannon ohjauksessa investoinnin käyttöönoton yhteydessä?
- Mitä muutostarpeita uusi investointi aiheuttaa layoutiin?

Kolmeen ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastaamalla saadaan kerättyä tieteellistä tietoa toiminnan ohjauksesta ja tavoista sen toteuttamiseen. Neljäs tutkimuskysymys on asetettu ohjaamaan kohdeyrityksen tuotannon ohjauksen nykytilan selvitystä. Vastaavasti viimeiset kaksi tutkimuskysymystä tulevat vastaamaan mahdollisiin tuotannon ohjauksen ja layoutin muutostarpeisiin.

1.4 Tutkimusmenetelmät

Tässä tutkimuksessa on kaksi eri osaa, kirjallisuuskatsaus ja empiirinen osuus. Kirjallisuuskatsaus sisältää toiminnan johtamisen ja ohjauksen sekä Lean-toimintamallin teoriaa, ja se koostuu kirja-, artikkeli- sekä WWW-lähteistä. Kirjallisuuskatsauksen avulla vastataan kolmeen ensimmäiseen tutkimuskysymykseen.

Tutkimuksen toisessa osassa käytetään empiirisiä menetelmiä. Käytettävät empiiriset menetelmät ovat haastattelu ja mittauskokeet. Haastatteluiden avulla etsitään vastauksia tuotannon ohjauksen nykytilanteeseen ja sen muutostarpeisiin. Haastattelut toteutetaan vapaamuotoisina keskusteluina ja haastateltavina toimivat kohdeyrityksen tuotannon toimihenkilöt sekä työntekijät. Mittauskokeilla tutkitaan hitsausvaihetta edeltävien toimintojen, leikkauksen ja taivutuksen, kapasiteetteja.

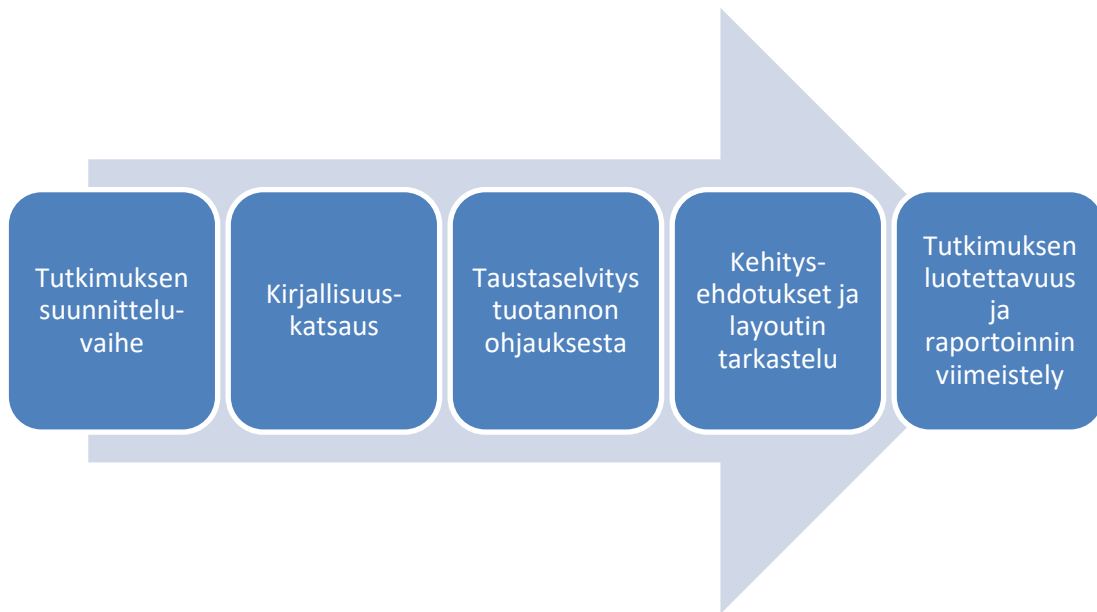
1.5 Tutkimuksen rajaus

Toiminnan johtaminen ja ohjaus ovat käsitteinä hyvin laajoja ja sisältävät monia erilaisia toimintoja esimerkiksi myynnistä itse tuotteen valmistukseen. Tämän tutkimuksen kirjallisuuskatsauksessa toiminnan johtamista ja ohjausta käsitellään osittain kokonaisuutena, mutta pääpaino on valmistusprosessin (tuotannon) johtamisessa ja ohjaamisessa. Lisäksi koko tutkimuksessa toiminnan johtamista ja ohjausta käsitellään vain valmistavan yrityksen näkökulmasta.

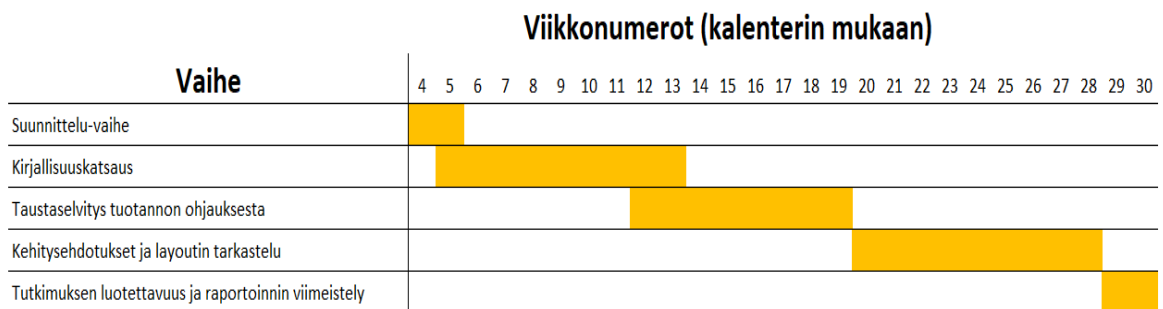
Empiirisen osan yhteydessä keskitytään tuotannon ohjaukseen vain valmistuksen ja materiaalivirtojen osalta. Lisäksi kohdeyrityksen tuotannon ohjauksen nykytilaa selvitetessä keskitytään vain ohutseinämäisten putkituotteiden valmistukseen, koska robotisolun hankinta vaikuttaa suorasti vain tämän tuotantolinjan toimintaan.

1.6 Tutkimuksen eteneminen ja aikataulu

Tutkimus jakaantuu viiteen eri vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe on tutkimuksen suunnitteluvaihe. Tässä vaiheessa määritellään tutkimuksen tavoitteet, tutkimuskysymykset ja -menetelmät sekä tutkimuksen aikataulu. Seuraava vaihe tutkimuksessa on kirjallisuuskatsauksen koostaminen eli ns. teoriaosuus. Kirjallisuuskatsauksen jälkeen on vuorossa kohdeyrityksen tuotannon ohjauksen nykytilan selvitys. Tähän osuuteen sisältyvät haastattelut. Viimeistä edeltävässä vaiheessa kirjallisuuskatsauksen ja taustaselvityksen perusteella yritykselle annetaan kehitysehdotuksia mahdollisista tuotannon ohjauksen ja layoutin muutostarpeista. Tutkimuksen viimeinen vaihe on luotettavuuden tarkastelu ja raportoinnin viimeistely. Kuvassa 1 on esitetty yllä mainitut vaiheet kuvaajan avulla. Lisäksi kuvassa 2 on esitetty tutkimuksen aikataulu GANTT-aulukon muodossa.



Kuva 1. Tutkimuksen vaiheet.



Kuva 2. Aikataulu-suunnitelma GANTT-taulukon avulla esitettynä.

2 TOIMINNAN JOHTAMINEN

Toiminnan ohjaus vai tuotannon ohjaus? Kirjallisuutta tutkiessa voi huomata, että näitä termejä käytetään monesti tarkoittamaan samaa asiaa. Haverilan et al. (2009, s. 397) sekä Martinsuon et al. (2016, s. 139) mukaan näillä kahdella termillä on kuitenkin merkitysero. Heidän mukaansa termi **tuotannon ohjaus** on liian suppea, koska sillä viitataan vain yhden toiminnon ohjaukseen, vaikka yrityksen toiminnan hallinta vaatii myös muiden asioiden ohjausta. Vastaavasti termi **toiminnan ohjaus** sisältää myös muut ohjausta vaativat toiminnot kuten myynnin, jakelun, tuotesuunnittelun ja hankinnan. Myös termeillä **toiminnan johtaminen** ja **tuotannon johtaminen** voidaan katsoa olevan samanlainen merkitysero. Tämä tutkimus mukailee juuri edellä mainittua Haverilan et al. (2009, s. 397) ja Martinsuon et al. (2016, s. 139) määritelmää.

Tässä luvussa käsitellään toiminnan johtamista yleisellä tasolla ja sen lisäksi tuotantoa sekä siihen liittyvää käsitteistöä. Tehokas toiminnan johtaminen on yksi suurimmista tekijöistä yrityksen menestyksen taustalla (Vanichcinchai 2019, s. 2). Toiminnan johtamisen tavoitteena valmistavassa yrityksessä onkin kehittää kilpailukykyä ja pyrkiä toteuttamaan yrityksen strategiaa. Toiminnan johtamisen voidaan katsoa jakautuvan kolmeen eri tasoon,

- strategiset kysymykset,
- tuotantojärjestelmien sekä tukisysteemien kehittäminen ja
- **toiminnan ohjaus.**

(Haverila et al. 2009, s. 349)

Strategiset kysymykset koskevat muun muassa tavoitteiden määrittystä, päätöksiä uusista tuotantolaitoksista ja niiden sijainneista tai kapasiteetin määrittelyä. Aikajänne strategisilla päätöksillä on huomattavan pitkä, mikä selittyy päätöksen merkittävyydellä yrityksen liiketoiminnalle. Vastaavasti tuotantojärjestelmien ja niiden tukisysteemien kehittämistä voivat olla esimerkiksi uuteen laitteeseen investoiminen tai layoutin muuttaminen. Vaikka toisen tason investoinnit ovat pienempiä strategisen tason päätöksiin verrattuna, tuotantojärjestelmien ja niiden tukisysteemien kehittäminen on kilpailukykyyn kannalta ensiarvoisen tärkeää. Puolestaan toiminnan ohjaus rakentuu kahden edeltävän tason pohjalta. Strategisilla päätöksillä määritellään raamit tuotantojärjestelmille ja toiminnan

ohjaus määritetään käytössä oleviin tuotantojärjestelmiin sopivaksi. (Haverila et al. 2009, s. 349-350) Toiminnan ohjauksesta kerrotaan tarkemmin luvussa 3 ”Toiminnan ohjaus”.

2.1 Tuotantoprosessi

Haverilan et al. (2009, s. 350) mukaan **tuotantoprosessi** on yksi neljästä liiketoiminnan ydinprosesseista, joiden tarkoituksena on tuottaa asiakkaalle lisäarvoa. Martinsuon et al. (2016, s.187) mukaan muut merkittävät liiketoimintaprosessit ovat asiakasprosessi (asiakkaiden hankinta ja kysyntään vastaaminen), tuoteprosessi (uusien tuotteiden kehitys ja lanseeraus) ja palveluprosessi (lisäpalvelujen kehittäminen ja tarjoaminen asiakkaille). Haverila et al. (2009, s. 351) määrittelevät tuotantoprosessin seuraavasti: ”Tuotanto muodostuu toiminnoista, jotka tarvitaan tuotteen tai palvelun aikaansaamiseksi markkinoinnin hankkimalle asiakkaalle.” Martinsuo et al. (2016, s. 154) ovat määrittelyssä samoilla linjoilla, joskin painottaen voimakkaammin asiakkaalle luotua arvoa: ”Tuotantoprosessi tarkoittaa tuotteiden ja palvelujen toteuttamiseen liittyvää materiaali- ja tietovirtaa, jolla yritys tuottaa asiakkaalle toimitettavan arvon”. Tuotantoprosessilla ei siis tarkoiteta vain tuotteen valmistamista, eli materiaalien muodon muuttamista, yhdistämistä tai erottamista, vaan se käsittää useita eri toimintoja. Haverilan et al. (2009, s. 351) mukaan tuotantoprosessin osa-alueet ovat

- valmistus,
- tuotteen spesifikaation määrittely ja tilauksen tekeminen,
- jakelun suunnittelu ja toteutus,
- asiakaskohtainen suunnittelu tilauksen perusteella ja
- materiaalin hankinta.

Tuotantoprosessin voidaan katsoa olevan yksi yrityksen tärkeimmistä toiminnoista, koska sen aikana **tuotantotekijät** muutetaan myytäviksi tuotteiksi ja näistä myytävistä tuotteista puolestaan koostuu valmistavan yrityksen tulot. Tuotantotekijät ovat resursseja, jotka mahdollistavat tuotantotoiminnan. Tuotantotekijöitä katsotaan olevan pääoma, materiaalit, työ ja tieto. Pääomaa tarvitaan tuotantoprosessin vaatimiin investointeihin kuten tuotantotiloihin, tuotantolaitteistoihin sekä tietoteknisiin järjestelmiin. Materiaaleihin lasketaan tarvittavat raaka-aineet ja komponentit, mutta myös energian- ja vedenkulutus. Työ sisältää kaikkien työntekijöiden työpanoksen. Tiedolla tai tietotaidolla (engl. know-how) puolestaan tarkoitetaan yrityksen sisäistä osaamista kuten prosessi- tai

valmistustuntemusta tarvittavasta aiheesta, mutta sillä voidaan myös tarkoittaa patenttien ja lisenssien käyttöoikeuksien hankkimista tai konsulttipalvelun käyttöä. (Haverila et al. 2009, s. 352-353; Martinsuo et al. 2016, s. 135)

2.2 Tuottavuus, tehokkuus, kannattavuus ja tehollisuus

Monesti toiminnan tuottavuudesta, tehokkuudesta tai kannattavuudesta puhuttaessa keskitytään vain kustannuksiin. Sakki (2014, s. 21) kuitenkin painottaa teoksessaan, että yrityksen toimintaa tulisi mitata ja arvioida myös asiakkaalle tuotetun arvon perusteella. **Tuottavuus** voidaan yksinkertaisesti määritellä aikaansaatuisten tuotosten ja toimintaan käytettyjen panosten suhteena. Tuottavuuden ja yrityksen tuloksen suhde on, että tuottavuuden parantuessa pystytään saamaan enemmän aikaan vähemmällä tekemisellä ja tämän seurauksena yritykselle syntyy lisätuloja pienentyneiden kustannusten takia. (Sakki 2014, s. 22)

Tehokkuudella tarkoitetaan yrityksen suorituskykyä. Yrityksen voidaan sanoa toimivan tehokkaasti, jos se kykenee toteuttamaan jonkin toiminnon tai prosessin esimerkiksi kustannustehokkaammin tai laadukkaammin kuin kilpailevat yritykset. Tehokkuuden voidaan katsoa siis koostuvan sekä tuottavuudesta että asiakkaalle tuotetusta arvosta. Esimerkiksi on mahdollista, että yrityksen valmistusprosessin tuottavuus on erittäin hyvä, mutta yrityksen kannattavuus on silti huono. Tämä johtuu monesti arvoon liittyvistä asioista, kun esimerkiksi tuotteen hinta-laatusuhde ei miellytä asiakasta. (Sakki 2014, s. 22-23)

Yrityksen tuotot syntyvät tuotteiden myymisestä ja kustannukset puolestaan aiheutuvat tuotantotekijöiden käyttämisestä. **Kannattavuudella** tarkoitetaan yrityksen tuottojen ja kustannusten erotusta. Jos erotus on positiivinen eli tuotot ovat suuremmat kuin kustannukset, yrityksen voidaan sanoa olevan kannattava. Kun yritys on kannattava, silloin se tuottaa voittoa. Voiton tuottaminen puolestaan on liiketoiminnan keskeisimpiä tavoitteita. Kannattavuutta tarkasteltaessa on aina ilmoitettava, mitkä kustannukset on huomioitu tulosta laskettaessa. Yleisimpiä kannattavuuden käsitteitä ovat muun muassa myyntikate (liikevaihdosta vähennetään kaikki muuttuvat kustannukset), käyttökate (liikevaihdosta vähennetään sekä muuttuvat että kiinteät kustannukset) ja liiketulos (käyttökatteesta vähennetään käyttöomaisuuden kulumista vastaavat poistot). (Sakki 2014, s. 23)

Tehollisuuden Sakki (2014, s. 31) määrittelee puolestaan seuraavasti: ”Tehollisuudella tarkoitetaan toimintojen ja niistä muodostuvien kokonaisten prosessien järkevyyttä tuotteen tai palvelun tuottamiseksi.” Toisin sanoen tehollisuudessa on kyse siitä, että pyritään tekemään enemmän asioita, jotka lisäävät arvoa asiakkaalle ja vähentämään niitä, joista ei ole asiakkaalle mitään hyötyä. Ajatus tehollisuuden lisäämisestä vastaa Lean-toimintamallin perusajatusta arvon tuottamisesta ja arvoa tuottamattomien asioiden vähentämisestä. Leania käsitellään tarkemmin luvussa 4 ”Lean-toimintamalli”.

Tehollisuuteen voidaan vaikuttaa kehittämällä ja tehostamalla asiakkaalle arvoa tuottavia toimintoja ja prosesseja, mutta myös keskittymällä oleelliseen. Prosessien ja toimintojen kehittämistä ovat esimerkiksi valmistusprosessin jatkuva parantaminen tai vaihtaminen kokonaan uuteen valmistusmenetelmään. Vastaavasti oleelliseen keskittyminen tarkoittaa sitä, että on mietittävä kriittisesti, kenet valitaan asiakkaaksi ja mitä tuotteita valituille asiakkaille voidaan tarjota. Jos yritys yrittää tarjota kaikille kaikkea, eli tuotevalikoima ja asiakaskunta ovat erittäin laajoja, on todennäköistä, että kulut kasvavat nopeammin kuin tuotot. Tehollisuuden parantaminen keskittymällä oleelliseen voi olla varsinkin pienille yrityksille erittäin kannattava vaihtoehto, koska se ei vaadi rahallista panostusta kuten prosessien ja toimintojen kehittäminen. (Sakki 2014, s. 31)

2.3 Valmistavan yrityksen kilpailutekijät ja tuotantotavoitteet

Yrityksen määrittelemät **kilpailutekijät** vaikuttavat siihen, mitkä ovat tuotannolle asetettavat tavoitteet. Kilpailutekijät ovat niitä asioita, joiden mukaan yritys pyrkii pärjäämään samoista markkinoista kilpailevia yrityksiä vastaan. Kilpailutekijät määritetään yleensä aina asiakkaan näkökulmasta. Tämä tarkoittaa sitä, että yrityksen on tarkkaan mietittävä, minkä tekijöiden perusteella asiakas valitsee kyseisen tuotteen tai palvelun. (Haverila et al. 2009, s. 356; Arnold et al. 2008, s. 469-470) Lahti ja Tuominen (2004, s. 8) painottavat myös, että kilpailutekijät voivat vaihdella eri syiden takia, minkä vuoksi yrityksen on tarkasteltava kilpailutekijöitään jatkuvasti ja kehitettävä asiakastarpeiden tunnistamista. Alla on listattu valmistavan yrityksen tyypillisimpiä kilpailutekijöitä:

- Hinta
- Laatu
- Tuoteominaisuus
- Tuotteiden kustomointi

- Toimitusnopeus ja -varmuus
- Palvelu

(Haverila et al. 2009, s. 356; Arnold et al. 2008, s. 469-470)

Hinta on lähes aina tärkeä kilpailutekijä. Jos samankaltaisen tuotteen tai palvelun hinta on huomattavasti kalliimpi kuin kilpailijalla, todennäköisesti ostaja päätyy valitsemaan kilpailijan. Laatu, jolla tarkoitetaan tässä yhteydessä tuotteen virheettömyyttä, on kilpailutekijänä melko itsestään selvä, koska yksikään asiakas ei ole tyytyväinen virheelliseen tuotteeseen. Lisäksi, jos samalle asiakkaalle toimitetaan toistuvasti virheellisiä tuotteita, asiakastyytyväisyys huononee ja lopulta asiakas vaihtaa toimittajaa. (Haverila et al. 2009, s. 356)

Tuoteominaisuudet ja tuotteiden kustomointi ovat tehokkaita kilpailukeinoja, mutta varsinkin tuotteiden kustomointi voi olla myös ongelmallista. Tuoteominaisuuksilla tarkoitetaan esimerkiksi metallituotteen lujusominaisuuksia tai vastaavaa. Asiakkaalla on tietyt vaatimukset esimerkiksi lujudelle ja sen perusteella asiakas vertailee tuoteominaisuuksia eri tuotteiden välillä. Tuotteiden kustomoinnilla vastaavasti tarkoitetaan sitä, että asiakas voi ainakin osittain määrittellä tuotteen tuoteominaisuudet. Tämä on erittäin hyvä kilpailukeino, mutta vastaavasti se voi heikentää yrityksen tehollisuutta kasvavan tuotevalikoiman vuoksi. (Haverila et al. 2009, s. 356; Lahti & Tuominen 2004, s. 7)

Toimitusnopeus kilpailutekijänä tarkoittaa nimensä mukaisesti tuotteen toimitukseen kulunutta aikaa tilauksen jälkeen. Erityisesti nykyisin toimitusnopeus on monelle asiakkaalle tärkeä tekijä, koska tuotteen hankintapäätöksen jälkeen asiakkaat haluavat ostamansa tuotteen mahdollisimman nopealla aikataululla. Toimitusvarmuudella puolestaan tarkoitetaan sitä, pystyykö yritys toimittamaan tuotteensa luvattuun toimituspäivämäärään mennessä. Esimerkiksi alihankintakonepajoille tämä on äärimmäisen tärkeä tekijä, koska toimitusaikojen venyessä, venyvät myös sopimuskuppanin toimitusajat ja jatkuvien myöhästymisten seurauksena sopimuskuppani todennäköisesti vaihtaa alihankkijaa. (Haverila et al. 2009, s. 356)

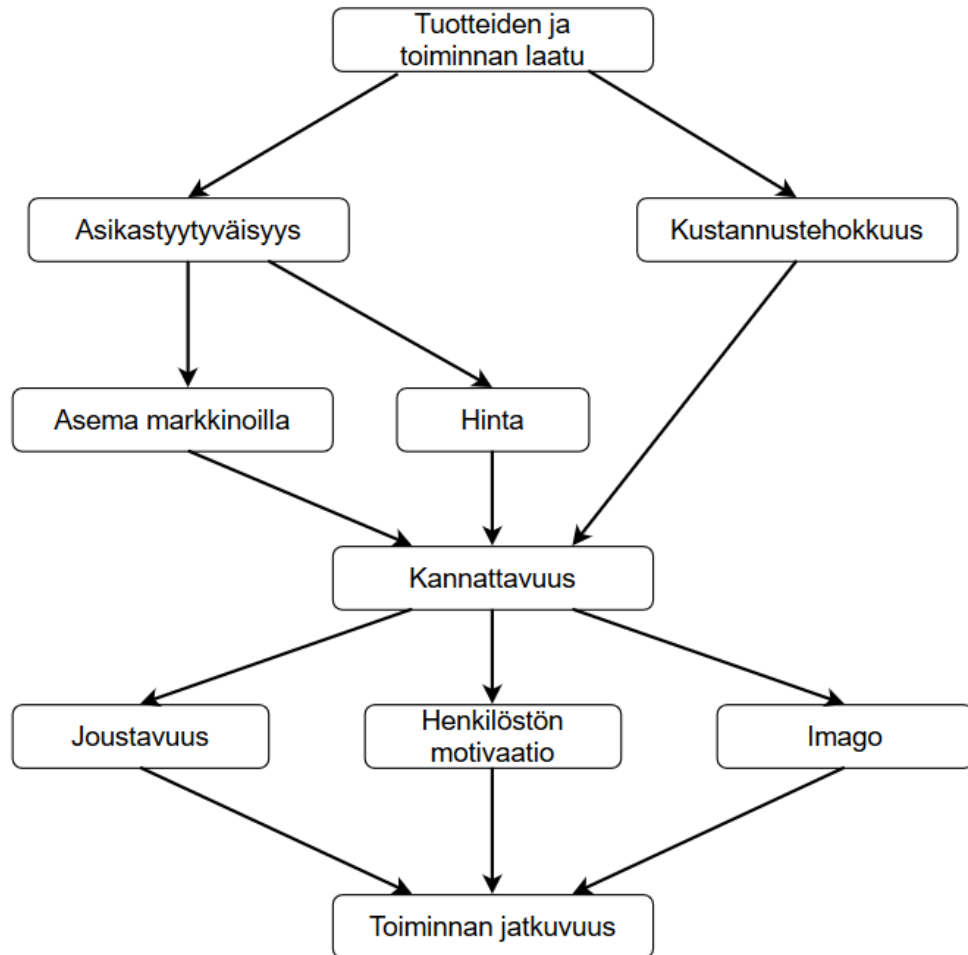
Asiakkaalle toimitetun tuotteen lisäksi asiakkaat voivat edellyttää erilaisia oheispalveluja. Oheispalveluita voivat olla muun muassa toimitetun tuotteen huolto- tai käyttökoulutus sekä

varaosapalvelu. (Haverila et al. 2009, s. 357) Esimerkiksi Konecranes mainostaa tarjoavansa kattavia kunnossapitopalveluja toimittamiensa nosturien koko elinkaaren ajaksi (Konecranes 2020).

Haverilan et al. (2009, s. 357) sekä Martinsuon et al. (2016, s. 268) mukaan edellä esitettyjen kilpailutekijöiden perusteella valmistavan yrityksen määrittelemät **tuotantotavoitteet** ovat monesti kustannustehokkuus, laatu, toimituskyky ja joustavuus. Kustannustehokkuus on pyrkimyksenä käytännössä katsoen jokaisella valmistavalla yrityksellä. Kustannustehokkaasti toimiakseen yrityksen on karsittava tuotannon kokonaiskustannuksia. Kokonaiskustannukset koostuvat työ-, pääoma ja materiaalikustannuksista, mistä materiaalikustannukset ovat monesti suurimmat. Kokonaiskustannuksien karsimisessa auttaa käytettävissä olevien resurssien tehokas käyttö sekä sitoutuneen pääoman minimoiminen. Sitoutunutta pääomaa pystytään minimoimaan esimerkiksi määrittämällä varastotasot vain oikeaa tarvetta vastaavaksi. Kustannustehokkuuteen pyrkiminen on ensiarvoisen tärkeää yrityksen kannattavuuden kannalta, mutta sen avulla pystytään saavuttamaan myös hintakilpailukykyä. (Haverila et al. 2009, s. 357, 445)

Kuten aikaisemmin todettiin, asiakas vaatii aina virheettömän tuotteen ja jatkuvat laatuvirheet aiheuttavat asiakastyytyväisyyden alenemista. Laatu on siis asiakastyytyväisyyden, mutta myös kustannusten kannalta tärkeä tavoite (Martinsuo et al. 2016, s. 268). Tuotannon näkökulmasta laatuvirheet aiheuttavat lisäkustannuksia, mikä puolestaan heikentää kustannustehokkuutta ja sen myötä kannattavuutta. Laatuksustannuksiin palataan myöhemmin tässä luvussa. Lisäksi virheiden korjaaminen tai uudelleen tekeminen vaatii aikaa ja sitä kautta aiheuttaa helposti viivästyksiä luvattuihin toimituspäivämääriin. (Haverila et al. 2009, s. 357) Tämän lisäksi Lecklin (2006, s. 24-25) painottaa tuotteiden ja toiminnan laadun vaikuttavan myös yrityksen joustavuuteen muutosten läpiviemisessä, henkilöstön motivaatioon sekä yrityksen imagoon. Lecklin (2006, s. 25) toteaaakin leikkisästi, että korkea toiminnan laatu merkitsee yrityksen eloonjäämistä. Hyvä laatu parantaa siis sekä yrityksen kustannustehokkuutta että asiakastyytyväisyyttä. Asiakastyytyväisyys puolestaan parantaa yrityksen asemaa markkinoilla sekä mahdollistaa kovemman hinnoittelun. Kustannustehokkuus, korkeammat hinnat ja markkinajohtajuus taas lisäävät yrityksen kannattavuutta. Kannattavuuden ollessa hyvä, vaikuttaa se myös henkilöstön motivaatioon ja yrityksen imagoon positiivisesti. Nämä asiat yhdessä taas

mahdollistavat yrityksen toiminnan jatkumisen. (Lecklin 2006, s. 24-25) Kuvassa 3 on havainnollistava kaavio edellä mainitusta ajatusketjusta.



Kuva 3. Tuotteiden ja toiminnan laadun vaikutus yrityksen menestymiseen. (Mukaiillen: Lecklin 2006, s. 25)

Toimituskyky on puolestaan erityisen tärkeä tavoite asiakkaan tilauksen pohjalta valmistaville yrityksille. Toimituskyvyllä tarkoitetaan niin toimitusnopeutta kuin toimitusvarmuutta. (Haverila et al. 2009, s. 357; Martinsuo et al. 2016, s. 268) Jotta toimitusnopeutta voidaan parantaa, on tuotantoprosessin toimittava tehokkaasti. Tuotantoprosessin tehokkuutta mitataan esimerkiksi läpäisyajalla, jonka lyhentämisellä on useita positiivisia vaikutuksia yrityksen toiminnalle toimitusnopeuden parantumisen lisäksi. (Haverila et al. 2009, s. 357) Lämpäisyäikää käsitellään tarkemmin luvussa 3 ”Toiminnan ohjaus.

Haverilan et al. (2009, s. 358) mukaan ”joustavuudella tarkoitetaan nopeutta ja kustannustehokkuutta, jolla tuotantoprosessia voidaan muuttaa”. Martinsuo et al. (2016, s. 268) määrittelevät, että joustavuus käsittää muun muassa tuotantomäärien vaihtelut, tuotevalikoiman muutokset sekä uusien tuotteiden markkinoille tulon nopeuden. Lisäksi Haverila et al. (2009, s. 358) toteavat, että myös uuden teknologian käyttöönoton nopeus lukeutuu joustavuuteen.

2.4 Eri tuotantomuodot

Yrityksen tuotteet, valmistuksen ohjausperiaate eli valmistusaloite sekä valmistuksen jatkuvuus yhdessä määrittelevät yrityksen tuotantomuodon. Tuotteiden perusteella jaotellussa tuotantomuotoja ovat **vakio- ja tilaustuotanto**. Vakiotuotannossa tuotteiden konstruktio on ennalta määritetty, eikä asiakas pysty vaikuttamaan vakiotuotteiden rakenteeseen tai ominaisuuksiin. Esimerkkejä vakiotuotteista ovat yleiset kulutustavarat kuten standardikokoiset ruuvit tai autot. Puolestaan tilaustuotannossa tuotteet valmistetaan asiakkaan tilauksen perusteella. Asiakas pystyy vaikuttamaan huomattavasti tilaamansa tuotteen tuoteominaisuuksiin, ja tämän vuoksi tilaustuotteet vaativat aina tuotesuunnittelua. Yleisin esimerkki tilaustuotteesta on valtameriristeilijä, joka on aina tilauksen perusteella asiakkaalle räätälöity. (Haverila et al, 2009, s. 353; Martinsuo et al. 2016, s. 136-137)

Ohjaukseen perustuen tuotantomuodot voidaan jakaa **varasto- ja tilausohjautuviin tuotantoihin**. Varasto-ohjautuva tuotanto voidaan edelleen jakaa varastoon valmistavaan tuotantoon sekä asiakasohjautuvaan kokoonpanoon. Varastoon valmistamisessa ominaispiirre on, että tuotteita on tarjolla aina valmiina varastosta otettavaksi. Uusien tuotteiden valmistus aloitetaan, kun on tarve täydentää tuotevarastoa. Varastoon valmistettavia tuotteita ovat yleensä vakiotuotteet, joiden menekki on melko suuri ja tasainen. Asiakasohjautuvassa kokoonpanossa puolestaan on erona se, että tuotteita ei valmisteta loppuun ennen asiakkaan tilausta, vaan varastoidaan valmistettuja komponentteja, joista lopputuote voidaan kokoonpanna asiakkaan haluamalla tavalla. Asiakasohjautuva kokoonpano soveltuu tuotantomuodoksi silloin, kun vakiotuotteella on suuri määrä eri variaatioita. (Arnold et al. 2008, s. 4-5; Ritvanen et al. 2011, s. 48-49)

Tilausohjautuvalle tuotannolle ominaista on, että valmistusta ei aloiteta ennen asiakkaan tilausta. Tuotteita voidaan valmistaa tilausohjautuvasti joko standardiosista, jolloin tuote ei

vaadi paljota suunnittelua tai tuote voidaan valmistaa täysin asiakkaan haluamien ominaisuuksien mukaan, milloin tuotesuunnittelua tarvitaan erityisen paljon. Tällaisissa tilanteissa käytetään monesti käsitettä asiakasohjautuva tuotesuunnittelu. (Arnold et al. 2008, s. 4-5; Ritvanen et al. 2011, s. 48-49)

Tuotannon jatkuvuuden ja valmistusmäärän perusteella voidaan tuotanto määritellä yksittäis-, sarja- tai yhtenäistuotannoksi. Nimensä mukaisesti **yksittäistuotannossa** valmistetaan yhtä tuotetta yhden kappaleen erässä kerrallaan. Tällaiset yksittäin valmistettavat tuotteet ovat monesti asiakaskohtaisia tilaustuotteita, joiden menekki on hyvin pientä. Esimerkiksi valtameriristeilijän valmistus on yksittäistuotantoa. **Sarjatuotannossa** puolestaan tuotetta valmistetaan useamman kappaleen sarjoissa eli tuote-erissä. Sarjatuotannolla yritetään saavuttaa mahdollisimman tehokas tuotanto vähentämällä tarvittavien asetusten määrää. **Yhtenäistuotannolla** eli massatuotannolla tarkoitetaan tuotantoa, joka pysyy muuttumattomana pitkän ajan. Yhtenäistuotanto voi olla joko kappalevaratuotantoa (suursarjatuotantoa) tai prosessituotantoa. Suursarjatuotannon ja prosessituotannon merkitysero on siinä, pystytäänkö eri kappaleet erottamaan toisistaan. Suursarjatuotannossa kappaleet (esimerkiksi vaatteet) ovat toisistaan erotettavissa, kun taas prosessituotannossa (esimerkiksi kartongin valmistus) eri kappaleita ei voida toisistaan erottaa. (Haverila et al. 2009, s. 354-355; Martinsuo et al. 2016, s. 137-138)

2.5 Laatujohtaminen osana toiminnan johtamisesta

Kuten aiemmin todetaan, on laatu erittäin merkittävä asia yrityksen kilpailukyvyn kannalta, ja tämän vuoksi laatu- ja laatuohjelmat ohjaavatkin toiminnan johtamista yhä enenevässä määrin (Haverila et al. 2009, s. 371). Vanichchinchai (2019, s. 2) toteaaakin, että laatujohtaminen on toiminnan johtamisen ohella yrityksen tärkein tekijä kilpailukyvyille. Laatuajattelu ei koske pelkästään itse tuotteen valmistusprosessia, vaan se on pidettävä mukana kaikissa yrityksen toiminnossa (Haverila et al. 2009, s. 371). Lecklinin (2006, s. 26) mukaan laadukkaaseen toimintaan pyrkivän yrityksen tunnistaakin päämäärätietoisesta johtamisesta, mutta myös asiakaslähtöisyydestä, henkilöstön kouluttamisesta ja osallistamisesta sekä jatkuvasta toiminnan kehittämisestä. Laatu on käsitteenä moniulotteinen ja se voidaan ymmärtää monella eri tavalla (Kalpakjian & Schmid 2010, s. 1021). Ritvasen et al. (2011, s. 148) sekä Haverilan et al. (2009, s. 372) mukaan laatu voidaan määritellä tuotteen tai palvelun kykyä täyttää asiakkaan odotukset ja tarpeet. Tämä määritelmä painottaa siis asiakaslähtöisyyttä.

Laadunhallinnan avuksi on olemassa laatustandardeja, joista tunnetuimpia ovat kansainväliset ISO 9000-standardit (Ritvanen et al. 2011, s. 153). **ISO 9000-standardi** määrittelee laadunhallintajärjestelmien keskeisimmät käsitteet ja käytettävät sanastot. ISO 9000-standardin mukaan laadunhallintaan sisältyy asiakkaiden laatuvaatimusten täyttäminen ja johtaminen kohti määritettyjä laatutavoitteita. Vastaavasti laadunhallintajärjestelmän ISO 9000-standardi määrittelee muun muassa seuraavalla tavalla: ”Laadunhallintajärjestelmä kattaa toiminnot, joilla organisaatio määrittelee tavoitteensa ja määrittää prosessit ja resurssit, joita tarvitaan haluttujen tulosten saavuttamiseen.” (SFS-EN ISO 9000 2015, s. 5-8) Laadunhallintajärjestelmä voidaan siis ymmärtää johtamisjärjestelmänä, jonka avulla pyritään varmistamaan asiakastyytyväisyys ja parantamaan prosessien sekä toiminnan laatua (Ritvanen et al. 2011, s. 150; Lecklin 2006, s. 29). **ISO 9001-standardi** puolestaan sisältää vaatimukset laadunhallintajärjestelmälle. ISO 9001-standardin mukaisesta laadunhallintajärjestelmästä on hyötyä esimerkiksi silloin, kun organisaation tarvitsee vakuuttaa asiakas kyvystään tuottaa tuotteita tai palveluita laadukkaasti. (SFS-EN ISO 9001 2015, s. 10)

2.5.1 Laatuksennustannukset

Ongelmat laadussa, niin tuotteiden kuin toiminnankin, vaikuttavat negatiivisesti myös yrityksen kannattavuuteen kasvaneiden **laatuksennustannusten** vuoksi. Haverilan et al. (2009, s. 375) mukaan laatuksennustannukset syntyvät sekä virheellisistä tuotteista että laadunhallinnasta. Nämä kustannukset voidaan vielä jakaa neljään eri lähteeseen (Baxter 2014; Haverila et al. 2009, s. 376; Lecklin 2006, s. 156-158; Arnold et al. 2008, s.472):

- Ennaltaehkäisevän laadunhallinnan kustannukset
- Laadunvalvonnan kustannukset
- Sisäiset virhekustannukset
- Ulkoiset virhekustannukset

Ennaltaehkäisevän laadunhallinnan toimenpiteisiin sisältyvät muun muassa laadunhallintajärjestelmien kehittäminen, laatuksennustannukset ja alihankkijoiden auditointi. Laadunvalvonnan kustannukset puolestaan aiheutuvat tarkastuksista ja mittauksista sekä niihin tarvittavien välineiden hankinnasta. Sisäisillä virhekustannuksilla tarkoitetaan virheistä syntyneitä kustannuksia, mitkä havaitaan ennen tuotteen tai palvelun toimittamista asiakkaalle. Sisäiset virhekustannukset koostuvat uudelleen tekemisestä ja

materiaalihukasta. Ulkoisilla virhekustannuksilla puolestaan tarkoitetaan virheistä syntyneitä kustannuksia, mitkä havaitaan vasta, kun tuote tai palvelu on jo toimitettu asiakkaalle. Nämä laatuvirheet aiheuttavat sisäisten kustannusten lisäksi asiakastyytyväisyyden alenemista sekä lisääntyneitä kustannuksia korvauksien ja ylimääräisen logistiikan vuoksi. (Baxter 2014; Haverila et al. 2009, s. 376; Lecklin 2006, s. 156-158)

2.5.2 Laadunvalvonnan työkalut

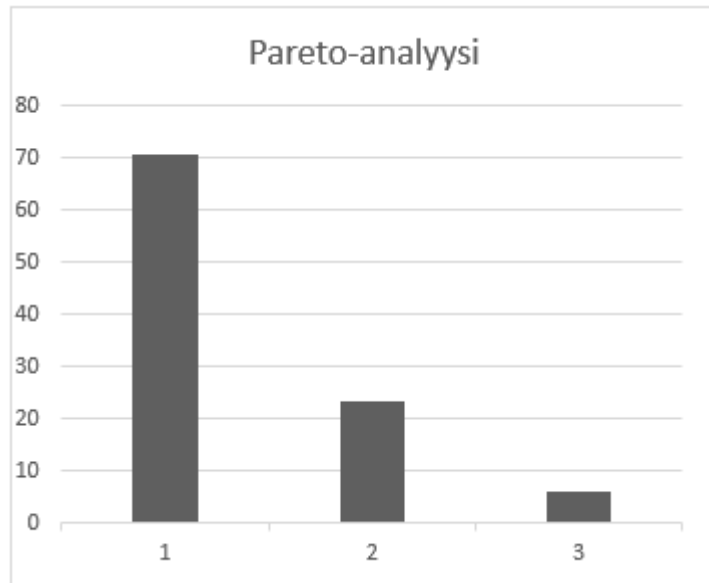
Laadun kehittäminen faktatietoon perustuen on nykyaikaisen laatujohtamisen perusta. Tämän vuoksi laadunvalvonnan pitäisi perustua tilastolliseen laadunvalvontaan. Tilastollisten laadunvalvontamenetelmien avulla pyritään keräämään tietoa, jonka pohjalta tuotteiden ja toiminnan laatutasoa voidaan arvioida ja kehittää. Tietojen keräämiseen ja tilastointiin on olemassa suuri määrä eri työkaluja, mutta tässä tutkimuksessa käsitellään vain muutamaa perusmenetelmää. (Haverila et al. 2009, s. 390) Käsiteltävät työkalut ovat tarkastuskortti, Pareto-analyysi ja ohjauskortti. Lisäksi esitellään lyhyesti Six Sigma nimellä tunnettava laatujohtamisen työkalu.

Tarkastuskortti on yksinkertainen lomake, jonka avulla voidaan dokumentoida esimerkiksi tarkasteltavan kohteen laatueroavaisuudet. Tarkastuskortin avulla on helppo kerätä suuri määrä dataa laatueroavaisuudesta, mitä voidaan myöhemmin analysoida. Analysoinnin helpottamiseksi on kannattavaa eritellä virhelähteet, jos se on mahdollista. Esimerkiksi, akselin halkaisijalle tai pituudelle voidaan määrittää hyväksymisrajat ja akselia mitattaessa kirjataan tarkastuskortille virheellisten akselien määrä tukkimiehen kirjanpitoa hyödyntäen sekä mahdollisuuksien mukaan, mistä syistä virheet ovat aiheutuneet. (Haverila et al. 2009, s. 390-392; Lecklin 2006, s. 176) Toinen yksinkertainen työkalu laadunvalvontaan on **Pareto-analyysi**, jonka avulla voidaan helposti määrittää, mitkä ovat suurimpia virhelähteitä. Pareto-analyysin teossa voidaan hyödyntää tarkastuskorttiin kirjattuja tietoja virheiden syistä ja määristä. Yleensä päätelmät esitetään pylväsdiagrammissa, jossa vaakakselilla on eriteltyä eri virhelähteet suuruusjärjestyksessä. Diagrammissa pylväiden korkeudet kuvaavat eri virhelähteen prosentuaalista osuutta virheiden kokonaismäärästä. (Lecklin 2006, s. 177) Alla on esimerkki kuvien avulla havainnollistettuna, kuinka tarkastuskorttia ja Pareto-analyysia voidaan käyttää akselin valmistuksen laadunvalvonnassa. Ensimmäiseksi on esitetty mallikuva tarkastuskortista (kuva 4).

Tarkastuskortin yläosasta löytyvät tiedot tarkkailtavasta kappaleesta, hyväksymisarvoista, eräkoosta sekä tarkastettujen kappaleiden määrästä. Niiden alapuolelle on kirjattu hyväksymisarvoista poikkeavien akselin halkaisijoiden arvot ja kirjattu niiden esiintymien määrät eri virhesyiden (1-3) alle. Kuvassa 5 puolestaan on esitetty Pareto-analyysi, joka on tehty tarkastuskortin tietojen pohjalta. Pylväiden korkeudet eli eri virhelähteiden prosentuaaliset osuudet on laskettu jakamalla jokaisen eri virhesyyn esiintymien lukumäärä virheiden kokonaismäärällä. Tämän esimerkin kaltaisessa tilanteessa, Pareto-analyysistä voidaan huomata, että virhelähde 1 aiheuttaa jopa 70 prosenttia kaikista virheistä ja tämän perusteella kyseisen virhelähteen eliminoiminen olisi kaikkein tärkeintä.

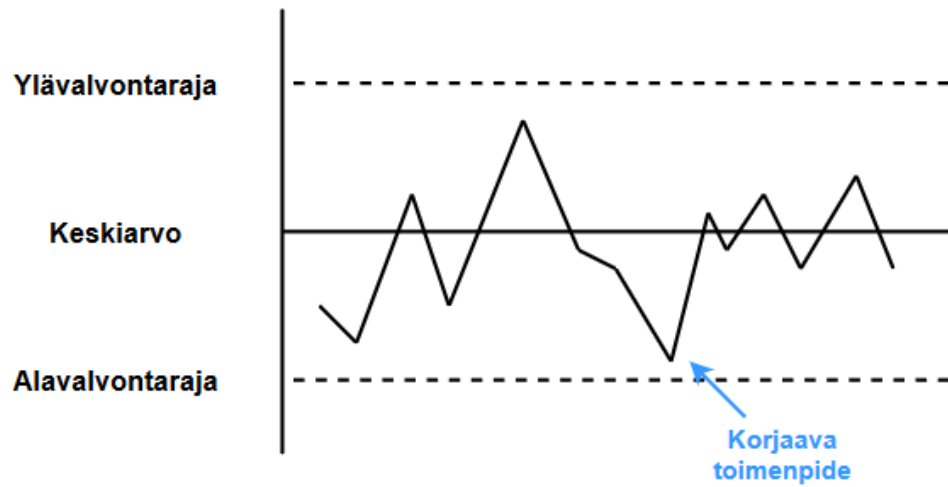
Tarkastuskortti				
Osa: Akseli, halkaisija 21 mm				
Hyväksymisarvot: Halkaisija 20-22mm				
Eräkooko: 1000 kpl				
Tarkastettu (lkm): 250 kpl				
	Virheen syy (1/2/3)			
	1	2	3	Yht.
Mittaustulos (mm)				
22,5	7		1	8
26		1	2	3
19,6	4	1		5
19,4	11		3	14
22,7	2		2	4
Yhteensä	24	2	8	34

Kuva 4. Laatupoikkeamien kirjaaminen tarkastuskorttiin. (Mukaiillen: Haverila et al. 2009, s. 392; Lecklin 2006, s. 176)



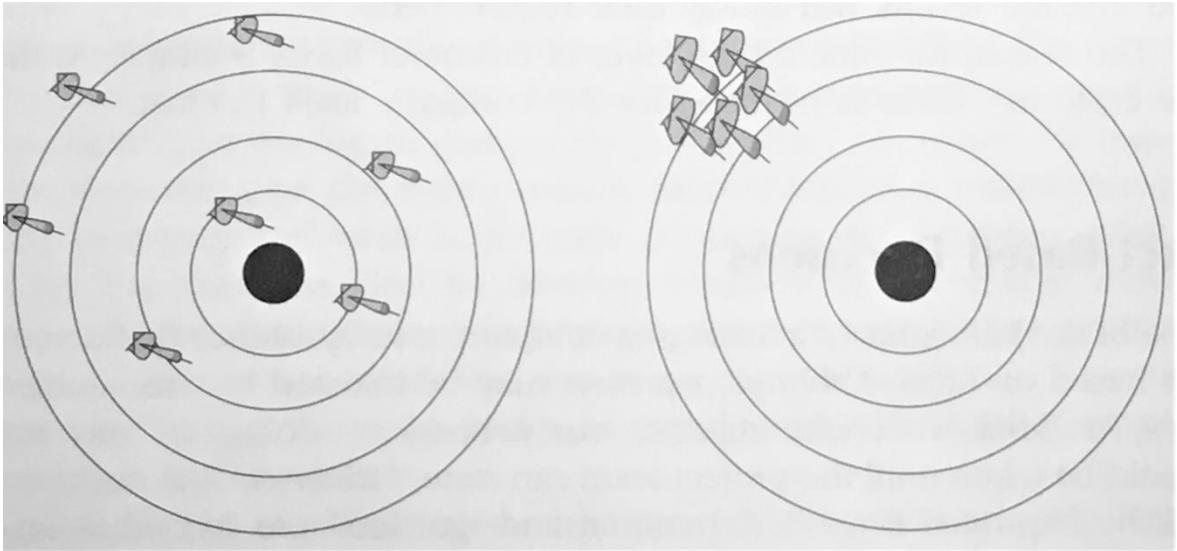
Kuva 5. Yllä olevan tarkastuskortin pohjalta tehty Pareto-analyysi. (Mukaillen: Lecklin 2006, s. 177)

Tarkastuskortilla pystytään keräämään dataa ja havainnollistamaan laatuerojen määrää, mutta sillä ei kuitenkaan pystytä seuraamaan tuotantoprosessin laatua ja hajontaa reaaliaikaisesti eikä siten ohjaamaan prosessia. Puolestaan **ohjauskortin** tai toiselta nimeltään \bar{x} -R valvontakortin avulla prosessia tarkastellaan jatkuvasti mittaamalla joko kaikki tuotteet tai osa tuote-erästä. Havainnoille, esimerkiksi akselin halkaisijalle, asetetaan tietty tavoite, joka saadaan havaintojen keskiarvosta. Mittaustuloksia verrataan tähän tavoitteeseen ja prosessin ollessa kunnossa mittaustulosten pitäisi sijoittua lähelle keskiarvoa. Prosessin vaihteluvälille on määritelty myös sallitut ylä- ja alarajat, valvontarajat. Jos mittaustulosten keskiarvo lähenee jompaakumpaa valvontarajaa, on tuotteiden laatu huonontunut ja prosessia on säädettävä. Ohjauskortin avulla voidaan myös havaita näyte-erien sisäiset laadunvaihtelut. Mitä suurempi erotus näyte-erän suurimmalla ja pienimmällä mittaustuloksella on, sitä suurempi on prosessin hajonta. (Haverila et al. 2009, s. 391-394; Lecklin 2006, s. 177-178) Kuvassa 6 on havainnollistettu ohjauskortin toimintaperiaate. Kuvassa on merkitty kohta, jolloin ohjauskortin perusteella laadussa on havaittavissa heikentymistä ja prosessia on säädettävä.



Kuva 6. Ohjaukortin toimintaperiaate. (Mukaillen: Haverila et al. 2009, s. 394; Lecklin 2006, s. 178)

Laadun kehittämisessä yksi tärkeimmistä asioista on saada hajonta mahdollisimman pieneksi (Lecklin 2006, s. 178). Hajonnan pienentäminen voidaan myös muotoilla toisin, toistuvuuden kasvattamisena. Toistuvuus on tärkeä asia laadunhallinnassa, koska se on ennalta arvattavissa ja mikä on ennalta arvattavissa, on kehitettävissä. (Tayntor 2007, s. 6) Tayntor (2007, s. 6-7) havainnollistaa tämän ajatuksen teoksessaan erinomaisesti tikanheittoesimerkin avulla, joka on esitetty kuvassa 7. Esimerkissä toinen tikanheittäjä osuu kerran napakymppiin, mutta muuten heitot ovat sattumanvaraisesti ympäri taulua. Toinen heittäjä puolestaan ei osu kertaakaan lähellekään napakymppiä, mutta hänen heittonsa ovat pienellä alueella taulun reunassa eli hänen heitoistaan on havaittavissa toistuvuutta. Ensimmäisen heittäjän kohdalla on lähes mahdotonta sanoa, mitä heittäjän pitäisi kehittää, jotta hänen kaikki heittonsa osuisi napakymppiin. Puolestaan toisen heittäjän kohdalla voidaan helpommin selvittää, mistä heittojen suuntautuminen kohti taulun reunaa johtuu, ja miten heittotapahtumaa tulisi kehittää. Sama ajatus pätee myös tuotantoprosessien kehittämiseen.



Kuva 7. Esimerkki variaation vaikutuksesta laadunhallintaan. (Tayntor 2007, s. 7)

Hajonnan vähentämiseen ja laatuvirheiden minimoimiseen on olemassa työkalu nimeltä **Six Sigma**. Termillä Sigma tarkoitetaan tilastotieteessä standardipoikkeamaa ja sigma kertoo, kuinka paljon mittaustulosten joukossa on vaihtelua. Yleisesti Six Sigmasta puhuttaessa, sillä tarkoitetaan prosessin erinomaista laaduntuottokykyä, joka ei tuota käytännössä ollenkaan virheitä (vain 3,4 virheellistä tuotetta miljoonaa tuotetta kohden). (Tayntor 2007, s. 3; Karjalainen & Karjalainen 2002, s. 17-19)

3 TOIMINNAN OHJAUS

Kuten luvussa ”Toiminnan johtaminen” määriteltiin, valmistavassa yrityksessä toiminnan ohjauksella, joka on yksi kolmesta toiminnan johtamisen tasoista, ei tarkoiteta pelkästään tuotteen valmistukseen liittyvien toimintojen ohjaamista, vaan kaikkien tuotantoprosessin osa-alueiden ohjaamista. **Pääpaino tässä tutkimuksessa on kuitenkin valmistuksen ohjauksessa ja materiaalivirtojen hallinnassa, minkä vuoksi edellä mainittuja asioita käsiteltäessä, käytetään tässä tutkimuksessa termiä tuotannonohjaus tai valmistuksen ohjaus.** Luvun alkupuolella esitellään toiminnan ohjausta ja siihen liittyvää käsitteistöä yleisesti sekä toiminnanohjausprosessin periaatteet. Luvun loppupuolella keskitytään valmistuksen ohjaukseen ja materiaalivirtojen hallintaan eli tuotannon ohjaukseen sekä esitellään erilaisia tuotannon ohjauksen toimintamalleja.

3.1 Toiminnan ohjaukseen liittyvää käsitteistöä

Toiminnan ohjauksen yhteydessä esiintyy useita käsitteitä, jotka ovat tärkeitä ymmärtää tuotantotoiminnan suunnittelun, valvomisen ja kehittämisen kannalta. Tällaisia käsitteitä ovat muun muassa kapasiteetti, kuormitusaste sekä läpäisy aika. Arnold et al. (2008, s. 21) määrittelevät **kapasiteetin** valmistuksen kyvyksi tuottaa hyödykkeitä ja palveluja. Waters (2009, s. 120) tarkentaa, että kapasiteetilla tarkoitetaan suurinta määrää materiaaleja, jotka voivat virrata toimitusketjun läpi tietyssä ajassa. Haverilan et al. (2009, s. 399) mukaan käytettävä yksikkö määräytyy valmistettavan tuotteen perusteella. Esimerkiksi akselien valmistuksessa voidaan käyttää yksikköä kappaletta per tunti (kpl/h) ja kartongin valmistuksessa tonnia per tunti (t/h). Vastaavasti kokoonpanon kapasiteettia ilmoittaessa sopiva yksikkö on esimerkiksi tuntia per viikko, koska kokoonpantavien osien välillä voi olla vaihtelua tarvittavan kapasiteetin määrässä.

Käytettävissä olevan kapasiteetin määrittelevät yrityksen resurssit kuten käytettävissä olevat koneet, työvoima ja pääoma (Arnold et al. 2008, s. 21). Huomioitavaa kuitenkin on, että toimitusketjun eri osilla voi olla hyvin erilaiset kapasiteetit, ja kokonaiskapasiteetti määräytyy alimman kapasiteetin mukaan. Alimman kapasiteetin kohdasta käytetään nimitystä pullonkaula, jolla tarkoitetaan kohtaa, jossa materiaalivirran kapasiteetti on pienin. (Waters 2009, s. 120) Esimerkiksi valmistettaessa akselia tarvitaan sekä sahaamista että

koneistusta. Sahan kapasiteetti on esimerkiksi viisikymmentä kappaletta per tunti, kun taas koneistuksen kapasiteetti on kolmekymmentä kappaletta per tunti. Tässä tilanteessa pullonkaula on koneistusvaihe, ja kokonaiskapasiteetti on kolmekymmentä kappaletta per tunti.

Yrityksen pitää yrittää sovittaa kapasiteetti aina kysynnän mukaan. Kapasiteetin lisääminen ei ole kuitenkaan yksinkertainen asia ja se vaatii aina pidemmän ajan suunnitelmia, ja etenkin pääomaa. Jos lisäkapasiteettia tarvitaan paljon, on vaihtoehtona investoida uuteen koneeseen tai kokonaan uuden tuotantoyksikön rakentamiseen. Lyhyemmällä aikavälillä ja pienemmällä pääomalla kapasiteettia on mahdollista nostaa muuttamalla työvuoromuoto ympärivuorokautiseksi tai teettämällä ylitöitä. (Arnold et al. 2008, s. 21; Siregar 2019, s. 1)

Kuormitusasteella tarkoitetaan kapasiteettimäärää, jonka tietty tuotantovaihe varaa käyttöönsä kokonaiskapasiteetista. Kun tietyn tuotantovaiheen kuormitus ja kokonaiskapasiteetti on tiedossa, pystytään sen avulla hallitsemaan ja suunnittelemaan kapasiteetin käyttöä ja muuta toimintaa. Esimerkkinä tästä toimii hyvin tuotteiden kokoonpanovaihe. Oletetaan, että kokoonpanovaiheen viikkokapasiteetti on kahdeksankymmentä tuntia ja sähkömoottorin kokoonpano kuormittaa kokoonpanoa kuudellakymmenellä tunnilla. Sähkömoottorin kokoonpano kuluttaa käytettävistä olevasta kapasiteetista siis 75 prosenttia, joten 25 prosenttia viikkokapasiteetista on vielä käytössä. (Haverila et al. 2008, s. 400) Tämän tiedon perusteella voidaan esimerkiksi toisen kokoonpantavan tuotteen komponenttien valmistuminen ajoittaa vasta loppuviikolle (olettaen sähkömoottorin kokoonpanon alkavan maanantaina) ja näin välttää keskeneräisen tuotannon (KET) muodostumista.

Läpäisy aika, joka tunnetaan myös nimellä läpimenoaika, kuvaa kokonaisaikaa, joka kuluu koko toimitusketjun läpiviemiseen tilauksen vastaanottamisesta tuotteen toimitukseen (Haverila et al. 2009, s. 401; Kalpakjian & Schmid 2010, s. 1150; Waters 2009, s. 42). Monesti läpäisyajasta eritellään kokonaisläpäisy aika ja valmistuksen läpäisy aika (Haverila et al. 2009, s. 401). Valmistuksen läpäisy aika kuvaa aikaa, joka kuluu valmistuksen aloittamisesta tuotteen valmistumiseen (Kouri 2010, s. 20). Läpäisy aikaan luetaan mukaan valmistusajat, odotusajat, osien liikuttaminen sekä kaikki muu aikaa vievä toiminta, mitä

tuotteelle tehdään valmistuksen aikana (Haverila et al. 2009, s. 401; Arnold et al. 2008, s. 160).

3.2 Toiminnan ohjauksen tehtävät ja tavoitteet

Toiminnan ohjauksen tehtävänä on toteuttaa yrityksen strategisia päämääriä sekä ohjata tuotantojärjestelmiä päivittäisessä toiminnassa. Toimivalla toiminnanohjauksella pystytään olevassa olevia resursseja ja tuotantojärjestelmiä käyttämään tehokkaasti. Toiminnan ohjauksen tasolla toteutettavia asioita ovat muun muassa tuotannon työjärjestyksen ja toimitusaikojen määrittäminen, tarvittavien materiaalien tilaaminen sekä henkilöstö- ja laiteresurssien kapasiteetin hyödyntäminen tehokkaasti. (Haverila et al. 2009, s. 350)

Haverilan et al. (2009, s. 397) sekä Martinsuo et al. (2016, s. 139) mukaan toiminnanohjauksen tavoite on toteuttaa tuotannolle asetetut tavoitteet hallitsemalla ja organisoimalla käytössä olevia resursseja. Toiminnan ohjauksen tavoitteet ovat siis sidoksissa siihen, mitkä tavoitteet tuotannolle on asetettu. Luvussa ”Toiminnan johtaminen” on määritelty tuotannon yleiset tavoitteet ja näiden pohjalta voidaan määrittellä myös toiminnan ohjauksen yleiset tavoitteet. Yleisiä toiminnanohjaukselle asetettavia tavoitteita ovat vaihto-omaisuuden ja toimitusaikojen hallinnointi, kapasiteetin kustannustehokas käyttö sekä läpäisyajojen lyhentäminen (Haverila et al. 2009, s. 402; Ritvanen et al. 2011, s. 56). **Vaihto-omaisuuden**, eli muun muassa raaka-ainevarastojen, KET:n ja lopputuotevarastojen, pienentäminen on kannattavuuden kannalta tärkeää, koska vaihto-omaisuuteen sitoutuu suuri määrä pääomaa (Haverila et al. 2009, s. 402). Sitoutuneen pääoman lisäksi Kourin (2010, s. 20) mukaan suurella KET:n määrällä on negatiivinen vaikutus läpäisyajoihin.

Asiakastyytyväisyyden kannalta on tärkeää varmistaa, että asiakkaille luvatuista toimitusajoista pidetään kiinni (Haverila et al. 2009, s. 402; Ritvanen et al. 2011, s. 56). **Toimitusvarmuuden** hallinnassa, erityisesti tilaustuotteita valmistavalle yritykselle, avainasemassa ovat riittävät materiaalivarastotasot ja nopea läpäisy aika. Vastaavasti, jos tavoitellaan **kapasiteetin kustannustehokasta hyödyntämistä**, pyritään tuotannon työjärjestys suunnittelemaan niin, että tuotteita valmistetaan suurissa sarjoissa koneiden ja laitteiden kuormitusasteen maksimoimiseksi. Tämä onnistuu vakiotuotteita valmistavassa yrityksessä, mutta tilaustuotteita valmistettaessa tällainen järjestely ei ole samassa

mittakaavassa mahdollista. Lisäksi suuret sarjat vaativat suuren määrän varastossa pidettäviä raaka-aineita. (Haverila et al. 2009, s. 402-404)

Tässä vaiheessa on nostettava esiin huomio, että edellä mainittujen tavoitteiden pyrkimykset ovat vahvasti ristiriidassa toisiaan vastaan. Yksi tavoitteista on vaihto-omaisuuden minimointi eli varastotasojen alentaminen, mutta sekä toimitusvarmuuden ylläpitäminen että kapasiteetin kustannustehokas käyttö tarvitsevat korkeita materiaalivarastotasoja. Puolestaan vaihto-omaisuuden minimoimiseen yksi keino on pienentää KET:n määrää, mutta siihen taas keino on pienentää eräkokoja. Toiminnan ohjauksen tavoitteet ovat monesti siis täysin ristiriidassa toisiaan vastaan. Miten nämä tavoitteet pystyttäisiin kuitenkin saavuttamaan yhtäaikaisesti? (Haverila et al. 2009, s. 402-404)

Ratkaisu toiminnan ohjauksen tavoitteiden ristiriitaisuuteen niin vakio- kuin tilausohjautuvassa tuotannossa on Haverilan et al. (2009, s. 406) mukaan toiminnan ohjauksen neljäs tavoite, **läpäisyajojen lyhentäminen**. Läpäisyajan lyhentyessä vakiotuotteita valmistavan yrityksen ei tarvitse pitää niin suurta lopputuotevarastoa, koska tuotteita pystytään valmistamaan nopeammin. Näin pystytään varmistamaan nopea toimitusaika asiakkaalle ilman suuria varastotasoja. Vastaavasti tilaustuotteita valmistavalle yritykselle läpäisyajan lyhentäminen merkitsee suoraan toimitusajan lyhentymistä, koska tilauksen saavuttua tuote pystytään valmistamaan nopeammin. (Haverila et al. 2009, s. 404-406)

Läpäisyajojen lyhentäminen vaatii kuitenkin suunnittelua ja muutoksia väliavarastoihin eli KET:n määrään ja valmistuserien kokoon (Haverila et al. 2009, s. 404). Kourin (2010, s. 8-10) mukaan väliavarastojen vähentäminen ja varastojen sijoittaminen lähelle työpisteitä tehostaa materiaalien kulkua eri vaiheiden välillä ja lyhentää odotusaikojen pienentyessä läpäisyaikaa. Toinen merkittävä keino läpäisyajojen lyhentämiseen on valmistuserien koon pienentäminen. Valmistuserien ollessa pienet, työvaiheiden väliset odotusajat pienenevät ja sen myötä läpäisy aika lyhenee eikä väliavarastoinnille ole tarvetta, vaan tuotteet kulkevat sujuvasti työvaiheesta seuraavaan. (Haverila et al. 2009, s. 404)

Valmistuserien koon pienentäminen täytyy toteuttaa kuitenkin niin, että tuotannon taloudellinen kannattavuus ei kärsi asetusten lisääntyessä. Toisin sanoen asetusten

lisääntyessä, on pyrittävä lyhentämään asetuksiin kulunutta asetusajaa, jotta koneiden kapasiteetti ei kulu vain asetusten tekemiseen. Asetuksella tarkoitetaan tuotantoerän vaihdon yhteydessä tarvittavia toimenpiteitä kuten työkalujen vaihtoja ja kiinnityksiä. Asetusaika puolestaan kertoo näihin toimenpiteisiin kuluneen ajan. Asetusaikaa voidaan lyhentää teknisten ratkaisujen avulla tai muuttamalla toimintatapaa asetuksien teossa. Teknisistä ratkaisuista esimerkkeinä toimii niin sanotut työkalujen ja kiinnittimien pikakiinnitys-vaihtoehdot. Tehokas toimintatapa asetusten tekoon on valmistella seuraavaa asetetta niin pitkälle kuin mahdollista samalla, kun edellinen tuotantoerä on valmistumassa. (Haverila et al. 2009, s. 404)

Läpäisyajojen lyhentämisellä on myös muita toimintaa parantavia vaikutuksia. Koska läpäisyajan lyhentäminen on vaatinut valmistuserien pienentämistä ja asetusajojen lyhentämistä, on tuotanto nopeatempoista, milloin toiminnan virheet ja häiriöt nousevat välittömästi esiin. Kun häiriöt ja virheet ilmenevät nopeasti, pystytään niihin puuttumaan heti ja pidemmällä aikavälillä sekä toiminnan että tuotteiden laatu paranee huomattavasti. Laadun parantuminen lisää myös kustannustehokkuutta laatukustannusten alentuessa. Lyhyellä läpäisyajalla on monien hyvien asioiden lisäksi myös kääntöpuolensa. Kun tuotteet normaalitilanteessa liikkuvat sulavasti työvaiheesta toiseen eikä välivarastoja juuri ole, yhden tuotantovaiheen häiriö voi taas pysäyttää koko työvaihetta seuraavan tuotannon nopeastikin. (Haverila et al. 2009, s. 407)

3.3 Toiminnanohjausprosessi

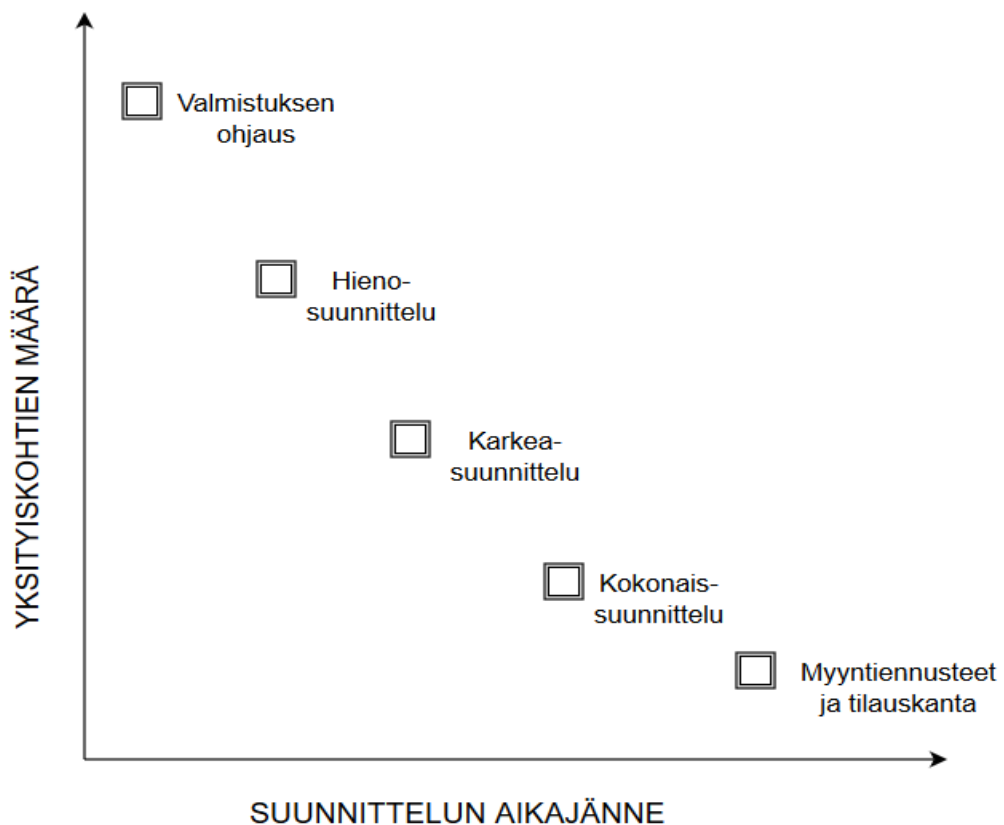
Kuten aiemminkin on mainittu, nykypäivänä valmistavalta yritykseltä vaaditaan korkealaatuisia tuotteita nopealla aikataululla mahdollisimman halvalla hinnalla. Pystyäkseen näihin vaatimuksiin yrityksen on pystyttävä organisoimaan toimintansa erittäin tehokkaasti hallitakseen kaikkia tarvittavia resursseja kuten työvoimaa, materiaaleja sekä koneita ja laitteita. Toiminnan organisoiminen vaatii systemaattisuutta ja toiminnanohjausprosessi on toimiva vaihtoehto, jonka avulla toimintaa voidaan organisoida systemaattisesti. (Arnold et al. 2008, s. 20) Toiminnanohjausprosessi sisältää paljon suunnittelua sekä päätöksentekoa ja se voidaan ajatella prosessina, josta on erotettavissa viisi eri vaihetta:

1. Myyntiennusteiden ja tilauskannan analysointi
2. Kokonaissuunnittelu

3. Karkeasuunnittelu
4. Hienosuunnittelu
5. Valmistuksen ohjaus

(Arnold et al. 2008, s. 21; Haverila et al. 2009, s. 409; Martinsuo et al. 2016, s. 141-154)

Ominaista toiminnanohjausprosessille on, että suunnitelmat tarkentuvat siirryttäessä prosessin vaiheita alaspäin ja eri vaiheilla on eri aikajänteet (Martinsuo et al. 2016, s. 142). Arnold et al. (2008, s. 25) esittävät saman asian kuvaajassa (kuva 8), joka havainnollistaa hyvin eri vaiheiden erot aikajänteiden pituudessa sekä yksityiskohtien määrässä. Haverila et al. (2009, s. 410) sekä Martinsuo et al. (2016, s. 142) käyttävät tästä nimitystä rullaavan suunnittelun periaate, jossa suunnitelmat tarkentuvat ajan kuluessa.



Kuva 8. Yksityiskohtien määrä suhteessa suunnittelun aikajänteeseen. (Mukaihen: Arnold et al. 2008, s. 25)

3.3.1 Kokonaissuunnittelu

Kokonaissuunnittelun lähtökohtana ovat tiedot tilauskannasta, tulevaisuuden menekkiennusteista sekä varastotasosta. Varastotasot ja tilauskanta ovat niin sanottua varmaa tietoa, mutta ennustamiseen liittyy aina epävarmuutta. Ennustaminen on kuitenkin tärkeää kokonaissuunnittelun onnistumisen kannalta, koska tuotantoprosessin muutoskyky on huomattavasti hitaampi kuin menekin vaihtelun nopeus. (Haverila et al. 2009, s. 411-414; Martinsuo et al. 2016, s. 142-143) Kokonaissuunnittelun tärkeimpiä tehtäviä onkin menekinvaihtelujen hallinta, jotta tuotannon kokonaisvolyymi, resurssit ja varastotasot voidaan yleisellä tasolla määrittää oikein (Arnold et al. 2008, s. 21; Haverila et al. 2009, s. 409; Martinsuo et al. 2016, s. 141-154). Tunnettuja keinoja menekinvaihtelun hallintaan ovat muun muassa varastointi, resurssijoustopien käyttö, toimitusaikojen muutokset sekä menekkiin vaikuttaminen. (Haverila et al. 2009, s. 414-415; Martinsuo et al. 2016, s. 145)

Varastointi on toimiva keino varautua menekinvaihteluun. Kun kysyntä on pientä, voidaan tuotteita valmistaa varastoon ja vastaavasti kovan kysynnän aikana tuotevarastoja voidaan tyhjentää. Tällä tavoin kovan kysynnän aikana pystytään varmistamaan nopeat toimitusajat, mutta haittapuolena on varastoon sitoutunut pääoma. Resurssijoustoilla pyritään mitoittamaan resurssit kysynnän mukaan. Pitkällä aikajänteellä resursseja voidaan lisätä henkilöstön palkkauksella tai uusien laitteiden ja koneiden ostolla. Lyhyellä aikajänteellä resursseja voidaan hetkellisesti nostaa muun muassa ylitoilla, vuokratyövoimalla tai alihankinnalla. Menekinvaihtelua voidaan joutua hallitsemaan myös toimitusaikojen muutoksilla, mikä ei lähtökohtaisesti ole asiakastyytyväisyyden kannalta hyvä asia. Jos toimitusaikaa joudutaan siirtämään kauas eteenpäin, riskinä on asiakkaan menettäminen. Neljäs menekinvaihtelun hallintaan vaikuttava asia on kysyntään vaikuttaminen. Asiakkaan ostopäätöksiin eli kysyntään voidaan yrittää hiljaisina aikoina vaikuttaa esimerkiksi laskemalla hintoja tai panostamalla markkinointiin. (Haverila et al. 2009, s. 414-415; Martinsuo et al. 2016, s. 145)

Kokonaissuunnittelussa on harkittava kaikkia menekinhallinnan keinoja ja päätettävä, mitkä ovat kustannusten, henkilöstön hyvinvoinnin ja yrityksen imagon kannalta parhaimmat keinot. Koska kokonaissuunnittelun aikajänne on pitkä, siinä keskitytään yleisemmän tason suunnitteluun. Kokonaissuunnittelun avulla pyritään määrittämään tarvittava henkilöstömäärä ja konekapasiteetti sekä asettamaan oikeat varastotasot, mutta siinä ei vielä

oteta kantaa aikataulutuksellisiin asioihin. Vasta seuraavassa, karkeasuunnittelun vaiheessa näitä suunnitelmia lähdetään jalostamaan yksityiskohtaisemmiksi. (Arnold et al. 2008, s. 30-31; Haverila et al. 2009, s. 4011-415; Martinsuo et al. 2016, s. 142-45)

3.3.2 Karkeasuunnittelu

Karkeasuunnittelussa kokonaissuunnitelmaa lähdetään tarkentamaan yksityiskohtaisemmaksi tuotantoerien tasolle. Karkeasuunnitelma perustuu pitkälti toteutuneisiin tilauksiin ja ennusteilla on huomattavasti pienempi rooli kuin kokonaissuunnittelussa. Karkeasuunnittelun tärkeimmät tehtävät ovat kokonaisaikataulutus, resurssien ja kuormituksen yleissuunnittelu sekä toimituskyvyn yleinen määrittely. (Arnold et al. 2008, s. 49-50; Martinsuo et al. 2016, s. 145-146) Kokonaisaikataulusuunnittelussa tuotantoerät aikataulutetaan tuotantojärjestelmään. Kokonaisaikataulusuunnittelussa käytetään tietoja varastotasoista, varmoista tilauksista, myyntiennusteista ja käytettävissä olevasta kapasiteetista, jotta pystytään suunnittelemaan tuotantovolyymit ja varastojen kehitys viikkotasolla kysyntää vastaavaksi. (Martinsuo et al. 2016, s. 145-146)

Karkeasuunnittelussa tehdään myös resurssisuunnitelmia tuotantoerien vaatimien resurssitarpeiden perusteella ja kohdennetaan resursseja kokonaisaikataulun vaatimiin ajankohtiin. Hallittavia resursseja ovat henkilö- sekä kone- ja laitekapasiteetit, jotka määritellään yleisellä tasolla vastaamaan kysyntää. Käytettävissä olevaa kapasiteettia on verrattava kokonaisaikatauluun ja tehtävä tarvittavia muutoksia kapasiteettiin tai aikatauluihin, jos ne eivät kohtaa kokonaisaikataulun kanssa. Koska yleensä toiminnan suunnittelun rajoitteena on valmistuskapasiteetti, on kapasiteetin kuormitus pystyttävä mitoittamaan tehokkaasti yleisellä tasolla. Yleisen tason kuormituksesta käytetään nimitystä karkeakuormitus. Karkeasuunnittelun vaiheessa ei vielä tarvita tietoa yksittäisten koneiden kapasiteetista, vaan riittävä tarkkuus on esimerkiksi tuotantolinjan kapasiteetti. Pullonkaulakohtiin on kuitenkin kiinnitettävä tarkempaa huomiota, koska pullonkaulakohdat rajoittavat eniten kapasiteettia ja sitä kautta toimituskykyä ja tuotantomäärää. Karkeakuormituksen avulla onkin tarkoitus pystyä määrittämään toimitusaikaa, tuotantoerien sopivaa kokoa ja ajoitusta koskevat asiat. Erityisesti tilaustuotteita valmistavassa yrityksessä, toimitusajan määrittäminen tehdään karkeasuunnittelun perusteella. (Haverila et al. 2009, s. 415-416; Martinsuo et al. 2016, s. 145-149)

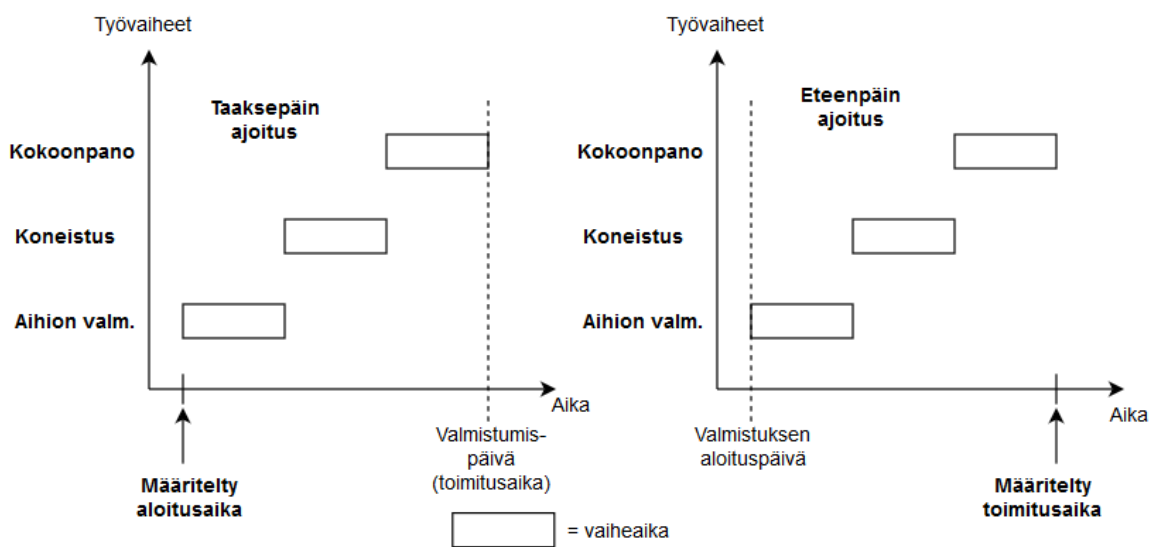
3.3.3 Hienosuunnittelu

Karkeasuunnittelun vaiheessa tuotantoerien ajoitus suunnitellaan hyvin karkeasti noin viikon tarkkuudella. **Hienosuunnittelun** vaiheessa puolestaan tuotantoerät mitoitetaan tarvittavan kokoisiksi, ja ne ajoitetaan työvaiheittain jopa päivän tarkkuuteen. Lisäksi suunnitellaan mitä ja miten paljon resursseja käytetään missäkin työvaiheessa. Toisin sanoen hienosuunnittelun tuloksena on yksityiskohtainen valmistussuunnitelma, joka sisältää tietoa niin tarvittavista materiaaleista kuin itse valmistuksen työvaiheista sekä ajankohdat materiaalityökaluille ja työvaiheiden aloituksille. (Arnold et al. 2008, s. 77-81; Haverila et al. 2009, s. 417)

”Hienosuunnittelussa pyritään tuotantoerien muodostamisella ja ajoittamisella luomaan työjärjestys, joka toteuttaa tuotannon eri tavoitteet mahdollisimman hyvin”, määrittelevät Haverila et al. (2009, s. 418). Hienosuunnitteluun on olemassa muutamia perusperiaatteita, jotta hienosuunnittelun tavoite saadaan täytettyä. Ottaen huomioon tuotannolle yleisesti asetettavat tavoitteet, yleensä hienosuunnittelun avulla pyritään minimoimaan asetusajoja ja -kustannuksia sekä maksimoimaan pullonkaulakohtien kuormitus. Asetusaikojen ja -kustannuksien minimoinnissa suuressa roolissa on tuotantoerien järjesteleminen taloudellisen kokoisiksi. Asetusaikojen saadaan laskettua yhdistelemällä eri tilausten samanlaisia tuotteita samaan tuotantoeraan, mutta riskinä on toimitusaikojen pidentyminen, jos eräkokoja kasvatetaan liikaa. Pullonkaulakohtien maksimaalinen kuormitus taas on tärkeää, koska ne rajoittavat tuotannon kapasiteettia eniten. Pullonkaulakohtien kuormituksessa oleellista on tuotannon ajoitus. Tuotanto pitäisi ajoittaa niin, että pullonkaulakohdissa on koko ajan tarvittavia materiaaleja ja osia valmistettavaksi. Tuotannon ajoittaminen pullonkaulakohtia kuormittavaksi on kuitenkin haastavaa ilman välivarastoja, koska tuotantohäiriöt ennen pullonkaulakohtia voivat johtaa materiaalien sekä osien puutokseen, ja sen seurauksena pullonkaulavaiheen kuormituksen alenemiseen. (Haverila et al. 2009, s. 418; Martinsuo et al. 2016, s. 149)

Tuotannon ajoitukseen ja työjärjestyksen muodostamiseen on olemassa monia erilaisia tapoja. **Tuotannonajoituksessa** yleisesti käytettäviä metodeja ovat taakse- ja eteenpäin ajoitus. Tuotantoa ajoittaessa on tiedettävä tuote-erien vaihe- eli työstöajat ja vaiheajojen määrittämiseen tarvitaan tietoa käytössä olevasta kapasiteetista. (Haverila et al. 2009, s. 419) Taaksepäin ajoituksessa tarkoituksena on selvittää, milloin tuote-erän valmistus on

aloitettava. Taaksepäin ajoituksessa lähtökohtana on tieto tuote-erän valmistumisajankohdasta, joka voi olla esimerkiksi luvattu toimitusaika. Tästä ajankohdasta lähdetään vähentämään viimeiseen työvaiheeseen kuluva aika ja saadaan tietoon viimeisen vaiheen aloitusajankohta. Sen jälkeen viimeistä edeltävän työvaiheen kesto vähennetään saadusta aloitusajankohdasta ja näin tehdään jokaiselle tarvittavalle työvaiheelle. Eteenpäin ajoituksessa puolestaan tarkoituksena on määrittää, milloin tuote aikaisimmillaan pystytään toimittamaan asiakkaalle eli sen avulla pystytään määrittämään toimitusaika. Eteenpäin ajoituksessa tuotantoerän valmistuksen lähtökohtana on tieto, milloin valmistus aloitetaan. Aloitusajankohtaan lisätään ensimmäisen työvaiheen vaiheaika, jonka perusteella tiedetään, milloin ensimmäinen työvaihe on valmis ja tämän perusteella tiedetään, milloin toinen työvaihe voidaan aloittaa. Näin edetään koko valmistusvaiheen läpi, jotta saadaan tieto, milloin tuote-erän pitäisi olla valmis. (Arnold et al. 2008, s. 161; Haverila et al. 2009, s. 419) Kuvassa 9 on havainnollistettu eteen- (kuvassa oikealla) ja taaksepäin ajoituksen (kuvassa vasemmalla) ero yksinkertaistetun esimerkin avulla. Kuvaajissa pystyakselilla ovat työvaiheet ja vaaka-akselilla on aika.



Kuva 9. Esimerkki taakse- ja eteenpäin ajoituksen erosta. (Mukaillen: Haverila et al. 2009, s. 419)

Optimaalista työjärjestystä miettiessä on hyvin todennäköistä, että vastaan tulee valintatilanteita, joiden väliltä on vaikea päättää, miten päin työjärjestys toimii parhaiten. Esimerkiksi toisella työjärjestyksellä pystytään alentamaan asetuskustannuksia, mutta toisaalta vaihtoehtona on nopeampi toimitusaika. Tällaisiin tilanteisiin on hyvä olla joitain

tiettyjä sääntöjä, joilla pystytään nopeasti päättämään eli priorisoimaan tuotannon työjärjestys. Monesti nämä yksinkertaiset säännöt, joita kutsutaan prioriteettisäännöiksi, perustuvatkin juuri joko kustannusten tai valmistus- ja toimitusajan minimointiin. Työjärjestyksen muodostamisen periaatteena voivat olla muun muassa asetuskustannusten minimointi, saapumisjärjestys, aikaisin aloitusajankohta tai suurin myöhästyminen ensin.

Kuten aikaisemminkin on mainittu, asetuskustannuksia voidaan alentaa vähentämällä asetusten lukumäärää yhdistelemällä tuote-eriä keskenään. Työjärjestyksen määrittämisessä tämä tarkoittaa esimerkiksi, että eri tilauksissa esiintyviä samoja tai samankaltaisia tuotteita järjestellään valmistettavaksi peräkkäin. Työjärjestyksen muodostaminen saapumisjärjestyksen perusteella tarkoittaa, että ensin saapunut tilaus otetaan työjärjestyksen ensimmäiseksi. Saapumisjärjestykseen perustuvasta työjärjestyksestä käytetään yleisesti myös englanninkielisiä käsitteitä First In First Out (FIFO) ja First Come, First Served (FCFS). Tämä on yksinkertainen sääntö työjärjestyksen muodostamiseen, mutta se on ongelmallinen sen suhteen, että se ei ota kantaa luvattuihin toimitusaikoihin, jotka voivat olla toisilla tilauksilla pidemmät kuin toisilla. Aikaisimman aloitusajankohdan perusteella työjärjestyksestä määritettäessä tarkoituksena on varmistaa, että toimitusajoista pystytään pitämään kiinni. Taaksepäin ajoituksella voidaan määritellä valmistuksen aloitusaika toimitusajan perusteella ja tämän perusteella muodostaa työjärjestys, jossa valmistuksen aloitusajaltaan aikaisin tilaus asetetaan ensimmäiseksi. Tällä tavoin toimiessa toimitusajasta kiinnipitäminen helpottuu. (Haverila et al. 2009, s. 420)

Joskus tulee kuitenkin vastaan tilanteita, joissa luvatuista toimitusajoista ei pystytä pitämään kiinni ja tilaukset ovat myöhässä. Tällaisessa tilanteessa kannattava vaihtoehto saattaa olla järjestää työjärjestys myöhästymisaikojen perusteella. Työjärjestys muodostetaan tällaisessa tapauksessa niin, että työjärjestyksen ensimmäiseksi otetaan eniten myöhässä oleva tilaus ja niin edelleen. Näin pystytään minimoimaan jo ennestään myöhässä olevan tilauksen myöhästymisaikaa, mikä on tärkeää, koska mitä enemmän tilaus on myöhässä, sitä isommat ovat myöhästymiskorvaukset ja asiakkaan tyytymättömyys. (Haverila et al. 2009, s. 420)

Toistaiseksi on käsitelty vain tuotannon ajoitusta koskevia asioita, mutta yhtään tuotetta ei pystytä valmistamaan ilman raaka-aineita. Raaka-aineita pitäisi aina olla tarjolla oikea määrä oikeaan aikaan, jotta tuotteiden valmistukseen ei tule myöhästyksiä. Tämän vuoksi

materiaalihankinta onkin tärkeä osa hienosuunnittelua. Hienosuunnittelun vaiheessa määritellään materiaalien määrän tarve sekä niiden tilausten ajoitus. Ennen kuin materiaalien ajoitus voidaan määrittellä, on tiedettävä mitä materiaaleja ja kuinka paljon niitä tarvitaan. Materiaalihankinnassa erittäin käytetty apuväline on osaluettelo. Osaluettelo sisältää tiedot kaikista tarvittavista materiaaleista ja osista, joita yhden tuotteen valmistamiseen tarvitaan. Osaluetteloon numeroidaan jokainen osa omalla numerolla. Osanumerot pysyvät aina samana, vaikka sama osa olisi kahdessa eri osaluettelossa. Yksinkertainen esimerkki osaluettelosta ja siinä tarvittavista tiedoista on esitetty kuvassa 10. (Arnold et al. 2008, s. 78-81, 160-161)

Tuote: PUINEN RUOKATUOLI		
Osanumero: 20		
Osanumero	Kuvaus	Määrä (kpl)
1.1	Tuolin jalka	4
2.1	Istuin	1
3.1	Selkänoja	1
4.1	Kiinnitysruuvit	6

Kuva 10. Esimerkki osaluettelon rakenteesta. (Mukaillen: Arnold et al. 2008, s. 81)

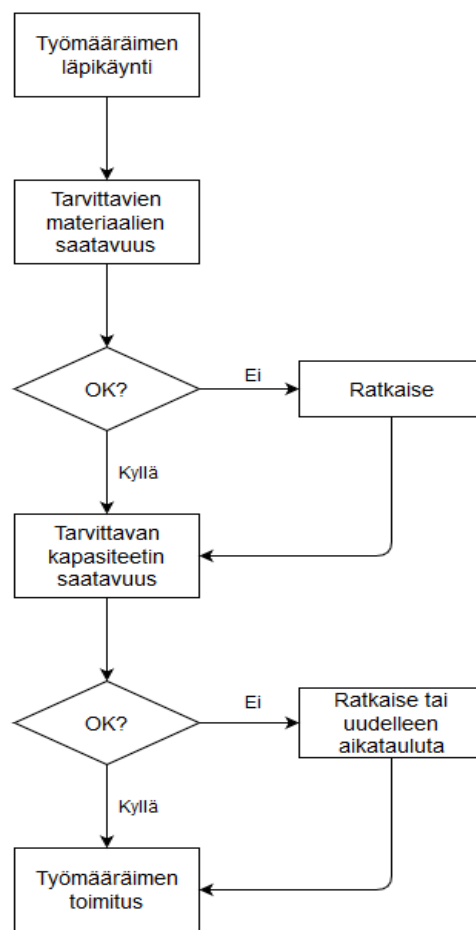
Materiaalihankintojen aikataulutuksessa käytetään samoja periaatteita kuin valmistuksen ajoituksessa, eteen- ja taaksepäin ajoitusta. Materiaalihankintojen ajoituksessa oleellista on ottaa huomioon hankittavien materiaalien toimitusajat, jotta tarvittavat materiaalit ovat saatavilla valmistuksen tuotanto-ohjelman mukaisina ajankohtina. Monesti eri materiaaleille toimitusajat voivat olla jopa useita viikkoja, minkä vuoksi materiaalitylausten aikataulut on pystyttävä määrittämään useammaksi viikoksi eteenpäin. (Arnold et al. 2008, s. 78-81, 160-161) On kuitenkin huomioitavaa, että Haverilan et al. (2009, s. 447-448) mukaan monesti asiakkaan vaatima toimitusaika on lyhyempi kuin materiaalien hankintaan ja valmistukseen kuluva aika. Tästä syystä, vaikka hankintojen ajoitus hoidettaisiin kuinka täydellisesti tahansa, yritys voi joutua turvautumaan tiettyjen materiaalien varastointiin.

3.3.4 Valmistuksen ohjaus

Valmistuksen ohjauksen tehtävänä on toteuttaa karkea- ja hienosuunnittelussa määritellyt asiat (Arnold et al. 2008, s. 153). Valmistuksen ohjaukseen sisältyy eri työtehtävien jakaminen työntekijöille, työtehtävien ja materiaalivirtojen ohjaaminen sekä valmistuksen etenemisen seuranta. Lisäksi valmistuksen ohjauksen on pidettävä huolta riittävästä raportoinnista tuotantotoiminnasta. Yleensä valmistusta ohjataan erilaisilla työ- ja materiaalmääräimillä sekä saattokorteilla. Perinteisesti työmääräimellä tarkoitetaan tulostettua paperilappua, josta selviää valmistettava tuote sekä työvaiheet, jotka tuotteen valmistukseen tarvitaan. Työmääräimeen voidaan myös liittää erilaisia tietoja valmistuksessa tarvittavista asioista kuten valmistuskuvista, koneistuksesta tai valmistusohjeista. Ulkonäöltään työmääräimiä on lukematon määrä erilaisia, mutta tärkeintä on, että niistä löytyvät helposti tarvittavat tiedot tuotteen valmistamiseksi. Työmääräintä käytetään työtehtävien jakamiseen työntekijöille ja työvaiheiden aikataulukseen. Vastaavasti saattokortilla ohjataan valmistettavan tuotteen liikkeitä eri työpisteiden välillä. Materiaalien ohjaamiseen puolestaan käytetään materiaalmääräintä. Materiaalmääräin voi olla esimerkiksi osaluettelo (ks. kuva 10), josta on helposti katsottavissa mitä osia eri työvaiheissa tarvitaan. Vaikka yllä on mainittu työmääräimien olevan perinteisesti tulostettavia dokumentteja, on nykypäivänä yleistä, että eri työmääräimien toimitus työpisteille suoritetaan sähköisesti. (Haverila et al. 2008, s. 425-426; Martinsuo et al. 2016, s. 152-153) Lisäksi, Haverilan et al. (2009, s. 425) ja Arnoldin et al. (2008, s. 172) mukaan monesti yrityksissä, joissa valmistetaan yksinkertaisia tuotteita, voidaan valmistustoimintaa ohjata pelkästään yhdellä työmääräimellä, johon on kerätty tarvittavat tiedot valmistettavasta tuotteesta, tarvittavista materiaaleista sekä työvaiheiden etenemisjärjestyksestä.

Hienosuunnittelun vaiheessa on suunniteltu valmistettavien tuotteiden määrät ja aikataulu päiväkohtaisesti ja puolestaan valmistuksen ohjauksen tarkoituksena on varmistaa, että nämä suunnitelmat toteutuvat. Suunniteltua aikataulua ja työjärjestystä voidaan hallita työmääräimien avulla ajoittamalla niiden toimitusta ja määrää työpisteille ja järjestelemällä ne haluttuun järjestykseen työpisteille (Haverila et al. 2009, s. 426). Arnoldin et al. (2008, s. 172) mukaan ennen kuin työmääräin toimitetaan työpisteelle, on tärkeää, että työnjohto on varmistanut kyseisen työpisteen kapasiteettitilanteen sekä tarvittavien materiaalien löytymisen. Jos työnjohto toteaa, että työpisteellä on tarvittava kapasiteetti ja materiaalit työvaiheen suorittamiseen työmääräin voidaan toimittaa ja valmistus aloittaa. Puolestaan,

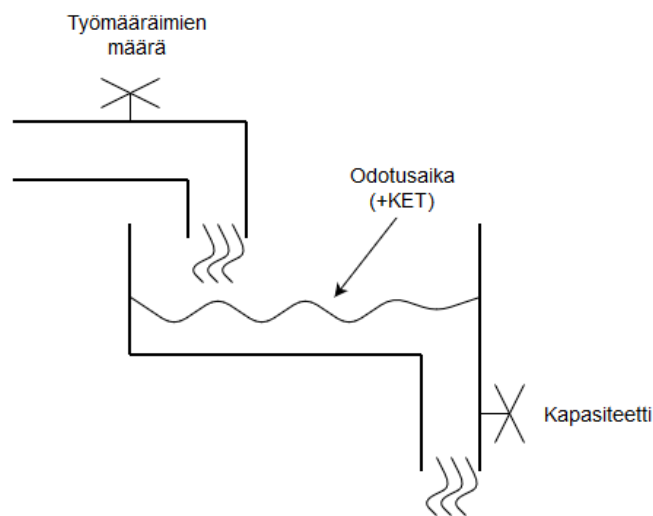
jos huomataan, että seuraavalla työpisteellä on esimerkiksi edellinen työ vielä pahasti kesken tai tarvittavissa materiaaleissa on puutoksia, työmääräintä ei pidä toimittaa ennen kuin puutokset on ratkaistu. Jos työmääräin toimitetaan puutoksista huolimatta työpisteelle, aiheuttaa se lisääntyntä KET:n määrää sekä turhia odotusaikoja, koska keskeneräinen työ joutuu odottamaan seuraavaa työvaihetta puutoksien vuoksi. Arnold et al. (2008, s. 173) havainnollistavat teoksessaan kuvan 11 mukaisesti, miten työmääräimen toimitusprosessin tulisi edetä.



Kuva 11. Työmääräimen toimitusprosessi. (Mukaiillen: Arnold et al. 2008, s. 173)

Kuten aiemmin on mainittu, toimitusajoista kiinni pitäminen on erittäin tärkeä asia yrityksen kilpailukyvyn kannalta. Onnistuakseen tässä on yrityksen valmistustoimintaa ohjattava ja seurattava tehokkaasti. Toimitusajoista kiinnipitämisessä läpäisyajan hallinnalla on suuri merkitys. Koska läpäisyajasta suurin osa syntyy odotusajoista, on tärkeää pyrkiä minimoimaan odotusaikaa. Odotusaika syntyy siitä, kun edelliseltä työpisteeltä valmistuneet tuotteet joutuvat odottamaan seuraavan työvaiheen kapasiteetin vapautumista. Toisin sanoen

odotusaika syntyy, kun eri työpisteiden kuormitus ei ole tasapainossa keskenään. Jotta odotusaikaa pystytään pienentämään, on eri työpisteille tulevaa ja lähtevää kuormitusta pystyttävä kontrolloimaan. Tästä käytetään nimitystä input/output control, joka voidaan vapaasti suomentaa sisään/ulos kontrolloinniksi. Sisään/ulos kontrolloinnissa ajatuksena on tasapainottaa eri työpisteille laskettavien työmääräinten määrä (kuormitus sisään) sekä työpisteiden kapasiteetti (kuormitus ulos) ja tämän avulla hallita odotusaikoja ja KET:n määrää. Esimerkiksi, jos toimitettavien työmääräimien määrää työpisteille lisätään, mutta kapasiteetti pysyy samana, on seurauksena odotusaikojen pidentyminen sekä välivarastojen kasvu, koska lähtevä kuormitus ei ole sama kuin sisään tuleva. Sisään/ulos kontrolloinnin periaate on havainnollistettu kuvassa 12. Kuvassa vesiraja kuvaa odotusaikaa ja venttiilit työmääräimien määrää sekä kapasiteettia. Esimerkiksi, jos yläventtiiliä avataan eli työmääräimiä lasketaan enemmän liikkeelle, mutta alaventtiiliä ei avata eli kapasiteettia nosteta samassa suhteessa, on seurauksena vesirajan nousu eli odotusaikojen pidentyminen. (Arnold et al. 2008, s. 174-175)



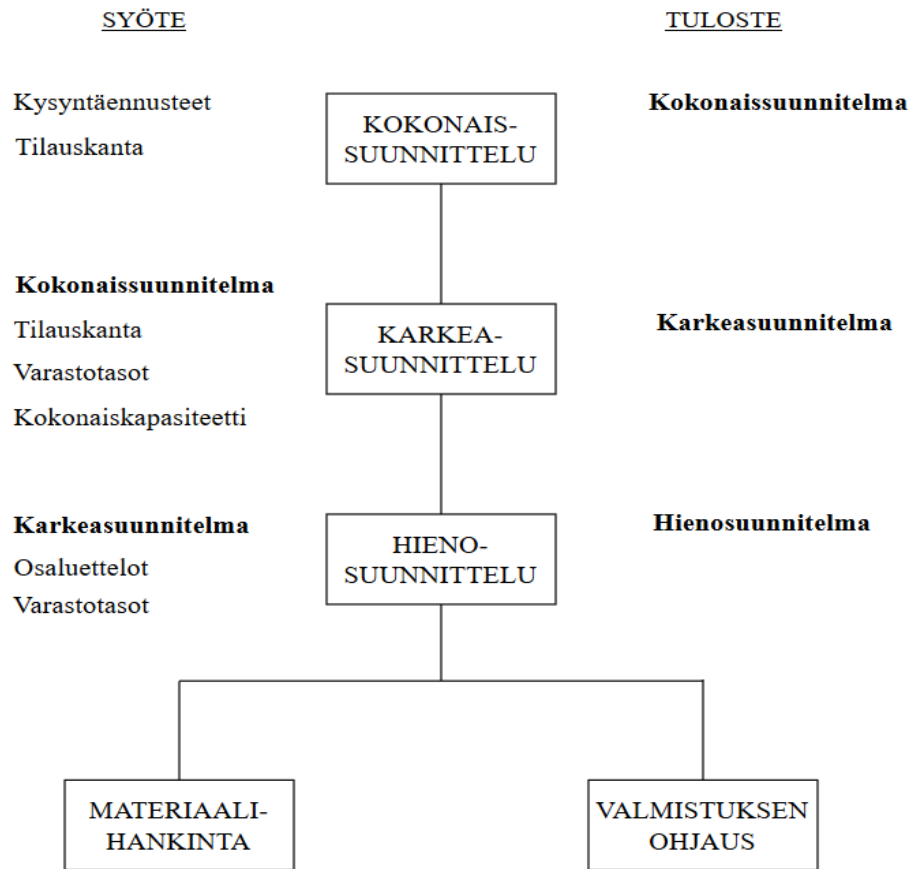
Kuva 12. Sisään/ulos kontrolloinnin periaate. (Mukaillen: Arnold et al. 2008, s. 175)

Päivittäisen valmistustoiminnan organisoinnin lisäksi valmistuksen ohjauksen tehtävä on raportoida, mitä valmistustoiminnan aikana on tapahtunut ja miten valmistustehtävissä on onnistuttu. Raportoinnin tarkoituksena on seurata ja dokumentoida muun muassa toiminnan ja yksittäisten työpisteiden tuottavuutta, tuote-erien valmistuksen etenemistä tuotannossa, varastotasoa sekä laatuvirheiden määrää ja puutoksia raaka-aineissa tai muissa tarvittavissa materiaaleissa. Tietojen keräämiseen on olemassa useita eri keinoja perinteisestä paperille

kirjaamisesta nykyaikaiseen sähköiseen dokumentointiin. Perinteisesti valmistustoiminnan raportointi on toteutettu kirjaamalla tarvittavat tiedot, kuten työstöajat, työmääräimiin tai erillisiin raportointikortteihin työnjohdon tai työntekijän toimesta. Nykypäivänä toiminnanohjausjärjestelmät ovat yleistyneet ja raportointitiedot voidaan syöttää tietojärjestelmään sähköisesti suoraan työpisteeltä joko käsin tai lukemalla työmääräimiin sijoitettava työnumeron kertova viivakoodi. (Arnold et al. 2008, s. 180; Haverila et al. 2009, s. 426; Martinsuo et al. 2016, s. 154)

Raportointitietojen perusteella yritys pystyy tarkastelemaan esimerkiksi karkea- ja hienosuunnittelun onnistumista sekä resurssien käyttöastetta. Tarkasteltuaan raportointitietoja kriittisesti, yritys pystyy kehittämään toimintaansa. Esimerkiksi, jos raportointitiedot osoittavat, että toimitusajoissa ollaan jatkuvasti myöhässä tai yksi tuotantolinjan koneista on käyttämättä päivittäin, yrityksen on muutettava hienosuunnitelman aikataulutusta vastaamaan tuotantotasoa ja pyrittävä kuormittamaan käyttämätöntä konetta tasaisemmin. (Arnold et al. 2008, s. 180; Haverila et al. 2009, s. 426; Martinsuo et al. 2016, s. 154)

Toiminnanohjausprosessi on siis vaiheittain etenevä prosessi, jossa suunnitelmat tarkentuvat aina seuraavaan vaiheeseen edetessä ja lopputulemana on selvät toimintaohjeet ja suunnitelmat valmistustoiminnan toteutuksesta ja materiaalien hankinnasta (Martinsuo et al. 2016, s. 142). Yhteenvetona toiminnanohjausprosessista kuvassa 13 on esitetty prosessin eteneminen kaavion avulla. Vaiheiden vierelle vasemmalle on kirjattu mitä eri vaiheet tarvitsevat suunnitelmien tekemiseen, ja oikealle mikä on eri vaiheiden lopputuotos.

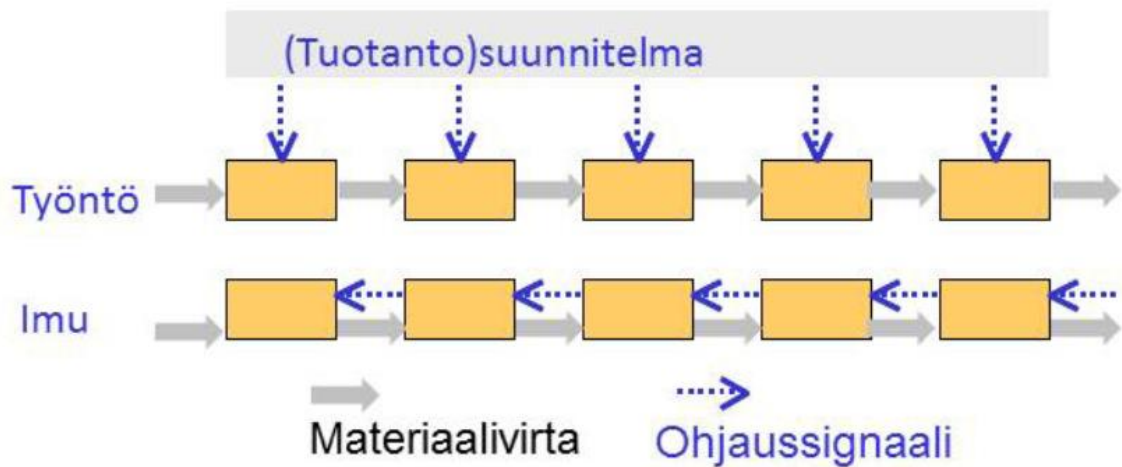


Kuva 13. Yhteenveto toiminnanohjausprosessin etenemisestä ja eri vaiheissa tarvittavista tiedoista. (Mukaiillen: Arnold et al. 2008, s. 80)

3.4 Tuotannon ohjauksen muodot ja eri toimintamallit

Tässä kappaleessa esitellään tuotannon ohjauksen kaksi eri muotoa – työntö- ja imuohjaus. Sen lisäksi käsitellään kahta eri tuotannon ohjaamisen toimintamallia. Käsiteltävät toimintamallit ovat Just In Time (JIT) ja Theory of Constraints (ToC).

Työntöohjauksessa materiaalivirtoja ja valmistusta ohjaavat ennalta tehdyt tuotantosuunnitelmat eli työvaiheet ovat etukäteen ajoitettuja, kun taas imuohjauksessa materiaalien kulkua ja valmistuksen etenemistä ohjaavat seuraavan työvaiheen tarve. Kuvassa 14 on esitetty työntö- ja imuohjauksen ero. Katkoviivanuolet kuvaavat ohjaussignaalia ja paksumat nuolet materiaalivirtaa. Kuten kuvasta nähdään, työntöohjauksessa jokainen työvaihe saa ohjaussignaalin tuotantosuunnitelmasta, kun taas imuohjauksessa valmistuksen aloituksen ja materiaalien liikuttamisen ohjaussignaali syntyy edeltävän työvaiheen tarpeesta. (Logistiikan maailma 2020)



Kuva 14. Työntö- ja imuohjauksen ero. (Logistiikan maailma 2020)

Edellisessä kappaleessa esitellyt hienosuunnitteluperiaatteet, jotka perustuvat etukäteen tehtyihin suunnitelmiin, ovat esimerkkejä **työntöohjauksesta**. Työntöohjaus on edelleen eniten käytetty ohjausmuoto. (Haverila et al. 2009, s. 422) Monesti työntöohjauksen yhteydessä materiaalien hankintaan liittyvistä asioista käytetään käsitettä materiaalitovelaskenta, tai sen englanninkielistä lyhennettä MRP (Materials Requirements Planning). Materiaalilaskennan avulla suunnitellaan kuinka paljon ja milloin materiaaleja täytyy tilata. (Sakki 2014, s. 90-91) Materiaalilaskennan ajoitustapoja on esitelty jo edellisen kappaleen loppupuolella.

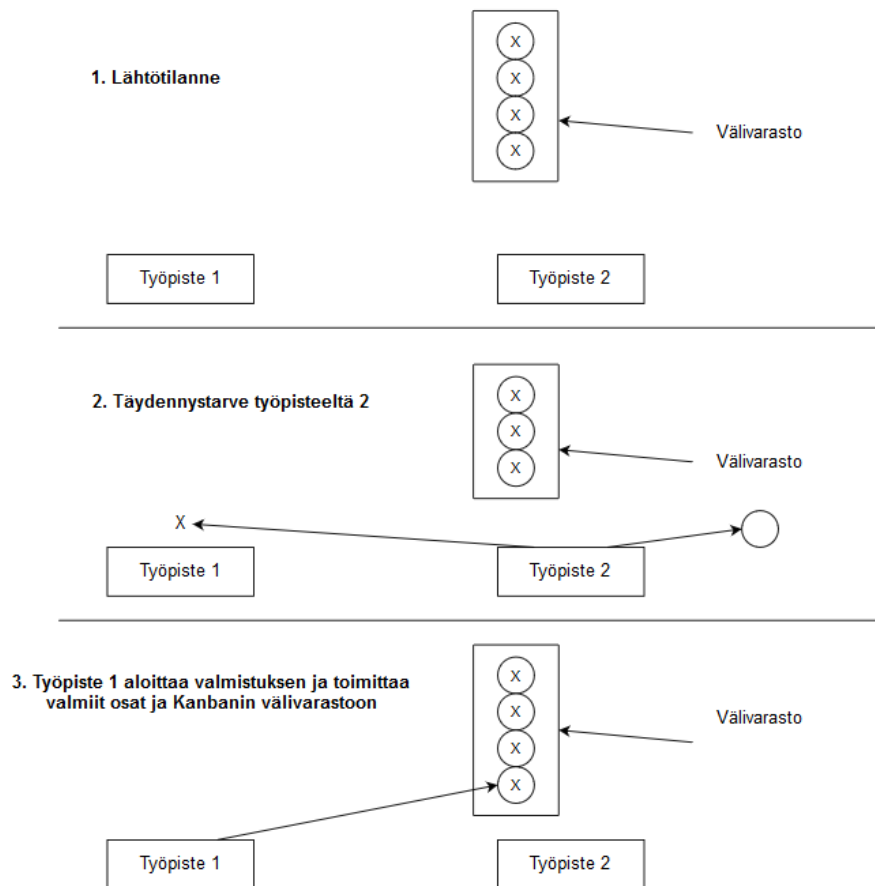
Vaikka työntöohjaus onkin edelleen käytetyin ohjausmuoto, on kiinnostus imuohjaukseen suurta, koska imuohjauksen tavoitteena on pienentää varastojen kokoa ja sitä kautta alentaa syntyviä kustannuksia. **Imuohjauksen** toteuttamiseen on olemassa useita tapoja, mutta tunnetuin on varmastikin Kanban-ohjaus. Muita tapoja imun toteutukseen ovat esimerkiksi kahden laatikon malli sekä muut visuaaliseen havaintoon perustuvat ohjaussignaalin toteuttajat kuten tyhjä hyllypaikka tai merkitty paikka lattiassa. Kuten kuvassa 14 on esitetty, imuohjauksessa valmistus ja materiaalien siirtäminen työpisteiden välillä aloitetaan vasta seuraavan työvaiheen antamasta ohjaussignaalista. Kanban-ohjauksessa tämä ohjaussignaali annetaan merkinantokortin, Kanbanin, avulla. Kanbanista on löydettävä ainakin tieto tarvittavasta tuotteesta ja sen valmistusmäärästä, mutta monesti Kanban-kortista löytyvät myös tiedot esimerkiksi varastopaikasta. (Kouri 2010, s. 22; Logistiikan maailma 2020) Esimerkki Kanban-imuohjaukskortista on esitetty kuvassa 15.

Varastosijainti: B - 879			Työvaihe:
Tuotenumero: 9435 - 334			Sorvaus A - 3
Tuotenimi: Mäntä			Seuraava työvaihe:
Määrä:	Laatikon tyyppi:	Kortti:	Hionta B - 7
5	A	1/5	

Kuva 15. Kanban-imuohjauskortti. (Kouri 2010, s. 22)

Kanban-ohjaus toimii siten, että seuraava työvaihe toimittaa Kanban-kortin edeltävälle työvaiheelle, kun se tarvitsee lisää valmistettavia tuotteita. Kun edeltävä työpiste on vastaanottanut Kanban-kortin, aloittaa työpiste valmistamisen Kanban-kortin tietojen pohjalta ja toimittaa valmistetut tuotteet sekä Kanban-kortin seuraavalle työpisteelle. Kanban-ohjauksen käytössä on tärkeää määrittää valmistusketjussa liikkuvien Kanbanien määrä, koska niiden avulla pystytään hallitsemaan välivarastojen määrää, mutta toisaalta myös varmistamaan osien riittävyys mahdollisten ongelmien ilmetessä. Kun liikkeellä olevien Kanbanien määrää vähennetään, myös KET vähenee ja vastaavasti Kanbanien määrää lisätessä KET:n määrä kasvaa. (Logistiikan maailma 2020; Kouri 2010, s. 22-23)

Yksinkertaistettu esimerkki Kanban-ohjauksesta on esitetty kuvassa 16. Kuvassa X-merkki kuvaa Kanban-korttia ja ympyrät kuvaavat tuote-erää. Kun työpiste 2 toimittaa yhden tuote-erän eteenpäin, toimittaa se Kanban-kortin työpisteelle 1, joka aloittaa valmistuksen ja toimittaa sekä valmiin tuote-erän että Kanban-kortin välivarastoon.



Kuva 16. Yksinkertaistettu esimerkki Kanban-ohjauksen toiminnasta. (Mukaiillen: Arnold et al. 2008, s. 451-453)

Toinen tunnettu tapa imuohjauksen toteutukseen on kahden laatikon malli. Periaatteeltaan kahden laatikon malli toimii kuten Kanban-ohjaus, mutta ohjaussignaalin eli täydennystarpeen synnyttää tyhjentynyt osalaatikko. Toimintaperiaatteena kahden laatikon mallissa on, että laatikon tyhjentyessä, se toimitetaan edeltävälle työpisteelle ja kyseinen työpiste valmistaa laatikollisen uusia osia. Usein, jos työpiste valmistaa useita erilaisia osia, on laatikon yhteydessä oltava merkittynä, mistä työpisteeltä laatikko on tullut ja mitä osia se tarvitsee. Kahden laatikon mallissa KET:n määrää voidaan hallita samoin periaattein kuin Kanban-ohjauksessa. (Logistiikan maailma 2020; Kouri 2010, s. 22-23)

3.4.1 Just in Time

Imuohjauksen yhteydessä puhutaan usein myös **JIT-toimintamallista** ja usein JIT esiintyy puheissa jopa synonyymina imuohjaukselle. Suomenkielinen vastine JIT-lyhenteelle on JOT, Juuri Oikeaan Tarpeeseen, mikä kuvaakin toimintamallia erinomaisesti. JIT on

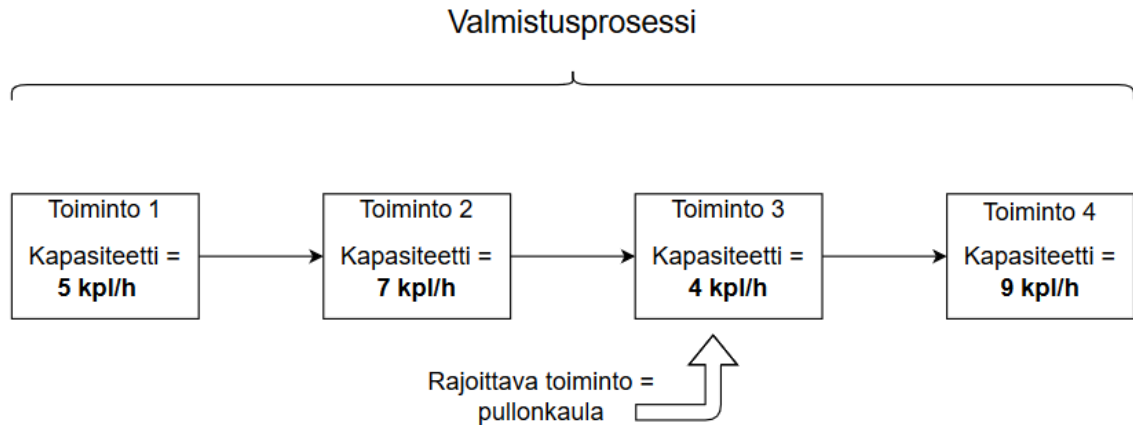
Japanista alkunsa saanut tuotantoperiaate, jolla pyritään valmistamaan tuotteita kustannustehokkaasti ja asiakasohjautuvasti erittäin lyhyiden läpäisyajkojen ja minimaalisten, lähes olemattomien, varastotasojen avulla. JIT-toimintamallin käyttöönotossa tärkeää on lyhentää asetusajoja, koska sen seurauksena voidaan pienentää eräkokoja. Eräkoon pienentämisellä puolestaan on suora vaikutus läpäisyajan lyhenemiseen. Läpäisyajan lyhentäminen puolestaan vähentää väli- ja loppuvarastoinnin tarvetta, joten varastotasot laskevat. JIT-periaatetta on helpoin toteuttaa vakiotuotteiden valmistuksessa, joiden kysyntä pysyy lähes vakiona, koska silloin imuohjauksen toteuttaminen on yksinkertaisempaa ja selkeämpää esimerkiksi Kanban-ohjauksen avulla. (Haverila et al. 2009, s. 428-429; Logistiikan maailma 2020)

JIT-periaatteen kiistattomia hyötyjä ovat korkea tuottavuus ja nopeat toimitusajat, mutta JIT-tuotannolla on myös riskinsä (Kortabarría et al. 2018, s. 634; Logistiikan maailma 2020). Koska välivarastot ja eräkoot on minimoitu hyvin pieniksi, ongelmat tuotantolinjan yhdessä työvaiheessa voivat pysäyttää koko tuotantolinjan materiaalipuutteiden vuoksi. Tämän vuoksi korkea laaduntuottokyky on elinehto JIT-periaatteen toiminnalle, mutta toisaalta, kun ongelmat ja virheet ilmenevät heti, voidaan niihin puuttua välittömästi ja samalla kehittää laatua paremmaksi. (Arnold et al. 2008, s. 454; Haverila et al. 2009, s. 428-429)

3.4.2 Theory of Constraints

Toinen käytetty toimintamalli tuotannon ohjauksessa on **ToC**. ToC-toimintamallin taustalla on perusajatus, että jokainen kompleksinen systeemi, kuten valmistusprosessi, koostuu toisiinsa linkittyneistä toiminnoista, ja tällaisessa prosessissa yksi toiminnoista on aina koko toimintaa rajoittava tekijä (engl. constraint). Monesti tästä toimintaa rajoittavasta tekijästä käytetään nimitystä pullonkaula. (Lean Production 2020) Toisin sanoen, valmistusprosessin jokaisella toiminnolla on oma maksimikapasiteettinsa ja toiminto, jonka kapasiteetti on pienin, määrittelee koko prosessin maksimikapasiteetin (Arnold et al. 2008, s. 170). Kuvassa 17 on havainnollistettu tämä perusajatus yksinkertaisen esimerkin avulla. ToC-toimintamallilla pyritään löytämään prosessin pullonkaulakohta ja kehittämään sitä niin, ettei se enää ole rajoittava tekijä. Prosessin pullonkaulakohtien löytäminen on tuottavuuden ja toiminnan kehittämisen kannalta erittäin merkittävää. Koska prosessin maksimikapasiteetti määräytyy pullonkaulakohdan mukaan, on yhdentekevää parantaa muita toimintoja kuin pullonkaulakohtaa, koska pullonkaulakohta on edelleen rajoittava

tekijä. ToC-toimintamallin avulla pystytään siis kohdentamaan kehitystarpeita oikeaan paikkaan. Pullonkaulakohtien poistamisella on suora vaikutus myös läpäisy aikaan ja välivarastoihin, koska silloin valmistusprosessi toimii sulavammin, eikä ennen pullonkaulaa synny ylimääräistä KET:a. (Lean Production 2020) Seuraavaksi käydään läpi, kuinka ToC-toimintamallia voidaan toteuttaa valmistavassa yrityksessä.



Kuva 17. ToC-toimintamallin perusajatus. (Mukaillen: Arnold et al. 2008, s. 170)

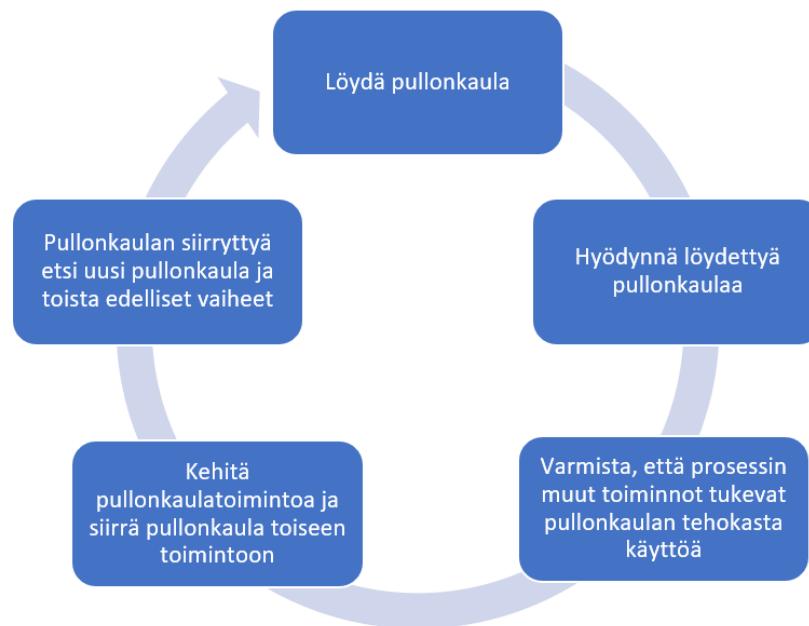
ToC-toimintamalli tarjoaa menetelmän pullonkaulakohtien löytämiseen ja niiden eliminoimiseen. Tämä menetelmä, joka tunnetaan nimellä **viisi keskittymisen askelta** (engl. Five Focusing Steps), voidaan käsittää sykliseksi prosessiksi, jonka avulla yrityksen valmistusprosessia voidaan parantaa jatkuvasti. (Arnold et al. 2008, s. 170-171; Lean Production 2020; Pacheco et al. 2019, s. 721; Prasetyaningsih et al. 2019, s. 170) Nimensä mukaisesti menetelmä koostuu viidestä eri vaiheesta eli askeleesta, jotka ovat alla listattuna:

1. Löydä pullonkaula
2. Hyödynnä löydettyä pullonkaulaa
3. Varmista, että prosessin muut toiminnot tukevat pullonkaulan tehokasta käyttöä
4. Kehitä pullonkaulatoimintoa ja siirrä pullonkaula toiseen toimintoon
5. Pullonkaulan siirryttyä etsi uusi pullonkaula ja toista edelliset vaiheet

(Arnold et al. 2008, s. 170-171; Lean Production 2020; Pacheco et al. 2019, s. 721; Prasetyaningsih et al. 2019, s. 170)

Ensimmäinen askel on havainnoida ja tutkia prosessia kriittisesti ja löytää se toiminto, eli pullonkaula, joka rajoittaa kapasiteettia sillä hetkellä eniten. Kun pullonkaula on löydetty,

voidaan sitä lähteä kehittämään. **Toisessa askeleessa** pullonkaulaa pyritään hyödyntämään jo olemassa olevia resursseja käyttäen. Tämä tarkoittaa sitä, että yritetään löytää keinoja, joilla pullonkaulakohdan käyttöaste voidaan maksimoida. (Lean Production 2020) Arnoldin et al. (2008, s. 171) mukaan monessa tapauksessa, esimerkiksi konepajoissa, kaikki toiminnot pysähtyvät lounastauon ajaksi. Heidän mukaansa yksi keino kuormittaa pullonkaulatoimintoa tehokkaammin olisi, että pullonkaulatoimintoa ei sammutettaisi lounastauon ajaksi, vaan ruokatauot pitäisi kierrättää niin, että pullonkaulatoiminto voisi jatkaa toimintaansa. **Kolmas askel** on varmistaa, että kaikki muut prosessin toiminnot tukevat pullonkaulan tehokasta käyttöä (Lean Production 2020). Tällä tarkoitetaan esimerkiksi sitä, että pullonkaulatoiminnolta ei saisi koskaan loppua raaka-aineet eli esimerkiksi pienen välivaraston avulla on turvattava pullonkaulatoiminnon kokoaikainen käynti (Arnold et al. 2008, s. 181). Jos näiden kolmen ensimmäisen askeleen jälkeen, jo olemassa olevia resursseja hyödyntämällä, pullonkaulaa ei ole saatu kuitenkaan eliminoidua, **neljäs askel** on kehittää pullonkaulatoimintoa edelleen, jotta kapasiteettia saadaan nostettua. Kapasiteetin nostamiseksi on todennäköistä, että tarvitaan investoida joko lisätyövoimaan tai uusiin koneisiin. Yleensä neljännessä askeleessa pysytään niin kauan, kunnes pullonkaula on saatu eliminoidua ja siirrettyä se toiseen toimintoon. (Lean Production 2020) Kun pullonkaula on saatu siirrettyä toiseen toimintoon, on prosessia vara kehittää edelleen. **Viides askel** korostaakin etsimään nyt uuden pullonkaulan ja aloittamaan askeleet alusta tämän uuden pullonkaulan eliminoinemiseksi. (Lean Production 2020; Pacheco et al. 2019, s. 721; Prasetyaningsih et al. 2019, s. 170) Kuvassa 18 on esitettyä havainnollistava kuvaaja edellä mainitusta menetelmästä. Kuvaajan avulla pyritään korostamaan menetelmän syklisyyttä, jonka avulla prosessia voidaan kehittää jatkuvasti.



Kuva 18. Viisi keskittymisen askelta. (Mukaiillen: Lean Production 2020)

ToC-toimintamalli tarjoaa menetelmän myös tuotannon ohjaamiseen ja sen ajoittamiseen. Tätä menetelmää kutsutaan nimellä **Drum-Buffer-Rope** (DBR). DBR-menetelmän tarkoituksena on synkronisoida valmistusprosessi rajoittavan toiminnon eli pullonkaulan mukaan, jotta myös KET:n ja varastojen määrää voidaan hallita. (Lean Production 2020) Menetelmän ensimmäisessä vaiheessa (drum) prosessin kaikkien toimintojen tuotantomäärät asetetaan pullonkaulatoiminnon rajoitteen mukaan. Toisin sanoen rajoittava toiminto on kuin rumpu, joka määrittää tahdin koko valmistusprosessille. Esimerkiksi, jos pullonkaulatoiminnon kapasiteetti on neljä kappaletta tunnissa, määritellään muidenkin toimintojen kapasiteetiksi sama neljä kappaletta tunnissa, jotta voidaan välttyä ylimääräisen KET:n syntymiseltä. (Prasetyaningsih et al. 2019, s. 173)

Menetelmän toisen vaiheen (buffer) tarkoituksena on varmistaa, ettei pullonkaulatoiminto joudu pysähtymään, vaikka sitä edeltävissä toiminnoissa ilmenee ongelmia. Tämä pyritään varmistamaan puskurien eli välivarastojen avulla ennen pullonkaulatoimintoa. Monesti näitä puskureita kutsutaan aikapuskureiksi, koska puskurien koko määritellään sen mukaan, kuinka kauan puskuri suojelee pullonkaulatoimintoa pysähtymiseltä. (Arnold et al. 2008, s. 171)

Prasetyaningsihin et al. (2019, s. 173) mukaan DBR-menetelmässä rope-termillä (suom. köysi) kuvataan sitä, että prosessin kaikkien toimintojen pitäisi olla linkittyneinä ikään kuin samaan köyteen, jota pitkin informaatiota voidaan välittää eri toimintojen välillä. Toisin sanoen köydellä tarkoitetaan ohjaussignaalia, jonka perusteella tuotteita aletaan valmistaa lisää. Toimiva ohjaus on erityisen tärkeää pullonkaulatoiminnon tehokkaan käytön kannalta. Esimerkiksi, jos pullonkaulatoiminto joutuu kuluttamaan puskurivarastoja edeltävien toimintojen ongelmien vuoksi, on tieto tästä kulutuksesta välitettävä heti edeltäville toiminnoille, jotta ne osaavat välittömästi täydentää puskurivarastot määritellylle tasolle. Ohjaussignaalin toteutus voi perustua sekä työntö- että imuohjauksen periaatteisiin. (Lean Production 2020)

4 LEAN-TOIMINTAMALLI

2000-luvulla markkinat ovat muuttuneet voimakkaasti kansainvälisemmiksi ja asiakkaat ovat vaatineet yhä räätälöidympiä tuotteita juuri heidän tarpeisiinsa. Tämän lisäksi, kuten aiemminkin on mainittu, tuotteet pitäisi valmistaa erittäin lyhyillä toimitusajoilla ja niiden pitäisi olla korkealaatuisia, mutta silti mahdollisimman halpoja. Monet yritykset ovat huomanneet, että näiden vaatimuksien toteuttamiseen ei päästä perinteisellä massatuotannolla, ja se on pakottanut yrityksiä keksimään uusia työkaluja ongelman ratkaisemiseksi. (Bhamu & Sangwan 2014, s. 876) Moni valmistava yritys onkin alkanut käyttää Lean-toimintamallia pystyäkseen vastaamaan paremmin asiakkaiden muuttuneisiin tarpeisiin. (Bhamu & Sangwan 2014, s. 876; Karningsih et al. 2019, s. 1)

Lean-toimintamallin avulla on tutkitusti pystytty alentamaan kustannuksia sekä parantamaan tuottavuutta ja laatua. Nämähän ovat juuri niitä asioita, joita asiakas on vaatinut ja mistä se on valmis maksamaan. (Bhamu & Sangwan 2014, s. 876) Lean-toimintamallin perusajatuksena onkin lisätä asiakkaan saamaa arvoa poistamalla erilaisia hukkan lähteitä. (Gülyaz et al. 2019, s. 3; Womack & Jones 1996, s. 15) Tässä luvussa käydään läpi, miten yritys voi lähteä kehittämään Lean-toimintamallia omaan toimintaansa. Luvussa esitellään Lean-toimintamallin viisi periaatetta eli periaatetta, jotka ohjaavat Lean-toimintamallin kehitystyötä ja käyttöönottoa. Lisäksi luvussa esitellään yleisimmät hukkan lähteet.

4.1 Lean-toimintamallin viisi periaatetta

Womackin ja Jonesin (1996, s. 28) mukaan Lean-toimintamalli voi olla ensinäkemältä vaikea ymmärtää. Heidän mukaansa kuitenkin sisäistämällä toimintamallin viisi periaatetta, muuttuu koko toimintamallin ymmärtäminen helpommaksi. Tämän vuoksi Lean-toimintamallin kehittäminen ja käyttöönotto kannattaa aloittaa käymällä systemaattisesti läpi nämä viisi periaatetta oman yrityksen näkökulmasta (Kouri 2010, s. 8; Myerson 2012, s. 3). Toimintamallin viisi periaatetta ovat lueteltuna alla:

1. Arvo
2. Arvoketju
3. Virtaus
4. Imu

5. Täydellisyys

(Charron et al. 2015, s. 7-8; Kouri 2010, s. 8-9; Womack & Jones 1996, s. 10)

Ensimmäinen periaate on määrittää, mistä valmistettavan tuotteen **arvo** koostuu. Arvon määrittämisessä on aina muistettava, että se tulee tehdä asiakkaan näkökulmasta. (Womack & Jones 1996, s. 16) Kun arvon määrittäminen tehdään asiakkaan näkökulmasta, voidaan löytää ne asiat, jotka tuottavat asiakkaalle lisäarvoa ja mitkä eivät. Toisin sanoen pyritään löytämään ne asiat, mistä asiakas on valmis maksamaan ja mitkä ovat asiakkaan kannalta merkityksettömmämpiä. Arvon määrittämisen avulla yrityksen on helpompaa kohdentaa kehitystoimintaa tärkeisiin eli lisäarvoa tuottaviin asioihin. (Kouri 2010, s. 8)

Tuotekehitys, tiedonhallinta sekä valmistus ovat kriittisiä hallinnollisia vaiheita, joiden läpi jokainen valmistettava tuote kulkee ennen asiakkaalle päättymistä. **Arvoketjulla** puolestaan tarkoitetaan kaikkia toimintoja, jotka tarvitaan tuotteen viemiseksi näiden kolmen kriittisen vaiheen läpi. Arvoketjua analysoimalla pyritään löytämään sekä toiminnot, jotka tuottavat arvoa, että toiminnot, jotka eivät tuota arvoa. (Charron et al. 2015, s. 7; Womack & Jones 1996, s. 19-20) Arvoketjuanalyysin yhteydessä havaitaan yleensä kolmenlaisia toimintoja:

1. Arvoa tuottavat toiminnot → Näitä toimintoja tehostetaan ja kehitetään.
2. Arvoa tuottamattomat toiminnot, mutta eivät ole vältettävissä tällä hetkellä esimerkiksi nykyisen teknologian avulla.
3. Arvoa tuottamattomat toiminnot, jotka ovat vältettävissä. → Näiden toimintojen poistaminen erityisen tärkeää.

(Womack & Jones 1996, s. 19-20)

Sen jälkeen, kun arvo on määritetty ja arvoketjusta on poistettu kaikki lisäarvoa tuottamattomat toiminnot, on vuorossa arvoa tuottavien toimintojen **virtautus**. Tämä tarkoittaa sitä, että valmistettavat tuotteet virtaavat kaikkien arvoketjun toimintojen läpi pysähtymättä. (Charron et al. 2015, s. 7-8) Kourin (2010, s. 8) mukaan ”käytännössä tämä tarkoittaa tehtaan koneiden ja laitteiden sijoittelua siten, että materiaalivirta vaiheesta toiseen on lyhyt ja selkeä”. Virtauksen tehokkuutta mitataan läpäisyajalla. Mitä lyhyempi on läpäisy aika, sitä tehokkaammin on virtautus saatu onnistumaan. Lyhentämällä läpäisy aikkaa voidaan siis parantaa virtauksen tehokkuutta. Läpäisyajan lyhentämiseen on esitelty keinoja luvussa ”Toiminnan ohjaus”. Kun virtautus on saatu onnistuneesti toteutettua, on

seuraavaksi vuorossa ottaa käyttöön **imuohjaus**. Imuohjaus on esitelty tarkemmin edellisen luvun loppupuolella.

Viimeinen periaate, **pyrkimys täydellisyyteen**, korostaa sitä, että Lean-toimintamalli ei ole koskaan valmis, vaan sitä on kehitettävä jatkuvasti ratkaisemalla ilmeneviä ongelmia ja poistamalla esiintyviä hukkailmiöitä (Kouri 2010, s. 9). Womackin ja Jonesin (1996, s. 25) mukaan, kun imuohjausta tehostetaan esimerkiksi pienentämällä välivarastoja, on todennäköistä, että virtauksesta löytyy uusia kohtia, missä virtaus ei olekaan sujuvaa. Korjaamalla nämä esiin tulevat ongelmakohdat, pystytään virtautusta edelleen tehostamaan. Puolestaan, kun virtautusta tehostetaan, usein arvoketjusta nousee esiin uusia arvoa tuottamattomia toimintoja eli hukanlähteitä. Ne poistamalla taas pystytään edelleen lisäämään asiakkaan saamaa arvoa. Edellä esitetty esimerkki pyrki korostamaan sitä, että Lean-toimintamallin hyödyt eivät ole saatavissa yhdellä kertaa, vaan sen hyödyt saavutetaan kehittämällä prosesseja ja toimintoja jatkuvasti ja systemaattisesti yksi ongelma kerrallaan.

4.2 Hukan lähteet

Hukalla tarkoitetaan kaikkia toimintoja, jotka eivät tuota lisäarvoa, mutta kuluttavat käytettävissä olevia resursseja (Womack & Jones 1996, s. 15). Hukkien löytäminen ja eliminoiminen on tärkeä osa koko yrityksen toiminnan kehittämistä, koska mitä enemmän hukan lähteitä pystytään poistamaan, sitä tuottavampaa ja laadukkaampaa yrityksen toiminta on (Kouri 2010, s. 10). Myersonin (2012, s. 19) mukaan Lean-toimintamallissa hukat on perinteisesti luokiteltu seitsemään eri hukan lähteeseen. Sekä Charronin et al. (2015, s. 164) että Kourin (2010, s. 10-11) mukaan nykyisin on kuitenkin yleistä, että tähän luokitteluun lisätään myös kahdeksas hukka, työntekijöiden käyttämättä jätetty luovuuus. Alla on listattu nämä kahdeksan eri hukan lähdeä (Charron et al. 2015, s. 164-165; Kouri 2010, s. 10-11):

1. Ylituotanto
2. Tarpeettomat varastot
3. Odottaminen
4. Tarpeeton kuljettaminen
5. Tarpeeton liike
6. Ylikäsittely
7. Laatuvirheet
8. Työntekijöiden käyttämättä jätetty luovuuus

Ylituotannolla tarkoitetaan, että tiettyä tuotetta valmistetaan enemmän kuin seuraava työvaihe tai asiakas tarvitsee (Charron et al. 2015, s. 165). Ylituotannon katsotaan olevan yksi pahimmista hukan lähteistä, koska se aiheuttaa myös muiden hukkien syntymistä. Kun valmistetaan enemmän kuin on tarve, joudutaan varastointiin ja tuotteiden liikutteluun käyttämään enemmän resursseja. (Charron et al. 2015, s. 165; Kouri 2010, s. 10) Tämän lisäksi kaikki tuotteet, jotka ovat jo valmistettu, mutta niitä ei ole vielä myyty, sitovat turhaan yrityksen pääomaa (Charron et al. 2015, s. 165).

Tarpeettomilla varastoilla tarkoitetaan yleisesti varastoja (raaka-aine, KET tai lopputuotevarastot), joihin on sitoutunut pääomaa, mutta ne odottavat joko valmistusta tai myymistä asiakkaalle eteenpäin. Kuten yllä on mainittu, tarpeettomat varastot ovat ongelmallisia, koska ne sitovat pääomaa. Tämän lisäksi kasvaneet varastotasot tarvitsevat enemmän työvoimaa niiden hallintaan sekä enemmän fyysistä varastointitilaa. (Charron et al. 2015, s. 169) Kourin (2010, s. 10-11) mukaan tarpeettomat varastot, jotka monesti aiheutuvat ylituotannosta, myös pidentävät läpimenoaikoja sekä hankaloittavat eri toiminnoissa ilmenevien ongelmien havaitsemista.

Kolmas hukka, **odottaminen**, tarkoittaa Myersonin (2012, s. 23) mukaan sitä, kun odotetaan esimerkiksi materiaaleja tai työvoimaa tarvittavan työsuorituksen suorittamiseksi. Tämän hukan eliminoiminen on erittäin tärkeää, koska usein läpimenoajasta suurin osa kuluu odottamiseen eikä odottaminen tuota lisäarvoa asiakkaalle (Kouri 2010, s. 10, 21). Turhaa odottamista voi syntyä muun muassa materiaalipuutoksista, pitkistä asetusajoista, heikosti suunnitellusta tuotantoaikataulusta tai huonosti suunnitellusta layoutista.

Huonosti suunnitellusta layoutista voi odottamisen lisäksi seurata myös **tarpeetonta kuljettamista**. Tarpeettomalla kuljettamisella tarkoitetaan materiaalien turhaa liikuttamista eri työvaiheiden välillä. Esimerkiksi, jos layout on suunniteltu virtauksen näkökulmasta huonosti eli peräkkäiset työvaiheet sijaitsevat eri puolella tuotantotiloja, liikuteltavat matkat ovat pitkiä ja tähän liikutteluun kuluu ylimääräistä aikaa. (Charron et al. 2015, s. 186) Puolestaan **tarpeettomalla liikkeellä** tarkoitetaan ihmisen turhaa liikkumista paikasta toiseen. Yleinen esimerkki tarpeettomasta liikkeestä on työkalujen etsintään käytetty aika. Jos usein tarvittavat työkalut eivät ole sijoitettuna työpisteen välittömään läheisyyteen, joutuu työntekijä etsimään niitä kauempaa ympäri tuotantotiloja. Kaikki tähän kulunut aika

on hukkaa, koska etsinnän aikana valmistettava tuote joutuu vain odottamaan valmistuksen aloittamista. (Myerson 2012, s. 22)

Laatuvirheistä puhuttaessa ei ole varmasti kenellekään epäselvää, että ne luokitellaan aina hukaksi. Laatuvirheet hukkaavat yrityksen käytössä olevia materiaaleja ja resursseja ja niiden toistuessa saman asiakkaan kohdalla, johtavat ne lopulta asiakastytymättömyyteen. Tämän lisäksi niistä aiheutuu merkittäviä kustannuksia yritykselle. (Kouri 2010, s. 10) Laatuvirheiden kustannuksista on kerrottu tarkemmin jo luvussa ”Toiminnan johtaminen”. Myöskään **ylikäsittely** ei tuota asiakkaalle lisäarvoa, mutta erona laatuvirheisiin on, että siitä ei aiheudu asiakastytymättömyyttä. Myersonin (2012, s. 24) mukaan ylikäsittelyllä tarkoitetaan, että tuotteen valmistuksessa käytetään liikaa aikaa ja voimavaroja asiakkaan kannalta merkityksettömien vaiheiden tekemiseen. Hänen mukaansa valmiin tuotteen pakkaaminen tarpeettoman suurella materiaalimäärällä on oiva esimerkki ylikäsittelystä.

Edellä mainittujen hukkien tunnistaminen ja eliminoiminen vaatii yrityksen koko henkilöstön työpanosta, vaikka monesti ajatellaan tällaisten tehtävien olevan johdon työtehtäviä. Tämä ajattelutapa, **työntekijöiden luovuuden käyttämättä jättäminen**, voidaan katsoa myös itsessään hukaksi. (Charron et al. 2015, s. 189) Kourin (2010, s. 11) mukaan ”työntekijöillä on paras tieto työvaiheiden ja menetelmien toiminnasta ja niiden kehittämisestä”. Tämän vuoksi, kun hukkia lähdetään etsimään ja poistamaan, tulisi työntekijöiden tietotaito ottaa aina huomioon (Myerson 2012, s. 25).

5 TAUSTASELVITYS KOHDEYRITYKSEN TUOTANNON OHJAUKSESTA

Tässä luvussa käsitellään kohdeyrityksen tuotannon ohjauksen nykytilaa. Tutkimuksen kohteeksi on rajattu ohutseinämäisten putkituotteiden valmistus. Tuotannon ohjauksen nykytilaa tarkasteltaessa tullaan selvittämään miten päivittäistä valmistustoimintaa tällä hetkellä ohjataan ja miten materiaalit liikkuvat tuotantotiloissa raaka-ainevaraston, työvaiheiden ja pakkaamon välillä.

Ohutseinämäisten putkituotteiden valmistuksessa on aina vähintään kolme työvaihetta ennen valmiiden tuotteiden pakkaamista, mitkä ovat leikkaus, taivutus ja hitsaus. Tuotteet käyvät läpi myös jälkikäsittelyn, mutta tutkimuksen tavoite huomioiden jälkikäsittelyä ei tässä tutkimuksessa tarkemmin käsitellä. Tällä hetkellä hitsaus hoidetaan käsin työvoimaa käyttäen, mutta yrityksen suunnitelmissa on investointi automatisoituun hitsausrobottisoluun. Oletuksena on, että tämän robottisolun implementointi tuotantolinjaan aiheuttaa muutostarpeita tuotannon ohjaukseen. Tämän vuoksi on tärkeää tarkastella kohdeyrityksen tämänhetkistä tuotannon ohjausta, jotta voidaan etukäteen selvittää, mitkä asiat tulevat tarvitsemaan muutosta.

5.1 Tutkimusmenetelmät ja niiden tavoitteet

Tuotannon ohjauksen nykytilaa selvittäessä tutkimusmenetelminä on käytetty haastatteluja, havainnointia sekä mittauskokeita. **Haastattelut** on toteutettu vapaamuotoisina keskusteluina tuotannon henkilöstön kanssa. Haastattelujen tavoitteena on selvittää tuotannon ohjauksen yleistä tilaa tällä hetkellä sekä löytää tarvittavia kehityskohteita valmistustoiminnan ohjaamisessa. **Havainnoimalla** on puolestaan selvitetty materiaalivirtojen kulkua ohutseinämäisten putkituotteiden valmistuksessa. Tämän lisäksi havainnoimalla on seurattu työmääräinten tekoa ja niiden liikkumista läpi tuotantolinjan. Havainnointi on suoritettu tarkastelemalla kohdeyrityksen päivittäistä toimintaa niin toimistossa kuin tuotantotiloissa.

Kolmantena tutkimusmenetelmänä on käytetty **mittauskokeita**. Mittauskokeilla on selvitetty hitsausta edeltävien työvaiheiden, leikkauksen ja taivutuksen, kapasiteetit eli kuinka paljon ohutseinämäisiä putkituotteita voidaan valmistaa aikayksikkö kohden.

Mittauskokeet ovat toteutettu kirjaamalla ylös useiden tuote-erien aloitus- ja lopetusaikoja sekä leikkaus- että taivutusvaiheessa, jotta saadaan selville kauan eri valmistusvaiheet vievät aikaa. Mitatuissa ajoissa on mukana sekä kahvi- että lounastauot, koska niiden ajaksi laitteet pysähtyvät ja tämä aika on pois kapasiteetista. Koska tuote-erien koot vaihtelevat paljon, eivät ajat ole suoraan verrannollisia keskenään. Tämän vuoksi tuloksia analysoitaessa on tuote-erän valmistukseen kulunut aika suhteutettu kyseisen tuote-erän massa. Tulokset on analysoitu käyttäen Excel-ohjelmistoa ja kapasiteetit ovat ilmaistuna muodossa kilogrammaa per tunti (kg/h). Otoskoko näissä mittauskokeissa on 12 otosta ja otos koostuu massaltaan keskiuurista ja suurista tuote-eristä.

5.2 Tuotannon ohjaus ohutseinämäisten putkituotteiden valmistuksessa

Tutkimuksen perusteella kohdeyrityksen valmistustoiminta ohutseinämäisten putkituotteiden osalta toteutetaan etukäteen tehtyjen suunnitelmien perusteella eli tuotannon ohjausmuotona on työntöohjaus. Kohdeyrityksessä tuote-erien valmistusta ajoitetaan viikkokohtaiseen työjärjestykseen perustuen, minkä tuotantopäällikkö suunnittelee aina seuraavaksi viikoksi edellisen viikon loppupuolella. Työjärjestyksen muodostaminen perustuu taaksepäin ajoitukseen, jotta toimituspäivistä pystytään pitämään kiinni. Työjärjestyksen muodostamisessa kiinnitetään huomiota myös laserleikkausvaiheen maksimaaliseen kuormittamiseen. Koska tämä työvaihe valmistaa osia myös muille kuin ohutseinämäisten putkituotteiden osastolle, on sen tuotettava sopivassa suhteessa osia eri osastoille jatkuvasti. Jotta leikkausvaihe pystyy valmistamaan eri osastoille tarpeeksi osia, täytyy leikkausvaiheen kuormituksen olla aina lähes maksimaalinen. Tämän lisäksi leikkausvaiheen päivittäiseen työjärjestykseen, ja sitä kautta koko työjärjestyksen etenemiseen, vaikuttaa leikattavien putkituotteiden halkaisija sekä materiaali. Asetuksien minimoimiseksi kohdeyrityksellä on tapana yhdistellä samasta materiaalista ja putken halkaisijasta valmistettavia tuote-eriä peräkkäin.

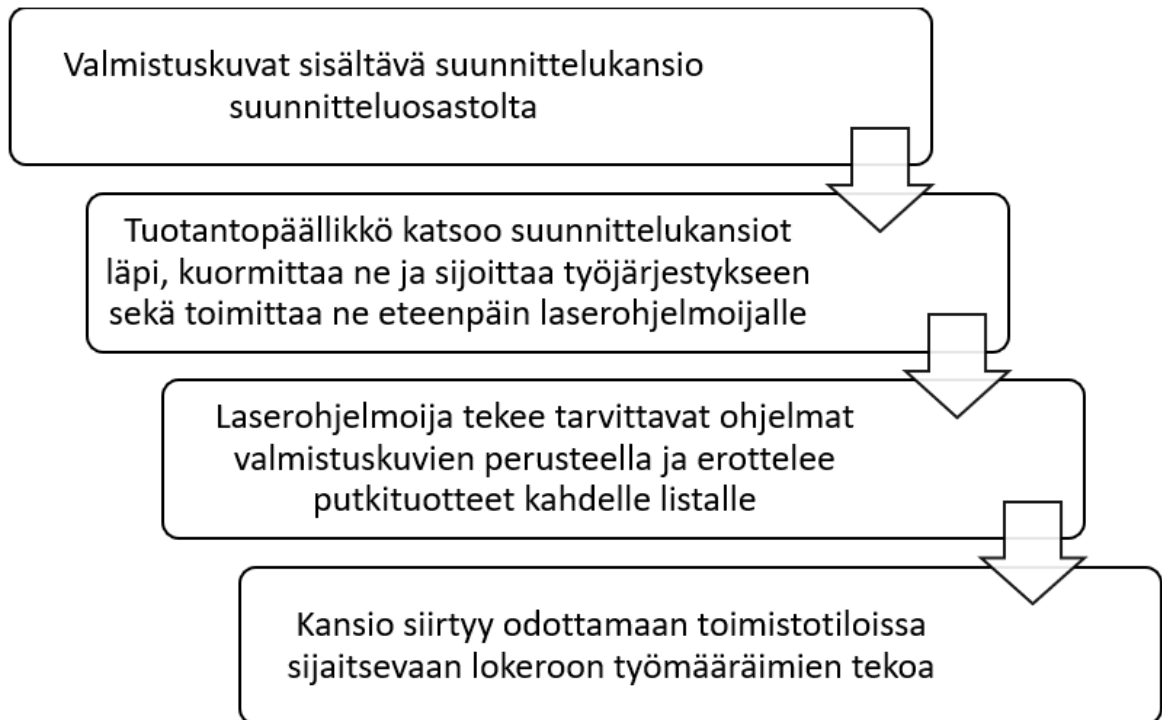
5.2.1 Työmääräimien tekeminen ja niiden liike tuotannon läpi

Pysyäkseen viikkokohtaisen työjärjestyksen mukaisissa valmistustavoitteissa, on kohdeyrityksen ohjattava tuotantoa tehokkaasti päivätasolla. Kohdeyrityksessä tuotantoa ohjataan työmääräimillä, joihin liitetään tarvittavat valmistuskuvat. Vastuu työmääräimien tekemisestä ja toimittamisesta tuotantoon on yhdellä työnjohtajalla. Kohdeyrityksellä on käytössään Kemppi Oy:n luoma Weldeye-laadunhallintajärjestelmä, jota käytetään sekä

laadunhallintaan että tuotannon ohjaukseen. Tuotannon ohjauksessa järjestelmää käytetään pääsääntöisesti työmääräimien tekemiseen sekä raportointiin. Työmääräimet tulostetaan jokaiselle hitsattavalle osalle Weldeye-järjestelmästä. Työmääräimet sisältävät muun muassa päivämäärän, työmääräimen tekijän allekirjoituksen, tuote-erän numeron eli työnumeron, osanumeron, kuvauksen osasta, tiedot kappalemäärästä ja materiaalista sekä viivakoodin, jonka perusteella hitsaaja saa syötettyä hitsaustapahtuman tiedot järjestelmään. Kun hitsaaja lukee työmääräimessä olevan viivakoodin lukulaitteellaan, siirtyy kyseisen osan hitsausdata suoraan järjestelmään, ja tämän avulla pystytään keräämään tietoja muun muassa laadusta ja hitsausajoista raportointia varten.

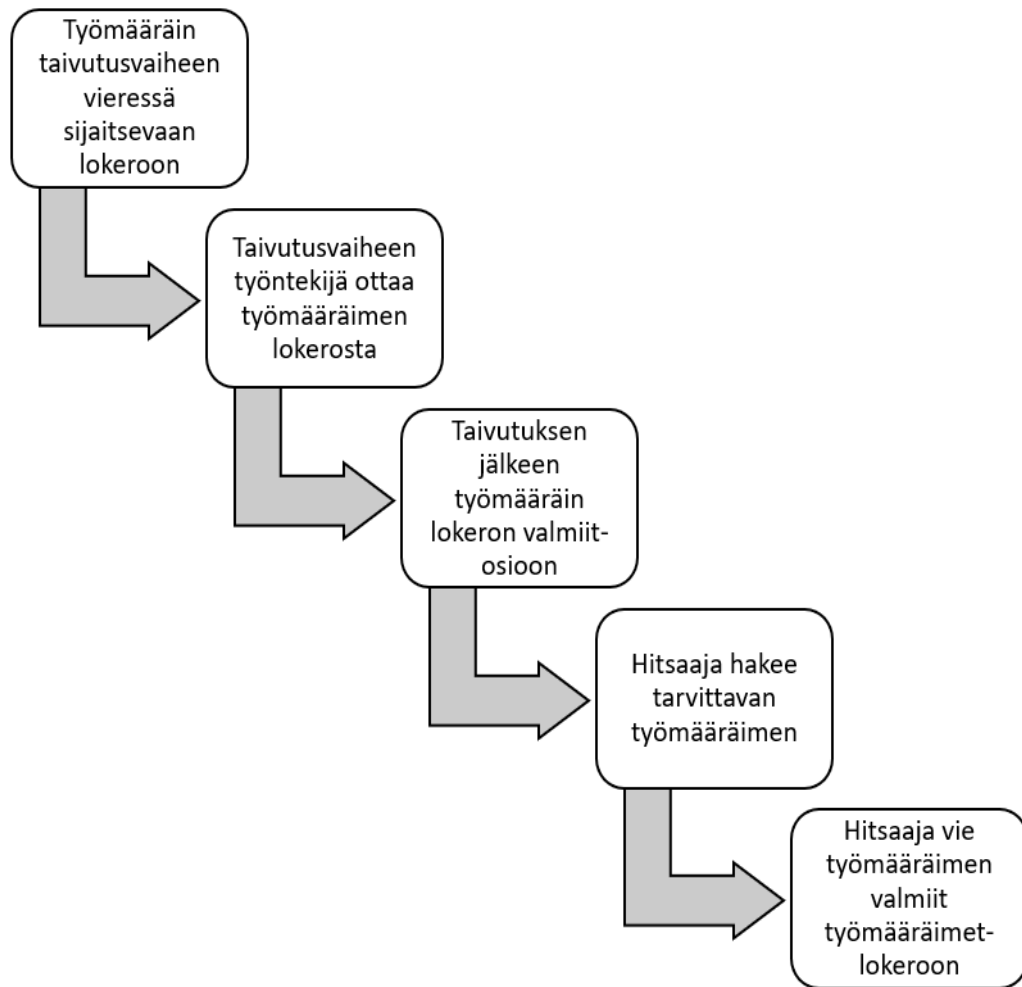
Työmääräimiin liitettävät valmistuskuvat tulevat suunnitteluosastolta suunnittelukansion sisällä, mutta valmis suunnittelukansio käy läpi muutaman käsittelyvaiheen ennen kuin valmistuskuvat erotellaan työmääräimiin liitettäväksi. Ensimmäiseksi suunnittelukansiot tulevat tuotantopäällikölle katsottavaksi, jotta hän tietää, mitkä tuote-erät ovat valmiiksi suunniteltuja ja tämän perusteella pystyy sijoittamaan ne työjärjestykseen ottaen tuote-erien kuormituksen huomioon. Tämän tehtyään suunnittelukansio siirretään laserohjelmoijalle.

Suunnittelukansion siirryttyä laserohjelmoijalle, hän tekee tarvittavat ohjelmat leikkausvaiheeseen valmistuskuvien perusteella. Tämän lisäksi laserohjelmoija erottelee valmistettavat putkituotteet kahdelle eri listalle, jotka hän toimittaa suoraan leikkausvaiheen työpisteelle ohjeiksi. Eriteltävät putkituotteet ovat perusputkituotteet (valmiiden tuotteiden kulmat 90 astetta) sekä erikoisputkituotteet (valmiiden tuotteiden kulmat erisuuret kuin 90 astetta). Kun tarvittava ohjelmointi ja erottelu ovat suoritettu, siirtyy valmistuskuvat sisältävä kansio lokeroon odottamaan työmääräimien tekemistä. Valmistuskuvat sisältävän suunnittelukansion käsittelyvaiheet on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Suunnittelukansion liikkeet eri käsittelyvaiheiden läpi.

Työmääräimien teosta vastaava työnjohtaja puolestaan ottaa kansion lokeroista ja liittää tarvittavat valmistuskuvat tulostettuihin työmääräimiin. Valmiit työmääräimet toimitetaan taivutusvaiheen lähellä sijaitsevaan lokeroon viikkokohtaisen työjärjestyksen mukaisessa järjestyksessä. Taivutuksesta vastaava työntekijä ottaa työmääräimen lokeroista ja valmistaa putket valmistuskuvien mukaisesti sekä asettaa kunkin tuote-erän taivutetut putket liikuteltavaan rullakkoon hitsausvaihetta varten. Kun kaikki tuote-erän putket on taivutettu, laittaa taivutuksesta vastaava työntekijä työmääräimen saman lokeron valmiit-osioon, josta hitsaaja käy hakemassa tarvittavan työmääräimen omalle työpisteelleen aloittaessaan kyseisen tuote-erän hitsauksen. Hitsauksen valmistuttua hitsaaja vie työmääräimen toimistotilojen lähellä sijaitsevaan valmiit työmääräimet-lokeroon merkiksi, että tuote on valmistettu loppuun ja se on valmis siirtymään jälkikäsittelyyn. Kuvassa 20 on esitetty työmääräimen liike tuotantotiloissa eri työvaiheiden läpi.



Kuva 20. Työmääräimen liike työvaiheiden läpi.

5.2.2 Työvaiheiden etenemisen seuranta

Työmääräimien kerääminen pois tuotannosta on tärkeä vaihe työvaiheiden etenemisen seurannassa, koska työmääräimien teon ja raportoinnin lisäksi Weldeye-järjestelmään voidaan kuitata tuote-erän valmiiksi hitsatut työt. Manuaalinen kuittaus tehdään työnjohtajan toimesta sen perusteella, mitkä työmääräimet ovat palautuneet valmiit työmääräimet-lokeroon. Tästä Weldeye-järjestelmän ominaisuudesta on eniten hyötyä, jos jälkikäteen tarvitsee tarkistaa, onko yhden tuote-erän kaikki osat jo valmiita, mutta se ei ole kovin käytännöllinen muodostamaan yleiskuvaa, miten työjärjestyksen mukainen suunnitelma etenee.

Tästä syystä kohdeyritys käyttää tuote-erien etenemisen seurannassa apuna myös viikkokohtaista työjärjestyksiä, jossa jokaisen tuote-erän kohdalla on merkintäruudut työmääräimien toimitukselle sekä taivutus- ja hitsausvaiheelle. Työjärjestyksen

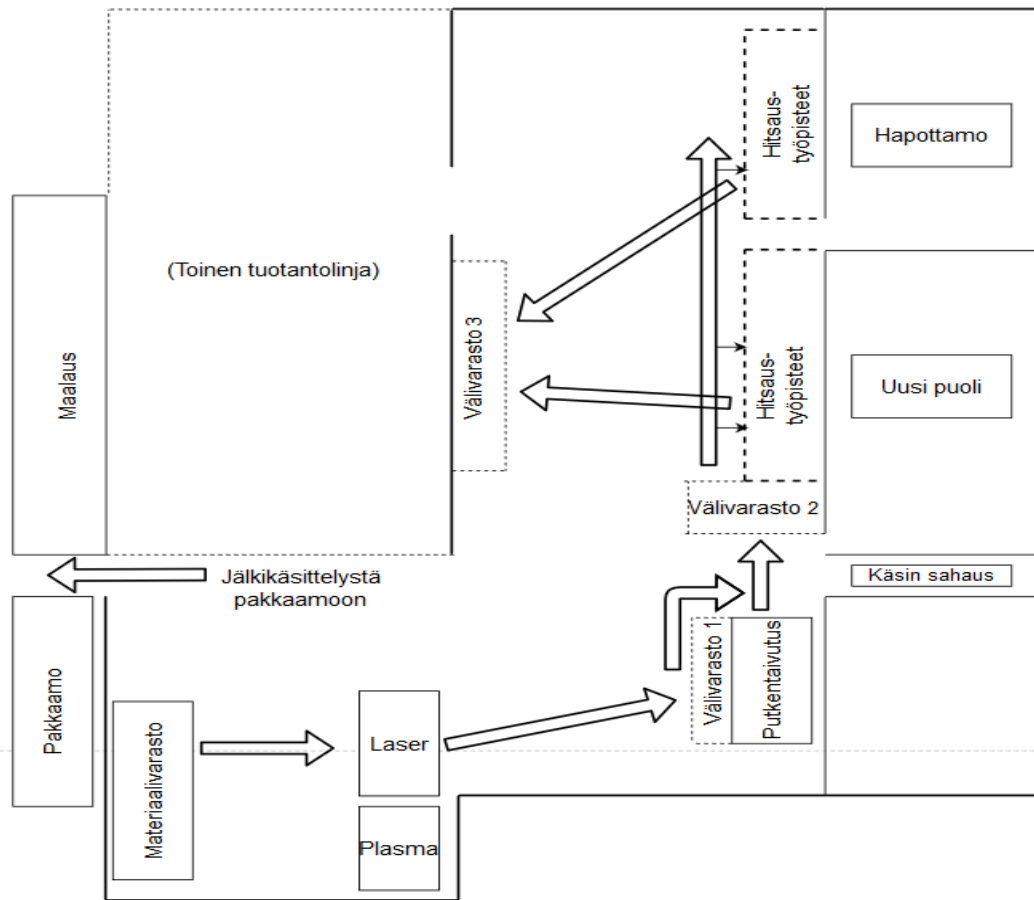
merkintäruutuihin kirjataan ylös työnjohtajien toimesta, kun työmääräimet on toimitettu tuotantotiloihin ja, kun tuote-erän taivutus ja hitsaus on suoritettu loppuun. Tämä samaan paikkaan merkitseminen auttaa kokonaisuuden hallinnassa, koska tieto tuote-erien eri vaiheiden etenemisestä löytyy yhdestä paikasta helposti luettavassa muodossa.

5.2.3 Materiaalivirrat ohutseinämäisten putkituotteiden valmistuksessa

Raaka-aineet eli leikattavat putket haetaan laserleikkausvaiheen operaattorin toimesta materiaalivarastosta. Sama operaattori puolestaan siirtää leikatut putket ensimmäiseen välivarastoon odottamaan putkien taivutusta. Tässä vaiheessa välivarastoon merkataan selkeästi, minkä tuote-erän putket ovat kyseessä, jotta taivutuksesta vastaava operaattori osaa ottaa oikeat putket taivutukseen.

Taivutuksen jälkeen operaattori laittaa putket liikuteltaviin rullakoihin, pääsääntöisesti tuote-erittäin, ja merkkää jokaiseen putkeen osanumeron sekä siirtää ne toiseen välivarastoon odottamaan hitsausta. Hitsaaja hakee toisesta välivarastosta rullakon ja vie sen omalle työpisteelleen valmistettavaksi. Lopulta valmiit putkituotteet siirretään kolmanteen välivarastoon, josta jälkikäsittelyn työntekijä vie ne jälkikäsittelyyn (hapotukseen tai maalaukseen). Lopulta jälkikäsittelyt tuotteet siirretään pakkaamoon pakattavaksi.

Kuvassa 21 on esitetty kohdeyrityksen tuotantotilojen layout ohutseinämäisten putkituotteiden tuotantolinjan osalta sekä putkituotteiden edellä kuvattu materiaalien virtaus raaka-ainevaraston ja pakkaamon välillä. Layoutista on rajattu pois muut tuotantolinjat eikä layout ole tehty mittakaavassa. Kuvassa paksut nuolet kuvaavat materiaalien liikettä eri vaiheiden välillä.



Kuva 21. Materiaalivirta ohutseinämäisten putkituotteiden valmistuksessa.

5.3 Kapasiteetin määrittäminen hitsausta edeltäville työvaiheille

Perustuen hitsausrobottisolun toimittajan antamaan solun työstöaikaan oletuksena on, että joko leikkaus- tai taivutusvaihe muodostuu rajoittavaksi toiminnoksi. Mittauskokeet ovat suoritettu, jotta pystytään todentamaan, onko toinen edellä mainituista työvaiheista rajoittava tekijä ja mikäli on, selvittämään kumpi. Tämän tiedon pohjalta puolestaan pystytään miettimään toimenpiteitä pullonkaulakohdan tehostamiseksi.

Hitsausrobottisolun toimittajan antamien tietojen perusteella hitsausvaiheen teoreettinen kapasiteetti on noin 200 kiloa valmiita putkituotteita tuntia kohden. Kun otetaan huomioon robottia hoitavan työntekijän kahvi- ja ruokatauot (yhteensä yksi tunti työvuorossa kohden), kapasiteetti on 175 kiloa per tunti. Mittauskokeet puolestaan osoittavat, että sekä leikkaus- että taivutusvaiheen kapasiteetit jäävät hitsausvaiheen kapasiteetin alle molemmissa tapauksissa. Leikkausvaiheen kapasiteetti mittauskokeiden perusteella on likimain 90 ja puolestaan taivutusvaiheen kapasiteetti lähelle 150 kiloa per tunti. Tämän perusteella

leikkausvaihe tulee olemaan rajoittava toiminto uuden investoinnin käyttöönoton jälkeen. Taulukossa 1 on kootusti esitettyinä edellä mainittujen vaiheiden kapasiteetit.

Taulukko 1. Eri työvaiheiden kapasiteetit mittauskokeiden ja toimittajan antamien tietojen perusteella.

Työvaihe	Kapasiteetti (kg/h)
Leikkaus	~90
Taivutus	~150
Hitsaus	~175

5.4 Yhteenveto tuotannon ohjauksen nykytilasta

Tutkimuksen perusteella kohdeyrityksen tuotannon ohjaus ohutseinämäisten putkituotteiden valmistuksessa on pääpiirteissään toimivaa. Valmistusta ohjataan selkeästi työmääräimien avulla ja ne liikkuvat tuotantotiloissa suoraviivaisesti vaiheesta toiseen. Haastatteluiden pohjalta nousi kuitenkin esiin kaksi kehitettävää asiaa työmääräimien osalta, työmääräimien tulostaminen ja työmääräimien katoaminen vuoronvaihdon yhteydessä ajoittain. Tällä hetkellä työmääräimien tulostaminen vie erittäin paljon aikaa, koska ne on tulostettava jokaiselle valmistettavalle tuotteelle erikseen. Tähän on kuitenkin lähitulevaisuudessa tulossa muutos, kun Weldeye-järjestelmästä on kehitteillä älypuhelin-sovellus, jonka avulla työmääräimet pystytään siirtämään suoraan hitsaustyöpisteelle hitsaajan käytössä olevaan älypuhelimeseen. Puolestaan ajoittain katoaville työmääräimille syy on, että hitsaaja ei aina jätä keskeneräistä työmääräintä näkyvälle paikalle työvuoron päättyessä. Tämä asia on ratkaistavissa esimerkiksi lisäämällä hitsauspisteiden läheisyyteen lokerot keskeneräisille työmääräimille, josta ne ovat helposti löydettävissä seuraavan vuoron hitsaajan aloittaessa työvuoronsa. Toinen keino asian ratkaisemiseksi on parantaa ohjeistusta, kuinka vuoronvaihto tulee toteuttaa, jotta tarvittava tieto saadaan välitettyä töihin tulevalle työntekijälle.

Myös materiaalivirta ohutseinämäisten putkituotteiden valmistuksessa on toteutettu suoraviivaisesti. Matkat eri työvaiheiden välillä ovat verrattain lyhyet eivätkä materiaalit liiku edes takaisin tuotantotiloissa. Kohdeyrityksessä väliavarastoinnilta ei pystytä kokonaan välttymään, koska kyseessä on vahvasti projektitoimintaan pohjautuva yritys, jonka vuoksi tuote-erien koot vaihtelevat suuresti. Kohdeyrityksessä väliavarastointi on kuitenkin hoidettu

selkeästi, kun eri työvaiheiden välillä on selvät varastopaikat, mihin keskeneräiset tuotteet varastoidaan ja jokainen välivarastossa oleva tuote on selkeästi merkitty. Tutkimuksen perusteella nousee kuitenkin esiin, että viimeinen välivarastointipaikka vaatii hieman kehittämistä. Kun tuotteet on hitsattu valmiiksi, valmiit tuotteet kuljetetaan kootusti viimeiseen välivarastoon odottamaan jälkikäsitelyä, mutta välivaraston järjestelyssä on kehitettävää. Tällä hetkellä valmiit tuotteet varastoidaan liikuteltaviin rullakoihin tai lavalle, mutta ongelma on, että samaan rullakkoon tai lavaan asetetaan usean tuote-erän tuotteita. Tämä hankaloittaa tuotteiden siirtämistä eteenpäin ja vie ylimääräistä aikaa, kun ensiksi joudutaan selvittämään, mitä kaikkea rullakko tai lava sisältää. Tämän asian kehittämiseksi ratkaisu on esimerkiksi lisätä liikuteltavien rullakoiden määrää, jotta jokainen tuote-erä pystytään sijoittamaan omaan rullakkoonsa. Tämän lisäksi hitsaajia on ohjeistettava, että tuote-erät tulee sijoittaa aina samaan paikkaan eikä eritellä niitä useaan rullakkoon, jotta koko tuote-erä on helpommin hallittavissa.

6 TARVITTAVAT MUUTOKSET TUOTANNON OHJAUKSESSA

Tässä luvussa pohditaan uuden investoinnin eli hitsausrobottisolun vaatimia muutoksia kohdeyrityksen tuotannon ohjaukseen sekä esitetään kehitysehdotuksia, kuinka nämä muutokset voitaisiin toteuttaa. Muutoksia, sekä pieniä että isompia, tarvitaan niin valmistustoiminnan ohjaukseen kuin materiaalivirtoihinkin. Kehitysehdotuksissa pyritään ratkaisuihin, jotka eivät vaatisi lisäinvestointeja. Lisäinvestointivaihtoehtoja ei kuitenkaan jätetä kokonaan huomiotta.

Uuden hitsausrobottisolun, joka sisältää sekä kappaleenkäsittely- että hitsausrobotin, tarkoitus on tuoda lisää joustoa ja kapasiteettia hitsausvaiheeseen. Robottisolun käyttöönottovaiheessa sillä tullaan hitsaamaan vain perusputkituotteita eli robottisolun implementoinnin jälkeen myös käsin hitsaukselle on edelleen tarvetta erikoisputkituotteiden valmistuksessa. Robottisolun implementointi lisää yhden ohjattavan toiminnon jo olemassa olevien toimintojen lisäksi ja jakaa materiaalivirran kahteen paikkaan taivutusvaiheen jälkeen. Tämän vuoksi kohdeyritykselle on luotava toimenpiteet, joilla implementointi suoritetaan selkeästi muuttamatta liikaa tämänhetkistä, toimivaksi todettua, tuotannon ohjausta.

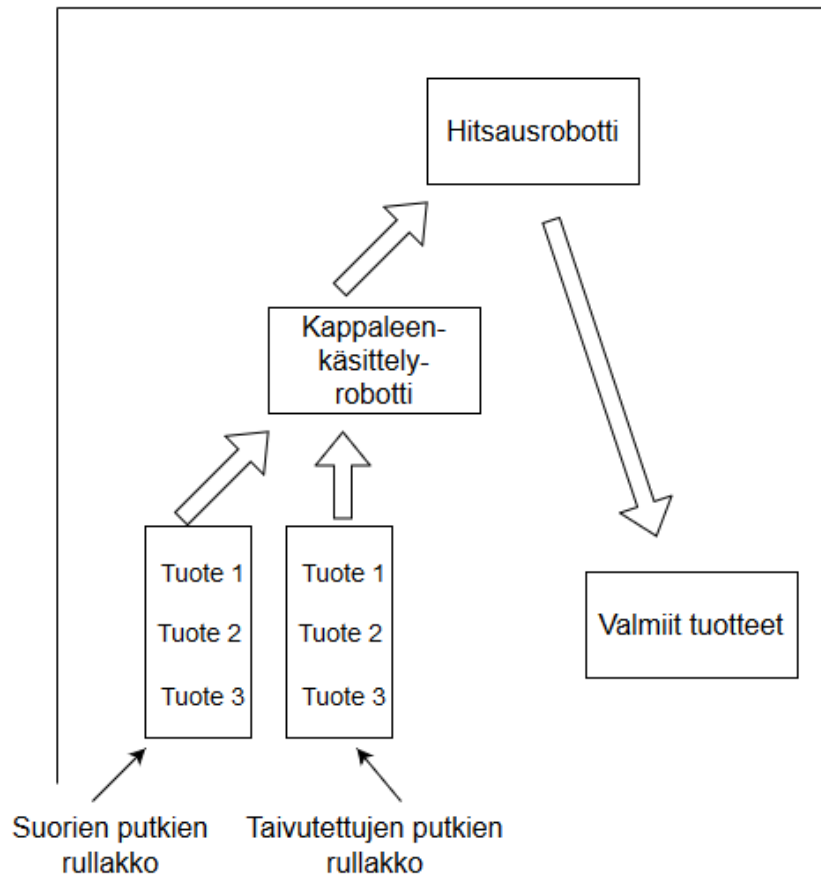
Lisäksi robottisolun tehokas hyödyntäminen vaatii, että sillä pystytään ajamaan yhtäjaksoisesti pidempiä aikoja ja perustuen työvaiheiden kapasiteetilaskelmiin, tämä nousee suurimmaksi kehityskohteeksi. Koska leikkausvaiheen kapasiteetti on huomattavasti alhaisempi kuin hitsausrobottisolun, on selvää, ettei robottisolua pystytä ajamaan joka päivä kahdessa vuorossa yhtäjaksoisesti. Tämän vuoksi tavoitteena on, että robottisolua pystytään ajamaan kerrallaan vähintään yhden, kahdeksan tunnin työvuoron, ajan. Jotta tähän tavoitteeseen päästään, on pullonkaulakohdan eli leikkausvaiheen toimintaa tehostettava joko toiminnan uudelleen järjestelyllä tai investointien avulla. Pullonkaulakohdan tehostamiseksi sovelletaan ToC-toimintamallia, joka on esitelty aiemmin kappaleessa 3.4.2 ”Theory of Constraints”.

6.1 Muutokset valmistustoiminnan ohjauksessa

Tällä hetkellä kaikki putkituotteet valmistetaan käsin hitsaamalla, minkä vuoksi perus- ja erikoisputkituotteita ei ole tarvinnut erotella taivutusvaiheessa, vaan ne on voitu siirtää tuote-erittäin samoissa rullakoissa eteenpäin odottamaan hitsausvaihetta. Koska investoitavalla hitsausrobottisolulla on tarkoitus hitsata vain perusputkituotteita, on taivutusvaiheen jälkeen eroteltava robottisolulle menevät perusputkituotteet sekä käsin hitsattavaksi menevät erikoisputkituotteet. Myöskään työmääräimiä ei ole tähän mennessä tarvinnut erotella erikseen perus- tai erikoisputkituotteille, vaan ne on viety tuote-erittäin samaan lokeroon. Jotta taivutusvaiheen operaattorin on helpompi tehdä erottelu perus- ja erikoisputkituotteiden välillä, on jatkossa myös työmääräimet eroteltava esimerkiksi omiin kansioihinsa ennen toimitusta taivutusvaiheeseen.

Jo tällä hetkellä leikkausvaiheen ohjelmoija jaottelee perus- ja erikoisputkituotteet eri listoille, jotka hän vie ohjeiksi leikkausvaiheeseen. Koska erottelu tehdään kertaalleen jo tässä vaiheessa, on tehokkainta, että jaottelua ei tarvitse toistaa jokaisessa vaiheessa. Tämän vuoksi, kun laserohjelmoija jaottelee perus- ja putkituotteet eri listoille, samalla kannattaa erotella työmääräimiin liitettävät valmistuskuvat esimerkiksi omiin muovikansioihin, jotta työmääräimen tekijän ei tarvitse uudestaan erotella perus- ja erikoisputkituotteita työmääräintä tehdessään. Kun työmääräimet on tulostettu ja niihin on liitetty valmistuskuvat, työmääräimet voidaan toimittaa taivutusvaiheeseen esimerkiksi muovikansioiden sisällä valmiiksi eroteltuina, jonka avulla taivutusvaiheen operaattorille välitetään tieto, mitkä tuotteet täytyy jaotella eri paikkoihin taivutuksen jälkeen.

Investoitavaan hitsausrobottisoluun ei tule tekniikkaa, joka tunnistaisi sisään tulevan osan esimerkiksi viivakoodilukijan avulla, minkä vuoksi perusputkituotteiden osat on järjesteltävä rullakoihin oikeassa järjestyksessä. Perusputkituotteet valmistetaan hitsaamalla yhteen taivutettuja ja suoria putkia ja nämä on aseteltava kahteen eri rullakkoon, josta kappaleenkäsittelyrobotti syöttää ne hitsausrobotille. Jotta kappaleenkäsittelyrobotti osaa syöttää oikeat suorat ja taivutetut osat hitsausrobotille, on sekä suorien osien että taivutettujen osien rullakoiden järjestys vastattava toisiaan. Kuvassa 22 on esitetty robottisolun toimintaperiaate, minkä avulla havainnollistetaan miten tuotteet täytyy rullakoihin sijoittaa, jotta kappaleenkäsittelyrobotti syöttää oikeat osat hitsausrobotille. Materiaalien liike solussa on esitetty paksuilla nuolilla.



Kuva 22. Havainnollistava kuva hitsausrobottisolun toimintaperiaatteesta.

Rullakoiden järjestely kannattaa toteuttaa niin, että vastuu siitä on yhdellä henkilöllä. Tällä tavoin virheiden mahdollisuus pienenee huomattavasti. Hitsausrobottisolun toimiessa ongelmitta, on robottisolun operaattorilla aikaa hoitaa seuraavien rullakoiden järjestely edellisen erän ollessa työstössä. Tämän vuoksi on loogista, että robottisolun operaattori on vastuussa rullakoiden lopullisesta järjestelystä. Kun taivutusvaiheen operaattori on erotellut perus- ja erikoisputkituotteiden taivutetut osat eri rullakoihin, on hitsausrobottisolulle menevät perusputkituotteet satunnaisessa järjestyksessä rullakossa, kuten ovat myös leikkausvaiheesta tulevat suorat osat omassa rullakossaan. Jotta vältetään molempien rullakoiden uudelleen järjestelyltä, kannattaa robottisolun operaattorin pitää taivutettujen osien rullakon järjestys ennallaan ja järjestellä kevyempien suorien osien rullakko sitä vastaavaan järjestykseen.

Tuleva hitsausrobottisolu on hieman ongelmallinen kohdeyrityksen laadunhallintaan ja tuotannon ohjaukseen käyttämän Weldeye-järjestelmän kannalta, koska robottisolun hitsauslaitteisto ei ole Kemppi Oy:n valmistama. Tämän vuoksi hitsausrobottisolun

hitsaustapahtumien laatua ei pystytä käytössä olevalla järjestelmällä seuraamaan, mutta tuotannon ohjaukseen se tulee olemaan soveltuva jatkossakin. Kun tulossa oleva älypuhelinsovellus saadaan otettua kohdeyrityksessä käyttöön, voidaan hitsaustapahtumat kuitenkin kirjata Weldeye-järjestelmään ilman laatutietoja. Hitsaustapahtumien kirjaaminen järjestelmään onnistuu niin, että robottisolun operaattori etsii sovelluksesta seuraavana hitsaukseen menevän tuotteen työmääräimen ja kirjaa kyseisen tuotteen aloitetuksi. Kun tuote on valmistettu loppuun, kirjaa operaattori työn lopetetuksi ja tiedot siirtyvät järjestelmään. Tällä tavoin voidaan seurata tuote-erien etenemistä samalla tavalla kuin käsin hitsauksessakin.

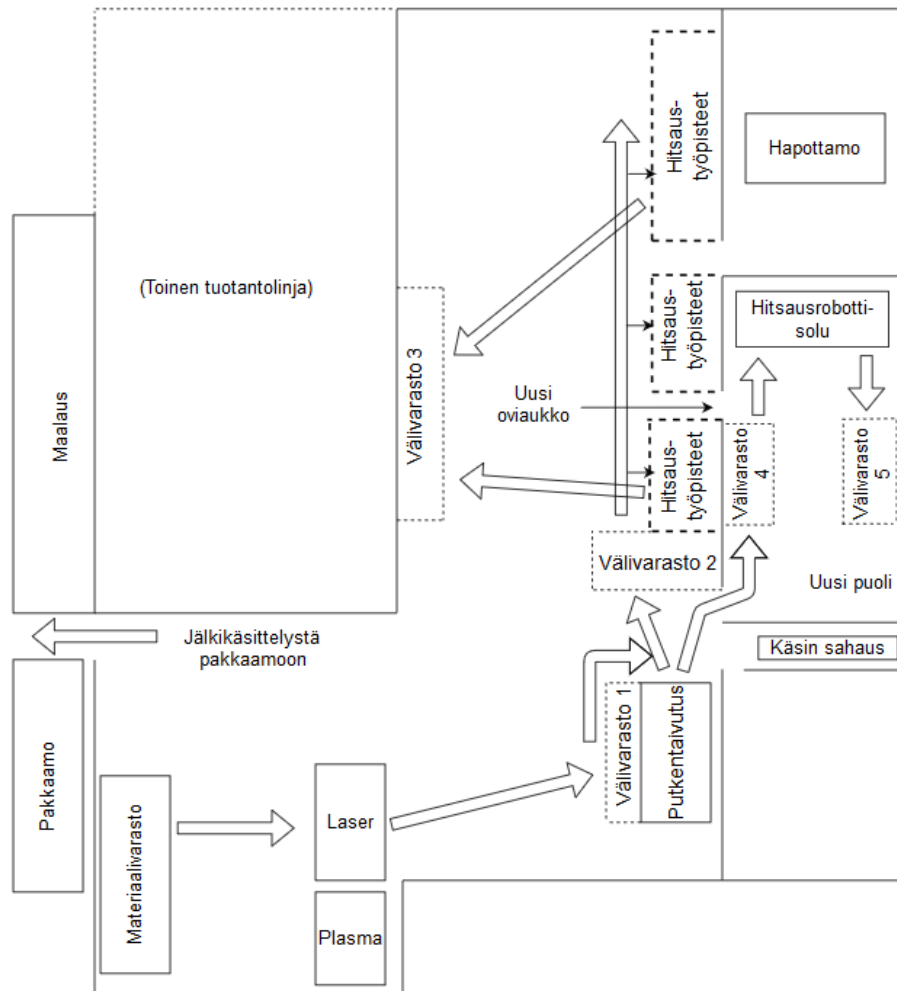
6.2 Muutokset materiaalien virtauksessa

Hitsausrobottisolun lisääminen tuotantolinjaan tulee vaikuttamaan myös materiaalivirtoihin. Suurin muutos materiaalien virtaukselle tulee tapahtumaan taivutusvaiheen jälkeen, koska taivutetut osat on jaettava erikseen käsin hitsaukseen sekä robottisolulle, kun tällä hetkellä taivutetut osat siirtyvät yhteen ja samaan paikkaan. Materiaalivirtaus erikoisputkituotteiden valmistuksessa voidaan pitää robottisolun käyttöönoton jälkeenkin ennallaan (kuva 23) eli taivutusvaiheen jälkeen erikoisputkituotteet siirretään välivarastoon 2 odottamaan käsin hitsaamista ja hitsauksen jälkeen valmiit erikoisputkituotteet siirretään välivarastoon 3 odottamaan jälkikäsittelyä kuten tälläkin hetkellä. Puolestaan robottisolun käyttöönoton yhteydessä täytyy määritellä, kuinka materiaalien virtaus toteutetaan perusputkituotteiden osalta taivutusvaiheen ja hitsausrobottisolun välillä.

Kuvassa 23 on esitetty, miten hitsausrobottisolu tulee sijoittumaan kohdeyrityksen tuotantotiloihin. Ennen robottisolua tarvitaan välivarastopaikka, jossa taivutetut perusputkituotteet odottavat hitsausta ja robottisolun jälkeen tarvitaan välivarastopaikka, jossa hitsatut tuotteet odottavat jälkikäsittelyyn tai pakkaamoon siirtämistä. Jotta materiaalivirta olisi mahdollisimman selkeä ja siirtomatkat lyhyitä myös perusputkituotteiden osalta, kannattaa robottisolulle tulevien ja siitä lähtevien materiaalien välivarastot sijoittaa robottisolun läheisyyteen. Puolestaan materiaalien liikuttelu eri työvaiheiden välillä perusputkituotteiden osalta kannattaa toteuttaa niin, että taivutusvaiheen operaattori siirtää taivutetut perusputkituotteet ennen robottisolua sijaitsevaan välivarastoon, josta robottisolun operaattori ottaa ne hitsaukseen. Robottisolun operaattori vastaa myös hitsattujen tuotteiden siirtämisestä välivarastoon odottamaan jälkikäsittelyyn tai

pakkaamoon siirtämistä. Kuvassa 23 on esitetty myös nämä edellä mainitut välivarastopaikat (välivarastot 4 ja 5) sekä suunnitellut materiaalivirrat robottisolun käyttöönoton jälkeen. Kuvassa paksut nuolet kuvaavat materiaalien liikettä eri vaiheiden välillä.

Materiaalivirta tulee olemaan edellä esitettyjen muutosten jälkeen melko selkeä, mutta sitä voitaisiin tehostaa pienellä layout-muutoksella lyhentämällä siirtomatkaa välivaraston 5 ja jälkikäsittelyn (hapottamon) välillä. Tätä varten tarvittaisiin tehdä oviaukko kiinteään seinään ja erottaa hitsaustyöpaikkoja kauemmaksi toisistaan, mutta layout-muutoksen kustannukset eivät olisi suuret ja se olisi yksinkertainen toteuttaa. Kuvaan 23 on merkitty kohta, mihin oviaukko voitaisiin sijoittaa.



Kuva 23. Suunniteltu materiaalien virtaus hitsausrobotisolun implementoinnin jälkeen.

6.3 Robottisolun tehokas hyödyntäminen

Kohdeyritys on jo hitsausrobottisolun investointia miettiessä hyväksynyt, että todennäköisesti sillä ei pystytä ajamaan yhtäjaksoisesti jokaisessa käytettävissä olevassa työvuorossa. Luvussa ”Taustaselvitys kohdeyrityksen tuotannon ohjauksesta” esitetyt laskelmat eri työvaiheiden kapasiteeteista tukevat tätä päätelmää, koska leikkausvaiheen kapasiteetti on merkittävästi pienempi kuin hitsausrobottisolun. Kohdeyrityksen tavoitteena kuitenkin on, että robottisolua pystytään hyödyntämään kerrallaan yhden kokonaisen työvuoron ajan yhtäjaksoisesti, jotta sen käyttö olisi mahdollisimman tehokasta. Jotta tässä tavoitteessa onnistutaan, on leikattuja ja taivutettuja perusputkituotteita pystyttävä varastoimaan ennen hitsausvaihetta.

Tavoite robottisolun yhtäjaksoisesta käyttämisestä yhden työvuoron ajan perustuu siihen, että robottisolua operoivan työntekijän koko työaika pystytään hyödyntämään robottisolun ohjaamiseen. Verrattuna siihen, että robottisolulla ajettaisiin esimerkiksi satunnaisesti kahden tunnin jaksoissa, robottisolun operaattorin työaika kuluisi turhaan siirtymisessä kesken työpäivän eri tehtäviin puhumattakaan siitä, että operaattori vain odottaisi toimettomana uuden hitsauserän saapumista. Tämän vuoksi on tehokkaampaa, että ennen kuin hitsausrobottisolulla aloitetaan valmistus, kerrytetään ennen sitä riittävä välivarasto, jotta hitsattavaa riittää yhden työvuoron ajaksi.

Tavoitteen saavuttamisesta tekee haasteellisen se, että leikkausvaihe valmistaa osia myös muille kuin ohutseinämäisten putkituotteiden osastolle eli se ei voi valmistaa vain putkituotteita jatkuvasti. Tällä hetkellä leikkausvaiheessa valmistetaan muutama tuote-erä putkituotteita peräkkäin, jonka jälkeen siirrytään valmistamaan osia muille osastoille. Nykytilanteessa, kun putkituotteiden valmistus suoritetaan käsin hitsaamalla, se on ollut toimiva toimintatapa. Ottaen huomioon sekä tavoitteen robottisolun yhtäjaksoisesta käyntiajasta että kapasiteetilaskelmat, tällä tavoin toimien robottisolulla ei pystyttäisi ajamaan edes joka toinen päivä yhtäjaksoisesti yhden työvuoron ajan, koska leikkausvaihe ei pysty valmistamaan niin paljoa tarvittavia putkiosia. Jotta robottisolua pystytään käyttämään useammin yhtäjaksoisesti yhden työvuoron ajan, on leikkausvaiheen toimintaa siis tehostettava. Leikkausvaiheen tehostamiseksi käytetään apuna ToC-toimintamallin menetelmää viisi keskittymisen askelta ja sitä soveltaen kohdeyritykselle on muodostettu seuraavat kehitysehdotukset:

1. Leikkausvaiheen työjärjestyksen uudelleen suunnittelu
2. Kapasiteetin lisääminen työajan muutoksilla
3. Kapasiteetin lisääminen investoimalla

Lähtökohtana viisi keskittymisen askelta -menetelmässä on löytää pullonkaulatoiminto ja pyrkiä eliminoimaan se. Kuten aiemminkin on todettu, kapasiteetilaskelmien perusteella kohdeyrityksen tapauksessa se on leikkausvaihe. ToC-toimintamallissa seuraava vaihe on pyrkiä tehostamaan pullonkaulatoimintoa olemassa olevia resursseja hyödyntäen. Kohdeyrityksen tilanteessa tämä tarkoittaa sitä, että leikkausvaiheen toimintatapaa on tarkasteltava uudelleen ja löydettävä keinoja, miten toimintatapaa saadaan tehostettua. Yksi keino tehostaa leikkausvaiheen toimintaa on muuttaa toimintatapaa, miten **leikkausvaiheen työjärjestys muodostetaan**. Tällä hetkellä leikkausvaiheen työjärjestys muodostetaan niin, että valmistetaan yhden tuote-erän sekä perus- että erikoisputkituotteet peräkkäin ja sitten siirrytään valmistamaan seuraavaa putkituote-erää samalla periaatteella. Putkituotteita valmistetaan kuitenkin vain muutama tuote-erä kerrallaan ennen kuin siirrytään valmistamaan osia toiselle osastolle. Yksinkertaisin vaihtoehto yrittää tehostaa leikkausvaiheen toimintaa putkituotteiden osalta on lisätä tuote-erien määrää, joka valmistetaan peräkkäin ennen kuin siirrytään valmistamaan osia toiselle osastolle. Tällä tavoin hitsausrobotisolulle päätyviä perusputkituotteita saataisiin varastoitua nopeammin ja robotisolua pystyttäisiin käyttämään useammin yhtäjaksoisesti yhden työvuoron ajan.

Toinen vaihtoehto, miten leikkausvaiheen työjärjestys voidaan muodostaa paremmin robotisolun tehokasta hyödyntämistä ajatellen on, että työjärjestyksessä peräkkäin olevista tuote-eristä valmistetaan ensin perusputkituotteet ja vasta sen jälkeen erikoisputkituotteet. Verrattuna tähänhetkiseen tapaan, eli tuote-erästä valmistetaan sekä perus- että erikoisputkituotteet ennen kuin siirrytään seuraavaan tuote-erään, tällä muutoksella pystyttäisiin kerryttämään nopeammin välivarastoa ennen hitsausrobotisolua. Tätä ideaa on havainnollistettu kuvissa 24 ja 25 esimerkin avulla. Esimerkissä on käytetty leikkausvaiheen kapasiteettina arvoa 90 kg/h. Kuten kuvissa esitetyn esimerkitapauksen laskelmista voidaan nähdä, molemmilla tavoilla tuotetaan lopulta saman verran putkituotteita. Erona on kuitenkin se, että muutettaessa työjärjestystä kuvan 25 kaltaiseksi perusputkituotteita pystytään tuottamaan lyhyemmässä ajanjaksossa sama määrä kuin nykyisellä tavalla.

**Leikkausvaiheen työjärjestys:
tällä hetkellä**

Järjestys:	Aika (h):		
Tuote-erä 1			
Perusputkituotteet	3	-->3h*90kg/h=270 kg	} yhteensä 630 kg 12 tunnin aikana
Erikoisputkituotteet	5		
Tuote-erä 2			
Perusputkituotteet	4	-->4h*90kg/h=360 kg	
Erikoisputkituotteet	1		

Kuva 24. Leikkausvaiheen työjärjestyksen muodostuminen nykyisin.

**Leikkausvaiheen työjärjestys:
muutoksen jälkeen**

Järjestys:	Aika (h):		
Tuote-erä 1			
Perusputkituotteet	3	-->3h*90kg/h=270 kg	} yhteensä 630 kg 7 tunnin aikana
Tuote-erä 2			
Perusputkituotteet	4	-->4h*90kg/h=360 kg	
Tuote-erä 1			
Erikoisputkituotteet	5		
Tuote-erä 2			
Erikoisputkituotteet	1		

Kuva 25. Kehitysehdotus leikkausvaiheen työjärjestyksen muodostamiseen.

Leikkausvaiheen työjärjestyksen muodostamiseen liittyvät kehitysehdotukset todennäköisesti vaikuttavat positiivisesti robottisolun yhtäjaksoisten käyttökertojen toistuvuuteen, mutta molemmilla ehdotuksilla on myös olemassa riskinsä. Jos esimerkiksi putkituote-eriä valmistetaan liian monta peräkkäin, on vaarana, että toiselta osastolta loppuvat tarvittavat osat. Toisaalta, jos ajetaan liian paljon pelkästään perusputkituotteita peräkkäin, on riski, että erikoisputkituotteita hitsaavilta työntekijöiltä loppuvat tarvittavat osat ennen uuden erän saapumista. Tämän vuoksi nämä kehitysehdotukset tulevat vaatimaan paljon kokeiluja, jotta pystytään selvittämään, paljonko on mahdollista kummassakin tapauksessa ketjuttaa tuotteita peräkkäin niin, ettei toisilta osastoilta lopu tarvittavat osat.

Edellä esiteltyjen tapojen lisäksi yksinkertainen keino tehostaa leikkausvaiheen toimintaa jo olemassa olevia resursseja hyödyntäen on muuttaa ruokatauon pitämiseen liittyvää käytäntöä niin, että leikkausvaihe ei pysähdy niiden ajaksi. Tämä on toteutettavissa ajoittamalla leikkausvaiheen operaattoreiden ruokatauot eri aikaan, jotta leikkausvaihe ei

pysähtyisi puolen tunnin ruokatauon ajaksi. Tällä tavoin toimien leikkausvaiheeseen saadaan yksi tunti lisää kapasiteettia jokaisen työvuoron aikana, kun otetaan huomioon sekä aamu-että iltavuoron ruokatauot.

Pullonkaulakohdan tehostamisessa kolmas askel ToC-toimintamallissa on varmistaa, että prosessin muut toiminnot tukevat pullonkaulakohdan tehokasta käyttöä. Tällä tarkoitetaan yksinkertaisimmillaan sitä, että pullonkaulatoiminnolta ei saa koskaan loppua valmistettavat osat. Kohdeyrityksen tilanteessa pullonkaulatoiminnon ollessa valmistuksen ensimmäinen vaihe, tämä varmistetaan sillä, että raaka-ainevarastossa on aina olemassa tarvittavia materiaaleja. Kohdeyrityksessä tämä kohta on hallinnassa eikä raaka-ainemateriaalien puutokset ole yleisiä.

On mahdollista, että pullonkaulatoimintoa ei saada tehostettua tarpeeksi pelkästään olemassa olevia resursseja hyödyntämällä. Viiden askeleen menetelmässä myös tämä on otettu huomioon ja menetelmän neljäs askel onkin kehittää pullonkaulatoimintoa muun muassa investoimalla työvoimaan tai laitteisiin. Kohdeyrityksen tilanteessa leikkausvaiheen kapasiteettia pystyttäisiin lisäämään muuttamalla leikkausvaiheen työaika ympärivuorokautiseksi eli siirryttäisiin käyttämään myös yövuoroa. Yövuoron lisääminen aiheuttaisi nousun työvoimakustannuksissa, mutta ei merkittävää, jos muutos pystytään toteuttamaan ilman uusien työntekijöiden palkkaamista. Toisaalta, jos yövuoroon siirtyminen vaatisi uusien työntekijöiden palkkaamista, tulisi kapasiteetin nosto uudella laitehankinnalla vartenotettavaksi vaihtoehdoksi. Kohdeyrityksen tapauksessa investointi uuteen laserleikkauslaitteeseen, jolla valmistettaisiin vain putkituotteita, ratkaisisi toki kapasiteettiongelmaa leikkausvaiheessa, mutta puolestaan hankintakustannus tällaisella investoinnilla on suuri.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Valmistava yritys kohtaa nykypäivänä asiakkaiden puolelta paljon erilaisia vaatimuksia niin laadusta, hinnasta kuin aikataulustakin. Jotta näihin asiakkaiden asettamiin vaatimuksiin pystyttäisiin vastaamaan, on valmistavan yrityksen tuotannon ohjauksen toimivuudella suuri merkitys. Tämän vuoksi viime vuosikymmenien aikana on kehittynyt monenlaisia toimintamalleja tuotannon ohjauksen toteuttamiseksi ja tehostamiseksi. Esimerkkejä näistä toimintamalleista ovat Lean, JIT ja ToC. Näitä toimintamalleja pystytään soveltamaan periaatteessa kaikissa yrityksissä tuotantomuodosta riippumatta, mutta esimerkiksi JIT:n ja Leanin periaatteet toimivat parhaiten vakiotuoteympäristössä.

Myös tutkimuksen kohdeyritykseltä vaaditaan paljon asiakkaiden toimesta. Toimitusaikavaatimukset ovat monesti tiukkoja ja sen lisäksi tuotteita pitäisi pystyä valmistamaan todella kustannustehokkaasti unohtamatta erinomaista laatua. Kohdeyrityskin on miettinyt eri toimintamallien hyötyjä omaan toimintaansa, mutta vahva projektiluontoisuus ja asiakaskohtainen suunnittelu ja siitä johtuva suuri tuotevariaatioiden määrä hankaloittavat suoraan minkään toimintamallin implementoimista. Tämän vuoksi kohdeyritys onkin hyväksynyt, ettei esimerkiksi imuohjaus ole helposti ja käytännöllisesti toteutettavissa, minkä vuoksi he perustavat tuotannon ohjauksen vahvasti työntöohjaukseen. Tutkimuksen perusteella yrityksen valitsema ohjaustapa on toimiva, vaikka varastoinnin tarve onkin suurempi kuin puhtaasti imuohjaukseen perustuvassa tuotannossa.

Investoitava hitsausrobotisolu tulee vaikuttamaan kohdeyrityksen tuotannon ohjaukseen ohutseinämäisten putkituotteiden valmistuksessa niin valmistuksen kuin materiaalienkin ohjauksen osalta. Koska kohdeyrityksen tämänhetkinen tuotannon ohjaus on toimiva ja valmistustoiminnassa on pitkälle vakiintuneet toimintatavat, on tutkimuksessa esitetyt kehitysehdotukset muodostettu niin, että muutosta tarvitsevat asiat ovat toteutettavissa pienillä muutoksilla ilman lisäkustannuksia. Tällä tavoin pyritään varmistamaan, ettei jo toimivaa tuotannon ohjausta sekoiteta liikaa ja heikennetä sen toimivuutta.

Tutkimuksen perusteella hitsausrobotisolun tehokas hyödyntäminen tulee olemaan haastava toteuttaa nykyisellä toimintatavalla leikkausvaiheen alhaisemman kapasiteetin vuoksi.

Tämän vuoksi kohdeyritykselle on esitetty kehitysehdotuksia, kuinka leikkausvaiheen toimintaa pystytään tehostamaan. Kehitysehdotukset on luotu soveltaen Theory of Constraints -toimintamallia kohdeyrityksen näkökulmasta. Kehitysehdotuksissa pääpaino on olemassa olevien resurssien hyödyntämisessä, koska silloin vältytään lisäinvestoinneilta ja nämäkin muutokset ovat toteutettavissa pienillä toimenpiteillä. On kuitenkin mahdollista, että pelkästään olemassa olevia resursseja hyödyntämällä leikkausvaiheen toimintaa ei saada tehostettua tarpeeksi, minkä vuoksi tutkimuksessa on esitetty myös vaihtoehtoja lisäinvestointikohteista. Kohdeyrityksen kuitenkin kannattaa panostaa ensin olemassa olevien resurssien hyödyntämiseen, koska lisäinvestoinnit aiheuttavat merkittäviä hankintakustannuksia ja varsinkin investointi uuteen laitteeseen aiheuttaisi lisää muutostarvetta tuotannon ohjaukseen.

Todennäköistä on, että joko olemassa olevia resursseja hyödyntämällä tai lisäinvestointien avulla leikkausvaihe ei ole enää rajoittava toiminto. Theory of Constraints -toimintamallin mukaisesti, kun pullonkaulatoiminto on saatu poistettua, pullonkaula siirtyy johonkin toiseen toimintoon. Tämän vuoksi kohdeyrityksen kannattaa myös jatkossa soveltaa tätä toimintamallia omaan toimintaansa, jotta tuotantotoimintaa voidaan jatkuvasti kehittää. Koska tässä tutkimuksessa on käsitelty vain ohutseinämäisten putkituotteiden valmistusta, yksi jatkotutkimuskohde voisikin olla selvittää tuotannon ohjauksen toimivuus ja mahdolliset kehitystarpeet myös toisella valmistusosastolla.

Tässä tutkimuksessa on käsitelty vain, miten tuotannon ohjauksen muutoksilla tai uudella investoinnilla pystyttäisiin robottisolua hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti. Toinen näkökulma olisi miettiä, voidaanko muita yrityksen toimintoja tehostamalla mahdollistaa robottisolun tehokkaampi käyttö. Kohdeyrityksen tapauksessa yksi toiminto, jonka tehostamisella voisi olla vaikutusta tähän on suunnittelu. Jos suurempi osuus putkituotteista olisi perusputkituotteita, voitaisiin suurempi osa putkituotteista valmistaa hitsausrobottisolulla. Tätä varten tarvitaan kuitenkin lisää tutkimusta. Jatkotutkimusaiheena tähän liittyen voisi olla tuotevariaatioiden vähentäminen tuotteiden modularisoinnin avulla

LÄHTEET

Arnold, J.R.T., & Chapman, S.N., & Clive, L.M. 2008 Introduction to Materials Management. 6. painos. Phoenix: R. R. Donnelley & Sons Company. 515 s.

Baxter, R. 2014. Generating value by reducing quality costs. [verkkodokumentti]. [Viitattu: 4.2.2020]. Saatavissa: <https://vgpblog.wordpress.com/2014/12/15/generating-value-by-reducing-quality-costs/>

Bhamu, J., & Sangwan, K.S. 2014. Lean manufacturing: literature review and research issues. Volume 34. Is. 7. International Journal of Operations & Production Management. 876-940 s.

Charron, R., & Harrington, H.J., & Voehl, F., & Wiggin, H. 2015. The lean management systems handbook. Florida: Taylor & Francis Group. 523 s.

Gülyaz, E., & van der Veen, J.A.A., & Venugopal, V., & Solaimani, S. 2019. Towards a holistic view of customer value creation in Lean: A design science approach. Volume 6. Is. 1. Cogent Business & Management. 1-30 s.

Haverila, M.J., & Uusi-Rauvali, E., & Kouri, I., & Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. 6. painos. Tampere: Hämeen Kirjapaino Oy. 510 s.

JIT (Just-In-Time) ja Imuohjaus. Logistiikan maailma. 2020. [verkkodokumentti]. [Viitattu: 10.3.2020]. Saatavissa: <http://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/jit-just-in-time-ja-imuohjaus/>

Kalpakjian, S., & Schmid, S.T. 2010. Manufacturing Engineering and Technology. 6. painos. Singapore: Pearson Education South Asia Pte Ltd. 1180 s.

Karjalainen, T., & Karjalainen, E.E. 2002. SIX SIGMA. Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä. Hollola: Salpausselän Kirjapaino Oy. 190 s.

Karningsih, P.D., & Pangesti, A.T., & Suf, M. 2019. Lean Assessment Matrix: A Proposed Supporting Tool for Lean Manufacturing Implementation. Volume 598. Is. 1. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 9 s.

Konecranes. 2020. [WWW-sivuilla]. [Viitattu: 4.2.2020]. Saatavissa: <https://www.konecranes.com/fi/huolto/mika-erottaa-meidat-muista>

Kortabarria, A., & Apaolaza, U., & Lizarralde, A., & Amorrortu, I. 2018. Material management without forecasting: From MRP to demand driven MRP. Volume 11. Is. 4. Journal of Industrial Engineering and Management. 632-650 s.

Kouri, I. 2010. Lean taskukirja. Helsinki: Kopio-Niini. 39 s.

Lahti, S., & Tuominen, K. 2004. Kilpailuetua tuotehallinnalla: 39 hyvää kysymystä ja esimerkkiparia. Turku: Oy Benchmarking Ltd. 139 s.

Lecklin, O. 2006. Laatu yrityksen menestystekijänä. Hämeenlinna: Karisto Oy. 408 s.

Martinsuo, M., & Mäkinen, S., & Suomala, P., & Lyly-Yrjänäinen, J. 2016. Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy. 399 s.

Myerson, P. 2012. Lean Supply Chain and Logistics Management. USA: McGraw-Hill Companies Inc. 270 s.

Pacheco, D.A.J., & Pergher, I., & Antuner Junior, J.A.V., & Vaccaro, G.L.R. 2019. Exploring the integration between Lean and the Theory of Constraints in Operations Management. Volume 10. Is. 3. International Journal of Lean Six Sigma. 718-742 s.

Prasetyaningsih, E., & Deferinanda, C.A., & Amaranti, R. 2019. Bottleneck Reduction at the Shoes Production Line using Theory of Constraints Approach. International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing. 170-175 s.

Ritvanen, V., & Inkiläinen, A., & von Bell, A., & Santala, J. 2011. Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet. Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy. 252 s.

Sakki, J. 2014. Tilaus-toimitusketjun hallinta. Digitalisoitumisen haasteet. 8. painos. Vantaa: Jouni Sakki Oy. 161 s.

SFS-EN ISO 9000. 2015. Laadunhallintajärjestelmät. Perusteet ja sanasto. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. 115 s.

SFS-EN ISO 9001. 2015. Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. 76 s.

Siregar, I. 2019. Application of Theory of Constraints in Bottleneck Work Stations Optimization. Volume 1339. Is. 1. Journal of Physics: Conference Series. 4 s.

Tayntor, C.B. 2007. Six Sigma software development. Florida: Taylor & Francis Group. 458 s.

Theory of Constraints. Lean Production. 2020. [verkkodokumentti]. [Viitattu: 26.3.2020]. Saatavissa: <https://www.leanproduction.com/theory-of-constraints.html>

Vanichchinchai, A. 2019. A categorization of quality management and supply chain management frameworks. Volume 6. Is. 1. Cogent Business & Management. 10 s.

Waters, D. 2009. Supply Chain Management. An Introduction to Logistics. 2. painos. Basingstoke: Palgrave Macmillan. 511 s.

Womack, J.P., & Jones, D.T. 1996. Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation. Glasgow: Caledonian International Book Manufacturing. 350 s.