



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

HENRI KUUSINIEMI
TUOTANNONOHJAUKSEN KEHITTÄMINEN TERÄSRAKENTEI-
DEN VALMISTUKSESSA

Diplomityö

Tarkastaja: yliopistonlehtori Rainer
Breite
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
29. toukokuuta 2017

TIIVISTELMÄ

HENRI KUUSINIEMI: Tuotannonohjauksen kehittäminen teräsrakenteiden valmistuksessa

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 98 sivua, 2 liitesivua

Elokuu 2017

Johtamisen ja tietotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Tuotantotalous

Tarkastaja: yliopistonlehtori Rainer Breite

Avainsanat: tuotannonohjaus, teräsrakenne, EN 1090, tietomalli

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kantavien teräsrakenteiden valmistustoiminnan kehittämistä tuotannonohjauksen näkökulmasta, kun valmistusta ohjaa standardi EN 1090-2. Työn ensisijaisena tavoitteena on tietämyksen lisääminen teräsrakennevalmistuksen tuotannonohjauksessa, koska tutkimuksella ei ole erillistä tilaajaa. Tutkimus perustuu kuitenkin erään kasvavan konepajayrityksen toimintaan. Kohdeyrityksen tuotannonohjaukselle ei ole luotu valmistustoiminnan tavoin yhtenäisiä ohjeistuksia ja käytäntöjä, jolloin yksittäisen projektin tuotannonohjaus on vahvasti vastaavan projektinjohtajan tiedon varassa. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää periaatteet ja edellytykset kohdeyrityksen tuotannonohjauksen kehittämiseksi.

Tutkimuksen teoriaosassa käsitellään kantavien teräsrakenteiden valmistusta, tuotannon päätoimintoja ja tuotannonohjausta sekä näiden käsitejärjestelmiä. Tuotannonohjauksesta käsitellään perinteisten teorioiden lisäksi teräsrakennevalmistuksen tuotannonohjauksen kehittyneitä periaatteita ja menetelmiä. Teorian pohjalta etsitään käsitteanalyttiselle tutkimusotteelle tavanomaisia suosittelevia tuloksia, joiden avulla tuetaan empiirisen osion selvityksiä. Työssä tutkitaan kohdeyrityksen tuotantoprosessia ja sen ohjausta, sekä verrataan toiminnan nykytilaa ideaalilanteeseen, joka on muodostettu teoreettisen viitekehityksen avulla. Kohdeyrityksen toiminnan nykytilakartoitukseen käytetään tapaustutkimuksen aineistonhankintatavoista osallistuvaa havainnointia, avoimia haastatteluja sekä yrityksen dokumentteihin tutustumista.

Tutkimuksen avulla kohdeyrityksessä käytössä olleiden tuotannonohjauksikäytäntöjen väliltä saatiin kuvattua prosessimainen kokonaisuus, jonka avulla tuotantoa teräsrakenneprojekteissa voidaan ohjata. Kuvattu prosessimalli toimii samalla mahdollisen hankittavan tuotannonohjauksen tietojärjestelmän määrittelyn lähtökohtana. Tuotanto- ja valmistusprosessin eri vaiheisiin annettiin tehtyjen selvitysten perusteella useita kehitysehdotuksia, joiden avulla kohdeyrityksen tuotannon ohjattavuutta on mahdollista parantaa Lean-filosofian mukaisesti pienin askelin. Tuotannonohjauksesta tulee huomioida, että sen toteuttamiseen on useita erilaisia periaatteita ja menetelmiä, joita voidaan soveltaa erilaisissa tuotantojärjestelmissä. Tuotannonohjauksen toteuttamiseen ei siis ole yhtä oikeaa tai väärää tapaa.

ABSTRACT

HENRI KUUSINIEMI: Developing production management in the steel structures manufacturing

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 98 pages, 2 Appendix pages

August 2017

Master's Degree Programme in Management and Information Technology

Major: Industrial Engineering and Management

Examiner: University Lecturer Rainer Breite

Keywords: production management, steel structure, EN 1090, building information model

This study examines the development of the manufacturing the load bearing steel structures from the point of view of production management, when manufacturing is controlled by the standard EN 1090-2. The primary objective of the thesis is to increase knowledge in the production management of the steel structures manufacturing because the study does not have a subscriber. However, the study is based on the operations of a growing workshop company. There are no uniform guidelines and practices for the target company's production management, such as manufacturing activities, so the production management of a single project is strongly dependent on the project manager's knowledge. The objective of the study is to find out the principles and conditions for the production management development of the target company.

The theoretical part of the study deals with the production of the load bearing steel structures, main production operations and production management, and their conceptual systems. In addition to traditional theories, production management deals with the advanced principles and methods of production management in the steel structures manufacturing. Based on the theory, the aim is to find the recommended results to support the empirical studies that are conventional to the conceptual approach. The empirical study focuses on the production process and the production management of the target company, and comparing the current state of the operations with the ideal situation created through the theoretical studies. For the case study data collection methods, participant observation, open interviews and review of the company documents are used to research the current state of the target company's operations.

As a result of the research, the production management practices used in the target company were described as a process that can be used to manage production in steel construction projects. The described process model is the base for defining a possible production management software. A number of development suggestions were made for the various stages of the production process, enabling the maneuverability of the production to be improved in accordance with the Lean philosophy in small steps. In production management, it should be noted that there are several different principles and methods that can be implemented in different production systems. Therefore, there isn't a one right or wrong way to implement production management.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty osana omaa halua kehittää osaamista teräsrakentamisen kokonaisprosessissa. Haluan kiittää tutkimuksen kohdeyritystä ja koko sen henkilökuntaa saamastani mahdollisuudesta, yhteistyöhalukkuudesta ja avusta erityisesti empiirisen tutkimuksen suorittamisessa.

Haluan kiittää diplomityöni ohjaajaa yliopistonlehtori Rainer Breitea saamastani ohjauksesta ja arvokkaista neuvoista tiiviin diplomityöprosessin aikana.

Opiskeluiden tekeminen päivätyön, talonrakentamisen ja perheellisyyksen ohessa on ollut haastava kokonaisuus ja se on vaatinut harkittua oman elämän tuotannonohjausta sekä tietyistä asioista luopumista. Haluan antaa erityiset kiitokset perheelle kannustuksesta, ystäville ymmärryksestä sekä etenkin Riikalle ja Maijalle tuesta, kärsivällisyydestä ja myötäelämisestä kaiken tämän kiireen keskellä.

Nyt on aika hengähtää hetki, sillä diplomityöprosessin loppusuoralla varmistuneet uudet haasteet odottavat jo aivan nurkan takana.

Porissa, 10.7.2017

Henri Kuusiniemi

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen tausta ja tavoitteet.....	2
1.2	Tutkimusongelma ja -kysymykset	3
1.3	Tutkimuksen rajaus	4
1.4	Tutkimuksen rakenne	4
1.5	Tutkimuksen toteuttaminen.....	5
2.	KANTAVIEN TERÄSRAKENTEIDEN VALMISTAMINEN	8
2.1	Teräsrakennevalmistuksen prosessi	9
2.2	Kansalliset määräykset.....	10
2.3	Toteutuksen tekniset vaatimukset	12
3.	TUOTANNON TOIMINNOT	14
3.1	Tuotanto	14
3.1.1	Tuotannon tavoitteet	16
3.1.2	Tuottavuus ja kannattavuus.....	17
3.2	Suunnittelun ja valmistuksen yhteistyö.....	19
3.2.1	Valmistettavuuden suunnittelu.....	21
3.2.2	Tietomallintaminen	22
3.3	Hankintatoimi.....	23
3.3.1	Ulkoistaminen ja alihankinnan käyttö.....	24
3.3.2	Alihankintasuhteen kehittäminen.....	26
4.	TUOTANNONOHJAUS	27
4.1	Tuotannonohjauksen perusteet ja tavoitteet	27
4.2	Tuotannonohjaukseen vaikuttavia tekijöitä.....	29
4.3	Tuotannon ohjattavuus	31
4.4	Tuotannonohjausprosessi	32
4.5	Tuotannonohjausperiaatteita	35
4.6	Tuotannonohjausmenetelmiä	38
4.7	Tuotannonohjauksen tietojärjestelmä.....	44
4.8	Tuotannonohjaus tietomallin avulla	46
4.9	Johtopäätöksiä tuotannonohjauksen teoriasta	49
5.	TOIMINNAN NYKYTILAKARTOITUS	50
5.1	Tutkimusmenetelmät	50
5.2	Tutkimuksen suorittaminen.....	51
5.3	Kantavien teräsrakenteiden valmistustoiminta.....	54
5.3.1	Teräsrakentamisen prosessikuvaus	55
5.3.2	Suunnittelu valmistuksen kannalta.....	63
5.3.3	Hankintatoimi.....	64
5.3.4	Valmistus	65
5.4	Tuotannonohjaus	67
5.4.1	Tuotannonohjausprosessi	67

5.4.2	Tuotannon ohjattavuus.....	71
6.	TOIMINNAN KEHITYSMAHDOLLISUUDET	73
6.1	Teräsrakentamisen prosessi.....	74
6.1.1	Rakennesuunnittelu.....	75
6.1.2	Hankintatoimi.....	77
6.1.3	Valmistus	80
6.2	Tuotannonohjaus	83
6.2.1	Tuotannonohjausprosessi.....	83
6.2.2	Tuotannonohjausperiaatteita.....	85
6.2.3	Tuotannonohjaus tietomallin avulla.....	86
7.	YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	87
7.1	Yhteenveto tutkimuksesta	87
7.2	Johtopäätökset.....	90
7.3	Jatkotutkimus ja tulevaisuuden näkymät.....	91
	LÄHTEET.....	92

LIITE A: HAASTATTELURUNKO

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Teräsrakenteiden tavanomainen kustannusjakauma (Kaitila 2010, s. 10).....</i>	<i>2</i>
Kuva 2.	<i>Liiketaloustieteen tyypillisten tutkimusotteiden suhteellinen luokittelu (Kasanen et al. 1991, s. 317).....</i>	<i>6</i>
Kuva 3.	<i>Toiminta-analyyttisen tutkimusotteen takana oleva näkökanta tutkittavaan toimintaan (Olkkonen 1994, s. 75).....</i>	<i>7</i>
Kuva 4.	<i>Teräsrakenneprojektin päävaiheet (Azimi et al. 2011, s. 90).....</i>	<i>8</i>
Kuva 5.	<i>Teräsrakenteen hierarkia (mukailtu lähteestä Mohsenijam & Lu 2016, s. 655).....</i>	<i>9</i>
Kuva 6.	<i>Teräsrakenteen konepajavalmistuksen prosessi (Azimi 2011, s. 62).....</i>	<i>10</i>
Kuva 7.	<i>Yrityksen tuotantoprosessin päätoiminnot (Haverila et al. 2009, s. 352).....</i>	<i>15</i>
Kuva 8.	<i>Tuotannon kilpailutavoitteiden ristiriita (Lapinleimu et al. 1997, s. 38).....</i>	<i>17</i>
Kuva 9.	<i>Tuottavuuden, kannattavuuden ja kehittämisen yhteys (Hannula & Lönnqvist 2004, s. 9).....</i>	<i>18</i>
Kuva 10.	<i>Kustannuksiin vaikuttaminen ja kustannusten muodostuminen hitsatun rakenteen valmistuksessa (Kemppi 2008, s. 2).....</i>	<i>20</i>
Kuva 11.	<i>Toimeksiantajan ja alihankkijan välinen suhde toimittajan erikoistumisen ja toimitussuhteen pysyvyyden kannalta (Karjalainen et al. 1999, s. 7).....</i>	<i>25</i>
Kuva 12.	<i>Tuotannonohjauksen järjestelmä (Aaltio & Olkkonen. 1976, s. 65).....</i>	<i>28</i>
Kuva 13.	<i>Asiakastilauksen ohjauspiste tuotantoprosessissa (O'Brien et al. 2008, s. 6-12).....</i>	<i>30</i>
Kuva 14.	<i>Tuotannonohjausprosessi (Martinsuo et al. 2016, s. 140).....</i>	<i>32</i>
Kuva 15.	<i>Tuotannonohjauksen malli Chengin ja Simmonsian mukaan (1994, s. 5).....</i>	<i>35</i>
Kuva 16.	<i>Esimerkki Gantt-kaaviosta (mukailtu lähteestä Slack et al. 2010, s. 286).....</i>	<i>37</i>
Kuva 17.	<i>Tuotannonohjausmenetelmien luokittelu (Vollmann et al. 1997, s. 8).....</i>	<i>38</i>
Kuva 18.	<i>Lean-järjestelmän tavoitteet ja periaatteet (Stevenson 2009, s. 696).....</i>	<i>40</i>
Kuva 19.	<i>Perinteinen ja Last Planner -suunnittelujärjestelmä (Ballard 2000).....</i>	<i>43</i>
Kuva 20.	<i>Tehtävän aloitusedellytykset (Koskela & Koskenvesa 2003, s. 22).....</i>	<i>44</i>
Kuva 21.	<i>Yrityksen ohjausjärjestelmätasot ja tuotannonohjaus ISA-95 standardin mukaan (Järvenpää et al. 2014).....</i>	<i>45</i>
Kuva 22.	<i>Steel Projects PLM -ohjelmiston moduulijako (Steel Projects PLM 2017).....</i>	<i>48</i>
Kuva 23.	<i>Kohdeyrityksen teräsrakentamisen prosessikuvaus.....</i>	<i>55</i>
Kuva 24.	<i>Pitkien materiaalien väliaikainen varastointi kohdeyrityksessä.....</i>	<i>58</i>
Kuva 25.	<i>Levyosien merkitseminen maalikynällä.....</i>	<i>59</i>

Kuva 26.	<i>Sahattuja putkipalkkeja.....</i>	<i>59</i>
Kuva 27.	<i>Ristikon kasaus kokoonpanojigissä.....</i>	<i>60</i>
Kuva 28.	<i>Välivarastoituja ristikoita.</i>	<i>61</i>
Kuva 29.	<i>Käsin hitsausta pukkien päällä.</i>	<i>61</i>
Kuva 30.	<i>Kuljetusta odottavia pakattuja ristikoita.....</i>	<i>62</i>
Kuva 31.	<i>Hitsaamalla merkittyjä kokoonpanoja.</i>	<i>62</i>
Kuva 32.	<i>Kasausvaiheen hitsauspuomit.</i>	<i>66</i>
Kuva 33.	<i>Kohdeyrityksen viikkojana-aikataulu.....</i>	<i>68</i>
Kuva 34.	<i>Kohdeyrityksen projektin valmiusasteen seuranta.....</i>	<i>68</i>
Kuva 35.	<i>Kohdeyrityksen työntekijäkohtainen viikkotason tuotantosunnitelma.</i>	<i>69</i>
Kuva 36.	<i>Kohdeyrityksen kokoonpanojen valmistuksen seuranta.....</i>	<i>70</i>
Kuva 37.	<i>Siirrettävä pressuseinä hitsaussolussa.....</i>	<i>72</i>
Kuva 38.	<i>Kulkureitille siirrettyjä kokoonpanoja.</i>	<i>72</i>

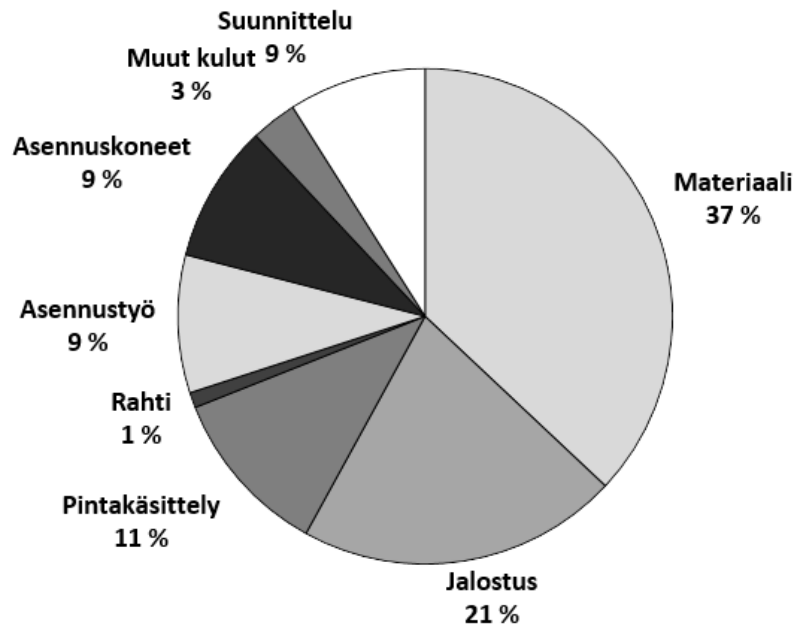
LYHENTEET JA MERKINNÄT

BIM	engl. Building Information Model, rakennuksen tietomalli
CE-merkintä	ransk. Conformité Européenne, vaatimustenmukaisuusmerkintä
CNC	engl. Computerized Numerical Control, tietokoneistettu numeerinen ohjaus
CONWIP	engl. CONstant Work-In-Process, keskeneräisen tuotannon seuranta-
	tamenetelmä
CPR	engl. Construction Products Regulation, rakennustuoteasetus
EN	engl. European standard, eurooppalainen standardi
ERP	engl. Enterprise Resource Planning, toiminnanohjausjärjestelmä
EXC	engl. Execution class, toteutusluokka
FPC	engl. Factory Production Control, tehtaan sisäinen laadunvalvonta
GBS	engl. Global Positioning System, maailmanlaajuinen paikallistamis-
	järjestelmä
IFC	engl. Industry Foundation Classes, valmistajariippumaton neutraali
	tiedostomuoto, joka mahdollistaa rakennusosapohjaisen tiedonsiir-
	ron CAD-ohjelmien välillä
ISA	engl. International Society of Automation, ISA-95 standardin laatija
JIT	engl. Just-In-Time, juuri oikeaan ajoitukseen perustuva tuotannon-
	ohjausmenetelmä
MAG-hitsaus	engl. Metal active gas welding, kaasukaarihitsausmenetelmä
MES	engl. Manufacturing Execution System, valmistuksenohjausjärjest-
	elmä
MRP	engl. Material Requirements Planning, materiaalinhallintajärjest-
	elmä
MRP II	engl. Manufacturing Resource Planning, materiaalin ja kapasiteetin
	hallintajärjestelmä
PLM	engl. Product Lifecycle Management, tuotteen elinkaaren hallinta
RFID	engl. Radio Frequency IDentification, radiotaajuinen etätunnistus
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
TEP	teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto

1. JOHDANTO

Teräsrakenneyhdistyksen teettämistä kotimaisen teräsrakenneteollisuuden tuotantokyselyistä on nähtävissä, että teräsrakentamisen tuotantomäärät ovat laskeneet 2010-luvun alkupuolella tasaisesti vuoden 2008 huippulukemista. Vuonna 2014 teräsrakennealan yritykset ovat nimenneet suurimmiksi tuotantoa haittaaviksi tekijöiksi heikon kysynnän ja teräsrakennealan hintakilpailun. (Forecon 2014.) Kesällä 2014 tuli voimaan rakennustuoteasetuksen mukaisen CE-merkinnän kiinnittämisen pakko kantaviin teräsrakenteisiin. Euroopan talousalueen yhteiset pelisäännöt avaavat alueen sisämarkkinoita ja asettavat kaikki valmistajat niin sanotusti samalle viivalle, kun jäsenmaiden paikalliset hyväksynät poistuvat. CE-merkintää ohjaavia eurooppalaisia standardeja on mahdollista käyttää myös Euroopan talousalueen ulkopuolella, niin Euroopassa kuin muuallakin. Tämä laajentaa kantavien teräsrakenteiden valmistuksen kilpailutilannetta ja -kenttää entisestään. (Rakennusteollisuus & Ympäristöministeriö 2011, ss. 27–29; Teknologiateollisuus et al. 2012.)

Martikaisen (2013) mukaan Suomessa on ollut vuoden 2013 aikaan vain noin 25–30 vaativiin tuotannollisiin haasteisiin pystyvää hitsaavaa konepajaa. Sen jälkeen on tullut suuri hyppäys yritysten toimintatavoissa, teknologioissa sekä tulevaisuuden kokonaisvaltaisessa hahmottamisessa. Heikko kysyntä, tiukat toimitusaikataulut ja hintakilpailu pakottavat yrityksiä kehittämään omaa tuotannon tehokkuutta jatkuvasti, jotta liiketoiminta olisi kannattavaa. Kuvassa 1 on esitetty teräsrakenteiden tavanomaista kustannusjakaumaa. Kustannusjakauma voi vaihdella kuitenkin huomattavasti, kun eri osuuksien hintaan on monia vaikuttavia tekijöitä. Tavanomaisen teräsrakenteen jalostuskustannus on noin 20 % tuotteen kokonaiskustannuksista, mutta monimutkaisemman rakenteen jalostuskustannus voi olla helposti jopa 30 % tuotteen kokonaiskustannuksista. Rahdin kustannukset ovat tavallisesti hyvin alhaiset jalostuskustannuksiin nähden. Tämä vahvistaa sitä, että Suomen lähialueen halpatyövoimamaista on mahdollista tuoda kustannustehokkaita teräsrakenteita myös Suomeen, kuljetuskustannuksista huolimatta, jos jalostuskustannukset ovat selvästi kotimaisia alhaisempia.



Kuva 1. Teräsrakenteiden tavanomainen kustannusjakauma (Kaitila 2010, s. 10).

Kun käsitellään yksinomaan teräsrakenteiden valmistusta ja sen eri osatekijöitä, niin tältäkin alueelta löytyy paljon asioita, joita kehittämällä voidaan saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä. Tuotantojärjestelmä on tuotantotalouden ja valmistustekniikan yhdistävä tekijä, jonka ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi tuotannon tehokkuuteen ja ohjattavuuteen. Kun tuotantojärjestelmää kehitetään, niin sillä pyritään yleensä sen ohjattavuuden parantamiseen, jolloin myös sen ohjausjärjestelmä kehittyy. Tuotantojärjestelmä on ensisijaisesti muuta kuin digitaalinen tietojärjestelmä, mutta sen avuksi on mahdollista kehittää sähköisiä ohjausjärjestelmiä. (Haverila et al. 2009, s. 405; Lapinleimu et al. 1997, ss. 3, 230.) Teräsrakentamisen arvoketjun digitalisoinnin tarjoamista mahdollisuuksista on tehty alustavia tutkimuksia ja siellä on päästy samankaltaisiin tuloksiin, jotka on todettu Saksan autoteollisuudessa jo vuosia sitten. Kehittyneessä digimaailmassa palkkakustannusta merkittävämpi kilpailutekijä on osaaminen. (Pada et al. 2017, s. 39.)

1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Diplomityön ensisijaisena tavoitteena on lisätä tietämystä tuotannonohjauksen kehittämistä teräsrakenteiden valmistuksessa. Tutkimuksella ei ole erillistä tilaajaa, mutta tutkimuksella on kohdeyritys, jonka toimintaan työn tekeminen perustuu. Ennen tutkimustyön aloitusta tutkija oli mukana ohjaamassa kohdeyrityksen teräsrakenneprojektia, josta syntyi näkemys, että varsinkin pienten- ja keskisuurten konepajojen teräsrakentamisen tuotannonohjauksen toimintatavoissa ja teknologioissa on paljon kehittämistä.

Diplomityön kohdeyrityksenä käytetään erästä pääasiassa Suomen markkinoilla toimivaa konepajayritystä, jonka yhtenä liiketoiminta-alueena on kantavien teräsrakenteiden valmistaminen. Yritys on kasvanut muutamissa vuosissa alle kymmenen työntekijän vers-

taasta useita kymmeniä henkilöitä työllistäväksi konepajayritykseksi. Teräsrakennetoimistusten vaativuusaste on kasvanut pienten maatalousrakennusten runkojen toimituksista aina vaan suurempien tuotantolaitosten, julkisten rakennusten ja siltarakenteiden runkotoimituksiin saakka. Kohdeyrityksen toiminnan kehitystä ovat viime vuosina ohjanneet kantavien teräsrakenteiden toteutusta koskevat uudistuneet vaatimukset ja määräykset, joiden pohjalta yritykselle on luotu tehtaan sisäisen laadunhallinnan periaatteet ja käytännöt. Kyseiset määräykset ohjaavat myös kilpailijoiden toimintaa ja luovat yleiselle, kantavien teräsrakenteiden, valmistustoiminnalle niin sanotun perustason. Tästä määräysten ohjaamasta perustasosta toimintatapoja ja teknologioita on pystyttävä kehittämään, jotta yrityksen tuottavuus ja kilpailukyky pysyvät kannattavana.

Tämän tutkimuksen avulla toiminnan kehittämistä on tarkoitus tarkastella tuotannonohjauksen näkökulmasta. Kohdeyrityksen tuotannonohjaukselle ei ole luotu valmistustoiminnan tavoin yhtenäisiä ohjeistuksia ja käytäntöjä, jolloin yksittäisen projektin tuotannonohjaus on vahvasti vastaavan projektinjohtajan tiedon varassa. Jo yksittäiset projektinjohtajan yllättävät poissaolot saattavat vaikeuttaa tuotantotoimintaa huomattavasti, kun korvaava henkilö joutuu selvittämään tarvittavia tuotannonohjaustietoja useasta paikasta.

Tutkimuksella haetaan keinoja kohdeyrityksen tuotannonohjauksen kehittämiseksi, kun valmistetaan kantavia teräsrakenteita. Tavoitteena on selvittää, löytyykö jotain yksinkertaisia keinoja kehittää olemassa olevaa teräsrakenneprosessia, joiden avulla tuotannon ohjattavuutta ja tuotannonohjausta on mahdollista parantaa. Selvitetään myös, minkälaista apua sähköisestä tuotannonohjausjärjestelmästä voidaan saada, jotta tiedonhallinta helpottuu ja teräsrakenteita koskevat tekniset valmistus- ja dokumentointivaatimukset täyttyvät, kun kantavien teräsrakenteiden valmistusta ohjaa standardi *SFS-EN 1090-2+Al, teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset*. Perustason tuotannonohjauksen kehittämiskeinojen lisäksi tavoitteena on selvittää tulevaisuuden teräsrakentamisen tuotannonohjauskeinoja, kun toteutusta ohjataan pitkälti digitalisoinnin avulla.

1.2 Tutkimusongelma ja -kysymykset

Diplomityön tutkimusongelmana on selvittää periaatteet ja edellytykset kohdeyrityksen tuotannonohjauksen kehittämiseksi kantavien teräsrakenteiden valmistustoiminnassa. Tutkimuksella on haluttu saada vastaus kysymykseen:

Miten kohdeyrityksen tuotannonohjausta voidaan kehittää?

Vastausta tutkimusongelmaan ja -kysymykseen on haettu lisäksi seuraavilla alatutkimuskysymyksillä:

- 1) Miten kohdeyrityksen tuotanto- ja valmistusprosessia voidaan kehittää, jotta tuotanto olisi mahdollisimman hyvin ohjattavissa?

- 2) Mitä apua sähköisestä tuotannonohjausjärjestelmästä on mahdollista saada, jotta valmistettavia teräsrakenteita koskevat tekniset tiedonhallintavaatimukset täyttyvät?
- 3) Minkälaisia ovat tulevaisuuden tuotannonohjauskeinot, kun toteutusta ohjataan pitkälti digitalisoinnin avulla.

1.3 Tutkimuksen rajaus

Kirjallisuudessa nousee esille erilaisia yrityksen ohjauksen termejä, kuten kokonaisohjaus, toiminnanohjaus, tuotannonohjaus ja valmistuksenohjaus. Stevenson (2009, s. 4) määrittelee, että toiminnanohjaus on yrityksen kokonaisohjauksen osa-alue, joka ohjaa tuotteiden valmistusta ja/tai palveluiden tuottamista. Haverilan et al. (2009, s. 397) mukaan tuotannonohjauksen termin sijasta käytetään tänä päivänä usein toiminnanohjauksen termiä kuvaamaan yrityksen toiminnan hallintaa, joka kattaa tuotannon lisäksi muidenkin toimintojen ohjausta. Valmistuksenohjaus on taas alemman tason ohjaustoimintaa, jossa keskitytään tuotteiden valmistuksen suunnitteluun ja ohjaukseen.

Edellä kuvattujen termien rajat ovat hankalasti määritettäviä ja tuotannonohjaus sekä toiminnanohjaus ovatkin päällekkäisiä termejä, jossa tuotannonohjaus kuuluu kokonaan toiminnanohjauksen piiriin. Tässä tutkimuksessa tuotannonohjaus on valittu käytettäväksi termiksi, koska sillä halutaan korostaa tutkimuksen keskittymistä teräsrakentamisen tuotanto- ja valmistustoiminnan ohjaamisen kehittämiseen, kuitenkin tärkeimpiä oheistoimintoja unohtamatta.

Tuotannonohjausta käsitellään tässä tutkimuksessa sellaisen teräsrakentamisen näkökulmasta, jota ohjaa standardi *SFS-EN 1090-2+A1, teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset*. Teräsrakentamisen prosessin ja tuotannonohjauksen kehittäminen rajataan käsittelemään kohdeyrityksen teräsrakenteiden valmistusta ja siihen tiiviisti liittyviä oheistoimintoja. Kohdeyrityksen valmistustoiminta on pääasiassa hitsaustuotantoa ja jonkin verran osavalmistusta. Tuotannon ohjattavuuteen ja tuotantomenetelmiin liittyy tiiviisti myös suunnittelun ja tuotannon yhteistyö lopputuotteen valmistettavuuden suunnittelussa sekä alihankkijoiden käyttö osavalmisteissa, jolloin tieto lopputuotteen vaatimuksista pitää liikkua myös suunnittelun, tuotannon ja alihankkijoiden kesken. Teräsrakenneprojektin päävaiheista kuljetus ja työmaa-asennus rajataan tämän tutkimuksen ulkopuolelle.

1.4 Tutkimuksen rakenne

Diplomityön johdantoluvussa esitetään työn taustat ja tavoitteet, tutkimusongelma ja -kysymykset sekä selvitetään tutkimuksen lähtökohtia ja toteuttamista.

Johdantolukua seuraava teoriaosuus toimii pohjana työn empiiriselle osalle. Teoriaosuus tullaan jakamaan kolmeen lukuun, joista ensimmäinen käsittelee kantavien teräsrakenteiden valmistusta, toinen tuotannon eri toimintoja ja kolmas tuotannonohjausta. Teräsrakenteiden valmistuksen ja tuotannon toimintojen luvut käsitellään tutkimuksen rajallisuudesta johtuen tarkoituksella suppeasti, koska ne toimivat laajemmin käsiteltävän tuotannonohjauksen luvun taustatietoina.

Teräsrakenteiden valmistuksen luku 2 käsittelee teräsrakentamisen prosessia, määräyksiä ja valmistuksen teknisiä vaatimuksia. Tuotannon toimintojen luku 3 käsittelee tuotantoa, suunnittelua ja alihankintaa tuotannon ohjattavuuden näkökulmasta. Tuotannonohjauksen luku 4 on tutkimuksen laajin teorialuku ja se käsittelee muun muassa tuotannonohjauksen perusteita, tavoitteita, prosesseja, periaatteita ja menetelmiä sekä tulevaisuuden teräsrakentamisen ohjaustoimintoja.

Viidennessä luvussa käsitellään tutkimuksessa tehtyä kohdeyrityksen toiminnan nykytilakartoitusta. Luvussa kuvataan tutkimuksessa käytettyjä aineistonkeräysmenetelmiä ja tutkimuksen suorittamista sekä kohdeyrityksen kantavien teräsrakenteiden valmistustoiminnan ja tuotannonohjauksen nykytilaa.

Kuudennessa luvussa yrityksen nykytilaa verrataan tutkimuksen teoriaosassa muodostettuun ideaalitilaan, ja annetaan tämän pohjalta kehitysehdotuksia yrityksen teräsrakentamisen prosessin ja tuotannonohjaustoiminnan parantamiseksi. Lopuksi seitsemännessä luvussa tehdään yhteenveto tehdystä tutkimuksesta ja muodostetaan johtopäätöksiä siitä mihin suuntaan teräsrakentamisen tuotannonohjaus tulee kehittymään tulevaisuudessa.

1.5 Tutkimuksen toteuttaminen

Liiketaloustieteen ja teollisuustieteen tutkimuksissa on mahdollista käyttää monia erilaisia tutkimusotteita, jotka ovat ikään kuin tutkimuksen strategioita. Liiketaloustieteen tutkimus on harvaksen kokonaan johonkin tutkimusotetyyppiin luokiteltavissa. Tutkimusotteen valinta tehdään käsiteltävän ongelman, tiedon lähtötason, aineiston saatavuuden ja tavoiteltavien tulosten mukaan. Liiketaloustieteen tutkimusotteet voidaan yhdistää joko positivismiin tai hermeneutiikan tieteenkäsityksiin. Positivismissa tieteenkäsitys perustetaan ainoastaan todettuihin tai havaittaviin tosiasioihin, kun taas hermeneutiikassa tieteenkäsitys korostaa tutkijan omaa tulkintaa ja ymmärrystä tutkittavasta asiasta. Tyypillisesti liiketaloustieteellisen tutkimuksen alkuosa alkaa otteeltaan käsiteanalyttisellä tutkimuksella, jossa määritellään teoreettinen viitekehys tai käsitteistö. Tätä soveltaen kerätään ja käsitellään empiiristä aineistoa. Tutkimuksen loppuosan tuloksia tulkitaan hermeneuttisen otteen avulla, jossa tutkijan tulkinnan ja ymmärryksen mukaan tarkastellaan tulokseen johtaneita syitä ja niiden merkitystä. Teollisuustalous kuuluu soveltaviin tieteesiin, jonka tutkimuksen erityisenä pyrkimyksenä on tuottaa uutta sekä käytännön hyötyä sisältävää tietoa niin tiedeyhteisölle kuin elinkeinoelämällekkin. (Olkkonen 1994, ss. 26–27; 59–60; 80–81.)

Tässä tutkimuksessa on käytetty käsiteanalyyttistä ja toiminta-analyyttistä tutkimusotetta, joiden sijoittuminen tyypillisten liiketaloustieteen tutkimusotteiden kenttään on havainnollistettu kuvassa 2.

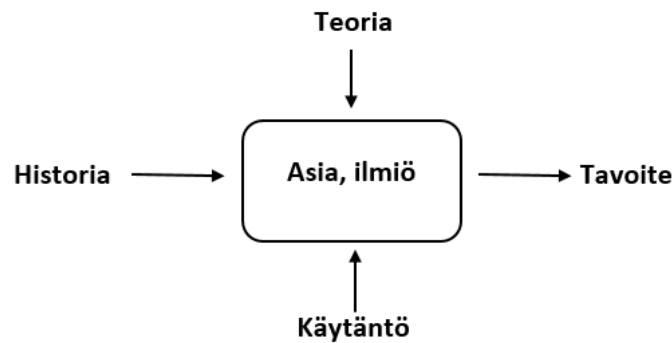
	Teoreettinen - teoriapohjainen	Empiirinen - havaintopohjainen
Deskriptiivinen - kuvaava	Käsiteanalyyttinen tutkimusote	Nomoteettinen tutkimusote Toiminta- analyyttinen tutkimusote
Normatiivinen - ohjaava	Päätöksenteko- metodologinen tutkimusote	Konstruktiivinen tutkimusote

Kuva 2. Liiketaloustieteen tyypillisten tutkimusotteiden suhteellinen luokittelu (Kasanen et al. 1991, s. 317).

Käsiteanalyyttisen tutkimusotteen tavoitteena on kehittää käsitejärjestelmiä, jonka käsitteistön tulee hyödyttää jotain tarkoitusta, tehtävää taikka toisin esitettyä tarvetta. Aineistona voi olla empiirinen tieto kohdeilmioistä ja kohdeilmiötä koskevat teoriat. Käsiteanalyyttisen tutkimusotteen taustalla on tässä tutkimuksessa muun muassa aiempia käsiteanalyyttisiä tutkimuksia. Tutkimuksen teoriaosassa käsitellään kantavien teräsrakenteiden valmistusta, tuotannon päätoimintoja ja tuotannonohjausta, sekä näiden käsitejärjestelmiä. Teorian pohjalta etsitään käsiteanalyyttiselle tutkimusotteelle tavanomaisia suosittelevia tuloksia, joiden avulla tuetaan empiirisen osion selvityksiä. Uusia käsitejärjestelmiä tarvitaan kohdeyrityksessä tuotannonohjaustiedon järjestelemisessä. (Olkkonen 1994, ss. 65–66.)

Tutkimus sisältää myös toiminta-analyyttistä tutkimusotetta, jonka tavoitteena on ensisijaisesti tutkimuksen kohteena olevan ilmiön ymmärtäminen ja mahdollisen teorian kehittäminen. Yleisesti toiminta-analyyttisessä tutkimusotteessa tutkimus liittyy yrityksen toimintaan, päätöksentekoprosesseihin ja henkilöstöön. Tulokset ovat monesti prosessien muutosten kuvauksia tai ne voivat koostua normatiivisista ohjeista. Toiminta-analyyttisen tutkimusotteen aineisto sekä sen käsittely ovat empiiristä ja tutkijan ymmärrykseen perustuvat tulkinnat ovat sille tyypillisiä. Ongelmat ovat yleensä vaikeasti muotoiltavissa ja ne muuttuvat nopeasti tilanteiden mukaan. Tutkimusotteelle tyypillistä on, ettei tutkija voi tarkastella mitattavia ilmiöitä. (Olkkonen 1994, s. 73.)

Siitä huolimatta, että aineisto muodostuu yleensä pienestä tapausten määrästä, niin ne pyritään valitsemaan niin edustaviksi kuin mahdollista. Tutkimuksen kulkua on usein vaikea jäsentää täysin ennalta, sillä tutkimukseen sisältyy paljon kanssakäymistä henkilöstön kanssa, jolloin prosessi voi muuttua huomattavastikin. Toiminta-analyyttisen otteen tuloksien yleistettävyys ja todentaminen voi olla ongelmallista ja tulosten käyttökelpoisuus perustuu vasta käytännön hyödyn osoittamiseen. Kuvassa 3 on esitetty tiivistetty yleiskuvaus toiminta-analyyttisen tutkimusotteen takana olevasta näkemyksestä, jossa toiminnan tavoitteellisuus ja kehitysprosessiajattelu korostuvat. (Olkkonen 1994, ss. 73–75.)



Kuva 3. Toiminta-analyyttisen tutkimusotteen takana oleva näkökanta tutkittavaan toimintaan (Olkkonen 1994, s. 75).

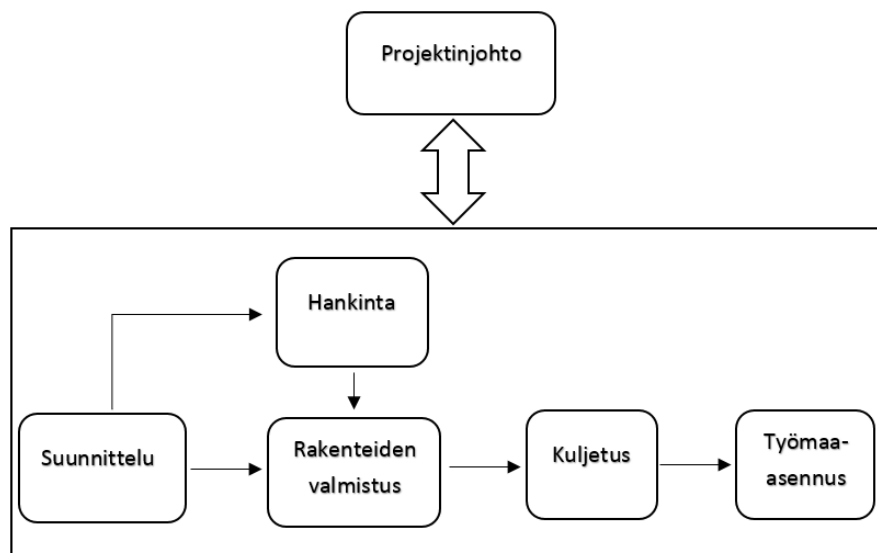
Kuvasta nähdään, että asiasta johdettuun tavoitteen saavuttamiseen vaikuttavat teorian ja käytännön lisäksi myös historia.

Diplomityö on toteutettu tapaustutkimuksena eli case-tutkimuksena. Tapaustutkimus on erittäin käyttökelpoinen, kun tutkittavaa ilmiötä on vaikea tulkita sen luonnollisen ympäristön ulkopuolella. Tapaustutkimuksen käyttö tutkimusmenetelmänä on perusteltua, kun etsitään vastauksia kysymyksiin ”miten” tai ”miksi”. Diplomityössä on tutkittu kohdeyrityksen tuotantoprosessia ja sen ohjausta, sekä verrattu toiminnan nykytilaa ideaalitalanteeseen, joka on muodostettu teoreettisen viitekehyksen avulla. Kohdeyrityksen toiminnan nykytilakartoitukseen käytettiin tapaustutkimuksen aineistonhankintatavoista osallistuvaa havainnointia, avoimia haastatteluja sekä yrityksen dokumentteihin tutustumista. Tapaustutkimukselle on luonteenmukaista, että prosessista pyritään keräämään tietoja monipuolisesti ja monella tavalla (Ghauri & Grønhaug 2010, s. 109–110; Metsämuuronen 2008, ss. 16–18; Yin 2009, s.4.)

Tutkimuksen tavoitteena on ymmärtää kohdeyrityksen teräsrakentamisen ja tuotannonohjauksen prosessin nykytilaa syvällisesti ja antaa sille kehitysehdotuksia. Tapaustutkimuksessa ei pyritä tekemään yleistyksiä, mutta vastaavien tapausten väliltä saattaa löytyä yhtäläisyyksiä, jonka vuoksi tehtyä tutkimusta on mahdollista hyödyntää laajemminkin teräsrakentamisen alalla.

2. KANTAVIEN TERÄSRAKENTEIDEN VALMISTAMINEN

Kantavia teräsrakenteita löytyy joka puolelta rakennetusta ympäristöstä, kuten rakennuksista, silloista, torneista, mastoista ja säiliöistä. Teräsrakentaminen on pääasiassa komponenttirakentamista ja teräksen käyttöä rakenteissa puoltavat muun muassa sen tarjoamat arkkitehtoniset mahdollisuudet, suuret jännevälit, korkea teknologia-aste, keveys, tehdasvalmistaminen sekä materiaalin kierrätettävyys. Kuvassa 4 on esitetty perinteinen teräsrakentamisen prosessimalli, joka sisältää viisi päävaihetta. Vaiheet ovat (1) suunnittelu, (2) hankinta, (3) rakenteiden valmistus, (4) kuljetus ja (5) työmaa-asennus. Kantavien teräsrakenteiden osat ja kokoonpanot valmistetaan konepajassa valvotuissa olosuhteissa, josta ne toimitetaan työmaalle asennettavaksi. (Azimi et al. 2011, s. 90; Kaitila 2010, s. 10; Väisänen 2007, s. 66.)

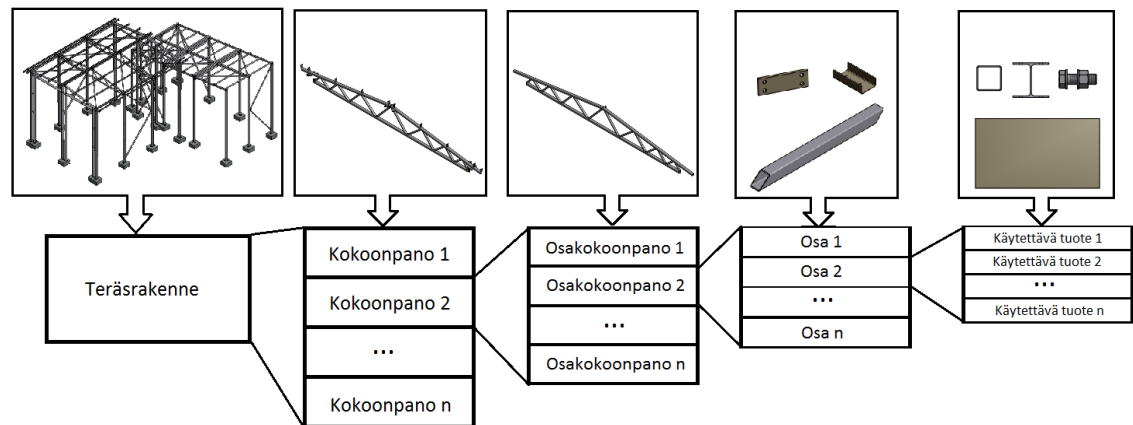


Kuva 4. Teräsrakenneprojektin päävaiheet (Azimi et al. 2011, s. 90).

Tässä luvussa käsitellään kuvassa 4 esitetyistä teräsrakenneprojektin päävaiheista rakenteiden valmistusta. Valmistuksesta käsitellään seuraavissa alaluvuissa kantavien teräsrakenteiden valmistuksen prosessia sekä prosessissa huomioitavia asioita määräysten ja vaatimusten kannalta.

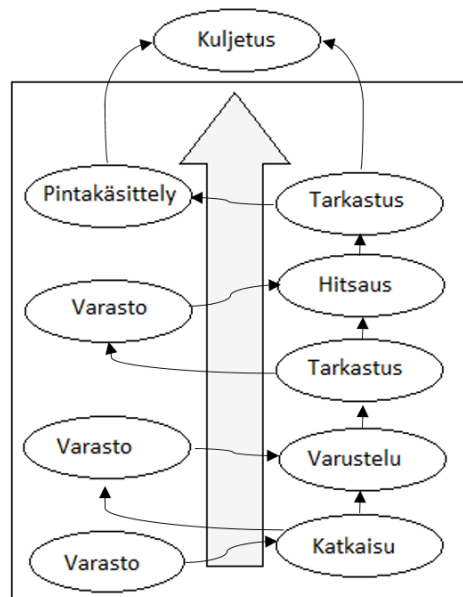
2.1 Teräsrakennevalmistuksen prosessi

Teräsrakenteessa käytettävien konepajalla valmistettujen esivalmisteiden määrä riippuu rakenteen luonteesta ja rakenteessa käytettävästä liitostekniikasta. Kuvassa 5 on havainnollistettu runkomallisen teräsrakenteen hierarkian muodostumista. Valmis rakenne on toisiinsa liitettyjen rakenneosien järjestelmällinen yhdistelmä, jolla on suunniteltu kuormankantokyky ja jäykkyys. Rakenneosat ovat konepajalla valmistettuja asennusvalmiita työmaalle toimitettavia kokoonpanoja. Kokoonpanot voivat muodostua osakokoonpanoista ja/tai osista. Osakokoonpanolla tarkoitetaan konepajan sisäistä puolivalmistetta, joka on valmistettu osista ja joka on menossa osaksi valmista kokoonpanoa. Osa on yksittäinen esivalmistettu teräskappale, kuten levy, profiili, rakenneputki tai jäykiste. Osat tehdään käytettävistä tuotteista, joita ovat lopullisen rakenteen valmistuksessa käytettävät materiaalit ja tarvikkeet, jotka liittyvät suunniteltuun kuormankantokykyyn. Käytettäviä tuotteita ovat muun muassa teräkset, profiilit, ruuvikokoonpanot ja hitsausaineet. (Kaitila 2010, s. 166; Teräsrakenneyhdistys 2015c, TEP WP5.1.)



Kuva 5. Teräsrakenteen hierarkia (mukailtu lähteestä Mohsenijam & Lu 2016, s. 655).

Konepajalla valmistettavat kokoonpanot voivat olla esimerkiksi pilareita, palkkeja, ristikoita, jäykisteitä tai erikoisrakenteita joiden valmistus koostuu useasta vaiheesta. Rakenteet pyritään valmistamaan mahdollisimman pitkälle konepajalla, jotta päästään yleensä taloudellisempaan ja luotettavampaan lopputulokseen, kuin työmaalla valmistettaessa, koska säästä ja muista olosuhteista johtuvat epävarmuustekijät voidaan välttää. Perinteisesti konepajan valmistusprosessi lähtee kuvan 6 mukaisesti siitä, että materiaalit varastoidaan. Seuraavaksi materiaalit katkaistaan mekaanisesti tai polttoleikkaamalla, ja osiin tehdään tarvittavat työstöt. Kokoonpanot esikasataan ja varustellaan ennen hitsausta. Lopuksi kokoonpano pintakäsitellään ja lähetetään työmaalle. Prosessiin liittyy lisäksi työvaiheiden välisiä tarkastus- ja varastointipisteitä. (HAMK 2008, s. 96; Kaitila 2010, ss. 166–167.)



Kuva 6. Teräsrakenteen konepajavalmistuksen prosessi (Azimi 2011, s. 62).

Valmistusmenetelmät ja -prosessit vaihtelevat konepajakohtaisesti ja valmistettavan rakenteen mukaan huomattavasti. Valmistusta voidaan tehdä käsityönä ja mekaanisilla apuvälineillä suoritettua valmistusta ohjataan valmistuspiirustusten avulla, kun taas täysin automatisoituja numeerisia CNC-työstökoneita voidaan ohjata rakenteen suunnittelumallin pohjalta. Valmistusmenetelmistä riippumatta materiaalit tulee olla jäljitettävissä aina varastosta työmaalle saakka. Varastoitaessa materiaaleja, materiaalien ja rakenneosien koot, pituudet, painot, teräslaadut ja ainestodistukset on mahdollista pitää tietokonerekisterissä, jolloin tunnistus tapahtuu tunnistusmerkinnän perusteella. Teräskokoonpanon osien tulee olla tunnistettavissa tarkoituksenmukaisella menettelyllä, prosessin jokaisessa vaiheessa. Tunnistus voi tapahtua valmistuserän tai osan koon ja muodon perusteella tai perustua kestävien tunnistusmerkintöjen käyttöön. Merkitsemiseen voidaan käyttää muun muassa tunnistuslappuja, leimasinta, maalia, hitsausta tai stanssausta, kunhan ne eivät aiheuta vahinkoa rakenteelle. (Kaitila 2010, ss. 166–170.)

2.2 Kansalliset määräykset

Suomessa rakenteellisille teräskokoonpanoille CE-merkintä eli vaatimustenmukaisuusmerkintä on pakollista harmonisoidun tuotestandardin SFS-EN 1090-1+A1 mukaan, kun tuote kuuluu standardin soveltamisalan piiriin. Standardi käsittelee kokoonpanojen vaatimustenmukaisuuden arviointia koskevia vaatimuksia, sisältäen kokoonpanon valmistajan ilmoittamien toiminnallisten ominaisuuksien vaatimustenmukaisuuden. Teräksen valmistusta koskevat säännöt ja toteutusvaatimukset löytyvät standardisarjan toisesta osasta SFS-EN 1090-2+A1. (SFS-EN 1090-1+A1 2012, s. 8; Teknologiateollisuus et al. 2012, s. 1; Ympäristöministeriö 2004, s. 8.)

Teräskokoonpanojen CE-merkintävaatimus perustuu Euroopan komission ja parlamentin hyväksymään rakennustuoteasetukseen CPR 305/2011. Voimassa oleva Euroopan unionin asetus on suoraan sen jäsenmaassa noudatettava säädös, joka ei voi olla ristiriidassa maan kansallisten säädösten kanssa. CE-merkinnän olennaisena tavoitteena on ollut parantaa eurooppalaisen rakennusteollisuuden kilpailukykyä, poistamalla kaupan tekniset esteet. Nämä ovat aiheutuneet Euroopan talousalueen jäsenvaltioiden rakennustuotteille asettamista, keskenään eroavista, kansallisista vaatimuksista. Tarkoituksena on rakennustuotteiden vapaat sisämarkkinat Euroopan talousalueella, johon mahdollisimman monella valmistajalla on edellytykset päästä. Esimerkiksi, riittää, että tuotteen vaatimustenmukaisuus on osoitettu Suomessa, jotta se voidaan saattaa koko Euroopan talousalueen markkinoille. (Rakennusteollisuus & Ympäristöministeriö 2011, ss. 12–13, 27–28; Teknologiateollisuus ry et al. 2012, s. 5; Ympäristöministeriö 2004, ss. 7–9, 23.)

CE-merkinnästä huolimatta, tuotteiden välillä voi olla edelleen huomattavia ominaisuus- tai laatueroja. Yhtenä ajatuksena on kuitenkin, että lisääntynyt kilpailu tehostaa tuotekehittelyä ja tuotantoa sekä johtaa parempiin ja/tai halvempiin tuotteisiin. On kuitenkin rakennustuotteiden markkinavalvonnan tehtävänä huolehtia, ettei Euroopan talousalueen markkinoilla ole CE-merkittyjä tuotteita, jotka eivät täytä niille asetettuja vaatimuksia. Suomessa Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) huolehtii rakennustuotteiden markkinavalvonnasta. Tukesin valvonta kohdistuu niihin tuotteisiin, jotka saatetaan Suomessa markkinoille, riippumatta siitä, missä ne on valmistettu. (Rakennusteollisuus & Ympäristöministeriö 2011, ss. 12–13, 27–28; Teknologiateollisuus ry et al. 2012, s. 5; Ympäristöministeriö 2004, ss. 7–9, 23.)

Lisäksi rakennustuotteiden CE-merkinnässä käytettävien harmonisoitujen tuotestandardien avulla luodaan yhteinen eurooppalainen tekninen kieli niin testaus-, laskenta-, suunnittelu- kuin toteutustoimintoihin. Tämä mahdollistaa muun muassa tutkimus- ja tuotekehitystulosten vaivattomamman siirtämisen maiden välillä. (Rakennusteollisuus & Ympäristöministeriö 2011, ss. 12–13, 27–28; Teknologiateollisuus ry et al. 2012, s. 5; Ympäristöministeriö 2004, ss. 7–9, 23.)

Kaikki teräskokoonpanot eivät kuitenkaan kuuluu rakennustuoteasetuksen mukaisen CE-merkinnän piiriin, sillä rakennustuoteasetuksen (305/2011) artiklassa 2 sanellaan seuraavasti:

” ’rakennustuotteella’ tarkoitetaan tuotetta tai tuotejärjestelmää, joka valmistetaan ja saatetaan markkinoille käytettäväksi pysyvinä osina rakennuskohteissa tai niiden osissa ja jonka suoritusaso vaikuttaa rakennuskohteen suoritustasoon rakennuskohteen perusvaatimusten osalta.”

Esimerkiksi tuotteita, joita ei ole tarkoitettu käytettävän rakennuskohteessa tai joiden ominaisuudet eivät vaikuta rakennuskohteen suoritustasoon ei voi CE-merkitä standardin SFS-EN 1090-1+A1 mukaisesti. Tämä ei kuitenkaan estä käyttämästä standardisarjan EN

1090 mukaisia vaatimuksia tuotteen valmistuksessa, jos tuotteelle ei ole muuta yhdenmukaistettua ohjetta tai tuotteelta ei vaadita CE-merkintää, sillä CE-merkintää ja standardin mukaisuutta ei tule sekoittaa keskenään. (Tukes 2014.) Epäselvyyksistä johtuen Suomalainen harmonisoitujen tuotestandardien käytön tukipalvelu, hEN Helpdesk, on julkaissut tiedotteen *'Suomalainen tulkinta rakenteellisten teräs- ja alumiinikokoonpanojen harmonisoidun tuotestandardin SFS-EN 1090-1+A1:2012 soveltamisalasta'*, jossa on listattu standardin soveltamisalan piiriin kuuluvia ja kuulumattomia teräs ja alumiinikokoonpanoja sekä -tuotteita (hEN Helpdesk 2014).

2.3 Toteutuksen tekniset vaatimukset

Jos konepajassa valmistettavien teräskokoonpanojen vaatimustenmukaisuus tulee osoittaa standardin SFS-EN 1090-1+A1 mukaisella CE-merkinnällä, niin rakenteen valmistus tehdään standardin SFS-EN 1090-2+A1 teknisten vaatimusten mukaisesti. Ja vaikka CE-merkintä ei olisi välttämätöntä, niin tilaajalla on mahdollisuus vaatia standardin SFS-EN 1090-2+A1 noudattamista, sillä se sisältää tekniset vaatimukset teräsrakenteessa käytettävien tuotteiden, konepajavalmistuksen, asennuksen, pintakäsittelyn, toleranssien, tarkastuksen ja dokumentoinnin sekä henkilöpatenttien osalta. (Teknologiateollisuus ry et al. 2012, ss. 1–3, 11; Tukes 2014, s. 5.)

Teräsrakenteen suunnittelija määrittää rakenteen vaativuuden ja käyttötarkoituksen perusteella valmistusta ohjaavan toteutusluokan, joka kuvaa valmistuksen vaativuustasoa. Standardissa toteutusluokkia esitetään neljä EXC1, EXC2, EXC3 ja EXC4, joista vaatimukset kasvavat toteutusluokasta EXC1 toteutusluokkaan EXC4. Perustoteutusluokka on EXC2, jota käytetään, jos muuta ei ole esitetty. Kun toteutusluokka tiedetään, niin sen perusteella määräytyy 36 valmistusta sitovaa vaatimusta. (SFS-EN 1090-2+A1 2012, s. 19; Teknologiateollisuus ry et al. 2012, s. 11.)

Standardi SFS-EN 1090-2+A1 sisältää 12 lukua, sekä 12 täydentävää liitettä, jotka ovat luonteeltaan velvoittavia tai opastavia. Lisäksi standardin luvussa 2 on esitetty yli 180 velvoittavaa viitestandardia, joiden käyttö on välttämätöntä teräsrakenteita toteuttaessa. Viitestandardit antavat lisäohjeita muun muassa käytettäviin tuotteisiin, esivalmistukseen, hitsaukseen, testaukseen, asennukseen, korroosionestoon, toleransseihin ja muuttamiin sekalaisiin asioihin. Teräsrakennetta valmistaessa ei tarvitse kuitenkaan jokaista viitestandardia tuntea. Suurin osa viitestandardeista kuvaa käytettävien tuotteiden ominaisuuksien vaatimuksia, jolloin käytettävän tuotteen valmistaja vastaa materiaaliominaisuuksien täyttymisestä. (SFS-EN 1090-2+A1 2012.)

Oleellisimmat konepajatyössä huomioon otettavat asiat standardista SFS-EN 1090-2+A1 (2012) esitetään standardin luvuissa 4–7 ja 10–12.

Luku 4 esittää eritelmät ja asiakirjat, joita toteutuksessa tulee laatia ja käyttää. Luvussa käsitellään myös eritelmien ja asiakirjojen sisältöä.

Luku 5, käytettävät tuotteet, esittää mitä tuotteita rakenteessa voidaan käyttää ja miten niiden ominaisuudet tulee tarkastaa, sekä miten tuotteen tunnistaminen ja jäljitettävyys tulee tuotannossa järjestää.

Luku 6 esittää teräsrakenteen esivalmistuksen ja kokoamisen vaatimukset. Luvussa käsitellään valmistuksen työstöjen ja prosessien laaduntuottokyvyn vaatimuksia leikkaamiselle, muotoilulle ja rei'itykselle.

Luku 7 käsittelee hitsaustoimintaa. Se määrittää vaatimukset sovellettaville menetelyille, menetelmille ja suorittamiselle sekä vaadituille pätevyyksille ja ohjeille. Hitsaustoiminnan vaativuutta ohjaa suunnittelijan tekemä toteutusluokan valinta.

Luku 10 ohjaa pintakäsittelyä. Vaikka pintakäsittelyä ei tehtäisikään valmistajan toimesta, niin terästyön esikäsittelyasteet liittyvät korroosioneston vaatimukseen, jotka esitetään luvussa 10 ja korroosionestoa tukevassa velvoittavassa liitteessä F. Nämä vaatimukset tulee huomioida teräsrakenteen valmistustoiminnassa.

Luku 11 sisältää yhdessä velvoittavan liitteen D kanssa valmistustoleranssien sallitut poikkeamat erityyppisille rakenteille, joita tulee rakenteen valmistuksessa noudattaa.

Luku 12 esittää vaatimukset rakenteelle suoritettavista tarkastuksista valmistuksen aikana sekä vaatimukset tarkastusten suorittajien pätevyyksistä. (SFS-EN 1090-2+A1 2012; Teknologiateollisuus ry et al. 2012, ss. 11–12.)

3. TUOTANNON TOIMINNOT

Luvussa 2 käsiteltiin teräsrakenteiden valmistamista, ja todettiin, että teräsrakenneprojektin päävaiheet ovat (1) suunnittelu, (2) hankinta, (3) rakenteiden valmistus, (4) kuljetus ja (5) työmaa-asennus. Vaiheista suunnittelu ja hankinta tapahtuvat ennen valmistusta, jolloin tuotannon ohjattavuuteen ja tuotantomenetelmiin liittyy tiiviisti myös suunnittelun ja valmistuksen yhteistyö lopputuotteen valmistettavuuden suunnittelussa sekä alihankkijoiden käyttö osavalmisteissa. Tällöin tieto lopputuotteen vaatimuksista pitää liikkua myös suunnittelun, valmistuksen ja alihankkijoiden kesken.

Tässä luvussa käsitellään tuotannon toimintoja ja tavoitteita valmistavan yrityksen ja teräsrakennevalmistuksen ohjattavuuden näkökulmasta seuraavien alalukujen muodossa:

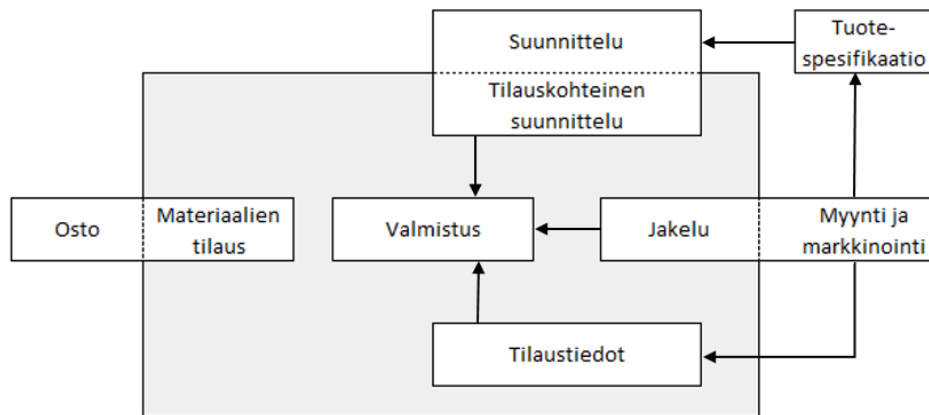
- Tuotanto, tuotannon tavoitteet sekä tuottavuus ja kannattavuus.
- Suunnittelun ja valmistuksen yhteistyö, valmistettavuuden suunnittelu ja tietomallintaminen.
- Hankintatoimi, ulkoistaminen ja alihankinnan käyttö sekä alihankintasuhteen kehittäminen.

3.1 Tuotanto

Tuotanto merkitsee kansantaloudessa kaikkea sellaista toimintaa, jonka avulla saadaan aikaan hyödykkeitä ja jotka tyydyttävät ihmisten tarpeita. Hyödykkeet voivat olla olemuksensa perusteella sekä aineettomia että aineellisia hyödykkeitä. Tavaratuotanto keskittyy pääasiassa tuotantoprosessin materiaaliavirtoihin ja aineelliseen arvontuottoon, kun taas palvelutuotanto keskittyy pääasiassa tietovirtoihin ja aineettomaan arvontuottoon. Tuotantoa onkin mahdollista käsitellä usealta eri kannalta erilaisten tarpeiden mukaan. Valmistavassa yrityksessä tuotannon käsite samaistetaan usein suppeasti vain valmistukseen, mutta jo Aaltion ja Olkkosen (1976, s. 12) mukaan tuotanto on käsitettävä laajemmin kolmiportaiseksi prosessiksi, jossa hankinta, valmistus ja jakelu ovat sen osatoimintoja. Eräiden nykyisten määritelmien mukaan tuotannolla voidaan käsittää kaikki toiminnot, jotka liittyvät tuotteen aikaansaamiseen. (Aaltio & Olkkonen 1976, ss. 11–12; Haverila et al. 2009, s. 351; Martinsuo et al. 2016, s. 134–135; Saari 2006, ss. 69, 92.)

Kuvassa 7 esitettyjen valmistavan yrityksen päätoimintojen ja tuotannon välisiä rajoja on mahdotonta määrittää täsmällisesti, sillä eri toiminnot osallistuvat tuotantoon eri tavoin. Pääasiassa valmistus sisältyy tuotantoon kokonaisuudessaan. Myynti ja markkinointi osallistuvat tuotantoon tuotteen spesifikaation määrittelyn ja tilaustenhallinnan kautta. Hankinnat ja jakelulogistiikka kuuluvat tuotantoon varsinkin valmistusmateriaalien hankinnan, varastojen hallinnan, tuotteiden kuljetusten ja tuotantoprosessiin liittyvien ali-

hankkijoiden ohjauksen osalta. Lisäksi asiakaskohtaisesti suoritettava tuotteen suunnittelu kuuluu tuotantoprosessiin, kun taas tuotekehitys ei siihen varsinaisesti kuulu. Tuotekehitys saattaa kuitenkin liittyä tuotantoon tuoterakennemäärittelyjen ja tuotantojärjestelmävaatimusten osalta, jotka vaikuttavat merkittävästi tuotannon tehokkuuteen. Tuotannonohjauksen ja tuotantojärjestelmien kehittämisessä näiden eri toimintojen väliset riippuvuus- ja vuorovaikutussuhteet on huomioitava. (Haverila et al. 2009, s. 351; Martinsuo et al. 2016, s. 134)



Kuva 7. Yrityksen tuotantoprosessin päätoiminnot (Haverila et al. 2009, s. 352).

Pääoma, työ, materiaalit ja tieto ovat keskeisimpiä tuotantotehtäviä eli niitä resursseja, jotka tekevät tuotantotoiminnan mahdolliseksi. Pääomaa tarvitaan investointeihin, joilla toimitilat, tuotantojärjestelmä ja -prosessit sekä koneet, laitteet ja tietojärjestelmät hankitaan ja rakennetaan. Työllä tarkoitetaan kaikkien yrityksen työntekijöiden työpanosta. Materiaaleihin kuuluvat yrityksen käyttämien raaka-aineiden ja komponenttien lisäksi tuotantojärjestelmän vaatima energia, vesi ja muut yrityksen käyttämät fyysiset resurssit. Tieto on yrityksen sisäistä osaamista ja informaatiota sekä ulkopuolisia lisenssejä, käyttöoikeuksia ja asiantuntijapalveluita, joita tuotanto edellyttää. Kaikkia näitä tuotantotehtäviä on mahdollista pitää yrityksen sisällä tai hankkia ulkopuolelta. (Haverila et al. 2009, ss. 352–353; Martinsuo et al. 2016, s. 135.)

Yrityksen tuotantomuotoa säätelevät valmistettavan tuotteen tyyppi, ohjausperiaate ja valmistusmäärä. Kantavien teräsrakenteiden valmistuksessa puhutaan usein investointi-hyödykkeistä. Nämä ovat kertavalmisteisia asiakassuunniteltuja tuotteita, jotka valmistetaan tilausohjautuvasti, mikä on tavanomaista projektituotannossa. Toiminnot joiden avulla tuotetta valmistetaan pitää olla hyvin määritelty alusta loppuun, sillä projektin sisäisten tuotantovaiheiden välillä voi olla pitkiäkin välejä. Tämän tapainen tuotantomuoto johtaa erityisiin tuotannon vaatimuksiin, joissa tuotantojärjestelmiltä vaaditaan entistä suurempaa nopeutta ja joustavuutta. (Lapinleimu et al. 1997, ss. 43–46; Slack et al. 2010, ss. 91–92.)

3.1.1 Tuotannon tavoitteet

Valmistavan yrityksen tuotantotoiminta on nähtävä yrityksen kannalta palvelutoimintona, jonka kehitystavoitteiksi asetetaan kyvyt palvella nopeammin ja joustavammin, mutta kuitenkin hyvällä laatutasolla. Toimitusajan, joustavuuden ja laadun lisäksi tuotannon keskeisiin kilpailulähtöisiin tavoitteisiin luetaan kuuluvaksi kustannustehokkuus ja toimitusvarmuus. (Haverila et al. 2009, s. 357; Lapinleimu et al. 1997, s. 37; Slack et al. 2010, ss. 375–377)

Tuotannon palvelukyvyyn tavoitteista, toimitusajan kestoon vaikuttavat tuotannossa tarvittavien materiaalien hankinta-ajat, oman valmistusprosessin läpäisy aika ja kuormitus tilanne. Yrityksen oman valmistusprosessin läpäisy aika on merkittävä tuotantojärjestelmästä riippuva tekijä. Läpäisyajan pienentämiseen tähtäävillä tekijöillä on kahtiajakoinen merkitys, sillä ne vaikuttavat myös kustannustehokkuuteen ja laatuun parantavalla tavalla. Usein toimitusnopeuttakin tärkeempi vaatimus on toimitusvarmuus, joka edellyttää tuotantojärjestelmältä hyvää ohjattavuutta. (Haverila et al. 2009, s. 357; Lapinleimu et al. 1997, s. 38)

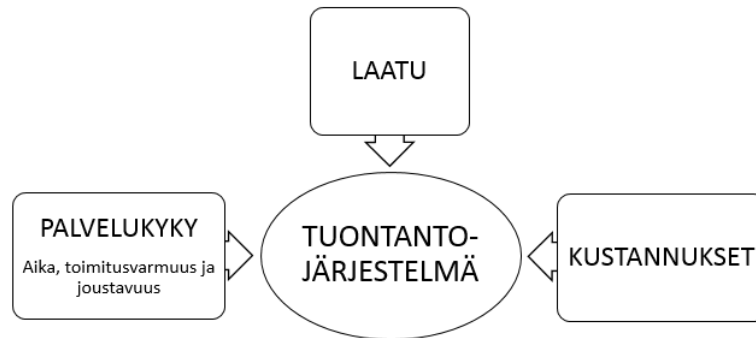
Investointihyödykkeiden tuotannossa joustavat asiakaskohtaiset sovellutukset ja pienet eräkoot ovat tyypillisiä. Tämä vaatii tuotannon joustavuutta eli toisin sanoen tuotantoprosessin ketterää muuttamista nopeasti ja kustannustehokkaasti, kun valmistus tapahtuu asiakastilauksen perusteella. (Haverila et al. 2009, s. 358; Lapinleimu et al. 1997, s. 37)

Laatua voidaan määritellä useasta eri näkökulmasta, mutta erityisesti tuotannon ja asiakkaan näkökulmista. Asiakkaan näkökulmasta tuotteen laatu voi merkitä sen kykyä täyttää asiakkaan vaatimukset ja odotukset, ei pelkästään tarpeita ja halua (Slack et al. 2010, s. 498). Tuotannon näkökulmasta laatu merkitsee virheetöntä tuotetta sekä tuotantoprosessia. Vaatimustenmukaisuus laatuvaatimuksena edellyttää, että on olemassa selkeä eritelmä tuotteen vaatimuksista. Toiminnan virheet johtavat usein lisäkustannuksiin ja ongelmiin toimitusvarmuudessa, jonka vuoksi tuotantoprosessi pyritään saavuttamaan virheettömäksi minimoimalla siitä virhelähteet. (Haverila et al. 2009, s. 357.)

Kustannustehokkuutta haetaan tuotannossa resurssien tehokkaalla käytöllä ja minimoimalla toimintaan sitoutuneen pääoman määrän. Merkittävä osa kustannustehokkuudesta teräsrakentamisessa liittyy tuotantoprosessin tehokkuuden lisäksi materiaalihankintojen edullisuuteen, sillä materiaalikustannukset ovat suurin yksittäinen kustannustekijä teräsrakentamisen kustannusjakoumassa. Tuotantoprosessin tehokkuus ja materiaalihankintojen edullisuus johtavat pienentyneisiin yksikkökustannuksiin, jolloin yrityksen hintakilpailukyky parantuu ja kannattavuus kasvaa. (Haverila et al. 2009, s. 357.)

Tuotannon tavoitteiden toteuttamisen, eli palvelukyvyyn, laadun ja kustannustehokkuuden, välillä joudutaan kuitenkin tekemään kompromisseja. Esimerkiksi joustavuuden ke-

hittäminen aiheuttaa mahdollisesti kustannusten kasvua tai toisaalta kustannusten pienentäminen aiheuttaa laatutason alenemista. Tuotantoa parannettaessa pyritään kehittämään toimintamalleja, joiden avulla tavoitteet voidaan toteuttaa ihanteellisella tavalla. Kuvassa 8 on havainnollistettu tuotannon kilpailulähtöisten tavoitteiden ristiriitaisuutta. (Haverila et al. 2009, s. 358.)



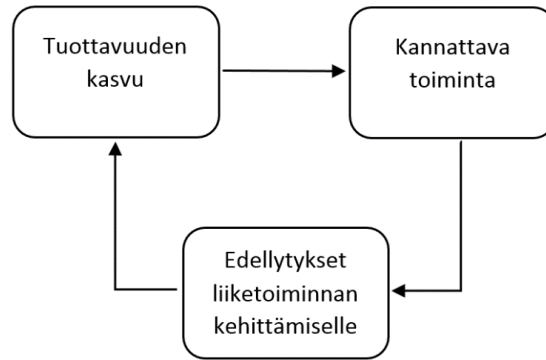
Kuva 8. Tuotannon kilpailutavoitteiden ristiriita (Lapinleimu et al. 1997, s. 38).

Tuotannolle on suoraan kilpailukyvyyn lisäämiseen johtavien tavoitteiden lisäksi muitakin, yhteiskunnan, julkis- ja työyhteisön määrittelemiä, tavoitteita, joita on mahdollista käyttää myös kilpailukeinoina. Yhteiskunnallisiin tavoitteisiin sisältyvät muun muassa työturvallisuus, ympäristön suojelu, työympäristö, tuoteturvallisuus ja sosiaalinen vastuu, joiden vaatimuksia tarkennetaan usein lakien ja asetusten avulla. (Haverila et al. 2009, s. 358.)

Kun tuotannon tavoitteita ja palvelukykyä kehitetään edelleen paremmaksi kustannustehokkuudesta tinkimättä, niin esiin nousee tuotannolle tärkeitä sekundäärisiä välitavoitteita. Asiakasta kiinnostaa ainoastaan primääritavoitteet eli esimerkiksi tuotteen toimitusaika, mutta ei valmistuksen läpäisy aika. Tuotannolle merkittäviä ja samalla kehittämisen kohteina toimivia välitavoitteita voivat olla esimerkiksi läpäisy aika, varastonhallinta tai hukan poistaminen. (Lapinleimu et al. 1997, ss. 41–42.)

3.1.2 Tuottavuus ja kannattavuus

Yrityksen suorituskykyä mitataan viime kädessä liiketoiminnan kannattavuudella eli sillä voidaanko saavutetuilla tuotoilla kattaa toiminnan kustannukset. Yrityksen toiminta ei pysy kuitenkaan kannattavana, jos tuottavuutta eli tuotannon ja sisäisen toiminnan tehokkuutta ei paranneta jatkuvasti. Kun yritys pysyy kannattavana, niin se pystyy suoriutumaan taloudellisista velvoitteistaan ja kehittämään toimintaansa. Lisäksi, kun toiminnan kehittäminen on edellytyksenä tuottavuuden parantamiselle, niin tästä seuraa kuvassa 9 esitetty tuottavuuden, kannattavuuden ja kehittämisen kehä. (Hannula & Lönnqvist 2004, s. 8; Neilimo & Uusi-Rauva 2005, s. 19.)



Kuva 9. Tuottavuuden, kannattavuuden ja kehittämisen yhteys (Hannula & Lönnqvist 2004, s. 9).

Yrityksen talouden ohjauksessa on olennaista kiinnittää huomiota siihen, millainen kyky yrityksen keskeisillä tuotannontekijöillä on aikaansaada tuotosta. Yrityksessä aikaansaadun tuotannon määrän ja tuotannontekijöiden käytön välistä tuotos-panos suhdetta kutsutaan tuottavuudeksi ja se voidaan ilmaista muodossa

$$\text{tuottavuus} = \frac{\text{tuotos}}{\text{panos}}, \quad (1)$$

jossa tuotoksella tarkoitetaan esimerkiksi valmistettujen tuotteiden kappalemäärä ja panoksella tarkoitetaan tuotoksen aikaansaamiseksi käytettyjen tuotannontekijöiden, kuten työn, pääoman, tarvittavien materiaalien, komponenttien, alihankinnan tai energian määrää. Riippuen siitä minkälainen tuotos tai panos on valittu, saadaan erilaisia osatuottavuuden tai monitekijätuottavuuden mittoja. Talouden ohjauksen näkökulmasta työn ja pääoman tuottavuus ovat keskeisimmät tuottavuustavoitteiden alueet, sillä mitä paremmat niiden tuottavuusarvot ovat, niin sitä tehokkaammin yrityksessä on onnistuttu käyttämään tuotantoresursseja. Kokonaistuottavuuden mittaaminen on melko hankalaa, sillä siinä tulee laskea yhteen kaikkien tuotokset ja niiden suhde kaikkiin tuotoksen aikaansaamiseksi käytettyihin panoksiin nähden. (Hannula & Lönnqvist 2004, ss. 45, 57; Neilimo & Uusi-Rauva 2005, ss. 22–23, 281; Sakki 2003, s. 39; Stenbacka 2011, s. 21.) Poikkeavia tuottavuudenmittausmenetelmiä on kuitenkin kehitetty tuottavuuden mittaamiseen liittyvien ongelmien vuoksi. Eri menetelmät ja lähestymistavat palvelevat eri tarkoituksia, eikä niiden keskinäistä paremmuutta voida tämän vuoksi arvioida. Mutta sitä, miten hyvin mitaustapa toimii tarkoituksessa, jossa sitä käytetään, on kuitenkin syytä arvioida. Tuottavuutta voidaan arvioida osa-, monitekijä- ja kokonaistuottavuuden lisäksi muun muassa jalostusarvon, kustannuslaskennan ja johtamisen tunnuslukujen pohjalta. (Saari 2000, ss. 26–33.)

Tuottavuuteen vaikuttaa useita tekijöitä, mutta jo 1950-luvulla on osoitettu, että tehokkuuden kasvattamisen lisäksi myös teknisellä kehityksellä on olennainen vaikutus tuottavuuden kasvun syntymekanismeissa. Tehokkuuden lisäyksellä tarkoitetaan menemistä kohti parhaan käytännön tekniikkaa eli tuotantomahdollisuuksien ylärajaa. Teknisellä ke-

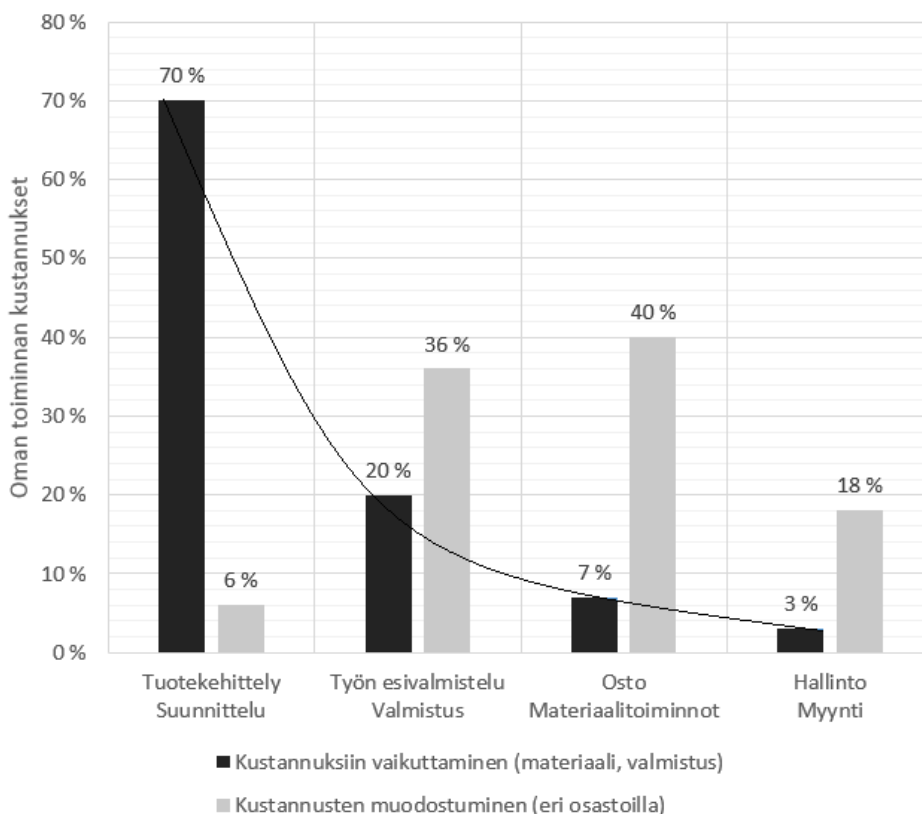
hityksellä tarkoitetaan puolestaan tämän rajan siirtämistä. Tekninen kehitys on laaja käsite, joka sisältää uuden tekniikan käyttöönoton lisäksi myös lisääntyneen tiedon ja taidon. Pitkällä aikavälillä teknistä kehitystä, tuotannon laajentamisen mittakaavaetuja sekä voimavarojen uudelleen kohdistamista voidaan pitää tärkeimpinä tuottavuuden kasvuun vaikuttavina tekijöinä. (Saari 2006, ss. 98–99.)

Kannattavuudella kuvataan yrityksen tehokkuutta yrityksen rahaprosessin näkökulmasta, kun tuottavuudella kuvattiin reaali-prosessin tehokkuutta. Kannattavuus voidaan pelkistetysti määritellä yrityksen tulojen ja menojen erotukseksi tiettyinä ajanjaksona ja sitä voidaan kuvata yrityksen voittona tai tappiona. Tuloja yritys saa tuotteiden ja palveluiden myynnistä. Tulojen suuruuteen vaikuttavat suurissa määrin vallitseva kilpailutilanne ja yrityksen kyky tuottaa asiakkaalle lisäarvoa. Menot muodostuvat yrityksen omista kustannuksista ja ostohintojen muodossa myös kaikista toimitusketjussa aiemmin syntyneistä kustannuksista. Tuottavuuden ja kannattavuuden taustalla vaikuttaa monia yhteisiä syytekijöitä, vaikka ne ovatkin käsitteinä hivenen erilaisia asioita. Niiden ero perustuu hinnan vaihteluihin, sillä hinnan muutosten vaikutuksesta kannattavuus voi laskea tuottavuuden pysyessä muuttumattomana. (Brax 2007, s. 5; Sakki 2003, s. 38.)

3.2 Suunnittelun ja valmistuksen yhteistyö

Suunnittelijan tulee tuntea valmistusprosessit ja tuotannossa olevien laitteiden mahdollisuudet sekä rajoitukset konepajakohtaisesti, jotta hän osaa huomioida valmistuksen kustannukset ja konepajan erityisvaatimukset suunnitelmissaan. Mahdollisimman kevyt rakenne ei ole aina halvin, vaikka teräksen hinta on melkein suoraan verrannollinen sen painoon, sillä materiaalisäästöt voidaan menettää kasvaviin valmistuskustannuksiin. Kuvassa 10 on esitetty, miten hitsatun teräsrakenteen kustannuksiin on mahdollista vaikuttaa konepajan eri osastoilla. Kuvasta nähdään, että suunnittelija määrää jopa 70 % tuotteen valmistuskustannuksista. Kokonaisuuden kannalta on erittäin tärkeää, että suunnittelija ja konepaja toimivat yhteistyössä, jotta päästään mahdollisimman edulliseen lopputulokseen. (Kaitila 2010, s. 169; Ongelin & Valkonen 2016, s. 469; Piironen 2013, s. 4.)

Yhteistyön tarve kuitenkin vähenee mitä enemmän suunnittelijalla on kokemusta ja tietotaitoa, jolloin on olemassa konstruktioita, jonka suunnittelukriteerit ovat yleisesti tiedossa. Toisaalta uusien materiaalien ja valmistusmenetelmien kehittyminen vaatii suunnittelijan jatkuvaa kouluttautumista ja tietotaidon lisäämistä. (Häkkinen 2002, s. 8.) Swink ja Nair (2006) osoittavat tutkimuksessaan, että suunnittelun ja valmistuksen integraatiossa suunnittelu- ja valmistusprosessit täydentävät toisiaan erityisesti, kun käytetään edistyneitä valmistusteknologioita. Suunnittelun ja valmistuksen integraatio on strateginen integraatioprosessi, johon liittyy tietyt filosofiat ja käytännöt. Nämä tehostavat organisaation kykyä tunnistaa ja puuttua suunnittelun ja valmistuksen välisiin riippuvuussuhteisiin. Integraatio edistää yhteistyötä, mutta se vaatii koordinoitua, joka helpottaa tiedon jakamista sekä tuotteen ja prosessien kehitystä. Koordinoinnin avulla pystytään myös vaikuttamaan siihen, että integraation avulla eri osapuolet eivät aja vain omaa etuaan.



Kuva 10. Kustannuksiin vaikuttaminen ja kustannusten muodostuminen hitsatun rakenteen valmistuksessa (Kemppi 2008, s. 2).

Suunnittelun ja valmistuksen yhteistyön tasot voivat vaihdella huomattavasti. Pienimmillään se voi olla osien valmistettavuuden analysointia epävirallisilla henkilötason kommenteilla. Laajemmassa yhteistoiminnassa suunnittelutyötä tehdään tiiviisti yhdessä valmistuksen kanssa palaverityyppisesti sekä jatkuvilla keskusteluilla. Näissä tilanteissa käsitellään myös tuotekehitykseen liittyviä valmistuskysymyksiä jatkuvan parantamisen periaattein. (Häkkinen 2002, s. 15; Häkkinen 2004, s. 34; Vesalainen 2004, s. 58.)

Molempia osapuolia hyödyttäviä teknisiä apuvälineitä on kehitetty erityisesti suunnittelupuolelle. Valtaosa suunnittelusta tapahtuu tänä päivänä 3D-suunnittelutyökaluilla ja koko ajan enenevässä määrin tietomallintamalla, jossa rakennemalliin sisällytetään valmistusinformaatiota. Tällöin rakenteesta on jo melko aikaisessa vaiheessa nähtävissä havainnollisia malleja, jotka auttavat valmistuksen suunnittelua. (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 280; Kaitila 2010, s. 11.) Erityisesti suunnittelupuolelta on toivottu, että valmistuspuoli kehittäisi erityisiä apuvälineitä, jotka auttavat suunnittelun tekemistä valmistustoiminnan kannalta. Nämä pienentäisivät suunnittelijan taitojen ja olemassa olevien mahdollisuuksien välistä tietokuilua. (Häkkinen 2002, ss. 37, 47.) Suunnittelun ja valmistuksen yhteistyön apuvälineitä on käsitelty tarkemmin seuraavissa alaluvuissa 3.2.1 ja 3.2.2.

3.2.1 Valmistettavuuden suunnittelu

Valmistusmenetelmien kehittymisen lisäksi myös määräykset kehittyvät. Suunnittelijan tulee tuntee teräsrakentamisen valmistusprosessit myös siksi, että teräsrakenteiden valmistuksessa voidaan täyttää standardin SFS-EN 1090-2+A1 mukaiset valmistuksen laatuvaatimukset. Suunnittelijoiden taitoa on mahdollista kehittää laatimalla erilaisia ohjeistuksia, pitämällä koulutuksia ja tiivistämällä yhteistoimintaa tuotantojohtajien kanssa. Usein yhteistyön ongelmaksi muodostuvat apuvälineiden kehittämistä vastuu ja niiden kustannukset. (Häkkinen 2002, ss. 42, 47.)

Tanner (1991, s. 51–57) on teoksessaan käsitellyt tuotteen valmistettavuutta suunnittelun näkökulmasta. Suunnittelijaa varten on mahdollista luoda tarkastuslistoja, joiden avulla on helppo muistaa valmistuksen näkökulmat ja tehdä valmistettavuusanalyyssejä. Tarkastuslista on laadittava valmistavan tuotannon näkökulmasta, sillä kattavaa yleislistausta on haastavaa laatia. Alustavat valmistettavuuden tarkastuslistat voivat kuitenkin sisältää seuraavanlaisia asioita:

- Tarkastuslista materiaaleille, osto-osille ja komponenteille:
 - Voidaanko käyttää standardiosia?
 - Mikä on materiaalien saatavuus?
 - Materiaalin laatu on sopiva kohteeseen?
 - Erikoislaatuja on mahdollisuuksien mukaan vältetty?

- Tarkastuslista osien valmistettavuudelle:
 - Ovanko toleranssit toiminnan kannalta järkeviä?
 - Onko valmistustoleransseihin mahdollista päästä ilman erikoistoimintoja?
 - Valmistus voidaan tehdä ilman erikoisprosesseja ja työvälineitä?

- Tarkastuslista tuotteen kokoonpantavuudelle:
 - Voidaanko käyttää kokoonpanoalustoja?
 - Onko toleransseihin mahdollista päästä ilman erikoistoimintoja?
 - Voidaanko kokoonpano mitata luotettavasti?

- Sisältääkö piirustukset tai mallit tarvittavat valmistustiedot
 - Onko tarvittavat mitat ja toleranssit esitetty?
 - Onko tarkastusvaatimukset esitetty?
 - Hitsausmerkinnät on esitetty?
 - Hitsausmerkit on suunniteltu asianmukaisesti?

- Automaattisen valmistuksen ja kokoonpanon mahdollisuudet:
 - Voidaanko käyttää automaattisia valmistusmenetelmiä?
 - Voidaanko valmistusta mekanisoida tai automatisoida?
 - Pyritään käyttämään samanlaisia osia.

3.2.2 Tietomallintaminen

Tietomallinnusta, Building Information Modeling (BIM), pidetään rakennusalalla yhtenä viimeaikojen lupaavimmista kehitysasteista. Nykypäivän vaatimuksena voidaan pitää, ainakin suurempien kohteiden osalta, teräsrakennesuunnittelun toteuttamista tietomallinnuksen avulla. Tietomallinnuksella luodaan digitaalinen todellisuutta vastaava virtuaalimalli rakenteesta. Malli sisältää rakenteesta tarkan geometrian ja tiedot, joita tarvitaan rakentamisen, osavalmistuksen ja hankinnan tukena. Tietomallinnusohjelmalla luodaan rakenteesta tarkkaa 3D-mallia heti suunnittelutyön alusta alkaen, joten siitä saadaan havainnollista näkymää missä vaiheessa suunnittelua tahansa. Valmistajalla on mahdollista tutustua rakenneratkaisuihin ja antaa niihin toteutuskelpoisia ehdotuksia suunnittelun edetessä. Tämä helpottaa muun muassa kustannusten arviointia aikaisemmassa vaiheessa. Tietomallien käytöllä pyritään hallittuun päätöksentekoon ja tiedonkulun edistämiseen projektin osapuolten välillä. Tietomallinnus mahdollistaakin entistä paremman suunnittelun ja valmistuksen integraation, joka johtaa valmistuksen parempaan laatuun halvemmalla ja nopeammin. (Eastman et al. 2008, ss. 1, 17–18; Teräsrakenneyhdistys 2015a, TEP WP1 s. 13; YTV 2012a, osa 5, s. 5.)

Koko rakenteen täsmällinen 3D-mallinnus auttaa osavalmistuksen tekemistä, koska myös osista ja kokoonpanoista on luotu heti tarkat mallit. Malli sisältää tiedot muun muassa käytettävästä materiaalista, valmistuksen vaatimuksista, pintakäsittelystä, toimitusjärjestyksestä ja -aikataulusta. Mallien siirtäminen numeerisesti ohjattujen koneiden valmistettavaksi helpottuu, kun koneen ohjelmoiminen tapahtuu suoraan 3D-mallin avulla, ilman käsin tehtäviä välivaiheita, jotka ovat hitaita ja virhealttiita. Malleja voidaan käyttää myös lasermittalaitteiden apuna. Nämä mahdollistavat suurempien ja monimutkaisempien kokoonpanojen konepajavalmistuksen, kuin mitä 2D-piirustukset mahdollistaisivat, koska mittausten avulla voidaan varmistua kokoonpanojen yhteensopivuudesta työmaalla. Täydellinen rakenteen malli tarjoaa täsmälliset materiaalien ja valmisosien määräluettelot. Määräluetteloita voidaan käyttää hankinnan tukena ilman, että määriä pitäisi laskea henkilötöyönä piirustuksista. Komponenttivalmistajat voivat tarjota omista tuotteistaan valmiita komponenttimalleja eri suunnitteluohjelmistoille. Tällöin valmiit komponentit ovat suoraan suunnittelijan käytettävissä ilman, että niitä pitäisi erikseen mallintaa. Näin suunnittelijan työ nopeutuu ja mallinnuksesta saadaan tarkkoja tietoja hankinnan ja valmistuksen avuksi. (Eastman et al. 2008, ss. 19–20, 236; Teräsrakenneyhdistys 2015a, TEP WP1 s. 14; YTV 2012b, osa 13, ss. 5, 13.)

Teräsrakenteen tietomalli, joka toimitetaan konepajalle valmistustiedoksi, on tarkistettava ennen valmistustoiminnan aloitusta. Tietomallin tulee sisältää seuraavat yksityiskohdalliset tiedot:

- Kokoonpanojen ja osien tunnukset
- Materiaalitiedot
- Poikkileikkaustiedot sisältäen kaikki tarpeelliset mitat

- Palkkien loveamistiedot
- Hitsitiedot
 - o tyyppi, koko, pituus ja laatuvaatimukset
- Ruuviliitosten tiedot
 - o ruuvien ja reikien koot, reikien sijainti ja tyyppi sekä ruuvimateriaalit
- Osien esikäsitteilyn ja pintakäsittelyn tiedot
- Piirustuslinjojen määrittely
- Kokoonpanojen ja osakokoonpanojen hierarkiamäärittelyt
- Liitosdetaljit
- Määrä-, massa- ja valmisosaluettelot
- Täydentävien osien (kuten tikkaat, kaiteet, portaat jne.) mallinnokset
- Rakentamisen turvallisuusvarusteet ja niiden liitokset
- Aikataulusuunnitelmat

Teräsrakenteen tietomallin tekemisessä voidaan käyttää muun muassa *Tekla Structures* ja *Revit Structure* -mallinnusohjelmia. (Aram & Eastman 2013, ss. 26–27.)

3.3 Hankintatoimi

Yritykset tarvitsevat usein toiminnan toteuttamisen avuksi toisten tuottamia raaka-aineita, komponentteja, tuotteita ja palveluita. Näiden hyödykkeiden ja palveluiden käyttäminen vaatii hankintoja. Hankinnat eivät ole ainoastaan ostotapahtumia eli hetkellisten hyödykkeiden ja palveluiden vaihtamista rahaan. Hankintaan sisältyy kaikki hankintakohteen toteutumiseen liittyvät vaiheet, kuten hankintatarpeen tiedostaminen, raaka-aineen, komponentin, tuotteen tai palvelun tilaaminen ja vastaanottaminen sekä sen vieminen osaksi yrityksen toimintaa. (Martinsuo et al. 2016, s. 309.)

Hankinnoilla on keskeinen rooli yrityksen toiminnassa, sillä ne vaikuttavat niin moneen yrityksen osa-alueeseen. Useissa yrityksissä suurin osa kokonaiskustannuksista voi tulla hankituista hyödykkeistä tai palveluista. Esimerkiksi rakennusalalla pääurakoitsijan hankkimat hyödykkeet ja palvelut voivat kattaa usein jopa 75–80 % urakan loppusummasta. (Ford et al. 2003, s. 91.) Valmistavassa teollisuudessa hankittujen hyödykkeiden ja palveluiden kustannukset ovat keskimäärin 55 %. Ei olekaan yllätys, että monet yritykset kiinnittävät huomiota hankintatoimen hallintaan, kun pyritään nostamaan yrityksen arvoa suorituskykyä parantamalla ja kustannuksia vähentämällä. Keskittymällä ostotoimintaan voidaan saavuttaa erityisesti hinta-, laatu- ja teknologiaetuja. (Monczka et al. 1998, s. 2.)

Hankintaa tehtäessä tulee aina huomioida, että se tehdään suhteessa yrityksen omaan toimintaan. Jo hankintatarpeita rajatessa tulee käsitellä sitä, miten hankinta yhdistetään omaan tuotantoon. Hankinnan tulee soveltua kustannuksien lisäksi myös ominaisuuksien sekä tilaus- ja toimitustavan osalta yrityksen toimintaan. Näiden tavoitteiden toteutumiseksi on löydettävä tehtävään parhaiten sopivat toimittajat arvioimalla ja vertailemalla. (Martinsuo et al. 2016, s. 310.)

Aina hankinnan tehtävänä ei ole suoranaisesti operatiivinen tarpeen täyttäminen, vaan se voidaan tehdä myös taktisista tai strategisista syistä esimerkiksi ulkoistamalla osa toiminnoista. Strategisen tason päätökset vaikuttavat liiketoiminnan luonteeseen, yrityksen osaamisen tarpeeseen ja työntekijöiden määrään sekä organisaation johtamistyyliin ja kilpailuasemaan. (Baily et al. 1998, s. 211.) Teräsrakenteen toimittajan ei välttämättä tarvitse tai ei edes kannata suorittaa koko valmistusprosessia itse. Esimerkiksi terästukkukaupat ovat alkaneet pitää esikäsittely- ja osavalmistuspalveluita merkittävänä osana omaa liiketoimintaa, varastotuotetoimitusten lisäksi. Kyseiset palvelut antavat konepajalle mahdollisuuden hankkia esivalmistetut osat valmiina ja keskittyä kokoonpanovalmistukseen. (Teräsrakenneyhdistys 2015b, TEP WP2 s. 10.)

Seuraavissa alaluvuissa 3.3.1 ja 3.3.2 on käsitelty tarkemmin ulkoistamista, alihankintaa ja alihankintasuhteen kehittämistä.

3.3.1 Ulkoistaminen ja alihankinnan käyttö

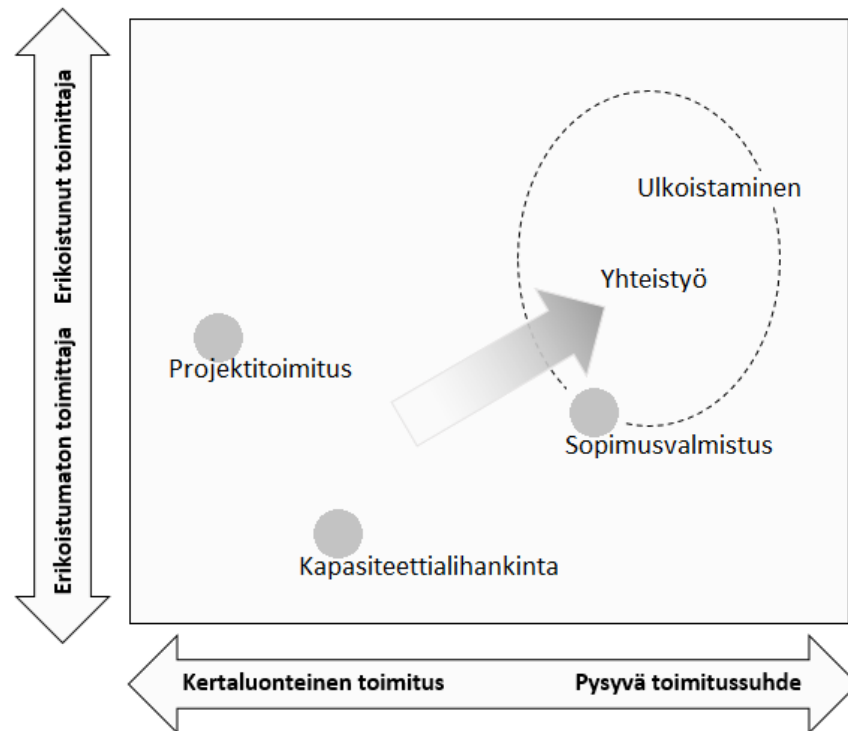
Perinteisessä hankintatoimessa kauppatavarat ovat usein niin sanottua luettelotavaraa, joiden toimittajia löytyy runsaasti. Tuotteiden soveltuvuus käyttöön varmistetaan erilaisien standardien avulla ja ne ovat keskenään vaihtokelpoisia. Esimerkiksi teräsrakentamisessa niin kutsutut *'käytettävät tuotteet'* ovat tällaisia. Jakeluketjuun osallistuu tavallisesti maahantuojia, tukkukauppoja ja vähittäismyymälöitä, joten ostajalla on mahdollisuus valita useita vaihtoehtoisia valmistajia ja jakelukanavia. (Häkkinen 2003, s. 26.)

Valmistavassa alihankintatoiminnassa tuote ei ole luettelotavaraa, vaan sen valmistus tapahtuu asiakkaan piirustusten ja spesifikaatioiden mukaan. Valmistettava osa liittyy lopputuotteeseen, jonka kysyntä ohjautuu päähankkijan kautta alihankkijalle. Tällä tavalla alihankkijan tuotanto integroituu osaksi päähankkijan tuotantoprosessia. Tämän vuoksi alihankkijaa tulisi tarkastella kokonaisuutena eikä vain irrallisena osana, sillä lopulta päähankkija maksaa kaikki kustannukset, jotka aiheutuvat hänen tuotteen valmistuksesta. (Häkkinen 2003, s. 26.)

Yrityksissä alihankinta nähdään usein keinona kohentaa rajallisia resursseja ja osaamista, joka mahdollistaa urakoitsijan keskittyä omaan osaamisalueeseen. Projektitoiminnassa pääurakoitsija antaa osan urakkaan kuuluvista töistä alihankkijalle, joka on tekemästään työstä vastuussa loppuasiakkaan sijasta päähankkijalle, myöskin silloin kun loppuasiakas on määrännyt alihankkijan, jota tulee käyttää. Muunlaisessa valmistustoiminnassa, kuten sarjatuotannossa, alihankintaa käytetään tekemään töitä, jotka voitaisiin tehdä itse, mutta myydään pois, koska on pulaa kapasiteetista tai sopivista tiloista. Alihankinnasta ostetaan siis kykyä tehdä työtä, kuten kapasiteettia, asiantuntemusta tai aikaa. Lyhyellä aikavälillä alihankinnan käytön tavoitteena on usein kyky vastata tilauksiin. Pitkällä aikavälillä alihankintapolitiikkaa tulisi kehittää siihen suuntaan, että se tarjoaa kustannustehokkaita valmistusresursseja. Erikoistuneen alihankkijan avulla onkin mahdollista turvata ja säilyttää ote teknologisten muutosten ja innovaatioiden kärjessä. (Baily et al. 1998, s. 220.)

Yksi tämän päivän tärkeimmistä valmistavan teollisuuden liiketoiminnallisista päätöksistä onkin se, että suoritetaanko kaikki tuotteen valmistus- ja kokoonpanovaiheet itse vai ulkoistetaanko jotain. Tällä vastakkainasettelulla pyritään löytämään vastausta siihen, minkälainen on tehokkain organisoitumisen muoto. (Vesalainen 2004, s. 21.) Tällaiset päätökset vaikuttavat yleensä pitkiä aikoja yrityksen toimintaan, joten useita tekijöitä tulisi ottaa systemaattisesti huomioon ulkoistamispäätöstä tehtäessä. Näihin tekijöihin kuuluvat muun muassa yrityksen ydinosaaminen ja erityiset kustannukset sekä laatu, toimitusaika, teknologia, reagointikyky ja halu jatkuvaan parantamiseen. (Monczka et al. 1998, s. 210.) Huomioon otettavien tekijöiden perusteella tehdään pitkän ja lyhyen aikavälin kustannus-hyötyanalyysit. Analyysien avulla on tunnistettava sekä itse tekemisen hyödyt ja kustannukset, että ulkoa ostamisen hyödyt ja kustannukset. (Martinsuo et al. 2016, s. 275.)

Alihankintaa voikin siis tapahtua erilaisilla tasoilla ja sitä voidaan kuvan 11 tapaan eritellä toimittajan erikoistumisen ja toimitussuhteen pysyvyyden perusteella.



Kuva 11. Toimeksiantajan ja alihankkijan välinen suhde toimittajan erikoistumisen ja toimitussuhteen pysyvyyden kannalta (Karjalainen et al. 1999, s. 7).

Tavallisesti ulkoistamisella tarkoitetaan pitempiä aikaista yhteistyösuhdetta toimeksiantajan ja alihankkijan välillä. Kapasiteettihankinnassa päähankkija valmistaa itse tuotetta, mutta tasoittaa omia lyhytaikaisia kuormitusvaihteluita alihankkijan avulla. Projektitoimitukset tapahtuvat usein yksittäistä toimitusta koskevan tarjouskilpailun perusteella. Sopimusvalmistus on yritysten välistä toimintaa, jossa sopimusvalmistaja tekee toimeksiantajan määrittelyjen mukaisia hyödykkeitä pitkien toimitussopimusten perusteella joko itse hankkimista tai toimeksiantajan materiaaleista. Sopimusvalmistaja keskittyy sopimuksen

mukaiseen valmistustoimintaan, kun toimeksiantaja keskittyy jatkokokoonpanoon, tuotekehitykseen ja markkinointiin. Erikoistuneet alihankkijat voivat myös osallistua päähankkijan tuotteiden valmistusmenetelmiin ja tuotesuunnitteluun liittyvään kehitystoimintaan. Kuvaan 11 piirretty nuoli esittää mahdollista toimitussuhteen kehitystrendiä, jossa esimerkiksi projektitoimituksista voi kehittyä yhteistyösuhde. (Karjalainen et al. 1999, ss. 7–8.)

3.3.2 Alihankintasuhteen kehittäminen

Lappalaisen et al. (2008, s. 106) tekemän tutkimuksen mukaan alihankintasuhteen kehitymisessä tunnistettiin kaksi päävaihetta, joita ovat ulkoistaminen sekä kehitys- ja syventämisvaihe. Ulkoistusvaihe sisältää yhteistyön opettelua ja toimintatapojen vakiointia. Kehitys- ja syventämisvaiheessa edellytetään taas panostusta liiketoimintaan ja yhteistyön jatkuvaan kehittämiseen sekä tehostamiseen. Tällöin odotetaan myös osoitusta pitkäjänteisestä sitoutumisesta. Alihankkijoiden kehittäminen on päähankkijayrityksen systemaattista pyrkimystä luoda ja ylläpitää pätevien toimittajien verkostoa. Hyvässä toimitajasuhteessa täytyvätkin kummankin osapuolen odotukset ja tarpeet aktiivisessa ja pitkäkestoisessa suhteessa (Nieminen 2011, s. 14). Alihankkijoiden toimintaa pitää kehittää myös niiltä alueilta, mitkä eivät suoraan liity päähankkijan toimiin, mikäli halutaan kehittää kokonaisvaltaisesti päähankkijan toiminnan suorituskykyä (Monczka et al. 1998, s. 352).

Langfield-Smith & Greenwood (1998, ss. 346–350) esittävät tutkimuksessaan tekijöitä, jotka vaikuttavat alihankintasuhteen kehittämiseen molempien osapuolien näkökulmasta. Alihankkijan toiminnan taso pitää olla lähtökohtaisesti päähankkijan odotuksia vastaavalla tasolla, jotta kehittämiseen tarvittavat muutokset eivät ole liian suuria. Muutoksia joka tapauksessa tarvitaan, jolloin osapuolilla pitää olla halua ja luottamusta toteuttaa niitä. Luottamusta saavutetaan muun muassa osapuolien välisellä tehokkaalla kommunikoinnilla ja tiedon jakamisella. Loppujen lopuksi, kun lähtökohdat alihankintasuhteen kehittämiseksi ovat kunnossa, niin tarvitaan suoraa alihankkijan auttamista tuotannon tehostamiseksi sekä alihankkijan osallistumista kehitystoimintaan. Monczka et al. (1998, s. 357) toteavat, että kehittämisen ja parantamisen ohjelmat vaativat aina kehittämissuunnitelman, joka auttaa keskittämään rajalliset resurssit sinne mistä voidaan saavuttaa suurin hyöty.

4. TUOTANNONOHJAUS

Teräsrakenteen valmistus vaatii huolellista tuotannonohjausta, jotta varmistetaan virtaviivainen ja virheetön tuotantoprosessi, sillä monet tekijät vaikuttavat tuotantoprosessin tehokkuuteen. Perinteinen teräsrakennevalmistuksen tuotannonohjaus perustuu ensisijaisesti ohjaustoimintaa suorittavien henkilöiden kokemukseen, mutta henkilöosaamisen avuksi on mahdollista kehittää hyödyllisiä apuvälineitä. (Song & Abourizk 2006, s. 308.)

Tässä luvussa tutustutaan tuotannonohjauksen teoriaan huomioiden teräsrakentamisen tuotantopiirteet. *Tuotannonohjauksen* käsitteen sijasta aihetta olisi mahdollista tarkastella myös *toiminnanohjauksen* käsitettä käyttäen, mutta käsitevalinnalla halutaan korostaa tutkimuksen keskittymistä teräsrakentamisen tuotanto- ja valmistustoiminnan ohjaukseen, kuitenkin tärkeimpiä oheistoimintoja unohtamatta. Tässä tutkimuksessa käsiteltävä tuotannonohjauksen termi käsittää luvussa 3.1 käsitellyn tuotantotoiminnan ohjaamisen, jossa valmistus muodostaa tuotannon päätoiminnan, mutta se sisältää myös tuotesuunnittelun ja hankinnan tukitoiminnot.

Tuotannonohjauksesta käsitellään tuotannonohjauksen perusteita ja sen tavoitteita, tuotannonohjaukseen vaikuttavia tekijöitä, tuotannon ohjattavuutta ja tuotannonohjausprosessia, sekä tuotannonohjausperiaatteita ja -menetelmiä. Luvussa perehdytään lisäksi sähköisen tuotannonohjausjärjestelmän vaikutuksiin tuotannonohjauksen apuna, sekä teräsrakentamisen kehittyneen tuotannonohjauksen periaatteisiin ja apuvälineisiin.

4.1 Tuotannonohjauksen perusteet ja tavoitteet

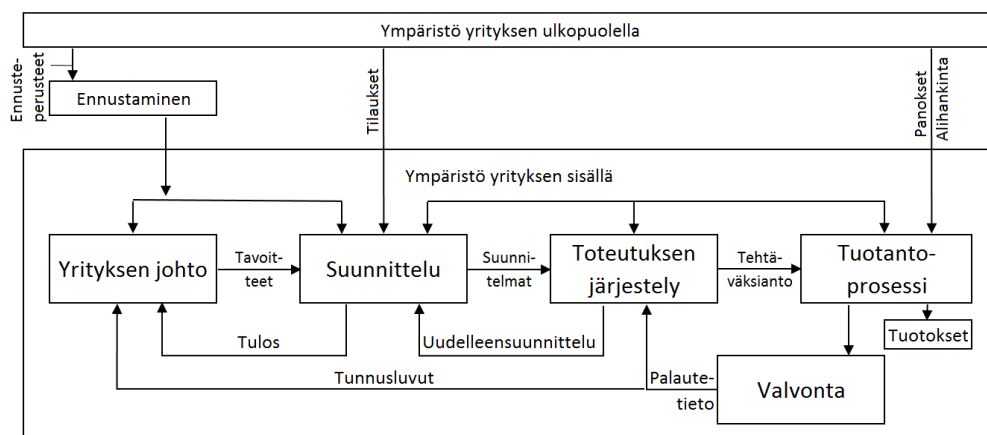
Miettisen (1993, s. 23) mukaan ohjaus tarkoittaa ohjauksen kohteena olevan toiminnan suunnittelua, toteutusta, informointia ja valvontaa. Ohjausta tarvitaan, jotta yrityksen toimintaa ja voimavaroja voidaan suunnata tavoitteiden saavuttamiseen ja sen taustalla on pitkän, keskipitkän ja lyhyen aikavälin suunnittelu. Tuotannonohjauksen lähtökohtana on yrityksen kokonaisohjaus, joka jakaantuu erilaisiin ohjaussysteemeihin (Aaltio & Olkkonen 1976, ss. 63–64). Tässä yrityksen kokonaissysteemissä tuotannonohjauksen tehtävänä on varmistaa valmistuksen toteutus tavoitteiden mukaisesti. Tavoitteiden saavuttamiseksi etsitään keinot, jotka suunnitellaan sekä toteutetaan ja joiden käyttöä valvotaan. (Junnonen 1996, s. 15.)

Toimiva tuotannonohjausjärjestelmä tarjoaa tietoa tehokkaaseen materiaalivirran ohjaukseen, tehokkaaseen henkilöstön ja koneiden hyödyntämiseen sekä koordinoi sisäisiä toimia ja ulkoisia toimittajia (Vollman et al. 1997, s. 2). Keskeisiä tuotannon operatiivisen ohjauksen tehtäviä ovat muun muassa tuotantosuunnitelmien laatiminen, oman sekä ali-hankkijan tuotantokapasiteetin ja kuormitustilanteen tunteminen, myynnin informoimi-

nen, tilausten hallinta sekä materiaalitilaus- ja valmistusimpulssien antaminen. Operatiivinen suunnittelu pohjautuu tuotesuunnitteluvaiheessa tehtyyn tuotantotekniseen suunnitteluun, joka on sovellettu vastaamaan tuotantojärjestelmää. (Lapinleimu et al. 1997, ss. 191–192.) Tuotannonohjauksella tarkoitetaan tuotantojärjestelmän eri osien yhteensovittamista ja ohjaamista (Miettinen 1993, s. 23).

Slackin et al. (2010, s. 270) mukaan tuotannonohjaus tarjoaa järjestelmät, menettelyt ja päätökset, joiden avulla markkinoiden kysyntä ja tuotannon tarjonta saadaan kohtaamaan. Kysynnän ja tarjonnan välillä on monia erilaisia näkökulmia ja olosuhteita, mutta jokaisella tuotannonohjaustapauksella on lähtökohtaisesti sama tarkoitus – sopeuttaa kysyntä ja tarjonta kohtaamaan sellaisella tavalla, jolla voidaan varmistaa prosessien tehokas ja tuottava toiminta, kun tuotetaan asiakkaiden tarvitsemia hyödykkeitä. Tuotannonohjauksen suunnittelutoiminto on tulevaisuuden tapahtumien ennakoimista, mutta se ei tarkoita, että tapahtuma todella tapahtuu. Suunnitelma on pikemminkin aiesopimus, joka perustuu odotuksiin, mutta toteutusvaiheessa asiat eivät välttämättä tapahdu odotetulla tavalla. Asiakkaat voivat muuttaa mieltä siitä, mitä ja milloin he haluavat, toimittajat eivät pysty toimittamaan ajoissa, koneet saattavat hajota tai työntekijät voivat sairastua. Tuotannonohjaus on prosessi, jonka avulla muuttujissa tapahtuvista muutoksista voidaan selviytyä. Tämä voi tarkoittaa sitä, että lyhyen aikavälin suunnitelmat on tehtävä uusiksi, toimintaa on muutettava, uusi toimittaja on etsittävä, kone on korjattava tai työntekijöitä on siirrettävä paikasta toiseen. Ohjauksen avulla tehdään säädöt, jotka mahdollistavat toiminnan suunnitelman mukaisten tavoitteiden saavuttamisen, vaikka alkuperäisen operatiivisen suunnittelun oletukset eivät pitäisikään paikkaansa. Tämä tarkoittaa, että tuotannonohjaus jakaantuu ennakoivaan ja korjaavaan ohjaukseen. (Junnonen 1996, s. 17.)

Edellä kuvailtua tuotannonohjausta ja sen järjestelmää voidaankin Aaltion & Olkkosen mukaan (1976, ss. 64–65) esittää kuvan 12 tapaan, jossa järjestelmä muodostuu karkeasti seuraavista osatoiminnoista, jotka kytkeytyvät ohjaussysteemiksi: ennustaminen, suunnittelu, toteutusjärjestely, tehtäväksianto, tuotantoprosessi, tuotokset, valvonta, tunnusluvut, uudelleensuunnittelu, tavoitteet, tulos, tilaukset, panokset, alihankinta, ympäristö yrityksen ulkopuolella, ympäristö yrityksen sisällä.



Kuva 12. Tuotannonohjauksen järjestelmä (Aaltio & Olkkonen. 1976, s. 65).

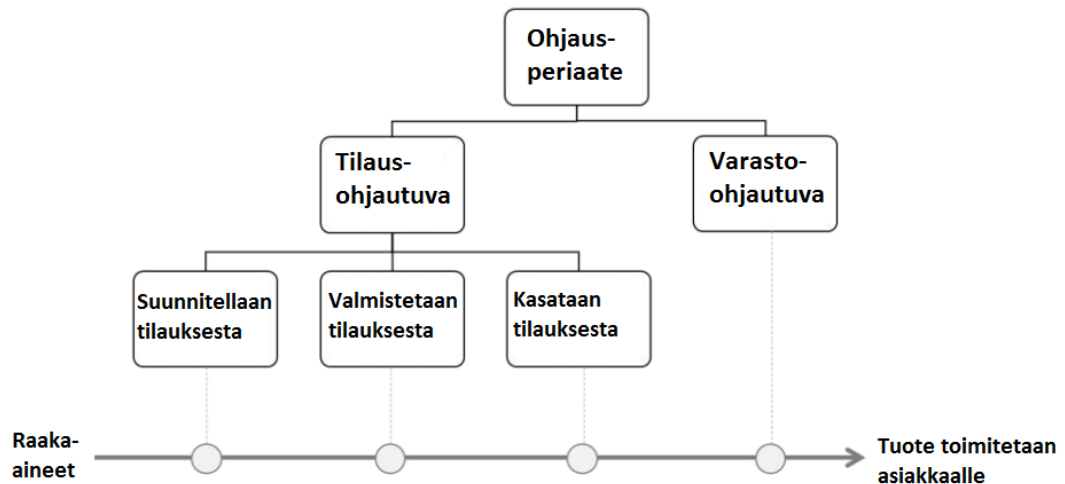
Sjölanderin (1982, s. 92) mukaan tuotannonohjauksen tarkoitus on tasapainottaa resursien käyttöä siten, että tuotannon, keskenään ristiriitaiset, tavoitteet täytetään mahdollisimman tarkasti. Tuotannonohjauksen päätavoitteet perustuvatkin tuotannon yleisiin tavoitteisiin, joita on käsitelty luvussa 3.1.1. Yrityksen valitsevat kilpailutekijät vaikuttavat tavoitteiden muodostumiseen ja keskinäiseen suhteeseen. Tuotannonohjauksen päätavoitteita ovat kirjallisuuden mukaan toimitusvarmuus, lyhyt läpimenoaika, tuotantokapasiteetin korkea tuottavuus, valmistuskustannusten hallinta ja tuotantoon sitoutuvan vaihtomaisuuden minimointi. (Aaltio & Olkkonen 1976, s. 65; Haverila et al. 2009, s. 402; Mankki 1988, s. 10; Miettinen 1993, s. 24; Sjölander 1982, s. 94.)

4.2 Tuotannonohjaukseen vaikuttavia tekijöitä

Aaltio ja Olkkonen (1976, s. 69) ovat määrittäneet tuotannonohjauksen jäsentelyn muodostumiseen vaikuttaviksi tekijöiksi seuraavat ryhmät: tuotteet, tuotantoaloite, tuotantoprosessi ja tuotevalikoima sekä materiaalihankinnat. Jokainen ryhmä muodostuu vaihtoehtoista, joista osa on lähtöisin tuotannonohjauksen ulkopuolelta ja osaan tekijöistä tuotannonohjaus voi vaikuttaa paljonkin.

Tuotteet voivat olla vakiotuotteita tai asiakaskohtaisia tilaustuotteita, jolloin jaottelu perustuu asiakkaan vaikutusmahdollisuuksiin. Vakiotuotteiden tuoterakenteet ovat ennalta määrättyjä ja ne pysyvät pitkään samanlaisena, jolloin valmistuksen perustiedot ja prosessit ovat olemassa. Asiakas ei siis voi vaikuttaa vakiotuotteen yksityiskohtaiseen tuotesuunnitteluun, kun taas asiakaskohtaisella tilaustuotteella tarkoitetaan sellaista tuotetta, joka edellyttää tuotteen uudelleen suunnittelua yksityiskohtaiset tarpeet huomioiden. (Aaltio & Olkkonen 1976, s. 22; Martinsuo et al. 2016, s. 136.) Tänä päivänä vakiotuotteisiin on mahdollista soveltaa asiakaskohtaisuutta, jolloin tuoterakenne ja valmistusprosessi pysyvät ennallaan, mutta jokin ominaisuus on asiakaskohtaisesti muotoiltu esim. väri tai koko (Martinsuo et al. 2016, s. 136).

Tuotantotapahtuman ohjausaloitteen määräytyminen on tuotannonohjauksen jäsentelyn kannalta tärkeässä asemassa. Näin päädytään jakoon varasto-ohjautuvan ja asiakasohjautuvan tuotannon välillä. Varasto-ohjautuvassa tuotannossa valmistus ennakoii asiakastarvetta ja havainnoi varaston täydennystarvetta. Eli tuote valmistetaan valmiiksi saakka ennen kuin se tilataan. Asiakasohjautuvassa tuotannossa tuote tilataan ennen lopullista valmistusta, jolloin lähtökohtana asiakkaan todellinen kysyntä. (Aaltio & Olkkonen 1976, s. 66; Martinsuo et al. 2016, s. 137.) Asiakasohjautuvan tilauksen ohjauspiste voi sijaita eri vaiheessa tuotantoa, sillä tuote voidaan suunnitella, valmistaa tai kasata tilauksesta (O'Brien et al. 2008, s. 6-12). Seuraavassa kuvassa 13 on hahmoteltu asiakastilauksen ohjauspisteen sijoittumista tuotantoprosessiin nähden.



Kuva 13. Asiakastilauksen ohjauspiste tuotantoprosessissa (O'Brien et al. 2008, s. 6-12).

Tuotantoprosessin jatkuvuuden perusteella jaotellaan kolme tuotannon päämuotoa: yksittäistuotanto, sarjatuotanto ja yhtenäistuotanto. Yksittäistuotannossa eräkkoko on yksi kappale, joka valmistetaan kerrallaan asiakkaan tilauksen perusteella. Jokainen tuote on yksilöllinen eli tuote poikkeaa sitä edeltävistä ja seuraavista tuotteista. Oletuksena tämän tapaisessa tuotannossa on pieni menekki ja tilausten epäjatkuvuus. Sarjatuotannossa valmistus tapahtuu tuotantojärjestelmässä erinä, jotka toistuvat peräkkäin verrattain vähäisin muutoksilla. Muutokset tarvitsevat tuotantolinjan tuotteiden väliset asetusajat ja varastot. Tuottavuuden nousua haetaan sarjatuotannossa asetusajojen lyhentämisellä, varastojen minimoinnilla ja toistettavuudella. Yhtenäistuotanto on jatkuvaa massatuotantoa, joka jatkuu usein samanlaisena pitkiä aikoja. Se on tavallinen tuotantojärjestelmä prosessiteollisuudessa ja suursarjatuotannossa, jossa työvoiman käyttö on vähäistä tuotoksen arvoon nähden. (Aaltio & Olkkonen 1976, ss. 20–21; Martinsuo et al. 2016, ss. 137–138.)

Materiaalihankinnan hankinta-aloitteiden ohjaus on yksi tuotannonohjaukseen vaikuttava tekijä, jossa tuotannonohjauksen avulla harkitaan, mitä materiaalia varastoidaan ja mitä ei. Hankinta-aloitteiden syntyvät voidaan Aaltion ja Olkkosen mukaan (1976, ss. 69, 104) luokitella seuraavasti. Hankinta tiettyä työtä varten, jossa hankinta-aloite liittyy tiettyyn tuotantotehtävään. Hankinta tilauskannan perusteella, jossa hankitaan useamman tuotantotehtävän vaatimat yhteiset materiaalit samalla kertaa. Hankinta raaka-ainebudjetin perusteella, jolloin lasketaan tuotantosuunnitelman mukainen raaka-ainetarve eri ajankohtina ja hankinnat ajoitetaan sen mukaan ennalta määrätyn suunnitelman mukaisesti. Varastotäydennys, jolloin hankinta-aloite syntyy varastokirjanpidon perusteella.

Tuotannonohjaukseen vaikuttaa siis suuresti tuotantotilanteen luonne. Luvussa 3.1 käsiteltiin tuotantoa ja todettiin, että valmistettavat teräsrakenteet ovat usein kertavalmisteisia asiakassuunniteltuja tuotteita, jotka valmistetaan tilausohjautuvasti. Näiden tuotteiden erityispiirteisiin kuuluu, että ennen asiakastilausta ja teknisen erittelyn laatimista tiedetään hyvin vähän siitä mitä pitää tilata tai valmistaa. Tämän kaltaisen tuotannon tyypillisiä

ominaisuuksia voidaan kuvailla kolmella näkökulmalla; muuttuva, epävarma ja monimutkainen (Bertrand & Muntslag 1993, s. 3).

Tuotantotilannetta kutsutaan muuttuvaksi, jos voidaan ennakoida huomattavia vaihteluita esimerkiksi myyntimäärissä. Nämä vaihtelut voivat olla ennustettavissa, mutta niitä on vaikea ennakoida. Muuttuva markkinatilanne vaatii paljon sisäistä joustavuutta, jotta vaihtelevista tilanteista selvitään. Epävarmuutta kuvataan tehtävän suorittamiseen tarvittavan informaation määrän ja organisaatiossa jo olevan informaation määrän eroiksi. Epävarmuutta voidaan kuvata kolmella epävarmuustekijällä; tuotetietojen epävarmuus, tulevan kysynnän epävarmuus ja tuotantoprosessin epävarmuus. Monimutkaiseksi tuotantotilannetta voidaan kutsua materiaalivirran rakenteen, päällekkäisten projektien ja tuotteen kokoonpanorakenteen vuoksi. Jotta tämänkaltaisen tuotannon ohjaus saadaan tehokkaaksi, niin edellä kuvailut tuotantotyypin ominaisuudet tulee ottaa huomioon tuotannonohjauksen rakennetta suunniteltaessa. (Bertrand & Muntslag 1993, ss. 6–7.)

4.3 Tuotannon ohjattavuus

Jotta tuotannonohjaus onnistuisi parhaalla mahdollisella tavalla, niin tuotantojärjestelmän tulisi olla ohjattavissa eli tuotantojärjestelmästä tulisi saada tilanne- ja ennustetietoa, jota käytetään päätöksenteon tukena. Ohjattavuudella kuvataan tuotantojärjestelmän kykyä vastata ohjausmuuttujiin ja siihen, kuinka muutokset erilaisissa poikkeamatilanteissa tulisi voida hoitaa ilman ongelmia. Ohjattavuuden kehityksen avulla on mahdollista parantaa tuotannon tehokkuutta, kun voidaan edistää voimavarojen kohdentamista, virheiden välttämistä ja kustannusten minimointia. (Eloranta & Räisänen 1986, s. 90; Lapinleimu et al. 1997, s. 230; Martinsuo et al. 2016, s. 140.)

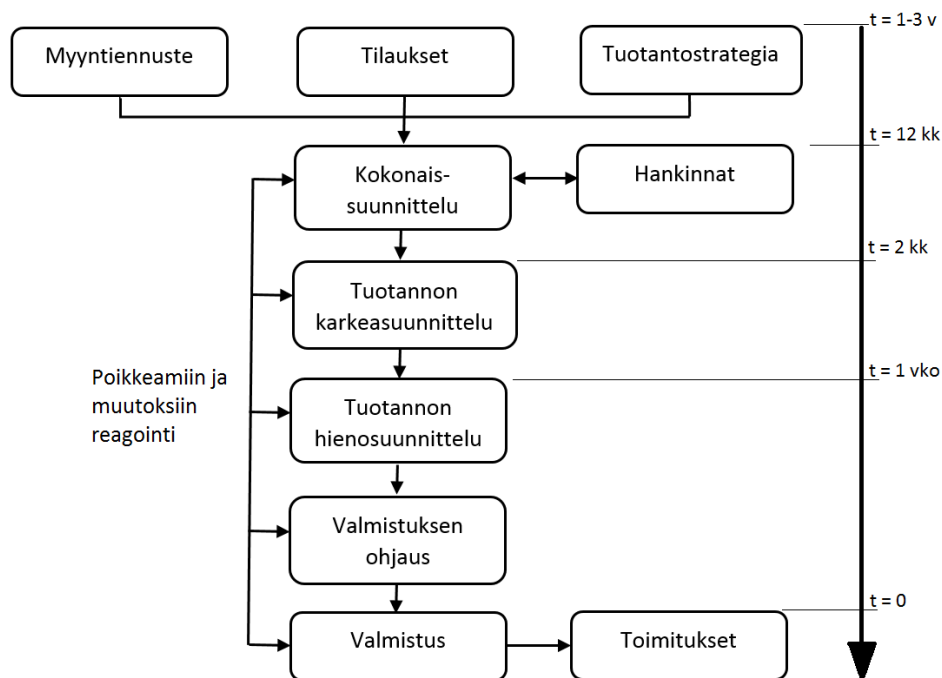
Elorannan ja Räisäsen (1986, s. 91) mukaan ohjattavuus riippuu periaatteessa kolmesta muuttujajoukosta, joita ovat tuotantojärjestelmän rakenne, ohjausmuuttujien riittävyys ja ulkoisten muuttujien käyttäytyminen. Lapinleimu et al. (1997, s. 230) määrittävät ohjattavuuden käsittävän koko valmistavan yrityksen toiminnan, jossa tuotteen rakenne ja materiaalit ovat keskeisessä osassa muun toiminnan kanssa. Haverilan et al. (2009, s. 405) mukaan tuotannon ohjattavuuteen vaikuttavat monet eri seikat tuotannon organisoinnissa ja tuotantojärjestelmässä. Keskeisimmistä tuotannon ohjattavuuden kehittämisen keinoista he mainitsevat läpäisyajojen lyhentämisen, virheiden ja häiriöiden poistamisen sekä layoutin selkeyttämisen lisäksi muun muassa itseohjautuvuuden kehittämisen ja modernin tietokoneohjatun tuotantotekniikan hyödyntämisen. Tuotannon ohjattavuuden kehityskohteita on mahdollista kartoittaa tarkemmin Elorannan ja Räisäsen (1986, ss. 106–110) kehittämän ohjattavuusanalyysin perusteella, jonka avulla selvitetään tuotannon ja siihen kuuluvien toimintojen tilaa sekä etsitään kehittämiskäsitteitä.

Valmistuksen ohjattavuuden kannalta työvaiheiden lukumäärä on ratkaisevampaa kuin valmistusaikojen merkitys. Osien lukumäärä lisää ohjaustapahtumien lukumäärää, jolloin ohjaukselle onkin tärkeää, että tuoterakenne on selkeästi määritelty ja tuotetiedot ovat

kunnossa. (Lapinleimu et al. 1997, s. 231.) Valmistusvaihe on mahdollista jakaa myös itsenäisesti ohjautuviksi valmistussoluiksi. Tällöin solut vastaavat itsenäisesti tietyistä tuotteen valmistusvaiheesta, määritelmien ja piirustusten mukaisesti. Tuotannon virtaus perustuu tällöin solujen väliseen tarpeeseen, kommunikointiin ja itseohjautuvuuteen, hierarkkisen suunnittelun ja johtamisen sijasta. Itseohjautuvuuteen perustuva toimintatapa edellyttää kokonaistoiminnalta selkeyttä ja laadukkuutta sekä hyvää havainnollisuutta ja tarkkaan rajattuja pelisääntöjä. (Haverila et al. 2009, s. 408.) Näin valmistussolujen itsenäisyys jäsentää ohjausta ja vähentää ohjauspisteitä ratkaisevasti (Lapinleimu et al. 1997, s. 233).

4.4 Tuotannonohjausprosessi

Tuotannonohjausta on mahdollista käsitellä vaiheittain etenevänä prosessina. Tällä tavalla ylimmän tason tuotantostrategiasta ja kysynnästä saatavilla olevaa tietoa tarkennetaan vaiheittain valmistusta ohjaavaksi tiedoksi. Vaiheet ja niiden lukumäärä sekä aikajänteet vaihtelevat toimiala- ja yrityskohtaisesti, mutta tavanomaisesti niistä on tunnistettavissa toisistaan ainakin kokonaissuunnittelu, karkeasuunnittelu, hienosuunnittelu ja valmistuksen ohjaus. Prosessissa tapahtuu tilanteen mukaan jatkuvaa uudelleensuunnittelua ja suunnitteluvaiheiden yhteensovittamista. Tämän mukaan prosessi ei välttämättä etene lineaarisesti, vaikka sitä usein sellaisena kuvan 14 mukaisesti esitetään. (Martinsuo et al. 2016, ss. 139–140.)



Kuva 14. Tuotannonohjausprosessi (Martinsuo et al. 2016, s. 140).

Tuotannonohjauksen prosessimalli on hyvin pitkälti jo kuvassa 12 esitetyn Aaltion ja Olkkosen (1976, s. 65) esittämän tuotannonohjauksen järjestelmämallin mukainen, mutta prosessimalli jakaa tuotannosuunnittelun useampaan tasoon aikajänteen mukaan. Saman

tyylistä prosessimaista esitystapaa tuotannonohjaukseen esittävät muun muassa Vollman et al. (1997, s. 5) ja Cheng & Simmons (1994, s. 5), hieman eri nimityksillä ja tasoilla kuvattuna. Prosessimallissa myyntiennusteiden, tarjousten ja tilauskannan perusteella tehty myyntisuunnitelma kattaa tietyn perusaikavälin ja suunnitelmat tarkentuvat ajan edetessä. Tällöin ylemmän tason suunnittelu alkaa alusta ja suunnitteluprosessi jatkuu rullaavalla periaatteella. (Aaltio & Olkkonen 1976, s. 76.) Tuotannosuunnittelun lähtökohtana tarvitaan todellisten tilausten lisäksi myös ennusteita ja tarjouksia, sillä pelkääntään tilauksiin liittyvä suunnittelu on joustamatonta ja myöhässä tapahtuvaa. Ennusteet auttavat ennakoimaan kysyntää ja mukauttamaan tuotannon kapasiteettia ja prosesseja tulevaisuuden tarpeisiin. Ennusteiden haasteellisuuden vuoksi on kuitenkin suotavaa, että tuotannon joustavuutta ja reagointikykyä kehitetään, jotta ennusteista riippuvuutta olisi mahdollista vähentää. (Martinsuo et al. 2016, ss. 142–143; Vollman et al. 1997, ss. 270–272.)

Varsinainen tuotannonohjaus lähtee kokonaissuunnittelusta, joka on Vollmanin et al. (1997, s. 269) mukaan yksi tuotannonohjauksen vähiten ymmärretyistä osioista. Kokonaissuunnittelu kytkee tuotantoprosessin ulkopuolisiin markkinoihin sekä koko liiketoiminnan strategiseen ajatteluun. Siinä asetetaan tavoitteet ja suunnitellaan toimenpiteet keskipitkällä aikavälillä ja annetaan lähtötiedot tarkemman tason suunnittelulle. Kokonaissuunnittelun päätehtävänä on huolehtia, että tuotantovolyymi vastaa kysyntää suunnitellulla aikajänteellä, sillä tuotettujen hyödykkeiden tarve vaihtelee. Kokonaissuunnittelulla vaikutetaan kapasiteetti- ja resurssimuutoksiin, varastotasojen uudelleensuunnitteluun ja uusiin hankintasopimuksiin. Kapasiteetin säätely kysynnän vaihteluiden mukaan voi olla hankalaa, jolloin pitää keksiä keinoja kokonaisvolyymivaihteluiden käytännön toteutukseen. Kokonaissuunnittelun yhteydessä tuleekin harkita, miten reagoidaan kysyntävaihteluihin. Perinteisiä keinoja ovatkin resurssijoukot, kuten henkilöstön palkkaaminen, laitehankinnat, työaikajärjestelyt, vuokratyö ja alihankkijoiden käyttö. Tästä on kuitenkin huomioitava muun muassa työmarkkinalainsäädäntö, muutosten hitaus ja koulutustarpeet. Muita kysynnän hallintaan vaikuttavia keinoja ovat muun muassa tuotteiden varastointi, toimitusaikamuutokset ja kysyntään vaikuttaminen. Kaikilla kysynnän hallintaan vaikuttavilla keinoilla on hyötyjen lisäksi myös kustannusvaikutuksia sekä erilaisia vaikutuksia niin kannattavuuteen kuin henkilöstön hyvinvointiin, yrityksen maineeseen ja riskeihin. Tämän vuoksi kaikki keinot tulisi analysoida hyvin ennen toteutusta. (Martinsuo et al. 2016, ss. 143–145; Vollman et al. 1997, ss. 270–272.)

Karkeasuunnittelun eli tuotannon aikasuunnittelun taustalla on todelliset tilaukset ja niitä koskevat tiedot, jotka täydentävät ja täsmentävät arvioita, joita on kokonaissuunnittelussa tehty ennusteiden pohjalta. Karkeasuunnittelun päätehtäviä ovat kokonaisaikataulun suunnittelu sekä resurssien käytön ja toimituskyvyn karkeasuunnittelu. Investointi-hyödykkeiden, jotka ovat tilausten pohjalta toteutettavia asiakaspohjaisia tuotteita, karkeasuunnittelu voi olla vaikeasti arvioitavissa ja suunniteltavissa, sillä tarkkaa tietoa saa-

daan vasta tuotesuunnitelmien valmistuttua. Ennen tuotesuunnitelmien valmistumista kapasiteetti- ja materiaalityöntarvetta joudutaan arvioimaan etukäteisarvioiden ja ennusteiden perusteella. (Martinsuo et al. 2016, s. 146; Vollman et al. 1997, ss. 205, 209.)

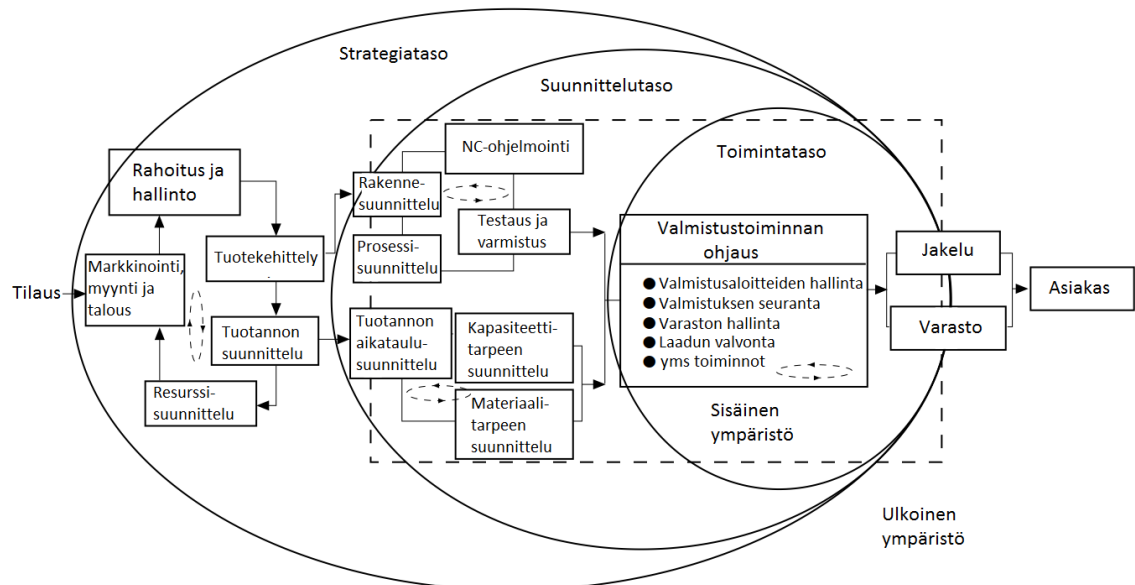
Tuotannon kokonaisuikataulusuunnittelu tehdään koko tuotannon ja kaikkien tilauksien sekä ennusteiden osalta. Tämä on karkeaa viikoittaista suunnittelua tuotannon kehittymisestä. Kokonaisuikataulusuunnittelun rinnalla tehdään resurssien käytön suunnittelua, jolla arvioidaan tuotannon vaatimia resurssitarpeita ja tehdään yleisen tason suunnitelma resurssien käytöstä. Tämän perusteella ei vielä ohjata valmistusta, vaan tarkoitus on sopeuttaa resurssit tuotantoa vastaavalle tasolle ja tehdä päätöksiä kapasiteetin lisäämisestä tai vähentämisestä. Resurssi- ja kokonaisuikataulusuunnitelmien pohjalta tehdään toimituskyvyn määrittelyä, jonka perusteella arvioidaan sitä, millaisia lupauksia voidaan antaa asiakkaille toimitusajoista. (Martinsuo et al. 2016, ss. 143–145.) Asiakasohjautuvassa tilaustuotannossa toimitusaika muodostuu seuraavista tekijöistä: tilauksen esikäsittely, tuotteen suunnittelu, materiaalityöntarvet, työnsuunnittelu, materiaalityöntarvet, osien valmistus, osakoonnit, loppukoonnit, pintakäsittelyt, kuljetukset ja asennus sekä mahdolliset odotukset. Läpäisyajan lyhentämisen tavoittelu aiheuttaa työvaiheiden limittämistä, jotka tulee arvioida karkeasuunnittelussa. (Aaltio & Olkkonen 1976, ss. 86–88.)

Hienosuunnittelu on valmistuksen yksityiskohtaista suunnittelua, jonka tarkoituksena on tuotantosuunnitelman tekeminen. Tuotantosuunnitelman perusteella tuotteet valmistetaan ja tuotannon eri tavoitteet täytetään mahdollisimman hyvin. Tuotantosuunnitelman tulee sisältää muun muassa tuotantoerien muodostamisen, työvaiheiden ajoitukset, resurssien tarkan käytön ja valmistusajankohdan määrittelyn vaiheet. Hienosuunnittelua tehdään päivittäisellä ja viikoittaisella tasolla tuotannon todellisen tilanteen mukaan. Tuotannossa tapahtuvat poikkeamat ja muutokset vaikuttavat kapasiteettiin, johon hienosuunnittelun tulee reagoida. Hienosuunnittelulla ei tarvitse reagoida arvoa tuottamattomaan työhön vaan sen huomio tulisi kiinnittää itseohjautuvaan tekemiseen, jolla tavoitellaan hyvää toimitusvarmuutta ja korkeaa tuottavuutta. (Haverila et al. 2009, ss. 417–418; Martinsuo et al. 2016, s. 149.)

Hienosuunnitteluun liittyy läheisesti valmistuksen ohjaus, jonka tehtävänä on ohjata töiden aloittamista, toteuttamista, valvontaa ja raportointia hienosuunnittelun pohjalta (Aaltio & Olkkonen 1976, ss. 92–93; Martinsuo et al. 2016, s. 152). Kantavien teräsrakenteiden valmistuksen ohjauksessa pitää huomioida erityisesti standardin SFS-EN 1090-2+A1 vaatimukset. Tyypillistä on, että tehtävät kohdennetaan resursseille erilaisten työmäärien kautta. Määräin voi tarkoittaa esimerkiksi työtehtävää tai -vaihetta, materiaalityöntarvetta tai voi olla muun muassa tietojärjestelmän tuottama ohjausdokumentti. Tehtävä- ja materiaalityöntarvetta lisäksi työmääräimeen voi sisältyä erinäisiä piirustuksia, tietoja ja ohjeita tuoterakenteesta ja työvaiheista. Valmistuksen valvonta ja raportointi tarkoittavat onnistumisen arvioinnin lisäksi poikkeamien, muutosten ja kehityskohtien tarkkailua ja dokumentointia. Toteutumätietojen kautta saadaan tärkeää tietoa tuotannon tilasta sekä käyt-

täytymisestä ja niiden avulla tuotantoa voidaan muun muassa ennustaa ja kehittää. Nykyaikaisen tuotannon tietojärjestelmän avulla on mahdollista helpottaa valmistuksen ohjausta ja raportointikäytäntöjä. (Martinsuo et al. 2016, ss. 152–154.)

Edellä käsitellyt tuotannonohjauksen prosessin vaiheet voidaan löytää myös Chengin ja Simmonsien (1994, s. 5) luomasta tuotannonohjauksen mallista, joka on esitetty kuvassa 15. Tämä malli soveltuu myös teräsrakentamisen tuotannonohjauksen rakenteen kuvaamiseen. Mallin rakenne on jaettu kolmeen päätasoon, jotka on jaettu yksityiskohtaisempiin alitasoihin.



Kuva 15. Tuotannonohjauksen malli Chengin ja Simmonsien mukaan (1994, s. 5).

4.5 Tuotannonohjausperiaatteita

Tuotannonohjaukseen voi käyttää useita erilaisia periaatteita ja näiden periaatteiden yhdistelmästä on mahdollista rakentaa kokonaisia tuotannonohjausjärjestelmiä. Tässä luvussa esitetään neljä hienosuunnittelun peruseriaatetta, joita nykyaikaisissa tuotantolaitoksissa tavallisesti sovelletaan (Martinsuo et al. 2016, s. 149).

Tuotannon ajoitusta käytetään toiminnoissa, joissa tarvitaan jonkinlaista suunnittelua sen varmistamiseksi, että asiakkaiden kysyntä täyttyy ja koska tuotteet ovat saatavilla. Tuotannon aikatauluttaminen edellyttää työvaiheiden yksityiskohtaista ajoitusta, jolla osoitetaan milloin työvaiheen pitäisi alkaa ja milloin sen pitäisi päättyä. (Slack et al. 2010, s. 284.) Yksittäistuotannon aikatauluttaminen eroaa huomattavasti korkeavolyymisen tuotannon aikatauluttamisesta, sillä tuotteet tehdään tilausten perusteella, jotka saattavat poiketa toisistaan huomattavasti esimerkiksi käsittelyvaatimusten, tarvittavan materiaalin ja prosessiaikojen perusteella. Tästä johtuen yksittäistuotannon aikataulutus on usein melko monimutkaista, sillä kiinteitä aikatauluja ei voida vahvistaa ennen varsinaisen tilauksen saamista. (Stevenson 2009, s. 739.)

Tuotantoerän ajoitukseen on kaksi yleistä lähestymistapaa: eteenpäin ajoitus ja taaksepäin ajoitus. Eteenpäin ajoituksessa työvaiheiden aikoja aloitetaan laskemaan työn aloitusajankohdasta eteenpäin vaihe kerrallaan, jolloin saadaan tietoon, kuinka kauan työn valmistuminen kestää. Taaksepäin ajoituksessa työn aikataulutusta lähdetään laskemaan odotetusta toimituspäivästä taaksepäin vaihe kerrallaan. Tällöin saadaan tietoon, koska työ viimeistään pitää aloittaa, jotta se voidaan valmistaa ennen sovittua toimituspäivää. (Slack et al. 2010, s. 285; Stevenson 2009, s. 741.) Eteenpäin ajoitus antaa aikatauluttajalle mahdollisuuden määrittää jokaisen työn aikaisimman valmistumisajan, josta nähdään mahdollisen myöhästymisen tai ”löysän” ajan määrä. Tämä on joustava tapa, koska tyhjä välit voidaan täyttää odottamattomalla työllä. Taaksepäin aikatauluttamisen etuna on kustannusten kohdistuminen lähemmäksi toimituspäivää, mutta tässä tavassa ei ole etukäteen valmistauduttu mahdollisiin aikataulumuutoksiin. (Slack et al. 2010, s. 286.)

Valmistustehtävien ohjaus voi tapahtua *työntö- tai imuohjauksella*, sekä niiden yhdistelmillä. Työntöohjaus perustuu etukäiteissuunnitelmiin, jonka avulla valmistusta ohjataan työntämällä tuotantoerä valmistusvaiheiden läpi. Kun työvaihe valmistuu työpisteellä, niin se työnnetään seuraavalle työpisteelle tai varastoon harkitsematta voidaanko sitä käyttää vielä seuraavassa työvaiheessa. (Slack et al. 2010, s. 289; Stevenson 2009, s. 710.) Monimutkaisissa tuotantojärjestelmissä työntöohjauksen tarkka suunnittelu on osoittautunut hankalaksi, sillä valmistusprosessiin voi syntyä suunnitelmien vastaisia ongelmia, jotka synnyttävät ylimääräisiä hankalasti hallittavia välivarastoja (Haverila et al. 2009, s. 422).

Imuohjauksessa tuotteita ja komponentteja valmistetaan vain välittömään tarpeeseen. Tällöin osat imetään seuraavaan tuotantovaiheeseen vain tarpeen mukaan. Informaatio kulkee materiaalivirtaa vastaan jokaisen työpisteen läpi, jolloin varmistetaan, että tarjonta vastaa kysyntää. Työvaiheet liikkuvat juuri oikeaan aikaan seuraavaan vaiheeseen, jolloin tuotantovirta on hallittua ja varastotasojen liiallinen kertyminen estetään. Tuotannon kiertoaika vaikuttaa siihen, millaisia varastotasoja tarvitaan, mutta tavoitteena on mahdollisimman pienet ja nopeasti kiertävät välivarastot, joihin tehdään tilauksia ohjauskorttien avulla. (Stevenson 2009, ss. 710–711.)

On kuitenkin tärkeää korostaa, että harvoin ohjausjärjestelmät ovat puhtaita työntö- tai imuohjausjärjestelmiä. Työntö- ja imuohjausjärjestelmän yhdistelmä toteutuu esimerkiksi järjestelmässä, jossa tuotannon vaiheet on aikataulutettu etukäteen tehdyn suunnittelun pohjalta, mutta suunniteltuja vaiheita ei vapauteta tai materiaaleja ei tilata tuotantoon, jos edelliset vaiheet eivät ole saavuttaneet tiettyä valmiusastetta. (Viana 2015, s. 61.) Haverila et al. (2009, s. 427) kuvaavat tätä ohjausjärjestelmää varaudu- toteuta toimintamalliksi. Tällöin toimittajaverkoston kanssa on tehty esisopimukset koko tuotteen kokoonpanossa tarvittavista osista, mutta lopulliset tilaukset perustuvat viikoittaiseen materiaaltarpeeseen.

Visuaaliset ohjauskeinot ovat hienosuunnittelun avuksi kehitettyjä apuvälineitä, jotka helpottavat yksityiskohtaista aikataulu- ja resurssisuunnittelua. Graafiset kuvat ja taulut ovat yksinkertaisin tapa visualisoida tuotantoa. (Martinsuo et al. 2016, s. 151.) Visuaalisten hallintatyökalujen käytöllä on mahdollista kasvattaa tietojen käsittelyn kapasiteettia ja vähentää toiminnasta saatavan palautteen palauteaika. Visuaalinen ohjaus on mahdollista integroida toteutukseen ja silloin on tärkeää, että siitä saadaan helposti informaatiota yhdellä silmäyksellä. (Viana 2015, ss. 63–64.)

Aikataulutuksen suosittu visuaalinen havaintoväline on Gantt-kaavio, josta on esitetty esimerkki kuvassa 16. Gantt-kaaviossa aika esitetään useimmiten vaak-akselilla ja resurssit tai työvaiheet listataan pystyakselille. Eri työvaiheiden arvioitu kesto ja niiden ajoitus sijoitetaan kaavioon, jolloin nähdään mitä pitäisi tapahtua ja milloin. Kaavion avulla on yksinkertaista sekä testata että havainnollistaa erilaisia aikataulu- ja kuormitusvaihtoehtoja. (Slack et al. 2010, s. 286.)

	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Aika →
Työvaihe 1, Levytyöt		TYÖ A			TYÖ B			TYÖ C						
Työvaihe 2, Sahaus		TYÖ A				TYÖ B		TYÖ C						
Työvaihe 3, Varustelu				TYÖ A		TYÖ B			TYÖ C					
Työvaihe 4, Hitsaus					TYÖ A			TYÖ B				TYÖ C		
Työvaihe 5, Pintakäsittely						TYÖ A				TYÖ B			TYÖ C	

Kuva 16. Esimerkki Gantt-kaaviosta (mukailtu lähteestä Slack et al. 2010, s. 286).

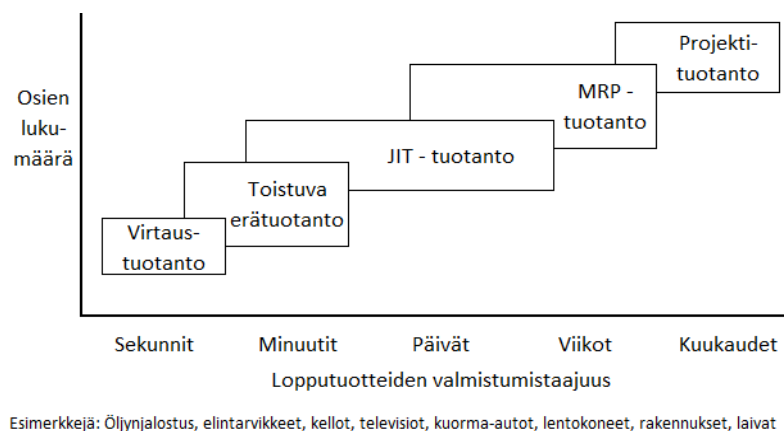
Viana et al. (2013, s. 556) esittävät tutkimuksessaan, kuinka suuren teräsrakenneprojektin visuaalisessa ohjauksessa voidaan käyttää manuaalisia näyttötauluja. Projektissa suunnittelu, valmistus ja työmaa-asennus etenevät limittäin toistensa kanssa. Näyttötaulut on sijoitettu erikseen jokaisen työvaiheen luokse, johon merkitään projektin sen hetkinen tila ja valmiusaste. Nämä tiedot kerätään yhteen päätauluun, josta nähdään projektin kokonaistila. Projektin kokonaistilan näyttötauluun merkitään valmiiden erien lisäksi A) Kiireelliset valmistuserät, myös ne jotka ovat myöhässä tai joita ei ole huomioitu alkuperäisen aikataulun mukaan kiireellisiksi, B) toteutettavissa olevat valmistuserät, jotka on huomioitu alkuperäisessä aikataulusuunnittelussa, C) valmistuserät, jotka voidaan hyödyntää työmaalla ja D) valmistuserät, joita ei voida valmistaa alkuperäisen aikataulusuunnittelun perusteella. Näillä tiedoilla valmistuksen suunnittelussa voidaan ennakoida myös työmaan tilanteeseen, jolloin valmistusta ohjataan imuperiaatteella. Näyttötauluja päivitetään kuukausi-, viikko- ja päivätasolla. Azimi et al. (2011, s. 89) ovat kuitenkin sitä mieltä, että perinteiset valvontametodit, jotka perustuvat manuaaliseen datan keräämiseen ovat hitaita, epätarkkoja ja virhealttiita. Heidän tekemän tutkimuksen mukaan integroidulla ja reaaliaikaisella projektinohjausjärjestelmällä voisi olla huomattavaa myönteistä vaikutusta myös rakennusteollisuudessa. Luvussa 4.8 tarkastellaan tarkemmin digitaalista tuotannonohjausta, jossa hyödynnetään rakennesuunnittelun tietomallia.

Optimointi on hienosuunnittelun keino, jolla pyritään löytämään parhaat mahdolliset tavat ohjata tuotantoa. Toteutusvaihtoehtojen ja muuttujien määrän kasvaessa voi olla hyödyllistä kehittää matemaattisia malleja, joilla simuloidaan eri vaihtoehtoja päätöksenteon tueksi. (Stevenson 2009, ss. 288–289.)

Song ja Abourizk (2006) esittävät tutkimuksessaan virtuaalisen tuotantolaitosmallin, jossa käytetään useita mallinnustekniikoita, jotta teräsrakentamisen monimutkainen tuotantoympäristö saadaan kuvattua realistisella tasolla. Tutkimus esittää keinoja erityisesti yksittäisten tuotteiden ja työn tuottavuuden mallintamiseen, jotka ovat ainutlaatuisia asioita teräsrakennevalmistusprosessin mallinnuksessa. Prototyypimallin avulla kuvataan järjestelmän kehittämistä ja sen soveltamista teräsrakentamisen projektisuunnittelussa. Virtuaalinen tuotantolaitosmalli on apuväline tuotannon suunnitteluun erityisesti sellaisissa tilanteissa, kun saatavilla oleva kokemusperäinen tieto ei ole täysin projektiin sopivaa. Virtuaalisen mallin kanssa voidaan kokeilla vaihtoehtoisten suunnitelmien todennäköisiä vaikutuksia. Tämän tapaisen mallinnustekniikan integroiminen muihin toiminnanohjaus- ja tietojärjestelmiin johtaa lopulta täysin digitalisoituun teräsrakennevalmistuksen tuotannonohjauksen kehittymiseen. Kaikenlaisiin ratkaisuihin simulaatiomalli ei kuitenkaan ole mikään ihmelääke, sillä realistiset simulaatiot voivat olla kohtuuttoman kalliita ja aikaa vieviä.

4.6 Tuotannonohjausmenetelmiä

Erilaisia menetelmiä ja malleja käytetään kuvaamaan tuotannonohjausjärjestelmiä yleisellä tasolla. Eri menetelmät voivat sopia joko useaan tai yhdeytyyppiseen tuotantoon tai vaikka eri hierarkiatasolle, jolloin menetelmistä voidaan yhdistellä täydellinen yrityksen ohjausjärjestelmä. (Viana 2015, s. 78.) Kuvassa 17 on esitetty Vollmannin et al. (1997, s. 8) tapa kuvata tuotannonohjausmenetelmien luokittelua prosessin monimutkaisuuden ja keston mukaan. On huomattava, että tuotannonohjausmenetelmien on muututtava tuotantojärjestelmän kehittyessä ja, että menetelmät ovat vain tapa toteuttaa strategiaa.



Kuva 17. Tuotannonohjausmenetelmien luokittelu (Vollmann et al. 1997, s. 8).

Tutkimuksen kohdeyrityksen teräsrakennevalmistuksen tuotannonohjaus lähentelee Vollmannin jaottelun mukaan MRP-tuotantoa ja projektituotantoa, mutta ohjaustoimien kehityksessä tulisi Vollmannin et al. (1997, s. 8) mukaan pyrkiä kohti kuvan vasenta reunaa ja toistuvaa tuotantoa. Tässä luvussa tutustutaan tiivistetysti tuotannonohjausmenetelmistä MRP-pohjaisiin järjestelmiin, JIT-tuotannon Lean-periaatteisiin, Lean- ja MRP-periaatteiden yhdistämiseen, sekä Last Planner -tuotannonohjaukseen, joka on suunniteltu projektimaisen rakennustyömaan tarpeisiin, mutta menetelmän toimivuudesta projektimaiseen tehdastuotantoon on myös viitteitä (Viana 2015).

MRP

MRP:hen, material requirements planning, pohjautuva tuotannonohjausmenetelmä on tietokonepohjainen tietojärjestelmä, joka muuntaa lopputuotteen vaatimukset karkean tuotantoaikataulutuksen, osaluettelon ja varastotietojen pohjalta aikavaiheittaiseksi hienosuunnitelmaksi taaksepäin ajoituksen periaatteella. Järjestelmä laskee läpimenoaikojen ja muun ohjelmaan syötetyn tiedon pohjalta mitä alikokoonpanoja, osia ja raaka-aineita pitää tilata ja milloin ne pitää tilata. Näin lopputuotteen vaatimukset pilkotaan pienempiin osiin ja suunnittelujaksoihin, jolloin tilaaminen, osavalmistus ja kokoonpanotyö voidaan suorittaa kohtuullisin pienin varastotasoin. (Stevenson 2009, s. 648.)

MRP II, manufacturing resources planning, on perinteisen MRP-järjestelmän ensimmäinen laajennusosa, joka myöhemmin laajeni vielä ERP, enterprise resource planning, järjestelmäksi eli toiminnanohjausjärjestelmäksi, joka integroi tietojärjestelmän koko toimitusketjun laajuiseksi. Nämä kehittyneemmät ja laajemmat järjestelmät sisältävät perinteisesti MRP-järjestelmän tuotannonohjauksen ytimenä. (Stevenson 2009, ss. 664, 669.)

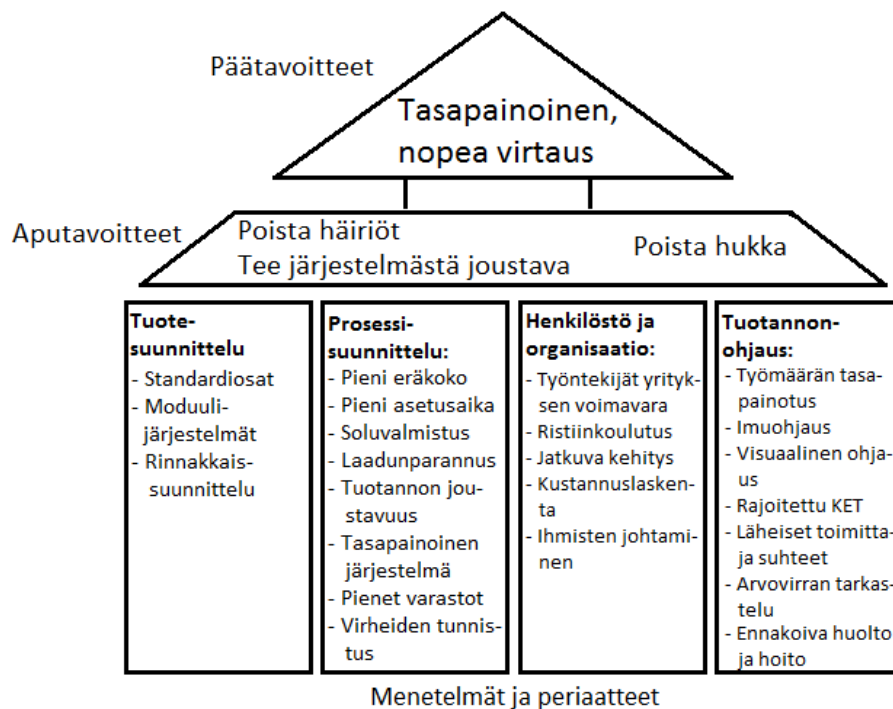
MRP:tä voidaan yleisesti pitää puhtaasti työntöohjauksella toimivana järjestelmänä, kun työvaiheen aloitus perustuu etukäteisaikatauluun. Järjestelmä on kuitenkin mahdollista nähdä imuohjauksella toimivana, jos tuotannossa on jonkinlainen mekanismi, joka tarkkailee tilausten vapauttamista tuotantoon todellisen kuormituksen mukaan. Vaikka MRP-järjestelmän avulla on monissa tapauksissa mahdollista laskea varastotasoja ja parantaa asiakaspalvelutasoa, niin tiettyjä puutteita voidaan pitää järjestelmän heikkoutena. Malli olettaa, että tuotantovaiheiden läpimenoajat ovat kiinteitä ja ennustettavissa ilman, että nykyinen työmäärä vaikuttaisi siihen jollakin tapaa. (Viana 2015, s. 81.)

Bertrandin ja Muntslagin (1993, s. 8) mukaan MRP-järjestelmät eivät sovellu erityisen hyvin tilauksesta suunniteltujen tuotteiden ohjaukseen. Tällaiset tuotteet ovat asiakasyksilöityjä, jonka vuoksi projektin alussa osaluettelo ei ole täysin tiedossa. Perinteinen MRP-järjestelmä ei osaa käsitellä keskeneräistä osaluetteloita. Koska tuotetta ei ole täysin määritelty ennen rakennemallin valmistumista, niin osa tarvittavista materiaaleista pitää syöttää oletuksena MRP-järjestelmään, mikä aiheuttaa järjestelmän toiminnan epävarmuutta.

LEAN/JIT

Lean on sekä filosofia että menetelmien joukko, joka keskittyy jatkuvaan hukkan poistoon ja toiminnan tehostamiseen. Lean menetelmillä viitataan myös Just-In-Time -järjestelmään (JIT) johtuen niiden pitkälle ohjatuista toiminnoista ja juuri oikeaan tarpeeseen ajoitetusta tavaravirrasta. Laajasti ajateltuna se on yksinkertaisesti ohjausjärjestelmä, joka johtaa alhaiseen keskeneräisen tuotannon määrään ja pieniin varastoihin. Vaikka tässä keskitytäänkin tuotannonohjauksen ominaispiirteisiin, niin Lean-käsitteellä on paljon laajempi vaikutus toimintojen suorituskyvyn parantamisessa kattaen koko yrityksen operaatiot. Monet Lean-toiminnan yleisistä menetelmistä on kehitetty japanilaisen autonvalmistajan Toyotan valmistustapojen pohjalta. (Slack et al. 2010, s. 429; Stevenson 2009, ss. 694–695.)

Kuvassa 18 on esitetty yleiskuvaus Lean-järjestelmän tavoitteista, menetelmistä ja periaatteista. Lean-järjestelmässä korkea laatu ohjaa sekä prosessia että tuotetta. Lean-järjestelmällä tavoitellaan tasapainoista sekä nopeaa tuotantovirtaa aputavoitteiden eli häiriöiden ja hukkan poistamisen sekä joustavan tuotantojärjestelmän avulla. Järjestelmän suunnittelu- ja toteutusmenetelmät sekä periaatteet tarjoavat perustan näiden tavoitteiden saavuttamiseksi. (Stevenson 2009, s. 696.)



Kuva 18. Lean-järjestelmän tavoitteet ja periaatteet (Stevenson 2009, s. 696).

Vollmannin et al. (1997, s. 74) esityksen mukaan JIT/Lean-järjestelmän suunnittelu- ja toteutusmenetelmät ja periaatteet voidaan jakaa neljään kategoriaan: tuotesuunnittelu, prosessisuunnittelu, henkilöstö- ja organisaatioelementit sekä tuotannonohjaus. Tässä

osassa tarkastellaan tiivistetysti Lean-tuotantojärjestelmälle tärkeitä prosessisuunnittelun ja tuotannonohjauksen menetelmiä ja periaatteita.

Kuvassa 18 esitetyt prosessisuunnittelun kahdeksan periaatetta ovat erityisen tärkeitä Lean-tuotantojärjestelmille. Osa periaatteista on toistensa johdannaisia, sillä kun noudattaa yhtä periaatetta, niin se vaikuttaa toiseen periaatteeseen. *Pienet eräkoot* sekä tuotannossa että toimituksissa tarjoavat Lean-järjestelmälle useita hyötyjä, joiden avulla prosessi toimii tehokkaasti ja joustavasti. Pienet eräkoot vaativat vain vähän varastointitilaa, joten se vähentää myös varasto- ja siirtokustannuksia sekä epäjärjestystä. *Asetusaikojen pienentäminen* on seurausta siitä, kun halutaan valmistaa pieniä eräkokoja ja töiden vaihtoväli tihenee. *Soluvalmistusta* pitää suosia pitkien tuotantolinjojen sijaan, sillä tämä tehostaa pienten eräkokojen valmistusta ja laitteiden käyttöastetta sekä helpottaa työntekijöiden ristiin koulutusta. *Laadun jatkuva parantaminen* ja virheisiin puuttuminen on tärkeää, sillä kesken prosessia tapahtuvat laatuvirheet aiheuttavat tasapainoiseen virtaukseen häiriöitä. *Tuotannon joustavuus* varsinkin ylituotannon tilassa korostuu ja pullonkaulojen poistaminen tuotannosta sekä niihin ennakoiminen parantavat tuotannon joustavuutta. *Tasapainoinen järjestelmä* tarkoittaa työmäärän tasapainoa ja tahtiajan määrittämistä. Kun tahtiaika on tiedossa, niin tiedetään paljonko työpisteiden aikaa pitää varata tuotantoprosessin läpiviemiseksi. Jos työmäärä onnistutaan tasapainottamaan, niin turhista välivarastoista pystytään luopumaan. Varastot ovat Lean-filosofian mukaan hukkaa, joka ei tuota asiakkaalle lisäarvoa. Mahdollisimman *pieniin varastoihin* tulisi pyrkiä, sillä varastot aiheuttavat kustannuksia ja ne estävät näkemästä tuotannon todellisia ongelmia. Varastotasoja laskemalla ongelmat tulevat esille ja ne voidaan korjata, jolloin tuotannon virtaus pysyy taas tasapainoisena. *Virheiden tunnistamisella* tarkoitetaan automaattisia tai ennalta sovittuja tuotannon tarkastuspisteitä, joilla vähennetään tai eliminoidaan mahdollisia virheitä tuotantoprosessin aikana. (Stevenson 2009, ss. 699–706.)

Kuvassa 18 esitetyt seitsemän tuotannonohjausperiaatetta ovat ominaisia Lean-tuotantojärjestelmille. *Työmäärän tasapainotus* on osa prosessisuunnittelun tasapainoista järjestelmää, jossa päivittäistä aikataulusuunnittelua säädetään sen mukaan, että kokonaistyömäärä pysyisi päivittäin tasaisena, vaikka eräkoot pysyvät pieninä ja tuote-erät vaihtelevat. *Imuohjauksessa* tuotantovirta etenee seuraavan työvaiheen tarpeen mukaan, eikä pelkän etukäteissuunnittelun periaatteella. *Visuaalinen ohjaus* on yksi Leanin perusajatuksista ja erilaisilla visualisointikeinoilla voidaan helposti näyttää mitä tuotantoprosessissa tapahtuu. Kanban-kortti on esimerkki visuaalisesta ohjauksesta, joka sisältää vain käyttäjille hyödyllistä tietoa. Kortin avulla voidaan antaa tietoa tuotannon edelliselle työvaiheelle siitä, että osia on käytetty ja niitä tarvitaan lisää. *Keskeneräisen tuotannon* määrää seurataan ja rajoitetaan tarkasti Lean-järjestelmässä, koska se helpottaa aikataulutusta ja vähentää varastotasoja ja mahdollisista muutoksista johtuvaa uudelleen työstämistä. Keskeneräistä tuotantoa on mahdollista seurata muun muassa Kanban-seurannalla tai CONWIP menetelmällä. Kanban keskittyy yksittäisten työvaiheiden seurantaan, kun CONWIP-menetelmässä uusi työ vapautetaan tuotantoon vasta, kun yksi työ on kokonaan poistunut

tuotannosta. *Läheiset toimittajasuhteet* ovat tärkeitä Lean-toiminnassa, jotta toimintaan saadaan molemmin puolinen luottamus ja jatkuva kehittäminen. Toimittajamäärät pyritään pitämään alhaisina, jolloin toimittajan on mahdollista liittyä läheisesti ostajan JIT-tuotantojärjestelmään. Tällöin toimittaja toimittaa osia vain tarpeeseen ja hoitaa omien tuotteiden tarkastuksen ilman, että sitä pitää erikseen vastaanottajan puolelta tehdä. *Arvovirran tarkastelulla* on mahdollista leikata turhien tapahtumien aiheuttamia kustannuksia, kun tarkastellaan mekaanisia työvaiheita. Tarkoitus on karsia kaikkia mahdollisia tapahtumia, jotka eivät tuota lopputuotteelle lisäarvoa. Lisäksi toistuvia mekaanisia työvaiheita tulisi automatisoida. Tuotantoprosessin arvovirtakartta on kätevä työkalu koko prosessin visualisoimiseen sekä prosessin turhan hukan tarkastelemiseen. *Ennakoiva huolto ja hoito* ovat tärkeitä toimivan Lean-järjestelmän kannalta. Koneiden ennakoiva huolto ja työpisteiden siisteys varmistavat sujuvan tuotantovirtauksen, kun ylimääräisiä puskurivarastoja ei ole käytössä. (Stevenson 2009, ss. 708–716.)

Lean-filosofia toimii parhaiten toistuvassa ja vakaassa tuotannossa, mutta siitä on mahdollista omaksua toimintatapoja kaikenlaiseen tuotantoon. Muutokset tapahtuvat vaihe vaiheelta, eikä kaikkea tule korjata kerralla. Varastotasojen pienentäminen ja imuohjaus eivät ole ensimmäisiä Lean-tuotantofilosofian askeleita vaan suuremmat ongelmat ja koko organisaation osallistuminen muutokseen tulee ratkaista ennen. (Stevenson 2009, ss. 717–719.)

LEAN ja MRP integraatio

Toiminta-ajatuksiltaan Lean ja MRP näyttävät toistensa vastakohdilta, sillä siinä missä MRP suosii työntöohjausta, niin Lean taas imuohjausta. Lean on puolestaan enemmän toimintatapa, kun MRP on tietokoneavusteinen tuotannonohjaustapa. Tästä huolimatta nämä kaksi lähestymistapaa voivat vahvistaa toisiaan, kun niiden edut huomioidaan. MRP on erinomainen suunnittelutyökalu, kun taas Lean erottuu edukseen sen valvontaja ohjausperiaatteiden puolesta. (Slack et al. 2010, s. 451.) Puhdasta Lean- tai MRP-järjestelmää on harvoin käytössä. Esimerkiksi Australian autotehtailta on esimerkkejä toimivasta MRP:n ja Lean-menetelmien rinnakkaiskäytöstä. Näissä tehtaissa tuotantoa on ohjattu Lean-periaatteiden mukaisella Kanban-menetelmällä ja MRP:tä on käytetty hankinta- ja kapasiteettivaatimusten suunnitteluun. (Benton & Chin 1998, ss. 412, 420.)

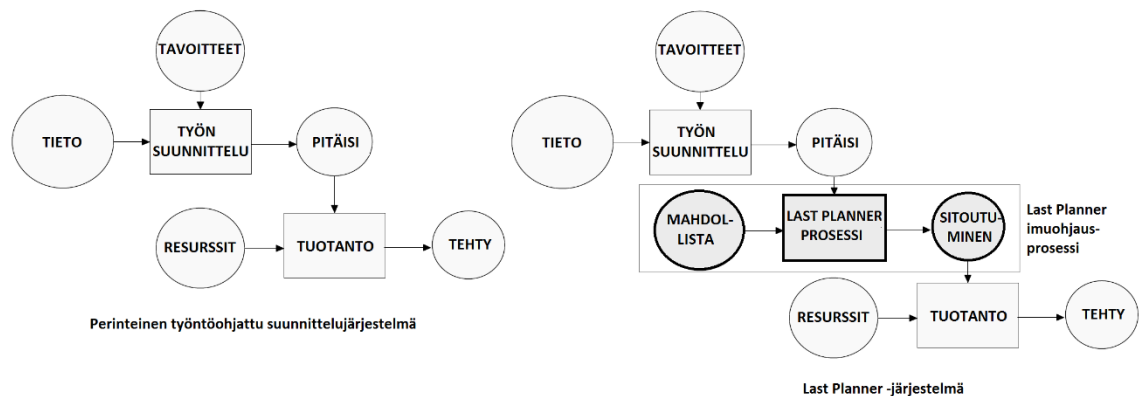
Last Planner -tuotannonohjaus

Last Planner -tuotannonohjausmenetelmä on kehitetty käsittelemään rakennustyömaan monimutkaisia ja epävarmoja tuotanto-olosuhteita (Viana 2015, s. 96). Ballardin (2000, s. 3-1) mukaan rakentaminen edellyttää erilaisten ihmisten ja organisaatioiden ohjausta projektin aikana eri paikoissa, eri aikoina. Ylemmän tason suunnitelmat ja tavoitteet ohjaavat alemman tason suunnitteluprosesseja, jotka määrittelevät lopulliset keinot tavoitteiden saavuttamiseen. Lopulta joku päättää, mikä työvaihe tehdään seuraavaksi. Tehtävöihjaus on ainutlaatuista, koska siinä ohjataan suoraan työtä eikä muita suunnitelmia.

Menetelmän nimi, Last Planner, viittaa viimeiseen operatiivisella tasolla olevaan henkilöön, joka on vastuussa viimeisen suunnitelman eli tehtävän suorittamisesta.

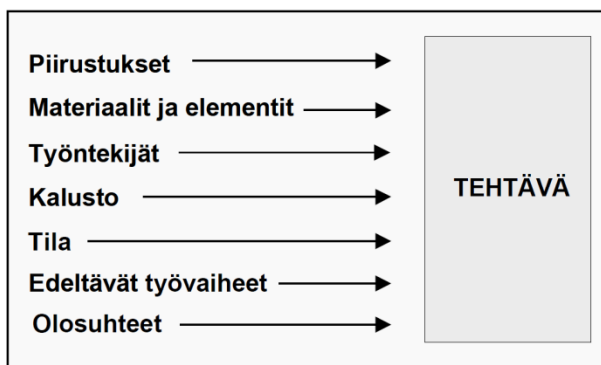
Last Planner on rullaavalla periaatteella toimiva lyhyen aikavälin suunnitteluun ja ohjaukseen keskittyvä menetelmä, jonka pääasiallinen tehtävä on viikkosuunnitelman laatiminen ja valvonta. Ainoastaan sellaiset tehtävät hyväksytään viikkosuunnitelmaan, joiden kaikki aloitusedellytykset ovat valmiina. Pyrkimyksenä on, että jokaisella tehtävällä on vastuuhenkilö, joka sitoutuu suunniteltuun suorittamiseen. Viikkosuunnitelman mukaisten tehtävien toteutumisastetta seurataan ja toteutumatta jääneiden tehtävien syyt selvitetään. Menetelmän tavoitteena on pitää yllä riittävä reservi aloituskelpoisia viikkotehtäviä, kohteen laajuudesta riippuen, muutamien viikkojen tähtäyksellä. (Koskela & Koskenvesa 2003, s. 14.)

Last Planner -menetelmä voidaan ymmärtää mekanismiksi, jonka avulla muutetaan pitkän aikavälin suunnitelmat lyhyen aikavälin suunnitelmiksi, jotka voidaan todellisuudessa toteuttaa. Tämä mekanismi muuttaa perinteistä ajattelutapaa siitä, missä se, mitä pitäisi tehdä, lähetetään suoraan valmistusprosessiin. (Viana 2015, s. 96.) Perinteisen suunnittelujärjestelmän ja Last Planner -järjestelmän eroa on, Ballardia (2000, ss. 3–12,15) mukaillen, havainnollistettu kuvassa 19.



Kuva 19. Perinteinen ja Last Planner -suunnittelujärjestelmä (Ballard 2000).

Työn suunnitteluvaiheessa muodostetaan projektin yleisaikataulu, osittamalla kaikki projektiin kuuluva työ, suunnittelukriteerien ja tavoitteiden pohjalta. Mahdollista valmistaa -vaihe on osa pitkää Last Planner -prosessia, jossa viikkosuunnitelmia tarkennetaan jatkuvasti. Tämän vaiheen ajoitus perustuu tuotantoryhmien väliseen yhteisymmärrykseen toiminnan rajoitteista ja tuleviin työtehtäviin sitoutumisesta. (Viana 2015, s. 97.) Kuvassa 20 on esitetty mitä panosvirtoja pitää ottaa huomioon mahdollista valmistaa -vaiheessa, jossa tarkastellaan työtehtävän suorittamisen aloitusedellytyksiä. Pienetkin vaihtelut työtehtävän panosvirrassa aiheuttavat tehtävälle huomattavaa häiriöherkkyyttä. Tämän vuoksi monimutkaisen kokoonpanoluonteisen tuotannon ohjaus on perusluonteisesti vaikeaa. (Koskela & Koskenvesa 2003, s. 22.)



Kuva 20. Tehtävän aloitusedellytykset (Koskela & Koskenvesa 2003, s. 22).

Menetelmällä voidaan arvioida hankkeen alussa tarvittavaa kapasiteettia, käyttämällä pitkän aikavälin suunnittelussa tehtyjä pääsuunnitelmia. Päätöksentekorakenteen perusedellytyksenä on viimeinen suunnittelija eli niin kutsuttu ”last planner”, joka tekee projektin edessä yksityiskohtaisemmat päätökset tuotannosta. Koska menetelmä on kehitetty rakennusteollisuudelle, joka perustuu useisiin toistumattomiin käsityönä tehtyihin toimintoihin, niin mallia on mahdollista hyödyntää myös toistumattomassa asiakaskeskeisessä tuotannossa. (Viana 2015, s. 97.)

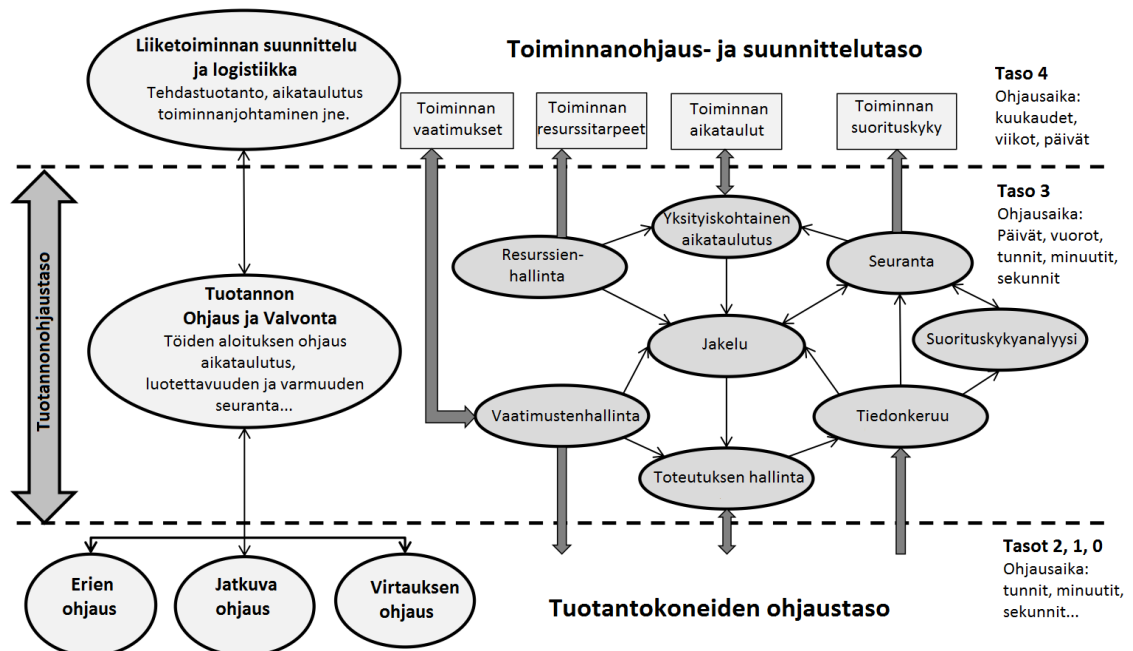
4.7 Tuotannonohjauksen tietojärjestelmä

Tietotekniikka on viimeisten vuosikymmenten aikana kehittynyt niin, että toimintaa voidaan suunnitella, ohjata ja säädellä tietotekniikka hyödyntäen (Martinsuo et al. 2016, s. 369). Hyvän tuotannonohjauksen tietojärjestelmän on todettu olevan yksinkertainen ja toimintavarma, jonka pitää pystyä mukautumaan joustavan toiminnan mukana muuttuvissa tuotanto-olosuhteissa. Tietojärjestelmän rakentajan tulee siis tuntea yrityksen koko toimintaketju aina tuotekehityksestä tuotteen toimittamiseen ja toimituksen jälkeiseen asiakaspalveluun, jotta järjestelmä tukee tuotannonohjausta parhaalla tavalla. (Miettinen 1993, s. 94.) Tietojärjestelmän rakentaminen ei tarkoita sitä, että yrityksen osaamista voidaan köyhdyttää, vaan tarkoitus on järjestelmän avulla havaita toiminnassa olevat selkeät kokonaisuudet. Tietojärjestelmän käytössä pätevät samat lainalaisuudet, kuin manuaalisessa järjestelmässäkin. Järjestelmä tulee olla hyvin toteutettu, jotta sen käyttöhalukkuus kasvaa. (Lapinleimu et al. 1997, ss. 237–239.)

Tuotannonohjaus sisältyy tänä päivänä yrityksen kokonaisohjauksen eli toiminnanohjauksen tietojärjestelmän, ERP-järjestelmän alaisuuteen. Tuotannon tietotekniikan aiemmissa kehitysvaiheissa on ollut normaalia, että järjestelmät olivat paikallisia ja hajautettuja eli eri toimintoille oli omat järjestelmät. Nykyaikaisiin toiminnanohjausjärjestelmiin on tarkoituksenmukaista liittää koko yrityksen toiminta kattavasti. (Martinsuo et al. 2016, s. 370.) ERP-järjestelmä tarjoaa mahdollisuuden kerätä ja tuottaa dataa, jota voidaan käyttää reaaliaikaisen päätöksenteon apuvälineenä kauttaaltaan yrityksessä. Se tarjoaa myös suunnittelu- ja valvontatyökalut eri toimintoihin yrityksen tavoitteiden saavuttamiseksi.

Saatavilla on eri ohjelmatoimittajien moduulijärjestelmiä, joista on mahdollista kasata tarvittava ja sopiva kokonaisuus yrityksen tarpeeseen ja budjettiin. Moduulit liittyvät yritysten toiminta-alueisiin. Moduuleita on saatavilla muun muassa kirjanpitoon ja rahoitukseen, henkilöstöhallintoon, tuotannon suunnitteluun, hankintatoimeen, varastonhallintaan, kuljetuksiin, tilaustenhallintaan sekä markkinointiin. Moduulijärjestelmän tärkeä ominaisuus on tiedon automaattinen siirtyminen moduulien välillä. (Stevenson 2009, s. 669.) Järvenpään et al. (2014) tekemässä tuotannon- ja valmistuksenohjausjärjestelmien selvityksessä todetaan, että valmiit ERP-järjestelmät ovat lähtökohtaisesti ylemmän tason ohjausjärjestelmiä, jotka soveltuvat karkean tason tuotannosuunnitteluun, mutta eivät hieno- ja valmistustason suunnitteluun tai -valvontaan. Hienosuunnittelu- ja valmistustasolle on olemassa omia toteutusjärjestelmiä, MES-järjestelmiä (Manufacturing Execution System), jotka on mahdollista yhdistää ERP-kokonaisuuteen.

Järvenpään et al. (2014) esittelevät tutkimuksessaan ISA-95 standardin osaan 3, Enterprise-Control System Integration, Part 3: Models of Manufacturing Operations Management, perustuvan kuvauksen yrityksen ohjausjärjestelmien luokittelusta. Tähän standardiin pohjautuu myös Suomen kansalliseksi standardiksi hyväksytty standardi SFS-EN 62264-3:2017, Enterprise-control system integration. Part 3: Activity models of manufacturing operations management. Yrityksen ohjausjärjestelmät luokitellaan näissä standardeissa kuvan 21 mukaisesti toiminnanohjaus- ja suunnittelutasoksi, tuotannonohjaus- tasoksi ja tuotantokoneiden ohjaustasoksi, joka on vielä jaettu kolmeen alatasoon. Luokittelun mukaan tehdastason tuotannonohjausjärjestelmät ovat tason 3 ohjausjärjestelmiä, kun tasot ovat 0–4 välillä.



Kuva 21. Yrityksen ohjausjärjestelmätasot ja tuotannonohjaus ISA-95 standardin mukaan (Järvenpää et al. 2014).

Tietojärjestelmä auttaakin prosessien toteutuksen optimoinnissa vasta, kun prosessit on hyvin mallinnettu, järjestelmän tietokannat ovat kunnossa ja informaatio on oikealla tavalla kytkettyyn tuotantojärjestelmään. Informaatio on aikaisemmin syötetty järjestelmän tietokantoihin käsin, mutta tänä päivänä tunnistukseen liittyviä teknologioita, kuten viivakoodit ja RFID, voidaan kytkeä tuotantoprosessiin, jolloin tiedon kirjaamista on saatu automatisoitua. (Martinsuo et al. 2016, s. 371.) Tietojärjestelmää hankkiessa yrityksen on tärkeää selvittää, että soveltuuko valmis järjestelmä nykyisten liiketoimintajärjestelmien ja käytäntöjen kanssa yhteen. Jos valmis ohjelmisto ei sovellu käytäntöön, niin joko ohjelmaa tai liiketoimintaa on muutettava. Nämä molemmat vaihtoehdot voivat olla kalliita ja riskialttiita. Hyvien toimintatapojen muuttaminen lisää virhemahdollisuuksia, jotka voivat levitä prosesseihin. Myös yksilöllisten ohjelmien rakentaminen voi olla aikaa vievää sekä hankaloittaa järjestelmän ylläpitoa ja päivittämistä. (Slack et al. 2010, s. 413.)

4.8 Tuotannonohjaus tietomallin avulla

Santosin ja Silvan (2013, s. 645) mukaan teräsrakentamisen valmistusmääräysten tiukentuminen, valmistuksen hajauttaminen sekä valmistustehtaan ja asennustyömaan välisen etäisyyden kasvu pakottavat yrityksiä ottamaan käyttöön erilaisia johtamis- ja viestintäsovelluksia, joiden ansiosta teräsrakenteiden valmistusprosessi on sekä reaaliaikaisesti hallinnassa että myöhemmin jäljitettävissä kaikissa prosessin vaiheissa. Luvussa 3.2.2 käsitellyn tietomallinnuksen seuraava kehitysaskel on yhdistää tietomalliohjelmisto toimimaan yhdessä myös toiminnanohjausjärjestelmän kanssa. Tällöin tietomallista saatavat tiedot työn määrästä, materiaaleista, valmistusmenetelmistä ja resurssien käyttöasteesta liitetään automaattisesti toimimaan yrityksen hankinnan, kirjanpidon, varastoinnin ja tuotannonohjauksen kanssa, jolloin tietoja voidaan käyttää myös rakentamisen valvonnan ja ohjauksen apuna. Kun yhdistettyjen tietomallinnus- ja toiminnanohjausjärjestelmien käyttö yleistyy, niin myös automaattisten tiedonkeruujärjestelmien, kuten laserkeilauksen, GBS-paikannuksen ja RFID-tunnisteiden käyttö lisääntyy ja lopulta myös korvaa perinteisten mittausmenetelmien käytön rakennustoiminnassa. Nämä yksilöityjen rakenteiden Lean-tuotantomenetelmät tulevat helpottamaan ja nopeuttamaan teräsrakentamisen esivalmistusta ja -kokoonpanoa. Yhdistetyn ohjausjärjestelmän avulla voidaan muun muassa visuaalisesti seurata kokoonpanojen kulkua eri tuotannon vaiheissa. (Eastman et al. 2008, ss. 290, 314–315; Teräsrakenneyhdistys 2015a, TEP WP1 s. 14.) Tietomallinnusohjelmistojen kehittyminen ja niiden yhdistäminen toiminnanohjausohjelmistojen kanssa mahdollistaa siis menetelmän, jolla voidaan luoda, hallita ja tallentaa kaikkea rakentamisessa tarvittavaa tietoa (Santos & Silva 2013, s. 646).

Erilaisista tuotannonohjauksen ja tietomallin yhdistävistä digitaalista työkaluista on olemassa tutkimusartikkeleita saatavissa, joista voi nähdä miten työkalut konkreettisesti rakentuvat. Sacks et al. (2010) esittävät artikkelissaan yli 50 tekijää, miltä osin Lean-periaatteita ja tietomallinnusta voidaan yhdistää. Song ja Abourizk (2006) sekä Chang et al.

(2017) esittelevät artikkeleissaan simulointityökalujen rakentamista, joiden avulla voidaan arvioida teräsrakenteen valmistusprosessiin vaadittavaa kapasiteettia. Azimi et al. (2011) puolestaan esittelevät projektinvalvontatyökalun, jonka avulla on mahdollista seurata työvaiheiden reaaliaikaista kulkua. Nämä tutkimusartikkelit kuitenkin vain esittelevät sovellusten rakentamista ja niiden mahdollisuuksia, mutta samalla ne toimivat lähtökohtana kaupallisille menetelmille.

Järvisen (2015, ss. 5–6) mukaan markkinoilla on jo kehittyneitä teräsrakennevalmistuksen projektinhallintaohjelmistoja ja CNC-koneita, joita voidaan ohjata tietomallintamalla tehdyn rakennemallin eli tietomallin avulla. CNC-koneita on osavalmistuksen lisäksi saatavilla nykyisin myös teräsrakenteiden merkintä-, varustelu- ja hitsausvaiheeseen, jotka on perinteisesti tehty manuaalisesti. Laittevalmistajat kehittävätkin jatkuvasti koneita ja sovelluksia, joiden avulla koneiden ohjaus tapahtuisi entistä enemmän suoraan tietomallin avulla, ilman tehottomia ja virheellisiä välivaiheita. Tällöin erityyppisten teräsrakenteiden automaattisen valmistuksen ja materiaalinkäsittelyn joustavuus sekä kustannustehokkuus kasvavat tulevaisuudessa mahdollisesti sellaiselle tasolle, että automaattiset menetelmät korvaavat vähitellen manuaaliset valmistusvaiheet.

Erityisten teräsrakentamisen projektinhallintaohjelmistojen ja rakennemallista saatavien tietojen avulla on mahdollista muun muassa järjestellä ja simuloida valmistavan yrityksen tuotantovirtaa, jotta voidaan ratkaista tuotannon pullonkauloja ja optimoida tuotantoaika- taulua ennen valmistuksen aloittamista. Kun tietomalliin lisätään suunniteltu työmaan asennusjärjestys ja -aikataulu, niin sitä voidaan käyttää tuotantoaikataulun suunnittelun perustana. Aikataulutuksen lisäksi näillä projektinhallintaohjelmilla on mahdollista seurata ja visualisoida projektin reaaliaikaista kulkua. Valmistustietoa voidaan siirtää ohjelmille muun muassa automaattisesti CNC-koneilta tai manuaalisesti viivakoodien avulla, jolloin verkkoon liitetystä projektinhallintaohjelmasta nähdään, paikasta riippumatta, missä vaiheessa tuotantovirtaa kokoonpanot etenevät. (Järvinen 2015, ss. 6–7.)

Tällä hetkellä tietomallipohjainen tuotannonohjaus perustuu siihen, että yksityiskohtaisesta rakennemallista voidaan kääntää yksittäinen IFC-tiedosto, johon sisältyy kaikki valmistustieto, jota tarvitaan tuotannon- ja valmistuskoneiden ohjauksessa. Valmistuksesta saatava informaatio siirretään takaisin rakennemalliin tallennettavaksi myös IFC-tiedostomuodon avulla. Yksittäiseen IFC-tiedostoon perustuva tiedonsiirtomuoto on kuitenkin vielä raskas sovellus koko toimitusketjun hyödynnettäväksi. Alustavia tutkimuksia on kuitenkin jo tehty hajautetuista verkkopohjaisista tiedostomalleista, jolloin täydellisen rakenteen mallista voidaan siirtää omaan käyttöön juuri se tieto, mikä on tarpeen, ilman erityisiä ohjelmointitaitoja. (Järvinen 2015, ss. 8–10.)

Erilaisia kaupallisia tuotannonohjausohjelmistoja on varmasti useita saatavilla ja niistä löytyy erinäisiä tietoja valmistajien verkkosivuilta. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan yhtä julkaisua, joka esittelee teräsrakennevalmistukseen kehitetyn tuotannonohjausohjelman, jota ohjataan tietomallin avulla ja johon on huomioitu SFS-EN 1090-2+A1 mukaisia

teräsrakenteiden toteuttamisen teknisiä vaatimuksia. Bonnet ja Moshes (2014) esittelevät ohjelmaa nimeltä *Steel Projects PLM*. Julkaisun lisäksi on tutustuttu myös kyseisen ohjelmiston verkkosivuihin (*Steel Projects PLM 2017*).

Steel Projects PLM on tarkemmin tuotteen elinkaaren hallintaohjelmisto (PLM, Product Lifecycle Management), jonka avulla on mahdollista ohjata teräsrakenteen tuotantoprosessia ohjelmistoon tuodun tietomallin avulla. Ohjelmiston avulla on mahdollista analysoida rakenteen osien koot ja tyypit sekä niiden väliset yhteydet ja toiminnot, jotka jokaiselle osalle pitää omassa tuotantoprosessissa tehdä. Ohjelmistolla voidaan ohjata tuotantoa olemaan mahdollisimman tehokas, sillä sen avulla voidaan laskea arvioituja tuotantoaikoja. Tuotannon suunnittelun sekä ohjauksen lisäksi tuotannosta on mahdollista kerätä palautetta ohjelmiston avulla automaattisesti CNC-koneilta tai manuaalisesti työpisteiltä, jolloin työpisteiden tuottavuutta voidaan seurata ja tuotannosta saadaan täydellinen jäljitettävyyden standardin SFS-EN 1090-2+A1 vaatimusten mukaan. *Steel Projects PLM* ohjelmiston ja tietomallinnusohjelmisto Tekla Structuresin välille on luotu 4D-linkki, joka auttaa tuotannon edistymisen visualisoinnissa, kun mallista voidaan seurata kokoonpanojen työvaiheita esimerkiksi jaottelulla aloittamatta, hitsattu, maalattu, asennettu. *Steel Projects PLM* on skaalautuva ohjelmisto, josta asiakas voi valita kuvan 22 mukaan haluamansa moduulit. (Bonnet & Moshes 2014; *Steel Projects PLM 2017*.)

PRODUCT AREA/MODULE	Parts Manager	Project Manager	Production Manager
PROJECT PLANNING & PREPARATION			
Integrated Drawing Package - create, edit parts	S	S	S
Assembly Management		S	S
2D/3D visualization	S	S	S
Revision Management		S	S
Import CAD	O	O	O
Import BIM	O	O	O
MATERIAL PLANNING			
Manual/Basic Linear Nesting	S	S	S
Automatic Profile Nesting	O	O	O
Fully Integrated Plate Nesting	O	O	O
PRODUCTION PLANNING			
Production Manager Viewer			O
Part Checking and Validation		S	S
Workflow Management			S
Workstation Management			S
Fabrication Job Creation	S	S	S
Production Analysis		S	S
Automatic and/or Manual Production Feedback			S
Production Forecasting			S
MIS & ERP Interface		O	O
Stock and Purchasing Interface	O	O	O
4D link with BIM/3D Models			O
CNC AUTOMATION			
Automatic Post Processing	O	O	O
Automatic Handling/Routing			O
Export CAM data	S	S	S
Export DSTV, DXF...	O	O	O
TRANSPORTATION MANAGEMENT			
Shipping		O	O

S=Standard; O=Optional

Kuva 22. *Steel Projects PLM* -ohjelmiston moduulijako (*Steel Projects PLM 2017*).

Steel Projects PLM vaikuttaa kattavan laajalti teräsrakentamisen osa-alueet ja siihen on sisällytetty myös revisioiden hallintaa, jolloin ohjelman pitäisi tunnistaa automaattisesti uuden ja vanhan suunnittelumallin eroavaisuudet. Suurimman hyödyn ohjelmiston käytöstä saa varmasti, kun valmistusta tehdään CNC-koneiden avulla, mutta ohjelmiston avulla prosessien seuranta ja standardin SFS-EN 1090-2+A1 mukaista materiaalien ja tarkastusten tiedonhallintaa on mahdollista digitalisoida. Ohjelmistolle ei ole kuitenkaan tehty tämän tutkimuksen puitteissa koekäyttöjä tai käyttäjäkyselyitä, jolloin ohjelman käytettävyyteen ei voida ottaa tarkemmin kantaa.

4.9 Johtopäätöksiä tuotannonohjauksen teoriasta

Tuotannonohjauksen tavoitteena on sovittaa käytettävissä olevat resurssit ja työmäärä yhteen ja ohjata niitä toimimaan mahdollisimman tehokkaalla tavalla. Tuotannonohjauksesta tulee huomioida, että sen toteuttamiseen on useita erilaisia periaatteita ja menetelmiä, joita voidaan soveltaa erilaisissa tuotantojärjestelmissä. Tuotannonohjauksen toteuttamiseen ei siis ole yhtä oikeaa tai väärää tapaa ja se voi perustua muun muassa henkilöosaamiseen, mekaaniseen järjestelmään tai digitaalisesti ohjattuun tietojärjestelmään. Yrityksen tuotannonohjaukseen kehitettävä järjestelmä tulee aina suhteuttaa yrityksen sen hetkisen kokonaistoiminnan sekä tuotantojärjestelmän lisäksi myös tulevaisuuden tuotantonäkyymiin, sillä järjestelmä tulee olla muutettavissa yrityksen toiminnan muuttuessa. Järjestelmää kannattaakin kuvata prosessimaiseksi tavaksi toimia, jossa muutokset tapahtuvat jatkuvan parantamisen periaattein vaihe vaiheelta ilman, että kaikkea muutettaisiin kerralla.

Erityisesti muuttuvan, epävarman ja monimutkaisen tuotantotoiminnan tapauksessa valmiit kaupalliset ohjausjärjestelmät voivat olla liian jäykkiä ohjaamaan kaikkia tuotantotapauksia sujuvasti. Tietojärjestelmää rakentaessa tulisikin huomioida eri järjestelmien yhdisteltävyys, joustavuus ja skaalautuvuus, jotta kokonaisjärjestelmästä saataisiin ehjä ja yksinkertainen kokonaisuus. Niin tuotannonohjauksessa kuin monesti muussakin yrityksen toiminnassa tulee kamppailla ristiriitaisten tavoitteiden välillä, jotta löydetään yritykselle sopivin ja tuottoisin tapa toimia.

5. TOIMINNAN NYKYTILAKARTOITUS

Tämän luvun tarkoituksena on antaa lukijalle näkemys tutkimuksen kohteena käytettävän kohdeyrityksen toiminnan nykytilasta sekä nykytilan kartoitukseen tehdystä empiirisestä tutkimuksesta. Tutkimuksessa käsiteltävä kohdeyritys on erään yrityskokonaisuuden yksi tuotantoyksikkö, joka toimii oman sertifioidun toimintajärjestelmän alaisuudessa. Kohdeyrityksen toiminnoista ylin johto, henkilöstöhallinto, myynti sekä osa ostotoiminnoista on keskitetty päätoimipisteen alaisuuteen. Kohdeyrityksen tiloissa toimii teräsrakentamisen suunnittelu- ja tuotannonjohto-osasto, sekä valmistusyksikkö. Kohdeyrityksen valmistustoiminta on pääasiassa hitsaustuotantoa ja jonkin verran osavalmistusta. Muut tarvittavat oheistoiminnot teetetään yrityskokonaisuuden muissa yksiköissä tai ostetaan hyväksytyiltä alihankkijoilta.

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä ja tutkimuksen suorittamista sekä kuvataan kohdeyrityksen kantavien teräsrakenteiden valmistustoiminnan ja tuotannonohjauksen nykytilaa.

5.1 Tutkimusmenetelmät

Tässä tutkimuksessa käytettyjä tapaustutkimuksen aineistonhankintatapoja olivat osallistuva havainnointi, avoimet haastattelut ja dokumentteihin tutustuminen, joiden avulla kartoitettiin kohdeyrityksen nykytilaa. Havainnoimalla ja haastattelemalla saatavat tiedot ovat tutkimuksen primääridataa, koska se on kyseistä tutkimusta varten kerättyä. Dokumentit taas ovat sekundäärilähteitä, sillä ne on tehty muuta tarkoitusta kuin tutkimusta varten. Tutkimuksen kannalta on olennaista, että tietojen keruu suunnitellaan hyvin, mutta keruusuunnitelmalta vaaditaan joustavuutta, jos tutkimuskohde ei käyttäydykään ennakoitusti. Tietojen keruu ei ole ainoastaan mekaanista tietojen tallentamista, vaan myös jatkuvaa tulkintaa tutkimustehtävän kannalta. (Järvinen & Järvinen 2000, ss. 83–84.) On kuitenkin huomioitava, että tutkijan ennakkokäsitys tutkimuksen tuloksesta ei saa muuttaa analysoitavaa aineistoa (Metsämuuronen 2008, s. 47).

Havainnoimalla suoritettussa tiedonkeruussa tutkija merkitsee havaintonsa muistiin. Havaintojen kohteena on kaikki tutkimukseen liittyvä, kuten toiminta, henkilöt, laitteet ja järjestelyt. Havainnointia tutkija suhteuttaa omaan kokemukseen ja persoonaan, jotka vaikuttavat siihen mitä havainnoidaan. Osallistuvassa havainnoinnissa tutkija osallistuu havainnoitavaan toimintaan suorittamalla sitä tai jotakin sen osatehtävää. On mahdollista, että osallistuva havainnointi voi haitata samanaikaisesti tapahtuvaa tuottavaa työskentelyä kohteessa. Myös havaintojen muistiinmerkitseminen voi olla haastavaa, jos se halutaan tehdä tutkittavilta salassa. (Järvinen & Järvinen 2000, ss. 162–163.)

Avoin haastattelu on tutkimusaiheen ohjaamaa haastattelua. Usein haastateltaviksi valitaan parhaiten aiheesta tietävät henkilöt ja haastateltavalta voidaan kysyä sisältökysymysten lisäksi mahdollisia jatkohaastateltavia. Avoin haastattelu tukee teoreettista yleistämistä. Haastattelussa tutkija hankkii tietoja keskustelemalla tutkittavan kanssa. Haastattelu on tehokas tiedonhankintamenetelmä, sillä tutkija voi tarkentaa vastaanotettua tietoa haastattelun aikana. On myös mahdollista, että haastateltava ei halua kertoa kaikkea tietämäänsä tai hän puhuu muunneltua totuutta miellyttääkseen haastattelijaa. Näistä syistä tutkijan tulisi kehittää haastattelutaitojaan, jotta tieto saadaan mahdollisimman kattavasti tutkimuksen käyttöön. (Järvinen & Järvinen 2000, ss. 153–154.)

Dokumentteihin tutustumalla hankitaan tietoja kirjallisista lähteistä, joita ei ole tehty tutkimusta varten. Dokumentit välittävät usein tietoa suunnitelman laatijan ja käyttäjän välillä tai tukevat käyttäjän muistia. Selvittämällä dokumentin laatimisen tarkoitus, voidaan arvioida dokumentista saatavien tietojen käyttökelpoisuutta. (Järvinen & Järvinen 2000, ss. 163–164.)

5.2 Tutkimuksen suorittaminen

Tutkimuksen suorittaminen alkoi tutkimusongelman ja -kysymysten muodostamisella. Ongelman ja kysymysten pohjalta tutustuttiin alustavasti aihealueeseen liittyviin julkaisuuihin tutkimuksiin ja painettuun kirjallisuuteen, joiden avulla muodostettiin tutkimuksen teoreettisen viitekehyksen runko. Lähtötietojen, tavoitteiden ja saatavan aineiston pohjalta tutkimukselle luotiin metodologia, joka ohjasi tarkemmin tutkimuksen suorittamista. Teoreettisen viitekehyksen rungon ja metodologian muodostamisen jälkeen aihealueen teoreettiseen aineistoon tutustuttiin syvällisemmin ja rakennettiin tutkimuksen teoriaosuus. Teorian ja tutkimuskysymysten pohjalta suoritettiin osallistuvaa havainnointia ja avoimia haastatteluita kohdeyrityksessä. Havainnointi pyrittiin suorittamaan yrityksen tuotannossa mahdollisimman huomaamattomasti ja avoimet haastattelut toteuttamaan keskusteluperiaatteella kohdeyrityksen toimihenkilöille ja tuotantotyöntekijöille siten, että ne eivät ohjaisi tuotantotoimintaa normaalista poikkeavaan suuntaan, jolloin nykytilanteesta saatiin mahdollisimman todenmukainen kuva. Osallistuvan jakson aikana kiinnitettiin huomiota myös kohdeyrityksen dokumentaatioon ja dokumentointijärjestelyihin tuotannonohjauksen kannalta.

Kohdeyrityksen nykytilakartoitus tehtiin kolmen viikon aikana, vuoden 2017 touko-kesäkuussa. Tutkimuksen empiirisen osion aikana tutkija ei pyrkinyt konkreettisesti vaikuttamaan kohdeyrityksen tuotannonohjaukseen, vaan ohjaustoimintaa suorittivat sen hetkiset projektien vastuuhenkilöt, jolloin tutkija toimi tarvittaessa ainoastaan avustavassa roolissa. Kartoitus aloitettiin yrityksen toimitusjohtajan, tuotantopäällikön ja projektipäälliköiden haastatteluilla, joiden avulla selvitettiin yrityksen teräsrakentamisen työtilannetta ja käynnissä olevia projekteja sekä lähitulevaisuuden näkymiä tarjouskyselyiden perusteella. Haastattelut olivat luonteeltaan töiden ohessa tehtyjä avoimia keskustelutilanteita eikä niille ollut varattu erikseen aikaa, vaikka tutkija oli etukäteen miettinyt haastattelun

kyselyrunkoa ja teemoja, joiden pohjalta keskusteluita ohjattiin. Avoimia haastatteluita ohjanneet teemat ja kyselyrunko on esitetty liitteessä A. Ensimmäisten haastatteluiden pohjalta saatiin selville seuraavia tietoja teräsrakentamisen tilanteesta kohdeyrityksessä, kun valmistettavat rakenteet kuuluvat rakennustuoteasetuksen piiriin ja standardin SFS-EN 1090-1+A1 alaisuuteen:

- Vuoden 2016 alusta alkaen käynnistyneistä projekteista kohdeyritys on saanut valmiiksi 18 teräsrakenneprojektia, joista seitsemän on ollut teräsmäärältään yli 50 000 kg, kolme yli 20 000 kg ja kahdeksan yli 5 000 kg.
- Toukokuussa 2017 kohdeyrityksellä oli samanaikaisesti valmistuksessa neljä teräsrakenneprojektia, joista kaksi oli teräsmäärältään yli 200 000 kg ja kaksi 20 000 kg.
- Suunnitteluvaiheessa oli kolme teräsrakenneprojektia, joista yksi oli teräsmäärältään 140 000 kg ja kaksi noin 20 000 kg.
- Kyselyhetkellä yritys oli antanut tarjouksen kuudesta teräsrakenneprojektista, joista yksi oli teräsmäärältään 60 000 kg ja viisi noin 20 000 kg.
- Laskennassa olleita tarjouskyselyitä oli noin kymmenen kappaletta, joista kolme oli teräsmäärältään yli 100 000 kg.
- Teräsmääräinen valmistuskapasiteetti riippuu paljon teräsrakenteen tyypistä, mutta tutkimuksen alla olleen tuotantoyksikön keskimääräinen, standardin SFS-EN 1090-1+A1 mukaan, CE-merkittyjen teräsrakenteiden valmistusmäärä viimeisen 1½ vuoden aikana on ollut noin 50 000 kg / kk.

Edellä tarkasteltujen CE-merkittyjen rakenteiden valmistuksen ohella kohdeyrityksessä on valmistettu myös muunlaisia teräsvalmisteita, jotka täydentävät tuotantomääriä, mutta eivät kuulu tutkimuksessa huomioidun standardin SFS-EN 1090-1+A1 piiriin. Viimeisen 1½ vuoden aikana kohdeyrityksen tuotanto on toiminut lähes täydellä kapasiteetilla katkeamatta ja tämän hetkinen CE-merkittyjen teräsrakenteiden tilauskanta kattaa noin neljän kuukauden täyden kapasiteetin oman valmistuksen osalta. Tarjouslaskentaa tulevista projekteista tehdään jatkuvasti nykyinen tilauskanta huomioiden, jotta projektien väliset aloitukset ja lopetukset saataisiin limitettyä ja tuotanto jatkuisi katkeamattomana virtana projektien välillä. Yrityksen näkemyksen mukaan tarjouskyselyiden määrä on kasvanut huomattavasti muutaman viime vuoden takaisista määristä, mutta kilpailu muiden teräsrakennevalmistajien kanssa on siitä huolimatta tiukkaa.

Ensimmäisten haastatteluiden jälkeen tutkija tutustui yrityksen toimintajärjestelmän sekä kolmen teräsrakenneprojektin dokumentaatioon tutkimuksen näkökulma ja kohdeyrityksen nykytilan selvittäminen huomioiden. Teräsrakenneprojektien dokumentaatio valittiin tutkimukseen rakennesuunnittelun toteutuksen näkökulmasta siten, että ensimmäisen projektin rakennesuunnittelu oli toteutettu kokonaan kohdeyrityksen tekemänä, toisen projektin päärakennesuunnittelu kuului tilaajan puolesta ulkopuoliselle suunnittelutoi-

mistolle, mutta konepajasuunnittelu kohdeyritykselle ja kolmannen projektin rakenne- suunnittelu oli ulkoistettu kokonaan suunnittelutoimistolle. Dokumentaation avulla muodostettiin kuva teräsrakentamisen toteuttamisesta sekä tuotannonohjauskäytännöistä.

- Toimintajärjestelmän dokumentaatio sisältää toimintakäsikirjan liitteinen, joka on kattava kohdeyrityksen toimintatapojen kuvaus laadun hallitsemiseksi ja parantamiseksi standardin SFS-EN ISO 9001:2008 Laadunhallintajärjestelmät, vaatimukset mukaisesti. Kuvauksessa on huomioitu myös ympäristönsuojelun ja työturvallisuuden keskeiset vaatimukset. Toimintakäsikirjassa tehdään sisäinen laadunvalvonta (Factory Production Control, FPC) on huomioitu standardin SFS-EN 1090-1+A1 mukaisesti. Toimintakäsikirja sisältää teräsrakentamisen tilaus-toimitusprosessin kuvauksen sekä yksittäiset työohjeet jokaiselle työvaiheelle, suunnittelun, valmistuksen ja asennuksen osalta, siitä mitä pitää tehdä, miten se tehdään ja mitä pitää dokumentoida.
- Projektien dokumentaatio sisältää rakennelaskelmat, rakennepiirustukset, valmistusdokumentaation sekä lopputuotteen merkinnän ja dokumentit. Kohdeyritys laatii aina kohteen valmistuksen ja lopputuotteen dokumentit. Suunnitteludokumenttien laatija riippuu siitä, miten rakennesuunnittelu kohteessa toteutetaan. Vastuullinen suunnittelija laatii rakenteiden pääsuunnittelun ja teräsrakenteiden toteutuseritelmän eli työselostuksen. Teräsrakennesuunnittelussa tulee silloin tällöin vastaan tilanne, jossa konepajasuunnittelija on eri kuin vastuullinen suunnittelija. Tällöin konepajasuunnittelija laatii pääsuunnitelmien pohjalta teräsrakenteista sellaiset piirustukset ja määräluettelot, joiden avulla kaikki osat on mahdollista valmistaa. Teräsrakenneyhdistyksen (2015a) TEP-hanke, Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus, on ollut osaltaan luomassa yhtenäisiä käytäntöjä suomalaiselle teräsrakennealalle. Tästä huolimatta suunnittelutoimistojen ja valmistuspuolen välillä on omia käytäntöjä. Tällöin suunnittelutoimistosta tulleet dokumentit eivät täysin sovellu sujuvaan tuotannon- ja valmistusohjaukseen kohdeyrityksessä ilman muutoksia.

Tuotantotoiminnan havainnointi suoritettiin dokumentteihin tutustumisen jälkeen. Havainnoinnin avulla pyrittiin selvittämään sitä, että noudattaako todellinen työskentely dokumenteissa kuvattua toimintaa ja mitä tuotantotoiminnan osa-alueita on vielä kuvaamatta. Tutkija oli yrityksen työntekijöille entuudestaan tuttu, jolloin havainnointia oli mahdollista suorittaa siten, ettei se vaikuttanut normaaliin työskentelyyn. Havainnointia suoritettiin normaalein valvonta- ja tarkastuskierroksin laaduntarkkailun ohella. Havainnointijakson aikana tuotannon vaiheista otettiin valokuvia, joita hyödynnettiin nykytilan raportoinnissa. Havainnointia täydennettiin lisäksi tuotantotyöntekijöiden kanssa käytyillä keskusteluilla, joita ohjasivat liitteessä A esitetyt tuotannon työntekijöiltä selvitetävät teemat.

- Havainnointijakson aikana kohdeyrityksessä oli varustelussa ja hitsauksessa samanaikaisesti kaksi suurta yli 200 000 kg teräsrakenneprojektia, jotka soveltuivat

hyvin tarkastelukohteiksi. Kohdeyrityksen, standardin SFS-EN 1090-1+A1 mukainen, toimintajärjestelmä on ollut sertifioituna käytössä noin kolme vuotta ja tutkijalle jäi näkemys, että järjestelmää ja ohjeita noudatetaan hyvin eri valmistusvaiheissa. Valmistusvaiheet ovat kattavasti kuvattu ja valmistusta ohjataan piirustusten avulla. Havainnointijakson aikana kuitenkin korostui näkemys siitä, että valmistuksen ohjauksessa ja virtauksessa on kehitettävää, kun tuotantotilat ovat ahtaat kahden näin suuren projektin päällekkäin valmistukseen.

Tuotannon havainnointi- ja keskustelukierrosten jälkeen tutkija kävi tuotantopäällikön kanssa useita tarkentavia keskusteluita kohdeyrityksen toiminnasta. Keskusteluiden avulla täydennettiin syntynyttä näkemystä yrityksen teräsrakentamisen valmistustoiminnasta ja tuotannonohjauksesta.

- Empiiristen selvitysten ansiosta yrityksen toiminnasta ja tuotannonohjauksesta saatiin kattava näkemys. Yrityksellä on selkeä halu kehittää toimintaa, mutta henkilöstömuutokset ja rekrytointivaikeudet suunnittelu- ja työnjohtopuolella ovat hankaloittaneet kehitystyötä. Projektien kiireisten aikataulujen ja projektinjohtajien työtaakan johdosta tuotannonohjaus on hoidettu vanhojen toimintatapojen mukaan projektinjohtajien vahvan henkilöosaamisen avulla.

Osallistuvan jakson lopulla suoritettiin vielä avoimia haastatteluita ja yhteisiä keskustelutilaisuuksia tuotantotyöntekijöiden kanssa mahdollisista toiminnan puutteista, jotka vaikuttavat heidän mielestään valmistustoimintaan ja valmistuksen ohjaukseen sekä kehityskohteista, joiden avulla toimintaa olisi mahdollista tehostaa.

- Työntekijät osallistuivat avoimesti keskustelutilaisuuksiin, joita pidettiin taukojen yhteydessä. He esittivät laajalti näkemyksiä toiminnan kehitysmahdollisuuksista, joita käsitellään luvussa 6.

Havaintojakson aikana kerätty aineisto analysointiin ja sen perusteella dokumentoitu kohdeyrityksen teräsrakentamisen ja tuotannonohjauksen nykytila esitetään luvuissa 5.3 ja 5.4. Tämän jälkeen teoreettisen viitekehyksen ja empiirisen osion havaintojen perusteella tehdyt kehitysehdotukset teräsrakentamisen prosessin ja tuotannonohjauksen tehostamiseksi kuvataan luvussa 6. Lopuksi tutkimuksesta kootaan yhteenveto, tehdään johtopäätöksiä siitä mihin suuntaan teräsrakentamisen tuotannonohjaus tulee kehittymään ja annetaan tämän tutkimuksen pohjalta soveltuvia jatkotutkimusehdotuksia.

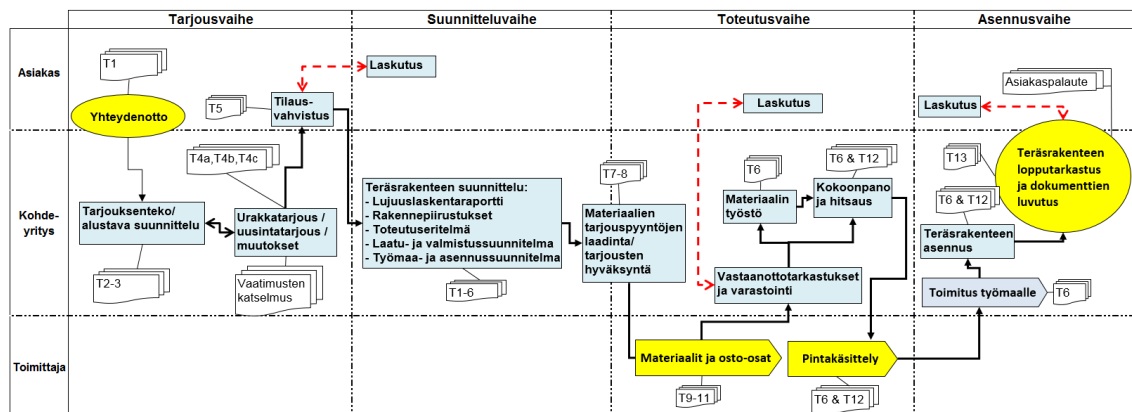
5.3 Kantavien teräsrakenteiden valmistustoiminta

Kohdeyrityksen päätuotteita ovat asiakastilauksesta suunniteltavat ja valmistettavat, tai asiakkaan piirustuksista valmistettavat, standardin SFS-EN 1090-1+A1 soveltamisalaan kuuluvat teräskokoonpanot, jotka kattoivat viimeisen 1½ vuoden aikana yrityksen valmistuskapasiteetista yli 70 prosenttia. Kartoituskäytön aikana kohdeyrityksessä käynnissä

olleet projektit ja tarjouskyselyt kuuluivat lähes sataprosenttisesti standardin SFS-EN 1090-1+A1 soveltamisalaan ja siitä johtuen valmistusstandardin SFS-EN 1090-2+A1 alaisuuteen.

5.3.1 Teräsrakentamisen prosessikuvaus

Kohdeyrityksen teräsrakentamisen kokonaisprosessin kuvaus on esitetty kuvassa 23. Kohdeyritys on kuvannut oman teräsrakentamisen kokonaisprosessin neljän päävaiheen avulla, joita ovat tarjousvaihe, suunnitteluvaihe, toteutusvaihe ja asennusvaihe. Luvussa 2 oli esitetty teräsrakentamisen päävaiheet Azimin et al. (2011, s. 90) mukaan. Tämä esitys ei sisältänyt tarjousvaihetta, mutta se oli erotellut suunnittelu-, valmistus- ja asennusvaiheiden lisäksi myös hankinnan ja kuljetuksen omiksi päävaiheiksi. Kohdeyrityksen esityksessä hankinta ja kuljetukset on huomioitu prosessin sisäisiksi vaiheiksi. Kohdeyrityksen prosessikuvauksessa vaiheiden toteuttamisessa ovat mukana asiakas, kohdeyritys ja toimittajat. Prosessikuvaus on rakennettu sen mukaan, että kohdeyritys suorittaa suunnitteluvaiheen kokonaisuudessaan itse. Rakennesuunnittelu voi tulla kokonaan tai osittain myös asiakkaan puolesta, jolloin asiakas vastaa suunnittelusta tai kohdeyritys voi teettää suunnitelmat suunnittelutoimistossa, jolloin kohdeyritys vastaa suunnittelun toteuttamisesta.



Kuva 23. Kohdeyrityksen teräsrakentamisen prosessikuvaus.

Tarjousvaihe aloittaa kohdeyrityksen teräsrakentamisen prosessikuvaus. Tarjousvaihe on jaettu kohdeyrityksen ja päätoimipisteen kesken. Tarjouskyselyt tulevat suoraan yrityksen myyntiosastolle tai myyntiosasto voi etsiä tietoa tulevista julkisista tai yksityisistä hankkeista erilaisten hankintakanavoiden kautta. Myyntiosasto tekee alustavan päätöksen tarjouksen antamisesta. Jos tarjousaineisto sisältää kaikki tarvittavat asiakirjat ja kohdekuvaukset tarjouskohteesta, niin myyntiosasto voi antaa tarjouksen ylimmän johdon suostumuksella ilman, että kohdeyritys osallistuu tarjouksen tekemiseen. Tämä edellyttää, että myyntiosastolla on ajankohtaista tietoa kohdeyrityksen käynnissä olevien projektien kapasiteettivaatimuksista, aikatauluista ja kyvystä täyttää kohteen valmistusvaatimukset. Tuotannonjohdon haastatteluiden perusteella selvisi, että valmistuskapasiteettia

joudutaan hankkimaan tietyin väliajoin kohdeyrityksen ulkopuolelta, sellaisilta konepajoilta, jotka keskittyvät ainoastaan valmiiden piirustusten mukaiseen valmistustoimintaan, jolloin valmiit suunnitelmat toimitetaan kohdeyrityksen puolesta toimittajalle. Tämänkaltainen ulkoistustoiminta ei ole kohdeyritykselle kannattavaa, mutta tilausten projektiluonteen vuoksi väliajoin välttämätöntä, jotta oman tuotannon kapasiteetin kuormitusaste voidaan pitää mahdollisimman korkealla. Myyntiosastolla tulisi kuitenkin olla valmistusosaston kapasiteettitietojen lisäksi tarkat kapasiteettitiedot myös kohdeyrityksen teräsrakentamisen suunnittelu- ja tuotannonjohto-osastolta, jotta ulkoistettut projektit saadaan suunniteltua ja johdettua vaatimusten mukaisesti. Usein kohdeyrityksen oma valmistusvaihe kuormittaa suunnittelu- ja tuotannonjohto-osastoa siten, että ulkoistettujen projektien läpivieminen aiheuttaa ylikuormitusta projektinjohdolle.

Jos asiakkaalta tuleva tarjousaineisto ei sisällä kaikkea myyntiosastolle tarpeellista tietoa tarjouksen jättämiseksi, niin kohdeyritys osallistuu tarjouksen laatimiseen. Ennen tarjouslaskentaa tulee kohteelle suorittaa alustava vaatimusten katselmus, jossa tarkastetaan, että kohdeyrityksellä on kyky toimittaa vaatimusten mukainen tuote, ennen tilaukseen sitoutumista. Usein tarjouskohteesta on saatavissa vain pääpiirustukset ja alustavat suunnitteluvaatimukset, johon on esitetty runkorakenteille tilavaraukset. Tilavarausten ja lähtötietojen perusteella rakenne, materiaalimenekki ja valmistuskustannukset on mahdollista arvioida vanhoihin jo valmistettuihin rakenteisiin nähden. Tämä on nopea, mutta riskialtis tapa suorittaa tarjouslaskentaa, koska virheiden mahdollisuus on suuri. Tarkempi tapa on laatia alustavat rakennesuunnitelmat, joiden perusteella valmistuskustannuksia on helppompaa arvioida tarkemmin arvioituun materiaalimenekkiin ja valmistustapaan nähden. Tarjoustaan varten tehtävän rakennesuunnittelun aluksi laaditaan suunnitteluseloste, johon määritellään teräsrakennekohteen perustiedot, vaatimukset ja mitoitusperiaatteet. Tämän jälkeen tehdään rakennetyypin valinta ja suoritetaan alustava mitoitus. Alustavan mitoituksen perusteella saadaan materiaaliluettelo ja rakennemalli, jonka mukaan todelliset materiaalimenekit voidaan arvioida melko luotettavalla tavalla. Rakennemallin ja materiaaliluettelon pohjalta arvioidaan valmistuskustannuksia, mutta varsinkin monimutkaisten ja suurten kohteiden valmistuskustannusten arvioiminen ilman tuotannon simulointia on epävarmaa. Tällä hetkellä kohdeyrityksen valmistuskustannusten laskenta perustuu täysin henkilöosaamiseen ja vanhojen projektien perusteella tehtyyn jälkilaskentaan, joiden mukaan arvioidaan todellista valmistuksen kilohintakustannusta. Kohdeyritys antaa oman laskennan perusteella myyntiosastolle näkemyksensä tarjouskyselyn hinnasta, jonka perusteella myyntiosasto laatii urakkatarjouksen.

Jos asiakas hyväksyy tarjouksen, niin urakasta pidetään hankintaneuvottelut, jossa käytännönasiat ja kohteen lopulliset vaatimukset sovitaan ja vahvistetaan tilausvahvistuksen allekirjoituksella. Tilausvahvistuksen saamisen jälkeen alkaa teräsrakentamisen prosessin varsinainen suunnitteluvaihe.

Suunnitteluvaiheen perustana on ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista ja kantavien rakenteiden suunnittelua ohjaa Eurokoodit, jotka ovat eurooppalaisia kantavien

rakenteiden suunnittelua ohjaavia standardeja. Suunnitteluvaihe alkaa tarjousvaiheessa laadittujen rakennelaskemien tarkentamisella, joiden perusteella rakenne mallinnetaan. Kohdeyrityksen itse tekemä teräsrakenteen mallinnus ja konepajasuunnittelu tapahtuvat mekaniikkasuunnitteluun kehitetyllä 3D-suunnitteluohjelmistolla. Ohjelmalla pystyy tekemään tarvittavan mallinnuksen, rakennepiirustukset ja määräluettelot, mutta niiden tekeminen on tiettyjen rakenteiden kohdalla melko työlästä. Kohdeyritys käyttää rakennesuunnittelun tekemiseen myös erästä ulkopuolista suunnittelutoimistoa, joka käyttää rakennesuunnittelussa tietomallinnusta. Erityisesti rakennesuunnitteluun kehitetyllä tietomallinnusohjelmistolla valmistuspiirustusten ja määräluetteloiden tekemistä on automatisoitu rakennemallin pohjalta, joka nopeuttaa suunnitteluvaihetta. Suunnitteluvaiheen prosessikuvauksen mukaan tärkeimpiä vaiheen tuottamia suunnitteludokumentteja ovat:

- Rakennelaskentaraportti, joka on kuvaus rakenteen kestävyysmitoituksesta.
- Rakenne- ja konepajapiirustukset sekä piirustus- ja kokoonpanoluettelot rakenteiden valmistusta varten.
- Määräluettelot hankintatoimeja varten.
- Toteutuseritelmä, jonka avulla suunnittelija välittää hankkeessa mukana oleville tahoille rakenteiden toteuttamiseen liittyvää tietoa.
- Laatu- ja valmistussuunnitelma, johon kootaan tarkemmat valmistustiedot vastuuhenkilöistä, toteuttamisesta, tarkastuksista, dokumentoinnista, aikataulutuksesta ja kuljetuksista.
- Työmaa- ja asennussuunnitelma, joka on kuvaus työmaalla tapahtuvasta toiminnasta.
- Teräsrungon käyttö- ja huolto-ohje, johon kuvataan teräsrungon käytön aikana tehtävät tarkastukset ja hoitotoimenpiteet.

Vaikka suunnitteluvaihe on kuvattu prosessikuvauksessa omaksi työvaiheeksi, niin usein tilausten aikataulut johtavat siihen, että suunnittelu- ja toteutusvaiheet etenevät päällekkäin. Tämä tuo erityisiä haasteita tuotannonohjaukselle, kun lopulliset ohjaus- ja materiaalien hankintatiedot tarkentuvat suunnittelun edetessä. Kohdeyritys onkin kuvannut hankintavaiheen tapahtuvan suunnittelu- ja toteutusvaiheen aikana. Hankintavaiheeseen kuuluvat kohdeyrityksen toimesta tarjouspyyntöjen laadinta, tarjousten ja toimittajan hyväksyntä sekä ostettujen tavaroiden vastaanottotarkastukset ja varastointi.

Toteutusvaihe alkaa toimittajilta hankittujen käytettävien tuotteiden ja osto-osien vastaanottamisella. Projektille yksilöidyt tavarat tilataan projektinumeron avulla, jolloin tavarantoimittajan vastaanottaja merkitsee saapuneet materiaalit projektinumerolla ja varastoi ne projektinumerolle varattuun paikkaan. Kuitattu lähetysluettelo ja rahtikirja toimitetaan työnjohtajalle. Työnjohto vertaa tilausvahvistusta, lähetysluetteloita ja aineistodistuslistaa keskenään todentaakseen, että toimitettu materiaali vastaa tilausta. Tilausvahvistukset ja lähetysluettelot tallennetaan serverille projektikansioon. Serveriksi kutsutaan kohdeyrityksen lähiverkossa olevaa verkkoasemaa, joka toimii sähköisenä arkistona. Vastaanottotarkas-

tuksessa on tarkoituksena varmistaa, että materiaalien laatu ja määrä vastaavat tilausvahvistusta. Kohdeyrityksellä on rakenteilla materiaalille suojattu varastointitila, jolloin kaikki tavarat saadaan tarvittaessa säältä suojaan koko prosessin ajaksi. Tutkimuksen suorittamisen hetkellä pitkät materiaalit vastaanotetaan ja varastoidaan väliaikaisesti ulkona kuvan 24 mukaisesti.



Kuva 24. Pitkien materiaalien väliaikainen varastointi kohdeyrityksessä.

Kaikki projektissa tarvittavat teräkset tilataan erikseen suoraan projektille ja mahdollisimman täsmällisin määrin. Ainoastaan pieniä määriä yleisiä teräsputkikokoja, joita käytetään valmistuksen ja kuljetuksen apuna, varastoidaan kohdeyrityksessä.

Valmistusvaiheeseen on käytettävissä kaksi tuotantohallia, joissa valmistustilaa on yhteensä noin 1700 neliometriä. Suurempi, kahdella siltanosturilla varustettu tuotantohalli, jossa sahaus, varustelu ja hitsausvaihe normaalisti suoritetaan, on 65 metriä pitkä. Hallin molemmissa päissä on suuret manuaalisesti toimivat ovet, joista tavarat kuljetetaan sisään ja ulos. Tuotantohallissa saha ja pientarvikevarasto ovat kiinteästi sijoitettu layouttiin, mutta muuten kokoonpano- ja hitsaussolut erotellaan siirreltävien väliseinien avulla, jolloin tuotantotilan layout elää projektille vaadittavan tilan mukaan.

Valmistusvaiheessa kaikki levyosat tulee kohdeyritykseen alihankintana. Valmistettavista levyosista toimitetaan alihankkijalle sähköinen 2D-piirustus, jonka alihankkija siirtää CNC-koneelle. Tuotteissa käytetään paljon plasma- ja polttoleikkaamalla valmistettuja levyosia. Näistä osista pitää kulmat pyöristää ja leikkauspurseet poistaa ennen varusteluvaihetta. Alle 20 kg osille on kehitetty eräänlainen mylly, jossa polttoleikkeet pyörivät ja hioutuvat tehokkaasti purseettomiksi. Tämän jälkeen levyosat pitää vielä tarkastaa ja merkitä kuvan 25 mukaisesti maalikynällä ennen varusteluvaiheeseen siirtämistä.



Kuva 25. Levyosien merkitseminen maalikynällä.

Yli 20 kg levyosat ovat kuitenkin myllyyn liian suuria, jolloin niiden puhdistus tehdään käsityökaluilla, joka on työläs ja aikaa vievä työvaihe. Teräspalkkien ja putkien sahaus tehdään joko itse omalla vannesahalla tai ostetaan mahdollisuuksien mukaan materiaalit toimittavalta terästukkukaupalta. Viime aikoina kohdeyritys on alkanut käyttää alihankintana putkien katkaisuun myös 3D-polttoleikkausta, jolloin katkaisua ohjataan 3D-mallin avulla. Tällöin katkaistavaan osaan saadaan tehtyä monimutkaisempia muotoja ja viisiteitä samalla kertaa. Itse tehtyä sahausta ohjataan valmistuspiirustusten ja määräluettelon avulla. Sahuri noutaa materiaalin projektille tarkoitetusta materiaalin varastointipaikasta ja suorittaa katkaisun. Sahattuun kappaleeseen kirjoitetaan maalikynällä sahauspiirustuksessa annettu tunniste ja samanlaiset osat kootaan kuvan 26 mukaisesti putkihäkkiin.



Kuva 26. Sahattuja putkipalkkeja.

Toteutusluokassa EXC3 sulatusnumeron tulee olla jäljitettävissä kokoonpanokohtaisesti. Mikäli samanlaisissa osissa on enemmän kuin yhtä sulatuserää, niin sulatusnumeron tunnistamista kirjotetaan jokaiseen osaan maalikyntällä.

Toteutusvaihe jatkuu materiaalien työstöjen jälkeen kokoonpanovaiheeseen, jossa työnjohtaja ja kokoonpanijat käyvät kokoonpanopiirustukset läpi ennen kokoonpanovaiheen aloittamista. Kokoonpanon suorittaja tarkastaa osavalmistuksesta tulleiden osien tunnistusmerkinnät ja osien laadun ennen niiden kiinnittämistä rakenteeseen. Osista tulee selvittää projektin tunnistenumero ja osan nimitys. Toteutusluokassa EXC3 osassa tulee olla merkittynä myös sulatuserän tunnus, mikäli samanlaisissa osissa on useampia sulatuseriä. Kokoonpanon valmistuttua kokoonpano merkitään maalikyntän lisäksi joko hitsaamalla tai alumiinisella tunnistelevyllä. Merkintänä käytetään kokoonpanon nimitystä ja vaadittaessa myös projektin tunnistenumeroa. Merkintätapa ja merkinnän paikka osoitetaan kokoonpanopiirustuksissa. Toteutusluokassa EXC3 kokoonpanon osien sulatusnumerot merkitään erilliseen sulatusnumerokarttaan. Kokoonpanon suorittaja merkitsee omilla nimikirjaimillaan kokoonpanon valmistetuksi projektin kokoonpanoluetteloon. Kokoonpanovaihe suoritetaan manuaalisesti ilman automaattisten koneiden apua. Ristikkomalliset kokoonpanot kasataan lattiantasossa olevien kiskojen päälle tehtävän kokoonpanojigin avulla kuvan 27 mukaisesti.



Kuva 27. Ristikon kasaus kokoonpanojigissä.

Jigiin kasattu kokoonpano silloitushitsataan siten, että se pysyy kasassa, jonka jälkeen se siirretään kuvan 28 mukaiseen välivarastoon odottamaan hitsausta. Palkit varustellaan pääasiassa pukkien päällä erikseen mittaamalla, josta ne varustelun jälkeen siirretään hitsaukseen.



Kuva 28. Välivarastoituja ristikoita.

Ennen hitsausvaihetta työnjohtaja perehdyttää hitsaajat projektissa käytettäviin hitsausohjeisiin ja kokoonpanon hitsaukseen liittyviin vaatimuksiin. Kohdeyrityksen käytetyin perusaine on S355J2 laadun rakenneteräs ja hitsaus suoritetaan pääasiassa käsin MAG-umpilankahitsauksena tai MAG-jauhetäytelankahitsauksena. Hitsaus suoritetaan joko lattialla tai pukkien päällä kuvan 29 mukaisesti.



Kuva 29. Käsin hitsausta pukkien päällä.

Hitsauksen aikana kappaleiden kääntämiseen käytetään suurempien kokoonpanojen osalta siltanosturia tai seinissä olevia puominostureita. Hitsauksen jälkeen hitsaaja suorittaa rakenteen hitseille silmämääräisen tarkastuksen ja vaadittavat tarkastusmittaukset. Hitsaaja hyväksyy ja kuittaa kokoonpanon tarkastuspöytäkirjaan. Tarkastuslomakkeet ja

-pöytäkirjat tallennetaan serverille projektikansioon. Tämän jälkeen kokoonpano siirtyy tarvittaessa tarkempiin jatkotarkastuksiin tai pakkaukseen ja välivarastoon odottamaan kuljetusta pintakäsittelyyn kuvan 30 mukaisesti.



Kuva 30. *Kuljetusta odottavia pakattuja ristikoita.*

Kohdeyrityksen tiloissa ei suoriteta lainkaan pintakäsittelytyötä. Pintakäsittely tehdään mahdollisesti yrityksen muissa yksiköissä tai ostetaan alihankintana. Tämän vuoksi pintakäsittelyyn lähetettävien kokoonpanojen merkitseminen on erittäin tärkeää, jotta kokoonpanot tunnistetaan helposti keskenään, erityisesti projektien välillä, jos useampaa työtä tehdään päällekkäin. Tällä hetkellä merkitseminen tapahtuu kokoonpanovaiheessa hitsaamalla osanumero kokoonpanoon kuvan 31 mukaisesti tai alumiinisen tunnistuslevyn avulla, joka kiinnitetään kokoonpanoon teräslangalla.



Kuva 31. *Hitsaamalla merkityjä kokoonpanoja.*

Kaikkia osia ei voida kuitenkaan merkitä hitsaamalla ja tällöin alumiiniset tunnustuslevyt tehdään käsityönä lyömällä osanumero levyyn kirjainmuottien avulla. Molemmat merkintätavat ovat aikaa vieviä ja alumiinilevyjen kiinnityksiä on todettu irronneen kuljetuksen, suihkupuhdistuksen ja maalauksen aikana. Tällöin jonkun pitää käydä erikseen selvittämässä merkintäepäselvyyksiä ennen kokoonpanojen työmaalle lähettämistä. Pintakäsittelyvaiheen toteutustiedot siirtyvät piirustusten avulla vaiheen suorittajalle. Pintakäsittelystä saatavat tarkastuspöytäkirjat tallennetaan kohdeyrityksen serverille projektikansioon.

Asennusvaiheen suorittaminen ei kuulunut tutkimuksen piiriin, mutta sen suunnittelu kuuluu kohdeyrityksen toimintaan. Kokoonpanot toimitetaan pintakäsittelystä työmaalle varastotilojen ja tarpeen mukaan. Asennusvaiheen suunnitelmissa esitetään asennuksen aikana ja sen jälkeen tehtävät tarkastukset. Tarkastuspöytäkirjat tallennetaan kohdeyrityksen serverille projektikansioon. Teräsrungon asennusvaiheen valmistuttua kohdeyrityksen projektijohtaja kasaa teräsrakentamisen dokumentaation koko prosessin suorittamisesta ja kirjoittaa kohteelle CE-merkinnän ja suoritustasoilmoituksen.

Kohdeyrityksessä asiakaspalautteita ei projektien päätyttyä kerätä säännöllisesti, mutta mahdolliset vapaaehtoiset palautteet ja reklamaatiot tallennetaan sekä käsitellään yrityksen sisällä. Jälkilaskentaa voidaan tehdä vertaamalla tarjouslaskentaa toteutuneisiin kustannuksiin. Projektin ostot ja työtunnit kohdennetaan projektinumerolle, jolloin seuranta on mahdollista. Työtunteja seurataan tuntilistojen avulla, jolloin tuntikirjanpidosta on mahdollista seurata vaiheiden projektikohtaista kokonaisaikaa, muttei vaiheiden kokoonpanokohtaisia osittaisaikoja.

5.3.2 Suunnittelu valmistuksen kannalta

Kohdeyrityksellä on oma rakennesuunnitteluosasto. Lisäksi kohdeyritys käyttää rakennesuunnitelmien tekemisessä tiiviisti apuna erästä pientä suunnittelutoimistoa, jonka kanssa yhteistyö on jatkunut jo muutamia vuosia. Kohdeyrityksen omaa rakennesuunnitteluosastoa on kehitetty jo yli seitsemän vuoden ajan. Suurimpia esteitä oman suunnitteluosaston kehitykselle on ollut suunnitteluosaston pieni koko ja rekrytointivaikeudet. Tämän hetkinen suunnitteluosasto on kovalla kuormituksella, kun suunnittelijat joutuvat rakennesuunnittelun ohella johtamaan projekteja ja ohjaamaan valmistusta. Monipuoliset työtehtävät ovat kuitenkin opettaneet suunnittelijoille koko teräsrakentamisen prosessin, josta on suuri apu valmistettavuuden suunnittelussa, kun koko prosessi osataan huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Valmistettavuuden ohella myös piirustusten laatiminen on erittäin tärkeässä asemassa, kun valmistusta tehdään käsityönä piirustusten mukaan. Tärkeää on myös, että suunnittelijat tuntevat kohdeyrityksen oman valmistusprosessin lisäksi edistyneet valmistusteknologiat, joita pystytään alihankinnan avulla hyödyntämään. Näin suunnittelija pystyy jo suunnitteluvaiheessa arvioimaan itse tekemisen ja ulkoistamisen kustannukset sekä mahdollisesti huomioimaan automaattivalmistuksen suunnitteluvaatimuk-

set. Kohdeyrityksen ja yhteistyötoimiston välinen suunnitteluyhteistyö on tiivistä ja muutamana vuoden aikana yritysten väliset käytännöt on saatu toimimaan hyvin projektien aikana tapahtuvan tiiviin yhteydenpidon vuoksi. Suunnittelutoimisto osaa näin omista ratkaisuissaan huomioida kohdeyrityksen tarpeet.

Suunnittelijoille tehtyjen haastatteluiden perusteella tiukat aikataulut ja niiden tuoma kiire on monella tapaa suurin syy tuotannon kannalta puutteellisille suunnitelmille. Tuotannon työntekijöille tehtyjen haastatteluiden perusteella he ovat pääsääntöisesti tyytyväisiä oman suunnitteluosaston ja yhteistyötoimiston tekemien piirustusten selkeyteen ja valmistettavuuteen. Suunnittelun ja tuotannon välinen yhteistyö on vuosien aikana kehittynyt avoimeksi ja molempiin suuntiin opastavaksi, kun suunnitteluosasto toimii valmistusosaston yhteydessä. Suurimpana ongelmana tuotantotyöntekijät mainitsivat joidenkin täysin kohdeyrityksen ulkopuolelta tulevien piirustusten luettavuuden, kun suunnittelijana on henkilö, jolla ei ole kokemusta kohdeyrityksen toiminnasta. Näissä piirustusten esitystapa ja mitoituskäytännöt eivät aina ole vakioituja, joka hidastaa kokoonpanotyötä huomattavasti. Kohdeyrityksen suunnittelijat ovatkin joutuneet usein tekemään uudelleen mitoittamista ulkopuolelta tuleville piirustuksille.

5.3.3 Hankintatoimi

Teräskokoonpanon valmistuksessa käytettävien tuotteiden jäljitettävyyden tulee täyttää standardissa SFS-EN 1090-2+A1 esitetyt toteutusluokkakohtaiset vaatimukset. Kohdeyrityksen toimintakäsikirjassa on kuvattu kirjalliset tarkastusmenettelyt, joiden avulla toimittajat arvioidaan ja tuotteet tarkastetaan, jotta ne täyttävät niille asetetut vaatimukset.

Lähtötiedot hankinnalle tulee suunnitteluosastolta taulukkopohjaisena osaluettelona. Projektin tunnistenumerolla varustettu osaluettelo sisältää osatiedot ja tuotteen hyväksymistä koskevat vaatimukset sekä hankintamäärät. Osaluettelon pohjalta laaditaan tarjouspyynnöt ja tilaukset. Toimittajalta vaaditaan aina metallituotteille standardin SFS-EN 1090-2+A1 vaatimusten mukainen aineodistus tai muu osaluettelossa mainittu laatutodistus. Saatua tilausvahvistusta verrataan osaluetteloon ja hyväksytty tilausvahvistus tallennetaan projektikansioon serverille ja kopio säilytetään materiaalin vastaanottajan tekemää vastaanottotarkastusta varten. Käytettäviä tuotteita hankitaan vain etukäteen hyväksytyiltä toimittajilta. Käytettävien tuotteiden suurimmat hankintakriteerit ovat hinta ja toimitusaika.

Toimittajien lisäksi kohdeyritys joutuu käyttämään teräskokoonpanon valmistuksessa myös alihankkijoita. Alihankkijan toimittajasta erottaa se, että alihankintatoiminnassa tuote ei ole luettelotavaraa, vaan sen valmistus tapahtuu kohdeyrityksen toimittamien piirustusten ja spesifikaatioiden mukaan. Kohdeyrityksellä on kaksi tapaa teettää standardin SFS-EN 1090-1+A1 soveltamisen piiriin kuuluvan tuotteen alihankintaa. Jos alihankkijalla on sisäiselle laadunvalvonnalle oma sertifiikaatti, niin alihankkija vastaa tuotteiden ilmoitetuista ominaisuuksista sertifiikaatin mukaisesti, tai jos alihankkijalla ei ole omaa

sertifikaattia, niin kohdeyritys sisällyttää alihankintayrityksen toiminnan oman toimintajärjestelmän alaisuuteen. Sertifioimattomat alihankkijat auditoidaan ja alkutestataan standardin SFS-EN 1090-1+A1 mukaisesti, jotta voidaan varmistua laatuvaatimusten täyttymisestä. Kohdeyritys on tehnyt strategisen päätöksen hankkia levyosien valmistusta ja pintakäsittelyn suorittamista sertifioimattomilta alihankkijoilta. Tällöin nämä alihankkijat noudattavat kohdeyrityksen toimintaohjeita ja kohdeyritys vastaa näiden tuotteiden ilmoitetuista ominaisuuksista oman sertifikaatin mukaisesti.

Strategisista päätöksistä huolimatta kohdeyrityksen käyttämät alihankintakäytännöt vastaavat lähinnä lyhyen aikavälin alihankintapolitiikka, jonka käytön tavoitteena on usein kyky vastata tilauksiin. Pitkällä aikavälillä alihankintapolitiikkaa tulisi kehittää siihen suuntaan, että se tarjoaa kustannustehokkaita valmistusresursseja. Kohdeyrityksen toimintajärjestelmän alaisuuteen hyväksytyt alihankkijat vastaavat omasta tuotannosta itse kohdeyrityksen ohjeiden ja lopputuotteen vaatimusten mukaisesti. Tällöin toimitukset vastaavat projektitoimituksia, jotka tapahtuvat ennalta sovitun yksikköhinnan tai usein yksittäistä toimitusta koskevan tarjouskilpailun perusteella. Kohdeyrityksen alaisuudessa toimivat alihankintayritykset eivät varaa kapasiteettia erikseen kohdeyritystä varten, jolloin niiden käyttäminen ei ole aina tarvittaessa mahdollista.

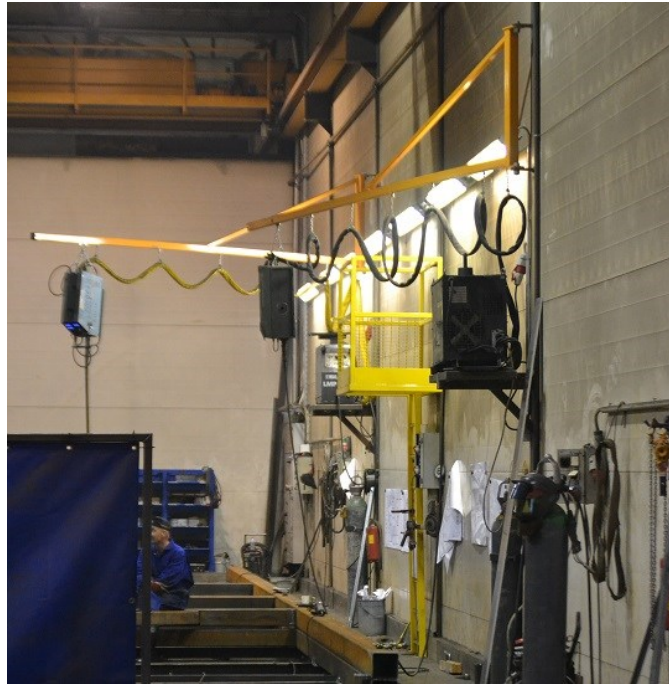
Lisäksi kohdeyritys käyttää tarvittaessa ja mahdollisuuksien mukaan erästä alihankintakonepajaa kapasiteettialihankinnan tavoin, kun oma valmistuskapasiteetti ei riitä. Tällöin kohdeyritys vastaa loppuasiakkaalle tuotteesta, mutta alihankkija valmistaa rakenteet omien käytäntöjen mukaan oman sertifikaatin alaisuudessa.

5.3.4 Valmistus

Kohdeyrityksen valmistustoiminnan ydin on hitsaustuotannossa, joka tapahtuu käsin tehtynä MAG-täytelankahitsauksena. Valmiit tuotteet ja niiden komponentit koostuvat valtaosin hitsaamalla yhteen liitetyistä osista, jolloin laadukkaat hitsausliitokset ovat avainasemassa tuotteiden toimivuuden ja turvallisen käytön kannalta. Kohdeyrityksessä hitsaustoimintaa suorittaa pätevöitetty hitsaushenkilöstö ja kohdeyrityksellä on oma hitsauskoordinoija, joka valvoo päivittäistä työtä. Yritykseen on luotu hitsausohjeet, joiden pohjana ovat menetelmäkokeilla testatut hitsausliitokset. Hitsausohjeiden tarkoitus on varmistaa vaaditut ominaisuudet täyttävän hitsausliitoksen toistettavuus. Hitsauksen työohjeiden tarkoituksena on selvittää tehtävien ja toimintojen vastuut sekä valtuudet.

Valmistus- ja hitsausprosessiin sisältyy osien vastaanottaminen, osien tuominen varusteluvaiheeseen, kokoonpanon merkintä, kokoonpanon varustelu, kokoonpanon siirto väli-varastoon, kokoonpanon siirto hitsaukseen, hitsaus, hitsauksen tarkastus ja kokoonpanon siirto pakkaukseen. Kohdeyrityksessä on parhaillaan käynnissä hitsaustyövaiheiden tehostamisen kartoitus, jossa tavoitteena on hitsausajan kasvattaminen osien siirtoaikaan nähden. Valmistuksessa osat liikutellaan pumppukärrien, trukin ja nostureiden avulla kokoonpanosoluun. Palkkikokoonpanon varustelukohdat mitataan palkkiin rullamitan

avulla ja merkitään piirtopiikillä. Tämän jälkeen osat asetetaan paikoilleen ja silloitushitsataan. Ristikkokokoonpanojen kasauksen avuksi rakennetaan jigi, jossa palkkiristikot kasataan ja varusteluosat kiinnitetään. Jigikasaukseen on tullut avuksi seinissä olevat puominosturit, jotka auttavat osien siirtämisessä sekä kuvan 32 mukaiset hitsauspuomit, joihin langansyöttölaitteet on laitettu roikkumaan, jotta hitsauskoneen liikuttelutarve vähenee.



Kuva 32. Kasausvaiheen hitsauspuomit.

Kasauksen jälkeen kokoonpano siirretään siltanosturilla hitsauspisteen läheisyydessä olevaan varastopaikkaan odottamaan hitsausta. Kun hitsaaja saa edellisen työn valmiiksi hän siirtää sen siltanosturilla pakkaukseen tai odottamaan siirtoa ulos hallista. Tämän jälkeen hitsaussoluun siirretään uusi kokoonpano siltanosturin avulla. Hitsauksen apuna ei ole kääntöpöytiä vaan hitsattavien kappaleiden käännöt tapahtuvat joko käsin vääntöraudan avulla tai avustettuna nosturin avulla. Tuotannossa kasaus- ja hitsauspisteiden paikat on määritelty vain karkeasti ja ne elävät siirreltävien kevyiden väliseinien avulla projektien välillä, joka tuo joustavuutta toimintaan. Joustava toiminta tuo kuitenkin epäselvyyttä, jos projektille varattuja alueita ei määritellä tarkasti.

Työntekijöillä on henkilökohtaiset, jatkuvasti käytössä tarvittavat, pientyökalut. Työkalut, joita ei tarvita päivittäin ovat työkalupisteissä. Työkalupisteitä ei ole vakioitu ja työkalujen palautus ei tapahdu aina välittömästi käytön jälkeen, jolloin työkalujen etsimiseen kuluu aikaa. Kohdeyrityksen kahden tuotantohallin välillä oli tarkasteluhetkellä havaittavissa huomattavaa eroa järjestykseen ja siisteyteen vaikuttavissa käytännöissä. Pienempi tuotantohalli, jossa käyttäjämäärät ovat pieniä pysyi siistinä käyttäjien omien toimintatottumusten takia. Suuremmassa tuotantohallissa taas oli huomattavaa epäjärjestyttä, kun samanaikaisesti valmistettiin kahta suurta projektia.

5.4 Tuotannonohjaus

Kohdeyrityksellä ei ole käytössä tuotannonohjaukseen erillistä tietojärjestelmää eikä tuotannonohjaukselle ole luotu valmistustoiminnan tavoin yhtenäisiä ohjeistuksia ja käytäntöjä, jolloin yksittäisen projektin tuotannonohjaus on vahvasti vastaavan projektinjohtajan tiedon varassa. Tuotantoa ohjataan muun muassa tilaus-toimitusprosessin kuvauksen sekä laadittujen rakennesuunnitelmien ja työohjeiden avulla.

5.4.1 Tuotannonohjausprosessi

Tässä luvussa kuvataan kohdeyrityksen tuotannonohjausprosessin käytäntöjä käyttäen luvun 4.4 mukaista jaottelua, jossa toisistaan erotellaan kokonaissuunnittelu, karkeasuunnittelu, hienosuunnittelu ja valmistuksen ohjaus. Kohdeyrityksen tuotannonohjauksen käytännöt ovat tilanteen, projektien ja työkuorman mukaan mukautuvia, mutta tässä kuvauksessa yritetään löytää käytäntöjen väliltä prosessimainen kokonaisuus, jonka avulla tuotantoa teräsrakenneprojektissa ohjataan.

Kohdeyrityksen tuotannonohjauksen kokonaissuunnittelu tehdään yhteistyössä päätoimipisteen kanssa. Päätoimipisteessä yleistä markkinatilannetta ja näkymiä seurataan ja arvioidaan tarjouskyselyiden koon ja määrän perusteella. Suurimmat tarjouskyselyt ajoittavat kohdeyrityksen kokonaissuunnittelua noin 6–12 kuukauden ja pienimmät noin kuukauden aikajänteelle. Päätoimipisteessä arvioidaan kohdeyrityksen, kapasiteettiin ja kapasiteetin kasvatuskykyyn nähden, kykyä vastata tarjouskyselyihin. Kapasiteetin kuormitusastetta pyritään pitämään mahdollisimman korkealla ja lyhytaikaisina resurssijoustokeinoina nähdään pääasiassa vuokratyövoiman ja alihankinnan käyttö. Päätoimipisteessä kohdeyrityksen kokonaissuunnittelu kytketään lisäksi yrityskokonaisuuden kokonaissuunnitteluun, sillä kohdeyrityksen tuotanto saattaa palvella myös muita toimipisteitä. Kokonaissuunnittelu on kohdeyrityksen kannalta pääasiassa ajatustasolla ja vapaissa neuvottelutilaisuuksissa tapahtuvaa toimintaa. Tarjouskyselyistä ei laadita selkeää kokonaissuunnitelmaa, jossa kaikki sen hetkiset kyselyt, tehdyt tarjoukset ja todellinen tuotantotilanne olisi koottuna. Vain suuremmista kyselyistä tehdään alustava kirjallinen tuotantosuunnitelma projektin toteuttamisesta. Alustavan tuotantosuunnitelman laatiminen tehdään tarjousvaiheessa tehtyjen rakennesuunnitelmien perusteella kokemukseen pohjautuen.

Karkeasuunnittelu käynnistyy tilauksesta. Tilauksen saavuttua tilauksesta laaditaan kuvan 33 mukainen viikkoajana-aikataulu. Viikkoajataulussa projekti on jaettu lohkoihin siten, että konepajavalmistus kestää noin 1–2 kuukautta. Pienempien päällekkäisten projektien tapauksessa aikataulun lohkot voivat olla myös projekteja. Viikkoajataulu laaditaan tilauksessa vaaditun toimitusaikataulun pohjalta. Aikataulun laatimiseen ei käytetä selkeästi eteenpäin tai taaksepäin ajoituksen periaatetta, vaan aikataulu on ennemminkin hahmotelma todellisen kapasiteettisuunnittelun pohjaksi ja suunnitelma siihen, miten vaadittuun aikatauluun on mahdollista päästä.

jossa aikataulua ei ole näin tarkkaan mietittynä, vaan työnjohtaja ohjaa valmistusta toimituspäivän mukaan.

Rakennesuunnittelun edetessä kohteen projektipäällikkö ohjaa materiaalitilausten ajoitusta karkeasuunnittelun pohjalta. Materiaalit tilataan valmistuksen oletetun aloituspäivän perusteella tai valmistus aloitetaan materiaalien saapumisen ja rakennepiirustusten valmistumisen mukaan. Ostohenkilöstö tilaa materiaalit ja materiaalien tilausvahvistukset tallennetaan serverille projektikansioon. Jos levyosat tilataan kohdeyrityksen toimintajärjestelmän alaisuuteen kuuluvalta yritykseltä, niin näistä ei tule erikseen tilausvahvistuksia, jolloin ainoastaan tilauksen tehnyt henkilö voi olla tietoinen tilatuista tavaroista. Pelkät tilausvahvistukset ovat kuitenkin hankala tapa seurata tilauksia etenkin, jos tavaraa tilataan useasta paikasta samalle projektille tai samasta paikasta päällekkäisille projekteille.

Hienosuunnittelu on päivä- ja viikkotasolla tapahtuvaa suunnittelua, joka pohjautuu valmiiseen rakennemalliin, määrä- ja kokoonpanoluetteloihin sekä valmistuspiirustuksiin. Viikkotason hienosuunnitelma voi olla kohdeyrityksessä kuvan 35 mukainen tarkennettu, taulukkolaskentaohjelmalla tehty, jana-aikataulu, johon on kuvattu työntekijävaraukset projekteille.

Tuotantosuunnitelma, päiv. 3.8														
Henkilö/viikko	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Maanantain pvm	3.8.	10.8.	17.8.	24.8.	31.8.	7.9.	14.9.	21.9.	28.9.	5.10.	12.10.	19.10.	26.10.	2.11.
Työntekijä 1		KB	KB											
Työntekijä 2	KB	KB												
Työntekijä 3					Hitsaus	KB	KB							
Työntekijä 4	Hitsaus	KB	KB		DR	hitsaus				3800m3 Seinälohkohitsaus				
Työntekijä 5	Sekatyöt	DR	kasaus	BKL asennus					DR asennus	BKL asennus				
Työntekijä 6	KB	DR	kasaus						DR asennus	Hoitotasokasaus				
Työntekijä 7	KB						VO halli	kasaus		Seinälohkokasaus				
Työntekijä 8	Katto	kasaus		DR	kasaus		VO halli	kasaus		Kattolohkokasaus				
Työntekijä 9	Hitsaus			DR	hitsaus			VO halli		Seinälohkokasaus				
Työntekijä 10		Hitsaus		Valvomo?			VO halli	hitsaus		Kattolohkokasaus		Hoitotasohitsaus		
Työntekijä 11						VO halli	valmistelu				Hoitotasojen ja porrastornien esivalmistus			
Työntekijä 12	Esivalm.			Valvomo?							Hoitotasojen ja porrastornien esivalmistus			
Työntekijä 13				Valvomo?						Seinälohkokasaus		Porrastornikasaus		
Työntekijä 14	Hitsaus									Seinälohkokasaus		Porrastornihitsaus		
Työntekijä 15	Hitsaus									Seinälohkokasaus				
Työntekijä 16		Poraus		20.8-28.8		Poraus				Poraus				
Työntekijä 17														
Työntekijä 18														
Työntekijä 19														
Työntekijä 20										DR asennus				

Kuva 35. Kohdeyrityksen työntekijäkohtainen viikkotason tuotantosuunnitelma.

Pääasiassa tarkempi päiväkohtainen hienosuunnittelu tapahtuu työvaiheiden mukaisten valmistuspiirustusten jaottelun avulla, jossa työnjohtaja jakaa piirustukset valmistussolujen mukaiseen työvaihejärjestykseen. Työnjohtajalla on päivätasolla mahdollisuus tehdä muutoksia työvaiheiden suoritukseen tarvittavien henkilöresurssien välillä, jotta vaiheet etenisivät mahdollisimman tasapainoisesti.

Valmistusta ohjaa tarkkaan järjestetyt piirustukset ja kokoonpanoluettelot sekä työnjohtajan henkilökohtainen ohjaus, sillä erillisiä työmääräimiä ei ole käytössä. Valmistusprosessi alkoi materiaalien vastaanotolla ja varastoinnilla, jossa tilausvahvistusta verrattiin saapuneeseen tavaraan ja lähetysluetteloon, jonka jälkeen lähetysluettelo toimitettiin tallennettavaksi serverille. Materiaalit varastoitettiin projektille osoitettuun paikkaan, josta ne noudetaan valmistukseen. Varastohallintaan ei ole käytössä tarkempaa seurantajärjestelmää ja yleensä materiaalit pyritään tilaamaan mahdollisimman tarkoin määrin projektille. Valmistetut ja saapuneet osat merkitään piirustuksiin ja luetteloihin, joista voidaan seurata osavalmistuksen etenemistä. Varustelu-, hitsaus- ja lähetysvaiheen etenemisen seurantaan tehdään kokoonpanoluettelosta kuvan 36 mukainen merkintätaulu, joka sijoitetaan tuotantoon. Tähän tauluun kokoonpanon varustelija käy merkitsemässä, kun kokoonpano on kasattu, hitsaaja käy merkitsemässä, kun kokoonpano on hitsattu ja lastaaja käy merkitsemässä, kun kokoonpano on lähetetty pintakäsittelyyn.

30-3058-301, Katos, asennuskokoonpanot						Kokoonpanon varustelija merkkää ruudukkoon, kun kasaus saatu valmiiksi									
						Kokoonpanon hitsaaja merkkää ruudukkoon, kun hitsaus saatu valmiiksi									
						Kokoonpanon lastaaja merkkää ruudukkoon, kun kokoonpano lähetetty									
Nimitys	Osanumero	Profiili	Pituus [mm]	Paino [kg]	Määrä [kpl]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ristikko	MMA-1		13783	606	1										
Ristikko	MMA-2		13783	601	1										
Ristikko	MMA-3		13783	601	2										
Ristikko	MMA-4		13460	1475	1										
Ristikko	MMA-5		13783	601	1										
Pilari	CK-101	RHS 200x200x5	6625	250	3										
Pilari	CK-102	RHS 200x200x5	6625	252	1										
Pilari	CK-103	RHS 200x200x5	6625	252	1										
Pilari	CK-104	RHS 200x200x5	6570	241	1										
Pilari	CK-105	RHS 200x200x5	6570	241	1										
Pilari	CK-106	RHS 200x200x5	7994	280	1										
Pilari	CK-107	RHS 200x200x5	7994	280	1										
Pilari	CK-108	RHS 200x200x5	8049	295	2										
Pilari	CK-109	RHS 200x200x5	7044	254	2										
Pilari	CK-110	RHS 200x200x5	7520	266	2										
Pilari	CK-111	RHS 200x200x5	7857	288	1										
Pilari	CK-112	RHS 200x200x5	7857	288	1										
Päätysparre	RK-3	HEA200	13896	621	1										
Päätysparre	RK-45	HEA200	13896	621	1										
Ovikannatin	RK-13-MMA	HEA200	6310	282	4										
Vinoside	JK-401	RHS 100x100x5	6526	99	2										
Vinoside	JK-402	RHS 100x100x5	7921	119	1										
Vinoside	JK-403	RHS 100x100x5	6107	93	4										
Vinoside	JK-404	RHS 100x100x5	7925	119	1										
Vinoside	JK-405	RHS 100x100x5	7099	107	3										
Vinoside	JK-406	RHS 100x100x5	7109	107	1										
Vinoside	JK-407	RHS 100x100x5	7402	111	2										
Vinoside	JK-408	RHS 100x100x5	6070	92	10										

Kuva 36. Kohdeyhtymän kokoonpanojen valmistuksen seuranta.

Kokoonpanojen materiaalien, hitsaajien ja tarkastusmittausten seuranta tehdään tarvittaessa piirustusten ja tarkastuslomakkeiden avulla, joihin työvaiheen suorittaja merkitsee tarvittavat merkinnät ja toimittaa piirustukset työnjohtajalle, joka tallentaa piirustuksen projektikansioon serverille. Osien tunnistaminen tuotannossa tapahtuu osaan maalikyntällä kirjoitetun osa- ja projektitunnisteen sekä tarvittaessa ainestodistustunnisteen avulla. Työvaiheessa valmistuneet osat siirretään odottamaan varastopaikalle, josta ne noudetaan seuraavaan työvaiheeseen. Valmistusvaiheiden välillä valmistusaloitteet etenevät työntöohjaamalla, mutta työnjohtajat pyrkivät tasaamaan työvaiheiden kapasiteettia siten, että ne etenevät tasaisesti. Valmistusluetteloiden perusteella projektipäällikkö siirtää tiedon työvaiheesta isompien projektien osalta valmiusastetaulukon. Visuaalinen ohjaus tapahtuu tuotannossa osaluetteloiden ja 3D-kokoonpanopiirustusten avulla, jotka sijaitsevat tuotantovaiheiden välittömässä läheisyydessä.

Kohdeyrityksen käytössä ei ole koottua tuotannonohjaustaulua johon kaikki tiedot ajantasaisesti päivitetäisiin, vaan kokonaisuus on usein vastaavan projektinjohtajan ja työnjohtajan hallinnassa. Tiedonkulku tapahtuu vapaamuotoisissa palavereissa, sillä virallisia viikkopalavereita ei pidetä, jossa tiedotettaisiin järjestelmällisesti asioista. Usein projektinjohtajille ja vaiheiden vastuuhenkilöille itsestään selvät ja tiedossa olevat asiat saattavat olla muille hankalasti saatavissa, ilman vastuuhenkilön ohjeita. Kohdeyritykseen on siis luotu edellä tehdyn kuvauksen mukaisia tuotannonohjauksen toimintatapoja projektinjohtajien toimesta. Näiden toimintatapojen perusteella ohjausta voidaan hallita, mutta toimintatavat eivät ole yhtenäistettyjä samaan tapaan, kuin yksittäiset valmistusvaiheet ovat ohjeistettuja. Teräsrakentamisen tuotantoprojektin vaiheista projektijohtaja kasaa piirustukset, toteutuseritelmät, tuotantosuunnitelmat, tilausvahvistukset, aineodistukset, lähetysluettelot, tarkastusraportit ja muut projektiasiakirjat kohdeyrityksen serverille luotuun projektikansioon, josta ne ovat löydettävissä. Yrityksen taloushallinnossa työntekijöiden käsin täyttämät tuntikirjaukset siirretään palkanlaskentaohjelmistoon. Tuntilappuun tehdystä kirjauksesta selviää päivätasolla työntekijän tekemä projekti ja tehdyt työtunnit. Tämän perusteella on mahdollista selvittää projektiin kuluneiden työtuntien aika, mutta vaiheittain ja kokoonpanoittain tapahtuvaa työtuntiseurantaa ei tehdä. Kaikki valmistuksen seurantaan liittyvä hallinta tehdään ohjeiden avulla manuaalisesti, mutta se täyttää standardin SFS-EN 1090-2+A1 vaatimukset, kun taas tuotannonohjauskäytännöt perustuvat pitkälti ohjeistamattomaan henkilöosaamiseen.

5.4.2 Tuotannon ohjattavuus

Ohjattavuudella kuvataan tuotantojärjestelmän kykyä vastata ohjausmuuttujiin ja siihen, kuinka muutokset erilaisissa poikkeamatilanteissa tulisi voida hoitaa ilman ongelmia. Kohdeyrityksen ohjausjärjestelmän vaiheista ei kuitenkaan kerätä säännöllisesti toteuma- ja ennustetietoa, jolloin ohjaustoiminnot tapahtuvat työnjohtajan henkilöosaamisen avulla. Kohdeyrityksen henkilöstö- ja tuotantomäärät ovat vielä sellaisella tasolla, että ohjauskäytännöt on mahdollista hoitaa yksittäisten henkilöiden toimesta. Yrityksen kasvaessa on vaarana, että tällainen tieto pysyy henkilötason hiljaisena tietona, jota on hankala siirtää eteenpäin, jos tiedon tukena ei ole konkreettista dataa. Kohdeyrityksen toimintajärjestelmän luominen on edesauttanut työntekijöiden itseohjautuvuutta, kun jokaisen työvaiheen suorittamiselle löytyy käytännön ohjeet, jotka ovat kehittyneet yrityksen normaaliksi toimintatavaksi suorittaa valmistusvaiheita. Koko tuotannon itseohjautuvuus kehittyisi varmasti, kun työvaiheiden ohjeistuksen rinnalle luotaisiin koko prosessin ohjauksen ohjeistus, josta kehittyisi yrityksen vakioitu toimintatapa.

Kohdeyrityksen tuotantojärjestelmän rakenne on melko yksinkertainen ja ohjattavuuteen vaikuttavat huomattavasti myös hankintakäytännöt, kuinka osat vastaanotetaan ja kuinka ne ohjataan eteenpäin prosessissa. Nyt osien jäljittäminen perustuu maalikynällä tehtyyn osamerkintään, josta selviää mihin projektiin osa kuuluu ja mikä on osan numero. Se mihin osan kuuluu seuraavaksi mennä, selviää vasta seuraavan vaiheen rakennepiirustusten

perusteella. Jos osatiedosta selviäisi osan seuraava sijoituspaikka, niin lajittelijan olisi mahdollista järjestää osat prosessin kokoonpanovaiheiden mukaiseen järjestykseen.

Kohdeyrityksen tuotantotilan layoutia on mahdollista mukauttaa projektiin sopivaksi ja rinnakkaisten projektien hoitamiseen sopivaksi. Valmistussoluja rajataan siirrettävien pressuseinien avulla, jollainen on nähtävissä kuvasta 37. Seiniä käytetään erityisesti hitsausheijastumien estämiseen, mutta myös tuotannon selkeyttämiseen.



Kuva 37. Siirrettävä pressuseinä hitsaussolussa.

Ongelmana on, että layoutin suunnittelu tapahtuu ennen projektin alkua vain karkealla tasolla. Puutteellinen suunnittelu aiheuttaa ongelmia tuotannon virtaukseen etenkin silloin, kun tilakapasiteetti on kovalla kuormituksella. Kuvasta 38 on nähtävissä kulkureitille siirrettyjä kokoonpanoja, joiden siirtäminen jälkeinpäin ohjeistettuun välivarastoon aiheuttaa turhaa työtä.



Kuva 38. Kulkureitille siirrettyjä kokoonpanoja.

6. TOIMINNAN KEHITYSMAHDOLLISUUDET

Kohdeyrityksen tuotantotoiminnassa on tapahtunut muutaman viimevuoden aikana huomattavaa kehitystä käyttöönotetun toimintajärjestelmän ansiosta. Toimintajärjestelmästä tehtaan sisäisen laadunvalvonnan osuus on sertifioitu hyväksytyin tarkastuslaitoksen toimesta standardin EN 1090-1+A1 mukaisesti. Tarkastuslaitos käy vuosittain kohdeyrityksessä tarkastamassa rakenteellisten hitsattujen teräskokoonpanojen ja tuotejärjestelmien valmistukseen ja suunnitteluun liittyvät asiat. Tarkastuskäynneillä etsitään toiminnasta mahdollisia poikkeamia, jotka eivät täytä standardissa esitettyjä vaatimuksia. Ensimmäisten vuosien aikana tehtyjen tarkastusten perusteella toiminta on saatu hyvin noudattamaan vaatimuksia. Standardi EN 1090-1+A1 on viitestandardeineen laaja kokonaisuus, jonka vuoksi tulevien tarkastuskäyntien tavoitteeksi on asetettu vaatimusten asteittainen kiristäminen. Asteittaisen kiristämisen tavoitteena on aina vain pienempien virheiden löytäminen, jolloin toiminta kehittyy jatkuvan parantamisen periaattein. Tarkastusten perimmäisenä ajatuksena on kuitenkin prosessin laaduntuottokyvyn varmistaminen ja parantaminen, eikä niinkään prosessin tehokkuuden parantaminen. Toimintajärjestelmän rakentaminen on kuitenkin tuonut valmistus- ja tarkastusvaiheisiin yhtenäisen tavan toimia, jolloin toiminta on parantuneen laaduntuottokyvyn myötä myös tehostunut.

Kohdeyrityksessä on toimintajärjestelmään liittyvien kehitysaskelien lisäksi pyritty kehittämään myös tuotantovaiheiden tehokkuutta erilaisten apuvälineiden avulla. Kehitystyön taustalla ovat olleet tuotantotyöntekijöiden näkemykset siitä, mikä auttaisi heidän työntekoa omassa työvaiheessa. Viimeisimmät kehityskohteet ovat olleet kokoonpanojen kasausvaiheeseen tulleet nosto- ja hitsauspuomit sekä siirreltävät kevytseinät. Nostopuomit vähentävät muidenkin tuotantotyöntekijöiden tarvitseman siltanosturin käyttötarvetta. Hitsauspuomit vähentävät hitsauskoneiden liikuttelutarvetta kasausvaiheessa. Siirreltävät kevytseinät estävät hitsausheijastumia ja rajaavat tuotantosoluja. Kehitysvaiheita ovat ohjanneet kuitenkin vain suulliset huomiot, eikä tulevista kehityskohteista ole laadittu tarkempia saatavilla olevia kehityskohdelistoja tai -suunnitelmia.

Tämän tutkimuksen ja tämän luvun tarkoituksena on kohdeyrityksen toiminnan tehostamiseen tähtäävien kehitysmahdollisuuksien löytäminen, kokoaminen ja esittäminen tuotannonohjauksen ja tuotannon ohjattavuuden kautta. Teoriaosuuden avulla on luotu toiminnan ideaalitalanne, jota verrataan kohdeyrityksessä tehtyyn toiminnan nykytilakartoitukseen. Luvussa 3.1.1 käsiteltyihin tuotannon tavoitteisiin kuuluivat laaduntuottokyvyn ohella muun muassa kustannustehokkuus ja palvelukyky eli kyky palvella nopeammin ja joustavammin. Tuotantoa parantaessa tulee huomioida sen tavoitteiden ristiriitaiset vaikutukset, jonka vuoksi pyritään kehittämään toimintamalleja, joiden avulla tavoitteet on mahdollista toteuttaa ihanteellisella tavalla. Kohdeyrityksen toimintaa ohjaavat asiakastilauksesta suunniteltavat teräskokoonpanot, joita voivat olla muun muassa rakennusten

runkorakenteet, säiliö- ja siltarakenteet sekä kuljettimien runkorakenteet. Yhtenäisestä valmistusstandardista huolimatta valmistusprosesseissa ja -vaiheissa on eroavuuksia, jotka aiheuttavat erityisiä vaatimuksia tuotantojärjestelmän ja kehitystoimien joustavuudelle. Parantamisehdotusten avulla pyritään löytämään konkreettisia keinoja siihen, miten nopeutetaan tuotantoprosessia ja samalla pienennetään turhia kustannuksia sekä miten vähennetään henkilöriippuvuutta ja ennakoidaan tuotantotilanteiden muutoksia.

Parantamisehdotukset eivät ole ehdottomia ja yksiselitteisiä, vaan ne ovat tutkijan tekemiä näkemyksiä teoriaan ja omaan kokemukseen pohjaten sekä kohdeyrityksen työntekijöiden kertomia kehityskohteita kohdeyrityksen toiminnasta. Parantamisehdotukset tulisi kohdeyrityksessä arvioida ja hyväksyä sekä listata kehityssuunnitelmanmuotoon. Kehityssuunnitelmaan hyväksytyt ehdotukset tulisi ottaa käyttöön vaihe kerrallaan, ilman, että kaikkea korjattaisiin kerralla.

6.1 Teräsrakentamisen prosessi

Kohdeyrityksen tilaus-toimitusprosessi oli kuvattu tarjous-, suunnittelu-, toteutus- ja asennusvaiheiden avulla. Kohdeyrityksen toimintastrategiana on toteuttaa asiakastilauksesta suunniteltavia teräsrakenneprojekteja, joissa kohdeyritys toimii koko prosessin läpiviejänä. Kohdeyrityksen rajallisesta henkilökapasiteetista johtuen resurssit tulisi pystyä kohdentamaan oikein, jotta projektien läpivienti olisi mahdollisimman sujuvaa. Kohdeyritys on kuvannut yhdeksi oman toiminnan kulmakiveksi rakennesuunnitteluosaston, mutta jatkuvan resurssipulan vuoksi suunnitelmia teetetään paljon myös alihankintana. Tutkijan mielestä rakennesuunnitteluprosessia tärkeämpi toiminnan kulmakivi on kokonaisprosessin hallinta tilauksesta asennukseen. Tällöin kohdeyrityksen toimesta ohjattaisiin muiden tekemää suunnitteluprosessia yhä enemmän, kuin, että sitä tehtäisiin itse, jos resurssipulaa ei saada ratkaistuksi.

Kohdeyrityksen toteutusvaiheen ydinosaamisen päätoimintoja ovat kasaus- ja hitsausvaihe. Päätoimintoihin liittyy myös oheistoimintoja, joista monet ostetaan alihankintapalveluna, jolloin hankintojen merkitys toteutusvaiheen kustannuksista on huomattava. Monczkan et al. (1998, s. 2) mukaan valmistavassa teollisuudessa hankittujen hyödykkeiden ja palveluiden keskimääräiset kustannukset olivat noin 55 % loppusummasta. Hankintatoimen hallintaan tulisi kiinnittää erityistä huomiota, kun halutaan parantaa suorituskykyä ja vähentää kustannuksia. Tämän vuoksi myös hankinnat tulisi kohdeyrityksessä eriyttää omaksi vaiheeksi tilaus-toimitusprosessiin, jotta sen vaikutus kokonaisuudessa korostuu. Oheistoimintoihin kuuluu myös itse tehtyjä vaiheita, jotka tulee nähdä päätoimintoja palvelevina vaiheina. Näistä vaiheista tulisi pyrkiä asiakkaalle lisäarvoa tuottamattomat vaiheet eli niin sanottu hukka minimoimaan.

Edellä kuvatusta johtuen, tarkemmiksi teräsrakentamisen prosessin kehityskohteiksi on valittu rakennesuunnittelu ja sen ohjaus, hankintatoimi ja sen seurannan parantaminen sekä valmistus ja sen toiminnan virtauttaminen, joita käsitellään seuraavissa alaluvuissa.

6.1.1 Rakennesuunnittelu

Kohdeyrityksen itse tekemä rakennesuunnittelu omassa konepajassa tehtävän valmistettavuuden kannalta on hyvällä mallilla. Rakennesuunnitteluosasto on valmistusosaston yhteydessä ja suunnittelijat tekevät tiivistä yhteistyötä tuotantotyöntekijöiden kanssa, jolloin tieto liikkuu molempiin suuntiin. Suurimmat ongelmat ovat oman suunnitteluosaston kapasiteetin kanssa, koska suunnittelijat hoitavat myös tuotannon ohjaamista. Tässä apuna toimisivat tuotannonohjauksen kokonaissuunnittelun mukaisten resurssijoustojen kehittäminen rakennesuunnittelun avuksi. Pääasiallisena resurssijoustopaikkana toimii tällä hetkellä toimintajärjestelmän alaisuuteen hyväksytty suunnittelutoimisto, mutta heidänkin kapasiteetti on rajallinen. Tämän vuoksi resurssijoustopaikkana tulisi kartoittaa toinenkin vastaava suunnittelutoimisto, jotta suunnittelukapasiteettia olisi mahdollista kasvattaa.

Kohdeyrityksen ja toimintajärjestelmän alaisuuteen hyväksytyt suunnittelutoimiston rakennesuunnitteluprosessit tehdään tällä hetkellä eri ohjelmistoilla, jolloin rakennemallien vaihdettavuus niin lujuuslaskenta- kuin mallintamisvaiheessakin on ollut käytännössä mahdotonta. Suunnittelutoimisto käyttää mallinnusvaiheessa Tekla Structures -ohjelmistoa, jota voidaan käyttää teräsrakenteen tietomallintamiseen. Tekla Structures on suomalaislähtöinen ohjelmisto ja se on tutkijan käsityksen mukaan yleisesti käytössä Suomessa toimivissa rakennesuunnittelutoimistoissa. Tekla Structures -ohjelmistoa olisi mahdollista käyttää myös kohdeyrityksen ja suunnittelutoimiston lujuuslaskentamallien väliseen siirtämiseen. (Tekla Structures 2017.) Tällöin esimerkiksi kohdeyrityksen tekemän tarjousvaiheen karkean rakennemallin siirtäminen suunnittelutoimiston käyttöön kävisi vaikeammaksi.

Yhtäläisen mallinnusohjelman avulla suunnitteluvaihetta voitaisiin myös jakaa ja vaihteistaa kätevämmiksi. Toinen suunnitteluosasto voisi tehdä esimerkiksi rakenteiden päämallinnusvaiheen, jota toinen jatkaisi liitosmallinnusten ja rakennepiirustusten tekemisellä. Tämä toisi suunnitteluresurssien käyttöön joustavuutta, kun koko suunnitteluprosessia ei tarvitsisi tehdä jommankumman yrityksen puolesta. Tämänkaltaisen toimintatapa helpottaisi myös uuden suunnittelutoimiston mukaan ottamista, kun kohdeyritys voisi opettaa heille omia suunnittelun ja valmistuksen toimintatapoja suoraan rakennemallien kautta. Tämä edellyttää, että myös uudella suunnittelutoimistolla olisi Tekla Structures -ohjelmisto käytössä. Tällöin suunnittelun ja valmistuksen välinen kehittäminen ja yhteistyö jakautuisi kohdeyrityksen ja suunnittelutoimiston välillä tapahtuvaan yhteistoimintaan, tietomallin ja piirustusten siirtämiseen yritysten välillä, tietomallin tarkastamiseen sekä tietomallin tuomiseen osaksi valmistuksen ohjausta.

Edellä esitetystä johdetaan seuraavanlainen rakennesuunnittelutoiminnan kehittämisprosessi:

1. Tekla Structures -ohjelmiston hankinta.
 - Ensimmäiseksi tulisi hankkia koekäyttölisenssi, jotta kohdeyrityksen suunnittelijat voivat tutustua ohjelmistoon ennen sen hankintaa.
 - Alihankintasuunnittelutoimiston hyödyntäminen ohjelmiston opettelussa.
 - Tulee selvittää ostolisenssin ja mahdollisen vuokralisenssin käyttöehdot.
 - Työasemalisenssin sijasta käyttöön tulisi ottaa aluksi yksi verkkolisenssi, jotta ohjelman käyttö kohdeyrityksen eri käyttäjien välillä olisi mahdollista.

2. Kohdeyrityksen ja suunnittelutoimiston välisten joustavien suunnittelukäytäntöjen kehittäminen.
 - Kun Tekla Structures -ohjelmisto on saatu kohdeyrityksessä käyttöön, niin tulee kehittää yritysten välisiä valmiiden ja keskeneräisten mallien tiedonsiirtokäytäntöjä.
 - i. Miten siirretään alustava lujuuslaskentamalli lopullisen lujuuslaskennan avuksi?
 - ii. Miten siirretään valmis lujuuslaskentamalli rakennesuunnittelun avuksi?
 - iii. Rakennesuunnittelumallien siirtäminen yritysten välillä?
 - Tulee selvittää, millaisissa keskeneräisissä mallinnusvaiheissa mallin siirtäminen on järkevää? Esim.
 - i. Perustukset mallinnettu.
 - ii. Palkkimalli tehty.
 - iii. Liitosmallinnus tehty.
 - iv. Päärakennemalli valmis
 - v. Täydentävät rakenteet mallinnettu
 - vi. Piirustukset ja luettelot tehty.
 - vii. Asentamisen aikaiset vaatimukset huomioitu
 - viii. Aikataulusuunnitelmat tehty.

3. Tietomallin tarkastuskäytäntöjen ohjeistaminen.
 - Suunnittelutoimiston kanssa tulee pitää ennen suunnittelutyön aloittamista aloituskokous, jossa määritetään käytettävä rakennemalli ja valmistuksessa huomioitavat asiat kohdeyrityksen suunnitteluselosteen mukaisesti.
 - Rakennemallin suunnittelun aikainen kommentointi helpottaa suunnittelijaa tekemään kerralla valmistuksen kannalta sopivaa mallia. Kommentoinnin apuna voidaan käyttää luvussa 3.2.1 Tannerin (1991, s. 51–57) mukaan laadittua valmistettavuuden tarkastuslistaa.

- Luvussa 3.2.2 oli esitetty Aramin & Eastman (2013, ss. 26–27) mukainen lista tiedoista tarkastuksen avuksi, jotka valmistuksen tiedoksi siirrettävän tietomallin tulee sisältää.
4. Tietomallin tuominen osaksi valmistustoimintaa.
 - Tietomallista voidaan siirtää rakennetietoja alihankinnasta ostettavien CNC-palveluiden avuksi.
 - Tietomalliin voidaan siirtää valmistuksesta tulleita tarkastustietoja.
 - Luvussa 6.2.3 käsitellään tarkemmin tuotannonohjausta tietomallin avulla, jossa käsitellään lisää tietomallin hyödyntämisestä valmistustoiminnassa.
 5. Toisen alihankintasuunnittelutoimiston kartoittaminen.
 - Toinen alihankintasuunnittelutoimisto voidaan kartoittaa myös ennen omaa Tekla Structures -ohjelmiston hankintaa. Valintaedellytyksenä tulee olla edellä esitettyjen asioiden siirtäminen myös toisen alihankintasuunnittelutoimiston välillä.
 - Olisi tärkeää, että järjestelmät saataisiin kohdeyrityksen ja käytettävien alihankintasuunnittelutoimistojen välillä yhdistettyä siten, että yhteistoimintaa olisi mahdollista tehdä mahdollisimman joustavalla tasolla.
 6. Valmistusosaamisen kehittämien ja tiedon siirtämien suunnittelijoille.
 - Joustavamman suunnitteluprosessin ja mekaanisten suunnittelutoimintojen siirtäminen vapauttaa kohdeyrityksen suunnittelijoille aikaa kehittää kokonaisprosessin ja kehittyneiden valmistuskäytäntöjen hyödyntämisen osaamista.
 - Osaamisen siirtäminen alihankintatoimistojen suunnittelijoiden tiedoksi ja koko suunnitteluprosessiin auttaa kohdeyrityksen valmistuksen kokonaisprosessin kehittämistä.

6.1.2 Hankintatoimi

Edellisessä luvussa hankintatoimea sivuttiin suunnittelupalveluiden hankkimisen kannalta, mutta tässä luvussa keskitytään suunnitelmien pohjalta tehtävään materiaalien ja osavalmistuksen hankinnan kehittämiseen. Materiaaleja ja osavalmisteita toimittavien tukkureiden ja teräspalvelukeskusten toimintaan kohdeyrityksen on hankala vaikuttaa, sillä kohdeyrityksen vuosittaiset ostomäärät ovat vielä sen verran alhaisella tasolla. Teräspalvelukeskusten osavalmistuksen hyödyntäminen on koettu kohdeyrityksessä kustannuksellisesti hyväksi hankintatavaksi varsinkin isompien osamäärien osalta, kun toimittaja toimii oman sertifioidun laatujärjestelmän alaisuudessa ja vastaa osavalmistuksen prosessin laadusta. Yhdeksi teräspalvelukeskusten ongelmakohtaksi on noussut tilausmäärien kasvusta johtuva osien toimitusaikataulujen venyminen alle kahdesta viikosta useiden viikkojen mittaiseksi, jotka eivät aina sovellu kohdeyrityksen tuotantoprosessin

ja lopputuotteen aikatauluihin. Tämän vuoksi kohdeyrityksessä on koettu tarpeelliseksi ottaa levyjen polttoleikkausta suorittavia yrityksiä oman toimintajärjestelmän alaisuuteen sekä suorittaa palkkien sahausta myös itse. Yritys ei ole katsonut tällä hetkellä omaan levytyökeskukseen investointia kannattavaksi, sillä koneen käyttöaste jäisi liian alhaiseksi, jolloin koneen takaisinmaksuaika venyy liian pitkäksi. Tämän vuoksi mahdollisia levyleikkaus- ja sahauspalveluiden toimittajia tulisi hankkia ja hyväksyä enemmän virallisiksi toimittajiksi, jolloin kapasiteettijoustoa olisi tämänhetkistä enemmän tarjolla.

Kohdeyrityksessä ei ollut tutkimuksen suorittamisen aikana henkilöresursseista johtuen suurta tahtotilaa lähteä kehittämään kohdeyrityksen toimintajärjestelmän alla toimivien alihankkijoiden toimintaa. Heidät haluttiin nähdä teräspalvelukeskusten kaltaisina projektitoimittajina ennemmin kuin tiiviinä yhteistyökumppaneina. Tämän vuoksi kehityskohteeksi valittiin tämänhetkisen projektikohtaisen hankintaprosessin tehostaminen hankintakaavion avulla ja hankintojen seurannan parantaminen hankinnan aputaulukon avulla.

Hankintaprosessin avuksi tulee laatia seuraavien lähtökohtien mukainen hankintakaavio ja hankintojen aputaulukko, jota ohjataan suunnittelusta saatavien määräluetteloiden avulla. Laadittava aputaulukko toimii samalla myös mahdollisen hankintoja ohjaavan valmisohjelman määrittelyn apuna, kun teräsrakentamisen hankintaprosessin kehitystarpeet on ennalta selvitetty. Yksityiskohtaisia hankintakaavioita voidaan laatia erityyppisille rakenteille, mutta seuraavaksi esitetään yleinen tapaus hankintakaavioon määriteltävistä toiminnoista sekä hankinnan aputaulukon luomisen perusteet:

A. Hankintakaavio. Määritellään tuotteet ja toimittajat.

1. Kaavioon määritellään yleisimmät kohdeyrityksen teräsrakenneprosessiin projektikohtaisesti hankittavat käytettävät tuotteet, osat ja kokoonpanot.
 - a. Työmaalla tarvittavat:
 - i. Ankkurointipultit.
 - ii. Kiinnityslevyt.
 - iii. Ruuvikokoonpanot / kiinnitystarvikkeet.
 - iv. Valmiit liittopalkit.
 - b. Kohdeyrityksessä tarvittavat käytettävät tuotteet.
 - i. Putket, palkit, profiilit yms.
 - ii. Levyt.
 - c. Kohdeyrityksessä tarvittavat osavalmisteet.
 - i. Putket, palkit, profiilit yms.
 1. Sahatut.
 2. Putkilaser.
 3. Taivutetut.
 - ii. Levyt.
 1. Leikkaus.

- 2. Leikkaus + taivutus.
 - iii. Hitsaamalla valmistetut erikoispalkit.
2. Määritellään jokaiselle hankittavalle osalle listaus mahdollisista toimittajista. Annetaan jokaiselle toimittajalle yksilöity tunnus. Esimerkiksi kohdasta 1:
- b. Kohdeyrityksessä tarvittavat käytettävät tuotteet.
 - i. Putket, palkit, profiilit yms.
 - 1. XX1 Hyväksytty toimittaja 1.
 - 2. XX2 Hyväksytty toimittaja 2.
 - 3. XX3 Hyväksytty toimittaja 3.
 - 4. ...
 - ii. Levyt.
 - 1. XX1 Hyväksytty toimittaja 1.
 - 2. XX2 Hyväksytty toimittaja 2.
 - 3. XX4 Hyväksytty toimittaja 4.
 - 4. ...

B. Hankinnan aputaulukon luominen.

1. Luodaan projektin alkaessa kohdeyrityksen serverille projektin kansioon ”XX-XXXX Projekti X” alakansio ”Hankinnat”.
2. Tuodaan suunnittelusta saatavat luettelot hankinnat-kansioon osaksi tilausten hallintaa.
3. Selvitetään osavalmistuspalveluiden toimituskyky.
4. Tehdään päätös osavalmistustavasta (itse/alihankintana) eli toisin sanoen hankintakaavion mukaisesta hankintatavasta.
5. Tehdään taulukkolaskentapohjaisesta osaluettelosta projektille ”XX-XXXX hankinnan aputaulukko” ja tallennetaan se hankinnat-kansioon. Lisätään hankinnan aputaulukkoon sarakkeet ”Valmistustapa, Tarjouspyyntö, Tilaus, Arvioitu toimituspäivä, Vastaanotettu”.
6. Ryhmitellään osat valmistustavan mukaiseen järjestykseen.
7. Täydennetään hankinnan aputaulukkoa suunnittelun edetessä ja luetteloiden päivittyessä sekä pidetään kaikki osat valmistustapa-ryhmittäin koottuna taulukossa.
8. Laaditaan itse valmistettavia osia varten materiaaliluettelo, jota käytetään tarjouskyselyissä. Tallennetaan luettelo hankinnat-kansioon.
9. Hankintojen edetessä työvaiheen suorittaja merkitsee hankintojen aputaulukkoon vaiheen suoritetuksi. Tarjouspyyntö ja tilaus -sarakkeisiin merkitään toimittajan yksilöity tunnus ja suorituspäivämäärä.

Toimittajilta saatavat tarjoukset, tilausvahvistukset, aineistodistukset ja lähetteet tallennetaan edelleen vanhojen toimintaohjeiden mukaisesti projektikansioon, mutta näille tehdään omat alakansiot hankinnat-kansion alle. Uusien ohjeiden tarkoituksena on koota

projektin hankintatiedot yhtenäiseen taulukkoon, jolloin hankintavaiheiden jakaminen ja seuranta helpottuvat, kun henkilöriippuvuus pienenee.

6.1.3 Valmistus

Kohdeyrityksen valmistustoiminnan kehityskohteiden tarkoitus ei ole olla valmistustoimintaa mullistavia muutoksia, vaan tämän hetkisen prosessin parempaan virtauttamiseen tähtäviä tekijöitä ja toimintatapojen muutoksia. Suurin osa valmistuksen virtauttamisen kehitysehdotuksista on tullut kohdeyrityksen tuotantotyöntekijöiltä havainnointivaiheessa, joita tutkija on suhteuttanut tutkimusprosessin kokonaisuuteen ja Lean-filosofian mukaiseen arvovirran tarkasteluun, jonka tarkoituksena on karsia kaikkia mahdollisia tapahtumia, jotka eivät tuota lopputuotteelle lisäarvoa (Stevenson 2009, ss. 699–706). Kehityskohteiksi valittiin kolme toiminnan kohdetta, joita olivat valmistusprosessin selkeyttäminen, tavaroiden siirtäminen prosessissa ja yleisten työkalupisteiden vakioiminen.

Teräsrakentamisen prosessikuvauksessa kohdeyrityksen toteutusvaihe alkoi tavaroiden vastaanottamisella. Tutkimuksen suorittamisen hetkellä pitkät tavarat varastoitiin vastaanottamisen jälkeen ulkona, projektille osoitetussa varastopaikassa. Käynnissä oli kaksi suurta projektia, joissa oli samankaltaisia materiaaleja varastoituna. Jaotteluna toimi se, että materiaalit olivat varastoituna eripuolilla pihan kulkuväylää. Varastopaikkoja ei ollut kuitenkaan merkitty selkeästi projekteittain, jolloin projektitiedot selvisivät materiaaleissa olevista toimittajan tunnistelapuista. Tavaroiden vastaanotosta vastannut henkilö oli kyllä selvillä tavaroiden sijainnista projekteittain, mutta ulkopuolisen henkilön oli hankala hahmottaa varastointijärjestelyä, ilman tarkempaa asiaan perehtymistä. Myöskään kappaletavaralle ei ole osoitettu selkeää varastopaikkaa, jolloin kuljetusliikkeiden kuljettajat toimittivat tavarat satunnaisesti tuotantohallien välillä. Sama käytäntö jatkui myös tuotantohallin sisällä, kun tilakapasiteetti oli suurella kuormituksella. Puutteellinen ennakkosuunnittelu aiheutti epäjärjestystä ja tavaroiden turhaa siirtelyä, kun varastopaikkoja ei ollut täsmällisesti määritelty. Käytännöt olivat prosessin yleisen hahmottamisen ja siisteyden kannalta hankalia ja heikensivät yleistä viihtyvyyttä. Tuotantotilojen siisteys oli tuotantotyöntekijöiden vastuulla, kun työntekijät vastasivat omasta työpisteestään. Siisteyteen tähtäävät käytännöt vaativat toiminnassa kaikkien osallistumista, jotta ne saadaan toimimaan. Puutteena olivat näiden vaiheiden selkeä ohjeistaminen ja vakioimattomat käytännöt, valmistusvaiheiden tapaan.

Kehitysehdotuksena valmistusprosessin selkeyttämiseksi ehdotetaan seuraavia menetteilyitä:

A. Karkea layout-pohjainen aluesuunnittelu.

1. Teetetään magneettinen valkotaulu, jonka pohjalle saadaan kohdeyrityksen mittakaavassa oleva aluelayout.
2. Aluelayout-taulu sijoitetaan kohdeyrityksen aulaan.

3. Aluelayout-tauluun tehdään aluesuunnitelmaa, johon merkitään eri värisillä pyyhittävillä tusseilla projekteittain karkeasti varatut varastointi- ja tuotantopaikat.
4. Aluesuunnitelmaa päivitetään projektien edetessä toteutuneen mukaan.

B. Projektikohtaisten ulkoalueiden merkitseminen.

1. Valmistetaan muokattavat projektikyltit, joilla projektien ulkoaluetilat merkitään. Kyltti voi olla metallilevy valkoisella taustalla, johon voidaan vaihtaa mustat numerot, projektinumeron mukaan.
2. Käytetään tarvittaessa siirrettäviä rajaustolppia ja niiden välille vedettäviä rajausnauhoja alueiden selkeyttämiseen.
3. Päivitetään toteutunutta aluesuunnitelmaan.

C. Projektikohtaisten valmistuspisteiden rajaus tuotantohallissa.

1. Käytetään liikuteltavien pressuseinien lisäksi alueiden rajaamiseen siirrettäviä rajaustolppia ja niiden välille vedettäviä rajausnauhoja.
2. Huomioidaan tuotanto- ja varastopisteiden rajauksen lisäksi myös tuotantohallissa käytettävät kulkureitit.
3. Päivitetään toteutunutta aluesuunnitelmaan.

D. Kappaletavaran vastaanottopisteen määrittäminen kohdeyrityksen alueella.

1. Rajataan suuremmasta tuotantohallista selkeä tila kappaletavaran vastaanottamiselle.
2. Osoitetaan paikka selkein merkintäkyltein.
3. Siirretään tavarat keskitetystä varastopaikasta eteenpäin.

D. Tuotantotilojen siisteys.

1. Ohjeistetaan päivittäiset, viikoittaiset ja projektien väliset siivouskäytännöt.
2. Päivittäin, työpäivän lopussa suoritetaan 10 minuutin karkeasiivous, jossa siivotaan työkalut omiin työkalupisteisiin ja metallijätteet keräyspisteisiin.
3. Viikoittain suoritetaan 20–30 minuutin työpisteen perusteellinen siivous, kun työpisteen lattiat harjataan ja työvälineet puhdistetaan.
4. Projektien päättyttyä kerätään työvälineet, pressuseinät ja rajaustolpat kasaan ja suoritetaan työpisteen kokonaissiivous.

Toisena selkeänä kehityskohteenä havaittiin tavaran siirtämisen tehostaminen prosessissa, kun tavaraa siirretään ulkoa sisälle halliin, hallin sisällä ja hallista ulos. Tavaran siirtämiseen ja siirtojen odottamiseen kuluva aika on pelkkää hukkaa prosessin kannalta. Tavaroiden siirtäminen ulkona tapahtuu trukkien avulla. Ulkona pitkien tavaroiden käsittelyyn on riittävästi tilaa ja trukkien nostokapasiteetti on riittävä päivittäisten rutiinien suorittamiseen. Seuraavaksi on kuvattu tavaroiden siirtämisessä havaittuja ongelmia.

Pitkien tavaroiden, ulkoa sisälle, siirtämisen ongelmana on, kun ovien leveys ei riitä ja tavarat pitää tuoda pitkittäin sisälle halliin. Siirtämisen apuna on käytetty vanhoja akselleita tai valmistettuja siirtokärryjä, mutta ne ovat jääneet tämän päivän tuotantokapasiteettiin nähden liian pieniksi, jolloin siirtovälineiden kanssa toimiminen on hidasta. Pienten tavaroiden sisään siirtämisen ongelmana ovat manuaaliset paljeovet, jotka ovat hitaita käsitellä. Sisällä pitkien tavaroiden siirtäminen tapahtuu pääasiassa kahden siltanosturin avulla työpisteiden välillä, jolloin samaa nosturia voi tarvita useampi henkilö samaan aikaan. Valmiit tuotteet lastataan usein sisällä varastopisteestä suoraan kuorma-auton lavalle tai mahdollisesti siirretään ulos, akselien avulla, odottamaan lastausta.

Kehitysehdotuksena tavaroiden siirtämisen prosessiin ehdotetaan seuraavia menettelyitä:

1. Uusien siirtovaunujen suunnittelu ja valmistaminen pitkien tavaroiden siirtämiseen.
2. Pikkutrukin mentävän automaattisen nosto-oven asentaminen hallin kylkeen, jolloin suuren oven avaamiseen ja sulkemiseen käytettävä aika säästetään pienten tavaroiden sisään siirtämisessä. Talvella säästöä saadaan myös lämmön karkaimisen estämisessä, kun pieniä tavaroita varten ei tarvitse avata suurta ovea.
3. Valmiiden tavaroiden lastaus hallin sisällä välivaraston sijasta suoraan, erikseen valmistettavalle, siirtovaunulle, jonka avulla tavarat siirretään ulos odottamaan trukilla tehtävää siirtolastausta. Tällöin siltanosturin aiheuttamaa ajoittaista tuotannon pullonkaulaa saadaan purettua vähentämällä siitä yksi työvaihe.

Kolmanneksi valmistustoimintaan vaikuttavaksi kehityskohteeksi havaittiin yleisten työkalupisteiden vakioiminen ja työkalujen palautuskäytännöt. Yleisiä työkalupisteitä oli molemmissa tuotantohalleissa yhdet kummassakin. Työkalupisteistä löytyivät yleistyökaluja, joita työntekijät eivät tarvitse päivittäisessä henkilökohtaisessa käytössä. Työkalupisteet olivat sekaisin, jolloin, työntekijöiden kommenttien mukaan, työkalujen etsimiseen saattoi ajoittain kulua aikaa useita kymmeniä minutteja. Myös käytännöt työkalujen palautuksesta vaihtelivat työntekijöiden välillä, sillä työkaluja ajoittain ”unohtui” omaan työkalupakkiin.

Kehitysehdotuksena yleisten työkalupisteiden vakioimisessa ehdotetaan seuraavia menettelyitä:

1. Työkalupisteet rakennetaan siten, että tietynlaisella työkalulla on yksi selkeä paikka työkalupisteessä.
2. Työkalupisteet kuvataan, jolloin kuvasta voidaan varmistaa järjestys.
3. Työkalujen lainauskäytäntöön tehdään työntekijäkohtaiset ”lainauslaput”, jollainen jätetään lainatun työkalun tilalle. Esim. laminoitu nimikyltti.

Edellisten valmistukseen kohdistettujen kehitystoimien tarkoituksena on sujuvoittaa valmistustoimintaa ja kehittää tuotantojärjestelmää sen ohjattavuuden parantamisella, jolloin myös tuotannon kokonaisohjauksen järjestelmä kehittyy.

6.2 Tuotannonohjaus

Nykytilakartoituksen avulla kohdeyrityksen ohjeistamattomasta tuotannonohjaustoiminnasta saatiin kuvattua prosessimainen kokonaisuus, jonka avulla tuotantoa teräsrakenneprojekteissa on ohjattu. Tämän luvun tarkoituksena on kehittää tätä prosessimaista kokonaisuutta kohti ohjeistettua toimintatapaa, josta saataisiin kohdeyritykseen normaali tuotannonohjauskäytäntö. Lopullisen ohjeistuksen laatiminen ja käytännön noudattaminen riippuvat kohdeyrityksen omasta halukkuudesta ja panostuksesta kehittää toimintaa. Nämä käytännöt eivät ole määräysten ohjaamia, vaan niiden tarkoitus on muuttua lyhyen aikavälin kustannuksista tulevaisuuden kustannussäästöiksi. Prosessimaisen kokonaisuuden kehittämisen lisäksi tässä luvussa huomioidaan nykyaikaisten tuotantolaitosten tuotannonohjausperiaatteiden ja -menetelmien mukaisia toimintatapoja, joita on mahdollista soveltaa myös kohdeyrityksen toiminnassa.

6.2.1 Tuotannonohjausprosessi

Prosessikuvauksen tavoitteena on se, että kohdeyrityksessä olevaa tuotannonohjaustietoa saataisiin koottua, vakioiduin käytännöin, yhteen paikkaan niin kokonaisuuden kuin yksittäisten projektienkin kannalta. Tuotanto- ja työntekijämäärien kasvaessa on tärkeää, että tarvittava tieto on oikeiden henkilöiden saatavilla kootusti, jotta sen selvittämiseen ei käytetä turhaa aikaa. Tietojen päivittäminen koottuun järjestelmään voi tuntua alussa työn suorittajasta työläältä, koska työvaiheet tuntuvat lisääntyvän aikaisempaan toimintatapaan nähden. Työvaiheet eivät oikeastaan lisäännä, vaan ne siirtyvät turhan selvitystyön osalta tuotannonohjauksen kokonaisprosessin alkupäähän, etukäteissuunnittelun ja -tiedottamisen muotoon. Kehitystyön alussa prosessia ohjaavat kohdeyrityksen serverille sähköiseen arkistoon tehtävät taulukkolaskentapohjaiset koontitaulukot. Tehtävät kehitysehdotukset toimivat samalla mahdollisen tuotannonohjauksen tietojärjestelmän vaatimusten määritelmänä. On muistettava, että tuotannonohjauksen toimintatavat muuttuvat tuotantojärjestelmän kehittyessä, jolloin myös prosessikuvauksen mukaista ohjeistusta on päivitettävä. Ohjeistukseen on tärkeää merkitä se, kuka työvaiheen tekee, mitä työvaiheessa tehdään, mistä työvaihe käynnistyy ja mikä on työvaiheen lopputulos.

Kokonaissuunnittelun tarkoituksena on asettaa tavoitteet ja suunnitella toimenpiteet keskipitkällä aikavälillä. Kokonaissuunnittelun avuksi suositellaan yksinkertaista koontitaulukkoa, johon kaikki tarjouskyselyt kootaan. Taulukkoon eritellään tarjouslaskennasta saatavat kohteen perustiedot. Kohteiden koottujen perustietojen avulla mahdollista työmäärää ja työmäärän suorittamiseen vaadittavaa kapasiteettia voidaan hahmottaa ja arvioida paremmin tarjouskohteiden kokoluokan mukaan. Ennen varsinaista tilausta tapahtuva suunnittelu on karkeaa, mutta yrityksen käytössä olevaa kapasiteettia tulisi suhteuttaa erilaisiin ennakkosuunnitelmiin ja käytössä oleviin resurssijoustoihin sekä sopeuttamistoimiin. Kokonaissuunnittelun aputaulukossa projekteja hallitaan sen statuksen mukaan, joita ovat menneet tarjouskohteet, tarjotut kohteet, tilatut kohteet, valmistuksessa

olevat kohteet ja valmistuneet kohteet. Kokonaissuunnitelmaa päivitetään projektin muuttuneen statuksen mukaan ja yrityksen kokonaissuunnitelmaa tulisi arvioida kuukausittaisessa johdon palaverissa.

Karkeasuunnittelu on kokonaissuunnitelmassa olevien tilattujen kohteiden kokonaisuika- taulun, resurssien käytön ja toimituskyvyn päivittämistä ennen varsinaista rakennemallia tai rakennepiirustuksia. Karkeasuunnittelu käynnistyy tilauksen saapuessa ja sen lähtö- kohtana on kapasiteetin mahdollisimman korkea kuormittaminen. Karkeasuunnittelu on viikko- ja kuukausitasolla tapahtuvaa suunnittelua ja sen avuksi laaditaan viikkojana-ai- kataulu sekä projektikohtainen kapasiteettisuunnitelma. Karkeasuunnitelman mukaiseen viikkojana-aikatauluun merkitään tilausten toimituspäivät ja sen mukaiset alustavat val- mistusaikatauluarviot. Suurempien projektien osalta karkeasuunnitteluun on tärkeää huo- mioida myös toimittajien ja alihankkijoiden toimitusresurssit alustavalla tasolla.

Hienosuunnittelu on päivittäisellä- ja viikoittaisella tasolla tapahtuvaa suunnittelua ja se perustuu tilattujen kohteiden tarkkaan rakennemalliin ja piirustuksiin sekä sen hetkiseen tuotantotilanteeseen. Hienosuunnitteluvaiheeseen kuuluvat aikataulusuunnitelman päi- vittäminen sekä tuotantosuunnitelman ja luvussa 6.1.2 ohjeistetun hankinnan aputaulu- kon tekeminen. Tuotantosuunnitelman tekemisessä tulisi käyttää varaudu-toteuta menet- telyn kaltaista ajatustapaa. Tässä tavassa tuotannon vaiheet on aikataulutettu etukäteen tehdyn suunnittelun pohjalta, mutta suunniteltuja vaiheita ei vapauteta tai materiaaleja ei tilata tuotantoon, jos edelliset vaiheet eivät ole saavuttaneet tiettyä valmiusastetta. Hieno- suunnitteluvaiheessa, karkeasuunnitelman mukaista viikkojana-aikataulua tulisi päivittää kahden viikon osalta päivätasolla ja tästä eteenpäin viikkotasolla. Kokonaisuika- taulun päivittämistä tehtäisiin viikoittain.

Valmistuksen ohjaus on tapahtunut rakennepiirustusten ja luetteloiden avulla pääsääntöi- sesti työntöohjaamalla, jota suositeltiin muutettavan hienosuunnitteluvaiheessa enemmän varaudu-toteuta tyyppiseksi ratkaisuksi. Ohjauksen avuksi suositellaan, että jokaisesta projektista laaditaan vakiodut, osien ja kokoonpanojen valmistuksen seurannan ohjaus- taulukot. Tällä hetkellä taulukot on laadittu vain satunnaisista projekteista ja ne eivät ole olleet vakio- muotoisia. Taulukot sijoitetaan työpisteen välittömään läheisyyteen, johon työntekijä merkitsee tarvittavat merkinnät työvaiheen valmistuttua. Työntekijöiltä on tul- lut toive myös tuotannonohjaustaulusta. Kootun tuotannonohjaustaulun avulla tapahtu- valla visuaalisella ohjauksella olisi mahdollista kehittää tiedonkulun ja viestinnän puut- teita, kun yhdestä taulusta olisi nähtävissä kaikkien käynnissä olevien projektien koko- naisuus ja vaiheet. Tutkimuksen suorittamisen hetkellä valvonta ja raportointikäytännöt oli ohjeistettu valmistusvaiheiden ohjeissa ja ne suoritettiin standardin SFS-EN 1090- 2+A1 vaatimusten mukaisesti. Tunnistaminen perustui maalikynällä, hitsaamalla ja stans- saamalla tehtyihin merkintöihin, jotka tarkastusvaiheessa siirrettiin piirustuksiin. Tuotan- non työvaiheiden jälkilaskentaa oli mahdollista tehdä projektikohtaisina kokonaisuuk-

sina, mutta se vaati työnjohdolta käsin syötettyjen tuntikirjausten siirtämistä taulukkolaskentaohjelmaan. Näiden käytäntöjen avulla tuotannon vaihekohtaisten toteumatietojen kerääminen oli työlästä, koska kaikki tehtiin käsityönä.

On kuitenkin huomattava, että kehitettävästä prosessista ei saa tulla toimintaan nähden liian raskasta. On pohdittava, että mitkä tiedot ovat todellisuudessa oleellisia, kun kirjaukset tehdään käsityönä. Nykyaikaisen tuotannon tietojärjestelmän avulla olisikin mahdollista helpottaa tuotannonohjausta ja raportointikäytäntöjä.

6.2.2 Tuotannonohjausperiaatteita

Tässä luvussa esitetään tuotannonohjauksen kehittämiseksi visuaalisen ohjauksen ja varaudu-toteuta ohjauksen periaatteet, jotka nousivat tutkimuksen aikana erityisesti esille.

Tuotannon työntekijöille tehtyjen kyselyiden mukaan kehitystoivomukseksi nousi koottu tuotannonohjaustaulu, josta käynnissä olevien projektien tiedot ja vaiheet olisi nähtävissä. Näin tapahtuva visuaalinen ohjaus parantaisi tiedonkulun ja viestinnän puutteita. Graafinen taulu on yksinkertainen tapa visualisoida tuotantoa ja visuaalisten hallintatyökalujen käyttö mahdollistaa tietojen käsittelyn kapasiteetin kasvattamisen.

Luvussa 6.1.3 esitettiin visuaalisesti tehtävää aluelayout-suunnittelua, joka tulisi olemaan osa tuotannon visualisoinnin kokonaisuutta. Tuotannonohjauksen tauluun tulostettaisiin viikoittainen hienosuunnittelusta saatava kokonaisaikataulu, jossa on aikataulutettu tilatut ja valmistuksessa olevat projektit. Aikataulun rinnalle tulostetaan lisäksi projektin yleiskuva, jossa on eroteltuna projektin päätiedot, teräsmäärä ja toteutusluokka. Suunnittelun edetessä tuotannonohjaustauluun liitetään myös projektin tarkemmat massa- sekä valmistusluettelot. Näiden tietojen perusteella aluelayout-suunnitelmaa päivitetäisiin tarpeen mukaan. Edellä esitetty edistäisi toiminnan läpinäkyvyyttä ja auttaisi työnjohdon ohella tuotantotyöntekijöitä hahmottamaan sen hetkistä ja tulevaa kokonaisuutta johon itse kuuluvat.

Työnjohdolle tehtyjen haastatteluiden perusteella tuotannon virtauttamisen parantaminen oli ensisijainen kehitysedotus. Virtauttamisen parantamiseen tähtääviä konkreettisia valmistustoiminnan kehityskeinoja esitettiin luvussa 6.1.3. Tutkijan mielestä virtauttamista helpottaisi myös varaudu-toteuta periaatteen mukainen ohjaus, jossa kaikki teräsmäärältään yli 30 000 kg projektit jaettaisiin säännöllisesti materiaalityökalujen ja valmistuksen kannalta selkeisiin noin 20 000 kg lohkoihin. Ennestään projekteja ei ole näin selkeällä tasolla jaettu, vaan materiaaleja on tilattu projektin kokonaisuusluetteloiden perusteella. Uudessa tavassa tavaratoimitukset perustuisivat suunnittelussa tehtyyn asennusjärjestyksen mukaiseen ennakkojaotteluun. Tarjouskyselyissä ainoastaan ensimmäisen tavarakerän toimituspäivä olisi lyöty lukkoon ja muista toimituseristä tehtäisiin esisopimukset, jotka vapautettaisiin toimitettavaksi projektin toteuman mukaan. Varaudu-toteuta tavassa

toteutuu Lean-filosofian mukainen keskeneräisen tuotannon seuranta ja samalla varastotasojen pieneneminen. Uudella tavalla on tarkoitus saada toimintaan myös kustannustehokkuutta, kun toimintaan sitoutuneen pääoman määrä pienenee pienentyneiden eräkojen avulla.

6.2.3 Tuotannonohjaus tietomallin avulla

Tietomalliin on mahdollista syöttää tietoa muun muassa käytettävistä materiaaleista, valmistuksen vaatimuksista, pintakäsittelystä, toimitusjärjestyksestä ja -aikataulusta. Näiden tietojen avulla tapahtuva hallittu päätöksenteko ja projektin osapuolten välinen tiedonkulun edistäminen ovat käytännöllisiä työkaluja tuotannonohjauksen kehittämiseksi. Valmistuksen kokonaisuuden hallinnan ja ohjauksen avuksi tietomalli tarjoaa täsmälliset materiaalien, valmisosien ja valmistettavien kokoonpanojen määräluettelot. Valmistuksen jälkiseurannan avuksi tietomalliin on mahdollista syöttää myös tuotannon toteumatietoja.

Edellä kuvaillut tiedot on mahdollista liittää myös automaattisesti toimimaan yrityksen hankinnan, kirjanpidon, varastoinnin ja tuotannonohjauksen kanssa, kun tietomalliohjelmisto yhdistetään toimimaan yhdessä yrityksen toiminnanohjausjärjestelmän kanssa. Tällaisen järjestelmän rakentamisessa kaikkein tärkeintä on eri osien yhteensovittaminen ja tiedon siirtyminen järjestelmän eri osien välillä, jotta järjestelmästä on mahdollista tehdä toimiva ja yksinkertainen. Kohdeyrityksen toiminnan- ja tuotannonohjauksen avuksi on mahdollista sulauttaa valmiita kaupallisia ohjelmistoja melko yksinkertaisesti, koska ohjaustoimintaan ei ole juurtunut tarkkoja käytäntöjä. Onkin huomattava, että yhdellä ohjelmistolla koko yrityksen toiminnan ohjaus ei välttämättä onnistu, sillä toiminnan eri tasoille suunnitteluun ja toteutukseen on olemassa omia järjestelmiä, jotka yhdistetään ERP-kokonaisuudeksi.

Jotta valmistuksenohjausta voitaisiin tehdä mahdollisimman tehokkaasti, tulisi tuotannosta kerätä informaatiota esimerkiksi viivakoodijärjestelmän avulla. Tällöin tunnistaminen, jäljitettävyyys ja automaattinen tuotannonseuranta helpottuisi tietojen käsin syöttämisen käytännöistä, kun reaaliajassa nähdään, paikasta riippumatta, missä vaiheessa tuotantovirtaa kokoonpanot etenevät, mitä materiaaleja niihin on käytetty ja kuka työvaiheen on suorittanut.

Ennen tietojärjestelmän hankkimista pitää tuotannonohjausprosessi määritellä, jotta tiedetään mitä halutaan. Tutkimuksen mukaan kohdeyrityksen tuotantoa voidaan kuvata muuttuvaksi, epävarmaksi ja monimutkaiseksi, jolloin kaikki tuotantotyyppin ominaisuudet tulee ottaa huomioon tuotannonohjauksen rakennetta suunniteltaessa. Puhtaat MRP-järjestelmät eivät sovellu erityisen hyvin tilauksesta suunniteltujen tuotteiden ohjaukseen, jolloin MRP-pohjaisen osamallin revisioidin sujuvuus pitää ottaa huomioon tuotannonohjausohjelman määrittelyssä. Tämän jälkeen eri järjestelmiä pitää verrata, niille pitää tehdä käyttäjäkokeiluja ja selvittää niiden laajentamisen ja yhdistämisen mahdollisuudet.

7. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Tässä luvussa tehdään tiivis koonti suoritetusta tutkimuksesta, tehdään johtopäätöksiä tutkimuksen tuloksista sekä tarkastellaan tämän tutkimuksen pohjalta nousseita jatkotutkimuskohteita ja teräsrakentamisen ohjauksen tulevaisuuden näkymiä.

7.1 Yhteenveto tutkimuksesta

Tässä tutkimuksessa käsiteltiin teräsrakentamisen kehittämistä tuotannonohjauksen näkökulmasta, sillä tutkimuksessa käytetyn kohdeyrityksen tuotannonohjaustoimintaan ei ollut luotu yhtenäisiä ohjeistuksia ja käytäntöjä. Tutkimusta edeltävinä vuosina kohdeyrityksen teräsrakentamisen kehittymistä olivat ohjanneet kantavien teräsrakenteiden toteutusta koskevat uudistuneet vaatimukset ja määräykset, joiden pohjalta yritykselle oli luotu tehtaan sisäisen laadunhallinnan periaatteet ja käytännöt. Tuotannon yksittäiset työvaiheet ja niiden välinen ohjaus on saatu toimimaan siten, että valmistus noudattaa standardin SFS-EN 1090-2+A1 teknisiä vaatimuksia. Kyseiset määräykset ohjaavat myös kilpailijoiden toimintaa, jonka vuoksi kohdeyrityksen toiminnan kehityksen on jatkuttava, jotta yrityksen tuottavuus ja kilpailukyky pysyvät kannattavana.

Perinteinen teräsrakentamisen prosessi sisältää viisi päävaihetta joita ovat suunnittelu, hankinta, valmistus, kuljetus ja työmaa-asennus. Teräsrakenteen valmistus vaatii huolellista tuotannonohjausta, jotta varmistetaan virtaviivainen ja virheetön tuotantoprosessi, sillä monet tekijät vaikuttavat tuotantoprosessin tehokkuuteen. Tuotannonohjauksen tarkoituksena on tasapainottaa resurssien käyttöä ennustamisen, suunnittelun, tehtäväksianton, toteutuksen, valvonnan ja informoinnin avulla siten, että tuotannon, keskenään ristiriitaiset, tavoitteet täytetään mahdollisimman tarkasti. Tässä tutkimuksessa teräsrakentamisen prosessin ja tuotannonohjauksen kehittäminen rajattiin käsittelemään kohdeyrityksen teräsrakenteiden valmistusta ja siihen tiiviisti liittyviä oheistoimintoja siten, että teräsrakenneprojektin päävaiheista kuljetus ja työmaa-asennus rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Valmistusmenetelmät ja -prosessit vaihtelevat konepajakohtaisesti ja valmistettavan rakenteen mukaan huomattavasti. Rakennustuoteasetuksen, CPR 305/2011, piiriin kuuluvien teräskokoonpanojen valmistuksen toteutuksessa pitää noudattaa yhtäläisiä teknisiä laatuvaatimuksia, siitä huolimatta, tehdäänkö valmistusta käsityönä, mekaanisilla apuvälineillä tai automatisoituna. Tuotantovaiheista suunnittelun ja hankinnan tulee toimia valmistuksen kanssa tiiviissä yhteistyössä, jotta tuotteet ovat mahdollisimman hyvin valmistettavissa ja ohjattavissa. Suunnittelun ja valmistuksen yhteistoimintaa edistävät erityisesti suunnittelupuolelle kehitetyt tekniset apuvälineet, kuten 3D-suunnittelutyökalut ja tietomallinnusohjelmistot, joiden käytön avulla pyritään hallittuun päätöksentekoon ja

tiedonkulun edistämiseen projektin osapuolten välillä. Hankinnoilla on myös keskeinen rooli yrityksen toiminnassa, sillä ne vaikuttavat niin moneen yrityksen osa-alueeseen. Useissa yrityksissä suurin osa kokonaiskustannuksista voi tulla hankituista hyödykkeistä tai palveluista, jonka vuoksi hankinnat tulee aina tehdä suhteessa yrityksen omaan toimintaan nähden niin strategisen kuin operatiivisenkin tarpeen mukaan.

Perinteinen teräsrakennevalmistuksen tuotannonohjaus perustuu ensisijaisesti ohjaustoimintaa suorittavien henkilöiden kokemukseen, mutta henkilöosaamisen avuksi on mahdollista kehittää hyödyllisiä apuvälineitä. Tutkimuksessa käsiteltiin tuotannonohjauksen perusteita ja sen tavoitteita, tuotannonohjaukseen vaikuttavia tekijöitä, tuotannon ohjattavuutta ja tuotannonohjausprosessia, sekä tuotannonohjausperiaatteita ja -menetelmiä. Perusasioiden lisäksi tuotannonohjauksesta käsiteltiin tietojärjestelmäpohjaisia apuvälineitä sekä teräsrakentamisen ohjauksen tulevaisuuden näkökulmia. Teräsrakentamisen tuotannonohjauksen rakennetta suunniteltaessa sen tuotantotyyppin muuttuvat, epävarmat ja monimutkaiset ominaisuudet tulee ottaa huomioon. Tuotannonohjauksesta tulee huomioida, että sen toteuttamiseen on useita erilaisia periaatteita ja menetelmiä, joita voidaan soveltaa erilaisissa tuotantojärjestelmissä. Tuotannonohjauksen toteuttamiseen ei siis ole yhtä oikeaa tai väärää tapaa ja toteutustapojen pitää muuttua yrityksen elinkaaren mukana.

Tutkimuksessa kohdeyrityksen nykytilakartoitus tehtiin havainnoinnin, avoimien haastatteluiden ja dokumentteihin tutustumisen kautta. Havaintojakson aikana kerätty aineisto analysointiin ja sen perusteella kohdeyrityksen teräsrakentamisen ja tuotannonohjauksen nykytila esitettiin. Teräsrakentamisen ja tuotannonohjauksen toiminnoista kuvattiin prosessimaiset kokonaisuudet sekä tärkeimmät yksittäiset toimintatavat. Teräsrakenneprojekteja on kohdeyrityksessä ohjattu tilaus-toimitusprosessikuvauksen sekä suunnittelusta saatujen piirustusten ja luetteloiden avulla. Ohjaustoiminnan avuksi on luotu taulukkolaskentaohjelmalla seurantataulukoita, mutta niiden käyttö on ollut epäsäännöllistä.

Teoriaosuuden avulla luotua ideaalitilaa verrattiin kohdeyrityksen nykytilaan ja tämän perusteella kohdeyrityksen teräsrakentamisen tuotanto- ja tuotannonohjaustoiminnalle annettiin kehitysehdotuksia sekä konkreettisia kehitysmalleja. Taulukkoon 1 on koottu tiivistetysti tutkimuksessa esitetyt keskeisimmät kehitysehdotukset sekä niiden toteuttamiseen suositellut toimenpiteet.

Taulukko 1. Kehitysehdotukset sekä niihin suositellut toimenpiteet.

Kehitysehdotus	Suosittelut toimenpiteet
Joustavien suunnittelu- käytäntöjen kehittäminen.	1. Yhtenäistetään kohdeyrityksen ja suunnittelutoimiston väliset suunnitteluohjelmistot. 2. Kehitetään tiedonsiirtokäytäntöjä. 3. Ohjeistetaan tietomallin tarkastuskäytännöt.

Suunnittelun resurssijousten lisääminen.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Suunnittelutyön osittaminen. 2. Toisen alihankintasuunnittelutoimiston kartoittaminen.
Hankintaprosessin seurannan tehostaminen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hankintakaavion luominen 2. Hankintojen aputaulukon luominen
Valmistusprosessin selkeyttäminen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Visualisoitu aluesuunnittelu. 2. Projektikohtaisten ulkoalueiden merkitseminen. 3. Projektikohtaisten valmistuspisteiden rajaaminen tuotantohallissa. 4. Kappaletavaran vastaanottopisteen määrääminen kohdeyrityksen alueella. 5. Tuotantotilojen siisteyskäytäntöjen kuvaaminen.
Tavarasiirtojen tehostaminen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uudet siirtovaunut pitkien tavaroiden siirtämiseen. 2. Pienen nosto-oven asentaminen tuotantohallin kylkeen. 3. Tuotannon loppuvaiheen välivarastointi siirtoalustan päälle.
Työkalupisteiden vakioiminen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tietynlaisella työkalulla on yksi selkeä paikka työkalupisteessä. 2. Työkalupisteiden kuvaaminen. 3. Työkalujen lainaus työntekijäkohtaisen lainauslapun avulla.
Tuotannonohjausprosessi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Prosessin vakioiminen kuukausi-, viikko- ja päivätasolle. 2. Yhtenäisten ohjaustyökalujen luominen. 3. Prosessikuvauksen laatiminen.
Tuotannonohjausperiaatteet	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tuotannonohjauksen visuaalisen näyttötaulun luominen. 2. Tuotannon virtauttaminen varaudu-toteuta periaatteen mukaisella ohjauksella
Tuotannonohjausjärjestelmä	<ol style="list-style-type: none"> 1. Järjestelmämäärittely. 2. Kaupallisten ohjelmien vertailut. 3. Käyttäjäkokeilut. 4. Hankintapäätökset.

Annetut kehitysehdotukset eivät ole ehdottomia ja yksiselitteisiä, vaan ne tulee kohdeyrityksessä arvioida ja hyväksyä. Kehittäminen tulee kuvata prosessimaiseksi toimintataivaksi, jossa muutokset tapahtuvat pienin askelin vaihe kerrallaan Lean-filosofian mukaisesti. Pitää muistaa, että niin tuotannonohjaus kuin kehittäminenkin jakaantuvat sekä ennakoiwaan että korjaavaan toimintaan, jos toiminta ei käyttäydykään alustavan suunnitelman mukaisesti. Tällöin ohjauksen avulla tehdään säädöt ja muutokset, jotka mahdollistavat toiminnan suunnitelman mukaisten tavoitteiden saavuttamisen.

7.2 Johtopäätökset

Diplomityön tutkimusongelmana oli selvittää periaatteet ja edellytykset kohdeyrityksen tuotannonohjauksen kehittämiseksi kantavien teräsrakenteiden valmistustoiminnassa. Kohdeyrityksen teräsrakenteiden valmistusprojektit toteutettiin lähes aina uusien suunnitelmien ja asiakasvaatimusten pohjalta. Projektien tyyppi, kokoluokka, aikataulu ja jatkuvuus vaihtelivat muun muassa rakennusten runkorakenteiden, säiliö- ja siltarakenteiden sekä kuljettimien runkorakenteiden välillä. Näiden lisäksi jouduttiin ajoittain valmistamaan myös muunlaisia teräsosia, jotta kapasiteetin kuormitus saatiin pidettyä riittävän korkeana. Kantavat teräsrakenteet valmistettiin yhtenäisen valmistusstandardin avulla, mutta siitä huolimatta valmistusvaiheissa ja prosesseissa oli eroavaisuuksia. Teoriatutkimuksen avulla pyrittiin löytämään teräsrakentamisen prosessien väliltä tietyt yhtäläiset kokonaispiirteet ja tavoitteet, jonka vuoksi tuotanto- ja valmistusvaiheiden kuvaukset tehtiin yleisellä tasolla, tarkempiin yksittäisiin menetelmiin puuttumatta. Tutkimuksen alkusanan teorian avulla luotiin lähtökohdat tuotannonohjauksen teorian selvitykselle. Tuotannonohjaus on laaja kokonaisuus ja käsite, jonka vuoksi tutkimus aloitettiin perusteiden ja tavoitteiden selvittämällä. Tästä tutkimusta laajennettiin tuotannonohjaukseen vaikuttavien tekijöiden ja periaatteiden kautta eri tuotantotyyppien tuotannonohjausmenetelmiin. Lopuksi tuotannonohjauksesta tarkasteltiin alustavalla tasolla tietojärjestelmiä ja teräsrakentamisen ohjausmenetelmiä.

Tehdyn teoriatutkimuksen avulla kantavien teräsrakenteiden valmistustoiminnan tuotannonohjauksen perusajatuksesta saatiin luotua kattava näkemys. Tuotannonohjauksesta voidaan tiivistettynä johtopäätöksenä sanoa, että se on erilaisten menetelmien ja periaatteiden joukko, joiden avulla pyritään pääsemään mahdollisimman tehokkaasti asetettuun tuotantotavoitteeseen. Varsinkin kohdeyritykseen sovitettu tuotannonohjaus pitää olla joustavaa ja tuotantojärjestelmän mukana muuttuvaa. Kaupalliset tuotannonohjauksen tietojärjestelmät voivat olla liian jäykkiä kaikkien tuotantotapausten sujuvaan ohjaukseen, mutta kun kaikista pienimmät yksityiskohdat jätetään henkilöosaamisen ja itseohjautuvien solujen varaan, niin melko yksinkertaisella järjestelmällä on mahdollista tehostaa prosessin suunnittelua, ohjausta ja säätämistä.

Empiirisen tutkimuksen avulla kohdeyrityksen tuotantotoiminnasta saatiin luotua melko laaja yleiskuva. Tuotannonohjausta tehtiin, mutta sen toteuttamiseksi ei ollut rakennettu vakioituja käytäntöjä. Tutkimuksen avulla kohdeyrityksen ohjaustoiminnasta saatiin kuvattua alustava prosessimainen kokonaisuus, jota voidaan käyttää kaiken tyyppisten kantavien teräsrakenteiden tuotantotoiminnassa. Kohdeyrityksen toimintaa verrattiin kirjallisuustutkimukseen, jonka avulla selvitettiin, miten yrityksen toimintaa voitiin kehittää. Tuotanto- ja valmistusprosessin eri vaiheisiin annettiin useita kehitysehdotuksia, joiden avulla kohdeyrityksen tuotannon ohjattavuutta on askel kerrallaan mahdollista parantaa. Tutkimuksen mukaan mahdollisen tuotannonohjauksen tietojärjestelmän rinnalle tulisi rakentaa esimerkiksi viivakoodipohjainen tiedonkeräysjärjestelmä, jotta valmistettavia

teräsrakenteita koskevaa valmistuksen tiedonhallintaa ja jäljitettävyyttä olisi mahdollista tehostaa.

7.3 Jatkotutkimus ja tulevaisuuden näkymät

Jatkotutkimuksen kohteeksi kohdeyrityksessä sopii tuotannonohjaukseen liittyvien kaupallisten valmisohjelmien kartoittaminen. Järjestelmien heikkouksista voi olla hankala saada tietoa niiden toimittajilta, jolloin ohjelmistomäärittely nousee avainasemaan toimivuuden kartoituksessa. Tämä tutkimus toimii hyvänä lähtökohtana tarkemmalle vaatimusten määrittelyn suunnittelulle. Järjestelmä tulee sovittaa kohdeyrityksen vaatimusten lisäksi myös koko konsernin vaatimuksiin. Tärkeää olisi, että yrityskokonaisuudella olisi yhtäläinen tai yhteen sovitettava järjestelmä, jossa eri osat toimivat tehokkaasti kokonaisuutena.

Toiseksi jatkotutkimuskohteeksi kohdeyrityksessä sopii Lean-filosofian mukaisen arvovirran tarkastelu arvovirtakartan avulla, jossa tuotantoprosessista pyritään karsimaan turhien tapahtumien aiheuttamia kustannuksia. Tässä tutkimuksessa tarkastelua tehtiin karkeasti koko tuotantoprosessiin nähden, mutta arvovirtakarttaan tulisi kuvata yksityiskohteisesti prosessin toiminnot, joissa materiaalien ja informaation etenemistä tarkastellaan arvoa lisäävän ja arvoa tuottamattoman toiminnan sekä hukkan mukaan.

Kohdeyrityksen tulee pysyä ajan tasalla viimeisimmistä valmistuksen ja tuotannonohjauksen menetelmistä, jotta tuotantomahdollisuuksien ylärajaa voidaan siirtää ja päästä kohti parempaa tuottavuutta. Tulevaisuudessa valmistusta tullaan ohjaamaan yhä enemmän automaattisesti digitalisoinnin avulla. Jo nyt on saatavilla CNC-koneita, joiden avulla teräsrakentamisen tietynlaisia valmistusprosesseja voidaan ohjata ja toteuttaa täysin automaattisesti. Automaattisesti tehty valmistus on tarkasti myös etukäteen mallinnettavissa, jolloin todelliset valmistuskustannukset ja prosessien vaiheajat tiedetään tarkasti jo suunnitteluvaiheessa.

LÄHTEET

Aaltio, E. & Olkkonen, T. (1976). Tuotanto ja sen ohjaus. *Ekonomia-sarja 41*. Helsinki: Weilin+Göös. 198 s.

Aram, S. & Eastman, C. (2013). *Information Delivery Manual for Structural Steel*. The National Building Information Modeling Standard - United States. Digital Building Lab. 32 p.

Azimi, R., Lee, S. H., AbouRizk, S.M. & Alvanchi, A. (2011). A framework for an automated and integrated project monitoring and control system for steel fabrication projects. *Automation in Construction*. Vol. 20(1). pp. 88–97.

Azimi, R. (2011). *An Integrated Real-Time Control System for Structural Steel Fabrication Projects*. A thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Construction Engineering and Management. Department of Civil and Environmental Engineering. University of Alberta. 239 p.

Baily, P., Farmer, D., Jessop, D. & Jones, D. (1998). *Purchasing Principles and Management*. 8th edition. London: Financial Times/Prentice Hall. 406 p.

Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. A thesis submitted to the Faculty of Engineering of The University of Birmingham for the degree of Doctor of Philosophy. School of Civil Engineering, Faculty of Engineering. The University of Birmingham. 192 p.

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

Bertrand, J. W. M & Muntslag, D. R. (1993). Production control in engineer-to-order firms. *International Journal of Production Economics*, Vol. 30–31. pp. 3–22.

Bonnet, D. & Moshes, I. (2014). The importance of BIM workflow for steel fabrication. *Tekla European BIM Forum 2014*, Berlin, Germany. 29 p. [Viitattu: 19.1.2017] Saatavissa: <https://www.tekla.com/de/bim-forum-2014/presentations/moshos-bonnet.pdf>

Brax, S., A. (2007). *Palvelut ja tuottavuus. Teknologia katsaus 204/2007*. Helsinki: Tekes. 63 s.

Chang, S.W., Song, J. W., Jeong, W. S. & Yi, J-S. (2017). BIM-Integrated Construction Operation Simulation for Reliable Production Management. 9 p. [Viitattu: 23.1.2017] Saatavissa: <http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2015-paper-009.pdf>

Cheng, M. J. & Simmons, J. E. L. (1994). Traceability in manufacturing systems. *International journal of operations & production management*. Vol. 14(10). pp. 4–16.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. (2008). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. New Jersey: John Wiley & Sons. 490 p.

Eloranta, E. & Räisänen, J. (1986). Ohjattavuusanalyysi. Tutkimus tuotannon ja sen ohjauksen kehittämistä Suomessa. Helsinki: Suomen itsenäisyyden juhluvuoden 1967 rahasto SITRA. 223 s.

Ford, D., Gadde, L-E., Håkansson, H. & Snehota I. (2003). Managing Business Relationships. Second edition. Chichester: John Wiley & Sons. 215 p.

Forecon Oy. (2014). Teräsrakenneyhdistyksen teettämä kotimaisen teräsrakenneteollisuuden tuotantokysely. [Viitattu 3.3.2017] Saatavissa: <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/terasrakenneteollisuus/tilastoja/>

Ghuri, P. & Grønhaug, K. (2010). Research Methods in Business Studies. 4. painos. Harlow: Financial Times Prentice Hall. 265 p.

HAMK, Hämeen ammattikorkeakoulu. (2008). Teräsrakentaminen. HAMK:n julkaisuja 2/2008. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu. 240 s.

Hannula, M. & Lönnqvist, A. (2004). Suorituskyvyn mittauksen käsitteet. Concepts of performance measurement. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus. 64 s.

Haverila, M. J., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. (2009). Teollisuustalous. 6. painos. Tampere: Infacs. 510 s.

hEN Helpdesk. (2014). Suomalainen tulkinta rakenteellisten teräs- ja alumiinikokoonpanojen harmonisoidun tuotestandardin SFS-EN 1090-1+A1:2012 soveltamisalasta. [Viitattu 17.1.2017] Saatavissa: <http://www.henhelpdesk.fi/media/mediapankki/en-1090-1-soveltamisla-fi-tulkinta-v.1.2.pdf>

Huhtala, P. & Pulkkinen, A. (2009). Tuotettavuuden kehittäminen – Parempi tuotteisto useasta näkökulmasta. Teknologiaateollisuuden julkaisu 4/2009. Helsinki: Teknologiainfo Teknova. 431 s.

Häkkinen, K. (2002). Valmistuksen ja suunnittelun yhteistyö toistuvan erätuotannon alihankintaprosessissa. Havaintoja suomalaisesta pk-konepajateollisuudesta vuonna 2002. VTT Tiedotteita 2173. Espoo: VTT. 52 s.

Häkkinen, K. (2003). Tuotannonohjaus pk-konepajateollisuuden alihankintaprosessissa. Käytäntöjä suomalaisessa pk-konepajateollisuudessa vuonna 2003. VTT tiedotteita 2225. Espoo: VTT. 82 s.

Häkkinen, K. (2004). Alihankintayhteistyö konepajateollisuudessa ja sen laadun arviointia. VTT Tiedotteita 2271. Espoo: VTT. 64 s. + liitt. 17 s.

Junnonen, J-M. (1996). Uusiutuva tuotannonohjaus. Helsinki: Rakennusteollisuuden keskusliitto. 47 s.

Järvenpää, E., Tokola, H., Salonen, T., Lanz, M., Koho, M. & Tuokko, R. (2014). Requirements for Manufacturing Operations Management and Control Systems in a Dynamic Environment. Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2014, San Antonio, Texas. 8 p.

Järvinen, P. & Järvinen, A. (2000). Tutkimustyön Metodeista. Tampere: Opinpajan kirja. 221 s.

Järvinen, S. (2015). BIM in Structural Steel Workflow. Proceedings of The 13th Nordic Steel Construction Conference. Tampere: Tampere University of Technology. Department of Civil Engineering. pp. 1–10

Kaitila, O. (2010). Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus: Eurocode 3 -oppikirja. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys. 183 s.

Karjalainen, J. Maijala, M. & Lindgren, M. (1999). Tuotannollinen ulkoistaminen. MET-julkaisuja nro 11/1999. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus. 92 s.

Kasanen, E., Lukka, K. & Siitonen, A. (1991). Konstruktiivinen tutkimusote liiketaloustieteessä. Liiketaloudellinen Aikakauskirja. Vol. 40(3). ss. 301–327.

Kemppi, J. (2008). Suunnittelun merkitys tuotantokustannuksiin hitsauksessa. Luentokalvot, Lahden alueen kehittämissyhtiö – seminaari. 22s.

Koskela, L. & Koskenvesa, A. (2003). Last Planner -tuotannonohjaus rakennustyömaalla. VTT Tiedotteita 2197. Espoo: VTT. 82 s. + liitt. 20 s.

Langfield-Smith, K. & Greenwood, M. R. (1998). Developing Co-operative Buyer-Supplier Relationships: a Case Study of Toyota. Journal of Management Studies 35(3). pp. 331–353.

Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. (1997). Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo: WSOY, Kirjapainoyksikkö. 398 s.

Lappalainen, I., Simons, M. & Häkkinen, K. (2008). Yrittäjyyteen kannustaminen valmistavassa pk-yrityksessä. Käsikirja MBO- ja EBO-ulkoistusprosessien hallintaan sekä uuden yrityksen ja alihankintasuhteen kehittämiseen. Tykes raportteja 63. Helsinki: Tykes. 126 s.

Mankki, J. (1988). Verstaan tuotannonohjausjärjestelmän suunnittelu ja valinta. Tekninen tiedotus 22/88. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus. 64 s.

Martikainen, J. (2013). Hitsaustuotannon kehittäminen. Luentomateriaali, Kansainvälinen hitsauskoordinoijan pätevyityskoulutus IWE / IWT 27 Pori, Tampere / Lappeenranta.

Martinsuo, M., Mäkinen, S., Suomala, P. & Lyly-Yrjäinen, J. (2016). Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa. Helsinki: Edita Publishing. 399 s.

Metsämuuronen, J. (2008). Laadullisen tutkimuksen perusteet. Metodologia -sarja 4. 3. uudistettu painos. Helsinki: International Methelp. 74 s.

- Miettinen, P. (1993). Tuotannonohjaus ja Logistiikka. Helsinki: Painatuskeskus. 102 s.
- Mohsenijam, A. & Lu, M. (2016). Achieving sustainable structural steel design by estimating fabrication labor cost based on BIM data. *Procedia Engineering* 145(2016). pp. 654–661.
- Monczka, R., Trent, R. & Hanfield, R. (1998). *Purchasing and Supply Chain Management*. Cincinnati: South-Western College Publishing. 776 p.
- Neilimo, K. & Uusi-Rauva, E. (2005). *Johdon laskentatoimi*. 6. uudistettu painos. Helsinki: Edita Publishing. 366 s.
- Nieminen, S. (2011). *Supplier relational effort in the buyer-supplier relationship*. Doctoral dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology. Department of Industrial Engineering and Management. Aalto University publication series. Doctoral Dissertations 130/2011. Espoo: Aalto University. 156 p.
- O'Brien, W. J., Formoso, C. T., Vrijhoef, R. & London, K. A. (2008). *Construction Supply Chain Management Handbook*. London: CRC Press. 508 p.
- Olkkonen, T. (1994). *Johdatus teollisuustalouden tutkimustyöhön*. 2. painos. Espoo, Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu. 143 s.
- Ongelin, P. & Valkonen I. (2016). *SSAB Domex Tube, Rakenneputket, EN 1993 -käsikirja*. Hämeenlinna: SSAB Europe Oy. 690 s.
- Pada, D., Minkkinen, J., Sorsa, I., Haapio, J., Mela, K. & Heinisuo, M. (2017). Suunnittelijan ja valmistusinsinöörin roolit digimaailmassa? *Hitsaustekniikka-lehti* 1/2017. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys. ss. 39–40.
- Piiroinen, T. (2013). *Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen*. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja D4/2/2013. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu, Julkaisutoiminta. 63 s.
- Rakennusteollisuus ry & Ympäristöministeriö. (2011). *Rakennusalan standardisointiselvitys 2011*. Helsinki: Suomen Rakennusmedia. 93 s. [Viitattu 3.3.2017] Saatavissa: <http://www.sfs.fi/files/308/RakennusalanStandardiNETTI.pdf>
- Saari, S. (2000). *Tuottavuuden mittaaminen osana kannattavuuden mittausta teollisuusyrityksessä: Mittausmenetelmien vertaileva tutkimus*. Tekniikan tohtorin arvon saavuttamiseksi tehty väitöskirja. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Julkaisuja 290. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. 164 s.
- Saari, S. (2006). *Tuottavuus. Teoria ja mittaaminen liiketoiminnassa*. Tuottavuuden käsikirja. Mido. 273 s.
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A. & Owen, R. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2010, 136(9). pp. 968–980.

Sakki, J. (2003). Tilaus-toimitusketjun hallinta. Logistinen B-to-B prosessi. Kuudes uudistettu painos. Espoo: Jouni Sakki. 216 s.

Santos, F & Silva, L. (2013). Management of the Production of Metal Structures, Computer Application “MERP”. Design, Fabrication and Economy of Metal Structures. International Conference Proceedings 2013. Miskolc, Hungary. Berlin: Springer-Verlag. pp. 645–650.

Sjölander, S. (1982). Tuotannonjohdon käsikirja. Suomentanut Matti Ruotsalainen. Helsinki: Rastor. 231 s.

Slack, N., Champers, S. & Johnston, R. (2010). Operations Management. 6th ed. Harlow: Pearson Education Limited. 686 p.

Song, L. & Abourizk, S. (2006). Virtual Shop Model for Experimental Planning of Steel Fabrication Projects. Journal of Computing in Civil Engineering 2006, 20(5). pp. 308–316.

Stenbacka, N. (2011). Hitsaustalous ja tuottavuus. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys. 159 s.

Stevenson, W. J. (2009). Operations Management. 10th ed. Boston: McGraw Hill/Irwin. 906 p.

Swink, M. & Nair, A. (2006). Capturing the competitive advantages of AMT: Design-manufacturing integration as a complementary asset. Journal of Operations Management 25 (2007). pp. 736–754.

Tanner, J.P. (1991). Manufacturing engineering: an introduction to the basic functions. Second edition. New York: Marcel Dekker. 418 p.

Teknologiatiellisuus ry, Teräsrakenneyhdistys ry & Metsta ry. (2012). Teräskokoonpanojen CE-merkintä. 16 s. [Viitattu 3.3.2017] Saatavissa: http://www.metsta.fi/ajankoh-taista/METSTA-tiedotus/2012/liitteet/Terasrakenteet_ jaCE_2012-08_net.pdf

Teräsrakenneyhdistys ry. (2015a). Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP) materiaali. WP1: Suunnitteluprosessi eri suunnittelun hankintamuodoissa. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys. 20 s.

Teräsrakenneyhdistys ry. (2015b). Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP) materiaali. WP2: Käytettävät tuotteet. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys. 27 s.

Teräsrakenneyhdistys ry. (2015c). Teräsrakentamisen eurooppalaiset pelisäännöt – suunnittelu ja toteutus (TEP) materiaali. WP5.1: Lisämäärittelyt, tarkennukset ja lyhyet konkreettiset kuvaukset keskeisimmistä uusista käsitteistä. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys. 20 s.

Tukes. (2014). CE-merkintä ja EN 1090-1 soveltaminen. Turvallisuus- ja kemikaaliviraston ohje. 6 s. [Viitattu 15.3.2017] Saatavissa: <http://www.tukes.fi/Tiedostot/rakennustuotteet/ohjeet/EN-1090-1.pdf>

Vesalainen, J. (2004). Katetta kumppanuudelle. Hyöty ja sen jakaminen asiakas-toimitaja-suhteessa. Teknologiateollisuuden julkaisuja 3/2004. Helsinki: Teknologiainfo Teknova. 208 s.

Viana, D. D., Bulhões, I. R. & Formoso, C. T. (2013). Guidelines for Integrated Planning and Control of Engineering-to-Order Prefabrication Systems. Production Planning and Control Proceedings IGLC-21, July 2013 | Fortaleza, Brazil. pp. 549–558.

Viana, D. (2015). Integrated Production Planning and Control Model for Engineer-To-Order Prefabricated Building Systems. Thesis presented to the Postgraduate Program in Civil Engineering of the Federal University of Rio Grande do Sul as part for the requirements of the Degree of Doctor in Engineering. Porto Alegre: Federal University of Rio Grande do Sul. 265 p.

Vollmann, T., Berry, W. & Whybark, D. (1997). Manufacturing planning and control systems. 4th ed, New York: McGraw-Hill. 836 p.

Väisänen, P. (2007). Teräs, Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle. Espoo: TKK Arkkitehti-osasto Rakennusoppi. 88 s.

Yin, R. K. (2009). Case Study Research: Design and Methods. 4. painos, Applied Social Research Methods Series, Volume 5. California: Sage Publications. 219 p.

Ympäristöministeriö. (2004). Ympäristöopas 95, Rakennustuotteiden CE-merkintä rakennustuotedirektiivin mukaisesti. Ympäristöministeriön asunto- ja rakennusosasto. Helsinki: Edita Prima. 36 s.

YTV. (2012a). Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 5. Rakennesuunnittelu. 28 s. [Viitattu 22.3.2017] Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/yleiset-tietomallivaatimukset-ytv/>

YTV. (2012b). Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 13. Tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa. 22 s. [Viitattu 22.3.2017] Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/yleiset-tietomallivaatimukset-ytv/>

Standardit

SFS-EN 1090-1 + A1. (2012). Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 1: Vaatimukset rakenteellisten kokoonpanojen vaatimustenmukaisuuden arviointiin. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 73 s.

SFS-EN 1090-2 + A1. (2012). Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 199 s.

SFS-EN 62264-3. (2017). Enterprise-control system integration. Part 3: Activity models of manufacturing operations management. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 86 p.

Verkkosivut

Steel Projects PLM -ohjelmiston verkkosivut. (2017). [Viitattu: 15.5.2017] Saatavissa: <http://www.steelprojects.com/en/>

Tekla Structures -ohjelmiston verkkosivut. (2017). [Viitattu: 16.6.2017] Saatavissa: <https://www.tekla.com/products/tekla-structures>

LIITE A: HAASTATTELURUNKO

Tässä liitteessä kuvataan avoimien haastatteluiden ohjaamiseen käytettyä haastattelurunkoa. Haastattelurunkona toimi muutamia keskeisiä teemoja ja tarkentavat kysymykset, joiden avulla kohdeyrityksen nykytilaa ja kehityskohteita selvitettiin.

Ylimmäältä johdolta selvitettävät teemat:

- Työtilanteen selvitys:
 - o Valmistuneet teräsrakenneprojektit, jotka ovat käynnistyneet vuoden 2016 alusta?
 - o Käynnissä olevat projektit, joista tilausvahvistus on saatu?
 - o Teräsrakennesuunnittelussa olevat projektit?
 - o Valmistuksessa olevat projektit?
 - o Tarjotut projektit?
 - o Tarjouslaskennassa olevat projektit?
 - o Tarjouskyselyt joihin ei ole reagoitu?
 - o Mikä on yrityksen valmistuskapasiteetti?
- Kuinka työläs työtilanteen selvitys on tehdä, onko tiedot koottuna?
- Minkälaisena näet teräsrakennepuolteen työtilanteen lähitulevaisuudessa?
- Miten tarjouskyselyt tulevat yritykseen?
- Miten kohdeyrityksen toiminta linkittyy pääyrityksen kokonaistoimintaan?

Työnjohdolta ja suunnitteluosastolta selvitettävät teemat:

- Kuvaile teräsrakentamisen prosessi kohdeyrityksessä.
- Mikä on työssäsi kaikkein haasteellisinta?
- Onko käytössä riittävät resurssit kuormaan nähden?
- Minkälaisia resurssijoustoja on käytettävissä?
- Miten kohdeyrityksen valmistustoiminta huomioidaan rakennesuunnittelussa?
- Miten prosessia ja valmistustoimintaa ohjataan?
- Miten alihankkijoita ohjataan?
- Minkälaisia apuvälineitä tuotannonohjaukseen on luotu?
- Toimiiko tuotannon jäljitettävyyttä?
- Mitä haluaisit kehittää tuotannonohjauksessa?
- Oletko tietoinen markkinoilla olevista sähköisistä apuvälineistä?

Tuotannon työntekijöiltä selvitettävät teemat:

- Onko käytössä olevissa työvälineissäsi selkeitä puutteita?
- Minkälaisilla apuvälineillä sinun työvaihetta voisi helpottaa?
- Joudutko odottelemaan tai etsimään työpäivän aikana ohjeita, työkaluja tai osia?

- Onko piirustukset selkeitä?
- Onko osien merkinnät selkeitä?
- Onko tuotantotilojen siisteys ja järjestys mielestäsi riittävällä tasolla?
- Onko tuotantotilojen varastopaikat ja kulkureitit selvät?
- Tiedätkö mistä tämän vaiheen työohjeet löytyvät?
- Mitä tarkastuksia teet työvaiheessa?
- Onko työmääräykset selviä?
- Tiedätkö mitä työvaihetta teet huomenna, ensi viikolla tai kuukauden päästä?
- Saanko mielestäsi riittävästi tietoa käynnissä tai alkamassa olevista projekteista?
- Onko edellisissä työpaikoissasi ollut käytössä sähköistä valmistuksen seurantajärjestelmää, jota on ohjattu esimerkiksi viivakoodien avulla? Millaisia kokemuksia sinulla niistä on?
- Mitä mieltä olisit sähköisen järjestelmän toimivuudesta?
- Onko mielessäsi yleisestä toiminnasta puutteita tai kehitysehdotuksia?