



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ANNIINA RIIHIMÄKI  
TERÄSLEVYTUOTANNON PROSESSIKUVAUS, TUOTEANALYYSI  
JA NOSTOLAITERATKAISUJEN TARKASTELU

Diplomityö

Tarkastajat: professori Minna Lanz,  
tohtorikoulutettava Hasse Nylund  
Tarkastajat ja aihe hyväksytyt  
3. tammikuuta 2018

## TIIVISTELMÄ

**ANNIINA RIIHIMÄKI:** Teräslevytuotannon prosessikuvaus, tuoteanalyysi ja nostolaiteratkaisujen tarkastelu  
Tampereen teknillinen yliopisto  
Diplomityö, 78 sivua, 4 liitesivua  
Helmikuu 2018  
Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Pääaine: Tuotantotekniikka ja -automaatio  
Tarkastajat: professori Minna Lanz, tohtorikoulutettava Hasse Nylund

Avainsanat: teräslevytuotanto, prosessikuvaus, tuoteanalyysi, materiaalinkäsittely

Tässä diplomityössä perehdyttiin teräslevytuotantoa harjoittavan teollisuuden yrityksen toimintaan. Työn tavoitteena oli laatia teräslevyjen käsittelyä ja leikkausta tekevän tuotantojärjestelmän toimintaa kuvaava prosessikuvaus sekä selvittää tuotantojärjestelmässä valmistettavat levytyypit ja -määrät tuoteanalyysin avulla. Tuoteanalyysin tuloksiin perustuen tuli lisäksi selvittää levykappaleiden nostamiseen ja siirtämiseen soveltuvia nostolaiteratkaisuja.

Tutkimustyön alussa työn käytännön aihepiireihin ja tutkimusmenetelmiin tutustuttiin kirjallisuuskatsauksen avulla. Käytännön osuuden toteutuksessa tutkimusmenetelminä käytettiin laadullisia ja määrällisiä tutkimusmenetelmiä. Prosessikuvauksen laatimisen tutkimusaineistona hyödynnettiin yrityskohtaisia dokumentteja sekä kohdeyrityksen asiantuntijoiden kanssa käytyjä keskusteluita. Tuoteanalyysissä tarkasteltiin numeerista data-aineistoa, jonka perusteella selvitettiin tuotantojärjestelmässä valmistettavat levytyypit ja tuotantomäärät. Nostolaiteratkaisujen kartoitus toteutettiin sähköpostikyselyn muodossa. Tutkimustyö oli iteratiivinen prosessi, jossa tutkimuksen vaiheita toistettiin ja tutkimusaineistoa täydennettiin havaittujen muutostarpeiden ilmentyessä. Työn toteutusta tehtäessä ja tuloksia tarkasteltaessa todettiin, että valikoidut tutkimusmenetelmät soveltuivat tutkimusongelmien ratkaisemiseen. Työlle asetettujen tavoitteiden nähtiin täyttyvän.

Työn tuloksina aikaansaatiin tuotantojärjestelmän toimintaa kuvaava prosessikuvaus, teräslevytuotannon tuoteanalyysi sekä selvitys levykappaleiden nostamiseen ja siirtämiseen soveltuvista nostolaiteratkaisuksista. Tekstimuotoisesta prosessikuvauksesta saatiin välitöntä palautetta ja sen nähtiin soveltuvan hyvin lähtötiedoksi seuraaville suunnittelu-tehtäville. Tuoteanalyysi antoi tarpeellista tietoa tuotantojärjestelmässä valmistettavista levykappaleista sekä levyjen ominaisuuksien vaihteluista. Nostolaiteratkaisujen kartoituksen tulokset osoittivat, että pienten levykappaleiden nostamiseen soveltuvat kevyet nosturijärjestelmät tai robottijärjestelmät. Tarkempi valmistustekninen suunnittelu ja laitehankintoihin liittyvä päätöksenteko on kuitenkin syytä tehdä yhdessä kohdeyrityksen tuotannon kanssa huomioimalla kaikki tuotantojärjestelmien suunnitteluun kuuluvat osa-alueet.

## ABSTRACT

**ANNIINA RIIHIMÄKI:** Process description of steel plate fabrication, product analysis and review of lifting solutions

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 78 pages, 4 Appendix pages

February 2018

Master's Degree Programme in Machine Engineering

Major: Production engineering and automation

Examiners: Associate Professor Minna Lanz, Doctoral Student Hasse Nylund

**Keywords:** steel plate production, process description, product analysis, materials handling

The subject company of this Master's Thesis fabricates steel plate parts. The production system is responsible for the processing and cutting operations of the plates. The objectives of this thesis were to formulate a process description, which discusses the functions of the production system, and to carry out a product analysis covering the cut plate parts. Suitable lifting systems for plate parts handling were also determined to be found out based on the results of the product analysis.

The study begun with reading through relevant literature and writing a literature survey on that basis. The other research methods of the study were quantitative and qualitative. The process description was drafted by using company specific documents and discussing with the company's employees. The product analysis was carried out by utilizing numerical data of the ready produced plate parts. Based on the results of the product analysis a few companies that provide lifting systems were contacted by E-mail. The study was an iterative process requiring repetition of the research stages. The research environment was dynamic, which was taken into account. It was noted that the chosen research methods were suitable for solving out the research problems. The objectives of the study were seen to be met.

As a result of the study, the process description of steel plate fabrication, product analysis of the cut plate parts and report of the suitable lifting systems were accomplished. Received feedback from the process description was positive and the description was seen to be applicable for use as source information for the following design phases. Product analysis gave useful information of the characteristics of the plate parts and the variation of them. Results concerning the lifting systems showed that light crane systems and robot systems fit for handling of small plate parts. More accurate planning work and decision-making related to the purchase of machinery and equipment should be performed carefully in collaboration with the subject company's production. It is essential to take into account all the aspects that influence to the design of the production system.

## ALKUSANAT

Diplomityön tekeminen on ollut mielenkiintoinen ja opettavainen prosessi. Työn tekeminen vaati huolellisuutta, pitkäjänteisyyttä ja suunnitelmallisuutta. Olen helpottunut ja tyytyväinen, että diplomityöni on nyt valmis. Opintojen päättymisen ja valmistumisen ovat kuitenkin asioita, jotka saavat mieleni haikeaksi. Vuodet ovat kuluneet nopeasti, ja olen saanut unohtumattomia kokemuksia. Tampereen teknillinen yliopisto tarjosi erinomaiset opiskelumahdollisuudet ja oppimisympäristön.

Haluan kiittää kohdeyritystä mahdollisuudesta diplomityön tekemiseen, mielenkiintoisesta aiheesta sekä useiden henkilöiden antamasta ohjauksesta ja tuesta työn tekemisen aikana. Suuret kiitokset myös työni tarkastajille Minna Lanzille ja Hasse Nylundille kriittisistä kommentteista ja arvokkaasta palautteesta kirjoitustyön aikana. Sain teiltä kaikilta aina neuvoa sitä tarvitessani ja olen siitä kiitollinen. Näillä eväillä on hyvä siirtyä iloisin mielin työelämään.

Lopuksi haluan kiittää rakkaita vanhempiani Jaanaa ja Timoa, sisaruksiani Eveliinaa ja Anttonia, avopuolisoani Pasia sekä isovanhempiani. Kiitokset myös lukuisille ystävilleni opintieni, peruskoulun, lukion ja yliopiston, aikana. Kiitän teitä kaikkia korvaamattomasta tuestanne, ajastanne auttaa ja kannustaa sekä ihanista yhdessäolon hetkistä. Kiitos myös rakkaalle kissalleni Nöpölle, joka on kulkenut vierelläni kaikki nämä vuodet esikoulusta saakka. Ja Söpölle terveisiä pilvenreunalle.

Turussa, 5.2.2018

Anniina Riihimäki

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Työn tavoitteet ja rajaukset .....	1
1.2	Työssä käytetyt tutkimusmenetelmät ja tutkimusaineistot .....	2
1.3	Työn rakenne .....	4
2.	KIRJALLISUUSKATSAUS .....	6
2.1	Tutkimusmenetelmät ja tutkimusaineisto.....	7
2.1.1	Määrällinen tutkimus .....	7
2.1.2	Laadullinen tutkimus.....	8
2.1.3	Tutkimusaineisto.....	8
2.1.4	Tutkimustulosten esittely ja analysointi.....	9
2.2	Valmistavan teollisuuden yrityksen toiminta.....	10
2.2.1	Yrityksen tuotantomuodot.....	11
2.2.2	Tuotantojärjestelmien periaatteita.....	11
2.2.3	Tuotantojärjestelmien suunnittelun osa-alueita .....	12
2.2.4	Koneiden hyödyntäminen materiaalinkäsittelyssä.....	15
2.2.5	Yhtenäisen suunnittelutyön lähtökohtia ja edellytyksiä.....	18
2.3	Turvallisen työympäristön suunnittelu.....	20
2.3.1	Koneturvallisuus .....	20
2.3.2	Riskien arviointi ja riskien pienentäminen.....	22
2.3.3	Työympäristön turvallisuuden hallinta ja edistäminen .....	23
2.4	Prosessit osana yrityksen toimintaa .....	24
2.4.1	Prosessit työkaluna päämäärien saavuttamisessa.....	25
2.4.2	Leanin periaatteiden hyödyntäminen prosessien kuvaamisessa ....	25
2.4.3	Prosessien kuvaaminen .....	26
2.4.4	Prosessien visuaalisia kuvaustapoja.....	29
3.	TUTKIMUSKOHTTEEN ESITTELY JA TUTKIMUKSEN TOTEUTUS .....	34
3.1	Kohdeyrityksen tuotantojärjestelmä.....	35
3.2	Tutkimusongelmat.....	36
3.3	Prosessikuvauksen laatiminen.....	36
3.3.1	Prosessin tunnistaminen ja alustavan kuvauksen tekeminen .....	37
3.3.2	Sisäisten asiakastarpeiden huomioiminen.....	40
3.3.3	Prosessikuvauksen kokoaminen.....	41
3.4	Tuoteanalyysin tekeminen.....	41
3.4.1	Suunnittelutuotteiston ja suunnittelutuotannon määrittäminen.....	42
3.4.2	Valmistuksessa syntyvien hukkakappaleiden osuuden määrittäminen.....	44
3.5	Materiaalinkäsittelyyn soveltuvien nostolaiteratkaisujen kartoittaminen ....	44
4.	TULOSTEN ESITTELY .....	47
4.1	Prosessikuvaus .....	47

4.2	Tuoteanalyysi .....	48
4.3	Materiaalinkäsittelyyn soveltuvat nostolaiteratkaisut .....	51
5.	KESKUSTELU JA PÄÄTELMÄT .....	54
5.1	Tutkimustulosten analysointi .....	54
5.1.1	Prosessikuvaus .....	54
5.1.2	Tuoteanalyysi .....	55
5.1.3	Nostolaiteratkaisut .....	62
5.2	Tutkimusaineiston, tutkimusmenetelmien ja tutkimustulosten luotettavuus	65
5.3	Jatkotoimenpide-ehdotukset.....	66
5.4	Tutkimuksen tavoitteiden saavuttaminen.....	68
6.	YHTEENVETO .....	70
	LÄHTEET .....	72

LIITE A: PROSESSIN YLEISKUVAUS (Lecklin 1999, s. 151)

LIITE B: PITKIEN LEVYJEN KULKUA KUVAAVA PROSESSIKAAVIO

LIITE C: VAKIOMITTAISTEN JA LYHYIDEN LEVYJEN KULKUA KUVAAVA  
PROSESSIKAAVIO

LIITE D: YHTEENVETO PITKIEN SEKÄ VAKIOMITTAISTEN JA LYHYIDEN  
LEVYJEN KULKUA KUVAAVISTA PROSESSIKAAVIOISTA

## KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Diplomityön tutkimusongelmien, tutkimusmenetelmien, tutkimuskohteiden ja tutkimustulosten keskinäiset yhteydet.</i> .....	2
<b>Kuva 2.</b>	<i>Diplomityön rakenne.</i> .....	4
<b>Kuva 3.</b>	<i>Tuotantojärjestelmien suunnittelussa huomioitavat osa-alueet. (Perustuu lähteeseen Lapinleimu et al. 1997, s. 301)</i> .....	13
<b>Kuva 4.</b>	<i>Tuotteet tai tuotekokonaisuudet vuosivolyyminsä mukaisessa suuruusjärjestyksessä. (Perustuu lähteeseen Muther &amp; Hales 2015, s. 3-3)</i> .....	14
<b>Kuva 5.</b>	<i>Materiaalinkäsittelyssä käytettäviä nostolaitteita. (Perustuu lähteeseen Sidharatha 2007, s. 163, 168)</i> .....	16
<b>Kuva 6.</b>	<i>Suunnittelutehtävän rakenteeseen vaikuttavat näkökohdat. (Strömman et al. 2007, s. 14)</i> .....	19
<b>Kuva 7.</b>	<i>Prosessin karkean kuvauksen laatiminen. (Martinsuo &amp; Blomqvist 2010, s. 10)</i> .....	27
<b>Kuva 8.</b>	<i>Nelikenttämalli. (Moisio &amp; Ritola 2001, s. 83)</i> .....	28
<b>Kuva 9.</b>	<i>Vuokaavio. (Lecklin 1999, s. 197)</i> .....	30
<b>Kuva 10.</b>	<i>Uimaratakaavio. (Perustuu lähteeseen Sharp &amp; McDermott 2008, s. 219)</i> .....	31
<b>Kuva 11.</b>	<i>Lohkoverkko. (El-Reedy 2016, s. 96)</i> .....	32
<b>Kuva 12.</b>	<i>Prosessin karkean tason kuvaus.</i> .....	39
<b>Kuva 13.</b>	<i>Suunnittelutuotteiston tuoteperheiden määrittäminen iteroinnin avulla</i> .....	42
<b>Kuva 14.</b>	<i>Tuoteperheiden valmistusmäärät.</i> .....	49
<b>Kuva 15.</b>	<i>Pienten kappaleiden osuus kaikista kappaleista.</i> .....	50
<b>Kuva 16.</b>	<i>Suunnittelutuotteen 1 mitta- ja massaominaisuuksien vaihtelut.</i> .....	56
<b>Kuva 17.</b>	<i>Suunnittelutuotteen 2 mitta- ja massaominaisuuksien vaihtelut.</i> .....	57
<b>Kuva 18.</b>	<i>Suunnittelutuotteen 3 mitta- ja massaominaisuuksien vaihtelut.</i> .....	58
<b>Kuva 19.</b>	<i>Suunnittelutuotteen 4 mitta- ja massaominaisuuksien vaihtelut.</i> .....	59
<b>Kuva 20.</b>	<i>Suunnittelutuotteen 5 mitta- ja massaominaisuuksien vaihtelut.</i> .....	60
<b>Kuva 21.</b>	<i>Suunnittelutuotteen 7 mitta- ja massaominaisuuksien vaihtelut.</i> .....	61
<b>Kuva 22.</b>	<i>Lattiaan ja kattoon asennetut siltanosturijärjestelmät. (Perustuu lähteeseen PWI 2017)</i> .....	63
<b>Kuva 23.</b>	<i>Neliakselisen ja kuusiakselisen teollisuusrobotin periaatekuvat. (Perustuu lähteeseen Con-vey Keystone 2017)</i> .....	64

## TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 1.</i>	<i>Ydinprosessin ja osaprosessien tunnistaminen ja rajaaminen.....</i>	<i>38</i>
<i>Taulukko 2.</i>	<i>Suunnittelutuotteiston tuoteperheet ja prosentuaaliset valmistusosuudet.....</i>	<i>43</i>
<i>Taulukko 3.</i>	<i>Nostolaiteratkaisujen kartoittamisen kriteerit.....</i>	<i>45</i>
<i>Taulukko 4.</i>	<i>Tuoteperheiden suunnittelutuotteet ominaisuuksineen.....</i>	<i>49</i>
<i>Taulukko 5.</i>	<i>Pienten levykappaleiden ja hukkakappaleiden määrät.....</i>	<i>50</i>
<i>Taulukko 6.</i>	<i>Nosturiratkaisujen yhteenveto.....</i>	<i>51</i>
<i>Taulukko 7.</i>	<i>Robottiratkaisujen yhteenveto.....</i>	<i>53</i>



## LYHENTEET

Arvovirtakaavio	Lean-filosofiassa tyypillisesti käytetty kaaviotyyppe, jolla kuvataan prosessin materiaali- ja tietovirrat sekä arvoa tuottavat ja arvoa tuottamattomat vaiheet
CE-merkintä	Tuotteessa oleva merkintä, joka kertoo tuotteen valmistajan vakuuttavan, että tuote vastaa sitä koskevia Euroopan unionin vaatimuksia
Layout	Tuotantojärjestelmän osien, kuten koneiden ja kulkuväylien, sijoittelu tuotantotilassa
Lean	Johtamisfilosofia, joka keskittyy arvoa tuottamattomien toimintojen poistamiseen
Lohkoverkkokaavio	Kaaviotyyppe, jossa prosessin tehtäviä kuvaaviin laatikoihin voidaan lisätä tehtävän suoritukseen liittyviä aktiviteettitietoja ja jossa yksittäisen tehtävän toteutus edellyttää joko yhden tai useamman edeltävän tehtävän suoritusta
Materiaalinkäsittely	Materiaalin siirtämistä paikasta toiseen siten, että siirto tapahtuu materiaalin nostamisen kautta
Osaprosessi	Prosessin hierarkiataso, joka koostuu työvaiheista ja tehtävistä
Strateginen prosessi	Prosessi, joka määrittelee näkemyksen tulevaisuuden tavoitetilasta, johon tähdätään tehdyn suunnitelman mukaisesti
Suunnittelutuotanto	Suunnittelutuotteiston valmistusmääriä kuvaava termi
Suunnittelutuotteisto	Tuotteiden samankaltaisiin ominaisuuksiin perustuvan jaottelun tuloksena syntyvä kokoelma, joka edustaa valmistettavien tuotteiden ominaisuuksia riittävällä tarkkuudella
Syöte	Prosessiin syötettäviä materiaaleja ja tietoja kuvaava termi
TPS	engl. Toyota Production System, Toyotan tuotantojärjestelmä
Tukiprosessi	Prosessi, joka turvaa organisaation sisäistä toimintaa ja joka mahdollistaa ydinprosessin toteutuksen
Tuoteanalyysi	Tarkastelu, joka sisältää tietoa valmistettavien tuotteiden rakenteesta, ominaisuuksista, variaatioista ja valmistusmääristä
Tuoteperhe	Tuotekokonaisuus, jossa tuotteet ovat toiminnoiltaan, ominaisuuksiltaan, rakenteiltaan tai käyttötarkoituksiltaan samankaltaisia
Tuotos	Prosessin lopputuloksena syntyvä tuote
Uimaratakaavio	Ratamaisen ulkoasun omaava kaaviotyyppe, jossa prosessin tehtävät on kohdistettu prosessiin osallistuville vastuutahoilleen
Vuokaavio	Kaaviotyyppe, jossa prosessin vaiheet on esitetty merkintäjärjestelmän mukaisin symbolein
Ydinprosessi	Prosessi, joka tuottaa asiakkaalle lisäarvoa

# 1. JOHDANTO

Diplomityö tehtiin yritykselle, joka harjoittaa teräslevytuotantoa. Kohdeyrityksessä on suunnitteilla ja rakenteilla uusi teräslevyjen käsittely- ja leikkausta tekevä tuotantojärjestelmä. Uusi tuotantojärjestelmä tulee korvaamaan vanhan tuotantojärjestelmän, joka on aiemmin vastannut teräslevyjen käsittely- ja leikkaustoimenpiteistä. Diplomityön aihe muodostui kohdeyrityksessä ilmenneestä tarpeesta kuvata uuden tuotantojärjestelmän toiminta prosessikuvauksen muodossa. Kohdeyrityksellä oli myös tarve saada numeeriseen analysointiin perustuvaa tietoa uudessa tuotantojärjestelmässä valmistettavista teräslevykappaleista. Tiedon nähtiin olevan tärkeänä lähtötietona seuraavien suunnittelu- vaiheiden määrittelyssä ja toteuttamisessa.

## 1.1 Työn tavoitteet ja rajaukset

Diplomityön tavoitteena oli kuvata uuden teräslevyjen käsittelyä ja leikkausta tekevän tuotantojärjestelmän toiminta prosessikuvauksen muodossa sekä selvittää tuotantojärjestelmässä valmistettavien tuotteiden tyypit ja valmistusmäärät. Tuotetietoa tuli hyödyntää leikattujen levykappaleiden nostamiseen ja siirtämiseen soveltuvien nostolaiteratkaisujen kartoittamisessa. Koska kohdeyrityksen tuotanto koostuu suuresta määrästä erilaisia vaiheita, työn tutkimuskohde tuli rajata selkeästi. Tarkasteltavan kokonaisuuden määritettiin olevan tuotantoprosessi, jonka keskeiset osaprosessit ovat levyjen käsittelyprosessi ja levyjen leikkausprosessi.

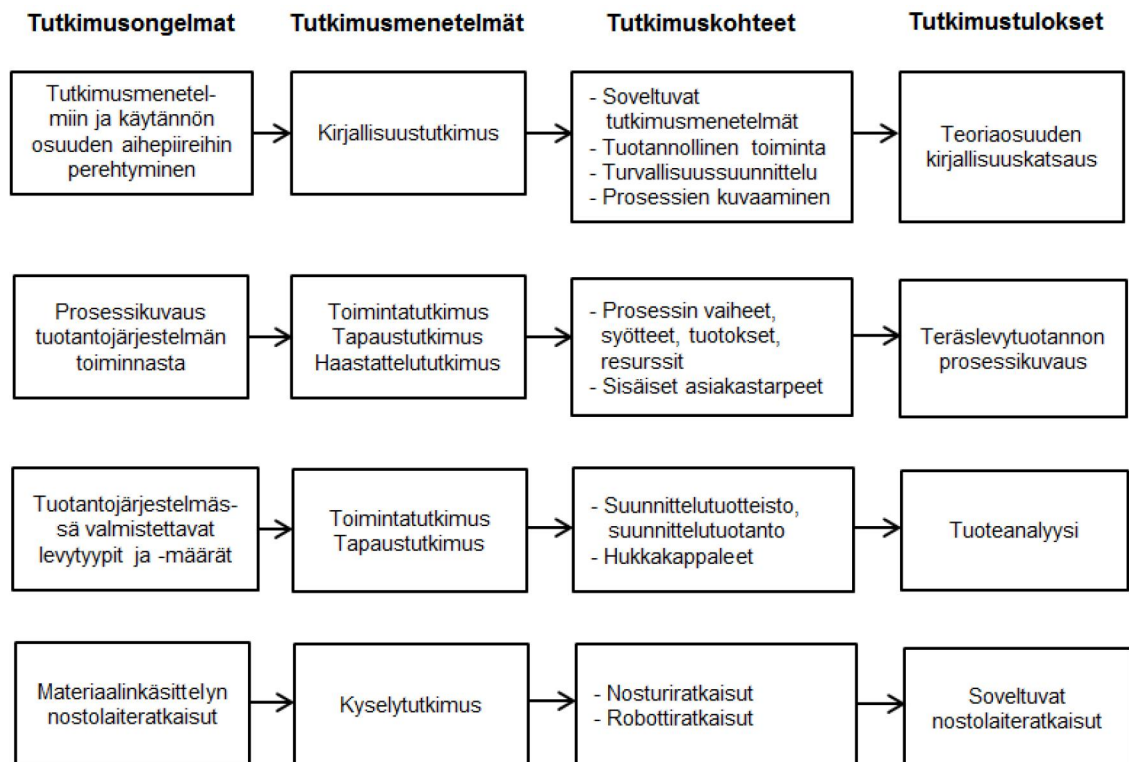
Prosessikuvaukselle asetettiin vaatimukseksi yleiskuvan antaminen tarkastelun kohteena olevasta tuotantoprosessista. Kuvauksen oli määrä olla muodoltaan tekstimuotoinen dokumentti sisältäen prosessikaavion, joka esittää prosessin vaiheet tiivistetysti. Dokumentin ulkoasun ja dokumentointitavan tuli noudattaa kohdeyrityksen käytäntöjä yhdenmukaisen linjan säilyttämiseksi. Prosessikuvauksen tarkoituksena on jatkossa toimia lähtötietona niille teknisten alojen suunnittelijoille, joiden suunnittelutehtävät koskettavat uutta tuotantojärjestelmää.

Tuotantojärjestelmässä valmistettavien teräslevykappaleiden pääkategorioihin ja valmistusmääriin kohdistetun analyysin tuli antaa tarkempaa tietoa valmistettavien tuotteiden ominaisuuksista sekä ominaisuuksien vaihteluista. Levykappaleiden mitta- ja massatietojen määritettiin olevan kohdeyrityksen tarpeiden kannalta tärkeimmät tarkastelun kohteet, joihin tutkimus tuli keskittää. Koska uuden tuotantojärjestelmän kaikkia kone- ja laiteratkaisuja ei ollut vielä päätetty, työssä haluttiin selvittää teräslevyjen nostamiseen ja siirtämiseen soveltuvia nostolaiteratkaisuja. Nostolaiteratkaisujen kartoittamisen tavoitteena oli ottaa selvää markkinoilla toimivien laitetoimittajien näkemyksistä ja ehdotuksista käyttökohteeseen soveltuviin laitteisiin liittyen. Kartoituksen perusteella saa-

tua tietoa on tarkoitus hyödyntää jatkossa nostolaiteratkaisujen tarkemmassa suunnittelussa.

## 1.2 Työssä käytetyt tutkimusmenetelmät ja tutkimusaineistot

Työn tutkimus jakautui teoriaosuuteen ja käytännön osuuteen. Käytännön osuuden tutkimustyö vaati tutkijalta aktiivista ja osallistuvaa tutkimuksen tekemistä yhdessä kohdeyrityksen asiantuntijoiden kanssa. Tutkimuksen aikana saadut välitulokset ja havainnot ohjasivat tutkimuksen jatkon suuntaa dynaamisessa tutkimusympäristössä. Kuvassa 1 on esitetty diplomityön tutkimusongelmien, tutkimusmenetelmien, tutkimuskohteiden ja tutkimustulosten keskinäiset yhteydet. Tutkimusongelmien tarkasteluun pyrittiin valitsemaan tutkimusympäristöön soveltuvat menetelmät ja toimintatavat. Tutkimusmenetelmien valintaa määrittivät diplomityölle asetetut vaatimukset ja tavoitteet.



**Kuva 1.** Diplomityön tutkimusongelmien, tutkimusmenetelmien, tutkimuskohteiden ja tutkimustulosten keskinäiset yhteydet.

Teoriaosuuden tutkimus tehtiin kirjallisuuskatsauksen muodossa. Kirjallisuuskatsauksessa perehdyttiin työn käytännön osuudessa hyödynnettyjen tutkimusmenetelmien teoriapohjaan. Tarkastelu ohjasi työn tekemistä, oikeanlaisen tutkimusaineiston keräämistä sekä tutkimustulosten analysointia ja arviointia. Kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltiin myös työn keskeisimpiä aihealueita, joihin kuuluvat teollinen tuotanto ja tuotantojärjestelmien suunnittelu, turvallisen työympäristön suunnittelu sekä prosessimainen ajattelu ja prosessien kuvaamisen periaatteet. Kirjallisuuskatsauksen oli määrä antaa perusta

käytännön aiheiden tutkimiselle ja sitä kautta liittää diplomityössä tehty tutkimus osaksi tuotantotekniikkaan liittyvää tutkimusalaa.

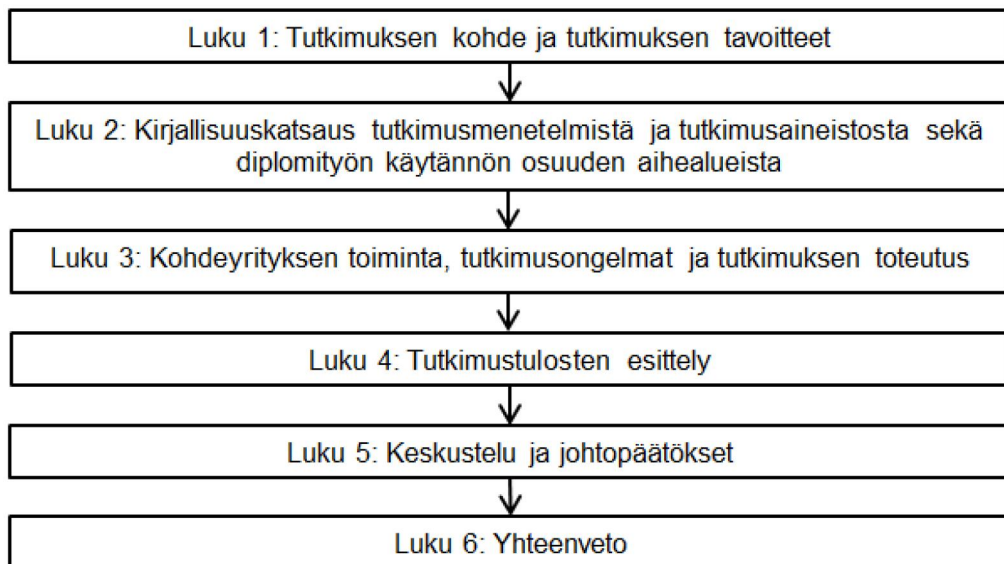
Työn käytännön osuuden tutkimus toteutettiin laadullisia ja määrällisiä tutkimusmenetelmiä hyödyntämällä. Tuotantojärjestelmän toimintaa kuvaavan prosessikuvauksen laatiminen tehtiin toimintatutkimuksen, tapaustutkimuksen ja haastattelututkimuksen piirteitä käyttäen. Tapaustutkimuksen tutkimusaineistona hyödynnettiin yrityskohtaisia dokumentteja, joiden avulla selvitettiin prosessin vaiheet, resurssit, syötteet ja tuotokset. Toimintatutkimusta tehtiin keskustelemalla kohdeyrityksen asiantuntijoiden kanssa prosessin esiintymisympäristöstä, teknisestä suunnittelutyöstä ja tuotannon ominaisuuksista. Haastattelututkimusta mukailten selvitettiin prosessikuvauksen sisäiset asiakastarpeet.

Tuotantojärjestelmässä valmistettavien levyjen päätyypit ja lukumäärät selvitettiin toimintatutkimuksen ja tapaustutkimuksen avulla. Yrityskohtaisen numeerisen datan analysointia ja laskennallista tarkastelua suuntasivat ja arvioivat kohdeyrityksen asiantuntijat. Tutkimuksen tuloksena saatiin aikaan kattava tuoteanalyysi tuotantojärjestelmässä valmistettavien levykappaleiden kategorioista ja lukumääristä. Analyysissä huomioitiin myös suurten levykappaleiden leikkauksen ohessa syntyvien pienten hukkakappaleiden lukumäärät. Materiaalinkäsittelyyn soveltuvien nostolaiteratkaisujen selvitys tehtiin kyselytutkimuksena, jonka lähtötietona oli tutkimustyössä aikaansaatua tuoteanalyysiä. Pienten levykappaleiden nostamiseen ja siirtämiseen soveltuvia nosturi- ja robottijärjestelmiä selvitettiin kyselytutkimuksena lähettämällä sähköpostikysely markkinoilla toimiville laitetoimittajille.

Kirjallisuuskatsauksen tutkimusaineistona käytettiin käytännön osuuden aihealueisiin ja tutkimusmenetelmiin liittyvää kirjallisuutta, josta osa oli lainattu Tampereen teknillisen yliopiston kirjastosta ja osa Varsinais-Suomen Vaski-kirjastoista. Jotkin lähdemateriaalit löytyivät Tampereen teknillisen yliopiston kirjaston verkkoaineistosta ja osa avoimena verkkojulkaisuina Internetistä. Käytännön osuuden tutkimusmateriaaleina hyödynnettiin yrityskohtaisia dokumentteja, jotka liittyivät tarkasteltaviin tuotantoprosesseihin. Osa tutkimusaineistosta perustui kohdeyrityksen asiantuntijoiden kanssa käytyihin vuoropuheluihin. Työssä käytettyjen tutkimusaineistojen luotettavuus ja ajantasaisuus pyrittiin varmistamaan tutkimustyötä tehtäessä. Tutkimustyö oli iteratiivinen prosessi, jossa tutkimusaineistoa täydennettiin ja tutkimusvaiheita toistettiin tutkimuksen tarpeiden ja tavoitteiden täyttämiseksi. Dynaaminen tutkimusympäristö asetti omat haasteensa tutkimustyön tekemiselle. Kohdeyrityksen asiantuntijoiden tarjoama tietotaito ja kokemus teräslevytuotannon tarpeista ja haasteista olivat ensiarvoisen tärkeitä ja merkittävässä asemassa käytännön tutkimuksen suuntaamisessa, toteutuksessa ja arvioinnissa.

### 1.3 Työn rakenne

Diplomityön rakenne on esitetty kuvassa 2. Luku 1 johdattelee lukijan työn aihepiiriin esittelemällä tutkimuksen kohteen sekä tutkimukselle asetetut tavoitteet. Toinen luku käsittelee tutkimuksessa käytettyjä tutkimusmenetelmiä ja tutkimusaineistoja sekä niihin liittyviä kirjallisuudessa esitettyjä teoriatietoja. Toisessa luvussa esitellään myös työn käytännön aiheiden käsittelyn kannalta keskeisimmät teoriapohjat. Teolliseen tuotantoon ja tuotantojärjestelmien suunnittelun osa-alueisiin tutustuminen oli tärkeää kohdeyrityksen toiminnan ja uuden tuotantojärjestelmän suunnittelualueiden ymmärtämiseksi. Prosessikuvauksen tekeminen edellytti prosessimaiseen ajatteluun sekä prosessien kuvaamisen menetelmiin perehtymistä. Turvallisen työympäristön suunnittelun periaatteisiin tutustuminen loi välttämättömän tietopohjan prosessikuvauksen turvallisuusteknisten sisältötarpeiden keräämiseksi ja niistä keskustelemiseksi. Prosessikuvauksen tuli toimia lähtötietona turvallisuus- ja automaatio-suunnittelijoiden suunnittelutehtäville.



*Kuva 2. Diplomityön rakenne.*

Kolmannessa luvussa esitellään kohdeyrityksen tuotannollista toimintaa, työn tutkimusongelmien liittymäkohdat tuotannon prosesseihin sekä työn käytännön osuuden toteutusta. Luku käsittelee prosessikuvauksen laadinnan vaiheita, tuoteanalyysin tekemistä sekä nostolaiteratkaisujen selvitystyötä. Käytännön tutkimuksen toteutuksessa oli tärkeässä roolissa tutkimuksen vaiheiden iteratiivinen toistaminen asetettujen tavoitteiden täyttämiseksi. Tutkimusvaiheiden toistaminen ja vaatimusten täyttymisen arviointi ja tarkastelu korostuvat kolmannen luvun sisällössä. Neljännessä luvussa esitellään diplomityön tutkimuksessa saavutetut tulokset. Tulosten esittelyssä on tähdätty johdonmukaisuuteen ja havainnollisuuteen esittämällä tulokset siten, että ne vastaavat työlle asetettuihin tutkimusongelmiin. Viides luku tarkastelee tutkimustulosten analysointia sekä diplomityössä käsiteltyjen tutkimusaineistojen, tutkimusmenetelmien ja tutkimustulos-

ten luotettavuutta. Samassa luvussa esitellään myös tutkimukseen liittyviä jatkotoimenpide-ehdotuksia sekä arvioidaan työlle asetettujen tavoitteiden ja vaatimusten saavuttamista. Viimeisessä luvussa luodaan katsaus diplomityön sisältöön tiiviin yhteenvedon muodossa.

## 2. KIRJALLISUUSKATSAUS

Kirjallisuuskatsauksessa perehdytään tiettyyn aihepiiriin liittyviin kirjallisuusaineistoihin. Kun kirjallisuuskatsaus tehdään pohjustamaan laajempaa tutkimusta, sen tarkoituksena on kuvata tutkittavaan asiaan keskeisesti liittyvät aiheet kirjallisuudessa esitettyihin tietoihin perustuen. Katsausta tulee laatia systemaattisesti ja kriittisesti etsien ja läpikäyden relevantteja aineistoja sekä yhdistellen lähdemateriaalien tietoja. Tutkimukselle määritetyt tutkimuskysymykset ohjaavat osaltaan kirjallisuuskatsauksen sisältöä. Laaditun katsauksen tulee antaa aihetta tutkimukselle asetetuille tutkimuskysymyksille. Kirjallisuuskatsaus myös ohjeistaa tutkimukseen tarvittavan tiedon keräämisestä ja analysoimisesta. (Aveyard 2010, s. 6; Bryman & Bell 2007, s. 94–95; Hirsjärvi et al. 2000, s. 115–116) Brymanin ja Bellin (2007, s. 94) mukaan katsauksen laadinnan haasteena on arvioida, rajata ja tehdä päätöksiä katsaukseen sisällytettävien asioiden suhteen. Olemassa olevaa kirjallisuutta käytetään perusteluna oman tutkimuksen merkitykselle ja siitä tehtäville johtopäätöksille. Aveyard (2010, s. 6) kuvaa kirjallisuuskatsauksen laadinnan olevan verrattavissa palapelin kokoamiseen, lopputuloksen pyrkimyksenä on koota asiayhteyteen liittyvät relevantit tiedot yhtenäiseksi kokonaisuudeksi.

Diplomityössä tehdyn kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli luoda teoriapohja diplomityössä käsiteltäville aihealueille. Kirjallisuuskatsauksessa perehdyttiin myös tutkimusmenetelmiin, tutkimusaineistoihin ja tutkimustulosten esittämiseen liittyvään kirjallisuuteen. Olennaista oli selvittää, mitä työn aiheista tiedetään jo olemassa olevan tiedon perusteella sekä miten kirjallisuusaineistoa ja muuta tutkimusaineistoa tuli käsitellä. Kirjallisuuskatsaus loi pohjan työn käytännön osuuden tekemiselle, jossa oikeanlaisten tutkimusmenetelmien hyödyntäminen sekä tutkimusaineiston kerääminen ja läpikäyminen olivat avainasemassa. Kohdeyrityksen tuotantojärjestelmän mekanismin ja siihen liittyvien suunnittelun osa-alueiden ymmärtämiseksi tuli perehtyä tuotannollisen toiminnan teoriapohjaan. Prosessikuvauksen laatiminen edellytti prosessimaiseen ajatteluun sekä prosessien kuvaamisen menetelmiin tutustumista. Turvallisuussuunnittelun periaatteet muodostivat keskeisen perustan turvallisuus- ja automaatio-suunnittelijoiden lähtötietotarpeiden ymmärtämiseksi prosessikuvausta tehtäessä. Valmistustekniikan koneisiin ja laitteisiin liittyvien turvallisuusnäkökohtien tuntemus lisäsi myös laajempaa ymmärrystä kohdeyrityksen tuotantojärjestelmän suunnittelua määrittävistä tekijöistä. Seuraavassa alaluvussa 2.1 on esitelty tutkimusmenetelmiin, tutkimusaineistoihin ja tutkimustulosten esittämiseen liittyviä periaatteita. Luvuissa 2.2, 2.3 ja 2.4 on esitelty diplomityön käytännön osuuden kannalta keskeisimmät aihealueet.

## 2.1 Tutkimusmenetelmät ja tutkimusaineisto

Diplomityön tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuuskatsausta sekä laadullisen ja määrällisen tutkimuksen menetelmiä. Laadullisen ja määrällisen tutkimuksen tekemisen perustana hyödynnettiin menetelmiin liittyviä teoretietoja, joista kerrotaan lyhyesti seuraavissa alaluvuissa. Tutkimusmenetelmät valittiin tutkimuksen tavoite, tutkimuksen kohde, tutkimuskysymykset ja käytettävissä oleva tutkimusaineisto huomioiden. Kun tutkimusmenetelmät oli valittu, päätettiin tutkimusaineiston keräystapa ja kerättävän aineiston laajuus ja rajaus. Tutkimusmenetelmiin ja tutkimusaineistoihin liittyvä teoretieto auttoi suunnittelemaan ja jäsentelemään asioiden tutkimus- ja käsittelytapoja. Tutkimuksen tekeminen oli iteratiivinen prosessi. Tutkimusaineistoa, niin kirjallisuuskatsauksen kuin myös käytännön osuuden osalta, jouduttiin täydentämään useaan otteeseen asetettujen tavoitteiden ja vaatimusten saavuttamiseksi.

### 2.1.1 Määrällinen tutkimus

Määrällinen tutkimus käsittelee lukumäärällisesti mitattavissa olevia asioita numeeristen tutkimusaineistojen avulla. Pyrkimyksenä on tarkastella tutkimusaineistoista valittua otosta, joka kuvaa tarkasti tarkasteltavan joukon ominaisuuksia. Jotta saatuja tuloksia voidaan pitää luotettavina, tutkimusaineiston on oltava laaja ja edustava. Määrälliselle tutkimukselle on myös tyypillistä, että tutkimuksen päätelmät tehdään tilastolliseen analysointiin perustuen ja tuloksia kuvaillaan esimerkiksi prosentiosuuksien avulla. (Hirsjärvi et al. 2000, s. 137; Valli 2010, s. 113–114) Määrällisen tutkimuksen osuus tehtiin toimintatutkimuksen ja tapaustutkimuksen piirteitä hyödyntäen.

Toimintatutkimusta tehtäessä tutkija on aktiivinen toimija tuottaen tutkimusongelmaan ratkaisuja. Tutkimus on keskustelevaa, osallistuvaa ja sosiaalista. Tutkija ja muut osalliset tunnistavat yhdessä tutkimusongelmaan liittyvät asiat ja etsivät niihin ratkaisuja. Toimintatutkimuksen kautta kerätty tutkimusaineisto pohjautuu osallistujien kokemukseen tutkittavasta kohteesta ja sen esiintymisympäristöstä. Tapaustutkimuksessa tarkastellaan tutkimuskohteen liittymiä tilanneyhteyteensä erilaisten aineistojen, kuten haastattelujen, dokumenttien tai arkistomateriaalien avulla. Keskeistä on, että tutkittava aineisto muodostaa tiettyä kohdetta kuvaavan kokonaisuuden. Tapaustutkimuksen tutkimusmenetelmät voivat olla sekä laadullisia että määrällisiä, joiden yhteisinä piirteinä korostuvat tarkastelun ja analysoinnin kohdistaminen intensiivisesti tiettyyn tapaukseen. Tapaus voi olla esimerkiksi kehitysprojektin osana oleva prosessi, tapahtumasarja tai organisaatio. Tapaustutkimusta tehtäessä on tärkeää, että tutkimuksen kohde määritellään, rajataan ja perustellaan tarkasti. Tapaustutkimuksen analysointi on usein jäsentävää ja luokittelevaa. (Heikkinen 2010, s. 214–227; Hirsjärvi et al. 2000, s. 130; Saarela-Kinnunen & Eskola 2010, s. 190–195; Tiainen et al. 2015, s. 2)



## 2.1.2 Laadullinen tutkimus

Laadullinen tutkimus pyrkii usein kokonaiskuvan luomiseen käyttäen laajaa ja monipuolista aineistoa. Tutkimusaineisto vaatii yleensä luokittelua ja asioiden käsitteellistämistä. Se tuo esille tutkittavan kohteen merkityksen suhteessa esiintymisympäristöönsä. On tyypillistä, että laadullisen tutkimuksen edetessä tehdään käytännöllisiä ratkaisuja. Tutkimusmenetelmälliset valinnat voivat myös muokkautua tutkimuksen kuluessa. (Hirsjärvi et al. 2000, s. 120, 133, 161–165) Harva tutkimus etenee täysin suoraviivaisesti ja selvän rajauksen mukaan. Eri tutkimusmenetelmät ja vaiheet lomittuvat, ja tutkimuksen edetessä voi ilmetä ongelmia ja umpikujia. Laadullista tutkimusta voidaan tehdä useilla erilaisilla lähestymistavoilla ja aineiston keräämismenetelmillä. (Alasuutari 1999, s. 252; Hirsjärvi et al. 2000, s. 163–165) Työn laadullisen tutkimuksen osuus tehtiin hyödyntäen toimintatutkimuksen, tapaustutkimuksen, haastattelututkimuksen ja kyselytutkimuksen piirteitä.

Haastattelututkimusta toteutettaessa ollaan suorassa kontaktissa haastateltavan henkilön kanssa. Haastattelun edetessä on mahdollista reagoida tilanteessa ilmi tulleisiin seikkoihin suuntaamalla kysymyksiä ja aiheita uudelleen asetetun päämäärän saavuttamiseksi. Jatkokysymysten ja tarkentavien kysymysten esittäminen on näin ollen suositeltavaa. Kyselytutkimuksessa useiden henkilöiden odotetaan vastaavan samoihin kysymyksiin. Tutkimustapaa voidaan hyödyntää esimerkiksi arvioivan, selittävän tai vertailevan tutkimuksen toteuttamisessa. Kyselytutkimus voidaan toteuttaa muun muassa puhelin-kyselynä tai sähköpostikyselynä. Tutkimustavassa on kuitenkin epävarmuustekijöitä, kuten vastausmäärät, vastausten tarkkuus ja oikeellisuus sekä väärinkäsitysten syntyminen mahdollisuus. (Hirsjärvi & Hurme 2000, s. 34, 105–111; Hirsjärvi et al. 2000, s. 191–208)

## 2.1.3 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineiston kokoamisen peruskriteeri on materiaalin luotettavuus. Hakalan (2010, s. 22–23) mukaan aineisto on sisäisesti luotettavaa, mikäli se kuvaa hyvin juuri tutkimuksen tarkoituksena olevaa asiaa ja sen toimintaa. Ulkoinen luotettavuus sen sijaan liittyy aineiston pohjalta tehtävien johtopäätösten yleistettävyyteen. Hakala (2010, s. 23) painottaa lisäksi, että kootun tutkimusaineiston tulisi kyetä samalla tarkastelemaan sekä yleisiä tilanteita että yksittäisiä tapauksia. Tutkimusaineistoa kerätessä tulee tehdä jatkuvaa analyysiä, joka useimmiten suuntaa aineiston keräämisen jatkoa. Analysointi voi asettaa rajoituksia tutkittavalle kohteelle ja muotoilla alkuperäistä tehtävänasettelua. Aineiston rajaus vaikuttaa aineiston edustavuuteen ja riittävyyteen. Aineistoa on tarkasteltava kriittisesti sekä arvioitava sen riittävyyttä tutkimuksen vaatimusten ja tavoitteiden kannalta. On myös huomattavaa, että tutkimuksen menestyksellisyysmittarina ei ole kerätyn tutkimusaineiston määrä vaan tärkeämpää on aineiston perus-

teella tehtyjen analyysien ja johtopäätösten kelvollisuus. (Alasuutari 1999, s. 90–95; Hakala 2010, s. 18–22)

Kirjallisuuskatsauksessa hyödynnettyjen lähdemateriaalien luotettavuus pyrittiin varmistamaan aineistoa etsittäessä ja läpikäydessä. Kirjallisuuslähteinä käytetyt kirjat lainattiin Tampereen teknillisen yliopiston kirjastosta ja Varsinais-Suomen Vaskikirjastoista. Jotkin lähteinä käytetyt kirjat olivat Tampereen teknillisen yliopiston kirjaston verkkoaineistoa. Osa lähdemateriaaleista löytyi avoimina verkkojulkaisuina Internetistä.

Diplomityön käytännön osuutta pohjustavan kirjallisuuskatsauksen pääaihepiirit ovat valmistava tuotanto ja tuotantojärjestelmien suunnittelu, turvallisen työympäristön suunnittelu sekä prosessien kuvaamisen periaatteet. Prosessikuvauksen laadinta toteutettiin laadullisen tutkimuksen keinoin ja tutkimusaineistona käytettiin yrityskohtaisia dokumentteja, jotka liittyvät kuvattavan kohteen aihepiiriin. Koska prosessikuvausta oli tarkoitus hyödyntää muiden suunnittelualojen lähtötietona, tapaustutkimuksen lisäksi oli tarpeen hyödyntää toimintatutkimuksen ja haastattelututkimuksen piirteitä sisäisten asiakastarpeiden selvittämiseksi. Teräslevytuotannossa valmistettavien levykappaleiden ryhmittely toteutettiin määrällisen tutkimuksen menetelmillä tapaustutkimuksen ja toimintatutkimuksen periaatteita noudattaen. Tutkimusaineistona käytettiin kohdeyrityksen tilastoimaa numeerista dataa valmistettavista levykappaleista. Tämän jälkeen sähköpostikyselyn avulla selvitettiin muutamilta nosto- ja siirtolaitetoimittajilta levykappaleille soveltuvia nostomenetelmiä. Käytännön osuuden toteutusta käydään tarkemmin läpi luvussa 3.

#### **2.1.4 Tutkimustulosten esittely ja analysointi**

Tutkimustulosten esittämisessä on tärkeää, että tulokset ja ratkaisut ovat jäsenelty asetettujen tutkimuskysymysten mukaan. Näin esittely johdattaa lukijat kohti tutkimuksen päätuloksia ja johtopäätöksiä. Esitystavan tulee olla looginen ja havainnollinen, jotta tulokset voidaan ymmärtää ja nähdä vaivatta. Tulokset kannattaa myös järjestää aikajärjestykseen, mikäli se lisää johdonmukaisuutta ja on tutkimuksen kannalta mahdollista. Tutkimustulosten avulla tulee pyrkiä antamaan vastaukset tutkimuskysymyksiin. Tulokset esitetään yleensä tekstimuodossa, taulukoin ja kuvin. Visuaaliset taulukot ja kuvat havainnollistavat ja tiivistävät olennaisen asian yksinkertaisesti. (Hirsjärvi et al. 2000, s. 220–222, 249) Hirsjärvi et al. (2000, s. 249) huomauttavat, että vastauksen puuttuminen on tuotava myös ilmi. Vastauksen puuttuminen voi johtua esimerkiksi käytetystä tutkimusmenetelmästä.

Tulosten analysoinnissa tulee esille tutkijan subjektiivisuus, koska analysointiin sisältyy aina tulkintaa. Tutkimustuloksia tarkasteltaessa tulokset tulee linkittää ja yhdistää tutkimuksen taustalla olevaan teoria-aineistoon. Tulosten merkitystä ja luotettavuutta tulee myös arvioida. Lisäksi on tärkeää pohtia ongelmanratkaisun onnistumista tai epäonnis-

tumista ja saatujen tulosten hyödyntämistä jatkossa. On tärkeää arvioida rehellisesti, mitä olisi voinut tai pitänyt tehdä eri tavalla, sillä tieto voi hyödyttää seuraavia aihepiirin parissa tutkimusta tekeviä tai tutkimusta suunnittelevia henkilöitä. Tulosten yleistettävyyden tarkastelu on myös tärkeää. Tutkimustulokset tulisi suhteuttaa osaksi laajempaa kokonaisuutta. (Alasuutari 1999, s. 248–251; Alkula et al. 1994, s. 297–299; Hirsjärvi et al. 2000, s. 250) Seuraavissa luvuissa keskitytään työn käytännön osuuden toteutuksen kannalta keskeisimpiin aihepiireihin.

## 2.2 Valmistavan teollisuuden yrityksen toiminta

Tuotantoa pidetään maailmantalouden kulmakivenä. Nykypäivänä valmistavalta teollisuudelta edellytetään kestävyyttä taloudellisuus, ympäristöystävällisyys ja sosiaalisuus huomioiden. Toimintaympäristö on muuttunut aiempaa vaativammaksi ja haastavammaksi. Tuotannollisen toiminnan tulee olla joustavaa ja kyetä mukautumaan vallitseviin olosuhteisiin. Kysynnän vaihtelu vaikuttaa tuotteiden valmistusmääriin sekä valmistettavaan tuotevalikoimaan. Kilpailukykyensä säilyttääkseen valmistavalta teollisuuden yritykseltä vaaditaan tuotantoprosessiensa jatkuvaa parantamista ja kehittämistä. Yksilöllisiin asiakastarpeisiin tulee vastata tarjoamalla laadukkuutta niin tuotteissa kuin tarjotuissa palveluissa. (Böllinghaus et al. 2009, s. 524; Chlebus 2009, s. 736; ElMaraghy & ElMaraghy 2014, s. 1–4; Heikkilä & Ketokivi 2005, s. 70, 122)

Wiendahlin et al. (2015, s. 122) mukaan tuotantotekniikalla tarkoitetaan kaikkia niitä toimintoja, jotka valmistavassa teollisuudessa kattavat tuotteiden valmistuksen, kuljetamisen ja siirtämisen sekä varastoinnin. Tuotannollinen toiminta on sarja vaiheita ja tehtäväkokonaisuuksia, jotka tähtäävät tuotteiden valmistukseen ja lisäarvon tuottamiseen. Tuotantoprosessi kuuluu valmistavan yrityksen tärkeimpiin toimintoihin. Varsinaisen valmistuksen lisäksi tuotantoon nähdään kuuluviksi myös raaka-aineiden hankinta ja valmiiden tuotteiden jakelu asiakkaille. (Bellgran & Säfsten 2010, s. 43–46; Kauppinen et al. 1985, s. 9–10)

Tyypillisesti teolliseen tuotantoon kuuluu keskeisenä osana raaka-aineiden jalostaminen tuotteeksi tuotantojärjestelmän tuotantoresurssuja hyödyntämällä. Tuotantoprosessin tarkoituksena on saada aikaan tiettyyn tarpeeseen perustuva muodonmuutos alkutilan ja lopputilan välillä. Prosessin aikana muutoksen kohteen ulkomuoto, ominaisuudet ja sijainti voivat muuttua määrätyn ajan kuluessa. Muutoksen aikaansaaminen ja prosessin menestyksekkäs läpivieminen edellyttävät huolellista suunnittelutyötä, tarkoitukseen soveltuvien tuotantoresurssien hyödyntämistä sekä päämäärätietoisien toiminnan valvontaa ja ohjausta. Tuotantoresurssihin lukeutuvat esimerkiksi koneet, raaka-aineet, työntekijät ja tuotantotilat. Valmistettavilla tuotteilla on merkittävä vaikutus yrityksen tuotantomuotoon, tuotantojärjestelmän ominaisuuksiin sekä teknisen suunnittelutyön monialaisuuteen. Tuotteiden ominaisuudet vaikuttavat myös materiaalien ja valmistustekniikan valintaan. Päätöksenteon perustaksi tuotanto tarvitsee tietoa tuotteiden koosta, muodosta, valmistustoleransseista ja tuotantomääristä. (Böllinghaus et al. 2009, s. 523–

525; Hubka & Eder 1988, s. 26; Moisio & Ritola 2001, s. 82–83; Schenk et al. 2010, s. 327; Wiendahl et al. 2015, s. 16) Böllinghaus et al. (2009) painottavat, että päätöksenteon taustana käytettävän tiedon tulee olla päivitettyä ja ajantasaista.

### 2.2.1 Yrityksen tuotantomuodot

Tuotantoprosessi koostuu yleensä useammasta eri tuotantomenetelmästä, jotka vaihtelevat tuotantojärjestelmän eri vaiheissa. Näin ollen on harvinaista, että tuotantoa harjoitetaan vain yhtä tuotantomuotoa hyödyntämällä. Yrityksen tuotantomuotoihin vaikuttavat useat tekijät, kuten tuotevalikoiman laajuus, tuotantomäärät ja tuoterakenne. Tuotantomuodot asettavat erilaisia tarpeita tuotannon layoutin suunnittelulle. Layoutsuunnittelussa keskitytään tuotantojärjestelmän osien, kuten koneiden ja kulkuväylien, sijoitteluun tuotantotiloissa. (Bellgran & Säfsten 2010, s. 57–58; Schenk et al. 2010, s. 327)

Tuotantomuotojen jakoon on useampia jaottelutapoja kirjallisuuslähteestä riippuen. Miettinen (1993, s. 29–30) ja Haverila et al. (2009, s. 353–354) toteavat, että yksinkertaisimmillaan tuotantomuodot voidaan jakaa tilaustuotantoon ja vakiotuotantoon tuotteiden suunnittelutarpeiden mukaan. Suunnittelutyötä tehdään toistuvasti, kun kyseessä ovat kertaluontoisesti valmistettavat kerta- tai tilaustuotteet. Vakiotuotannossa valmistetaan toistuvia tuotteita, jotka valmistetaan samoja suunnitelmia käyttämällä. Miettisen (1993, s. 29) mukaan tuotantomuodot voidaan jaotella myös tuotantoaloitteen tapaan perustuen. Tuotantoaloitteella hän kuvaa tuotannon käynnistäväksi voimaksi joko asiakastilauksen tai varaston täydennystarpeen. Yleisimmin tuotantomenetelmien jaottelu tapahtuu kuitenkin valmistusprosessin jatkuvuuden mukaan yksittäistuotantoon, erä- tai sarjatuotantoon ja jatkuvaan tuotantoon. Yksittäistuotannolle on tyypillistä valmistusjärjestelmän joustavuus, joka sallii laajan tuotevalikoiman. Sarjatuotannossa pyritään sen sijaan kasvattamaan tuotannon tehokkuutta valmistamalla tuotteita erä kerrallaan, jolloin valmistusjärjestelmälle tehtävät asetukset vähenevät. Samaa valmistuskoneistoa käytetään tyypillisesti useiden tuotteiden valmistukseen. Jatkuvassa tuotannossa tuotteita valmistetaan suuret määrät pitkinä ajanjaksoina. Valmistusjärjestelmä kykenee yleensä valmistamaan samantapaisia tuotteita pienillä variaatioilla. Periaatteena on kuitenkin valmistaa yhtä tuotetyyppiä kerrallaan pitkän aikaa. Valmistuksessa tapahtuvan vaihtelun minimointi edellyttää työvaiheiden tarkkaa organisointia. (Bellgran & Säfsten 2010, s. 57; Heikkilä & Ketokivi 2005, s. 123–124; Miettinen 1993, s. 30)

### 2.2.2 Tuotantojärjestelmien periaatteita

Tuotantojärjestelmän kuvataan tyypillisesti olevan toiminnallinen tekijä, joka muokkaa sille annetut syötteet halutun kaltaiseksi tuotoksiksi. Syötteitä ovat esimerkiksi raaka-aineet ja materiaalit ja tuotoksia osakomponentit ja valmiit tuotteet. Tuotantojärjestelmä koostuu resursseista, joilla on keskinäisiä riippuvuussuhteita. Resurssit, kuten työnteki-

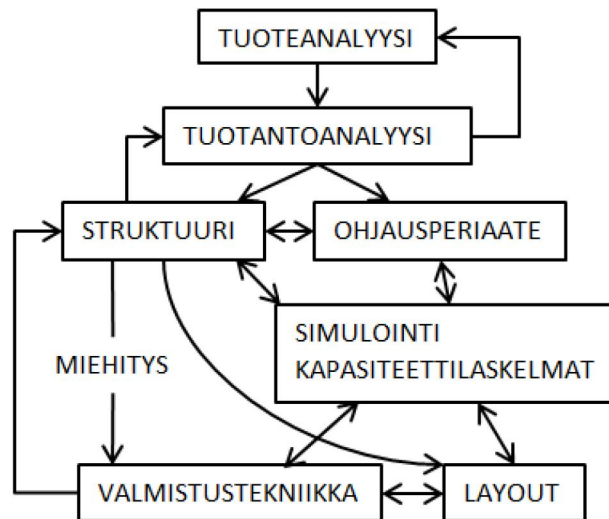
jät ja laitteistot, hyödyntävät yhtä aikaa tai kukin vuorollaan ominaisuuksiaan ja kykyjään lopputuloksen aikaansaamiseksi. (Bellgran & Säfsten 2010, s. 39–40; Encyclopædia Britannica 2017; Heikkilä & Ketokivi 2005, s. 93) Wuest et al. (2013, s. 2–3) tarkentavat tuotteen ja jalostavien työvaiheiden keskinäistä riippuvuutta kuvaamalla tuotteen saavuttavan tietyn tilan kunkin työvaiheen päätteeksi. Tuotetta muokkaavat työvaiheet edustavat virstanpylväitä, jotka täydentävät tuotteen ominaisuuksia viimeistelyyn ja valmistumiseen saakka. Tuotantojärjestelmän kapasiteetti ja kyvykkyydet määrittelevät sen, kuinka hyvin tuotteelle asetetut odotukset pystytään täyttämään. Tuotteen laatuun liitettävät seikat, kuten suorituskyky, käytettävyys ja kestävyys, ovat myös riippuvaisia tuotantojärjestelmän toiminnoista ja ominaisuuksista. (Bellgran & Säfsten 2010, s. 39; Encyclopædia Britannica 2017)

Lapinleimun et al. (1997, s. 15) mukaan tuotantojärjestelmät voidaan jakaa karkeasti kahteen järjestelmään, suunnittelujärjestelmään ja valmistusjärjestelmään. Suunnittelu- ja valmistusjärjestelmä tekevät yhteistyötä suunnitellun tuotteen aikaansaamiseksi. Suunnittelujärjestelmän tehtävänä on toteuttaa tuotannon operatiivinen ohjaus ja tuotantotekninen suunnittelu. Operatiivinen ohjaus käsittää tuotannon aikataulullisen ajoittamisen ja tuotannon käskyjen antamisen. Valmistusjärjestelmässä sen sijaan tehdään tuotteiden varsinainen valmistus.

Tuotantoteknisessä suunnittelussa valmistellaan edellytykset tuotannollisen toiminnan suoritukselle. Työvaihesuunnittelu, menetelmäsuunnittelu ja työvälinsuunnittelu ovat esimerkkejä tuotantotekniseen suunnitteluun kuuluvista osa-alueista. Suunnittelun luonne ja toistuvuus riippuvat yrityksen tuotantomuodosta ja yrityksen koosta. Suuremmissa yrityksissä useampi henkilö ja organisaatio tekevät suunnittelua yhteistyössä, kun taas pienemmissä yrityksissä työnjohtaja saattaa olla vastuussa useammasta suunnittelun osa-alueesta. Eri tuotantomuodot vaikuttavat myös tuotantoteknisen suunnittelun tarpeeseen ja toistuvuuteen. Vakiotuotantoa harjoittavassa yrityksessä tuotantotekninen suunnittelu voi tapahtua kertaluontoisesti tai harvemmin, kun taas tilaustuotannon tapauksessa suunnittelutyö vie enemmän aikaa toistuvuutensa vuoksi. (Kauppinen et al. 1985, s. 28–29; Miettinen 1993, s. 40)

### **2.2.3 Tuotantojärjestelmien suunnittelun osa-alueita**

Tuotantojärjestelmien suunnittelu sisältää useita toisistaan riippuvaisia ja toisiaan täydentäviä osa-alueita. Kuvassa 3 on esitetty Lapinleimun et al. (1997, s. 301) näkemys tuotantojärjestelmien suunnittelun osa-alueista. Nuolet kuvaavat osa-alueiden välisiä yhteyksiä.



**Kuva 3.** Tuotantojärjestelmien suunnittelussa huomioitavat osa-alueet. (Perustuu lähteeseen Lapinleimu et al. 1997, s. 301)

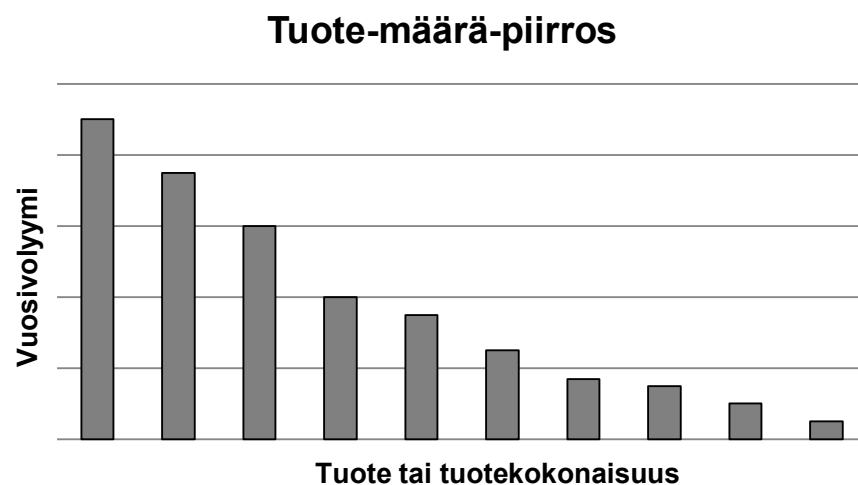
Tuote- ja tuotantoanalyysien avulla määritetään, mitä tuotantojärjestelmän on tarkoitus valmistaa sekä mitä rytmiä ja tahtiainaa tuotannolta edellytetään suunniteltujen valmistusmäärien toteutumiseksi. Analyysit antavat pohjan muiden suunnitteluun kuuluvien osa-alueiden käsittelyyn. Strukturi pitää sisällään valmistusyksiköiden suunnittelun ja valmistustekniikalla otetaan kantaa valmistuksen vaiheisiin ja kone- ja työvälinevalintoihin. (Lapinleimu et al. 1997, s. 192, 301–309, 319) Tuotannonohjaus voi perustua esimerkiksi asiakastilaukseen, varaston täydennystarpeeseen tai ennusteisiin. Layout-suunnittelussa määritetään tuotantotilan järjestys, eli työpisteiden, varastojen, koneiden ja kulkureittien sijainnit. Tietokoneympäristössä tapahtuvan simuloinnin avulla on mahdollista mallintaa tuotantojärjestelmän toimintaa erilaisin ratkaisuvaihtoehtoin. (Heikkilä & Ketokivi 2005, s. 126; Miettinen 1993, s. 29; Wiendahl et al. 2015, s. 215–218) Työn käytännön osuuden kannalta keskeisimpiä aihealueita ovat tuoteanalyysin laadinta ja sen vaikutus valmistustekniikan suunnitteluun. Näin ollen tarkastelussa keskitytään näihin kahteen osa-alueeseen.

## Tuoteanalyysi

Tuotantojärjestelmiä suunnitellaan, jotta tuotannolla olisi kyky valmistaa ennalta määritettyjä tuotevalikoimia suunniteltujen tuotantomäärien mukaisesti (Bellgran & Säfsten 2010, s. 56–57, 85, 296). Lapinleimu et al. (1997, s. 302) mukaan suunnittelun lähtökohdaksi on tuoteanalyysi, joka sisältää tietoa valmistettavien tuotteiden rakenteesta, ominaisuuksista, variaatioista ja valmistusmääristä. Tuoteanalyysin laatimiseksi tulee tuntee suunnittelutuotteisto ja suunnittelutuotanto. Suunnittelutuotteiston määrittämiseksi valmistettavat tuotteet tulee jakaa yhteneväisten ominaisuuksiensa perusteella pääryhmiin ja määrittää kutakin ryhmää edustamaan tuotetyyppi, joka kuvaa ryhmänsä ominaisuuksia mahdollisimman edustavasti. Schenkin et al. (2010, s. 56–58) mukaan ryhmien edustajien voidaan luonnehtia kuvaavan ryhmänsä sisältämien ominaisuuksien

keskiarvoja. Ryhmän kattaman tuotekokonaisuuden laajuudelle ei ole rajoitteita, mutta ryhmien lukumäärä on suositeltavaa pitää mahdollisimman pienenä. Suunnittelutuotteiston tarkoituksena on pienentää ja yksinkertaistaa tuotevalikoiman nimikemäärää sisältävän edustusjoukon, joka kattaa koko tuotevalikoiman riittävällä tarkkuudella. Tuotteet voidaan jakaa ryhmiin muun muassa rakenteen, materiaalien tai geometrian samankaltaisuuden perusteella. Kun tiedetään valmistettavien kappaleiden ja näin ollen suunnittelutuotteiston vuosittaiset valmistusmäärät, puhutaan suunnittelutuotannosta (Lapinleimu et al. 1997, s. 302).

Kuvassa 4 on esitetty Mutherin ja Halesin (2015, s. 3-1–3-6) suosima esitystapa tuotteiden ja tuotemäärien kuvaamisesta. Kuvaaja esittää vuosivolyymin kullekin tuotteelle tai tuotekokonaisuudelle vuosivolyymin määräämässä suuruusjärjestyksessä. Työn käytännön osuudessa tuoteanalyysi pohjautui suunnittelutuotteiston sisältämiin tuoteperheisiin. Laakko (1998, s. 111) kuvaa tuoteperheiden olevan tuotekokonaisuuksia, joissa tuotteet ovat toiminnoiltaan, ominaisuuksiltaan, rakenteiltaan tai käyttötarkoituksiltaan samankaltaisia. Koska tuoteperheet voidaan jaotella erilaisin perustein, yksi tuote voi kuulua jaotteluperusteesta riippuen useampaan tuoteperheeseen samanaikaisesti. Perusajatuksenaan tuoteperhe sisältää jollakin tavalla yhteneväisiä tuotteita.



**Kuva 4.** Tuotteet tai tuotekokonaisuudet vuosivolyyminsä mukaisessa suuruusjärjestyksessä. (Perustuu lähteeseen Muther & Hales 2015, s. 3-3)

Gudehusin ja Kotzabin (2012, s. 119) mukaan kuvan 4 esitystapa noudattaa Pareto-analyysin periaatteita. Pareto-analyysille on tyypillistä jaotella tarkastelun kohteet laskevan tai nousevan lukumäärän tai ominaisuuden piirteen mukaan. Analyysin mukaan 80 %:a tarkasteltavista kohteista edustaa 20 %:a ominaisuuksista. Käytännössä on kuitenkin todettu, että 80:20-sääntö ei päde kaikissa ilmiöissä.

Tuotantomäärien nähdään kuvaavan epäsuorasti kysynnän määrää. Ne voivat myös antaa viitteitä tuotannon varastotilojen tarpeisiin ja layoutin suunnitteluun liittyen. (Muther & Hales 2015, s. 3-1–3-2) Bellgran ja Säfsten (2010, s. 209) toteavat, että tuotteet ja

tuotantomäärät ovat ohjaavat parametrit tuotannon teknologian tasoa ja automaatiotasoa valittaessa. Mikäli tuotteen tai tuotekokonaisuuden valmistusmäärä on suuri, sarjatuotannon nähdään olevan soveltuvin tuotantomenetelmä. Vastakohtaisesti pienille valmistusmäärille ja laajemmille tuotevariaatioille soveltuvat paremmin yksittäistuotannon ominaisuudet. (Bellgran & Säfsten 2010, s. 209; Muther & Hales 2015, s. 3-2; Schenk et al. 2010, s. 48) Edeltävien kirjallisuuslähteiden esityksistä poiketen, Lapinleimu et al. (1997, s. 303) suhtautuvat maltillisemmin kuvaajan perusteella tehtäviin johtopäätöksiin. He muistuttavat, että tuote-määrä-kuvaaja voi antaa suuntaa antavia viittauksia valmistusjärjestelmän suunnittelulähtökohdaksi, mutta suoria johtopäätöksiä kuvaajasta ei voida tehdä.

## **Valmistustekniikka**

Valmistusteknisessä suunnittelussa keskitytään tuotantojärjestelmän työvaiheiden tekniisiin ratkaisuihin, kuten kone- ja työvälinevalintoihin. Muita suunnittelun osa-alueita ovat esimerkiksi työpisteiden sisäiset layoutit ja valmistusaikojen laskeminen. Työmenetelmillä ja konevalinnoilla on merkittävä vaikutus tuottavuuteen, sillä kokonaistuottavuus on riippuvainen yksittäisten tehtävien ja toimintojen tehokkuuksista. Tuotannon teknologian ja automaation tasot ovat suoraan yhteydessä koneiden ja laitteiden ominaisuuksiin. Tuotannon automatisoinnilla on mahdollista saada aikaan tuottavuuden ja joustavuuden kasvua. Työtehtävään hyvin soveltuva menetelmä edesauttaa valmistuksen tehokkuutta, laadukkuutta ja nopeutta. (Haverila et al. 2009, s. 351, 488; Lapinleimu et al. 1997, s. 308; Wiendahl et al. 2015, s. 144)

Tuotteiden rakenteet, ominaisuudet ja tuotantomäärät vaikuttavat merkittävästi koneiden ja laitteiden valintaan. Valmistustekniikan laitevalintoja tehtäessä tulisi pyrkiä siihen, että valitut koneet ja työvälineet soveltuisivat mahdollisimman monipuolisiin tehtäviin tuotannon tarpeet huomioiden. Täten tuotantojärjestelmälle tehtävien asetusten määrää voidaan vähentää. Koneita valittaessa on myös huomioitava valinnoista seuraavat rajoitteet seuraavia suunnitteluvaiheita koskien. Suuret ja raskaat koneet tarvitsevat kantavat perustukset, ja turvallisuusmääräykset edellyttävät erilaisia turva-aitoja ja suojatoimenpiteitä koneiden yhteyteen. Työntekijöiden kannalta valmistustekniikan suunnittelussa tärkeitä seikkoja ovat työturvallisuus sekä työtilan olosuhteet. Koneista voi aiheutua melua ja tärinää, joihin on syytä varautua tarvittavin toimenpitein. (Schenk et al. 2010, s. 14, 64; Wiendahl et al. 2015, s. 147–148)

### **2.2.4 Koneiden hyödyntäminen materiaalinkäsittelyssä**

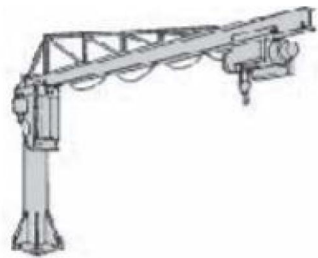
Teollisuusympäristöjen materiaalinkäsittely kuuluu tuotannon logistiisiin prosesseihin (Schenk et al. 2010, s. 63). Materiaalinkäsittelyssä hyödynnetään mekaanisia käsittelylaitteita, kuten nostolaitteita ja siirtelyyn suunniteltuja teollisuusrobotteja. Materiaalinkäsittelyllä on useita merkityksiä, mutta tässä yhteydessä materiaalinkäsittelyllä tarkoitetaan materiaalin siirtämistä paikasta toiseen siten, että siirto tapahtuu materiaalin nos-



tamisen kautta. Materiaalinkäsittely ei ole valmistusprosessi ja täten se ei lisää tuotteelle arvoa. Tämän vuoksi siirtelyt tulisi eliminoida tai mahdollisuuksien mukaan pyrkiä minimoimaan. Useimmiten materiaalinkäsittely on kuitenkin välttämätöntä, jolloin sitä ei voida poistaa. Siirrettävien materiaalien ominaisuudet sekä siirtomäärät vaikuttavat soveltuvien laitteistojen suunnitteluun ja valintaan. Tärkeitä näkökohtia ovat myös muun muassa siirtojen turvallisuus, tehokkuus ja oikea-aikaisuus. (Sidharatha 2007, s. 1–12, 29–32)

## Nostolaitteet

Työkappaleiden siirtelyssä voidaan hyödyntää konekäyttöisiä tai käsikäyttöisiä nostolaitteita. Niiden tarkoituksena on nostaa, siirtää ja laskea kuorma esimerkiksi köysinostimen tai ketjunostimen avulla. Nostolaitteisiin lukeutuvat nosturit, nostimet sekä muut nostolaitteet. Nostotarpeet huomioiden nostolaitteen tulee olla suoritusarvoiltaan riittävä ja käyttötarkoitukseen soveltuva. Työpisteillä suoritettavien kevyiden kuormien nostoon voidaan käyttää esimerkiksi kuvan 5 mukaisia kevyitä pukkinosturijärjestelmiä ja kääntyviä puominostureita sekä niihin kiinnitettäviä nostimia. (Sidharatha 2007, s. 161–168; Työsuojeluhallinto 2010, s. 9; Työvälineasetus 12.6.2008/403)



Kääntyvä puominosturi



Kevyt pukkinosturijärjestelmä

**Kuva 5.** *Materiaalinkäsittelyssä käytettäviä nostolaitteita. (Perustuu lähteeseen Sidharatha 2007, s. 163, 168)*

Nostojen turvallinen toteutus edellyttää nostotöiden huolellista suunnittelua. Kuormien massat, geometrinen muoto, painopiste ja nostoasento tulevat olla tiedossa. Työn suunnittelussa on huomioitava myös nostojen kestot ja toistuvuudet sekä varata nostotyölle riittävästi tilaa. (Sidharatha 2007, s. 161–168; Työsuojeluhallinto 2010, s. 9) Työterveyslaitoksen (2017) mukaan nostotöitä suorittavien henkilöiden työnkierto sekä työtilan ominaisuudet, kuten työtilan muoto ja lämpötila, vaikuttavat työn turvalliseen suorittamiseen.

Nosturien ja nostimien yhteydessä käytetään nostoapuvälineitä, joiden avulla nostokohteisiin tartutaan. Nostoapuvälineiden tulee olla käyttötarkoitukseen sopivia ja ne tulee suunnitella ja valita nostokohteen mukaan. Nostettavien kappaleiden ominaisuudet, kuten geometrinen muoto ja pinnanlaatu, vaikuttavat nostoapuvälineen valintaan. Nosto-

apuvälineitä ovat esimerkiksi alipainetarttujat, nostomagneetit ja nostopuomit. Alipainetarttujat tarttuvat nostokohteeseen alipainetoimisten imukuppien avulla. Nostomagneetit hyödyntävät magneettikenttää tartuntaan, mikä rajoittaa niiden käytön ferromagneettisten materiaalien käsittelyyn. Nostopuomeissa on useampia kiinnityskohtia, joiden vuoksi ne sopivat erityisesti sellaisten kappaleiden käsittelyyn, jotka vaativat noston yhteydessä kannatusta useammasta kohdasta. Mikäli nostoapuvälinettä ohjataan käsin, niissä tulee olla kädensijat. (SFS-EN 13155+A2, s. 14, 18, 34; Työsuojeluhallinto 2010, s. 9)

## Teollisuusrobotiikka

Useat teollisuuden osa-alueet hyödyntävät teollisuusrobotteja suurten tuotemäärien käsittelyssä. Teollisuusrobotit ovat automaattisesti ohjattuja, uudelleen ohjelmoitavia käsittelylaitteita, jotka rakentuvat toistensa suhteen liikkuvista tukivarsista. Tukivarsien väliset liikkeet tapahtuvat nivelten avulla, joita kutsutaan robotin vapausasteiksi. Teollisuusrobotit jaetaan yleensä käyttötarkoituksensa perusteella siirtotehtäviä ja prosessitehtäviä suorittaviin robotteihin. Työn robotisointia suunniteltaessa on tärkeää huomioida, että ihmisiltä edellytetään suunnittelutyön tekeminen, huolto- ja kunnossapitotoimet sekä robotin toiminnan ohjelmointi. Tuotannon osana toimiakseen robotti tarvitsee toimintansa tuekseen oheislaitteita, kuten työturvallisuuteen liittyviä laitteita, tarttujia ja kuljettimia. (Keinänen et al. 2001, s. 304–312; Robotiikan opetusmateriaali 2016, s. 2, 18; SFS EN-ISO 10218-1 2011, s. 12)

Työn jäljen tasalaatuisuus ja tarkkuus ovat teollisuusrobottien etuja. Robotti toistaa sille ohjelmoidut työvaiheet kerta toisensa jälkeen katkoitta. Lisäksi etuna pidetään käytön monipuolisuutta ja joustavuutta sekä mahdollisuutta poistaa vaaralliset tai monotoniset työt ihmistyön alaisuudesta. Tuotannon alhaiset valmistusmäärät tai kappaleen koko ja massa saattavat kuitenkin rajoittaa robotin hyödyntämistä tuotantotöissä. Tällöin robotti voi olla työhön nähden ylimitoitettu toiminnoiltaan ja kallis hankkia. (Keinänen et al. 2001, s. 307–308; Siciliano et al. 2009, s. 16–17)

Suurten kappalemäärien siirtely on tyypillinen robotisoinnin kohde, jolloin manuaalinen työvaihe tai prosessi halutaan korvata automaatiolla. Siirto-robotit siirtävät materiaalia paikasta toiseen. Tehtävän luonteen vuoksi siirto-robotteille ei aseteta erityisen tiukkoja tarkkuusvaatimuksia toisin kuin prosessi-robotteille, joiden tehtäviin kuuluvat kappaletta muokkaavat ja jalostavat työt. Teollisuusrobottien kappaleenkäsittelykyvyt vaihtelevat pääasiassa yhdestä kilogrammasta satojen kilogrammojen kuormiin. Robotin ulottumaa voidaan jatkaa asentamalla robotti lineaariradalle, joka sallii robotin liikkumisen työpisteiden välillä. Osa teollisuusrobotteista voidaan asentaa lattian sijasta myös esimerkiksi ylösalaisin työpisteen yläpuolelle, jolloin työalue on katveeton. (Keinänen et al. 2001, s. 309; Robotiikan opetusmateriaali 2016, s. 11, 75)

Robotit tarvitsevat nostolaitteiden tapaan työkalun toimintansa välineeksi. Kuivasen et al. (1999, s. 60) mukaan robotin työkalut voidaan jakaa käyttökohteensa mukaan varsinaista valmistusta tekeviin työkaluihin ja kappaleenkäsittelyä suorittaviin tarttajiin. Kappaleenkäsittelyssä robotin tarttumistekniikka on tärkeä tekijä, sillä kappaleiden koko, materiaalit ja muodot ovat erilaisia. Tarttujan ominaisuudet määräävät sen, millaisiin kappaleisiin robotin on mahdollista tarttua. Tarttajat ovat toimintaperiaatteiltaan samankaltaisia kuin nostolaitteiden yhteydessä käytettävät nostoapuvälineet. Robottien yhteydessä käytetään tyypillisesti magneetti- ja alipainetarttajiin. Kummankin tarttujan tapauksessa on tärkeää, että nostoalue on tasainen, koska epätasainen nostoalue heikentää kuorman kiinnittymistä ja laitteen nostovoimaa. Alipainetarttajiin käytettäessä on myös tärkeää, että tartunta-alue on puhdas, sillä pinnan epäpuhtaudet ja pöly voivat estää turvallisen tartunnan syntymisen tai tukkeuttaa tarrainjärjestelmän. (Kuivanen et al. 1999, s. 60–64)

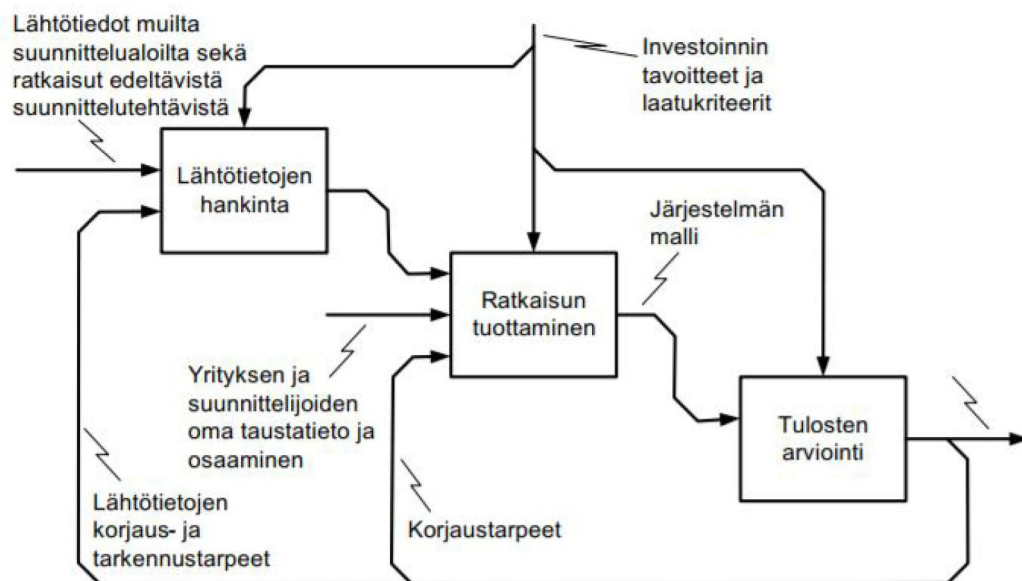
## 2.2.5 Yhtenäisen suunnittelutyön lähtökohtia ja edellytyksiä

Yhteiset toiminta- ja ajatusmallit sekä työvälineet ovat nykypäivänä keskeisessä osassa teknisessä suunnittelu- ja määrittelytyössä. Tarkat laatuvaatimukset, eri tekniikan alojen välinen yhteistyö, kansainvälisyys ja tiiviit aikataulut vaativat osaltaan yhtenäisiä suunnittelutapoja yhdenmukaisen, asiakkaan tarpeita tyydyttävän päämäärän saavuttamiseksi. Kiireisten aikataulujen toteutuminen edellyttää myös usein eri alojen rinnakkain tapahtuvaa suunnittelutyötä. Tällöin on tärkeää määritellä ja sopia eri tahojen välisestä rajapinnoista sekä vastuualueista ja oikeuksista. Käytännöistä sopiminen ja keskinäinen luottamus ovat toimivan yhteistyön perusta. Näin havaitut riskit, aiheutuvat kustannukset ja saadut hyödyt jaetaan kunkin tahon kesken. Projektien kasvaessa ja laajentuessa yhä suuremmiksi yksittäiset tehtävät ovat yhä pienempiä osia kokonaisuudessa. Tämän vuoksi suunnitteluprojektien kokonaisuuden hallinta on merkittävässä roolissa suunnittelutyön menestyksessä läpiviennissä. (Granhholm 2013, s. 3, 24; Strömman et al. 2007, s. 7–8)

Nykyaikana asiakkaat haluavat aiempaa laajempia kokonaisuuksia, jotka sisältävät erilaisia toimintoja ja palveluita. Jotta näihin haasteisiin kyetään vastaamaan, suunnittelu on nähtävä monitahoisena kokonaisuutena. (Strömman et al. 2007, s. 7–8) Granholmin (2013, s. 16–29, 95) mukaan suunnitteluprosessissa tuotetaan tekninen järjestelmä sekä arvo sille. Teknisellä järjestelmällä tarkoitetaan suunnittelun kohteena olevaa tuotetta tai suurempaa kokonaisuutta. Suunnittelijoiden työ tuottaa tekniselle järjestelmälle edellytykset sen valmistukseen, käyttöönottoon ja varsinaiseen käyttöön. Keskeistä on, että jokaisella taholla on yhteinen ymmärrys suunnittelukohteesta ja suunnittelun vaiheista. Tahot muodostavat verkoston, jonka toiminnan ehtona on tehokas ja tiivis yhteistyö tekniikan eri osa-alueiden kesken. Asioita on tarkasteltava eri tarkkuustasoilta ja näkökulmista. Verkostoitunut toiminta asettaa kuitenkin haasteita, sillä päätöksenteko hajautuu ja suunnittelun seuranta on hankalampaa.

Yhdenmukaisuuden saavuttamiseksi on tärkeää, että eri suunnittelualoilla ja organisaatioilla on tarvittava käsitys ja ymmärrys myös toistensa toimintamenetelmistä. Tahojen välinen tiedonsiirto on merkittävässä roolissa, mikäli tehtävät ovat toisistaan riippuvaisia. Työntekijöiltä vaaditaan yhä enenevässä määrin laajempaa ymmärrystä oman suunnittelualansa ulkopuolelta. Aiempien suunnitteluvaiheiden tuloksina tuotetut materiaalit voivat täydentyä myöhempien suunnittelutöiden seurauksena tai toimia lähtötietona seuraaville suunnittelutehtäville. (Strömman et al. 2007, s. 8, 36–37) Silfverberg (2013, s. 11–12) lisää, että suunnittelun tulisi olla joustavaa ja oppivaa. Tehdyt suunnitelmat tyyppillisesti täsmentyvät suunnittelutehtävien edetessä, kun huomataan, että alun perin suunnitellut vaiheet eivät sellaisenaan johdakaan asetettujen tavoitteiden saavuttamiseen ja toteutumiseen. Toimintaympäristön ja tilanteiden muuttuessa suunnitelmaa tulee päivittää havaittujen muutostarpeiden mukaan.

Kronologisesti edeten suunnittelutehtävät koostuvat lähtötietojen hankinnasta, ratkaisun tuottamisesta sekä saatujen tulosten arvioinnista. Suunnittelutehtävän rakenteen monitahoisuutta havainnollistaa Strömmanin et al. (2007, s. 14) kuvan 6 mukainen graafinen esitys suunnittelutehtävään vaikuttavista näkökohdista.



**Kuva 6.** Suunnittelutehtävän rakenteeseen vaikuttavat näkökohdat. (Strömman et al. 2007, s. 14)

Merkittävä osa suunnittelutyön sisällöstä on tiedonhankintaa. Tietoa voidaan kerätä esimerkiksi kirjallisuudesta, asiakkailta, muilta suunnittelutahoilta ja edeltävien suunnittelutehtävien tuloksista. Kerättyjä lähtötietoja ja ratkaisumalleja hyödyntämällä suunnittelijat toteuttavat ratkaisuja oman osaamisensa ja tietopohjansa puitteissa. Työlle asetetuilla kriteereillä ja vaatimuksilla on vaikutusta sekä ratkaisun toteutukseen että lopputuloksen arviointiin. Tulosten arviointitapa riippuu tehtävän laajuudesta. Suppeammissa tehtävissä kollegoiden kommentointi sekä tulosten itsenäinen tarkastelu voivat olla riittäviä arviointikeinoja, kun taas laajempien kokonaisuuksien yhteydessä testaukset ja vi-

rallisemmat katsaukset ovat tarpeen. (Strömman et al. 2007, s. 14) ISO 9421-210 -standardin (2010, s. 20–22) mukaan tarkoituksenmukaisen suunnitteluratkaisun saavuttamiseksi vaaditaan useimmiten iterointia. Se mahdollistaa havaittujen muutostarpeiden sekä uusien tietojen huomioimisen suunnitteluvaiheita tarkentamalla. Kuvassa 6 on myös esitetty iteroinnin merkitys suunnittelutehtävän läpiviennissä. Vaiheita toistetaan palautteiden ja muutostarpeiden ilmettyä siihen saakka, kunnes tarkoituksenmukainen tulos ja tavoite on saavutettu.

## **2.3 Turvallisen työympäristön suunnittelu**

Työntekijöiden tulee voida liikkua ja tehdä töitä turvallisesti työympäristössään. Tämän tavoitteen edellyttämänä työtilat, työmenetelmät ja tuotantomenetelmät tulee suunnitella ja toteuttaa käyttötarkoituksiinsa sopiviksi. Työnantajan velvollisuuksiin kuuluu tunnistaa työympäristössä esiintyvät vaaratekijät sekä niiden syyt. Vaarat voivat liittyä esimerkiksi työympäristössä käytettäviin raaka-aineisiin, prosessissa hyödynnettäviin koneisiin ja laitteisiin tai fyysisten töiden kuormitustasoon. Työtehtävät tulee suunnitella siten, että työntekijöiden fyysiset ja henkiset edellytykset on otettu huomioon. Töiden turvallinen suorittaminen vaatii toteutuakseen myös turvallisten työtapojen noudattamista. Työntekijöiden ohjeistaminen laitteiden ja koneiden asianmukaisesta käytöstä, tarvittavista henkilönsuojaimista ja työympäristön riskeistä on ensiarvoisen tärkeää. Työympäristön rakenteelliset seikat, kuten kulkuteiden turvallinen sijoittelu, valaistus sekä yleinen siisteys ja järjestys, vaikuttavat myös töiden turvalliseen suorittamiseen. (Have-ri-la et al. 2009, s. 358; Työturvallisuuskeskus 2017; Työturvallisuuslaki 738/2002)

Työympäristöissä esiintyvät riskit voivat johtua useasta erilaisesta vaaraa aiheuttavasta tekijästä. Vaaroja voi syntyä esimerkiksi sähkön käytöstä, tilan melusta tai laitteiden säteilystä johtuen. Riskit voivat liittyä myös tiloissa käsiteltäviin aineisiin ja materiaaleihin sekä työasentoihin ja ergonomiaan. Vuodenaikaan ja säätilaan liittyvillä asioilla ja ilmiöillä, kuten lumella, voimakkaalla tuulella tai salamaniskuilla, saattaa myös olla osallisuutta vaaratilanteiden syntymiseen. Työympäristön riskien ja niiden suuruuden tunnistamiseksi tarkasteltavalle kohteelle on suoritettava riskianalyysi. Analyysin tuloksena saadaan arvio havaittujen riskien merkittävydestä sekä tarvittavista toimenpiteistä riskien poistamiseksi tai pienentämiseksi. (Koneturvallisuusasetus 12.6.2008/400; SFS-EN ISO 12100 2010, s. 34, 106–112)

### **2.3.1 Koneturvallisuus**

Koneita sisältävän työympäristön turvallisuuteen tähdätessä on tärkeää, että koneiden suunnittelua tekevillä taholla on tarvittavat puitteet, menetelmät ja tiedot tukemassa päätöksentekoa. Koneita suunniteltaessa on tärkeää, että valmistettavia koneita voidaan käyttää turvallisesti. (SFS-EN ISO 12100 2010, s. 10) Lait, turvallisuussäädökset ja standardit toimivat suunnitteluohjeina, jotta turvallisuusvaatimukset tulevat täytetyiksi.

Koneen tulee täyttää kaikilta osin sitä koskevat vaatimukset ja kun tämä ehto on täytetty, koneeseen kiinnitetään konekilpi, josta käyvät ilmi valmistajan ja koneen perustiedot sekä CE-merkintä. (Siirilä 2013, s. 4–7) CE-merkinnällä ilmoitetaan tuotteen täyttävän sitä koskevat Euroopan unionin vaatimukset. Koneiden lisäksi merkintää käytetään myös muiden tuotteiden, kuten lelujen, sähkölaitteiden ja henkilönsuojainten yhteydessä. Merkinnällä ei kuitenkaan kateta tuotteen kaikkia ominaisuuksia, eikä se täten ole tuotteen laadun tai turvallisuuden taakka. CE-merkintä koskee usein tuotteen tiettyjä osia tai ominaisuuksia, kuten syttyvyyttä tai mekaanista kestävyyttä. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2017)

Euroopan unionin konedirektiivi 2006/42/EY toimii lähtökohtana tällä hetkellä käytössä oleville koneturvallisuuden standardeille. Standardit koskevat turvallisuuskysymyksiä, jotka liittyvät koneisiin, koneissa oleviin järjestelmiin, laitteisiin ja komponentteihin. Turvallisuuskysymykset voivat liittyä koneen elinkaaren eri vaiheisiin, mutta pääosin kysymykset koskevat suunnitteluvaihetta. (Koneturvallisuuseseite 2015)

ISO 12100 -standardin (2010) mukaan koneen turvallisuudesta puhuttaessa käsitellään koneen kykyä tehdä sille määritettyä työtä sen käyttöajan sellaisissa olosuhteissa, joissa vaaroja aiheuttavia riskitekijöitä on poistettu tai lakisääteisten vaatimusten mukaan riittävässä määrin pienennetty. Riskien arviointi ja riskien pienentäminen ovat periaatteita, jotka toimivat suunnittelutyön apuna koneen turvallisuuden aikaansaamiseksi. Kokemus ja tuntemus koneensuunnittelusta ja koneen käytöstä sekä riskeistä, tapaturmista ja poikkeavista tapahtumista luovat periaatteet ja perustan ympäristön ja olosuhteiden riskien arvioinnille ja pienentämiselle. Riskit vaarojen ja vaaratilanteiden sattumiseksi koneen elinkaaren aikana on tunnistettava ja arvioitava, minkä perusteella tehdään päätökset tarvittavista turvatoimenpiteistä. Turvatoimia voivat olla vaaran poistaminen tai vaaraan johtavan riskitekijän pienentäminen erilaisin keinoin. (SFS-EN ISO 12100 2010, s. 10–16, 34; SFS-EN ISO 13849-1 2015, s. 19–21)

## **Nostolaitteiden ja robottien työympäristön työturvallisuuteen liittyviä näkökohtia**

Työturvallisuuslaki (738/2002) määrää, että työssä on sallittua käyttää vain sellaisia koneita ja laitteita, jotka noudattavat säännöksiä ja ovat työtehtävään soveltuvia ja tarkoituksenmukaisia. Laitteet tulevat olla oikein asennettuja sekä niiden tulee sisältää tarvittavat merkinnät ja suojalaitteet. Koneiden vaara-alueille pääsyä voidaan rajoittaa esimerkiksi koneen rakenteellisten seikkojen, sijoituksen ja turvalaitteiden avulla.

Työvälineasetuksen (12.6.2008/403) mukaan nostotöiden suunnittelussa ja nostolaitteiden valinnassa on noudatettava huolellisuutta, jotta nostojen turvallinen toteuttaminen työntekijöiden turvallisuutta vaarantamatta on mahdollista. Nostolaitteiden tulee olla tasainen ja kantava, ja nostotyön suorittamiselle tulee varata riittävästi tilaa. Nostokuorman alla tai vaara-alueella ei saa noston aikana tarpeettomasti kulkea. Työhön opastus

ja koulutus sekä vastualueiden määrittely vähentävät vaaratilanteiden ja tapaturmien aiheutumista. Työntekijä on velvollinen noudattamaan ohjeita ja varovaisuutta sekä raportoimaan ja mahdollisuuksien mukaan poistamaan nostotyössä havaitsemansa vaaratekijät, puutteet tai laitteiden viallisuudet. (Työsuojeluhallinto 2010; Työvälineasetus 12.6.2008/403)

Teollisuusrobotit voivat aiheuttaa työympäristössä vaaratilanteita voimakkailla ja nopeilla liikkeillään sekä laajoilla liikealueillaan. Tämän vuoksi robottien tulee olla lain mukaan eristettynä muista työntekijöistä esteiden, kuten aitojen, tai muiden suojamene-  
telmien avulla. Robottijärjestelmien vaarojen lähteet ovat yleensä järjestelmäkohtaisia ja riippuvat automaation luonteesta sekä toiminnan monimutkaisuudesta. Simulointi mahdollistaa robotille suunniteltujen liikeratojen oikeellisuuden ja turvallisuuden testaamisen tietokoneympäristössä ennen toiminnan siirtämistä tuotantotiloihin. Tällä voidaan vähentää törmäysten mahdollisuutta sekä korjata liikeradoissa havaittuja vikoja. (Encyclopædia Britannica 2017; Kuivanen et al. 2009, s. 86; SFS EN-ISO 10218-1 2011, s. 8; Työturvallisuuslaki 738/2002)

### **2.3.2 Riskien arviointi ja riskien pienentäminen**

Koneen käyttöön liittyvien riskien arvioimiseksi ja jatkotoimenpiteiden määrittämiseksi on tunnettava koneen käytön raja-arvot, vaarat sekä riskien suuruudet. Raja-arvot määritetään koneen tarkoituksenmukaiselle käytölle. Määrityksessä tulee huomioida koneen toimintatavat ja käyttö sekä koneen käyttäjäkunta ja käyttäjäkunnan osaamistaso ja kokemus. Koneenkäyttäjien lisäksi on huomioitava muiden työympäristössä liikkuvien ihmisten vaaroille altistuminen. Työympäristön tilat ja koneen huoltoon ja käyttöikään liittyvät aikamääreet asettavat myös rajansa. (SFS-EN ISO 12100 2010, s. 28, 36–38)

Koneen elinkaaren eri vaiheissa esiintyy erilaisia vaaroja, jotka ovat yhteydessä käyttötoimintoihin ja koneen yhteydessä suoritettaviin tehtäviin. Vaarojen poistamiseksi ja vaaroihin johtavien riskien vähentämiseksi on tunnistettava ja tunnettava vaarat ja vaaratekijät. Osa vaaroista liittyy jo koneen kokoonpano- ja asennustöihin ja osa myöhempiin vaiheisiin, kuten käyttöön ja elinkaaren lopussa käytöstä poistoon. Jokaiseen vaaratilanteeseen liittyy riskejä, joista vaaran toteutuminen saattaa johtua. Riskin merkitykseen ja suuruuteen vaikuttavat vaarasta aiheutuvan vahingon vakavuus sekä vahingon sattumisen todennäköisyys. Vahinko voi koskea yhtä tai useampaa ihmistä ja aiheuttaa eritasoisia terveyttä heikentäviä tai jopa kuolemaan johtavia seurauksia. Kun riskien merkitys ja tekijät tunnetaan, määritetään onko riskin pienentämiselle tarve. (Koneturvallisuusasetus 12.6.2008/400; SFS-EN ISO 12100 2010, s. 28, 38–46) Siirilä (2013, s. 8) huomauttaa, että tyypillinen koneiden käyttöön liittyvä riski aiheutuu koneen liikkuvista osista. Hänen mukaan tätä riskitekijää voidaan vähentää asentamalla aitoja tai muita esteitä, jolloin liikkuvien osien tai muiden vaarallisten osien, kuten kuumien pintojen, koskettaminen tai kurottaminen estyy.

Riskien pienentämistä ja näin ollen turvallisen tilan saavuttamista pyritään aikaansaamaan hyödyntämällä erilaisia suojaustoimenpiteitä. Koneen suunnitteluvaiheessa rakennominaisuuksien valinnoilla voi olla mahdollista poistaa vaaroja ja täten välttää muiden suojaustoimenpiteiden tarve. Koneen riskien pienentämisessä tarvitaan usein suojausteknisiä laitteita turvatoiminnoilla varustettuina. Kullekin tunnetulle vaaratilanteelle määritetään vaatimukset täyttävät turvatoiminnot, joiden ominaisuudet ovat riittävät ja vaaditulla tasolla. Turvatoiminnoiksi luetaan koneen toiminnot, joiden vikaantumiset voivat johtaa äkilliseen riskien kasvamiseen. Mikäli suojuksella on toimintaankytkentälaitte, sen suojaustoiminnallisuus voidaan aktivoida yhdessä koneen ohjausjärjestelmän kanssa. Häätäpysäytystoiminnot, pakkokäyttöiset ohjaustoiminnot ja odottamattoman käynnistyksen estäminen ovat esimerkkejä koneiden tyypillisistä turvatoiminnoista. Turvatoimintojen ja -laitteiden määrittäminen ja suunnittelua tulee suorittaa tarvittavilla iteraatiokierroksilla, jotta asianmukaiset suoritustasot, vaatimukset ja analysoinnit tulevat täytetyiksi. Jotta turvallisuuteen liittyvien koneiden ohjausjärjestelmien osien suorituskyky säilyy hyväksyttävällä tasolla, voi olla tarpeellista tehdä ennaltaehkäiseviä ja korjaavia kunnossapitotoimia. Myös hyvin suunnitellut suojauslaitteet voivat rikkoutua tai vikaantua käyttöikänsä aikana. (Koneturvallisuusasetus 12.6.2008/400; SFS-EN ISO 12100 2010, s. 18–32, 52, 74; SFS-EN ISO 13849 2015, s. 7, 21, 36–40)

### **2.3.3 Työympäristön turvallisuuden hallinta ja edistäminen**

Työympäristön turvallisuuden varmistaminen ei ole kertaluontoinen, ainoastaan uusien laitteiden tai työympäristöjen suunnitteluun ja käyttöönottoon liittyvä toimenpide. Tarkastuksia ja arviointeja tulee tehdä toistuvasti. Arvioinneista tulee myös laatia dokumentointi suorituksen vaiheisiin ja saatuihin tuloksiin liittyen. Useissa yrityksissä raportointia ja dokumentointia tehdään myös sattuneista tapaturmista ja ”läheltä piti”-tilanteista. Dokumentit ovat tärkeitä lähtötietoja ja apuvälineitä silloin, kun on tarpeen tehdä muutostöitä tai suunnitella seuraavien tarkastusten ja arviointien sisältöä. (Siirilä 2013, s. 12; Työvälineasetus 12.6.2008/403)

Laitteiden kuluminen ja työympäristössä tapahtuneet muutokset vaikuttavat työympäristön turvallisuuteen. Määräajoin suoritettavista testauksista ja mittauksista saadaan tietoa sen hetkisestä tilasta, minkä perusteella voidaan suunnitella tarpeen mukaan jatkotoimenpiteitä. Myös suoja- ja turvalaitteiden jatkuva teknologinen kehittyminen ja uudet ratkaisut antavat uusia ratkaisuvaihtoehtoja turvallisuuden lisäämiselle. Jokin riskiä aiheuttava vaaratekijä, jolta oli aiemmin vaikea suojautua hyvin, voidaan uusien turvakaisujen avulla saada kunnolla tai edeltävään tilaan verraten paremmin suojattua. (Siirilä 2013, s. 12) Turvallisuuden hallinta ja edistäminen ovat kokonaisvaltaista ja päämäärätietoista toimintaa edellyttäen henkilöstön sitoutuneisuutta ja turvallisuustyön ottamista osaksi jokaisen työnkuvaa. Yhteinen vastuunotto ja työympäristön tarkkailu ovat keskeisessä osassa työympäristön turvallisuuskulttuurin toteuttamisessa. (Työsuojeluhallinto 2017)



## 2.4 Prosessit osana yrityksen toimintaa

Prosessit ovat organisaatioiden toimintaa, jota päämäärät ja vaatimukset määrittelevät (Karimaa 2002, s. 10). Martinsuon ja Blomqvistin (2010, s. 3) mukaan toiminta voi koskea esimerkiksi uusien innovaatioiden kehittämistä, tuotantoa tai palvelutapahtumia. Yrityksen koosta riippuen yrityksessä voi olla kymmeniä, satoja tai jopa tuhansia erilaisia prosesseja. Yrityskulttuurilla, työmenetelmillä, työntekijöiden taidoilla sekä monilla muilla tekijöillä on vaikutusta yrityksen prosessien muodostumiseen ja määrittelyyn. (Lecklin 1999, s. 143) Prosessien tarkoituksena on luoda lisäarvoa asiakkaille. Asiakkaiden vaatimukset, toiveet ja tarpeet määrittelevät lisäarvon ja tuotettuna lopputuloksena se voi ilmentyä esimerkiksi tarjottuna tuotteena tai palveluna. Yritykset kuluttavat prosesseihinsa resursseja sekä ohjaavat ja johtavat niitä saavuttaakseen päämääränsä. Prosessiajattelussa korostuvat arvoa lisäämättömien toimien poistaminen, tehokkaampaan toimintaan pyrkiminen, dokumentoiminen ja tietojärjestelmien hyödyntäminen. (Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 1)

Prosesseilla on erilaisia tasoja, kuten strateginen prosessi, ydinprosessi ja tukiprosessi. Strateginen prosessi määrittelee näkemyksen tulevaisuuden tavoitetilasta, johon tähdätään tehdyn suunnitelman mukaisesti. Ydinprosessit tuottavat asiakkaille lisäarvoa ja palveluita, kuten materiaaleja ja tavaroita, kehittäen, valmistaen ja toimittaen niitä. Ydinprosesseihin lukeutuvat tyypillisesti tuotanto, myynti ja asiakaspalvelu. Tukiprosessit ovat organisaatioiden sisäistä toimintaa turvaavia prosesseja, jotka mahdollistavat ydinprosessien toteutuksen. Henkilöstöhallinto ja kiinteistöhallinto ovat tyypillisiä tukiprosessien muotoja. Ydinprosessit ja tukiprosessit toteuttavat myös osaltaan strategisen prosessin päämäärää. (Karimaa 2002, s. 10; Lecklin 1999, s. 139; Moisio & Ritola 2001, s. 83) Martinsuo ja Blomqvist (2010, s. 4) korostavat, että prosessilla tarkoitetaan aina sellaista toimintojen ketjua, joka alkaa asiakkaasta ja päättyy asiakkaaseen.

Moision ja Ritolan mukaan (2001, s. 88) prosessien tunnistaminen organisaatiossa saattaa olla hankalaa ja aikaa vievää. Useimmiten organisaatioista löytyvät kuitenkin omat prosessinsa:

- Johtamiselle
- Hankinnalle
- Tuotteiden ja palvelujen kehittämiseksi
- Tuotteiden ja palvelujen tuotannolle ja toimittamiselle
- Myynnin jälkeisille palveluille ja
- Tukipalveluille.

Teknisen prosessin olemassaolon ainoana syynä voidaan pitää alku- ja lopputilan välisen muutoksen aikaansaamista. Muutoksen taustalla on aina tarve, joka voi perustua esimerkiksi lähtötilanteessa esiintyviin puutteisiin, joihin ei olla tyytyväisiä. (Hubka & Eder 1988, s. 35) Hubka ja Eder toteavat (1988, s. 26) teknisissä prosesseissa tapahtu-

van muodonmuutoksen vaativan toteutuakseen energiaa, materiaaleja ja tietoa. Muutosprosessin aikana muutoksen kohteen geometrinen muoto, rakenne ja sijainti voivat muuttua määrätyn ajan kuluessa.

Valmistusprosessit vaikuttavat prosessin lopputuotteiden käyttöön. Asiakas voi tarvita esimerkiksi tuotteen, joka ratkaisee olemassa olevan ongelman tai joka auttaa asiakasta saavuttamaan jonkin tavoitteen, johon tuotteen käyttötarkoitus kytkeytyy. Valmistusprosessissa työn aloittaminen riippuu vahvasti toimittajien resursseista ja kyvystä toimittaa tarvittavat materiaalit ja tarvikkeet työn suorittamiseksi. (Karimaa 2002, s. 11)

### **2.4.1 Prosessit työkaluna päämäärien saavuttamisessa**

Prosessin erillisille toiminnoille asetetaan omat tavoitteensa, jotka pyritään täyttämään. Tavoitteet ohjaavat toimintaa ja tekemistä halutunlaiseen lopputulokseen pääsemiseksi. Peräkkäisten toimintojen ketjussa jokainen toiminto tavoitteidensa määrittelemänä edistää vuorollaan prosessin etenemistä ja lisäarvon luomista. Näin ollen toimintoketjuilla tai toimintoryhmillä on looginen riippuvuussuhde toisiinsa. Prosessi, jolla ei ole tavoitteita ei ole prosessi, koska tällöin päämäärätietoisten toimintojen ketjua ei ole. Tavoitteiden määrittämisen taustalla ovat useimmiten organisaation strategiset päämäärät ja visiot. (Kiiskinen et al. 2002, s. 28; Moisio & Ritola 2001, s. 83, 125)

Moision ja Ritolan (2001, s. 126) mukaan prosessin arvokkuuteen vaikuttaa prosessin dokumentointi. Dokumentointi on pohja, joka edistää prosessin arviointia, kehittämistä ja vertailua sekä ideoiden syntymistä uusista prosesseista ja toimintatavoista. Jotta prosessin jatkuvuutta ja kehittymistä on mahdollista seurata, dokumentointia on tärkeää päivittää ja pitää ajantasaisena.

### **2.4.2 Leanin periaatteiden hyödyntäminen prosessien kuvaamisessa**

Lean-tuotanto sai alkunsa toisen maailmansodan jälkeen Japanissa, kun vuonna 1937 perustettu yritys, Toyota Motor Company, kehitti Toyotan tuotantojärjestelmän (TPS, Toyota Production System). Siihen aikaan Japanissa oli pulaa resursseista, mikä vaikutti merkittävästi yrityksen kehitykseen. Olosuhteet pakottivat yrityksen kehittämään uusia ratkaisuja tehokkuuden saavuttamiseksi. TPS-tuotantojärjestelmän oli tärkeää saavuttaa samanaikaisesti korkea laatu, matalat kustannukset, lyhyet läpimenoajat ja tuotannon joustavuus. (Liker 2004, s. 20–21; Modig & Åhlström 2013, s. 71; Womack et al. 1990, s. 48–49) Likerin (2004, s. 21–22) mukaan Toyotan tuotantojärjestelmän ydinperiaate oli saada aikaan materiaalin jatkuva virtaus tuotantovaiheiden läpi. Womack ja Jones (1996, s. 16–26) esittävät Lean-toiminnan viideksi perusperiaatteeksi tuotteen arvon määrittämisen, arvovirran tunnistamisen, jatkuvaan virtaukseen pyrkimisen, tuotteen imemisen kohti asiakasta läpi tuotantoprosessin sekä täydellisyyteen tähtäämisen. Vaik-

ka Leanin alkuperä on valmistavassa teollisuudessa, sitä on laajasti sovellettu muihinkin aloihin, kuten päivittäistavarakauppaan ja terveydenhuoltoon (Modig & Åhlström 2013, s. 84).

Lean-ajattelussa prosesseja kuvataan valmistettavan tuotteen tai palvelun arvovirtojen kautta. Lähtökohtana on tuotteen arvon määrittäminen asiakkaan näkökulmasta. Arvovirraksi kutsutaan kaikkia niitä toimintoja, jotka tarvitaan tietyn tuotteen toimittamiseksi asiakkaalle. Tuote voi olla joko tavara, palvelu tai yhdistelmä näistä molemmista. Tietyn tuotteen arvovirtojen kuvaamiseksi tuotteelle voidaan laatia arvovirtakaavio. Arvovirtakaavio käsittelee graafisesti prosessin vaiheiden ja tehtävien sisältöjä, yhteistoimintaa sekä kokonaisuuden muodostusta. Kaavion laadinta auttaa tunnistamaan tuotteen arvoa lisäävät toiminnot ja arvoa lisäämättömät toiminnot. Arvoa lisäämättömiä toimintoja kutsutaan Leanin yhteydessä hukiksi. (Modig & Åhlström 2013, s. 130, 144; Sayer & Williams 2007, s. 71–76; Womack & Jones 1996, s. 16–27, 34–38, 64)

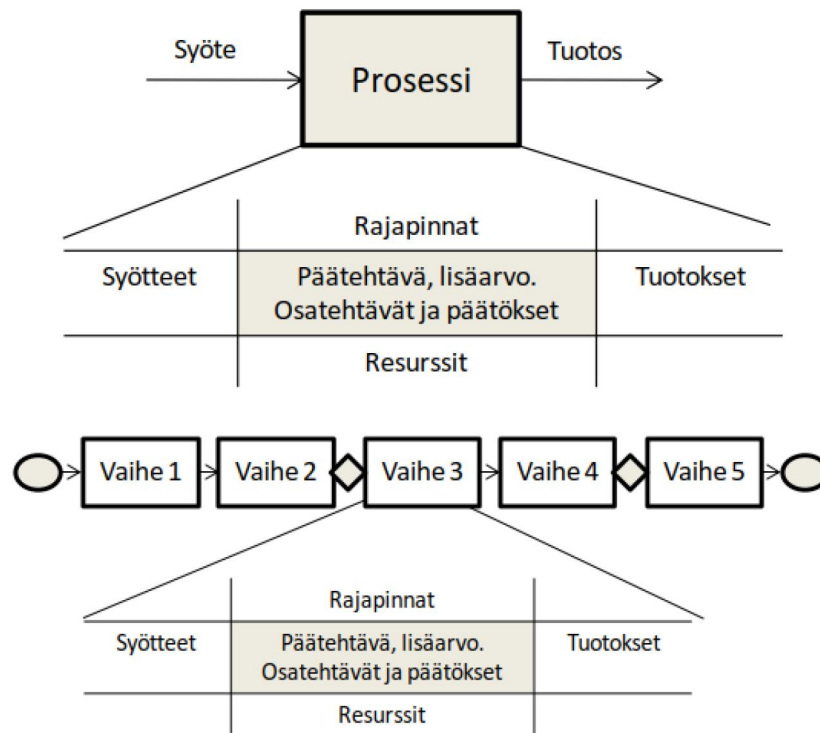
Lean-toiminnassa on tyypillisesti tunnistettu seitsemän hukan muotoa, jotka ovat: yli-tuotanto, odottaminen, tuotteen tarpeeton kuljettaminen, liika- tai virheellinen prosessointi, tarpeeton varastointi, tarpeeton liikkuminen ja vialliset tuotteet (George 2010, s. 27–36; Ehrlich 2002, s. 19, 195; Liker 2004, s. 27–29). Likerin (2004, s. 29) mukaan kahdeksas hukan muoto on työntekijän luovuuden ja kekseliäisyyden hyödyntämättä jättäminen. Tällä tarkoitetaan työntekijän taitojen, kokemuksen, ideoiden, kehittämisen ja oppimismahdollisuuden hukkaamista. George (2010, s. 28) huomauttaa, että osa hukista on näkyvämpiä ja osa taas on haasteellisempia tunnistaa ja välttää. Osa arvoa lisäämättömistä toiminnoista on kuitenkin välttämättömiä ja täten niitä ei voida poistaa. Leanin periaatteiden mukaan on tärkeää, että arvoa lisäävät toiminnot virtautetaan yhdeksi yhtenäiseksi tuotteen arvoa lisääväksi virraksi. Arvovirtakaavion laatiminen on suositeltavaa aloittaa kuvaamalla prosessin päävaiheet. Kaavioon lisätään tarkempaa tietoa materiaali- ja tietovirroista, prosessin vaiheista, keskeneräisistä vaiheista, vaiheiden kestoista ja läpimenoajasta. Kuvauksen yksityiskohtaisuuteen vaikuttavat prosessista saatavissa olevat tiedot. (Liker 2004, s. 27; Sayer & Williams 2007, s. 79–80; Womack & Jones 1996, s. 16–27, 34–38)

### 2.4.3 Prosessien kuvaaminen

Prosessien kuvaamisen tarkoituksena on tunnistaa ja kuvata tarkastelun kohteena olevan tapahtumaketjun lisäarvoa tuottavat toimet ja tehtävät sekä niihin liittyvät tieto- ja materiaalivirrat. Prosessit nimetään usein tuotokseen tai tekemiseen perustuen. (Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 8–9) Prosessien hierarkkinen jaottelu auttaa prosessikokonaisuuden hallinnassa, mutta sen rakentaminen voi kuitenkin asettaa haasteita. Prosessien tarkka rajaaminen alku- ja loppupisteisiin, rajapintoihin ja vastuualueisiin on tärkeää hierarkkisen rakenteen toimivuuden kannalta. Prosessin ylimmän tason aktiviteetiksi kutsutaan pääprosesseja, jotka ovat tarkastelualueeltaan laajoja ja joilla on kokonaisuuden kannalta huomattava rooli. Hierarkian seuraavalla tasolla ovat osaprosessit ja alimmalla tasolla

vaiheet. Työvaiheisiin liitetään useimmiten työohje, mutta työvaiheita ei itsessään kuvata omina prosessikuvauksinaan. (Lecklin 1999, s. 140–141)

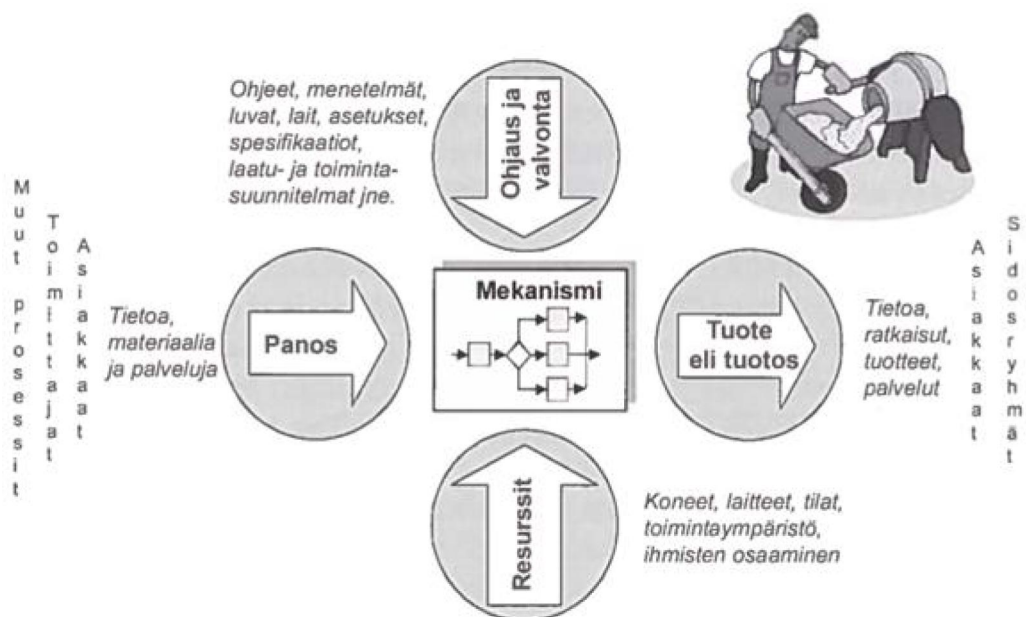
Martinsuon ja Blomqvistin (2010, s. 8) mukaan prosessikuvauksen laadinnassa kannattaa lähteä liikkeelle prosessin sijoittamisesta osaksi laajempaa arvoketjua, johon kuuluvat asiakkaat, yritys ja alihankkijat. Kuvassa 7 on esitetty havainnollistavat kaaviot prosessin karkean kuvauksen laatimiseen liittyvistä tekijöistä.



**Kuva 7.** Prosessin karkean kuvauksen laatiminen. (Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 10)

Prosessin karkean kuvaamisen lähtökohtana on ydinprosessin rajaaminen alku- ja loppupisteiden, syötteiden ja tuotosten, välissä tapahtuvaksi toiminnaksi. On tärkeää selvittää, mitä lisäarvoa prosessi tuottaa, eli mikä prosessin toiminnan syy on. Ydinprosessia määrittävät myös prosessin päämäärän toteuttamiseksi vaadittavat resurssit, rajapinnat, tehtävät ja päätökset. Kuvausta tarkennetaan jakamalla ydinprosessi peräkkäisiin, toisiinsa kytkeytyviin vaiheisiin, joille määritetään myös vaihekohtaiset syötteet ja tuotokset sekä rajapinnat ja resurssit. Jokainen yksittäinen vaihe tuottaa osuutensa koko prosessissa syntyvästä lisäarvosta. Vaiheissa tehtävät päätökset ja toimet tähtäävät kullekin vaiheelle määritetyn tuotoksen aikaansaamiseen. Ydinprosessit voidaan kuvata useammalla tasolla, mikäli ydinprosessin nähdään rakentuvan useammasta osaprosessista. Tällöin edellä kuvattujen ydinprosessien ja peräkkäisten vaiheiden väliin lisätään osaprosessien hierarkiatasto. Osaprosessit ovat omia kokonaisuuksiaan, jotka jakautuvat vaiheisiin ja tehtäviin. Vaiheet ja tehtävät ovat usein kerralla suoritettavia kokonaisuuksia. (Lecklin 1999, s. 140; Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 8–10)

Moisio ja Ritola (2001, s. 83) ovat laatineet prosessin nelikenttämallin, joka sisältää osittain samoja havaintoja prosessin määrittelystä ja kuvaamisesta kuin Martinsuo ja Blomqvist (2010) edellä esittävät. Nelikenttämalli tarkentaa käsitteiden sisältöä ja liittää ne konkreettisemmin valmistusprosessin suorituksen yhteydessä tarvittaviin osatekijöihin. Nelikenttämalli on esitetty kuvassa 8. Mallin keskiössä on prosessin mekanismi, jonka mukaan asiakkaalta tullut tilaus suunnitellaan, valmistetaan ja toimitetaan. Prosessin mekanisme määrittelevät panokset eli syötteet, resurssit, tuotokset sekä ohjaus ja valvonta. Ohjaus ja valvonta edustavat rajapintoja, jotka määrittelevät prosessia. Näihin lukeutuvat esimerkiksi lait, ohjeet, tavoitteet ja prosessiparametrit. Prosessin syötteitä voivat olla esimerkiksi tiedot, materiaalit ja palvelut. Tuotoksia voivat olla sen sijaan tiedot ratkaisuehdotuksista, valmistetut tuotteet tai tarjottavat palvelut. Lopputuotosten lisäksi prosessissa voi syntyä sisäisiä tuotoksia, kuten välituotteita, jätettä tai ympäristövaikutuksia. Jotta syötteistä saadaan aikaan tuotoksia, tarvitaan peräkkäisten toimintojen ketju, jota Martinsuo ja Blomqvist (2010) nimittivät prosessin vaiheiksi. Nämä toiminnot vaativat toteutuakseen resursseja: koneita, laitteita, toimintaympäristön, rahaa sekä ihmisten tietoja ja taitoja (Moisio & Ritola 2001, s. 82–83).



**Kuva 8.** Nelikenttämalli. (Moisio & Ritola 2001, s. 83)

ISO 9000 -standardi (2015, s. 5–6) tukee edellä esitettyjen Martinsuon ja Blomqvistin sekä Moision ja Ritolan näkemyksiä prosessin tekijöiden keskinäisistä riippuvuuksista. Standardissa on esitetty, että toisiinsa liittyvät prosessit luovat järjestelmän, jonka ymmärtäminen ja oikeanlainen johtaminen edesauttavat organisaatiota saavuttamaan toivottu tulokset. On tärkeää, että tarkasteltava prosessi ei jää irralliseksi laajemmasta ympäristöstään, joten prosessi tulee liittää edeltäviin ja seuraaviin prosesseihin yhtenäisen jatkumon saavuttamiseksi.

Karimaan (2002, s. 19) ja Lecklinin (1999, s. 149) mukaan prosessikuvauksen tulisi sisältää tekstimuotoinen yleiskuvaus tarkastelun kohteena olevan prosessin keskeisistä asioista. Tekstimuotoisen kuvauksen sisältöä täydentää ja tiivistää visuaalinen prosessikaavio. Kuvattavan prosessin ominaisuudet, vaiheet ja sisältö vaikuttavat prosessin mallinnuksen tasoon ja kuvaustapaan. Mikäli tarkasteltava prosessi sisältää paljon epävarmoja tekijöitä, kuvausta ei ole syytä laatia liian yksityiskohtaisesti. (Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 3–7) Liitteessä A on esitetty Lecklinin (1999, s. 151) muotoilema runko prosessin yleiskuvauksesta. Runkoon täytetään lyhyesti kirjaamalla prosessin perustietoja. Mikäli on tarpeellista ja tietoa on riittävästi saatavilla, voidaan laatia täydellisempi prosessikuvaus, joka sisältää visuaalisen kaavion lisäksi tietoa:

- Soveltamisalueesta
- Asiakkaista ja tuotosten hyödyntämisestä
- Tavoitteista ja mittareista
- Syötteistä ja tuotoksista
- Yhteyksistä muihin prosesseihin sekä
- Vastuista ja tarkennuksista (Lecklin 1999, s. 149–150).

Prosessien kuvaamiseen tarvittavaa tietoa voidaan kerätä monilla tavoilla, kuten haastatteleamalla, arkistomateriaaleja ja dokumentteja analysoimalla tai prosessia simuloimalla (Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 7). Lecklinin (1999, s. 150) mukaan prosessikuvauksen sopiva pituus on 3–6 sivua, johon sisältyy sivun mittainen prosessikaavio. Laajempien prosessien tapauksessa kuvausta voidaan tarkentaa matalammille hierarkiatasoille.

#### **2.4.4 Prosessien visuaalisia kuvaustapoja**

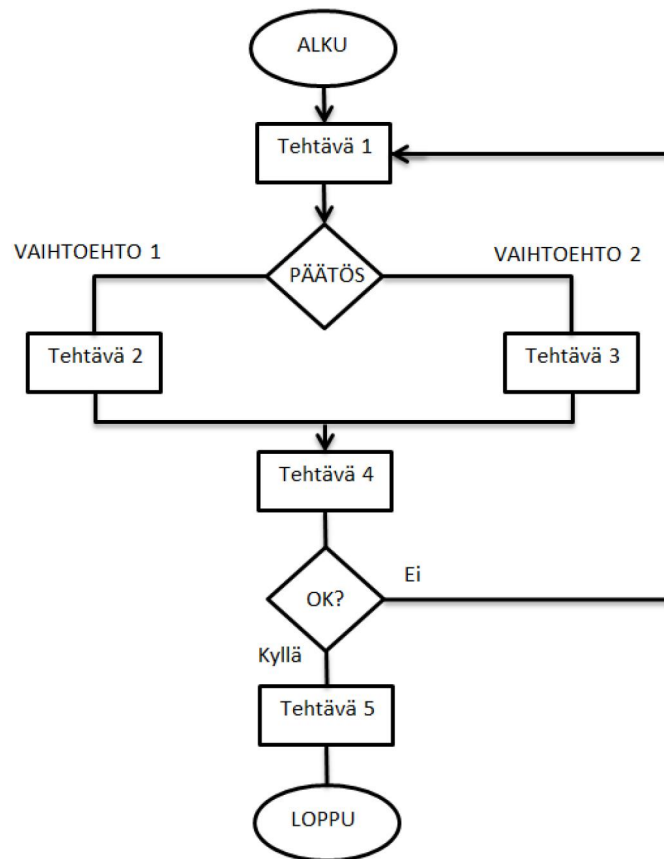
Visuaalisen kuvauksen tarkoituksena on havainnollistaa tekstimuotoisen kuvauksen sisältö. Kuvaus esittää piirroksen muodossa prosessiin kuuluvat vaiheet ja osallistujat, kuten henkilöt tai funktiot. Kuvauksen tulisi olla yksinkertainen ja pelkistetty, jotta sen luettavuus ja ymmärrettävyys säilyvät. (Lecklin 1999, s. 150) Prosessien kuvaamiseen on olemassa useita menetelmiä. Toiset niistä soveltuvat paremmin yksityiskohtien esittämiseen ja toiset sen sijaan prosessin yleiskuvan antamiseen. Lean-filosofiaa käsittelevän luvun 2.4.2 yhteydessä esitelty arvovirtakaavio on yksi prosessin graafisen kuvauksen menetelmistä. Seuraavaksi tutustutaan kolmeen muuhun laajasti käytettyyn prosessien visuaaliseen kuvaustapaan.

#### **Vuokaavio**

Vuokaavio on kuvaustapa, jossa prosessin kaikki vaiheet kuvataan symboleilla. Vuokaaviota laadittaessa merkintäjärjestelmä on keskeisessä roolissa. Erilaisilla vaiheilla, kuten tehtävillä, päätöksillä sekä alku- ja loppupisteillä, on määrätty symbolit. Vuokaavion ominaisuudet ovat parhaimmillaan yksityiskohtaisten prosessien kuvaamisessa. Se on joustava menetelmä, jolla kuvaus voidaan tehdä monin erilaisin tavoin. Kaavion laa-

tijalla on merkintäjärjestelmän puitteissa vapaus järjestää ja yhdistää symboleita haluamallaan tavalla. Kuvaustapaa on yksinkertaista käyttää ja sen laadinta ei vie paljon aikaa. (Aguilar-Savén 2003, s. 134)

Kuvassa 9 on esitetty Lecklinin (1999, s. 197) esimerkki vuokaaviosta sekä sen yhteydessä käytetyistä symboleista. Hän suosittelee vuokaaviota käytettäväksi yksityiskohtaisissa työohjekuvauksissa. Kaaviosta nähdään vaihtoehtoiset kulkureitit sekä haaraantumia, jotka ovat seurausta päätöksenteossa syntyneistä valinnoista.



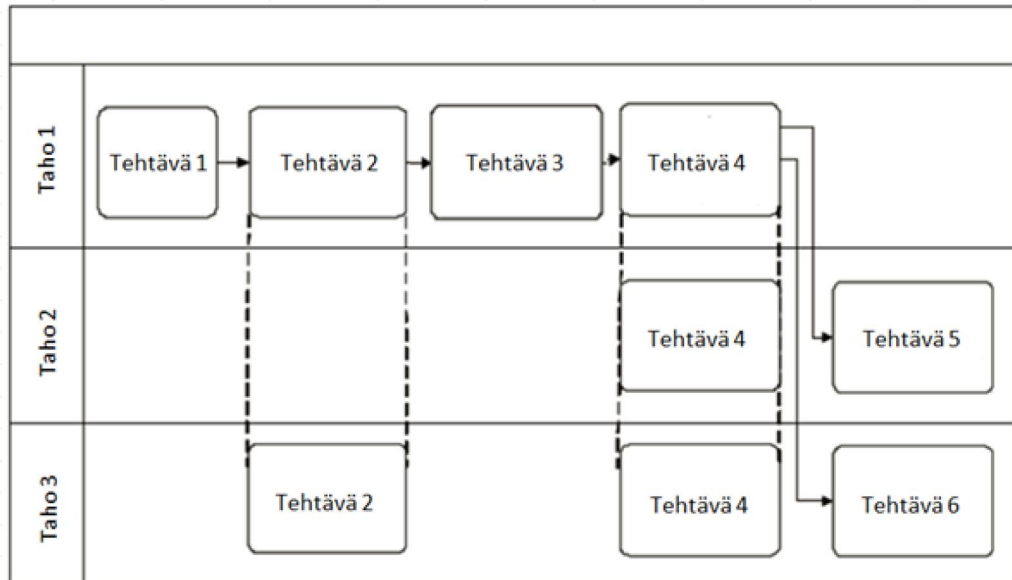
**Kuva 9.** Vuokaavio. (Lecklin 1999, s. 197)

Vaikka vuokaaviolla on useita hyviä ominaisuuksia, Aguilar-Savén (2003, s. 134) huomauttaa, että se ei sovellu kokonaiskuvan esittämiseen erityisen hyvin. Hänen mukaansa mallin joustavuus saattaa myös asettaa haasteita selkeän prosessirajauksen tekemiselle. Kaaviot saattavat muodostua hyvin suuriksi ja laajoiksi, jolloin päätarkoitus voi hämärtyä.

## Uimaratakaavio

Uimaratakaavion malli muistuttaa visuaalisesti uima-allasta, joka on pituussuuntaisesti jaettu rinnakkaisiin ratoihin. Kaaviossa esitetään kaikki prosessiin osallistuvat tahot omille radoilleen sijoitettuina. Tahoja voivat edustaa esimerkiksi toiset prosessit, orga-

nisaation yksiköt, yksittäiset työntekijät, tietojärjestelmät tai koneet ja laitteet. (Rummler & Brache 2012, s. 47; Sharp & McDermott 2008, s. 77–80, 216–217) Kuvassa 10 on esitetty uimaratakaavion yksinkertainen esitys mukailien lähdettä Sharp & McDermott (2008, s. 219).



**Kuva 10.** Uimaratakaavio. (Perustuu lähteeseen Sharp & McDermott 2008, s. 219)

Kuvasta nähdään uimaratakaavion ratamainen esitysmuoto, jossa tehtävät on esitetty virtauksena vaihe vaiheelta vastuutahoilleen kohdennettuina. Kaaviossa voidaan myös esittää useamman tahon yhteinen osallistuminen vaiheen toteutukseen merkitsemällä sama vaihe allekkain useammalle radalle ja piirtämällä katkoviiva vaiheiden välille. Useamman tahon yhteistä työpanosta vaativat tehtävät voivat olla esimerkiksi projekti-kokoukset tai avustavat toimenpiteet. Vaiheet voivat myös tapahtua samanaikaisesti rinnakkain, kuten kuvassa 10 näkyvät tehtävät 5 ja 6. (Sharp & MacDermott 2008, s. 219)

Lähteestä riippuen osassa uimaratakaavioiden esityksistä on käytetty laajemmin vastaa-  
via symboleja kuin vuokaavion yhteydessä ja osassa sen sijaan ainoastaan tehtäviä ku-  
vaavia laatikoita (Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 12; Sharp & McDermott 2008, s. 79;  
Rummler & Brache 2012, s. 47–53; Vom Brocke & Rosemann 2010, s. 88–94). Yhteis-  
senä piirteenä kaavioissa on toimenpiteiden sijoittaminen vastuutahonsa radalle sekä  
prosessin virtauksen suunnan kuvaaminen vasemmalta oikealle vaiheiden välisillä nuo-  
lilla. Sharp ja McDermott (2008, s. 216) tarkentavat nuolen kuvaavan edeltävän vaiheen  
toteutusta edellytyksenä seuraavan vaiheen aloitukselle. Erityisenä piirteenä he hu-  
omauttavat uimaratakaavion nimeämisen sekä ajankohdan merkinnän. Kaavio voi esittää  
samojen prosessien tapahtumista eri vuorokaudenaikoina, jolloin vastuutahojen ja toi-  
menpiteiden keskinäiset suhteet ja järjestys voivat muuttua.

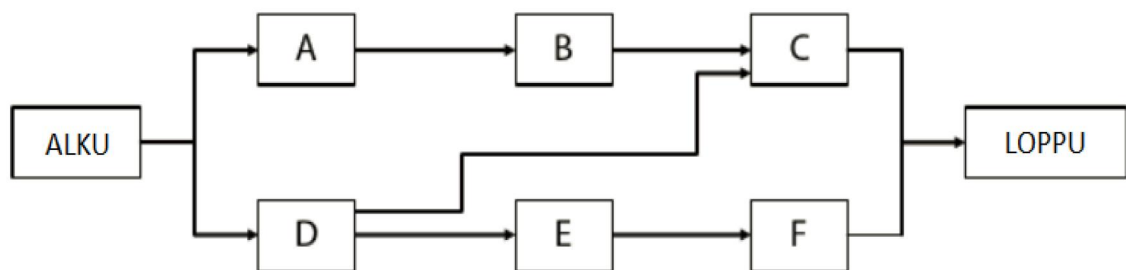


Uimaratakaavio soveltuu sekä yksinkertaistetun yleiskuvan esittämiseen että yksityiskohtaisen kuvauksen laadintaan. Uimaratakaavio on yksinkertainen ja helposti ymmärrettävä kuvausmenetelmä. Kuvaustapa on hyödyllinen tilanteissa, joissa prosessin erillisten tahojen vastuutoimenpiteet ja keskinäiset vuorovaikutukset halutaan nähdä yhtäaikaaisesti nopealla silmäyksellä. Uimaratakaavion runkoa suunniteltaessa voi olla haastavaa rajata esitettäväksi vain prosessin kannalta olennaisimmat vaiheet. (Sharp & McDermott 2008, s. 80, 216–222; Vom Brocke & Rosemann 2010, s. 90)

## Lohkoverkko

Lohkoverkko kuuluu toimintaverkkomenetelmiin, jotka perustuvat tehtäviin ja tapahtumiin. Lohkoverkossa tehtävät ja tehtävien väliset suhteet esitetään laatikoilla ja nuolilla. Laatikot kuvaavat tehtäviä ja nuolet osoittavat tehtävien välisiä riippuvuuksia. Ennen kuin seuraavaa tehtävää voidaan aloittaa, kaikki edeltävät tehtävät tulevat olla suoritettuina. (El-Reedy 2016, s. 95–96; Jokinen 2001, s. 102–103; Lewis 1997, s. 72–73)

El-Reedyn (2016, s. 96) kuvaus lohkoverkosta on esitetty kuvassa 11. Kuvasta nähdään, että prosessin alku- ja loppupisteiden väliset tehtävät edellyttävät joko yhden tai useamman edeltävän tehtävän suoritusta. Vaihe C on riippuvainen edeltävistä vaiheista B ja D, eikä vaihetta C voida näin ollen toteuttaa ennen kuin molemmat edeltävät vaiheet ovat suoritettu päätökseen. Vaiheen D nähdään myös vaikuttavan kummankin rinnakkain kuvatun vaiheketjun läpiviemiseen.



*Kuva 11. Lohkoverkko. (El-Reedy 2016, s. 96)*

Jokisen (2001, s. 103) mukaan laatikoihin voidaan merkitä tehtävän nimen tai tunnuksen lisäksi tehtävän kesto ja muita vaiheen kannalta tarpeellisia lisätietoja. Lisätietoja voivat olla esimerkiksi vaiheen suoritukseen tarvittava resurssimäärä tai tehtävän vastuhenkilö. El-Reedy (2016, s. 96–101) myös tarkentaa, että mikäli tehtävien kestot mainitaan laatikoissa, niiden yhteydessä voidaan kertoa aikaisin ja myöhäisin mahdollinen tehtävän aloitusaika ja vastaavasti aikaisin ja myöhäisin tehtävän lopetusaika. Tietoja voidaan hyödyntää tuotannon ajoittamisessa, tehtävien järjestyksen määrittämisessä sekä kriittisen polun tunnistamisessa. Kriittisellä polulla tarkoitetaan peräkkäisten tehtävien muodostamaa kokonaisuutta, jonka aikataulussa pysyminen on keskeisen tärkeää, jotta koko prosessi tai projekti ei myöhästy.

Prosessien kuvaamisessa on pidettävä mielessä kuvattavan prosessin ominaisuudet ja sisältö sekä kuvaukselle määritetty tarkkuustaso. Valitun tarkkuustason tulee olla järkevä suhteessa hankittavissa oleviin lähtötietoihin ja asetettuun tavoitteeseen. Kuvaamisessa tulee keskittyä olennaisten asioiden käsittelyyn sen sijaan, että yritettäisiin kuvata kaikki mahdollinen toiminta ja niihin liittyvät tekijät. (Martinsuo & Blomqvist 2010, s. 3–7)

### 3. TUTKIMUSKOHTEN ESITTELY JA TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tässä luvussa keskitytään tarkastelemaan kohdeyrityksen toimintaa, tutkimuksen kohteita sekä käytännön osuuden toteutusta. Diplomityö tehtiin teräslevytuotantoa harjoittavalle yritykselle. Työn tutkimuksen kohteena oli uusi teräslevyjen käsittelyä ja leikkausta tekevä tuotantojärjestelmä. Kohdeyrityksessä on tehty teräslevyjen käsittelyä ja leikkausta jo pitkään. Levyjen kysyntä on kuitenkin kasvanut, joten levyjen valmistusmääriä on tullut aiheelliseksi kasvattaa. Tämän seurauksena kohdeyrityksessä on suunnitteilla ja rakenteilla uusi levyjen käsittelyä ja leikkausta tekevä tuotantojärjestelmä. Diplomityössä ei perehdytty vanhan tuotantojärjestelmän toimintaan, eikä sitä vertailtu uuden tuotantojärjestelmän kanssa keskenään. Vaikka vertailua ei tehty, tutkimusaineistona hyödynnettiin kuitenkin vanhasta tuotantojärjestelmästä tilastoitua tietoa soveltuvien osien, koska uudesta järjestelmästä ei ollut tarvittavia aineistoja vielä saatavilla. Tutkimusaineisto arvioitiin ja suhteutettiin uuden tuotantojärjestelmän toimintoja vastaavaksi.

Diplomityön kohdeyrityksen toimintaa on esitelty luvussa 3.1 ja luvussa 3.2 käydään läpi työn tutkimusongelmat. Käytännön osuuden toteutus jakautui kolmeen aihepiiriin: prosessikuvauksen laatimiseen, tuoteanalyysin tekemiseen ja nostolaiteratkaisujen kartoittamiseen. Luvussa 3.3 esitellään prosessikuvauksen laadinnan vaiheita. Tarkasteltavan prosessin vaiheiden, osallistujatahojen, kone- ja laitekokonaisuuksien sekä tieto- ja materiaalivirtojen tunnistamiseksi analysoitiin yrityskohtaisia dokumentteja sekä keskusteltiin kohdeyrityksen asiantuntijoiden kanssa. Suunnittelutahojen sisäisten asiakastarpeiden selvittämiseksi suunnittelijoiden kanssa käytiin aktiivista vuoropuhelua. Luvussa 3.4 käsitellään tuotantojärjestelmän tuoteanalyysin toteutusta. Analyysi tehtiin yrityskohtaiseen numeeriseen dataan perustuen. Tuoteanalyysin tulokset ohjasivat viimeisen käytännön osuuden toteutusta, jota käsitellään luvussa 3.5. Luku keskittyy materiaalikäsitelyssä hyödynnettävien nosto- ja siirtolaitteiden kartoittamiseen sähköpostikyselyn avulla.

Käytännön osuuden toteutuksen kannalta keskeisimmät välivaiheet olivat tutkimuskohteisiin tutustuminen, tutkimusaineiston kerääminen ja analysoiminen sekä ratkaisuehdotusten kehittäminen ja kartoittaminen. Yhteistä kaikille osuuksille oli tutkimuksen tekeminen aktiivisesti yhteistyössä kohdeyrityksen asiantuntijoiden kanssa. Toteutus vaati kokeneemmilta henkilöiltä säännöllistä arviointia ja tutkimuksen suuntaamista dynaamisessa tutkimusympäristössä. Tutkimuksen aikana saadut tulokset ohjasivat tutkimuksen jatkoa.

### 3.1 Kohdeyrityksen tuotantojärjestelmä

Uudelle tuotantojärjestelmälle suunnitellut valmistusmäärät ovat suuria ja sen tuotantomuotoa voidaan kuvailla vakiotuotannoksi ja sarjatuotannoksi. Valmistettavat tuotteet ovat toistuvia ja niitä valmistetaan samoja suunnitelmia käyttämällä. Työvaiheet on organisoitu tarkasti, minkä seurauksena valmistuksessa tapahtuva vaihtelu on pyritty minimoimaan. Tuotanto tulee olemaan myös pääasiassa automatisoitua ja manuaalisten työvaiheiden määrä on pieni.

Uuden tuotantojärjestelmän käsiteltäväksi toimitettavat levyt ovat pääosin vakiomittaisia. Vakiomitoista poikkeavat levyt ovat pituudeltaan suunnilleen kaksinkertaisia vakio-pituuteen verrattuna tai noin puolet lyhyempiä kuin vakio-pituus. Levyjen pituuksien vaihtelusta huolimatta levyjä käsitellään samoja tuotantokoneita käyttämällä. Eripituiset levyt eivät aiheuta myöskään muutoksia levyjen käsittelytoimenpiteisiin, vaan kaikki levyt kulkevat samojen vaiheiden läpi.

Levyjen käsittelyä tekevä järjestelmä koostuu useasta peräkkäin järjestetystä koneesta, joiden tehtäviin kuuluvat esimerkiksi levyjen raepuhallus ja maalaus. Levyt siirretään koneelta seuraavalle automaattisen kuljetusjärjestelmän avulla. Levyt kulkevat järjestelmän läpi jatkuvana virtauksena siten, että levyjen välillä säilyy riittävä etäisyys. Järjestelmä on täysin automaattisesti toimiva.

Kun levy on käsitelty, se siirretään käsittelyä tekevästä järjestelmästä leikkausta tekevään järjestelmään. Siirtäminen tapahtuu automaattisen nosturin avulla levy kerrallaan. Levyjä, joiden pituudet ovat kaksinkertaisia vakio-pituuteen nähden, ei toimiteta leikkaukseen lainkaan. Levyt toimitetaan käsittelytoimenpiteiden jälkeen manuaalisesti muihin tuotantovaiheisiin, joiden tarkastelu työn puitteissa ei ollut olennaista.

Leikkausta tekevän järjestelmän vastaanotettua levyn, levy kuljetetaan kuljetusjärjestelmän kuljettimien avulla varastoon. Kukin levy kulkee varaston kautta leikkuukoneille, jotka leikkaavat levyistä erikokoisia ja -muotoisia levykappaleita. Yksi kone leikkaa kerrallaan yhtä levyä. Leikkauskoneita on useita ja ne toimivat pääpiirteittäin samalla tavalla. Osa koneista on varustettu erikoistoiminnoilla, joita on mahdollista hyödyntää tarpeiden vaatiessa. Kun levy on leikattu pienempiin osiin, levykappaleet kuljetetaan leikkuualustalla kappaleiden purkua toimittavalle asemalle. Purkuasemat sijaitsevat kuljetusjärjestelmän varrella. Suunnitteilla on, että osa levyistä tullaan purkamaan leikkuualustoilta automaatiota hyödyntämällä ja osa manuaalisin menetelmin. Nostolaitteivalintoja ja hankintapäätöksiä purkuasemien suhteen ei ole vielä lukittu. Levykappaleet siirretään purkuasemilta kuljetusalustoille, joiden avulla ne kuljetetaan manuaalisesti eteenpäin seuraaviin tuotantovaiheisiin. Edellä esitetyt leikkausta tekevän järjestelmän toiminnot tapahtuvat automaattisesti lukuun ottamatta leikattujen levykappaleiden purkua ja kuljetusta seuraaviin tuotantovaiheisiin. Kohdeyrityksen tuotantojärjestelmän toimintaa havainnollistaa luvussa 3.3 esitetty kuva 12.

## 3.2 Tutkimusongelmat

Diplomityön ensimmäisenä tutkimusongelmana oli laatia uuden teräslevyjen käsittelyä ja leikkausta tekevän tuotantojärjestelmän toimintaa kuvaava prosessikuvaus. Prosessikuvaus rajattiin koskemaan tuotannon tiettyä osaa ja vaiheita, koska se oli tarkastelun ja tavoitteiden täyttämisen kannalta mielekästä. Prosessikuvaus laadittiin käynnissä olevan projektin aineistoksi. Useat suunnittelutahot, kuten automaatio suunnittelu ja turvallisuussuunnittelu, tulevat tekemään samanaikaista suunnittelutyötä tuotantojärjestelmää varten. Prosessikuvauksen tuli toimia lähtötietona suunnittelijoille antaen yleiskuvan suunnittelukohteesta. Järjestelmän toiminta ja järjestelmä itsessään eivät olleet suunnittelijoille ennestään tuttuja. Eri alojen suunnittelijoilla on erilaisia lähtötietotarpeita, joita he tarvitsevat suunnittelutehtäviensä aloittamiseksi ja läpiviemiseksi. Jotta valmis prosessikuvaus sisältäisi suunnittelijoille tarpeellisia tietoja, tutkimuksen aikana oli tärkeää haastatella suunnittelijoita ja keskustella heidän kanssaan prosessikuvauksen tavoitteiden täyttämiseksi. Prosessikuvauksen laatiminen oli tutkijan osalta aktiivista ja osallistuvaa toimintaa, jossa arvioitiin yhdessä muiden osallisten kanssa tarkastelun kohteen esiintymisympäristöä ja sen vaatimuksia sekä tuotettiin ratkaisuja tutkimusongelmaan.

Työn toisena tutkimusongelmana oli selvittää teräslevytuotannossa valmistettävien levykappaleiden päätyypit sekä niiden lukumäärälliset osuudet suhteessa kokonaismäärään. Tutkimus toteutettiin tekemällä tuoteanalyysi, joka kattoi uudessa tuotantojärjestelmässä valmistettavat levykappaleet. Tuoteanalyysin laatimiseksi valmistettavat levykappaleet tuli jakaa samanlaisten ominaisuuksiensa perusteella pääryhmiin ja selvittää kunkin pääryhmän valmistusmäärät. Tuoteanalyysin tuloksia on tarkoitus käyttää jatkossa apuna levyjen leikkaustoimenpiteiden suunnittelussa. Tuoteanalyysin tuloksiin perustuen työn kolmantena tutkimusongelmana selvitettiin materiaalinkäsittelyyn soveltuvia nostolaiteratkaisuja. Kohdeyritystä kiinnostivat kappaleiden nostamista ja siirtämistä suorittavat nosturi- ja robottijärjestelmät, joten laiteratkaisujen selvityksessä keskityttiin kyseisiin järjestelmiin. Tietoa on jatkossa tarkoitus hyödyntää purkuasemien kone- ja laitevalintoja sekä -hankintoja tehtäessä.

## 3.3 Prosessikuvauksen laatiminen

Prosessikuvauksen laatimiseksi tuli selvittää, mitä periaatteita prosessien kuvaamiseen liittyy ja miten prosessit tulisi kuvata. Yleisesti käytettyihin kuvaamismenetelmiin sekä varsinaisen toteutuksen tekemiseen oli myös tärkeää perehtyä. Kirjallisuuskatsauksessa esiteltiin turvallisuussuunnittelun periaatteisiin tutustuminen oli välttämätöntä turvallisuussuunnittelijoiden tarpeiden ymmärtämiseksi, sillä prosessikuvauksen tuli toimia lähtötietona suunnittelutyölle. Lisäksi kohdeyritykseltä selvitettiin, mitä tarpeita kuvaamiselle on asetettu ja mitä menetelmiä yrityksessä on aiemmin käytetty prosessien kuvaamisessa ja dokumentoinnissa.

Prosessikuvauksen laatiminen ja kokoaminen koostuivat useasta eri vaiheesta. Tutkimusaineistoa kerättiin systemaattisesti erilaisin menetelmin pyrkien samanaikaisesti aineiston kriittiseen arviointiin. Luvussa 2.4.2 käsitellyn Lean-filosofian ohjeistamana prosessikuvaus toteutettiin prosessiin osallistuvien tahojen ammattitaitoa ja kokemusta hyödyntämällä. Asiantuntijoilla oli paras tietämys ja kokemus prosessin esiintymisympäristöstä, teknisestä suunnittelutyöstä ja tuotannon ominaisuuksista. Osalliset arvioivat ja kommentoivat prosessikuvauksen sisältöä omaan tekniikan alaansa ja kokemukseensa nojaten. Samanaikaisesti oli mahdollista varmistaa kuvauksen oikeellisuus sekä kuvauksen ymmärrettävyys ulkopuolisen lukijan kautta. Leanin teoriapohjaan perustuen prosessikuvauksessa pyrittiin välttämään turhien ja epäolennaisten asioiden kuvaamista ja keskittymään vain prosessin kannalta olennaisiin seikkoihin.

Aluksi tutkittavasta kohteesta kerättiin tutkimusaineistoa yrityskohtaisten dokumenttien avulla. Tutkimusaineistoa läpikäytiin prosessien kuvaamisen taustalla olevan teoriapohjan ohjeistamana pyrkien tunnistamaan prosessin vaiheet sekä prosessin kulkuun ja määrittelyyn vaikuttavat tahot. Aineistonkeruussa oli olennaista keskittyä keräämään tutkimuksen päätarkoituksen ja tavoitteiden kannalta merkittävää tietoa.

Suunnittelutahojen lähtötietotarpeiden selvittämiseksi tutustuttiin suunnittelijoiden suunnittelutyöhön ja työtehtävien asettamiin vaatimuksiin. Prosessikuvauksen tutkimusaineistona käytettiin edellä mainittujen yrityskohtaisten dokumenttien lisäksi suunnittelijoiden kanssa läpikäytyjä keskusteluja. Seuraavissa alaluvuissa on käsitelty prosessikuvauksen toteutusta tarkemmin vaihe vaiheelta.

### **3.3.1 Prosessin tunnistaminen ja alustavan kuvauksen tekeminen**

Prosessikuvauksen laatiminen alkoi kuvauksen kohteena olevan ydinprosessin määrittelystä. Luvussa 2.4 ydinprosessin kuvattiin tuottavan asiakkaille lisäarvoa ja palveluita esimerkiksi tuotteiden valmistamisen kautta. Tarkasteltavaksi ydinprosessiksi määriteltiin tuotanto, jonka tarkoituksena on valmistaa teräslevykappaleita. Teräslevykappaleiden valmistus koostuu useista osaprosesseista ja vaiheista, joista kaikkiin ei ollut tutkimuksen tarkoituksen kannalta aiheellista tutustua. Tämän seurauksena ydinprosessista tunnistettiin olennaiset osaprosessit, eli alemman tason tuotantoprosessit, jotka olivat tutkimusongelmaan liittyviä. Taulukossa 1 on esitetty tutkimuksen kohteena oleva ydinprosessi sekä ydinprosessista tarkasteltavat osaprosessit.

**Taulukko 1.** *Ydinprosessin ja osaprosessien tunnistaminen ja rajaaminen.*

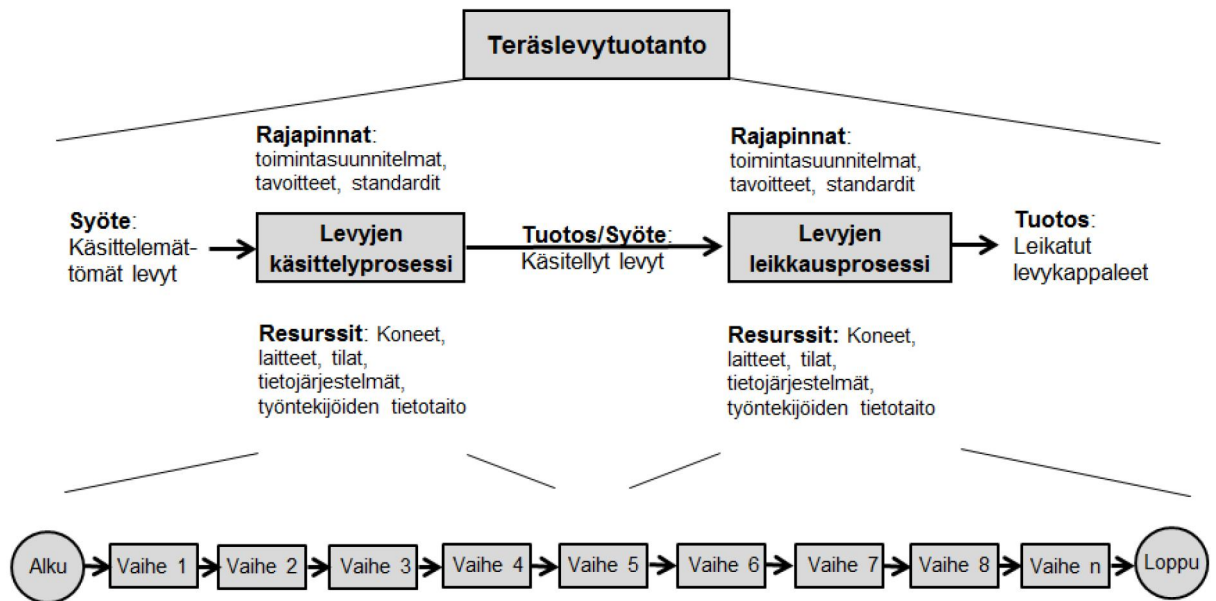
Ydinprosessi	Osaprosessit	Osaprosessien kuvaus
Tuotanto	Tuotantoprosessi 1	Teräslevyjen käsittelyprosessi
	Tuotantoprosessi 2	Teräslevyjen leikkausprosessi

Prosessikokonaisuuden hahmottamiseksi ja tutkimusaineiston keräämiseksi oli tarpeellista tutustua kohdeyrityksen tietokantoihin. Koska tietokannat sisälsivät paljon materiaalia myös moniin muihin yrityksen ydinprosesseihin liittyen, pyrittiin aineistonkeruu rajaamaan ainoastaan sellaisiin dokumentteihin, joilla oli selkeitä liittymäkohtia tarkasteltaviin osaprosesseihin. Tutkimusaineistoiksi valikoituivat dokumentit, jotka kuvaavat tuotannon vaiheita, kone- ja laitekokonaisuuksia, turvallisuustekniikkaa, automaatiojärjestelmiä sekä tuotantotilojen layouteja. Uuden tuotantojärjestelmän suunnitteluprojektin dynaamisesta luonteesta johtuen lähes kaikki tarkastelun kohteena olevat dokumentit päivittyivät vastuutahojensa toimesta aika ajoin. Tämän vuoksi oli tärkeää tarkistaa säännöllisesti dokumenttien uusimmat versiot ja päivityshistoria, jotta kuvauksessa hyödynnettävä aineisto pysyi ajantasaisena. Päälinjat pysyivät kutakuinkin muuttumattomina tutkimuksen aikana.

Tutkimusaineistoon tutustuttua aineistoa käytiin systemaattisesti uudelleen läpi siten, että tuotantoprosessien alku- ja loppupisteet sekä päävaiheet kyettiin tunnistamaan ja järjestämään kronologiseen tapahtumajärjestykseen. Samassa yhteydessä tunnistettiin prosessin syötteen, tuotokset, resurssit ja rajapinnat luvun 2.4.3 ohjeistuksen tapaan. Prosessista laadittiin tiivis karkean tason kuvaus samassa luvussa esiteltyjen kuvien 7 ja 8 sisältöjä mukaillen. Kuvauksen apuna hyödynnettiin myös liitteen A mukaista prosessin yleiskuvauksen runkoa, johon listattiin lyhyesti kuvattavan prosessin keskeisimmät tiedot.

Kuva 12 esittää tarkasteltavien tuotantoprosessien karkean tason kuvausta. Kuvasta nähdään prosessin hierarkkinen rakenne, jossa ydinprosessi jakautuu kahteen osaprosessiin ja osaprosessit jakautuvat yksittäisiin vaiheisiin. Koska kuvauksen tarkkuustasoksi oli määritelty yleiskuvaus tarkasteltavasta prosessista, ei nähty tarpeelliseksi kuvata yksittäisiä vaiheita liian tarkasti. Osaprosessit määriteltiin sen sijaan tarkemmalla tasolla. Kuva osoittaa, että ensimmäisen tuotantoprosessin tuotos on toisen tuotantoprosessin syöte. Sama periaate pätee myös yksittäisille vaiheille siten, että edeltävä vaihe tuottaa tuotoksen, joka on seuraavassa vaiheessa tarvittava syöte. Kumpaakin tuotantoprosessia määrittelevät toimintasuunnitelmat ja prosessin tavoitteet. Ylemmät tahot ovat määrittäneet prosesseille tietyt tuotantomäärät, jotka tulee täyttää teräslevytuotannolle asetettu-

jen tavoitteiden toteutumiseksi. Asetetut tavoitteet ja tuotantomäärät ohjaavat resurssien, kuten koneiden ja laitteiden sekä työntekijöiden toimintaa.



*Kuva 12. Prosessin karkean tason kuvaus.*

Karkean tason kuvauksen laatimisen pohjalta aloitettiin prosessin tekstimuotoisen kuvauksen kirjoittaminen. Kuvauksessa seurattiin yhden levyn kulkua levyjen käsittely- ja tuotantoprosessien läpi. Tekstimuotoinen kuvaus jaettiin osaprosessien mukaan kahteen itsenäiseen osuuteen, jotta kuvauksesta olisi tarpeen vaatiessa yksinkertaisesti luettavissa vain yhteen osaprosessiin liittyvät asiat.

Tekstimuotoisen kuvauksen lisäksi tehtiin visuaalinen prosessikaavio, jossa osaprosessit esitettiin peräkkäisten vaiheiden ketjuna. Prosessikaavion tyyppi valittiin kuvauksen taso ja tarkkuus huomioiden. Luvussa 2.2.5 esitellyt yhdenmukaisen suunnittelutyön lähtökohdat ja edellytykset ohjasivat myös osaltaan prosessikaavion tyyppin valintaa. Valintaa tehtäessä oli tärkeää huomioida kohdeyrityksen aiemmat käytännöt prosessien kuvaamisessa, koska dokumentoinnin ja ulkoasun yhdenmukainen linja haluttiin säilyttää. Tuttujen käytäntöjen hyödyntämisen nähtiin myös edesauttavan prosessikaaviossa esitetyn asian ymmärtämistä. Valittu kuvaustapa noudattaa luvussa 2.4.4 esitetyn lohkokkaavion periaatteita. Kuvauksessa keskityttiin prosessin vaiheisiin kuvaten vaiheet laatikoissa ja vaiheiden väliset yhteydet nuolilla. Kaavio laadittiin siten, että se pysyi mahdollisimman yksinkertaisena ja helposti ymmärrettävänä. Sekä tekstimuotoisen kuvauksen että visuaalisen kuvauksen teossa keskityttiin Lean-filosofian ohjeistamana keskeisten asioiden käsittelyyn. Kaikkea mahdollista toimintaa ei pyritty kuvaamaan, vaan ainoastaan prosessin yleiskuvan ja läpiviennin kautta merkittävät asiat. Luvussa 2.4.3 huomautettiin myös, että mikäli tarkasteltava prosessi sisältää paljon epävarmoja tekijöitä, kuvausta ei kannata yrittää laatia liian yksityiskohtaisesti. Tämä piti paikkansa



myös tarkasteltavan prosessin dynaamisen luonteen osalta. Saatavilla oleva tutkimusaineisto ohjasi kuvauksen laadinnan tarkkuustasoa.

### 3.3.2 Sisäisten asiakastarpeiden huomioiminen

Prosessikuvauksen tavoitteena oli toimia lähtötietona suunnittelutyötä tekeville tahoille. Tämän seurauksena prosessikuvauksen laadinnassa tuli huomioida suunnittelijoiden lähtötietotarpeet. Tiedonkeruu suunniteltiin toteutettavaksi suunnittelijoita haastatteleamalla. Otosvalinta rajattiin niiden suunnittelualojen suunnitteluhenkilöihin, joiden lähtötietona prosessikuvauksen oli määrä jatkossa toimia.

Koska projekti ja käsiteltävä prosessi olivat suunnittelijoille entuudestaan vieraita, lähtötietotarpeiden keräystä oli tarpeen pohjustaa laatimalla kirjallisesta prosessikuvauksesta alustava versio ja lähettämällä se suunnittelijoille läpikäytäväksi. Suunnittelijat esittivät kysymyksiä prosessikuvauksen alustavasta versiosta ja antoivat palautetta sen sisältöön liittyen. Lähtötietotarpeiden kartoittaminen oli tarkoitus toteuttaa haastattelututkimuksena, mutta jo hyvin varhaisessa vaiheessa huomattiin, että järkevin toteutustapa olisi sen sijaan tutkimuksen tekijän ja suunnittelijoiden välinen vuoropuhelu aiheeseen liittyen. Vuoropuhelun mahdollisti myös se, että tutkimuksen kohteena olevia suunnittelijoita oli vähäinen määrä. Vuoropuheluissa käytiin läpi suunnittelijoiden suunnitteluosuuksia ja suunnittelun rajapintoja sekä niihin tarvittavia lähtötietoja. Vuoropuheluista kävi ilmi yhtenäisen suunnittelutyön merkitys laajoissa projekteissa, joissa suunnittelutyötä tekevät usean eri tekniikan alan asiantuntijat. Toisen suunnittelijan suunnittelutyön tulos osoittautui usein olevan lähtötietona jonkin toisen suunnittelijan suunnittelutehtävälle. Havainnot vastasivat luvussa 2.2.5 esitettyjä yhtenäisen suunnittelutyön periaatteita.

Kirjallisessa kuvauksessa ilmeni erilaisia sisällön tarkennus- ja täsmennystarpeita. Esitetyt kysymykset ja suunnittelijoiden lähtötietotarpeet koskivat uuden tuotantjärjestelmän turvallisuusteknisiä näkökohtia, kone- ja laitekokonaisuuksia, tiedonsiirtomenetelmiä ja automaattioratkaisuja. Suunnittelijoihin oltiin useamman kerran yhteydessä, jotta lähtötietotarpeet tulivat oikealla tavalla esitetyiksi ja sisällytetyiksi prosessikuvaukseen. Toteutus noudatti pääpiirteiltään luvussa 2.2.5 esitetyn kuvan 6 sisältämiä vaiheita suunnittelutehtävän rakenteeseen liittyen. Aluksi selvitettiin suunnittelualojen lähtötietotarpeita, jonka jälkeen niistä keskusteltiin ja pyrittiin löytämään vastauksia ilmenneisiin kysymyksiin. Lopuksi toteutettuja muutoksia arvioitiin ja täydennettiin tarpeen vaatiessa. Tutkimusta tehdessä havaittiin, että suunnittelutahojen oli mielekästä ottaa osaa tutkimukseen, sillä tutkimuksen tuotoksena syntyvä prosessikuvaus tehtiin palvelemaan suunnittelijoiden lähtötietotarpeita suunnitteluosuuksiinsa liittyen.

### 3.3.3 Prosessikuvauksen kokoaminen

Lopullisen prosessikuvauksen kokoaminen koostui alustavan prosessikuvauksen tarkentamisesta ja täydentämisestä suunnittelijoiden kanssa käytyjen keskusteluiden pohjalta. Prosessikuvauksen arviointi tapahtui luvun 2.2.5 mukaan kokeneempien suunnittelijoiden ja asiantuntijoiden tarkastuksen ja palautteen kautta. Keskeistä oli, että kuvauksen laajuus oli rajattu selkeästi ja että se antoi yleiskuvan uuden tuotantojärjestelmän toimintaan liittyen. Kone- ja laitekokonaisuuksien sekä automaatiojärjestelmien ja turvallisuusteknisten laitteiden kuvaaminen oli myös tärkeää.

Prosessikuvauksen laadinnassa noudatettiin luvussa 2.4.1 esitettyjen hyvien dokumentointitapojen tavoitteita. Prosessikuvaus noudattaa esitystavaltaan ja ulkoasultaan kohdeyrityksen toimintatapoja. Tutut käytännöt ja dokumentin ominaisuudet selkeyttivät kuvauksen sisällön ymmärtämistä. Prosessikuvaus kuvattiin kronologisesti ja jäseneltiin siten, että päivitys- ja muutostarpeiden ilmentyessä kuvaukseen on yksinkertaista tehdä muutoksia.

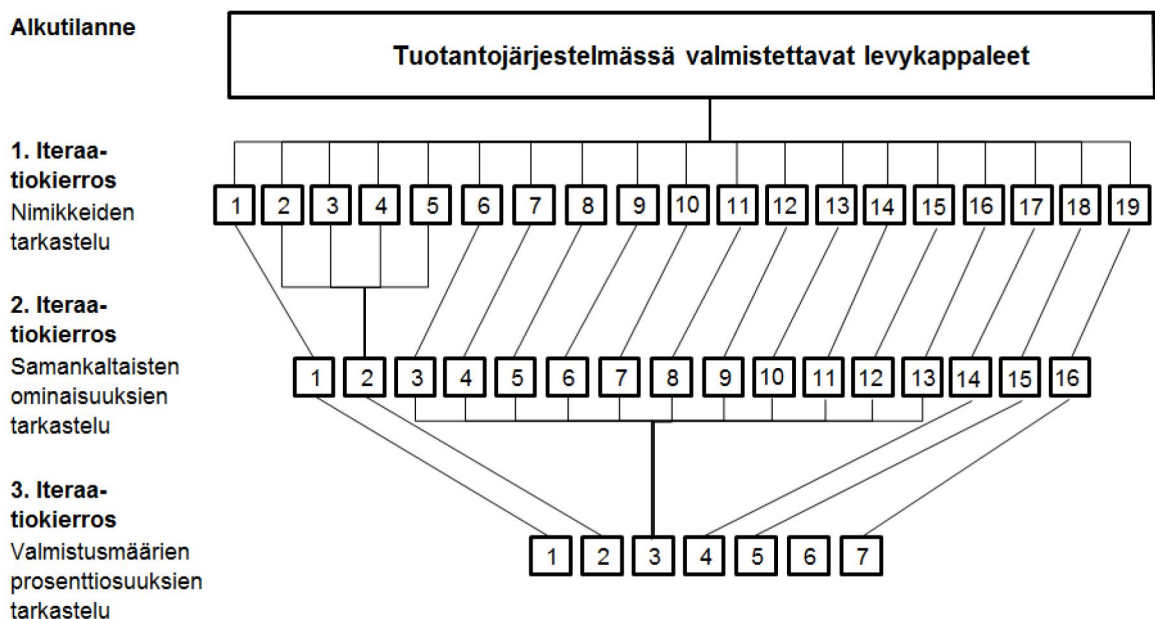
## 3.4 Tuoteanalyysin tekeminen

Luvussa 2.2.3 esitellyn tuoteanalyysin teoriaosuuden mukaan tuoteanalyysin tekemisen lähtökohtana ovat tuotantojärjestelmän suunnittelutuotteiston ja suunnittelutuotannon tunteminen. Suunnittelutuotteiston ja suunnittelutuotannon määrittämiseksi perehdyttiin kohdeyrityksessä tilastoituun numeeriseen dataan, joka sisälsi tietoa vanhassa tuotantojärjestelmässä leikattavista levykappaleista. Data-aineisto kattoi yhden vuoden aikana leikattavien levykappaleiden tiedot. Aineisto sisälsi tietoa muun muassa kappaleiden nimikkeistä, valmistusmääristä, materiaalilaadusta, mitoista ja massoista. Tarkastelussa huomioitiin lisäksi omana ryhmänään vakiomittaa pidemmät levyt, joita ei leikkausjärjestelmässä käsitellä.

Uudessa tuotantojärjestelmässä on suunniteltu valmistettavan vastaavia levykappaleita kuin vanhassa tuotantojärjestelmässä. Tämän yhtäläisyyden vuoksi tutkimusaineistona oli mahdollista käyttää vanhasta tuotantojärjestelmästä tilastoitua aineistoa ja tunnettua tietoa. Uuden tuotantojärjestelmän valmistusmäärät tulevat olemaan kuitenkin huomattavasti suuremmat kuin vanhan järjestelmän, joten numeerisen data-aineiston sisältö tuli arvioida uuden tuotantojärjestelmän tuotantoa vastaavaksi. Kohdeyrityksen asiantuntijoiden ammattitaitoa ja kokemusta hyödynnettiin valmistusmäärien suhteuttamisessa vanhan ja uuden tuotantojärjestelmän välillä sekä tuoteanalyysin vaiheiden määrittämisessä.

### 3.4.1 Suunnittelutuotteiston ja suunnittelutuotannon määrittäminen

Suunnittelutuotteiston määrittämiseksi numeerista tutkimusaineistoa läpikäytiin iteroinnin tapaan toistamalla tarkastelukierroksia niin kauan, kunnes suunnittelutuotteisto oli järkevästi jaoteltu ja tulokseen oltiin tyytyväisiä. Aineistoon tutustuttiin aluksi pintapuolisesti tarkastellen ja perehtyen aineistossa käytettyihin lyhenteisiin ja merkintätapoihin. Listattuja kappaleita oli kymmeniä tuhansia, joten aineistoon tutustumisen aikana oli tavoitteena suunnitella aineiston järkevää jaottelutapaa ensimmäistä iteraatiokierrosta varten. Kuvassa 13 on esitetty suunnittelutuotteiston määrittämiseksi tehtyjen iteraatiokierrosten väliset tulokset.



*Kuva 13. Suunnittelutuotteiston tuoteperheiden määrittäminen iteroinnin avulla*

Ensimmäisellä iteraatiokierroksella aineistoa jaoteltiin valmistettavien kappaleiden nimikkeiden mukaan. Nimikkeisiin perustuva jaottelu oli tehokas, koska aineisto kyettiin jakamaan 19 pääryhmään. Ryhmien valmistusmäärät vaihtelivat laajasti. Pienimpien ryhmien valmistusmäärät olivat vuositasolla sadan kappaleen luokkaa ja suurimpien ryhmien valmistusmäärät kymmeniä tuhansia kappaleita. Tämän perusteella seuraavan iteraatiokierroksen päämääränä oli supistaa pääryhmien määrää siten, että samankaltaisia kappaleita sisältävät ryhmät yhdistettiin keskenään.

Toisen iteraatiokierroksen tuloksena pääryhmien määrä supistui 16:een. Tulokseen ei oltu vielä tyytyväisiä, joten kolmannen kierroksen jaottelussa päädyttiin tarkastelemaan tarkemmin ryhmien valmistusmääriä suhteessa kaikkiin valmistettaviin kappaleisiin. Suurimmat pääryhmät pyrittiin säilyttämään omina kategorioinaan ja pienempiä ryhmiä yhdistettiin vähäisten valmistusmäärien vuoksi.

Kolmannen iteraatiokierroksen tuloksena pääryhmien lukumäärä supistui kuuteen. Tässä vaiheessa saatuun tulokseen lisättiin pitkien levyjen ryhmä, jota ei muiden ryhmien tapaan tarvinnut määrittää iteroinnin kautta. Kuvaan 13 tämä ryhmä on merkitty ryhmäksi kuusi, johon edelliset iteraatiokierrokset eivät vaikuttaneet. Kuvassa ryhmät 1–7 on järjestetty valmistusmääriensä mukaiseen suuruusjärjestykseen vasemmalta oikealle. Toiseen iteraatiokierrokseen nähden valmistusmäärällisesti suurimmat ryhmät säilyivät koskemattomia ja pienten valmistusmäärien ryhmät yhdistettiin yhdeksi sekalaisemmaksi ryhmäksi. Kolmanteen ryhmään sijoitettujen sekalaisien levykappaleiden prosentuaalinen osuus kokonaisuudesta oli 13 %. Kuuden muun yhteneviä kappaleita sisältävien ryhmien osuus oli 87 % kokonaisuudesta. Jaotteluun oltiin tyytyväisiä, sillä saavutettu tulos oli nimikemäärältään riittävän suppea, mutta edustavuudeltaan tarpeeksi kattava. Suunnittelutuotteistoon valittiin seitsemän kategoriaa, joista kukin edustaa omaa tuoteperhettään. Tuoteperheitä läpikäytiin vielä tarkemmin levykappaleiden mittatietojen ja massan perusteella. Taulukkoon 2 on koottu suunnittelutuotteiston sisältämät tuoteperheet sekä prosentuaaliset valmistusmäärät.

**Taulukko 2.** *Suunnittelutuotteiston tuoteperheet ja prosentuaaliset valmistusosuudet.*

Tuoteperhe	Valmistusosuus [%]
1.	44,6
2.	23,7
3.	13,4
4.	6,0
5.	4,5
6.	4,0
7.	3,9

Taulukosta nähdään, että ensimmäinen tuoteperhe kattaa lähes puolet tuotantojärjestelmässä valmistettavista tuotteista. Neljän alimmaisien ryhmän valmistusosuudet ovat noin viiden prosentin luokkaa ja ne edustavat yhdessäkin vain noin viidettä osaa koko tuotannosta. Suunnittelutuotteistolle tehtiin tuoteanalyysi, jossa vertailtiin kunkin tuoteperheen mitta- ja massaominaisuuksien vaihteluita. Tuoteanalyysin perusteella havaittiin, että suuri osa valmistettavista kappaleista on kooltaan pieniä. Kyseiset havainnot ovat esitetty tulosten esittelyn yhteydessä luvussa 4.2. Pienen koon kriteerin täyttämiseksi kappaleen pituuden ja leveyden määrättiin olevan maksimissaan yhden metrin ja kappaleen massan olevan maksimissaan 50 kg. Kriteerien tuli täytyä samanaikaisesti. Ryhmät 1 ja 7 sisälsivät lähes pelkästään pieniä levykappaleita ja ryhmän 3 levykappaleista noin puolet olivat pienen kappaleen kriteerit täyttäviä. Havaintojen seurauksena päädyttiin laskemaan pienten levykappaleiden osuus koko valmistusmäärästä. Laskelmat osoittivat, että pieniä levykappaleita valmistetaan noin 55 % koko vuosittaisesta valmistuksesta. Laskentatulokset ohjasi tutkimuksen suuntaa pieniin kappaleisiin keskittyväksi.

### **3.4.2 Valmistuksessa syntyvien hukkakappaleiden osuuden määrittäminen**

Tuotantojärjestelmässä valmistettavat suuret levykappaleet sisältävät pääsääntöisesti erimuotoisia reikiä, jotka leikataan levyyn valmistuksen aikana. Näiden sisäisten muotojen leikkauksessa syntyy hukkakappaleita, jotka lukeutuvat ominaisuuksiltaan pieniksi kappaleiksi. Suunnittelutuotteiston pienten levykappaleiden valmistusosuuksiin liittyen kohdeyritys kiinnostui suurten levykappaleiden valmistuksen yhteydessä syntyvien hukkakappaleiden koosta ja lukumääristä. Valmistuksessa syntyvien pienten hukkakappaleiden lukumäärien selvittämiseksi tutkimusaineistona hyödynnettiin vanhassa tuotantojärjestelmässä käytettyjä polttokarttoja.

Polttokarttoja läpikäytiin satojen suurten levykappaleiden osalta riittävän laajan ja edustavan tutkimusotoksen saavuttamiseksi. Polttokartoista laskettiin järjestelmällisesti pienten sisäisten muotojen lukumäärät. Hukkakappaleiden määrät kerrottiin lopuksi sopivalla kertoimella siten, että lukumäärät vastasivat uuden tuotantojärjestelmän valmistusmääriä. Hukkakappaleiden lukumäärät osoittautuivat olevan kaksinkertaiset suunnittelutuotteiston sisältämiin pieniin levykappaleisiin nähden. Tuloksen seurauksena valmistuksessa syntyvien pienten kappaleiden lukumäärä kasvoi lähtötilanteeseen nähden kolminkertaiseksi. Näin ollen pieniksi kappaleiksi luokiteltavia levykappaleita ja hukkakappaleita syntyy tuotannossa yhteensä noin 80 % koko kappalemäärästä ja muita levykappaleita vain 20 %. Tuoteanalyysi suuntasi kohdeyrityksen mielenkiintoa nostolaiteratkaisujen kartoittamisesta ainoastaan pieniin kappaleisiin kohdistuvaksi. Varsinaisen suunnittelutuotteiston ja suunnittelutuotannon lisäksi tuotannossa syntyy merkittävä määrä hukkakappaleita. Kohdeyrityksessä ei ollut aiemmin kiinnitetty tarkempaa huomiota hukkakappaleiden määriin, mutta tehdyn tutkimuksen seurauksena tuli aiheelliseksi huomioda myös hukkakappaleiden osuus materiaalinkäsittelyssä ja sen tarkemmassa suunnittelussa. Varsinaisten tuotteiden tapaan myös hukkakappaleet tulee nostaa ja siirtää purkuasemilta nostolaitteiden avulla.

### **3.5 Materiaalinkäsittelyyn soveltuvien nostolaiteratkaisujen kartoittaminen**

Kun teräslevyt ovat läpikäyneet levyjen leikkauksen, levykappaleet siirretään kuljetinjärjestelmän avulla purkuasemille. Leikatut levykappaleet nostetaan purkuasemilta joko manuaalisesti tai automaattisesti kuljetusalustoille. Purkutoimenpiteiden aikana kappaleet myös lajitellaan eri kuljetusalustoille seuraavan tuotantotoimenpiteen perusteella. Purun jälkeen kuljetusalustat toimitetaan eri määränpäihin. Tästä johtuen levykappaleiden lajittelu määrätyille kuljetusalustoille on tärkeää. Valmistettujen kappaleiden lisäksi leikkauksessa syntyneet hukkakappaleet nostetaan purkuasemilta jätteiden keräykseen samoja laitteistoja hyödyntäen. Koska kyseisiä kone- ja laiteratkaisuja ei ollut vielä päätetty, diplomityön käytännön osuuden viimeisenä tutkimusaiheena selvitettiin materiaa-

linkäsittelyyn soveltuvia nostolaiteratkaisuja. Tuoteanalyysin tulosten suuntaamana nostolaiteratkaisuja päädyttiin kartoittamaan ainoastaan pienten kappaleiden siirtämiseen liittyen.

Kohdeyritys osoitti mielenkiintoaan sekä nostureiden että teollisuusrobottien hyödyntämisestä pienten kappaleiden siirtelytoimintoihin. Vanhassa levyjen leikkausta ja käsittelyä tekevässä tuotantojärjestelmässä vastaavankaltaista levykappaleiden siirtelyä oli tehty manuaalisia käsittelylaitteita käyttäen. Työn monotonisesta ja yksitoikkoisesta luonteesta johtuen robottiratkaisut nähtiin erityisen kiinnostavina. Luvussa 2.2.4 tutustuttiin kirjallisuudessa esiteltyihin materiaalinkäsittelyn periaatteisiin ja tyypillisiin kone- ja laiteratkaisuihin. Teoriatieto antoi viitteitä tietynlaisiin ratkaisuihin perehtymisestä. Kohdeyrityksen kiinnostuksen kohteisiin sekä teoriatietoon perustuen markkinoilla toimivia nosturi- ja robottitoimittajia kartoitettiin aluksi Internetistä etsimällä. Varsinaiset yhteydenotot toimijoihin päädyttiin tekemään sähköpostikyselyn avulla. Tutkimusmenetelmäksi valittiin kyselytutkimus, koska diplomityön puitteissa tavoitteena oli kartoittaa käyttökohteeseen soveltuvia erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja, eikä vielä tarkemmin tehdä varsinaisia valintoja ja hankintoja. Kyselytutkimuksen teoriapohjaan tutustuttiin laadullista tutkimusta käsittelevässä luvussa 2.1.2. Teoriatiedon mukaan kyselytutkimus soveltuu esimerkiksi arvioivan ja vertailevan tutkimuksen tekemiseen.

Sähköpostikysely muodostettiin tuoteanalyysissä selvitettyihin levykappaleiden valmistusmääriin, mitta- ja massatietoihin ja muihin ominaisuuksiin liittyen. Kappaleiden siirtomatkat määritettiin kohdeyrityksen asiantuntijan arvioimana kahteen eripituisen matkaan. Mikäli kuljetusalustat sijaitsevat purkuasemien välittömässä läheisyydessä, levykappaleiden siirtomatka on maksimissaan viiden metrin luokkaa. Kauempana sijaitsevien kuljetusalustojen arvioitiin sijaitsevan maksimissaan 15 metrin siirtomatkan päässä. Siirtomatkan arvioitiin jakavan soveltuvien nostolaiteratkaisujen kirjoa. Taulukkoon 3 on koottu sähköpostikyselyssä esitetyt levyominaisuudet, siirtojen määrät sekä siirtomatkakriteerit.

**Taulukko 3.** *Nostolaiteratkaisujen kartoittamisen kriteerit.*

<b>Levyn tiedot</b>	
Levymateriaali teräs	
Massa maks. 50 kg	
Pituus maks. 1 m	
Leveys maks. 1 m	
Ainevahvuus maks. 0,05 m	
Lukumäärä maks. 100 kpl / tunti	
Siirtomatka	a) maks. 5 m b) maks. 15 m

Sähköpostikyselyä toteutettaessa otettiin huomioon luvussa 2.1.2 esitetty kyselytutkimuksen teoriatieto, jonka mukaan tutkimustavalle tyypillisiä epävarmuustekijöitä ovat esimerkiksi alhaiset vastausmäärät, vastausten tarkkuus ja oikeellisuus sekä väärinkäsitysten syntymisen mahdollisuus. Epävarmuustekijät huomioitiin siten, että sähköpostikysely lähetettiin kaikkiaan kymmenelle toimijalle sisältäen sekä nosturitoimittajat että robottitoimittajat. Kyselyssä esitetyt asiat pyrittiin esittämään mahdollisimmat yksiselitteisesti, selkeästi ja tiiviisti väärinymmärrysten minimoimiseksi. Kyselyssä esitettyjen taulukon 3 levytietojen lisäksi sähköpostin yhteydessä toimijoilta pyydettiin yhtä tai useampaa asetetuille kriteereille soveltuvaa ratkaisuehdotusta.

Kyselyn aluksi päätettiin, että yrityksiltä odotetaan vastauksia kolmen viikon kuluessa kyselyn lähettämisestä. Tavoitteena oli, että toteutetun kyselyn avulla ratkaisuehdotuksia vastaanotettaisiin vähintään kahdelta robottitoimittajalta ja kahdelta nosturitoimittajalta. Näin vastausten eroavaisuuksien tai samankaltaisuuksien vertailu olisi mahdollista. Kolmen viikon kuluessa vastaukset saatiin kahdelta robottitoimittajalta ja kolmelta nosturitoimittajalta. Osalle yrityksistä lähetettiin vielä tarkentavia kysymyksiä ratkaisuehdotuksiin liittyen ennen kyselyn päättämistä. Lisäkysymykset koskivat esitettyjä ratkaisuehdotuksia, joissa oli vaihtoehtoisia toimintatapoja esimerkiksi levyyn tarttumisen osalta.

## 4. TULOSTEN ESITTELY

Diplomityön tulokset on esitetty seuraaviin kolmeen alalukuun jaoteltuina. Ensimmäisessä luvussa 4.1 on esitelty tekstimuotoisen prosessikuvauksen sisältöä sekä kuvauksen prosessikaavioita. Luvussa 4.2 keskitytään tuoteanalyysin tuloksiin ja luvussa 4.3 läpikäydään sähköpostikyselyn tuloksena selvitettyjä nostolaiteratkaisuja. Tuloksia on analysoitu tarkemmin luvussa 5.1.

### 4.1 Prosessikuvaus

Valmis prosessikuvaus kuvaa kohdeyrityksen uuden teräslevyjen käsittelyä ja leikkausta tekevän tuotantojärjestelmän toimintaa. Laadittu dokumentti muodostuu tekstimuotoisesta kuvauksesta sekä prosessin vaiheet tiivistävästä prosessikaaviosta. Prosessikuvauksen alussa esitellään tarkasteltavan tuotantoprosessin yhteys kohdeyrityksen tuotantolliseen toimintaan. Dokumentin päämäärä, tarkoitus ja sisältö tuodaan alussa jo lyhyesti ilmi, jotta lukija saa tiedon dokumentissa käsitellyistä asioista ilman tarkempaa seilaamista.

Dokumentti on jaettu kahden tarkasteltavan osaprosessin mukaan kahteen päälukuun, joiden alaluvuissa on kuvattu osaprosessien keskeisimmät vaiheet aikajärjestyksessä. Kumpaakin osaprosessia, levyjen käsittelyä ja leikkausta, havainnollistamaan liitettiin layout-piirustukset, joista käyvät ilmi tuotantotilojen järjestykset sekä prosessien kulun seurannan kannalta tärkeimmät koneet ja laitteet. Teräslevyjen kulku tuotantojärjestelmässä on suoraviivaista, koska lähes kaikki levyt läpikäyvät samat prosessointivaiheet. Ainoan poikkeuksen muodostavat luvussa 3.1 mainitut pitkät levyt, jotka ovat pituudeltaan kaksinkertaisia vakiolevymittaan verrattuna. Kyseiset levyt kulkevat ainoastaan levyjen käsittelyjärjestelmän läpi, jonka jälkeen ne toimitetaan seuraaviin tuotantovaiheisiin leikkaamattomina. Vakiomittaiset sekä lyhyemmät levyt siirretään käsittelyjärjestelmästä levyjen leikkausjärjestelmään, jossa ne leikataan pienten levykappaleiden laajaan kirjoon.

Suunnittelutahojen kanssa käytyjen vuoropuheluiden yhteydessä ilmenneisiin tarpeisiin vastattiin kuvaamalla prosessin vaiheiden lisäksi tuotantojärjestelmän turvallisuustekniikkaa ja automaatiota. Prosessikuvauksessa käsitellään kirjallisuuskatsauksen luvussa 2.3.2 esiteltyjä hätäpysäytystoimintoja sekä suojaustoiminnallisuuksien aktivoimista koneiden ohjausjärjestelmien kanssa. Osaprosesseilla on keskenään erilaiset automaatiojärjestelmät. Tästä johtuen tarkemmassa suunnittelussa on välttämätöntä kytkeä automaatiojärjestelmät toisiinsa katkeamattoman tiedonsiirron ja toimintojen turvaamiseksi. Dokumentissa listattiin myös prosessin mukana kulkevat levyjen tiedot, joiden perus-



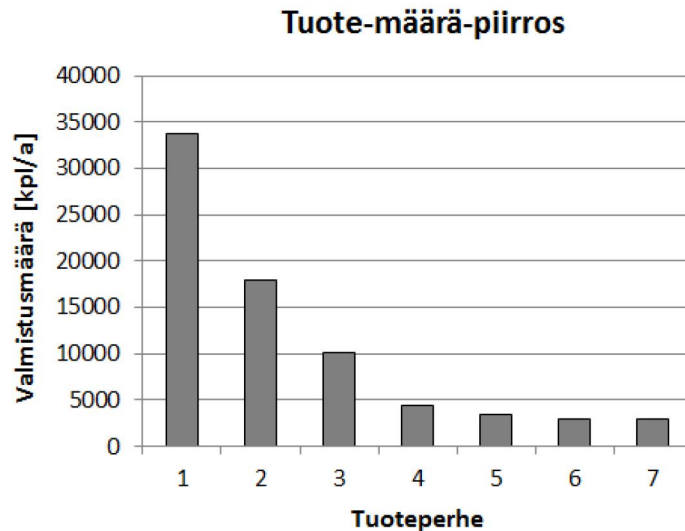
teella tuotantojärjestelmä käsittelee kappaleet oikeaan aikaan ja oikeilla prosessiparametreilla. Turvallisuustekniikkaan liittyen esiteltiin myös tuotantotiloihin tähän mennessä suunnitellut turvalaitteet sekä turvalaitteiden laukeamisista seuraavat turvatoimet. Olennaista oli myös kuvata turvallisen tilan palauttamiseksi tarvittavat toimenpiteet, mikäli jokin turvalaite on syystä tai toisesta lauennut.

Tekstimuotoisen prosessikuvauksen yhteyteen laadittiin kolme prosessikaaviota, jotka on esitetty liitteissä B, C ja D. Liitteessä B on kuvattu pitkien levyjen kulku läpi levyjen käsittelyjärjestelmän. Alku- ja loppupisteiden välissä olevat prosessivaiheet nimettiin levyille suoritettaviin vaiheisiin perustuen. Kaaviossa ei ole kuvattu levyjen käsittelytoimenpiteitä tarkemmalla tasolla, koska ne tapahtuvat aina samassa järjestyksessä peräjälkeen. Niiden tarkempi tarkastelu työn päämäärän kannalta ei ollut myöskään olennaista. Levyt kuljetetaan käsittelyä tekevältä koneelta seuraavalle kuljetusjärjestelmän avulla. Kun käsitelty levy saapuu käsittelylinjan loppuun, automaatiojärjestelmän komponentit pysäyttävät levyn oikeaan aikaan ja oikeaan paikkaan levyn poimimisen suorittamiseksi. Manuaalisesti ohjattu nosturi nostaa pitkät levyt yksi kerrallaan kuljetusalustalle pinoon. Täysi kuljetusalusta toimitetaan manuaalisesti seuraaviin tuotantovaiheisiin.

Liitteessä C on esitetty vakiomittaisten ja lyhyiden levyjen kulkua kuvaava prosessikaavio. Kolmen ensimmäisen vaiheen osalta kaavio vastaa täysin liitteessä B esitettyä kaaviota. Kyseisissä vaiheissa hyödynnetään samoja resursseja levymitasta riippumatta. Levyt nostetaan automaattisella nosturilla yksi kerrallaan levyjen leikkausta tekevään järjestelmään. Kuljetusjärjestelmä kuljettaa levyn varastoon ja sieltä edelleen leikkaukoneelle. Levyt leikataan laajaan kirjoon erilaisia pienempiä levykappaleita. Leikkauksen jälkeen levykappaleet siirretään kuljetusjärjestelmän kuljettamina purkuasemalle, josta levyt nostetaan ja jaotellaan oikeille kuljetusalustoille. Täydet kuljetusalustat siirretään manuaalisesti seuraaviin tuotantovaiheisiin. Liitteeseen D on yhdistetty liitteiden B ja C prosessikaaviot yhdeksi kokonaisuudeksi, josta on mahdollista nähdä kaikki tekstimuotoisessa prosessikuvauksessa käsitellyt vaiheet. Liitteestä nähdään prosessin haarautuminen kahteen ketjuun käsiteltävän levyn pituuden perusteella.

## 4.2 Tuoteanalyysi

Uudessa tuotantojärjestelmässä valmistettaville tuoteperheille suoritettiin tuoteanalyysi. Tuoteanalyysissä tarkasteltiin kunkin tuoteperheen edustamien ominaisuuksien perusteella määriteltyjä suunnittelutuotteita. Tuoteperheet 1–2 ja 4–7 sisältävät käyttötarkoitukseltaan ja muodoiltaan samankaltaisia tuotteita, joiden koot vaihtelevat pienistä kappaleista suuriin kappaleisiin. Kolmas tuoteperhe muodostettiin sekalaisista kappaleista, jotka eivät olleet keskenään yhtä yhdenmukaisia kuin muiden tuoteperheiden tuotteet. Tuoteperheistä piirrettiin luvussa 2.2.3 esitetty tuotekokonaisuuksia ja tuotemääriä kuvaava tuote-määrä-piirros. Pylväsdiagrammi on esitetty kuvassa 14.



**Kuva 14.** Tuoteperheiden valmistusmäärät.

Tutkimuksen jatkon kannalta tuoteperheiden olennaisimmat ominaisuudet olivat pituus, leveys, ainevahvuus ja massa. Taulukkoon 4 on koottu kutakin tuoteperhettä edustavan suunnittelutuotteen mitta- ja massaominaisuudet vaihteluväleineen.

**Taulukko 4.** Tuoteperheiden suunnittelutuotteet ominaisuuksineen.

Suunnittelutuote	Pituus [mm]	Leveys [mm]	Ainevahvuus [mm]	Massa [kg]	Lukumäärä
1.	70–2000	30–1500	5–40	0,3–150	33800
2.	100–12000	30–2800	5–40	0,6–5300	18000
3.	60–12000	5–3300	5–70	0,2–5000	10200
4.	200–12000	15–3300	5–35	1–3900	4500
5.	180–12000	75–3300	5–40	3–4800	3400
6.	n. 20000	n. 3000	n. 7	n. 3000	3000
7.	75–1000	40–500	5–30	0,2–25	3000

Taulukosta nähdään, että kunkin suunnittelutuotteen mitta- ja massaominaisuudet vaihtelevat runsaasti. Tuotteiden lukumäärät myös osoittavat ryhmien olevan hyvin erisuuruisia. Suunnittelutuotteiden 1 ja 7 pituudet ja leveydet vaihtelevat huomattavasti vähemmän kuin muiden tuotteiden tapauksessa. Ainevahvuudet sijoittuvat keskenään suunnilleen samoihin lukemiin. Ainoat poikkeukset muodostavat kolmas ja kuudes suunnittelutuote, joiden ainevahvuuksien maksimi-arvot ovat 70 mm ja 7 mm. Kuudes suunnittelutuote poikkeaa muutoinkin muista tuotteista, koska sen ominaisuudet eivät vaihtelee toisten tuotteiden tapaan.

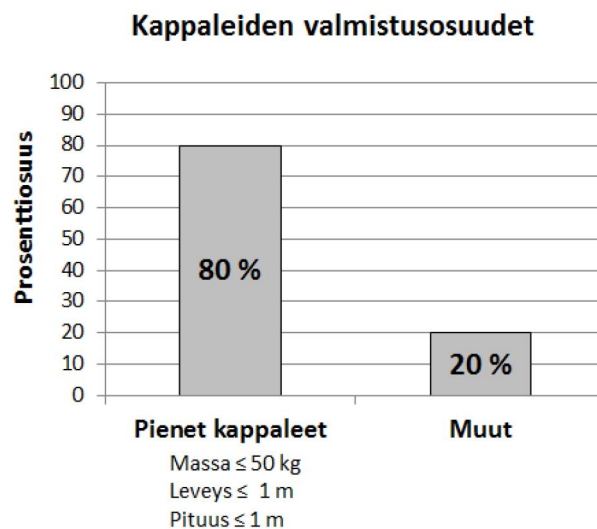
Ominaisuuksien laajoista vaihteluväleistä huolimatta suunnittelutuotteiden ominaisuudet painottuivat tiettyihin jaksoihin vaihteluvälinsä sisällä. Suunnittelutuotteiden ominaisuuksien vaihteluja kuvaavat pylvädiagrammit on esitetty tulosten analysoinnin yhteydessä luvussa 5.1.

Dimensioiden ja massojen vaihteluihin keskittyneen tuoteanalyysin tulosten perusteella kohdeyrityksen mielenkiinto kohdistui pienten levykappaleiden suureen määrään erityisesti tuoteperheissä 1 ja 7. Pieniksi kappaleiksi luokiteltiin kaikki leikkauksessa syntyvät kappaleet, joiden massat ovat alle 50 kg sekä pituudet ja leveydet maksimissaan metrin. Kaikki kolme kriteeriä tulivat täytyä samanaikaisesti. Kaikille suunnittelutuotteille suoritettiin tarkempi tarkastelu pienten levykappaleiden osalta. Tiedossa oli, että leikkauksessa valmistettavien pienten levyjen lisäksi suurten levyjen valmistuksen ohessa syntyy pieniä hukkakappaleita. Taulukkoon 5 on koottu tarkastelun tulokset jokaisen suunnittelutuotteen sisältämistä pienistä levykappaleista sekä leikkauksen ohessa syntyvistä pienistä hukkakappaleista.

**Taulukko 5.** Pienten levykappaleiden ja hukkakappaleiden määrät.

Suunnittelutuote	Lukumäärä	Pienten levykappaleiden osuus	Hukkakappaleiden lukumäärä
1.	33800	94,7 %	-
2.	18000	-	78400
3.	10200	52,9 %	-
4.	4500	-	2900
5.	3400	-	3800
6.	3000	-	-
7.	3000	100 %	-

Tarkastelu osoitti, että seitsemästä tuoteperheestä kolme sisältää huomattavia määriä pieniä levykappaleita. Vastaavasti hukkakappaleiden määrät kolmessa tuoteperheessä olivat merkittävät. Kuvassa 15 on esitetty pienten kappaleiden osuus kaikista leikkauksessa syntyvistä kappaleista. Pieniin kappaleisiin on luettu mukaan sekä valmistettavat levykappaleet että leikkauksen ohessa syntyvät hukkakappaleet.



**Kuva 15.** Pienten kappaleiden osuus kaikista kappaleista.

Kuvasta nähdään, että tuotantojärjestelmässä valmistettavista ja valmistuksen ohessa syntyvistä kappaleista pieniä kappaleita on 80 % ja suurempia kappaleita 20 %. Pienistä kappaleista noin kaksi kolmasosaa on hukkakappaleita ja valmistettavia levykappaleita on suunnilleen yksi kolmasosa.

### 4.3 Materiaalinkäsittelyyn soveltuvat nostolaiteratkaisut

Nostolaiteratkaisujen kartoittamiseksi kymmenelle nosturi- ja robottitoimittajalle lähetettiin tuoteanalyysin tuloksiin perustuva sähköpostikysely. Sähköpostikyselyssä laite-toimittajia pyydettiin ehdottamaan valikoimistaan teräslevyjen nostamiseen ja siirtämiseen soveltuvia laiteratkaisuja. Levykappaleiden kerrottiin olevan maksimissaan 50 kg painavia sekä leveydeltään ja pituudeltaan maksimissaan metrin. Käsiteltävien levykappaleiden määrä olisi maksimissaan 100 kappaletta tunnissa ja siirtomatkat pisimmillään viisi metriä tai 15 metriä määränpäänä olevan kuljetusalustan sijainnista riippuen. Kyselytutkimukseen vastasi kaksi robottitoimittajaa ja kolme nosturitoimittajaa. Molemmat robottitoimittajat antoivat kaksi ehdotusta roboteista. Nosturitoimittajat antoivat yhden tai kaksi ehdotusta nosturijärjestelmistä ja nostinvaihtoehtoista. Kyselyn tulosten yhteenvedot on esitetty taulukoissa 6 ja 7.

### Nosturijärjestelmät

Taulukossa 6 on kuvattu sarakkeittain nosturitoimittajat A–C sekä heidän ehdotuksensa käyttökohteeseen soveltuvista nosturijärjestelmistä, nostimista ja tarraimista.

*Taulukko 6. Nosturiratkaisujen yhteenveto.*

Nosturitoimittaja	Nosturijärjestelmä	Nostin	Tarrain
<b>A</b>	<b>Alumiininen siltanosturijärjestelmä</b> Nostokyky maks. 250 kg Asennus kattoon tai lattiaan	<b>Sähköinen kevennysnostin</b> Nostokyky maks. 125 kg Manuaalinen ohjaus	<b>Magneettitarrain</b> Nostokyky maks. 100 kg Manuaalinen ohjaus
<b>B</b>	<b>Alumiininen siltanosturijärjestelmä</b> Nostokyky maks. 1000 kg Asennus kattoon tai lattiaan <b>Pylväs- tai seinäkääntönosturi</b> Nostokyky maks. 110 kg Alumiininen puomi Asennus seinään tai lattiaan	<b>Alipainenostin</b> Nostokyky maks. 200 kg Manuaalinen ohjaus	<b>Imukuppitarrain</b> Nostokyky maks. 60 kg Manuaalinen ohjaus
<b>C</b>	<b>Alumiininen siltanosturijärjestelmä</b> Nostokyky maks. 2000 kg Asennus kattoon tai lattiaan	<b>Sähköinen ketjunostin</b> Nostokyky maks. 2500 kg Manuaalinen ohjaus <b>Paineilmakevennin</b> Nostokyky maks. 350 kg Manuaalinen ohjaus	<b>Imukuppitarrain</b> Manuaalinen ohjaus

Toimittajat A ja C ehdottivat kumpikin kevyttä alumiinirakenteista siltanosturijärjestelmää, koska nostettavat levykappaleet ovat massaltaan kevyitä. Siltanosturi voidaan

asentaa kattoon ripustamalla tai vaihtoehtoisesti lattialle omille jaloilleen tuotantotilasta riippuen. Toimittaja B ehdotti pidemmille siirtomatkoille toimittajien A ja C tapaan alumiinirakenteista siltanosturijärjestelmää ja lyhyemmille siirtomatkoille vaihtoehtoisesti alumiinipuomista pylväs- tai seinäkääntönosturia.

Kolmannessa sarakkeessa on koottuna toimittajien ehdotukset nosturiin kiinnitettävistä nostimista. Nostimet eroavat toisistaan erilaisilla ominaisuuksillaan. Toimittajan A ehdottamaa sähköistä kevennysnostinta ohjataan käsikäyttöisesti nostimessa olevasta kädensijasta. Toimittajan mukaan nostin soveltuu suurten kappalemäärien käsittelyyn, koska nostin sallii jatkuvan käytön. Lisäksi sen sähkönkulutus on alhainen. Nostimen päähän tulee kiinnittää levyyn kiinnittyvä magneettitarrain, jonka toimintaa ohjataan nostimen kädensijan ohjauspainikkeista. Toimittaja kuitenkin huomautti, että ainevahvuudeltaan alle 15 mm teräslevyjen tapauksessa tarraimen magneettivoima voi vaikuttaa myös levyn alapuolelle. Tämän seurauksena tartuttavan levyn alapuolella oleva levy saattaa siirtyä käsittelytoimenpiteen yhteydessä. Nostimen vaakasuuntainen liike tapahtuu operaattorin käden liikkeiden mukaisesti hyvin pienellä voimankäytöllä. Kädensijan ohjauspainikkeista ohjataan nostimen pystysuuntaista liikettä sekä magneettitarraimen irrotus- ja vapautustoimintoja.

Toimittajan B ehdottama alipainenostin toimii alipainepumpulla kehitettävän matalan alipaineen avulla. Pumppu on mahdollista sijoittaa kymmenien metrien päähän nostimesta. Alipainenostimen päähän kiinnitetään kappaleeseen tarttuva imukuppitarrain. Alipaineen avulla nostimen tarrain kiinnittyy nostettavaan kappaleeseen sekä nostaa taakan. Nostimen ja imukuppitarraimen ohjaus tapahtuu nostimen yhteydessä olevien kädensijojen ohjauspainikkeista. Kun alipainetta lisätään, nostin vetäytyy kokoon nostan kuorman. Vastaavasti alipainetta vähennettäessä nostin pidentyy laskien kuorman. Toimittajan mukaan nostin soveltuu myös kappaleiden kääntämiseen ja pyörittämiseen.

Toimittaja C ehdotti nostimeksi sähköistä ketjunostinta tai paineilmakevennintä. Toisin kuin toimittajan A ehdottaman sähköisen kevennysnostimen tapauksessa, sähköisessä ketjunostimessa ei ole kädensijaa, vaan ohjaus tapahtuu nostimen varresta erillään olevan käsikäyttöisen painikeohjaimen avulla. Ketjunostin sallii täten laajemman pysty- ja vaakasuuntaisen liikelaajuuden, sillä toiminta-alue ei rajoitu operaattorin käden ulottumaan. Ketjunostin soveltuu hyvin pidempiin siirtomatkoihin. Paineilmakevennintimen käyttövoima aikaansaadaan paineilman avulla. Se soveltuu sähköistä ketjunostinta paremmin nopeisiin nostoihin, siirtoihin ja kappaleiden tarkkaan sijoittamiseen. Paineilmakevennintimessä on toimittajan A ehdottaman sähköisen kevennysnostimen tapaan nostimen yhteydessä oleva kädensija, jossa on ohjauspainikkeet. Liikelaajuus määräytyy operaattorin käden ulottuman mukaan, ja kevennin on suunniteltu jatkuvaan käyttöön. Toimittajan C valikoimasta ei löytynyt nostimeen kiinnitettäviä kappaleeseen tarttuvia tarraimia, mutta toimittaja suositteli kuitenkin alipainetekniikalla toimivaa imukuppitarrainta nosturijärjestelmän yhteyteen.

## Robottijärjestelmät

Taulukkoon 7 on koottu sarakkeittain kahden robottitoimittajan ehdottamat robotti- ja tarraintyypit. Kumpikin toimittaja ehdotti valikoimastaan kahta erilaista robottia.

*Taulukko 7. Robottiratkaisujen yhteenveto.*

Robottitoimittaja	Robotti	Tarrain
<b>A</b>	<b>Robotti 1</b> Käsittelykyky maks. 250 kg Ulottuvuussäde 3 m Akselilukumäärä 4 Asennus lattiaan	Magneetti- tai imukuppitarrain
	<b>Robotti 2</b> Käsittelykyky maks. 300 kg Ulottuvuussäde 3 m Akselilukumäärä 6 Asennus lattiaan tai ylösalaisin	
<b>B</b>	<b>Robotti 1</b> Käsittelykyky maks. 70 kg Ulottuvuussäde 2 m Akselilukumäärä 6 Asennus lattiaan tai ylösalaisin	Magneetti- tai imukuppitarrain
	<b>Robotti 2</b> Käsittelykyky maks. 125 kg Ulottuvuussäde 3 m Akselilukumäärä 6 Asennus lattiaan	

Toimittajan A ehdottamien teollisuusrobottien ulottuvuussäteet ovat kolme metriä. Käsittelykyvyt ovat samaa suuruusluokkaa, 250 kg ja 300 kg, mutta ensimmäisen robotin akselilukumäärä on 4 ja toisen 6. Molemmat robotit voidaan asentaa lattiaan, mikäli robotin käsivarren ulottuma on riittävä siirtomatkan hallintaan. Jos siirtomatka on pidempi kuin robotin ulottuma, robotti voidaan asentaa lineaariradalle, joka sallii robotin liikkumisen työpisteiden välillä. Lineaariratoja on saatavilla eripituisina versioina. Robotti 2 voidaan asentaa myös työpisteen yläpuolelle ylösalaisin. Toimittajan B ehdottamien robottien käsittelykyvyt 70 kg ja 125 kg. Ensimmäisen robotin ulottuvuussäde on kaksi metriä ja toisen robotin ulottuvuussäde on kolme metriä. Molemmat robotit ovat kuuksiakselisia ja lattiaan asennettavia. Ensimmäinen robotti voidaan asentaa myös ylösalaisin. Molemmat robottitoimittajat suosittelivat robotin työkaluksi joko magneetti- tai imukuppitarrainta. Kummankaan toimittajan omassa valikoimassa ei ollut saatavilla robotin työkaluja, vaan ne tulisivat hankkia muualta. Toimittajan A tuotevalikoimaan kuuluivat lineaariradat, mutta toimittajan B valikoimaan eivät.

## 5. KESKUSTELU JA PÄÄTELMÄT

Tässä luvussa käsitellään tutkimustulosten analysointia, diplomityön luotettavuuden arviointia, työn tuloksiin ja tehtyihin havaintoihin perustuvia jatkotoimenpide-ehdotuksia sekä tarkastelua työn tavoitteiden saavuttamisesta.

### 5.1 Tutkimustulosten analysointi

Tulosten analysointi on jaettu kolmeen alalukuun, joissa on käsitelty erikseen kutakin tutkimustyössä aikaansaattua tutkimustulosta.

#### 5.1.1 Prosessikuvaus

Liitteissä B, C ja D esitettiin prosessikuvauksen prosessikaaviot. Ensimmäinen ja toinen kaavio noudattavat pääpiirteittäin luvussa 2.4.4 kuvatun lohkovertkkokaavion periaatteita. Kaavioille on määritetty alku- ja loppupisteet sekä peräkkäisistä vaiheista rakentuva tehtävien ketju, jossa yksittäisen vaiheen suoritus on riippuvainen edeltävien vaiheiden suorittamisesta. Prosessi etenee ainoastaan silloin, kun edeltävä vaihe on tehty valmiiksi. Kolmannessa prosessikaaviossa on yksi alkupiste ja kaksi loppupistettä. Tämän seurauksena kolmas kaavio ei noudata enää prosessikaavioiden teoriaa, jossa kaavioille on määritettävä yksi alkupiste ja yksi loppupiste. Kaavioita tarkastelemalla havaitaan, että levymitasta riippumatta levyt nostetaan aluksi samasta varastosta levyjen käsittelyjärjestelmään. Prosessien lopussa ei ole vielä tarkasti tiedossa, miten levyjen kulku tulee jatkumaan. Tämän vuoksi kaavioiden loppuja ei yritetty kuvata tarkemmalla tasolla epävarmoista prosessivaiheista johtuen.

Prosessikaavioista on havaittavissa, että osa kaavioiden vaiheista on levyjä jalostavia toimenpiteitä ja osa jalostamattomia. Luvussa 2.4.2 esitettyjen Leanin periaatteiden mukaan jotkin tuotteen arvoa lisäämättömät toiminnot ovat prosessille välttämättömiä, jolloin niitä ei voida jättää huomioimatta. Näin oli myös tarkasteltavan prosessin tapauksessa. Nostojen, kuljetuksien ja siirtojen kuvaaminen oli prosessikuvauksen päämäärän ja tarkoituksen kannalta olennaista. Prosessikaavioita tarkasteltaessa on myös otettava huomioon kuvatun prosessin dynaaminen luonne. Kaavioihin on oletettavissa muutoksia etenkin prosessin lopun osalta, sillä kaikki prosessivaiheet eivät ole vielä tarkasti suunniteltuja ja kaikkia kone- ja laitevalintoja ei ole vielä tehty. Diplomityön aikamääreen puitteissa ei ollut mahdollista eikä tarkoituksaan kuvata täysin valmista prosessia. Tavoitteena ei myöskään ollut kehittää kohdeyrityksen tuotantoprosessia, vaan kuvata se mahdollisimman hyvin määrättyyn ajanhetkeen saakka.

### 5.1.2 Tuoteanalyysi

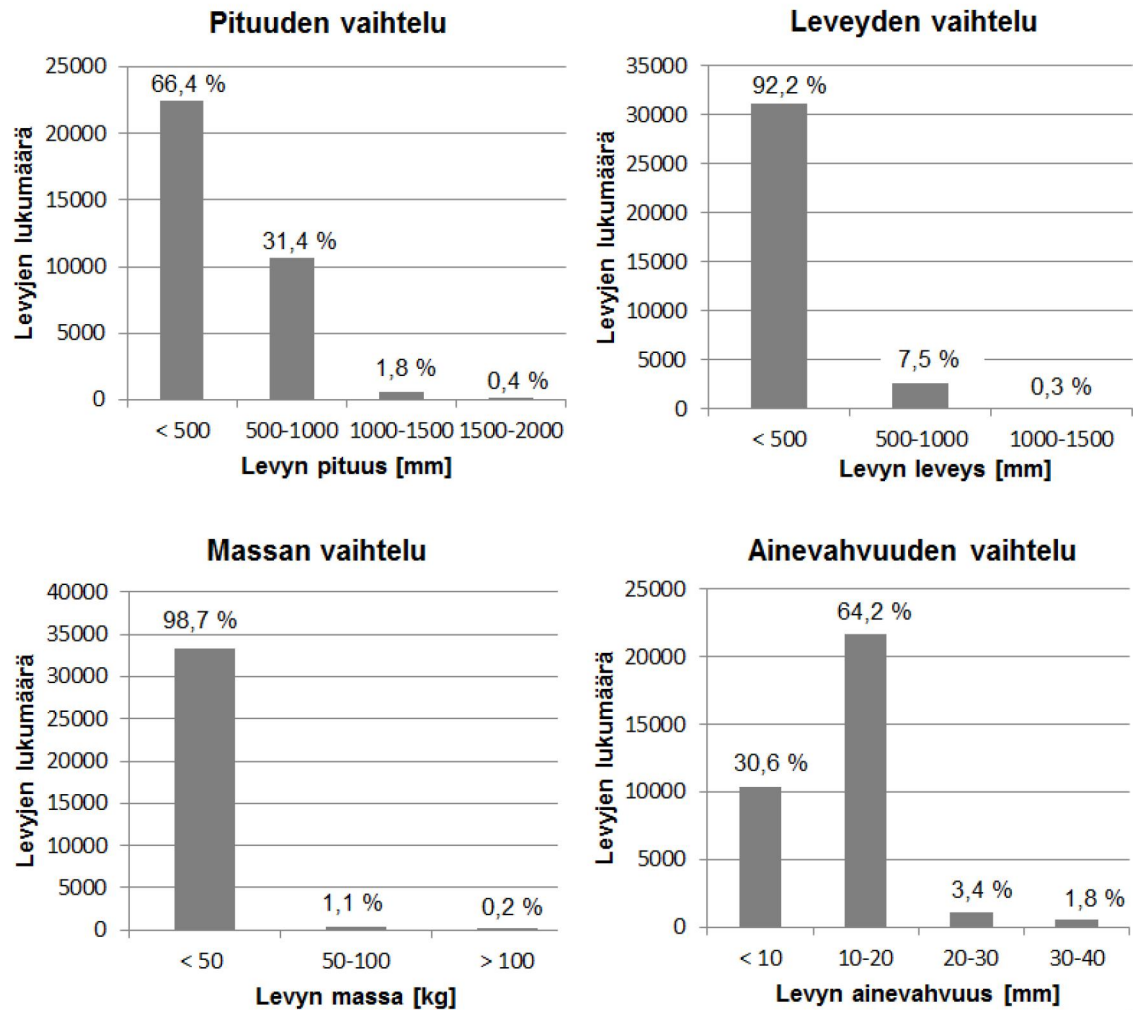
Luvun 4.2 kuvassa 14 esitettiin tuoteanalyysin tuloksena selvitettyjen tuoteperheiden valmistusmäärät tuote-määrä-kuvaajan muodossa. Kuvaajan nähdään olevan muodoltaan vastaava kuin teoriaosuuden luvussa 2.2.3 esitetty kuva 4. Se noudattaa Pareto-analyysille tyypillistä jakaumaa, jossa tietyt tuotantojärjestelmässä valmistettavat tuotteet tai tuotekokonaisuudet ovat lukumäärällisesti suurempia kuin toiset. Tuote-määrä-kuvaaja on muodoltaan laskeva lähestyen loppupäästään y-akselin nollakohtaa. Taulukossa 2 luvussa 3.4.1 kuvattiin ensimmäisen tuoteperheen kattavan 44,6 % valmistuksesta ja toisen tuoteperheen kattavan 23,7 % valmistuksesta. Kyseiset kaksi tuoteperhettä edustavat vajaata 30 % kaikista tuoteperheistä, mutta ne edustavat valmistusmääriltään liki 70 % kokonaistuotannosta. Vastaavasti kuudes ja seitsemäs tuoteperhe edustavat vajaata 30 % kaikista tuoteperheistä, mutta valmistusosuudeltaan ne kattavat vain 7,9 %.

Taulukossa 4 sivulla 49 esitettiin tuoteperheitä edustavien suunnittelutuotteiden mitta- ja massaominaisuudet vaihteluväleineen. Suunnittelutuotteiden ominaisuuksia tarkastellaan tarkemmin seuraavissa kuvissa 16–21. Vaihtelut ovat kuvattu pylväsdiagrammeihin. Kuvaajiin merkittiin diagrammien akseleiden tietojen lisäksi kunkin pylvään edustama prosenttiosuus suunnittelutuotteen kokonaislevymäärään nähden. Kuudennelle suunnittelutuotteelle ei ollut syytä muodostaa muiden suunnittelutuotteiden tapaan ominaisuuksien vaihteluja kuvaavia diagrammeja, koska levyjä ei leikata lainkaan. Suunnittelutuote 6 käsittää vakiomittaa pidemmät levyt, joilla on keskenään keskimäärin samat dimensiot ja massat.

#### Suunnittelutuote 1

Kuvassa 16 on esitetty ensimmäistä tuoteperhettä edustavan suunnittelutuotteen pituuden, leveyden, ainevahvuuden ja massan vaihtelut. Pituuksia, leveyksiä ja massoja tarkasteltaessa huomataan, että suunnittelutuote 1 on tyypillisimmin alle puolen metrin pituinen, alle puolen metrin levyinen ja massaltaan kevyempi kuin 50 kg. Levykappaleiden ainevahvuudet painottuvat selvästi 10–20 mm välille, mutta myös alle 10 mm pak-suisia levykappaleita on liki kolmasosa. Koska ensimmäisen suunnittelutuotteen edustama tuoteperhe on lukumäärällisesti suurin tuotekokonaisuus, y-akselin esittämät lukemat ovat huomattavan suuret verrattuna seuraavien suunnittelutuotteiden vastaavaan tarkasteluun.

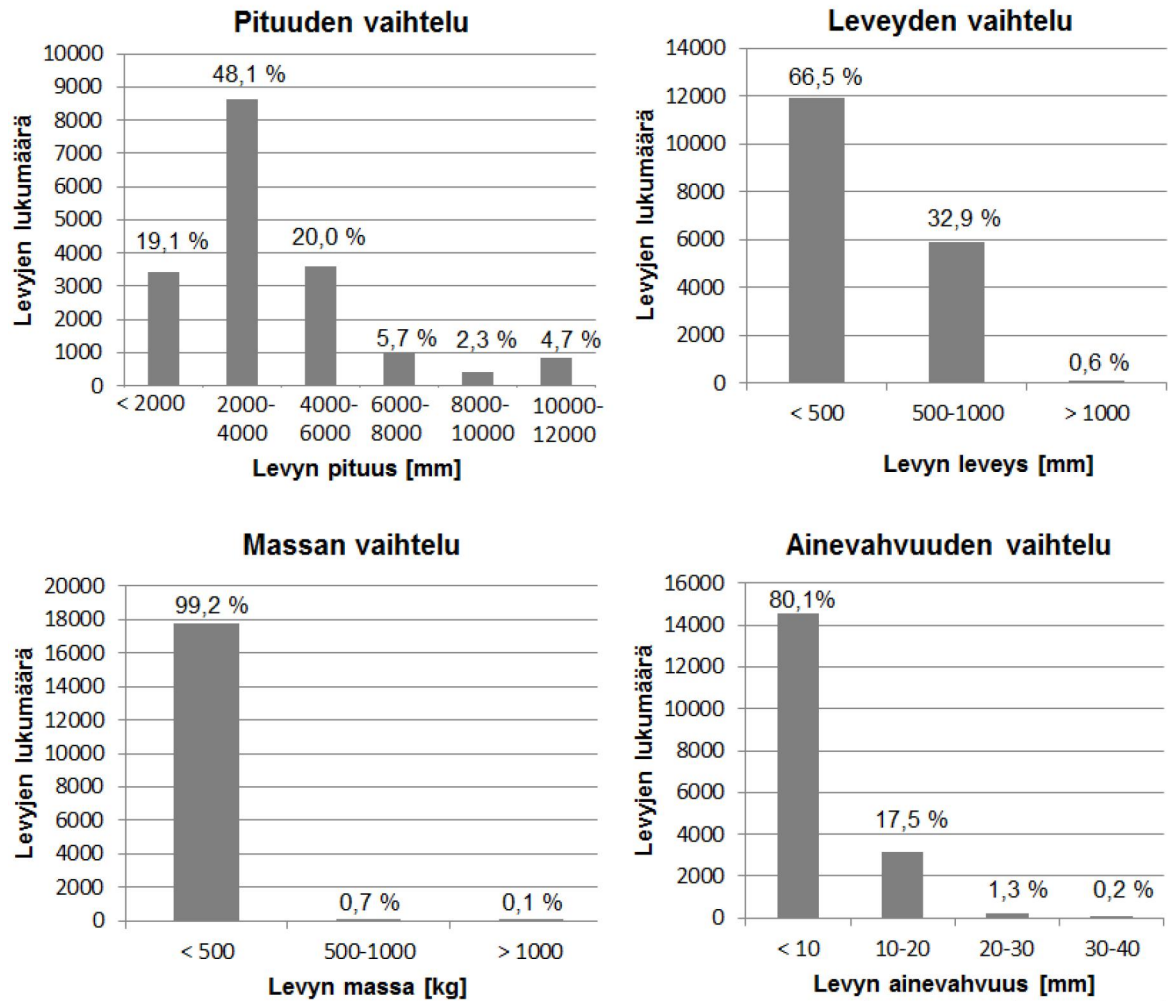




*Kuva 16. Suunnittelutuotteen 1 mita- ja massaominaisuuksien vaihtelut.*

## Suunnittelutuote 2

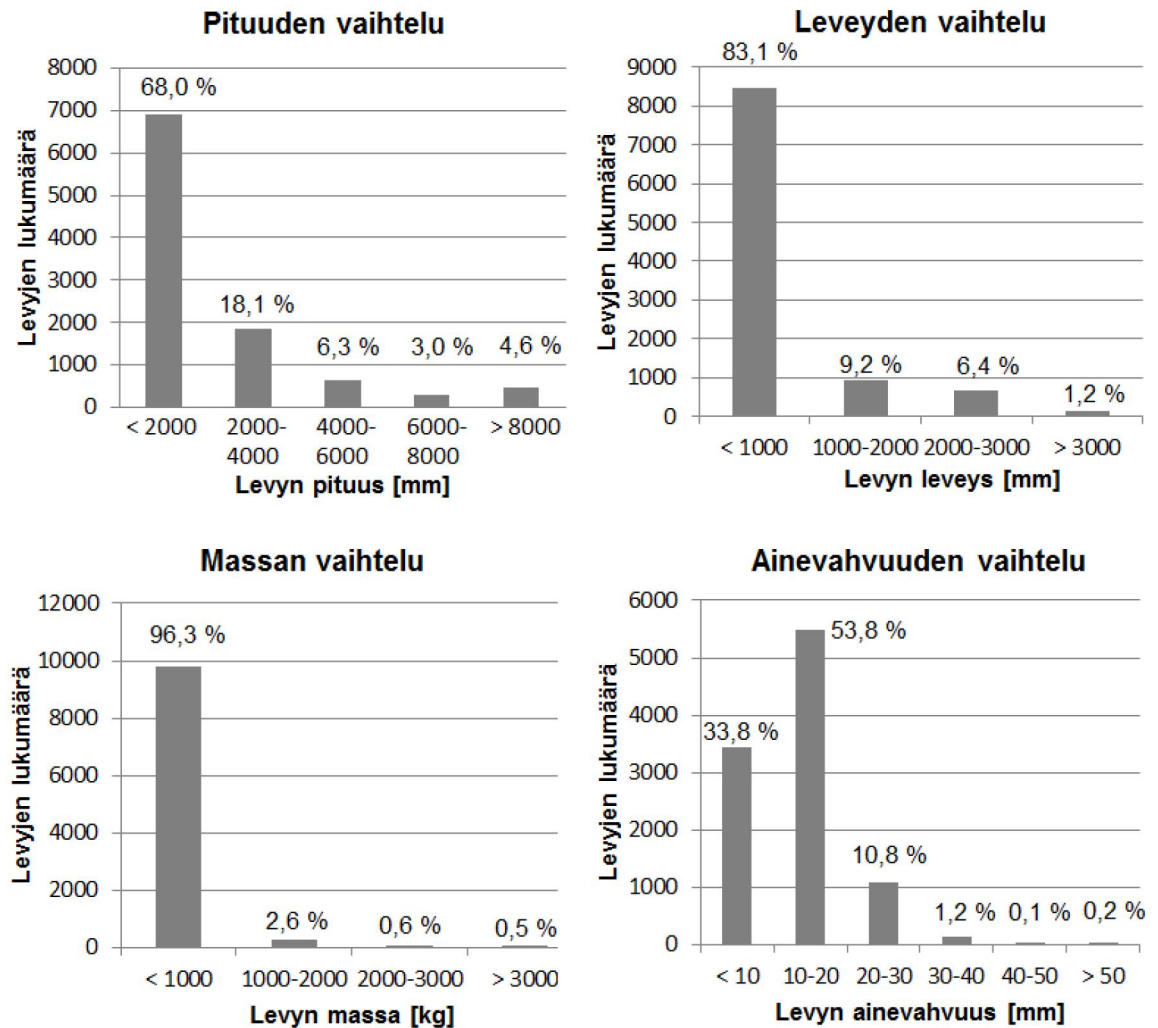
Kuvaan 17 on koottu toista tuoteperhettä edustavan suunnittelutuotteen pituuden, leveyden, ainevahvuuden ja massan vaihtelut. Pituuden vaihtelua havainnollistavasta kuvasta huomataan, että suunnittelutuotteen 2 pituus vaihtelee laajemmin kuin edeltävän suunnittelutuotteen tapauksessa. Levykappaleet ovat pidempiä ja massaltaan painavampia. Noin 90 % tuoteperheen levykappaleista on pituudeltaan alle kuusi metriä ja leveydeltään alle metrin. Levykappaleiden pituudet ovat moninkertaisia leveyksiinsä nähden. Lähes kaikki levykappaleet ovat maksimissaan 500 kg painavia ja ainevahvuudeltaan pääasiassa alle 10 mm.



*Kuva 17. Suunnittelutuotteen 2 mitta- ja massaominaisuuksien vaihtelut.*

### Suunnittelutuote 3

Luvussa 3.4.1 käsiteltiin suunnittelutuotteiston määrittystä. Saman luvun kuvassa 13 esitettiin iteraatiokierrokset, joiden seurauksena tuotantojärjestelmässä valmistettavat kappaleet jaoteltiin seitsemään tuoteperheeseen. Viimeisellä iteraatiokierroksella 11 pientä hajanaista ryhmää yhdistettiin yhdeksi sekalaisemman kokonaisuuden muodostavaksi ryhmäksi. Kyseinen sekalaisista levykappaleista koostuva ryhmä on tuoteperheistä kolmanneksi suurin ja sen ominaisuuksia edustaa seuraavassa kuvassa 18 esitetty suunnittelutuote 3.

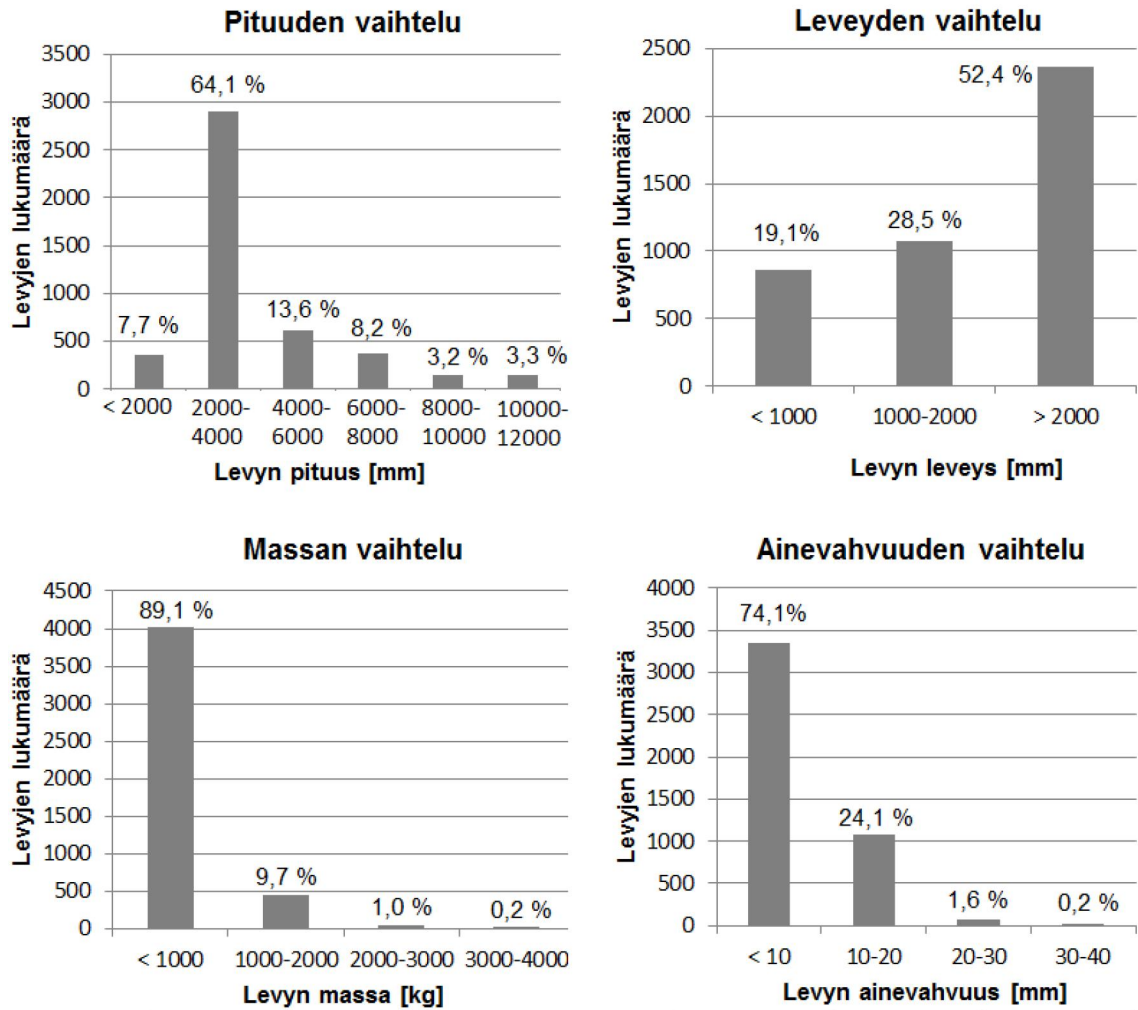


*Kuva 18. Suunnittelutuotteen 3 mita- ja massaominaisuuksien vaihtelut.*

Ominaisuuksia tarkasteltaessa huomataan, että sekalaiset kappaleet ovat pääosin alle kahden metrin pituisia, alle metrin levyisiä ja alle 1000 kg painavia. Ainevahvuudet jakautuvat prosenttiosuuksittain huomattavasti tasaisemmin kuin kahden ensimmäisen suunnittelutuotteen tapauksessa. Vaihtelu selittyy sillä, että tuotekokonaisuus on muodostettu sekalaisista kappaleista, jotka eivät muodosta muiden suunnittelutuotteiden tapaan yhtenäistä linjaa. Sivun 49 taulukosta 4 jo huomattiin, että muista suunnittelutuotteista selvästi poiketen, tuotteen 3 ainevahvuus ylittää yli 40 mm paksuuden. Näiden levykappaleiden määrä on kuitenkin alhainen 0,3 % osuudella.

## Suunnittelutuote 4

Kuvaan 19 on koottu neljättä tuoteperhettä edustavan suunnittelutuotteen pituuden, leveyden, ainevahvuuden ja massan vaihtelut.

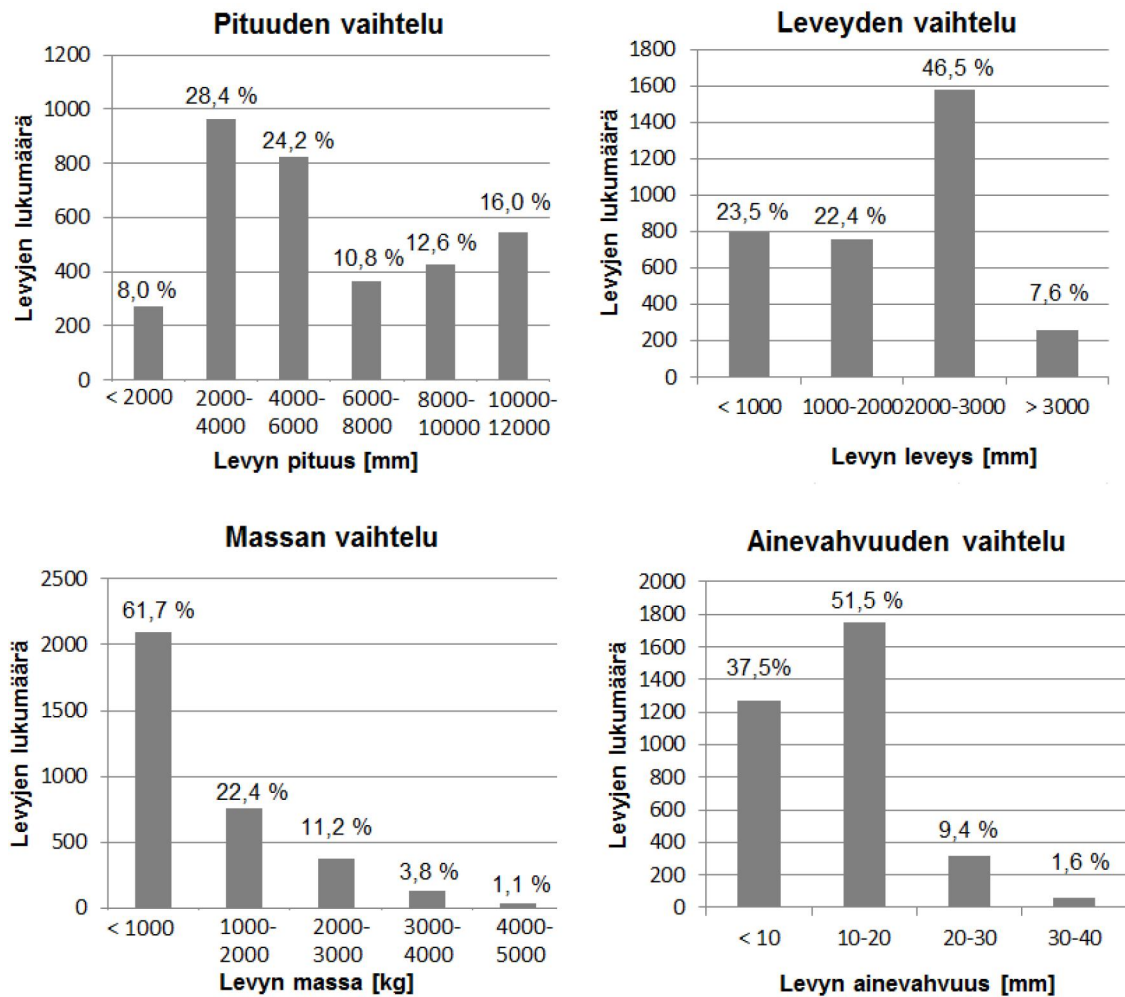


*Kuva 19. Suunnittelutuotteen 4 mitta- ja massaominaisuuksien vaihtelut.*

Suunnittelutuotteen 4 pituus vaihtelee laajalla kirjolla. Pituudet painottuvat 2–4 metrin välille, mutta viiden muun pituuskategorian tapauksessa jakauma on tasaisempaa ilman yhtä selkeitä piikkejä. Levykappaleiden leveydet painottuvan asteikon yläpäähän, mutta on kuitenkin huomattavaa, että leveydet jakautuvat melko tasaisesti myös kahteen muuhun kategoriaan. Suurin osa levykappaleista on alle 1000 kg painavia ja ainevahvuudeltaan alle 10 mm. Edeltäviin suunnittelutuotteisiin nähden suunnittelutuotteen 4 edustamat kappalemäärät ovat huomattavasti pienemmät.

## Suunnittelutuote 5

Kuvassa 20 on esitetty viidettä tuoteperhettä edustavan suunnittelutuotteen pituuden, leveyden, ainevahvuuden ja massan vaihtelut.

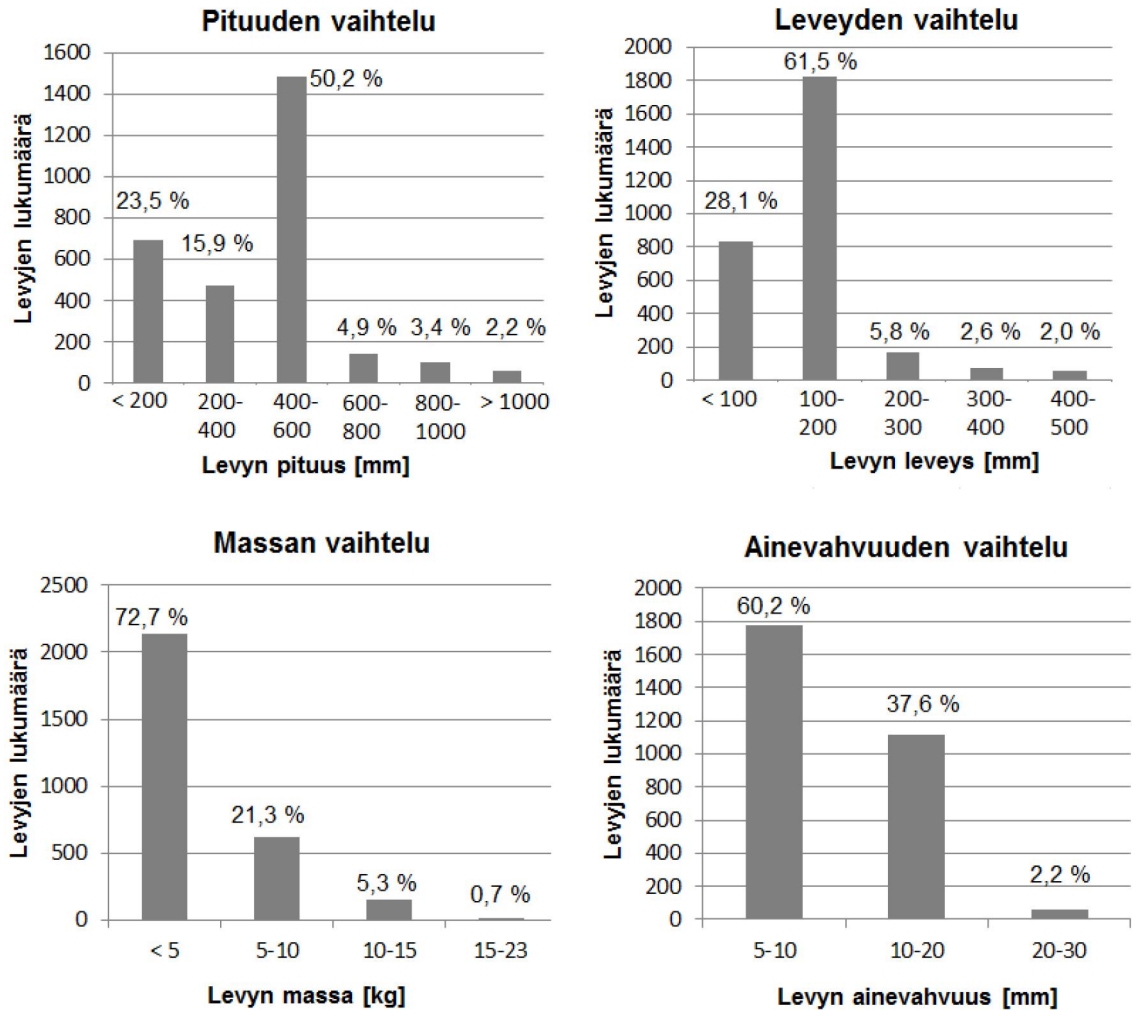


*Kuva 20. Suunnittelutuotteen 5 mitta- ja massaominaisuuksien vaihtelut.*

Suunnittelutuotteen 5 ominaisuuksia esittävistä diagrammeista huomataan, että levykappaleiden lukumäärät ovat enää vain muutamia tuhansia kappaleita. Levykappaleiden pituudet näyttävät jakautuvan melko tasaisesti jokaiseen pituuskategoriiaan ilman yhtä selkeää piikkiä. Leveydet ovat myös pituuden tapaan melko tasaisesti jakautuneet, vaikkakin 2–3 metrin levyisiä kappaleita on lähes puolet kokonaisuudesta. Minkään kategorian osuudet pituuden ja leveyden osalta eivät ole mitättömän pienet. Massan vaihtelussa sen sijaan havaitaan selkeä painottuminen asteikon alkupäähän alle 1000 kg painaviin levyihin. Muiden kategorioiden prosenttiosuuksien nähdään laskevan huomattavasti siirryttäessä painavampiin levyihin. Levykappaleet ovat ainevahvuudeltaan pääosin alle 20 mm paksuisia.

## Suunnittelutuote 7

Kuvassa 21 esitellyn seitsemännen suunnittelutuotteen ominaisuuksia tarkasteltaessa on huomattavaa, että usean edeltävän suunnittelutuotteen ominaisuuksiin verrattuna levykappaleet ovat erittäin lyhyitä, kapeita ja kevyitä.



**Kuva 21.** Suunnittelutuotteen 7 mitta- ja massaominaisuuksien vaihtelut.

Pituuden vaihtelun kuvaajasta huomataan, että levykappaleiden pituudet vaihtelevat asteikkonsa sisällä laajasti. Yli puolet tuotteista on pituudeltaan 400–600 mm ja leveydeltään 100–200 mm. Lisäksi havaitaan, että noin 90 % levykappaleista on pituudeltaan alle 600 mm ja leveydeltään alle 200 mm. Massan vaihtelusta nähdään, että alle kymmenen kilogrammaa painavia kappaleita on valtaosa. Muut massakategoriat muodostavat vain kuuden prosentin osuuden kokonaisuudesta. Levykappaleiden ainevahvuudet painottuvat vahvasti asteikon alaosaan, sillä liki kaksi kolmasosaa kappaleista on ainevahvuudeltaan 5–10 mm.

Pareto-analyysin periaatteet ovat nähtävissä useista suunnittelutuotteiden ominaisuuksia esittävien kuvien 16–21 pylvädiagrammeista. Tarkastelun kohteina olevat ominaisuudet jakautuivat laskevan tai nousevan lukumäärän mukaan. Laskeva trendi voidaan nähdä esimerkiksi suunnittelutuotteen 7 massan vaihtelua kuvaavasta diagrammista ja nouseva trendi suunnittelutuotteen 4 leveyden vaihtelua kuvaavasta diagrammista.

Tuoteanalyysissä tarkasteltiin jokaisen suunnittelutuotteen sisältämien pienten levykappaleiden ja hukkakappaleiden määriä. Tulokset esitettiin taulukossa 5 sivulla 50. Tarkastelu osoitti, että seitsemästä tuoteperheestä kolme sisältää huomattavia määriä pieniä levykappaleita. Seitsemäs tuoteperhe sisälsi pelkästään pieniä levykappaleita ja ensimmäisen tuoteperheen levykappaleista yli 90 % lukeutui pieniksi. Kolmannessa tuoteperheessäkin yli puolet kappaleista oli pieniä. Muissa tuoteperheissä ei ollut kriteerit täyttäviä pieniä levykappaleita. Suurten kappaleiden sisäisiä muotoja leikattaessa syntyvien hukkakappaleiden määrät olivat huomattavia kolmessa tuoteperheessä. Neljännen tuoteperheen valmistusmäärä vuositasolla on 4500 levykappaletta ja näiden ohella syntyy sisäisiä muotoja leikattaessa liki 3000 hukkakappaletta. Viidennen tuoteperheen tapauksessa leikkauksessa syntyvien hukkakappaleiden määrä ylittää tuotteiden valmistusmäärät. Merkittävin määrä hukkakappaleita syntyy kuitenkin toisen tuoteperheen tuotteita valmistettaessa. Hukkakappaleita syntyy yli nelinkertainen määrä valmistettaviin levykappaleisiin verrattuna. Kuvassa 15 esitettiin tuotantojärjestelmässä valmistettavien pienten levykappaleiden suhde muihin levykappaleisiin. Pienten levykappaleiden osuus oli 80 % sisältäen valmistettavat tuotteet ja pienet hukkakappaleet. Muiden levyjen osuus oli 20 %. Esitetty jakauma noudattaa Pareto-analyysin yhteydessä esitettyä 80:20-jakaumaa.

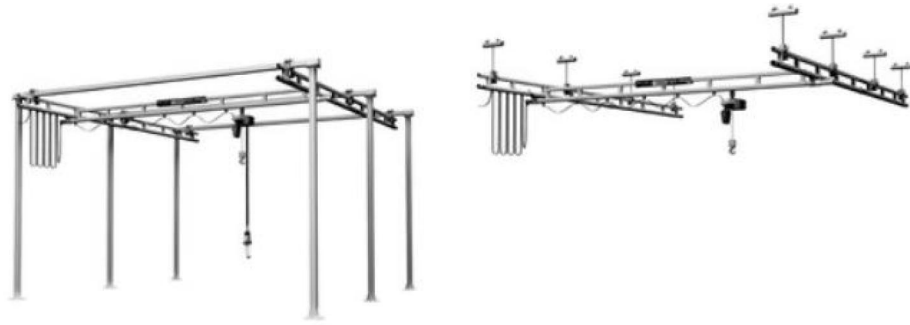
### 5.1.3 Nostolaiteratkaisut

Kyselytutkimuksen tuloksena saatuja nosturijärjestelmiä ja robottijärjestelmiä on analysoitu omina osuuksinaan seuraavissa alaluvuissa. Lopussa on nostettu esille näkökohtia, jotka liittyvät sekä nosturi- että robottiratkaisuihin.

#### Nosturijärjestelmät

Ehdotettujen siltanosturijärjestelmien ja kääntönosturijärjestelmien nostokyvyt kattavat reilusti kriteeriksi asetetun 50 kg kappaleen massan. Lyhyempien, maksimissaan viiden metrin siirtomatkojen tapauksessa kummankin tyyppiset nosturijärjestelmät ovat tarkoitukseen soveltuvia. Pidemmälle, maksimissaan 15 metrin siirtomatalle toimittajan B ehdottama pylväs- tai seinäkääntönosturi ei sovi. Nosturiin kiinnitettäväksi nostimiksi ehdotettiin sähköistä kevennysnostinta, alipainenostinta, sähköistä ketjunostinta ja paineilmakevennintä. Sähköinen ketjunostin on nostimista ainoa, jota ohjataan nostimen varresta irrallaan olevan painikeohjaimen avulla. Muiden kolmen nostimen ohjaus tapahtuu nostimessa olevasta kädensijasta ja painikkeista ohjaamalla.

Nosturitoimittajien A, B ja C ehdottamat kevyet siltanosturijärjestelmät voidaan asentaa kuvan 22 mukaisesti kattoon ripustamalla tai vaihtoehtoisesti lattialle omille jaloilleen tuotantotilasta riippuen. Tuotantotilan korkeudella ja vapaan lattia-alan määrällä sekä tilan layoutilla on vaikutusta nosturin asennustapaan.



**Kuva 22.** Lattiaan ja kattoon asennetut siltanosturijärjestelmät. (Perustuu lähteeseen PWI 2017)

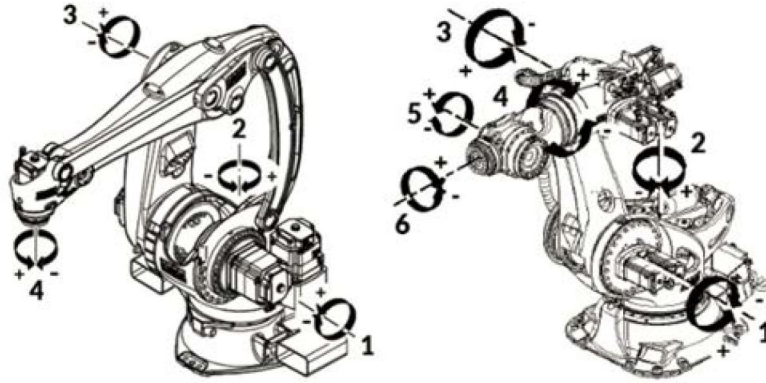
Toimittajan B ehdottama seinäkääntönosturi voidaan asentaa ainoastaan seinään, joten mikäli seinää ei ole nostoalueen lähetyvillä, kääntönosturi voidaan asentaa pylväsmallisena lattiaan. Alumiininen puomi kiinnitetään tällöin teräspylväaseen. Puomin pituudella voidaan vaikuttaa kääntönosturin ulottumaan ja puomin keveydellä liikkeen keveyteen. Toimittajan B mukaan lyhyempi puomi on käyttäjäystävällisempi kuin pitkä puomi. Lisäksi puomin käytettävyys on heikoin pylvään lähellä ja paras puomin päässä. Luvussa 2.2.4 esitetyssä kuvassa 5 on esimerkki puominosturin periaatteesta.

Toimittajien ehdottamat tarraimet eroavat toisistaan tarttumistekniikoillaan. Magneettitarraimella on vaikeampaa hallita levyyn kiinnittymistä, sillä tarraimen magneettivoima voi vaikuttaa myös muihin pinossa oleviin kappaleisiin. Levyn ainevahvuudella, materiaalilla ja pinnanlaadulla on myös vaikutusta magneettitarraimen nostokykyyn ja käyttöön. Imukupitarraimen käyttöä rajoittavat sen sijaan nostettavan kappaleen pinnanlaatu ja pinnan puhtaus. Edellisessä luvussa esitellyt levyjen ainevahvuudet huomioiden alle 15 mm paksuisia levyjä on merkittävä määrä. Ainevahvuuksien perusteella magneettitarraimen käyttö voi asettaa haasteita ohuempien levyjen tapauksessa. Suuret levymäärät huomioiden molemmat tarrantyyppit ovat kuitenkin varteenotettavia vaihtoehtoja, koska yksi nosturijärjestelmä ei ole riittävä näin suuren kappalemäärän käsittelyyn. Tästä johtuen vierekkäisillä purkuasemilla voisi olla keskenään erilaiset nostojärjestelyt. Vaihtoehtojen toimivuutta käytännössä on kuitenkin syytä tutkia vielä tarkemmin.

## Robottijärjestelmät

Toimittajan A ehdottamien robottien merkittävin eroavaisuus on robotin akselien lukumäärä. Ensimmäisen robotin akselimäärä on neljä ja toisen robotin akselimäärä on kuusi. Kuvassa 23 on esitetty neliakselisen ja kuusiakselisen teollisuusrobotin havainnekuvat, jotka osoittavat akselimäärästä aiheutuvat eroavaisuudet. Kuvasta nähdään, että robottien akselit lasketaan alhaalta ylöspäin aina käsivarren päähän saakka. Robotin jokainen kääntyvä kohta edustaa omaa akseliaan. Suurempi akselimäärä sallii robotin asettua monimutkaisempiin asentoihin kuin pienempi akselimäärä.





**Kuva 23.** Neliakselisen ja kuusiakselisen teollisuusrobotin periaatekuvat. (Perustuu lähteeseen Con-vey Keystone 2017)

Toimittajan B ehdottamien robottien käsittelykyvyt, 70 kg ja 125 kg, ovat huomattavasti pienemmät kuin toimittajan A ehdottamien robottien käsittelykyvyt, 250 kg ja 300 kg. Kaikkien neljän robotin käsittelykyvyt ovat kuitenkin hyvin riittävät huomioiden maksimissaan 50 kg painavien kappaleiden siirtelytarpeen. Ehdotettujen robottien asennustavat olivat keskenään hieman erilaisia. Kaikki neljä robottia on mahdollista asentaa lattialle. Toimittajan A toinen robotti ja toimittajan B ensimmäinen robotti ovat asennettavissa myös vaihtoehtoisesti ylösalaisin. Luvussa 2.2.4 esitellyn teorian mukaan ylösalaisin asennettu robotti mahdollistaa laajan ja katveettoman työskentelyalueen.

Materiaalinkäsittelyn siirtomatkojen määritettiin olevan joko maksimissaan viisi metriä tai maksimissaan 15 metriä. Siirtomatkat huomioiden toimittajan A molempien robottien ja toimittajan B toisen robotin käsivarsien kolmen metrin ulottumat riittävät lyhyemmän siirtomatkan hallintaan ilman lineaariradalle asentamista. Toimittajan B ensimmäisen robotin ulottuvuussäde on kaksi metriä, joten robotti tulisi asentaa radalle jo viiden metrin siirtomatalla. Jos siirtomatka on maksimissaan 15 metriä, lineaariradalle asentaminen on välttämätöntä kaikkien neljän ehdotetun robotin tapauksessa. Mikäli robotti on tarpeen asentaa lineaariradalle, radan suunnitteluun vaikuttaa merkittävästi tuotantotilan layout, sillä lineaarirata voi olla lyhyempi kuin tarvittava siirtomatka, mikäli robotin käsivarren ulottuvuus on hyödynnettävissä.

## Muut huomioitavat näkökohdat

Sekä robottitoimittajat että nosturitoimittajat korostivat antamiensa ehdotusten olevan suuntaa antavia ratkaisuja sähköpostikyselyssä esitetyille kriteereille. Ehdotukset perustuivat levykappaleiden mittoihin ja massaan sekä suuriin käsittelymääriin. Nostolaitteita ja teollisuusrobotteja on saatavilla lukuisia variaatioita ja erikoissuunniteltuja versioita eri käsittelykapasiteeteilla. Kaikki laitetoimittajat huomauttivat, että tarkemmat suunnittelut ja laskelmat tulee tehdä yhteistyössä kohdeyrityksen tuotannon kanssa. Diplomi työn puitteissa tehty valmistustekniikan nostolaiteratkaisuihin liittyvä selvitys perustui ainoastaan kohdeyrityksen tuotantojärjestelmästä tehtyyn tuoteanalyysiin. Luvun 2.2.3

kuvan 3 mukaiset tuotantojärjestelmien suunnittelun osa-alueet tulisi huomioida kokonaisvaltaisesti suunnittelutyötä ja päätöksentekoa tehtäessä. Uuden tuotantojärjestelmän suunnittelutyöt ovat vielä keskeneräisiä, joten on epätodennäköistä, että tässä vaiheessa kyettäisiin vielä tekemään tarkkoja suunnitelmia ja lopullisia päätöksiä laitehankinnoista.

Tuotantojärjestelmien suunnittelun osa-alueiden lisäksi nostolaitteiden suunnittelussa tulisi huomioida luvussa 2.3 esiteltyt työympäristön turvallisuussuunnittelun periaatteet. Koska pieniä levykappaleita tullaan siirtämään suuria määriä, työn suorittaminen manuaalisesti on monotonista. Nosturitoimittajat myös huomauttavat, että suurten käsittelymäärien tapauksessa työtä tulisi tehdä rinnakkain useamman työntekijän voimin. Työntekijöiden hyvinvointi huomioiden työnkierto tulisi suunnitella siten, että työtehtävät vaihtuisivat aika ajoin. Kyseiset näkökulmat puoltaisivat robottiratkaisujen tarkempaa harkintaa, jolloin yksipuolinen työtehtävä olisi mahdollista poistaa ihmistyön alaisuudesta. Laittevalintoihin liittyen tulisi lisäksi arvioida kunkin vaihtoehdon tilantarve ja laitteiden asennukseen liittyvät vaatimukset. Nostolaitteiden tapauksessa edellytetään, että nostoalusta on tasainen ja kantava. Teollisuusrobottien tapauksessa robotin työalue tulisi eristää esteiden, kuten turva-aitojen, tai muiden suojamenetelmien avulla. Laittevalintoja tehtäessä tulisi myös tuntea perusteellisesti koneen käytön raja-arvot, käyttöön liittyvät vaarat sekä riskien suuruudet.

## **5.2 Tutkimusaineiston, tutkimusmenetelmien ja tutkimustulosten luotettavuus**

Työn käytännön osuutta tutkittiin laadullisia ja määrällisiä tutkimusmenetelmiä hyödyntämällä. Tutkimusaineistoina käytettiin kohdeyrityksen dokumentteja, asiantuntijoiden ja suunnittelijoiden kanssa käytyjä vuoropuheluita sekä sähköpostikyselyn avulla kerättyä vastausaineistoa. Kohdeyrityksen dokumenttien ajantasaisuutta ja päivityshistoriaa seurattiin tutkimuksen aikana, koska tiedossa oli, että useimpiin dokumentteihin tulee muutoksia ja tarkennuksia keskeneräisten projektien vuoksi. Prosessikuvauksen tavoitteiden täyttämiseksi kokoneiden suunnittelijoiden kanssa keskusteltiin erilaisten suunnitteluosuuksien lähtötietotarpeista. Keskusteluissa kerätyn aineiston ja palautteen perusteella alustavaa prosessikuvausta muokattiin ja täydennettiin käyttötarkoituksensa vaatimukset täyttäväksi. Prosessikuvauksen laadinnassa käytettyjä tutkimusmenetelmiä voitiin pitää luotettavina, sillä niiden avulla aikaansaatiin tarkoituksenmukainen prosessikuvaus. Avainasemassa olivat kohdeyrityksen asiantuntijoiden ja suunnittelijoiden antamat panokset tutkimuksen vaiheiden arvioinnissa sekä lopulta prosessikuvauksen tarkastus- ja hyväksymiskierrossa. Prosessikuvauksen sisällön luotettavuutta lisäsi useamman asiantuntijan osallistuminen tutkimuksen vaiheisiin ja arviointiin.

Uuden tuotantojärjestelmän tuoteanalyysin tekemisessä hyödynnettiin vanhasta tuotantojärjestelmästä tilastoitua tietoa. Aineiston sisältö ja ominaisuudet suhteutettiin ja arvi-

oitiin uuden tuotantojärjestelmän tarpeita vastaaviksi kohdeyrityksen asiantuntijoiden avustuksella. Tutkimus oli numeerisen datan käsittelyä ja analysointia tuotteiden samankaltaisiin ominaisuuksiin ja käyttötarkoitukseen perustuen. Määrällinen tutkimus soveltui hyvin tutkimusongelman tarkasteluun ja tavoitteisiin vastaavan lopputuloksen aikaansaamiseen.

Nostolaiteratkaisujen kartoituksessa hyödynnettiin tutkimusmenetelmänä kyselytutkimusta. Sähköpostikyselyä laadittaessa tiedostettiin tutkimusmenetelmään liittyvä epävarmuus vastausmääriin sekä väärinkäsitysten syntymisen mahdollisuuteen liittyen. Kysely pyrittiin tekemään yksiselitteiseksi ja selkeäksi. Lisäksi se muodostettiin tarkoituksella mahdollisimman lyhyeksi, jotta vastaanottajilla olisi aikaa ja mielenkiintoa perehtyä sen sisältöön. Puolet kyselyn vastaanottaneista yrityksistä vastasi lähetettyyn kyselyyn. Kunkin laitetoimittajan vastauksia voitiin yksilöinä pitää luotettavina, sillä vastaajat ovat toimialojensa asiantuntijoita. Vastausten vähäisestä määrästä johtuen tutkimustulosten laajuus ja kattavuus kärsivät. Positiivisena piirteenä pidettiin kuitenkin sitä, että sekä nosturi- että robottijärjestelmistä saatiin vähintään kahdelta eri toimijalta ehdotukset. Näin vastausten ja nostolaiteratkaisujen keskinäinen vertailu oli mahdollista. Vastauksia vertailtaessa havaittiin, että ehdotetuissa laiteratkaisuissa tulivat esille samat piirteet. Vastausten samankaltaisuus lisäsi hieman tutkimustulosten keskinäistä ja laajempaa luotettavuutta ja yleistettävyyttä.

### 5.3 Jatkotoimenpide-ehdotukset

Tuoteanalyysin tulokset antoivat tietoa tuotantojärjestelmässä valmistettävien suunnitellutuotteiden ominaisuuksista. Kunkin suunnittelutuotteen ominaisuuksien vaihtelua kuvattiin hajonnalla sekä prosenttiosuuksilla. Hajontatietoja ja prosenttiosuuksia olisi mahdollista hyödyntää jatkossa leikkausjärjestelmän polttokarttojen suunnittelussa ja levymateriaalin hukan minimoimisessa. Kappaleiden sijoittelu leikattavaan levyyn tulisi suunnitella siten, että mahdollisimman pieni määrä levyn pinta-alasta jää hyödyntämättä leikkauksen yhteydessä. Olisi myös syytä tutkia, voisiko yhdelle levyille sijoittaa vain yhden tuoteperheen kappaleita, jolloin purkujärjestelyt kannattaisi suunnitella tuoteperhekohtaisesti. Näin ollen pienet levykappaleet leikattaisiin vain tietyistä levyistä ja niiden kuljetus leikkaukskoneilta olisi mahdollista keskittää yhdelle purkupaikalle. Samalle purkupaikalle olisi myös syytä ohjata tuoteperheen 2 levykappaleet, joiden leikkauksessa syntyy suuri määrä pieniä hukkakappaleita. Tällöin yhdellä purkupaikalla siirrettävien pienten kappaleiden määrä olisi niin suuri, että teollisuusrobotin nopeus kappaleenkäsittelyssä pääsisi oikeuksiinsa monotonisen työn teossa. Tuoteperheisiin perustuvassa polttokarttasuunnittelussa isojen levykappaleiden tapauksessa leikattavaan levyyn saat-taisi jäädä paljonkin tyhjää tilaa, jota ei saman tuoteperheen tuotteilla pystytä täyttämään. Tällöin levymateriaalia saattaisi jäädä huomattava määrä hyödyntämättä. Mikäli levyjen polttokartat sisältäisivät sekä suuria että pieniä kappaleita, purkuasemien tulisi

sisältää keskenään samat purkujärjestelyt, jotta kaiken kokoiset kappaleet kyettäisiin purkamaan purkuasemasta riippumatta.

Tuoteanalyysin tuloksia voisi myös hyödyntää kapasiteetilaskelmissa, joiden avulla voidaan tarkastella tarvittavien nostolaitteiden ja kuljetusalustojen lukumääriä suhteessa käsiteltäviin levymääriin. Nostolaitteiden ja kuljetusalustojen tilantarpeet tulisi huomioida purkualueen layout-suunnittelussa. Koska pieniä levykappaleita on lukumäärällisesti paljon, niille tarkoitettut kuljetusalustat olisi järkevää sijoittaa lähelle purkuasemia ja nostolaitteita, jotta siirtomatkat ja käsittelyn vaatimat ajat olisivat mahdollisimman lyhyitä. Kun samalla alueella on paljon samaan aikaan tapahtuvia toimintoja, voi olla vaarana, että koneiden liikeradat risteävät ja saattaa tapahtua törmäyksiä. Tästä syystä olisi aiheellista mallintaa kolmiulotteisesti laitteiden liikeradat toistensa suhteen ja varmistaa jokaiselle laitteelle riittävä ja turvallinen toiminta-alue. Pienten levykappaleiden käsittelyyn soveltuvien nostolaiteratkaisujen tarkemmassa arvioinnissa kannattaisi myös tehdä kustannuslaskelmat kullekin vaihtoehdolle. Laitteiden hankintakustannusten lisäksi olisi huomioitava muun muassa tarvittavien perustus- ja rakennustöiden kustannukset laitteiden asennusta varten samoin kuin laitteiden varustelutaso.

Prosessikuvauksessa tarkasteltua prosessia voisi mallintaa tietokoneympäristössä kokonaisuutena, joka kattaisi purkuasemien erilaisten nostolaiteratkaisujen sisällyttämisen simulointimalliin. Simuloinnilla olisi mahdollista verrata ja testata erilaisia nostolaitte- ja layout-vaihtoehtoja riskittömässä virtuaaliympäristössä. Levykappaleiden ominaisuuksien hajontatietoja ja prosenttiosuuksia voisi hyödyntää purkuasemien toiminnan simuloinnissa siten, että mallinnus vastaisi todellisia levymääriä, levyvariaatioita ja levykokoja. Simulointi voi paljastaa erilaisiin ratkaisuvaihtoehtoihin liittyvät edut ja haitat, jotka muutoin voisivat olla vaikeasti havaittavissa. Simuloimalla olisi mahdollista verrata teollisuusrobotin ja manuaalisten nostureiden toiminnan nopeutta samoissa tehtävissä. Ihmistyön alaisuudessa toimivat nosturit voivat simuloinnissa osoittautua tuotantoa hidastavaksi, työjonoa kasaavaksi työvaiheeksi ellei useampi työntekijä tee vastaavaa työtä samanaikaisesti. Eri nostolaiteratkaisujen ominaisuuksien ja kuormitusmäärien vertailu tietokoneella mallintamalla voisi antaa hyödyllistä tietoa kone- ja laitevalintojen päätöksenteon tueksi. Simulointitulokset, sekä animaatioiden, taulukoiden ja kuvaajien muodossa, voisivat antaa tärkeää tietoa myös seuraavien tuotantovaiheiden suunnittelua ajatellen.

Tuotantojärjestelmän toimintaa voisi olla hyödyllistä simuloida myös edeltävien ja seuraavien tuotantovaiheiden osalta. Näin olisi mahdollista nähdä edeltävissä vaiheissa tehtyjen päätösten vaikutus seuraavien vaiheiden toteutukseen pitkällä tähtäimellä. Simuloinnin avulla olisi myös mahdollista vertailla vanhan ja uuden tuotantojärjestelmän ominaisuuksia, kuten tuotannon vaihe- ja läpäisyajoja, sitten kun uusi tuotantojärjestelmä on saatu toimintaan ja sen toiminnasta on tallennettua tietoa. Tulevaisuudessa tuotannossa tapahtuvat muutokset ja tuotannon uudelleensuunnittelun tarpeet saattaisivat

olla testattavissa virtuaaliympäristössä ilman reaali maailman tuotantotiloissa tapahtuvia muutuskokeiluja ja tuotannon keskeytyksiä.

Kun tuotantojärjestelmiä suunnitellaan tai vanhoja järjestelmiä muokataan, suunnittelu-työssä olisi järkevää pyrkiä välttämään Lean-filosofian yhteydessä esiteltyjä hukkien muotoja. Kuljetus- ja siirtojärjestelmien suunnittelussa tulisi pyrkiä minimoimaan siirrettävät matkat, jotta jalostamattomiin toimenpiteisiin ei kuluteta aikaa enempää kuin on tarpeen. Automaatiolla toimivia järjestelmiä suunniteltaessa olisi järkevää pyrkiä siihen, että järjestelmät olisivat tilantarpeiltaan kompakteja, mikäli työntekijöiden ei ole tarpeen kulkea järjestelmän läpi tai työskennellä sen yhteydessä jatkuvasti.

## 5.4 Tutkimuksen tavoitteiden saavuttaminen

Diplomityön tutkimuksen tavoitteena oli tehdä uuden teräslevyjen käsittelyä ja leikkausta tekevän tuotantojärjestelmän toimintaa kuvaava prosessikuvaus. Prosessikuvauksen tuli muodostaa yleiskuva tarkasteltavasta prosessista sisältäen tekstimuotoista kuvausta ja visuaalisia, prosessin kulkua kuvaavia prosessikaavioita. Prosessikuvausta on tarkoitus hyödyntää suunnittelijoiden lähtötietona tuotantojärjestelmään liittyvissä suunnittelehtävissä. Tutkimuksen tavoitteena oli myös tarkastella tuotantojärjestelmässä valmistettavien levykappaleiden kirjoa tuoteanalyysin avulla. Tuoteanalyysin avulla tuli muodostaa kattava kuva tuotantojärjestelmässä valmistettavista tuoteperehistä sekä tuotteiden mitta- ja massaominaisuuksista. Tuoteanalyysin tuloksiin perustuen tuli lisäksi selvittää pienille levykappaleille soveltuvia nostolaiteratkaisuja.

Työn tuloksena syntynyt prosessikuvaus vastasi sille asetettuihin tavoitteisiin ja vaatimuksiin. Kuvauksesta saatiin työn edetessä välitöntä palautetta usealta kohdeyrityksen asiantuntijalta. Kohdeyrityksen aktiivinen osallistuminen ja kuvauksen kriittinen arviointi myötävaikuttivat prosessikuvauksen tarkoituksenmukaiseen muotoutumiseen niin sisällöltään kuin myös dokumentin ulkoisin piirtein. Prosessikuvauksen hyödyntäminen suunnittelijoiden lähtötietona alkoi osittain jo ennen kuvauksen lopullista valmistumista. Kuvauksesta saadun palautteen mukaan dokumentti antoi olennaista lähtötietoa turvallisuussuunnittelun tekemiseen, riskien arviointiin sekä tuotantojärjestelmän turvallistamiseen. Kuvausta hyödynnettiin lähtötietona myös automaatio suunnittelussa, jossa oli tarpeen tehdä erilaisten automaatiojärjestelmien yhteensovittamista katkeamattoman tiedonkulun ja toimintojen turvaamiseksi.

Tuoteanalyysin tulosten nähtiin ylittävän sille asetetut odotukset. Tuoteanalyysi osoitti valmistettavien kappaleiden säännönmukaisuutta ja jakautumista keskenään erilaisiin ryhmiin. Tutkimusyksiköiden eli tuotannossa valmistettavien levykappaleiden ominaisuuksia tarkasteltiin ja vertailtiin eri muuttujien suhteen. Analyysissä huomioitiin tuotantojärjestelmässä valmistettavien tuoteperehiden lisäksi valmistuksessa syntyvien pienten hukkakappaleiden määrät. Hukkakappaleiden kokoihin ja lukumääriin ei ollut kohdeyrityksessä aiemmin kiinnitetty tarkempaa huomiota. Analyysin tulokset osoitti-

vat, että valmistuksessa syntyy tuotteiden ohella merkittävä määrä pieniä hukkakappaleita. Kaikki leikatut kappaleet tulee poimia purkuasemilla riippumatta siitä, onko poimittava kappale valmistettu tuote vai jätettä. Pienten hukkakappaleiden määrät tullaan ottamaan huomioon polttokarttojen ja purkuasemien nostolaittejärjestelyiden suunnittelussa.

Nostolaiteratkaisujen selvitys kohdennettiin pieniin kappaleisiin, joihin sisältyvät pienet levykappaleet ja hukkakappaleet. Tulokset olivat odotetun kaltaiset. Pienten kappaleiden materiaalinkäsittelyä on suositeltavaa tehdä joko työntekijöiden ohjaamin manuaalikäyttöisin nostimin tai teollisuusrobotin suorittamana. Mikäli pienet kappaleet olisivat mahdollista saada järkevästi keskitettyä yhdelle purkuasemalle, teollisuusrobotin käsittelynopeus ja keskeytyksetön työnteko pääsisivät oikeuksiinsa. Mutta mikäli pieniä kappaleita ei ole mahdollista keskittää yhdelle purkuasemalle, niiden poiminta voi olla järkevintä tehdä manuaalisesti. Kasvavat tuotantomäärät huomioiden teollisuusrobotin hyödyntämisen mahdollisuutta tulisi kuitenkin tutkia tarkemmin. Tehdyt tulkinnat perustuvat työn tulosten vertaamisesta materiaalinkäsittelyn teoriatietoon. On korostettava, että tarkempi valmistustekninen suunnittelu tulee tehdä yhteistyössä kohdeyrityksen tuotannon kanssa ja ottaa huomioon kaikki suunnittelun osa-alueet yhtenäisenä kokonaisuutena. Diplomityön rajallisen ajankäytön puitteissa nostolaiteratkaisujen selvitys jäi vaille tarkempaa suunnittelua kohdeyrityksen tuotannon kanssa.

Työstä saadun palautteen perusteella työn nähtiin saavuttavan ja osittain ylittävän sille asetetut tavoitteet. Työ oli osana laajaa ja pitkään kestävää projektia. Tästä johtuen työn tulosten kaikkia vaikutuksia käynnissä oleviin osaprojekteihin ja seuraaviin suunnittelun osa-alueisiin ei nähty diplomityön ajanjakson aikana.

## 6. YHTEENVETO

Diplomityössä keskityttiin teräslevytuotantoa harjoittavan kohdeyrityksen tuotantojärjestelmän toimintaan. Työn tavoitteena oli laatia teräslevytuotantoa kuvaava prosessikuvaus sekä tutkia tuotantojärjestelmässä valmistettavia levykappaleita tuoteanalyysin avulla. Tuoteanalyysin tuloksiin perustuen tuli lisäksi selvittää pienten kappaleiden nostamiseen ja siirtämiseen soveltuvia laiteratkaisuja. Työn kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltiin työn käytännön osuuden kannalta keskeisimpiä aihealueita, joihin kuuluivat tuotanto ja tuotantojärjestelmän suunnittelu, turvallisen työympäristön suunnittelu sekä prosessien kuvaaminen. Tuotannollisen toiminnan periaatteisiin tutustuminen oli kohdeyrityksen toiminnan ja tuotannon ominaisuuksien ymmärtämisen kannalta tärkeää. Prosessien kuvaamisen teoriatieto antoi perustan teräslevytuotannon prosessikuvauksen laatimiselle. Turvallisuussuunnittelun perusteisiin oli olennaista perehtyä, koska prosessikuvauksen tuli antaa lähtötietoja turvallisuusteknisen suunnittelun tekemiselle. Koneiden ja laitteiden toimintaan liittyviin turvallisuusnäkökohtiin oli myös tärkeää tutustua tuotannon valmistusteknisten ratkaisujen suunnitteluun vaikuttavien tekijöiden ymmärtämiseksi. Kirjallisuuskatsauksessa perehdyttiin myös tutkimusmenetelmiin, tutkimusaineistoihin ja tutkimustulosten esittämiseen liittyviin teoriatietoihin.

Työn käytännön osuutta tehtiin erilaisia laadullisen ja määrällisen tutkimuksen menetelmiä hyödyntämällä. Prosessikuvauksen teossa tutkimusaineistona käytettiin yrityskohtaisia dokumentteja ja suunnittelijoiden kanssa käytyjä keskusteluita kuvauksen sisältämien lähtötietotarpeiden selvittämiseksi. Tuotantojärjestelmälle tehdyn tuoteanalyysin tutkimusaineistona hyödynnettiin kohdeyrityksen vanhasta tuotantojärjestelmästä tilastoituja numeerisia aineistoja. Aineistojen sisällöt suhteutettiin uuden tuotantojärjestelmän toimintaa vastaavaksi. Tuoteanalyysin tuloksiin perustuneen nostolaiteratkaisujen selvitys tehtiin sähköpostikyselynä, johon saatiin vastauksia sekä nosturi- että robotitoimittajilta. Käytännön osuuden tutkimuksen tekeminen oli aktiivista ja osallistuvaa. Tehdyt tutkimusvaiheet ohjasivat ja suuntasivat tutkimuksen jatkoa dynaamisessa tutkimusympäristössä.

Tutkimuksen tuloksina syntyivät teräslevytuotannon toimintaa kuvaava prosessikuvaus, tuotantojärjestelmässä valmistettavia levykappaleita käsittelevä tuoteanalyysi sekä selvitys pienten kappaleiden nostamiseen ja siirtämiseen soveltuvista nostolaiteratkaisuista. Prosessikuvaus on muodoltaan tekstimuotoinen dokumentti, jonka sisältöä tiivistävät tuotantoprosessin päävaiheita kuvaavat prosessikaaviot. Tuotteiden analysoinnissa valmistettavat levykappaleet jaoteltiin seitsemään tuoteperheeseen, joiden mitta- ja massaominaisuuksia tarkasteltiin tarkemmin ominaisuuksien vaihteluihin ja hajontaan perustuen. Tuoteanalyysi osoitti, että tuotantojärjestelmässä valmistettavista kappaleista suu-

rin osa on luokiteltavissa pieniksi kappaleiksi, joiden massat ovat alle 50 kg sekä leveys ja pituus alle metrin. Merkittävä havainto tehtiin suurten levykappaleiden leikkauksen yhteydessä syntyvien pienten hukkakappaleiden määrästä, joihin ei ollut aiemmin kiinnitetty tarkempaa huomiota. Pieniä hukkakappaleita syntyy kaksinkertainen määrä verrattuna tuotteiksi valmistettavien pienten levykappaleiden lukumääriin. Hukkakappaleet tulee myös nostaa ja siirtää valmistettavien tuotteiden tapaan purkuasemilta, minkä seurauksena materiaalinkäsittelyn suunnittelussa on syytä huomioida myös hukkakappaleiden määrät. Tuoteanalyysin tuloksiin perustuen nostolaiteratkaisuja selvitettiin ainoastaan pienten kappaleiden käsittelyyn liittyen. Kyselytutkimuksen tulosten perusteella pienten kappaleiden käsittelyyn soveltuvat kevyet siltanosturijärjestelmät, pylväs- ja seinäkääntönosturit sekä teollisuusrobotit. Nostureihin kiinnitettävistä nostimista saatiin erilaisia vaihtoehtoja. Levyihin tarttumisen suositeltiin tehtäväksi magneetti- tai imukuppitarraimen avulla. Valmistustekniikan laiteratkaisujen valinnan ja hankintapäätösten tekemiseksi edellytetään kuitenkin nostolaiteratkaisujen tarkempaa arviointia ja suunnittelua yhdessä kohdeyrityksen tuotannon kanssa. Työssä tehty kyselytutkimus perustui ainoastaan tuotantojärjestelmän tuoteanalyysin tuloksiin. Tarkemmassa suunnittelussa tulisi huomioida kaikki tuotantojärjestelmien suunnitteluun kuuluvat osa-alueet kokonaisvaltaisesti.

Työn nähtiin täyttävän ja osittain ylittävän sille asetetut vaatimukset ja tavoitteet saadun palautteen perusteella. Kohdeyrityksen asiantuntijoiden antama ohjeistus ja tutkimuksen vaiheiden kriittinen arviointi olivat avainasemassa tutkimustyön onnistuneessa läpiviemisessä ja tarpeisiin vastaavien tulosten saavuttamisessa. Prosessikuvaus antaa olennaista lähtötietoa tuotantojärjestelmän seuraavien suunnitteluvaiheiden tekemiselle. Tuoteanalyysin tuloksia voidaan hyödyntää nostolaiteratkaisujen tarkemman suunnittelun lisäksi myös muissa suunnittelutehtävissä, joissa valmistettavien levykappaleiden jaottelun sekä mitta- ja massaominaisuuksien tunteminen on tärkeää.



## LÄHTEET

Aguilar-Savén, R.S. (2004). Business process modelling: Review and framework, *International Journal of Production Economics*, Vol. 90, pp. 129–149. Saatavissa (viitattu 17.10.2017): [http://secure.com.sg/courses/ICT353/Session\\_Collateral/TOP\\_04\\_ART\\_03\\_ARTICLE\\_AGUILAR\\_Biz\\_Proc\\_Modelling.pdf](http://secure.com.sg/courses/ICT353/Session_Collateral/TOP_04_ART_03_ARTICLE_AGUILAR_Biz_Proc_Modelling.pdf).

Alasuutari, P. (1999). *Laadullinen tutkimus*, 3. painos, Vastapaino, Jyväskylä, Suomi, 317 s.

Alkula, T., Pöntinen, S. & Ylöstalo, P. (1994). *Sosiaalitutkimuksen kvantitatiiviset menetelmät*, WSOY, Helsinki, Suomi, 318 s.

Aveyard, H. (2010). *Doing a Literature Review in Health And Social Care*, 2nd Edition, MacGraw-Hill Education, Maidenhead, U.K., 180 p.

Bellgran, M. & Säfsten, K. (2010). *Production Development. Design and Operation of Production Systems*. Springer-Verlag, London, United Kingdom, 351 p.

Bryman, A. & Bell, E. (2007). *Business Research Methods*, Oxford University Press, Oxford, UK, 786 p.

Böllinghaus, T., Byrne, G., Cherpakov, B.I., Chlebus, E., Cross, C.E., Denkena, B., Dilthey, U., Hatsuzawa, T., Herfurth, K., Herold, H., Kaldos, A., Kannengiesser, T., Karpenko, M., Karpuschewski, B., Marya, M., Mayea, S.K., Matthes, K.-J., Middeldorf, K., Oliveira, J.F.G., Pieschel, J., Priem, D.M., Riedelm F., Schleser, M., Tekkaya, A.E., Todtermuschke, M., Vereschaka, A., von Hofe, D., Wagner, N., Wodara, J. & Woeste, K. (2009). *Manufacturing Engineering*. In: Grote, K.-H. & Antonsson, E.K. (ed.) *Springer Handbook of Mechanical Engineering*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Germany, pp. 523–785.

Chlebus, E. (2009). *Rapid Prototyping and Advanced Manufacturing*. In: Grote, K.-H. & Antonsson, E.K. (ed.) *Springer Handbook of Mechanical Engineering*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Germany, pp. 733–768.

Con-Vey Keystone. (2017). *Automation – 4-axis robots, 6-axis robots*. Con-Vey Keystonen verkkosivut. Saatavissa (viitattu 8.12.2017): <http://www.con-vey.com/divisions/automation/>.

Ehrlich, B.H. (2002). *Transactional Six Sigma and Lean Servicing: leveraging manufacturing concepts to achieve world class service*, CRC Press LLC, Florida, USA, 296 p.

ElMaraghy, H.A. & ElMaraghy, W.H. (2014). Variety Complexity and Value Creation. Teoksessa Zaeh, M.F. (2014). Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2013). Springer International Publishing, Cham, Switzerland, pp. 1–7.

El-Reedy, M.A. (2016). Project Management in the Oil and Gas Industry, John Wiley & Sons, Inc. and Scrivener Publishing LLC, Hoboken and Salem, USA, 339 p.

Encyclopædia Britannica. (2017). Sähköinen tietosanakirja. Saatavissa (viitattu 16.11.2017): <https://www.britannica.com/>

George, M.O. (2010), The Lean Six Sigma Guide to Doing More With Less: Cut Costs, Reduce Waste, and Lower Your Overhead, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA, 327 p.

Granhölm, G. (2013). Katsaus kompleksisten järjestelmien elinkaaren suunnitteluun, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Espoo, Suomi, 121 s. Saatavissa (viitattu 31.10.2017): <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T121.pdf>.

Gudehus, T. & Kotzab, H. (2012). Comprehensive Logistics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 912 p.

Hakala, J.T. (2010). Tutkimusmenetelmän valinnasta. Teoksessa Aaltola, J. & Valli, R. (toim.) Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1 – Metodien valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle, 3. painos, PS-Kustannus, Jyväskylä, Suomi, s. 12–25.

Haverila, M.J., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. (2009). Teollisuustalous, Infacs Oy, Tampere, Suomi, 510 s.

Heikkilä, J. & Ketokivi, M. (2005). Tuotanto murroksessa – Strategisen johtamisen uusi haaste, Talentum, Helsinki, Suomi, 272 s.

Heikkinen, H.L.T. (2010). Toimintatutkimus – Toiminnan ja ajattelun taitoa. Teoksessa Aaltola, J. & Valli, R. (toim.) Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1 – Metodien valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle, 3. painos, PS-Kustannus, Jyväskylä, Suomi, s. 214–229.

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (2000). Tutkimushaastattelu. Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki University Press, Helsinki, Suomi, 213 s.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (2000). Tutki ja kirjoita, 5. painos, Kirjayhtymä Oy, Tampere, Suomi, 432 s.

Hubka, V. & Eder, E.E. (1988). *Theory of Technical Systems – A Total Concept Theory for Engineering Design*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Germany, 275 p.

Karimaa, E. (2002). *Julkisen sektorin prosessien kuvaukset. Yleinen rakenne, esitysmuoto ja käsitteet*. Suomen Kuntaliitto, Helsinki, Suomi, 45 s.

Kauppinen, P., Kivistö, I. & Strömberg, O. (1985). *Tuotannonohjaus metalliteollisuudessa*, Valtion painatuskeskus, Helsinki, Suomi, 162 s.

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Metso, T. & Putkonen, K. (2001). *Koneautomaatio 2 – Logiikat ja ohjauksjärjestelmät*, WSOY, Helsinki, Suomi, 410 s.

Kiiskinen, S., Linkoaho, A. & Santala, R. (2002). *Prosessien johtaminen ja ulkoistaminen*, WS Bookwell Oy, Porvoo, Suomi, 202 s.

Koneturvallisuusasetus 12.6.2008/400. (2008). Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta, Finlexin verkkosivut (oikeusministeriön omistama oikeudellisen aineiston julkinen ja maksuton Internet-palvelu). Saatavissa (viitattu 16.11.2017): <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400>.

Koneturvallisuusseite. (2015). *Koneturvallisuuden standardit*, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Suomen Standardisoimisliiton verkkosivut. Saatavissa (viitattu 17.10.2017): <https://www.sfs.fi/files/63/Koneturvallisuusseite2015web.pdf>.

Kuivanen, R., Aalto, H., Heilala, J., Hirvelä, T., Laitinen, M., Lehtinen, H., Lempiäinen, J., Lylynoja, A., Renfors, J., Selin, K., Siintoharju, T., Temmes, J., Tuovila, T., Veikkolainen, M., Vihinen, J. & Virtanen, A. (1999). *Robottiikka*, Suomen Robottiikkayhdistys ry, Vantaa, Suomi, 188 s.

Laakko, T. (1998). *Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu*, WSOY, Porvoo, Suomi, 311 s.

Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. (1997). *Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät*, WSOY, Porvoo, Suomi, 398 s.

Lecklin, O. (1999). *Laatu yrityksen menestystekijänä*, Kauppakaari Oyj, Jyväskylä, Suomi, 442 s.

Lewis, J.P. (2006). *Fundamentals of Project Management*, 3<sup>rd</sup> Edition, AMACOM, a division of American Management Association, New York, USA, 176 p.

Liker, J.K. (2004). *The Toyota Way*, McGraw-Hill, New York, USA, 330 p.

Martinsuo, M. & Blomqvist, M. (2010). *Prosessien mallintaminen osana toiminnan kehittämistä*, Tampereen teknillinen yliopisto, Teknis-taloudellinen tiedekunta, Tampere, 23 s. Saatavissa (viitattu 17.10.2017): <https://tutcris.tut.fi/portal/en/publications/>

prosessien-mallintaminen-osana-toiminnan-kehittamista(0fcee334-b120-4b28-9433-c996a0d24657).html.

Miettinen, P. (1993). Tuotannonohjaus ja logistiikka, ATK-Instituutti, Helsinki, Suomi 102 s.

Modig, N. & Åhlström, P. (2013). Tätä on Lean. Ratkaisu tehokkuusparadoksiin, Rheologica Publishing, Tukholma, Ruotsi, 167 s.

Moisio, J. & Ritola, O. (2001). ISO 9000:2000 ja menestyksen avaimet: vinkkejä pohdiskelijoille, Suomen Standardisoimisliitto (SFS ry), Helsinki, Suomi, 163 s.

Muther, R. & Hales, L. (2015). Systematic Layout Planning, 4<sup>th</sup> Edition, Management & Industrial Research Publications, Marietta, USA, 400 p.

PWI, Paul's Welding Inc. (2017). Workstation Bridge Cranes. PWI:n verkkosivut. Saatavissa (viitattu 8.12.2017): <http://www.pwiworks.com/page/317/Workstation-Bridge-Cranes>.

Robottiikan opetusmateriaali. (2016). Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan koulutusalan verkkosivut. Saatavissa (viitattu 8.11.2017): [http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf\\_tiedostot/Robottiikka\\_yleinen.pdf](http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Robottiikka_yleinen.pdf).

Rummler, G.A. & Brache, A.P. (2012). Improving Performance: How to Manage the White Space on the Organization, 3<sup>rd</sup> Edition, John Wiley & Sons, Inc., San Francisco, USA, 290 p.

Saarela-Kinnunen, M. & Eskola, J. (2010). Tapaus ja tutkimus = Tapaustutkimus? Teoksessa Aaltola, J. & Valli, R. (toim.) Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1 – Metodien valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle, 3. painos, PS-Kustannus, Jyväskylä, Suomi, s. 189–199.

Sayer, N.J. & Williams, B. (2007). Lean For Dummies, Wiley Publishing, Inc., Hoboken, USA, 362 p.

Schenk, M., Wirth, S. & Müller, E. (2010). Factory Planning Manual – Situation-Driven Production Facility Planning, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 410 p.

SFS-EN ISO 10218-1. (2011). Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Part 1: Robots. Suomen standardisoimisliitto SFS, Helsinki, Suomi, 89 s.

SFS-EN ISO 12100. (2010). Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Safety of machinery. General principles for design. Risk

assessment and risk reduction. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki, Suomi, 172 s.

SFS-EN 13155+A2. (2009). Nosturit. Turvallisuus. Irrotettavat nostoapuvälineet. Cranes. Safety. Non-fixed load lifting attachments. Suomen standardisoimisliitto SFS, Helsinki, Suomi, 122 s.

SFS-EN ISO 13849-1. (2015). Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet. Safety of machinery. Safety-related parts of control systems. Part 1: General principles for design. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki, Suomi, 193 s.

SFS-EN ISO 9001. (2015). Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki, Suomi, 76 s.

SFS-EN ISO 9421-210. (2010). Ihmisen ja järjestelmän vuorovaikutuksen ergonomia. Osa 210: Vuorovaikutteisten järjestelmien käyttäjäkeskeinen suunnittelu. Ergonomics of human-system interaction. Part 210: Human-centered design for interactive systems. Suomen standardisoimisliitto SFS, Helsinki, Suomi, 65 s.

Sharp, A. & McDermott, P. (2008). Workflow Modeling: Tools for Process Improvement and Application Development, 2<sup>nd</sup> Edition, Artech House, Inc., Norwood, USA, 472 p.

Siciliano, B., Sciavicco L., Villani, L. & Oriolo, G. (2009). Robotics – Modelling, Planning and Control, Springer-Verlag, London, UK, 632 s.

Sidharatha, R. (2007). Introduction to Materials Handling. New Age International Pvt. Ltd., New Delhi, USA, 229 s.

Siirilä, T. (2013). Turvallinen kone työpaikalla. Työturvallisuuskeskus, Helsinki, 24 s. Saatavissa (viitattu 27.10.2017): [https://ttk.fi/files/5162/Turvallinen\\_kone\\_tyopaikalla\\_netiversio\\_2013.pdf](https://ttk.fi/files/5162/Turvallinen_kone_tyopaikalla_netiversio_2013.pdf).

Silfverberg, P. (2013). Ideasta projektiksi. Projektinvetäjän käsikirja. Konsulttitoimisto Planpoint Oy, Helsinki, Suomi, 54 s. Saatavissa (viitattu 30.10.2017): [http://www.helsinki.fi/urapalvelut/materiaalit/liitetiedostot/ideasta\\_projektiksi.pdf](http://www.helsinki.fi/urapalvelut/materiaalit/liitetiedostot/ideasta_projektiksi.pdf).

Strömman, M., Hirvonen, J., Hukki, K. & Tommila, T. (2007). Automaatiosuunnittelun prosessimalli – Yhteiset käsitteet verkottuneen suunnittelun perustana. Suomen Automaatioseura ry, Helsinki, Suomi, 43 s. Saatavissa (viitattu 30.10.2017): [https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1367/automaatiosuunnittelun\\_prosessimalli.pdf](https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1367/automaatiosuunnittelun_prosessimalli.pdf).

Tiainen, T., Aittoniemi, J., Haukijärvi, I. & Yli-Karhu, T. (2015). Toimintatutkimus tietojenkäsittelytieteen tutkimuksessa, Informaatitieteiden yksikön raportteja 38/2015, Tampereen Yliopisto Informaatitieteiden yksikkö, Tampere, Suomi, 28 s.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. (2017). CE-merkintä, Turvallisuus- ja kemikaaliviraston verkkosivut. Saatavissa (viitattu 30.10.2017): <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kuluttajaturvallisuus/Kulutustavarat/CE-merkki/>.

Työsuojeluhallinto. (2010). Työsuojeluoppaita ja -ohjeita 12. Nostoapuvälineet, Turvallisuus. Nostokonepalvelun verkkosivut. Saatavissa (viitattu 9.11.2017): [http://www.nostokonepalvelu.fi/sites/nkp.vaiste.com/files/Nostoapuvälineet\\_turvallisuus.pdf](http://www.nostokonepalvelu.fi/sites/nkp.vaiste.com/files/Nostoapuvälineet_turvallisuus.pdf).

Työsuojeluhallinto. (2017). Turvallisuusjohtaminen. Työsuojeluhallinnon verkkosivut. Saatavissa (viitattu 30.10.2017): <http://www.tyosuojelu.fi/tyosuojelu-tyopaikalla/turvallisuusjohtaminen>.

Työterveyslaitos. (2017). Nostotyöt. Työterveyslaitoksen verkkosivut. Saatavissa (viitattu 9.11.2017): <https://www.ttl.fi/vesihuoltolaitosten-tyoturvallisuus-opas/riskientunnistus-ja-hallintakeinot/tapaturmavaaralliset-tyot/nostotyot/>.

Työturvallisuuskeskus. (2017). Turvallinen ja terveellinen työympäristö. Työturvallisuuskeskuksen verkkosivut. Saatavissa (viitattu 27.10.2017): [https://ttk.fi/tyohyvinvointi\\_ja\\_tyosuojelu/tyoturvallisuuden\\_perusteet/tyoymparisto](https://ttk.fi/tyohyvinvointi_ja_tyosuojelu/tyoturvallisuuden_perusteet/tyoymparisto).

Työturvallisuuslaki 738/2002. (2002). Finlexin verkkosivut (oikeusministeriön omistama oikeudellisen aineiston julkinen ja maksuton Internet-palvelu). Saatavissa (viitattu 16.11.2017): <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2002/20020738>.

Työvälineasetus 12.6.2008/403. (2008). Valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisuudesta käytöstä ja tarkastamisesta, Finlexin verkkosivut (oikeusministeriön omistama oikeudellisen aineiston julkinen ja maksuton Internet-palvelu). Saatavissa (viitattu 8.11.2017): <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2008/20080403#Pidp450837104>.

Valli, R. (2010). Kyselylomaketutkimus. Teoksessa Aaltola, J. & Valli, R. (toim.) Ikku-noita tutkimusmetodeihin 1 – Metodien valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle, 3. painos, PS-Kustannus, Jyväskylä, Suomi, s. 103–127.

Vom Brocke, J. & Rosemann, M. (2010). Handbook on Business Process Management 1: Introduction, Methods and Information Systems, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Heidelberg, Germany, 612 p.

Wiendahl, H.-P., Reichardt, J. & Nyhuis, P. (2015). Handbook Factory Planning and Design, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 501 p.

Womack, J.P. & Jones, D.T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, Simon & Schuster, New York, USA, 351 p.

Womack, J.P., Jones, D.T. & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World*, Rawson Associates, New York, USA, Collier Macmillan Canada, Inc., Toronto, Canada, 323 p.

Wuest, T., Irgens, C. & Thoben, K.-D. (2013). Analysis of Manufacturing Process Sequences, Using Machine Learning on Intermediate Product States (as Process Proxy Data). Teoksessa Prabhu, V., Taisch, M., Kiritsis, D. (2013). *Advances in Production Management Systems. Sustainable Production and Service Supply Chains*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Germany, pp. 3–12.

## LIITE A: PROSESSIN YLEISKUVAUS

Lecklin (1999, s. 151)

Prosessin nimi \_\_\_\_\_ Päiväys \_\_\_\_\_  
 Prosessin tehtävä \_\_\_\_\_

Prosessin omistaja \_\_\_\_\_  
 Liityntäprosessit \_\_\_\_\_

Prosessin laajuus/  
 soveltamisalue Alkutapahtuma: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Sisältö: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Lopputapahtuma: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

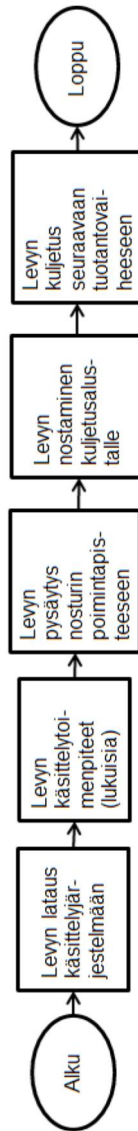
Mittarit \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Asiakkaat	Nimi	Tulokset
	_____	_____
	_____	_____
	_____	_____

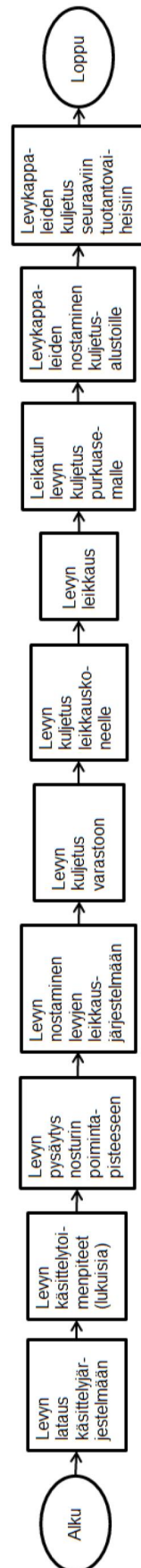
Toimittajat	Nimi	Syötteet
	_____	_____
	_____	_____
	_____	_____



## LIITE B: PITKIEN LEVYJEN KULKUA KUVAAVA PROSESSIKAAVIO



## LIITE C: VAKIOMITTAISTEN JA LYHYIDEN LEVYJEN KULKUA KUVAAVA PROSESSIKAAVIO



## LIITE D: YHTEENVETO PITKIEN SEKÄ VAKIOMITTAISTEN JA LYHYIDEN LEVYJEN KULKUA KUVAAVISTA PROSESSIKAAVIOISTA

