

Annika Pankko

VALMISTUSAIKOJEN ENNUSTAMINEN ENGINEER TO ORDER -TUOTANNOSSA

Diplomityö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Professori Minna Lanz
Yliopisto-opettaja Hasse Nylund
Marraskuu 2023

TIIVISTELMÄ

Annika Pankko: Valmistusaikojen ennustaminen Engineer to Order -tuotannossa
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Marraskuu 2023

Tämä diplomityö toteutettiin toimeksiantona yritykselle, joka valmistaa asiakasräätälöityjä tuotteita. Engineer to Order -tuotannossa tuotteet suunnitellaan asiakkaan vaatimuksiin vastaten ja asiakas on mukana koko projektin ajan suunnittelusta tuotteen toimittamiseen. Engineer to Order -projektit ovat kompleksisia ja dynaamisia eli niissä on paljon päätöksentekoon vaikuttavia tekijöitä ja ne ovat vaikeita ennustaa, koska ei ole valmista mallia, jonka mukaan tehdä. Dynaaminen tuotantoympäristö vaatii kykyä reagoida nopeasti muutoksiin, mikä on mahdollista vain, jos tuotannon tietovirrat ovat sujuvia.

Tämän diplomityön tavoite oli tuottaa kohdeyritykselle työntutkimuksen toimintamalli sekä suunnitelma siitä, kuinka työntutkimusta voisi käyttää apuna valmistusaikojen ennustamisessa. Diplomityötä varten suoritettiin työntutkimus tuotannossa. Nykyisen tuotannosuunnittelu- ja valmistusaikojen ennustusprosessin selvittämiseksi toteutettiin teemahaastattelut. Lisäksi taustateorian ja tehtyjen samankaltaisten tutkimusten selvittämiseksi suoritettiin kirjallisuuskatsaus, jossa aineistona käytettiin alan tieteellisiä julkaisuja sekä oppikirjoja.

Diplomityön päätuloksia ovat työntutkimuksen toimintamalli sekä suunnitelma siitä, kuinka työntutkimusta voidaan tarvittaessa käyttää apuna valmistusaikojen ennustamisessa. Suunnitelman mukaan lähtökohtana on se, että toteutuneita valmistusaikoja seurataan suhteessa ennustettuihin ja jos tämä suhde poikkeaa yli määritettyjen rajojen, tulee tarkastella, mistä se johtuu. Jos syynä on ennustettu valmistusaika, joka ei ole ottanut kaikkea työn sisältöä huomioon, tulee valmistusaika-arvioiden tekemiseen käytettyjä työkaluja päivittää. Työkalujen päivittämiseksi voi käyttää työntutkimusta. Lisäksi todettiin, että työntutkimuksen perusteella määritetty työvaiheistus niihin tuotantosoluihin, joissa työntutkimus suoritettiin, on käyttökelpoinen.

Työn rajoitteisiin lukeutuu se, että työntutkimus toteutettiin vain osaan tehtaan tuotantosoluista. Suunnitelmaa tehdessä ei siis ole ollut yhtä kattava tietämys kaikista tehtaan tuotantosoluista, eikä työvaiheistusta ole luotu niille tuotantosoluille, joissa ei toteutettu työntutkimusta. Suunnitelma sekä työntutkimuksen toimintamalli ovat kuitenkin yleistettävissä kaikkiin tehtaan tuotantosoluihin. Diplomityö ei sisällä aikarajoitteen takia suunnitelman toimeenpanoa, vaan se jää yrityksen tehtäväksi.

Diplomityö hyödyttää kohdeyrityksen tuotannosuunnitteluprosessia. Työn tuottama suunnitelma mahdollistaa yritykselle jatkuvan kehittymisen töiden valmistusaikojen ennustamisessa, vaikka se onkin haastavaa Engineer to Order -tuotantoympäristössä. Työn seurauksena on mahdollista, että yrityksen tuotannosuunnittelu on täsmällisempää, tuotantoa on helpompi ohjata kuin tällä hetkellä ja toimitusvarmuus paranee. Vaikka valmistusaikojen ja läpimenoajan ennustaminen on Engineer to Order -tuotannossa haastavaa, on kohdeyrityksellä kuitenkin mahdollisuus kehittyä siinä systemaattisen tekemisen kautta. Suunnitelman toimeenpano sekä sen kehittäminen eteenpäin ei ole lyhyt projekti, vaan jatkuvaa kehittämistä.

Avainsanat: Engineer to Order, ETO, työntutkimus, työn mittaus, tuotannosuunnittelu, valmistusaika

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Annika Pankko: Prediction of production times in Engineer to Order production
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Program in Mechanical Engineering
November 2023

This Master's thesis was commissioned by a company that manufactures customised products. In Engineer to Order production, products are designed according to the customer's requirements and the customer is involved throughout the project, from engineering to delivery. Engineer to Order projects are complex and dynamic, meaning that there are many factors influencing decision making and they are difficult to predict because there is no previous identical product. A dynamic production environment requires the ability to react quickly to changes, which is only possible if information flows smoothly within the production and company.

The aim of this Master's thesis was to produce a model for a work study for the company and a plan on how to use a work study to help predict production times. For this thesis, a work study was implemented in production. Semi-structured interviews were carried out to examine the current production planning and production time estimation process. In addition, a literature review was carried out to study the background theory and related studies, using scientific publications and textbooks in the field.

The main results of the Master's thesis are a model of a work study and a plan on how a work study can be used to help predict production times. The idea of the plan is to compare actual and planned production times and if this ratio differs from the specified limits, to investigate the reasons. If it is because the planned production time has not considered some of the content of the work, the tools used to estimate production times should be updated. That can be done with the help of a work study. This thesis also found that the work phasing, which was determined during the work study, is useful for the company.

One of the limitations of the thesis is that the work study was only carried out in four production cells, not all of them. Therefore, there was no equally comprehensive knowledge of all the production cells and no work phasing was created for those production cells where no work study was carried out. However, the model for a work study and the plan are generalisable to all production cells. Due to time limitation, the implementation of the plan has been excluded from the thesis. It is left to the company.

The thesis will benefit the production planning process of the company. The plan enables the company to continuously improve its ability to predict production times, although it is challenging in an Engineer to Order production. As a result, the company's production planning can be more accurate, production easier to control than at present, and reliability of delivery better. Although predicting production times and lead times in Engineer to Order production is challenging, the company has the potential to improve it through systematic work and cultural change. Implementing and developing the plan is not a short project, but a continuous improvement and a long process.

Keywords: Engineer to Order, ETO, work study, work measurement, production planning, production time

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Ja niin saapui hetki, jona voin todeta diplomityöni olevan valmis. Tätä hetkeä on innolla odotettu, mutta toisaalta se pääsi myös yllättämään, sillä opiskeluvuodet kuluivat hujauksessa, eikä opintojen lopun lähestymistä vielä usko todeksi. Kiitos Tampereen Yliopistolle sekä Hervannan kampukselle kuluneista vuosista.

Diplomityöni mahdollistamisesta haluan kiittää työn kohdeyritystä, Tomia ja Jania. Tämä puolivuotinen on tarjonnut oppimiskokemuksia ja avartavia hetkiä, ehkä asiaan kuuluvaa turhautumistakin välillä. Koen tämän olleen erittäin opettavainen matka. Erityiskiitokset antoisista keskusteluista sekä tuesta Jonille ja Johannekelle. Lopuksi kiitos työn ohjaajalle yliopisto-opettaja Hasse Nylundille sekä toiselle tarkastajista professori Minna Lanzille, että ohjasitte juuri sopivasti oikeaan suuntaan.

Tampereella, 22.11.2023

Annika Pankko

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Työn tausta	1
1.2 Työn tavoite, tutkimuskysymykset ja rajaus	2
1.3 Tutkimusmetodologia	2
1.4 Työn rakenne	5
2. TUOTANNONOHJAUS ENGINEER TO ORDER -TUOTANNOSSA.....	7
2.1 Tuotantojärjestelmä.....	7
2.2 Tuotannonohjaus	12
2.3 Engineer to Order -tuotanto.....	22
2.4 Tuotannon tietojärjestelmät	26
2.5 Työntutkimus.....	29
3. TYÖN TOTEUTUS.....	33
3.1 Kohdeyritys	33
3.2 Teemahaastattelut	34
3.3 Työntutkimuksen toteutus	37
3.4 Työntutkimuksen toimintamallin kehitys	40
3.5 Suunnitelma työntutkimuksen käytöstä valmistusaikojen ennustamisessa.....	43
4. TULOKSET	47
4.1 Työntutkimuksen tulokset.....	47
4.2 Työntutkimuksen käyttö valmistusaikojen ennustamisessa	48
5. LOPPUPÄÄTELMÄT JA KEHITYSEHDOTUKSET	51
5.1 Menetelmien arviointi	51
5.2 Tulosten analysointi ja vastaukset tutkimuskysymyksiin.....	53
5.3 Kehitysehdotukset.....	56
6. YHTEENVETO.....	61
LÄHTEET	63
LIITE A: HAASTATTELUKYSYMYKSET	66
LIITE B: MITTAUSPOHJA.....	68
LIITE C: MITTAUSLOMAKE.....	69
LIITE D: SÄHKÖINEN MITTAUSLOMAKE	72
LIITE E: TYÖNTUTKIMUKSEN TULOKSET	73
LIITE F: TYÖNTUTKIMUKSEN TOIMINTAMALLI	79
LIITE G: SUUNNITELMA	84

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Tutkimuksellinen kehittämistyö (mukaillen Ojasalo et al., 2014, s. 18)</i>	3
Kuva 2.	<i>Tutkimusmenetelmät.....</i>	4
Kuva 3.	<i>Tuotantojärjestelmä (mukaillen Lapinleimu et al., 1997, s. 15, 18-19)</i>	8
Kuva 4.	<i>Tuotantomuotoon vaikuttavat tekijät (mukaillen Martinsuo, 2016)</i>	9
Kuva 5.	<i>Läpimenoaika (mukaillen Lapinleimu et al., 1997, s. 54)</i>	10
Kuva 6.	<i>Tuotannonohjauksen tavoitteiden ristiriitaisuus (mukaillen Haverila et al., 2005, s. 404)</i>	11
Kuva 7.	<i>Tuotannonohjausprosessi (mukaillen Haverila et al., 2005, s. 409; Martinsuo, 2016).....</i>	13
Kuva 8.	<i>Todellinen työaika (mukaillen Laine, n.d., s. 4).....</i>	15
Kuva 9.	<i>Tuotannonohjauksen toiminnot</i>	16
Kuva 10.	<i>Tuotannon ohjattavuuteen vaikuttavat sisäiset tekijät.....</i>	17
Kuva 11.	<i>Tuotannonohjaukseen vaikuttavat tekijät.....</i>	18
Kuva 12.	<i>ETO-tuotannon arvoketju (mukaillen Willner et al., 2014).....</i>	22
Kuva 13.	<i>Erlaisia tilauksen kohdennuspisteitä (mukaillen Rudberg ja Wikner, 2004)</i>	23
Kuva 14.	<i>ISA95-standardin mukainen hierarkia (mukaillen ISA/ANSI 95.00.01:2000,19).....</i>	27
Kuva 15.	<i>Työntutkimuksen aikalajit (mukaillen Ahokas et al., 2011, s. 13)</i>	31
Kuva 16.	<i>Tuotteen muodostuminen</i>	33
Kuva 17.	<i>Työntutkimuksen aikalajit ensimmäisessä mittauksessa</i>	38
Kuva 18.	<i>Työntutkimuksen häiriöaikalajit</i>	39
Kuva 19.	<i>Lopulliset aikalajit.....</i>	41
Kuva 20.	<i>Suunnitelman ensimmäinen versio.....</i>	44
Kuva 21.	<i>Suunnitelman toinen versio.....</i>	46
Kuva 22.	<i>Työntutkimus prosessina</i>	49
Kuva 23.	<i>Valmistusaikojen ennustus- ja tuotannosuunnitteluprosessi.....</i>	56
Kuva 24.	<i>Arviointityökalun rakenne osakokoonpanolle 1.....</i>	58
Kuva 25.	<i>Vaikutus-panos-kaavio kehitysehdotuksista</i>	59
Kuva 26.	<i>Kokoonpano 4, raportoidut kestot (sarjan kappaleet 1–11)</i>	74

LYHENTEET JA MERKINNÄT

APS	Advanced Planning and Scheduling, tuotannosuunnittelujärjestelmä
ATO	Assembly to Order, tilauksesta kokoonpantava
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CODP	Customer Order Decoupling Point, tilauksen kohdennuspiste
ERP	Enterprise Resource Planning, toiminnanohjausjärjestelmä
ETO	Engineer to Order, tilauksesta suunniteltava
ETS	Engineer to Stock, varastoon suunniteltava
IoT	Internet of Things, esineiden internet
ISA	International Society of Automation
JIT	Just in Time, johtamisfilosofia
MES	Manufacturing Execution System, tuotannonohjausjärjestelmä
MRP	Material Requirement Planning, materiaalitovelaskenta
MRP II	Manufacturing Resources Planning, valmistuksen resurssien suunnittelu
MTM	Methods Time Measurement, liikeaikatutkimus
MTO	Make to Order, tilauksesta valmistettava
MTS	Make to Stock, varastoon tehtävä
Teollisuus 4.0	Industry 4.0, neljäs teollinen vallankumous
k_a	apuaikakerroin
k_j	joutuisuuskerroin
T	työarvo
t_a	apuaika
t_N	työn normaaliarvo
t_v	valittu aika

1. JOHDANTO

Johdanto alkaa työn taustan ja motivaation esittämisellä. Sen jälkeen kerrotaan tarkemmin työn tavoitteista sekä tutkimuskysymyksistä ja rajauksesta. Ennen työn rakenteen läpikäyntiä keskustellaan vielä työn tutkimusmetodologiasta ja työhön valituista tutkimusmenetelmistä.

1.1 Työn tausta

Tilauksesta suunniteltavassa tuotannossa (ETO, engl. Engineer to Order) tuotteet suunnitellaan asiakkaan vaatimuksiin vastaten ja asiakas on mukana koko projektin ajan suunnittelusta tuotteen toimittamiseen. ETO-projektit ovat kompleksisia ja dynaamisia eli niissä on paljon päätöksentekoon vaikuttavia tekijöitä ja ne ovat vaikeita ennustaa, koska ei ole valmista mallia, jonka mukaan tehdä. (Birkie et al., 2017) ETO-projektien luonteen takia niiden läpimenoajat ovat pitkiä. Mahdollisimman lyhyt läpimenoaika ja luvatussa läpimenoajassa pysyminen ovat siksi kilpailuetu ETO-yrityksille. (Bhalla et al., 2023; Willner et al., 2016)

Dynaaminen tuotantoympäristö vaatii kykyä reagoida nopeasti muutoksiin, mikä on mahdollista vain, jos tuotannon tietovirrat ovat sujuvia (Järvenpää et al., 2015). Tuotannonsuunnittelu on olemassa olevan kapasiteetin kuormittamista, jonka seurauksena syntyy tuotanto-ohjelma (Miettinen, 1993, s. 36–39). Tuotanto-ohjelman jälkeen kommunikoidaan eteenpäin tuotantoon, eli tuotannonsuunnittelu on yksi osa tuotannon tietovirtoja. Lisäksi tuotannonsuunnittelu edellyttää onnistuakseen tietovirtaa. Tuotannonsuunnittelua varten tarvitaan virheetöntä dataa tuotannosta prosessin läpimenoajasta (Messner et al., 2019) ja toteutuneista tapahtumista (Haverila et al., 2005, s. 426). Näiden tietojen pohjalta tuotantosuunnitelma tehdään, sitä voidaan päivittää ja ajoituksen toteutumista seurata (Haverila et al., 2005, s. 426).

Tämä diplomityö toteutetaan toimeksiantona yritykselle, joka valmistaa asiakasräätälöityjä tuotteita. Diplomityö tehdään yrityksen komponenttitehtaalle, jossa valmistetaan osakokoonpanoja yrityksen tuotteisiin. Diplomityössä hyödynnetään työntutkimusta, joka suuntautuu komponenttitehtaan tuotantoon. Diplomityö käsittelee tuotannon lisäksi tuotannonsuunnittelua sekä näiden kahden vuorovaikutusta. Jatkossa komponenttitehtaasta puhutaan kohdeyrityksenä.

1.2 Työn tavoite, tutkimuskysymykset ja rajaus

Diplomityön tavoitteena on tuottaa kohdeyritykselle työntutkimuksen toimintamalli sekä suunnitelma siitä, kuinka työntutkimusta voisi käyttää apuna valmistusaikojen ennustamisessa. Työn rajoitteisiin kuuluu se, että työ sisältää suunnitelman esittämisen, mutta ei sen käyttöönottoa. Lisäksi osana tätä diplomityötä toteutettu työntutkimus kohdistuu vain osaan tehtaan tuotantosoluista eli työntutkimusta ei testata jokaisessa tuotantosolussa. Diplomityössä selvitetään suurpiirteisesti kohdeyrityksen tuotannonsuunnitteluprosessi, sillä valmistusaikojen ennustaminen on osa sitä. Diplomityön lopputuotoksena syntyvä suunnitelma ei kuitenkaan ota kantaa varsinaisesti tuotannonsuunnitteluprosessin toteuttamiseen, vaan ainoastaan valmistusaikojen ennustamiseen.

Työn tutkimuskysymyksiä on kolme ja ne ovat seuraavat:

- 1) Millainen työntutkimuksen toimintamalli sopisi kohdeyritykselle?
- 2) Miten ja missä tapauksissa työntutkimusta voisi käyttää apuna valmistusaikojen ennustamisessa?
- 3) Millainen on kohdeyrityksen valmistusaikojen ennustus- ja tuotannonsuunnitteluprosessi tällä hetkellä?

1.3 Tutkimusmetodologia

Tämä diplomityö voidaan nähdä tutkimuksellisena kehittämisenä, sillä kyseessä on käytännön haaste, johon etsitään ratkaisua. Ratkaisu kuitenkin nojaa teoriaan ja kehittämistyötä tehdään järjestelmällisesti, analyyttisesti ja kriittisesti. (Ojasalo et al., 2014) Tutkimuksen tutkimusotteeksi valittiin konstrukttiivinen tutkimusote, sillä konstrukttiivinen tutkimusotteella on mahdollista ratkoa reaali maailman ongelmia. Keskeistä konstrukttiivisessä tutkimusotteessa on se, että ratkaisu on jokin konstruktio. (Lukka, 2014)

Tutkimuksellinen kehittäminen

Tutkimuksellinen kehittäminen on Ojasalo et al. (2014, s. 19–20) mukaan käytännön haasteen ratkaisemista niin, että kehittämistyö pohjautuu olemassa oleviin teorioihin. Kuva 1 esittää tutkimuksellisen kehittämisen suhteessa tieteelliseen tutkimukseen ja kehittämiseen arkiajattelulla. Tutkimuksellinen kehitystyö on järjestelmällisempää ja kriittisempää kuin arkiajattelulla kehittäminen (Ojasalo et al., 2014, s. 21). Verrattuna tieteelliseen tutkimukseen tutkimuksellinen kehitystyö pyr-

kii luomaan käytännön parannuksia sekä ratkaisuja, kun taas tieteellisen tutkimuksen tavoitteena on tuottaa uutta teoriaa ilmiöistä (Ojasalo et al., 2014, s. 19). Tutkimuksellisen kehittämisen tavoitteena on käytännön haasteen ratkaisemisen lisäksi pyrkiä tuottamaan uutta tietoa (Ojasalo et al., 2014, s. 19–20). Ojasalon et al. (2014, s. 27) mukaan uudella tiedolla tarkoitetaan sellaista tuotettua tietoa, joka yleisesti ”kehittää ja uudistaa työelämän osaamis- ja tietopohjaa” eikä niinkään uuden teorian luomista, kuten tieteellisessä tutkimuksessa. Lisäksi on tärkeää pohtia, mikä merkitys haasteen ratkaisulla on kokonaisuuden kannalta (Ojasalo et al., 2014, s. 27).



Kuva 1. Tutkimuksellinen kehittämistyö (mukaillen Ojasalo et al., 2014, s. 18)

Tutkimuksellisuus näkyy taustalla olevan teorian lisäksi siinä, että kehitystyö on järjestelmällistä, analyyttistä ja kriittistä. Järjestelmällisyys tarkoittaa, että kaikki valinnat perustellaan, eikä vain tehdä satunnaisia toimenpiteitä. Analyttisyys tarkoittaa sitä, että käytetään erilaisia tiedonkeruu- ja analysointimenetelmiä. Kriittisyys taas tarkoittaa kaiken arviointia ja kyseenalaistamista: prosessin, menetelmien, valintojen ja tuloksien. (Ojasalo et al., 2014, s. 21–22) Ennen tutkimuksellisen kehittämisen kohteena olevan haasteen tarkempaa rajausta on hyvä tehdä taustatyötä eli pyrkiä ymmärtämään toimialaa sekä tehdä havaintoja kohdeyrityksestä. Tärkeää on myös muistaa dokumentoida kaikki prosessin aikaiset havainnot, hankittu tieto ja ajatukset. (Ojasalo et al., 2014, s. 28–30) Kohteesta hankittuja pohjatietoja käyttäen on helpompi rajata ja määrittellä kehitystehtävä sekä päättää lähestymistapa ja menetelmät (Ojasalo et al., 2014, s. 25).

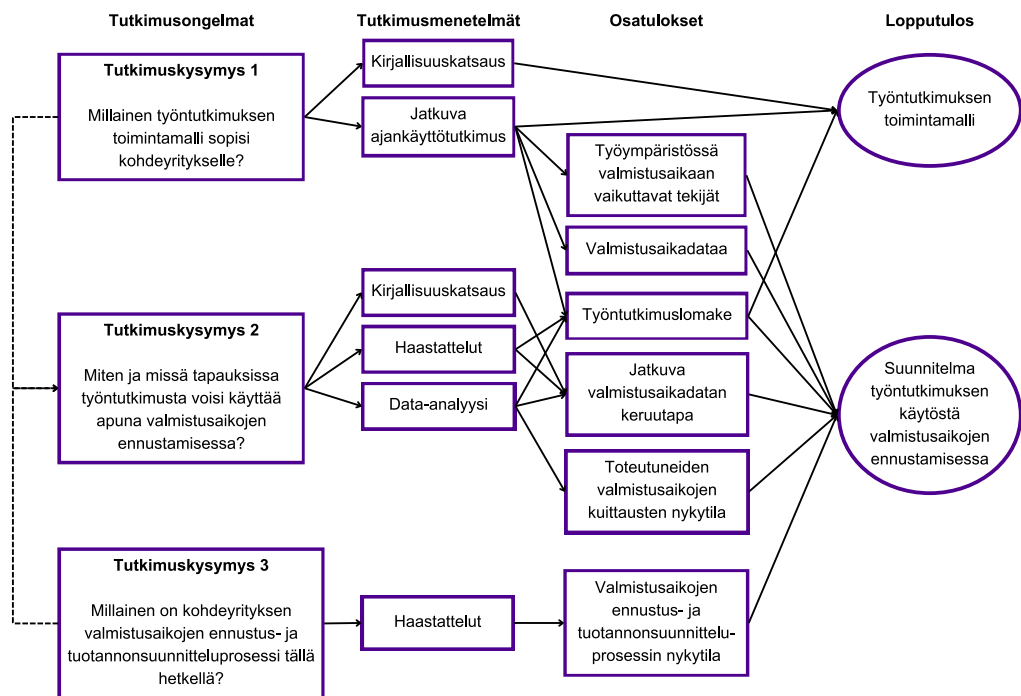
Konstruktiiivinen tutkimusote

Konstruktiiivisella tutkimusotteella ratkaistaan reaali maailman ongelmia luomalla jokin konstruktio, kuten suunnitelma, malli tai tuote, joka kuitenkin linkittyy jollakin tavalla olemassa olevaan teoriaan. Konstruktion toimivuuden testaamista kutsutaan heikoksi markkinatetiksi. (Lukka, 2014) Tämän työn tapauksessa konstruktio on suunnitelma siitä, kuinka työntutkimusta pystytään kohdeyrityksessä käyttämään apuna valmistusaikojen ennustamisessa. Oli konstruktio mikä tahansa, se on kuitenkin aina jotain kehitettyä ja keksittyä, ei ainoastaan löydettyä.

Konstruktio pyrkii havainnollistamaan tai jalostamaan aikaisempaa teoriaa tai luomaan täysin uuden teorian. (Lukka, 2014) Lukan (2014) mukaan konstrukttiivinen tutkimus on luonteeltaan kokeellista ja siinä pyritään vaikuttamaan tosielämään, eikä välttelemään empiiristä häirintää toisin kuin tyypillisissä tutkimuksissa yleensä. Tällainen tutkimus vaatii yhteistyötä tutkijalta sekä käytännön edustajilta ja toteuttajilta. Tavoite on, että lopulta uuden konstruktion lisäksi on tuotettu suuri panos käytännön näkökulman lisäksi myös teoreettisella tasolla. (Lukka, 2014)

Tutkimusmenetelmät

Työn tutkimusmenetelmiksi valittiin työntutkimus, kirjallisuuskatsaus, haastattelu sekä data-analyysi. Kuvassa 2 on esitetty, mihin tutkimuskysymyksiin kullakin tutkimusmenetelmällä vastataan.



Kuva 2. Tutkimusmenetelmät

Tämän työn yksi tavoite on luoda kohdeyritykselle työntutkimuksen toimintamalli. Toimintamalli luodaan toteuttamalla jatkuva ajankäyttötutkimus, joka on yksi työntutkimuksen tapa, ja kehittämällä sitä käyttökokemuksen, saatujen tulosten ja kommenttien perusteella. Työntutkimusta käsitellään lisää luvussa 2.5.

Haastattelun lajeista sopivin vastaamaan tämän työn tutkimuskysymyksiin on teemahaastattelu eli puolistrukturoitu haastattelu. Teemahaastattelussa ei ole etukäteen tarkasti muotoiltuja kysymyksiä, kuten lomakehaastattelussa, vaan tehdyt kysymykset tai päätetyt teemat vain ohjaavat haastattelun kulkua (Hirsjärvi et al., 2010, s. 208). Teemahaastattelun tulokset ovat kvalitatiivista eli laadullista tietoa

(Saunders et al., 2009, s. 318–321). Haastattelua käytetään tässä työssä tutkimusmenetelmänä valmistusaikojen ennustamis- ja tuotannosuunnitteluprosessin nykytilan selvittämiseksi. Lisäksi, kun koostetaan suunnitelmaa työntutkimuksen käytöstä apuna valmistusaikojen ennustamisessa, haastatteluita käytetään palautteen keräämiseen ja suunnitelman kehittämiseen.

Hirsjärvi et al. (2010, s. 206) toteavat haastatteluissa virhelähteitä olevan sekä haastattelija että haastateltavat. Tulosten luotettavuuteen vaikuttaa esimerkiksi se, haluaako haastateltava olla tilanteessa rehellinen. Haastattelu on myös yleensä tilannesidonnaista eli tuloksia ei saa liiaksi yleistää. (Hirsjärvi et al., 2010, s. 206–207) Hirsjärven et al. (2010, s. 231–233) mukaan saattaa olla haastava arvioida kvalitatiivisen tutkimuksen tulosten reliabiliutta ja validiutta niiden määritelmien kautta. Kvalitatiivisessakin tutkimuksessa olisi silti syytä arvioida tulosten luotettavuutta. Haastatteluiden kohdalla on hyvä kertoa tarkasti olosuhteet ja mahdolliset häiriötekijät, jotka ovat saattaneet haastatteluihin vaikuttaa. (Hirsjärvi et al., 2010, s. 231–233)

Kirjallisuuskatsaus on tutkimusmenetelmä, jonka avulla haetaan vastausta tutkimuskysymykseen kartoittamalla aiempaa tietoa asiasta (Kunnela, 2023). Kirjallisuuskatsauksen avulla tässä työssä selvitetään taustateoriaa tuotantojärjestelmästä yleisesti, tuotannonohjauksesta, Engineer to Order -tuotantoympäristöstä ja tuotannon tietojärjestelmistä. Kirjallisuuskatsauksessa tutustutaan aiheista tehtyihin vertaisarvioituihin artikkeleihin sekä tunnettuihin oppikirjoihin. Kirjallisuuskatsauksen avulla selvitetään myös työntutkimuksen periaatteet ja menetelmät pohjaksi toteutettavalle työntutkimukselle sekä toimintamallin kehitykselle. Data-analyysi on tutkimusmenetelmä, jolla pyritään löytämään raakadatasta tärkeä tieto sekä visualisoimaan sitä (Meltwater, 2022). Data-analyysiä käytetään tässä työssä ERP:stä (Enterprise Resource Planning, suom. toiminnanohjausjärjestelmä) löytyvän valmistusaikadatan analysoimiseen.

1.4 Työn rakenne

Työ alkaa johdannolla, jossa esitellään työn tausta, tavoite, tutkimuskysymykset ja rajaus. Lisäksi keskustellaan työn tutkimusmetodologiasta sekä työhön valituista tutkimusmenetelmistä. Toinen luku on kirjallisuuskatsaus diplomityön aiheista, kuten tuotantojärjestelmästä yleisesti, tuotannonohjauksesta, Engineer to Order -tuotantoympäristöstä ja tuotannon tietojärjestelmistä. Luvun lopussa kerrotaan myös työntutkimukseen liittyvästä teoriasta.

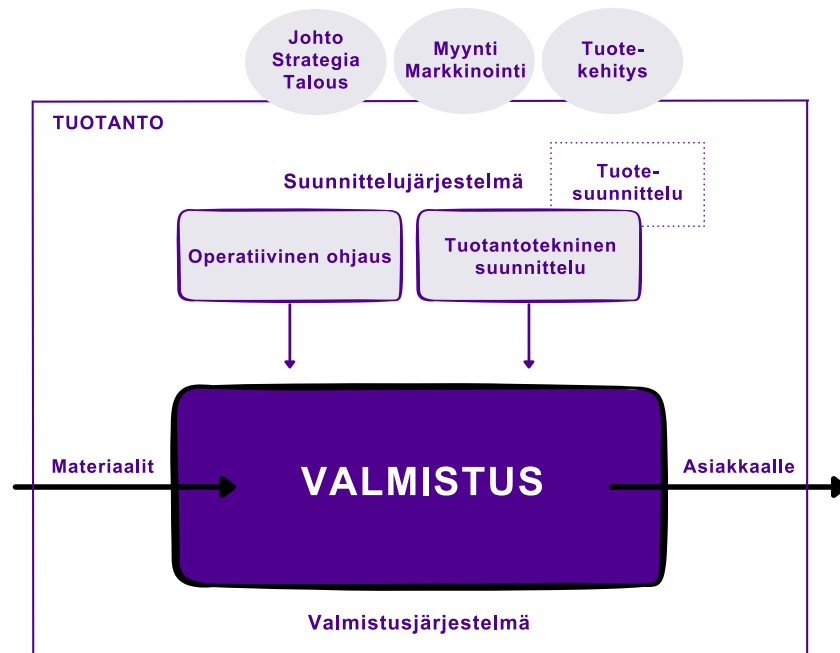
Kolmas luku keskittyy työn toteutukseen: siihen, miten tutkimusmenetelmiä käytettiin ja mitä tehtiin. Luvun alussa on myös avattu yrityksen valmistamien tuotteiden rakennetta. Neljäs luku esittelee lyhyesti työntutkimuksen tulokset sekä diplomityön päätuloksen eli suunnitelman valmistusaikadatan seurannasta ja työntutkimuksen käytöstä valmistusaikojen ennustamisessa. Luvussa viisi arvioidaan menetelmien ja tulosten luotettavuutta. Lisäksi vastataan vielä tutkimuskysymyksiin sekä keskustellaan työn tuloksista. Luvun lopussa esitetään kehitysehdotukset, joiden avulla työn päätulosta voidaan viedä vielä pidemmälle. Luku kuusi on yhteenveto koko työstä.

2. TUOTANNONOHJAUS ENGINEER TO ORDER - TUOTANNOSSA

Tuotantojärjestelmä koostuu valmistus- ja suunnittelujärjestelmästä. Tämä luku käsittelee suunnittelujärjestelmästä erityisesti operatiivista suunnittelua, jonka yksi tehtävä on tehdä tuotantosuunnitelma tuotteiden työvaiheiden ja valmistusaikojen, kapasiteetin ja ajoitusperiaatteiden pohjalta. Valmistusaikojen ennustaminen Engineer to Order -tuotannossa on vuorovaikutusta valmistus- ja suunnittelujärjestelmän välillä, joten aihetta käsitellään näiden järjestelmien vuorovaikutuksen näkökulmasta. Myös tuotannon tietojärjestelmät ja niiden tehokas käyttö on tärkeä osa valmistusaikojen ennustamista, joten niitä käsitellään luvun lopussa. Viimeisenä tässä luvussa käydään läpi työntutkimuksen teoriaa.

2.1 Tuotantojärjestelmä

Valmistavalle yritykselle tuotanto on keskeisin toiminto. Tuotanto koostuu edelleen toiminnoista, jotka tarvitaan, että valmistettava tuote saadaan aikaiseksi. (Haverila et al., 2005, s. 350-352) Lapinleimu et al. (1997, s. 15) kutsuvat tätä tuotantojärjestelmäksi. Lapinleimu et al. (1997, s. 15) jakavat tuotantojärjestelmän kuvan 3 mukaisesti valmistusjärjestelmään ja suunnittelujärjestelmään. Suunnittelujärjestelmän tarkoitus on palvella ja tukea valmistusjärjestelmää, joka tekee jalostavan työn (Lapinleimu et al., 1997, s. 15) eli jonka aikana materiaali muutetaan tuotteeksi työn avulla (Haverila et al., 2005, s. 350–352). Suunnittelua tapahtuu yrityksessä monella eri tasolla. Pitkällä aikavälillä yrityksessä tehdään kehittävää suunnittelua, joka sisältää tuotekehitystä, investointien suunnittelua sekä uusien teknologioiden soveltamisen suunnittelua. (Lapinleimu et al., 1997, s. 20–21) Sen lisäksi on tuotantojärjestelmässä tapahtuvaa suunnittelua. Kuvassa 3 myös tuotesuunnittelu on asetettu tuotantojärjestelmään Lapinleimu et al. (1997) alkuperäisestä mallista poikkeavasti, sillä ETO-tuotannossa tuotesuunnittelu on massatuotantoa enemmän läsnä tuotteiden valmistuksessa, kun jokainen tuote on asiakasräätälöity. Tuotesuunnittelun vastuulla on tuotteen rakenne, kokoonpanon piirustukset, osaluettelo ja osien piirustukset (Lapinleimu et al., 1997, s. 20).



Kuva 3. Tuotantojärjestelmä (mukaan Lapinleimu et al., 1997, s. 15, 18-19)

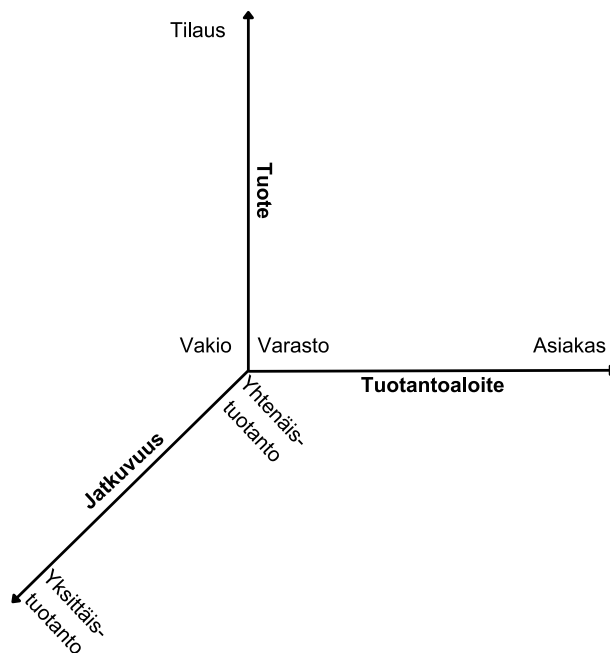
Muita yrityksen toimintoja tuotannon ympärillä ovat esimerkiksi yrityksen johto, talous, hallinto, myynti, markkinointi ja tuotekehitys (Miettinen, 1993, s. 9). Myynti ja markkinointi vastaavat tuotteen vaatimusmäärittelyistä ja kysynnän sekä tilauksien ennakoimisesta. Tuotekehityksen vastuulla on tuoterakenteen määrittely sekä tuotantojärjestelmän vaatimusten suunnittelu. (Martinsuo, 2016) Martinsuo (2016) lisää Miettisen luettelemiin yrityksen toimintoihin vielä hankinnan ja logistiikan. Hankinta ja logistiikka huolehtii varaston hallinnasta, kuljetuksista ja alihankinnasta. (Martinsuo, 2016)

Valmistusjärjestelmä

Tehtaan valmistusjärjestelmä on se osa, joka tekee jalostavan työn ja valmistaa tuotteet. Valmistusjärjestelmä koostuu valmistusyksiköistä, jotka valmistavat osia tai tekevät kokoonpanon, yksiköiden välisestä logistisesta järjestelmästä sekä tukiyksiköistä. Valmistusyksiköt voidaan järjestää eri tavoin: tuotantolinjoiksi, soluiksi tai funktionaalisuuden mukaan. (Lapinleimu et al., 1997, s. 79) Soluksi kutsutaan itsenäistä ryhmää, joka on erikoistunut valmistamaan tiettyjä osia tai tekemään tiettyä työvaihetta. (Haverila et al., 2005, s. 477–478) Solun henkilöstö on usein moniosaajia, jotka osaavat tehdä kaikki solun työtehtävät. Solussa henkilöstö tasaa-kin kuormaa vaihtamalla ja jakamalla omatoimisesti työtehtäviä. (Lapinleimu et al., 1997, s. 85–87) Solulayout on joustavampi vaihtoehto kuin tuotantolinja (Haverila et al., 2005, s. 477–478), sillä solun tekemistä pystyy paremmin mukauttamaan

esimerkiksi tuotteiden vaihtuviin vaatimuksiin. Solun tuotannonohjaus on helppoa, koska se muodostaa yhden kuormituspisteen eli sitä käsitellään yhtenä yksikkönä, eikä sen sisäisiä työvaiheita ominaan (Haverila et al., 2005, s. 477–478). Lisäksi yleensä solun sisällä ei yleensä ole odotusaikaa tai sitä on hyvin vähän (Lapinleimu et al., 1997, s. 85–87).

Tuotantomuoto tarkoittaa sitä, miten tuotanto toteutetaan. Tuotantomuotoon vaikuttaa tuote, tuotantoaloitteen synty ja valmistuksen jatkuvuus (Martinsuo, 2016; Miettinen, 1993, s. 29), jotka on esitetty kuvassa 4.



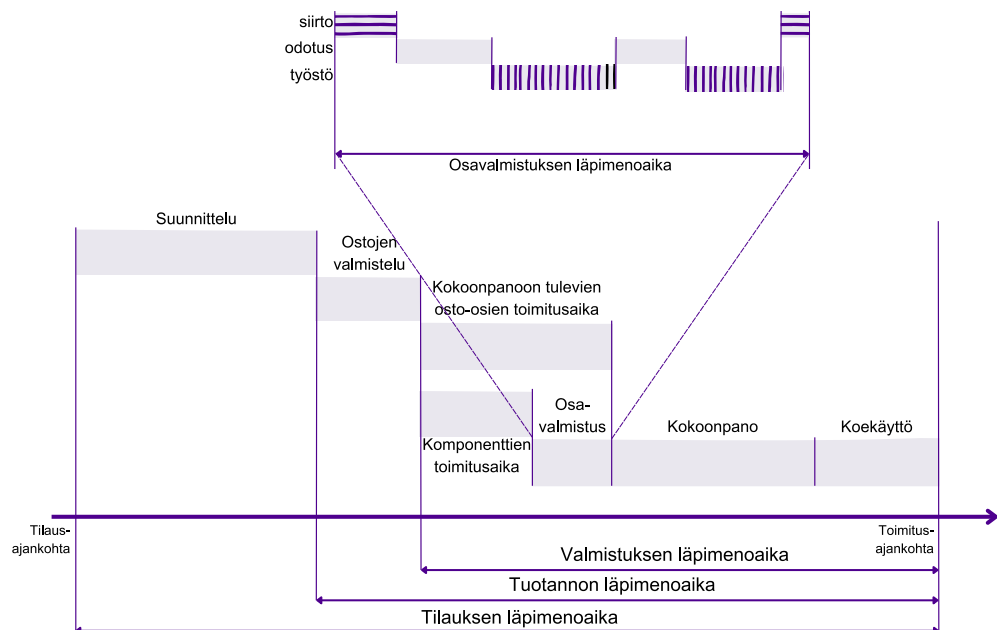
Kuva 4. Tuotantomuotoon vaikuttavat tekijät (mukailen Martinsuo, 2016)

Tuotantoaloite, eli käsky aloittaa tuotteen valmistus, voi syntyä asiakas- tai varastolähtöisesti. Varasto-ohjautuvassa tuotannossa valmistusimpulssi syntyy varastosaldon laskiessa tietyn rajan alle, kun taas asiakasohjautuvassa impulssi tulee asiakkaan tilauksesta. Tuotteet voidaan jakaa vakio- ja tilaustuotteiksi. Tilaustuotetta valmistetaan vain tilauksesta ja usein tilaustuotteen kohdalla asiakkaalla on vaikutusmahdollisuus tuotteeseen. Kun tuote on tilaustuote, tuotantoaloite syntyy asiakasohjautuvasti. (Miettinen, 1993, s. 29–31) Tilausohjaus on välttämätön silloin, kun tuotteet asiakasvarioituvia (Lapinleimu, 2000, s. 109–110). Toisaalta tuotanto voi olla tilausohjautuvaa, vaikka tuote ei olisikaan asiakasvarioituva. Miettinen (1993, s. 30–31) kertoo, että tuotantoprosessin jatkuvuus tarkoittaa jakoa yksittäis-, sarja- ja yhtenäistuotantoon. Yksittäistuotannossa valmistetaan tuote kerrallaan ja silloin suunnittelun osuus koko prosessista on usein suuri. Sarjatuotannossa tuotteita valmistetaan usean kappaleen eränä, joka toistuu tietyin väliajoin.

Yhtenäistuotannossa valmistetaan samaa tuotetta iso määrä kerrallaan. Kyseessä voi olla prosessituotanto, kuten kemianteollisuudessa tai tuotantolinja, jolla valmistetaan kappaletavaraa. (Miettinen, 1993, s. 30–31)

Läpimenoaika

Läpimenoaika tarkoittaa aikaa, joka kuluu kokonaisuuden alkamisesta sen valmiiksi saamiseen ja se voidaan määrittää erilaisille kokonaisuuksille (Lapinleimu et al., 1997, s. 53). Kuvassa 5 näkyy tilauksen, tuotannon, valmistuksen ja osavalmistuksen läpimenoajat. Lapinleimun et al. (1997, s. 54) mukaan tilauksen läpimenoaika alkaa suunnittelun täsmennyksellä, mutta ETO-tuotannossa myös suunnittelu kuuluu tilauksen läpimenoaikaan (Little et al., 2000). Valmistuksen läpimenoajasta usein valtaosa on odotusaikaa ja vain pieni osa jalostavaa aikaa. Lisäksi on siirtoaikaa, joka tarkoittaa materiaalien, puolivalmiiden tuotteiden sekä osakokoonpanojen siirtelyä. (Lapinleimu et al., 1997, s. 53) Täten, kun on tarve lyhentää läpimenoaikaa, helpointa on poistaa ensin turhat odotukset sekä siirtelyt ennen kuin lyhennetään jalostavaa aikaa.



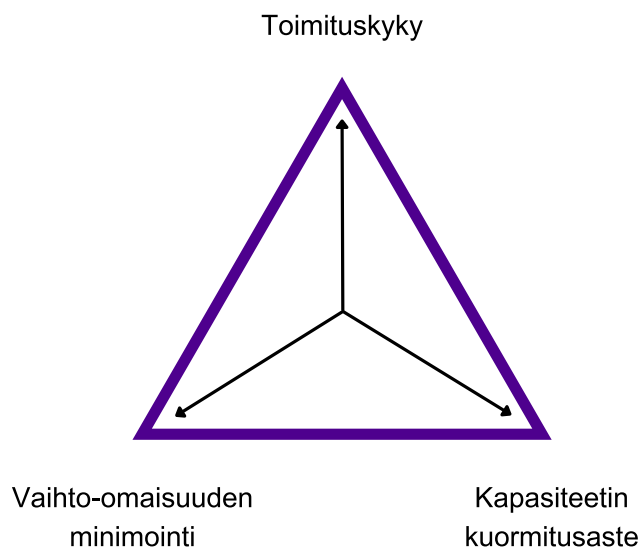
Kuva 5. Läpimenoaika (mukailen Lapinleimu et al., 1997, s. 54)

Läpimenoaika on tärkeä käsite liittyen toimituspäivämäärän määrittämiseen ja tuotannonohjaukseen. Burggräf et al. (2020) mainitsevat, että pätevä läpimenoajan ennuste auttaa toimituspäivän päättämässä hyvissä ajoin. Lisäksi se auttaa tunnistamaan poikkeamat aikataulusta, mikä mahdollistaa edelleen reagoinnin mahdollisimman aikaisin sekä ripeästi (Burggräf et al., 2020). Jos ennustetta ei ole tai se ei ole pätevä tai tarkka, on vaikea luvata toimitusaikataulua tai tietää, ollaanko

aikataulussa. Burggräf et al. (2020) myös muistuttaa, että myöhästyminen toimituspäivästä aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia sekä mainehaittaa.

Tuotannon läpimenoaika on hyvä mittari, kun parannetaan tuotannon joustavuutta ja pienennetään varastoja (Miettinen, 1993, s. 25). Läpimenoaikaa on mahdoton saada lyhyeksi huonolla toiminnalla, joten lyhyt läpimenoaika kertoo toimivasta, tehokkaasta ja joustavasta tuotantojärjestelmästä (Lapinleimu et al., 1997, s. 55). Lyhyet läpimenoajat aiheuttavat myös sen, että virheet pysäyttävät helposti koko tuotannon, jolloin ne tulevat näkyvämmiksi ja niihin on motivaatiota puuttua herkemmin (Haverila et al., 2005, s. 407). Läpimenoajan lyhentäminen edellyttää esimerkiksi (Haverila et al., 2005, s. 406):

- Välivarastojen poistamista, jotta tuotteet eivät odota kesken prosessin
- Eräkoon pienentämistä, jotta erä saadaan menemään nopeasti prosessin läpi
- Materiaalivirran ja layoutin selkeyttämistä, jotta kuljetusajat pienenevät
- Asetusaikojen lyhentämistä, jotta odotusaika lyhenee ja pienet eräkoot ovat kannattavia



Kuva 6. Tuotannonohjauksen tavoitteiden ristiriitaisuus (mukaihen Haverila et al., 2005, s. 404)

Tuotannonohjauksen tavoitteet eli toimituskyky, vaihto-omaisuuden minimointi ja kapasiteetin kuormitusaste, jotka näkyvät kuvassa 6, ovat keskenään ristiriitaisia ja hankalia saavuttaa samanaikaisesti (Haverila et al., 2005, s. 403). Vaihto-omaisuuden minimointi tarkoittaa varastojen pienentämistä, jolloin toimituskyky saattaa kärsiä. Kapasiteetin korkea kuormitusaste on helpompi saavuttaa tehdessä isoja

eriä, jolloin asetusajat jäävät pieniksi tuotetta kohden, mutta se taas aiheuttaa välivarastoja eli sitoo vaihto-omaisuutta. Haverila et al. (2005, s. 404) toteavat läpimenoajan lyhentämisen olevan hyvä ratkaisu toteuttamaan kaikki kolme tavoitetta. Läpimenoaikojen lyhentäminen mahdollistaa samanaikaisesti vaihto-omaisuuden eli välivarastojen minimoinnin sekä pysymisen toimitusajoissa (Haverila et al., 2005, s. 404).

2.2 Tuotannonohjaus

Suunnittelua tapahtuu yrityksessä monella eri tasolla, kuten luvussa 2.1 mainittiin. Suunnittelujärjestelmä koostuu tuotesuunnittelusta, tuotantoteknisestä suunnittelusta ja operatiivisesta ohjauksesta eli tuotannonohjaamisesta (Lapinleimu et al., 1997, s. 20–21). Yrityksen toinen ohjaava toiminto tuotannonohjauksen lisäksi on toiminnanohjaus. Ohjaus tarkoittaa Haverila et al. (2005, s. 397) mukaan suunnittelua, päätöksentekoa, toteutusta ja valvontaa. Toiminnanohjaus on yrityksen koko tilaus-toimitusketjun ja sen eri toimintojen sekä tehtävien ohjausta (Haverila et al., 2005, s. 397). Tuotannonohjaus taas on yrityksen oman tuotannon eli tuotteen aikaansaamiseksi tarvittavien toimintojen ja tehtävien suunnittelua sekä hallintaa (Martinsuo, 2016). Toiminnanohjaus pyrkii ohjaamaan yrityksen toimintaa (Haverila et al., 2005, s. 397) ja tuotannonohjaus sovittamaan yhteen tuotantojärjestelmän eri osat niin, että tuotannon tavoitteisiin päästään (Miettinen, 1993, s. 23). Näitä tuotannon tavoitteita ovat (Haverila et al., 2005, s. 402; Miettinen, 1993, s. 13-14):

- Toimitusajan nopeus ja sitäkin tärkeämpänä toimitusvarmuus eli asiakkaille annettuihin toimitusaikalupauksiin pääseminen
- Joustavuus – edellytykset toimitusvarmuudelle muuttuvissakin olosuhteissa
- Laatu – asiakasvaatimusten täyttäminen sekä sisäinen laatu, jottei tarvitse korjata tai tehdä uudelleen viallisia tuotteita ja siten tehdä turhaa työtä
- Mahdollisimman alhaiset kustannukset, jotta saatava kate on mahdollisimman suuri ja vaihto-omaisuuden minimointi

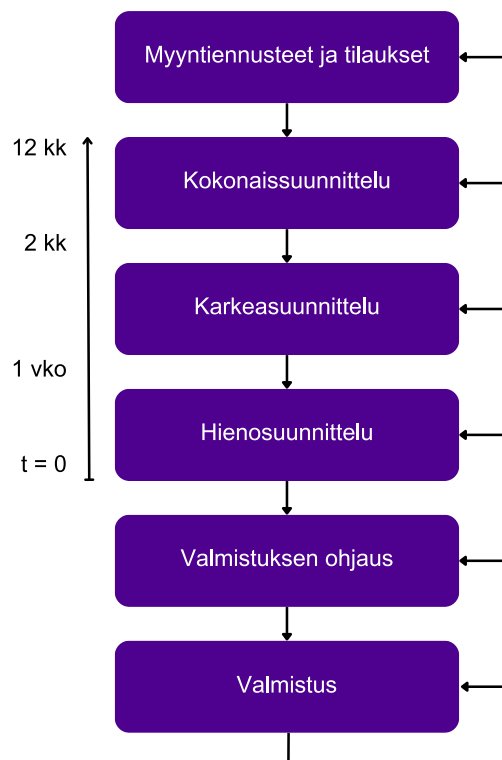
Toimitusaika tarkoittaa asiakkaalle aikaa, joka alkaa tilauksen tekemisestä ja päättyy siihen, kun tuote on toimitettu. Toimitusaikaan vaikuttaa yrityksen koko toimitusketjun läpimenoaika. (Miettinen, 1993, s. 25) Nopea toimitus on valttia etenkin asiakasohjautuvassa tuotannossa, jossa toimitusaika on usein melko pitkä (Haverila et al., 2005, s. 357). Kuitenkin ostaessaan tuotteen asiakas hyväksyy sovitun

toimitusajan. Sen jälkeen asiakas odottaa tuotteen tulevan siinä ajassa, joten yrityksen tehtävä on lunastaa toimitusaikalupaus. Virheet toiminnassa johtavat herkästi toimitusvarmuuden sakkaamiseen (Haverila et al., 2005, s. 357). Toimitusvarmuudesta puhutaan usein prosenttilukuna, joka muodostuu kaavan (1) mukaan (Miettinen, 1993, s. 25). Etenkin, jos tuotteen valmistusprosessissa on mukana useampi yritys tai toimija, on toimitusvarmuus tärkeää, sillä myöhästyminen heijastuu ja kertaantuu muutoin prosessin myöhemmissä vaiheissa (Miettinen, 1993, s. 26).

$$\text{Toimitusvarmuus} - \% = \frac{\text{Ajoissa toimitetut}}{\text{Kaikki toimitukset}} \times 100 \% \quad (1)$$

Tuotannonohjauksen prosessi

Tuotannonohjaus on vaiheittain etenevä prosessi, jonka aikana pitkän aikajänteen tuotantostrategia sekä kysynnän ennusteet muutetaan valmistusta ohjaavaksi tiedoksi (Martinsuo, 2016) samalla pyrkien tuotannon tavoitteisiin. Tuotannonohjausprosessi on esitetty kuvassa 7 ylhäältä alaspäin etenevästi. Aikajännettä on kuvattu vasemmassa reunassa niin, että ajanhetkellä $t = 0$ valmistus voi alkaa ja ylöspäin mentäessä siirrytään kauemmaksi valmistusajankohdasta.



Kuva 7. Tuotannonohjausprosessi (mukailien Haverila et al., 2005, s. 409; Martinsuo, 2016)

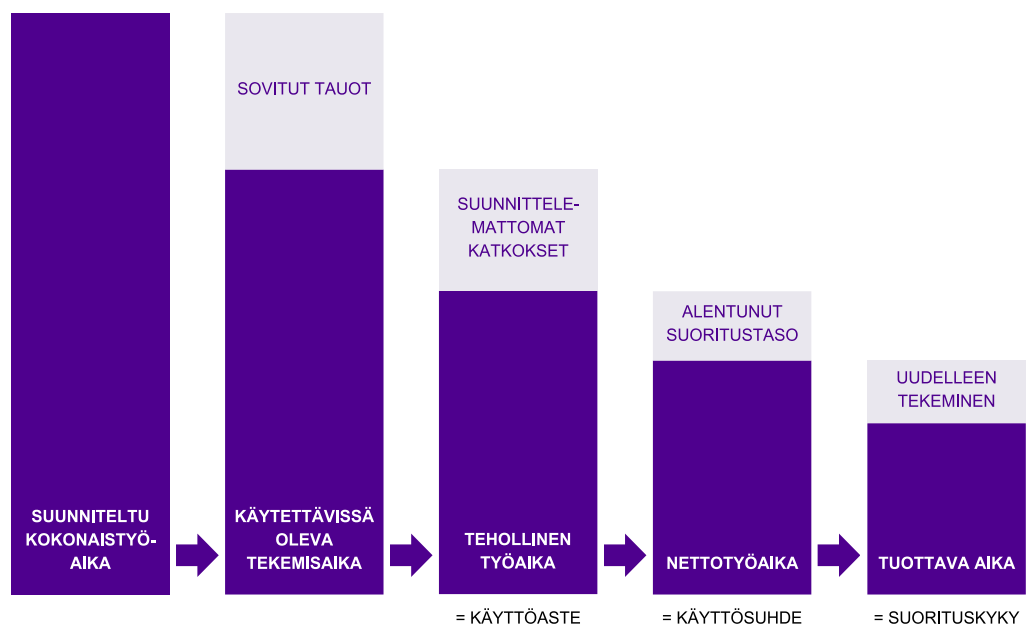
Rullaavan suunnittelun periaate tarkoittaa sitä, että suunnitelmia tarkennetaan ja niistä tehdään yksityiskohtaisempia, mitä lähemmäksi toteutusajankohtaa ja alemmaksi organisaatiota mennään. (Haverila et al., 2005, s. 409–410) Tuotannonohjausprosessissa tapahtuu poikkeamiin reagointia sekä uudelleenjärjestelyä jatkuvasti (Haverila et al., 2005, s. 411–412). Tätä uudelleenjärjestelyä kuvaa prosessin vaiheista takaisin päin menevät nuolet kuvassa 7. Kaikilla yrityksillä ei ole tarvetta jokaiselle suunnittelun kolmesta (kokonais-, karkea- ja hienosuunnittelu) portaasta. Erityisesti pienemmille yrityksille voi kaksikin porrasta olla tarpeeksi. (Haverila et al., 2005, s. 411–412) Lisäksi eri suunnitteluportaiden aikajänteet riippuvat valmistettavista tuotteista ja tuotantomuodosta.

Myyntiennusteet ja tilaukset tarvitaan lähtötiedoiksi kokonaissuunnittelulle (Martinsuo, 2016). Kokonaissuunnittelu on osa vuotuista budjetointia ja siinä tehdään kokonaisvolyymia koskevat suunnitelmat. Osana kokonaissuunnittelua määritetään lisäksi resurssien ja kapasiteetin tarve sekä varastotasot. (Haverila et al., 2005, s. 411–412) Kokonaissuunnittelusta seuraava vaihe on karkeasuunnittelu eli aikataulusuunnittelu. Karkeasuunnittelu ei perustu enää niinkään ennusteisiin vaan jo tehtyihin tilauksiin (Haverila et al., 2005, s. 415–418). Karkeasuunnittelun tehtäviin kuuluu resurssien käytön sopeuttaminen menekkiä vastaavalle tasolle (Haverila et al., 2005, s. 415–418) ja kuormitusryhmien kuten solujen kuormittaminen (Martinsuo, 2016). Kuormitusta suunniteltaessa kannattaa tarkastella erityisesti pullonkauloja (Martinsuo, 2016). Karkeasuunnittelun osana tehdään karkea aikataulutus ja pyritään varmistamaan toimituskyky (Haverila et al., 2005, s. 415–418). Tilausohjautuvassa tuotannossa lupaukset toimituspäivämääristä asiakkaille perustuvat karkeasuunnitelmaan. (Martinsuo, 2016)

Hienosuunnittelu tarkentaa karkeasuunnittelun aikatauluja eli tehtävänä on tarkan tuotantosuunnitelman tekeminen ja työvaiheiden ajoitus (Haverila et al., 2005, s. 415–418). Hienosuunnittelua kutsutaan myös resurssisuunnitteluksi (Martinsuo, 2016), sillä siihen kuuluu resurssien käytön tarkempi suunnittelu (Haverila et al., 2005, s. 415–418). Työt kohdennetaan resursseille niin, että pystytään toteuttamaan annetut tehtävät (Hicks et al., 2007). Perustana hienosuunnittelulle on karkea tuotantosuunnitelma ja tieto työvaiheista sekä niiden kestoista (Haverila et al., 2005, s. 415–418). Käytössä olevat resurssit koostuvat työvuorojen määrästä ja pituuksista, ylityömahdollisuudesta, alihankinnasta ja ulkoistuksista (Hicks et al., 2007). Resurssien kuormitusta varten on tärkeää tietää valmistuksen todellinen tilanne, kuten jättämät, työjonot ja häiriöt (Haverila et al., 2005, s. 415–418). Hienosuunnittelun etu on, jos tuotantoprosessi on mahdollisimman itseohjautuva, ettei

jokaista yksittäistä työvaihetta tarvitse ohjata. (Haverila et al., 2005, s. 415–418) Tämä toteutuu Miettisen (1993, s. 33–34) mukaan hyvin ainakin tuotantosolussa, jota ohjataan yksikkönä, eikä erikseen työvaiheita solun sisällä. Hienosuunnittelun peruseriaatteita ovat asetusajojen minimointi, pullonkaulojen kuormituksen maksimointi sekä tuotantoaikataulun optimointi niin, että ristiriitaisista periaatteista huolimatta löytyy paras mahdollinen aikataulu (Martinsuo, 2016). Lopulta valmistuksen ohjauksen tehtävänä on luoda ja saattaa yksityiskohtainen informaatio valmistuksen tietoon esimerkiksi työmääräinten muodossa (Martinsuo, 2016).

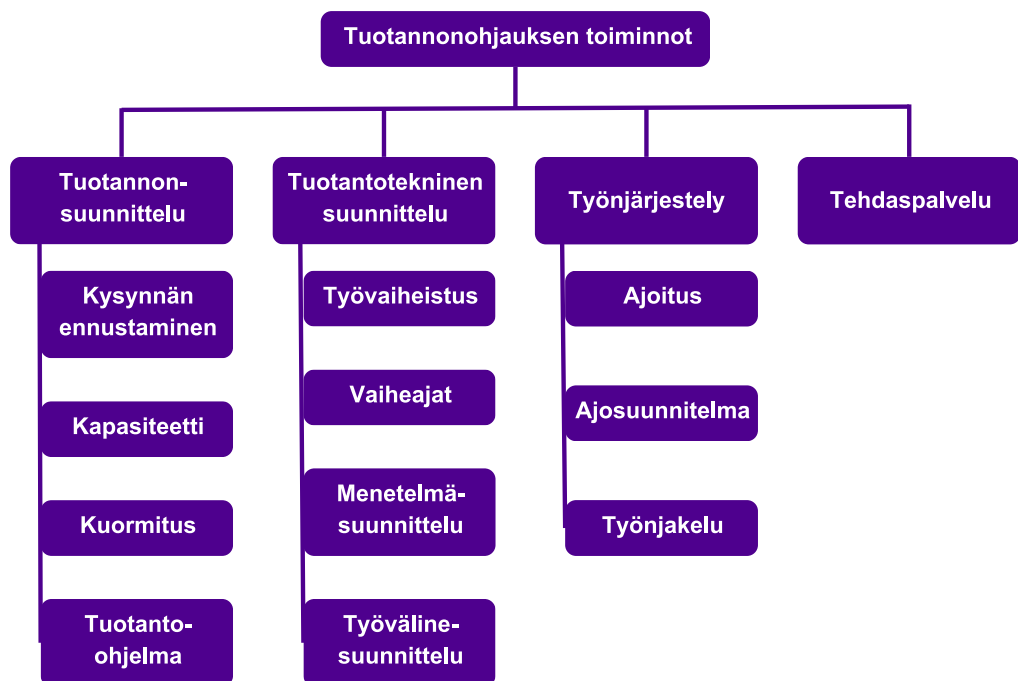
Kun määritetään olemassa olevia resursseja, on hyvä ottaa huomioon lisäksi se, kuinka paljon työntekijällä todellisuudessa on työaikaa. Tuottava aika ei vastaa suunniteltua kokonaistyöaikaa. Työajan jakautuminen on esitetty kuvassa 8. Osa kokonaistyöajasta kuluu työntekijän sovittuihin taukoihin, jos koneet eivät pysty jatkamaan työskentelyä ilman työntekijää. Kun sovitut tauot vähennetään kokonaistyöajasta jäljelle jää käytettävissä oleva tekemisaika. Tämän jälkeen saattaa työtä haitata kuitenkin häiriöt, odottamiset ja tiedonpuute, joten tehollista työaikaa jää vähemmän kuin oli käytettävissä olevaa tekemisaikaa. Tehollisen työajan suhdetta kokonaistyöaikaan kutsutaan käyttöasteeksi. Kun otetaan huomioon mahdollisesti alentunut suoritustaso, jää jäljelle nettotyöaika, jonka suhde kokonaistyöaikaan on käyttösuhte. Vasta, kun uudelleen tekeminen laatuvirheiden tai korjaustoimien takia on laskettu työajasta pois, jää jäljelle varsinainen tuottava aika. Tuottavan ajan suhde kokonaistyöaikaan on suorituskky. (Laine, n.d., s. 4)



Kuva 8. Todellinen työaika (mukaillen Laine, n.d., s. 4)

Tuotannonohjauksen toiminnot

Tuotannonohjaus on toiminto eli se ei välttämättä ole oma yksikkönsä yrityksessä (Lapinleimu et al., 1997, s. 192). Tuotannonohjaus voidaan myös jakaa pienempiin toimintoihin ja tehtäviin. Miettisen (1993, s. 36–39) mukaan toiminnot koostuvat tuotannosuunnittelusta, tuotantoteknisestä suunnittelusta, työnjärjestelystä sekä tehdaspalvelusta. Kuvassa 9 näkyy, mitä tehtäviä jokaiseen toimintoon sisältyy. Eroa Lapinleimun malliin on se, että Lapinleimun mukaan tuotantotekninen suunnittelu ei ole osa operatiivista ohjausta eli tuotannonohjausta vaan oma toimintonsa suunnittelujärjestelmässä. Jos vertaa kuvan 7 tuotannonohjausprosessia ja kuvan 9 tuotannonohjauksen toimintoja, tulee huomata, ettei yksi toiminto vastaa yhtä vaihetta prosessissa, vaan toiminnot tapahtuvat ristiin eri vaiheissa.



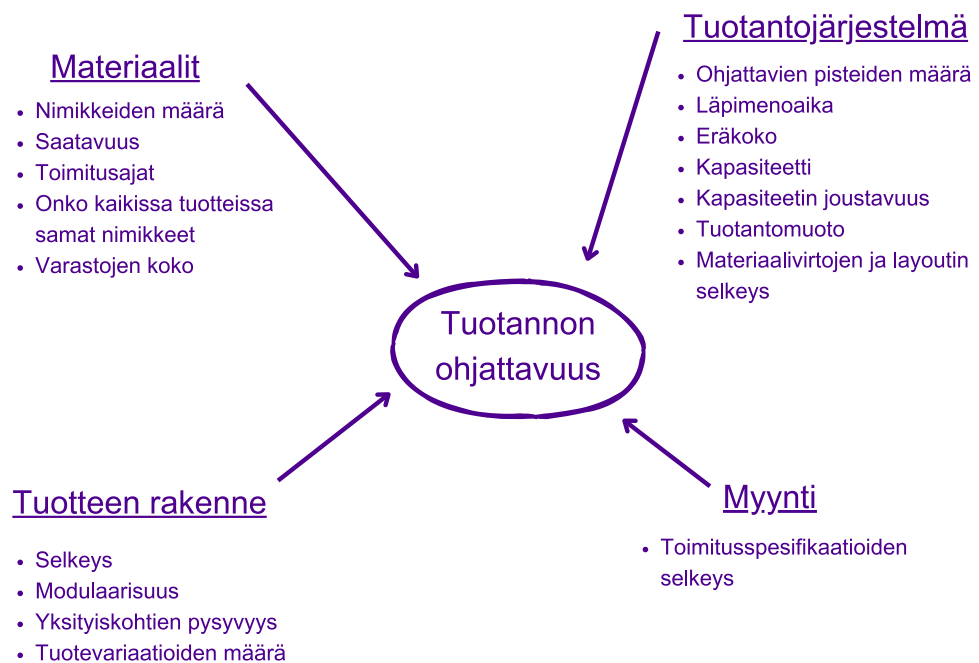
Kuva 9. Tuotannonohjauksen toiminnot

Tuotannosuunnittelun päämäärä on tuotanto-ohjelma, jota varten tulee ennustaa kysyntä, selvittää kapasiteetti ja tasata kuormitus. Tavoitteena on tasapainottaa kysyntä ja kapasiteetti niin, että kuormitus on tasaista ja toimitusaikalupauksista pystytään pitämään kiinni. (Miettinen, 1993, s. 36–39) Lapinleimu et al. (1997, s. 192) mainitsevat, että tuotanto-ohjelman tulee olla linjassa toimitusaikojen kanssa, mutta sen tulisi lisäksi olla realistinen. Tuotanto-ohjelman tulee olla toteuttajien tiedossa ja heidän tulee saada valmistusimpulssit ohjelman mukaisesti (Lapinleimu et al., 1997, s. 192). Tuotannosuunnittelu tarvitsee tuoterakenteen tuotesuunnittelulta, jotta kuormitusta on mahdollista arvioida (Martinsuo, 2016).

Tuotantotekninen suunnittelu luo perustan tuotannosuunnittelulle, sillä siihen kuuluu valmistuksen työvaiheistuksen selvittäminen sekä työvaiheiden vaiheajojen selvittäminen. Vaiheajoja tarvitaan tuotannosuunnitteluun, jotta osataan kuormittaa koneita ja ihmisiä oikein ja luvata oikeat toimitusajat. Lisäksi vaiheajat ovat tärkeä tieto työn hinnoittelun kannalta. Tuotantotekninen suunnittelu on myös työvaiheisiin tarvittavien työvälineiden ja menetelmien valitsemista. (Lapinleimu et al., 1997, s. 20; Miettinen, 1993, s. 40) Työnjärjestely sijoittuu lähitulevaisuuteen ja siihen kuuluu töiden ajoitus kalenteriin, sijoitus eri työpisteille sekä töiden järjestyksen laatiminen. Tehtävänä on myös varmistaa, että valmistusta varten on kaikki tarvittavat materiaalit, suunnitelmat ja piirustukset olemassa. (Miettinen, 1993, s. 41–42)

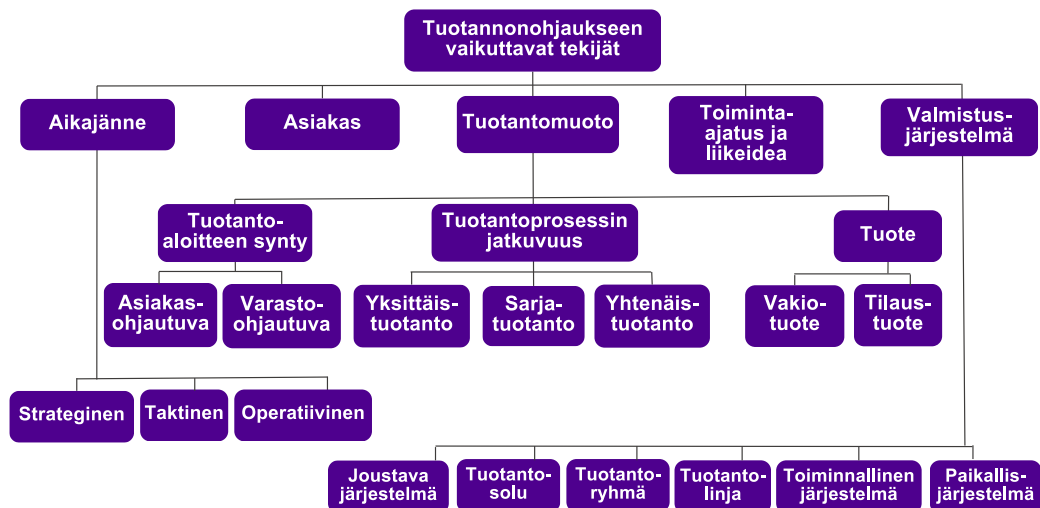
Ohjattavuuteen ja ohjaukseen vaikuttavat tekijät

Tuotannon ohjattavuus tarkoittaa sitä, kuinka hyvin tuotantojärjestelmä kykenee saavuttamaan tuotannon tavoitteet muuttuvissa olosuhteissa (Haverila et al., 2005, s. 405). Ohjattavuus on hyvä silloin, kun tuotantoprosessi ja resurssit voidaan sopeuttaa uusiin tuotteisiin ja tilauksiin. Osa ohjattavuuteen vaikuttavista tekijöistä on ulkoisia, esimerkiksi markkinoihin liittyviä, joihin pitää pyrkiä vain sopeutumaan. (Miettinen, 1993, s. 24) Sisäisiin tekijöihin voidaan kuitenkin vaikuttaa. Ohjattavuuteen vaikuttavat sisäiset tekijät ovat koottuna kuvassa 10.



Kuva 10. Tuotannon ohjattavuuteen vaikuttavat sisäiset tekijät

Lapinleimu et al. (1997, s. 231–234) nimeävät useita sisäisiä ohjattavuuteen vaikuttavia tekijöitä neljässä eri kategoriassa: materiaalit, tuotantojärjestelmä, tuotteen rakenne ja myynti. Lisäksi Miettinen (1993, s. 24) mainitsee varastojen koon ja tuotevariaatioiden määrän. Haverila et al. (2005, s. 405) mainitsevat materiaali-
virtojen ja layoutin selkeyden, kapasiteetin joustavuuden sekä tuotantomuodon. Lyhyesti voisi siis sanoa, että ohjattavuus on hyvä, kun tuotteet on selkeästi määriteltä, niiden valmistuksen kestot tiedetään, läpimenoaika on lyhyt ja tehtaan layout selkeä. Kun tuotteet ovat selkeästi määriteltä, tuotteet on helppo sijoittaa tuotantoaikatauluun, eikä valmistuksessakaan tule vastaan enää yllätyksiä. Valmistusajat tuotteille on tiedettävä tai osattava arvioida, jotta tuotteet voidaan sijoittaa tuotantoaikatauluun. Haverilan et al. (2005, s. 405) mukaan tuotannon ohjattavuutta voi parantaa esimerkiksi läpimenoaikoja lyhentämällä, virheitä ja häiriöitä poistamalla, layoutia selkeyttämällä ja itseohjautuvuutta lisäämällä.



Kuva 11. Tuotannonohjaukseen vaikuttavat tekijät

Siihen, miten tuotantoa ohjataan, vaikuttaa aiemmin luvussa 2.1 mainitun tuotantomuodon lisäksi aikajänne, asiakas, toiminta-ajatus ja liikeidea sekä valmistusjärjestelmä, kuten yllä olevasta kuvasta 11 nähdään. Aikajänne, eli ennen toteutusajankohtaa jäljellä oleva aika, vaikuttaa siihen, kuinka tarkkoja ohjaussuunnitelmia tehdään. Mitä lähemmäksi toteutusajankohtaa mennään, sitä tarkemmin suunnitellaan (Miettinen, 1993, s. 28). Strateginen taso on yritysjohton tekemää suunnittelua ja taktinenkin taso on vielä vuositasolla tehtävää suunnittelua (Miettinen, 1993, s. 28). Operatiivinen taso on tehtaan tason suunnittelua aina valmistuksen ohjaukseen asti. Miettisen mukaan (1993, s. 27) asiakkaalla on vaikutusta tuotannonohjaukseen etenkin niillä teollisuudenaloilla, joilla asiakkaan vaikutus tuotteeseen on suuri.

Toiminta-ajatus ja liikeidea tulisi olla pohjana kaikelle yrityksen toiminnalle. Niiden tehtävänä on selventää, mikä on yrityksen tarkoitus, mitä tarpeita se tyydyttää, mikä on sen asiakasryhmä ja tuotteet. (Miettinen, 1993, s. 28–29) Tätä kautta toiminta-ajatus ja liikeidea vaikuttavat myös tuotannon ohjaamiseen. Viimeisenä tuotannonohjaukseen vaikuttavana tekijänä on Miettisen (1993, s. 31) mukaan valmistusjärjestelmä eli se, miten tuotanto on fyysisesti järjestetty tehtaan lattialle ja miten tuotteet siellä liikkuvat. Erilaisia valmistusjärjestelmiä ovat joustava järjestelmä, tuotantosolu, tuotantoryhmä, tuotantolinja, toiminnallinen järjestelmä ja paikallisjärjestelmä (Miettinen, 1993, s. 31).

Tuotannonohjauksen periaatteita

Yksinkertaisesti ilmaistuna valmistusprosessi on materiaalivirtoja (Benton ja Shin, 1998). Materiaalivirtoja voi ohjata työntö-, imu- tai pullonkulaohjauksella. Usein kuitenkin käytetään näiden yhdistelmiä (Sipper and Bulfin, 1998). Benton ja Shin (1998) toteavat, että harvoin mikään tuotantojärjestelmä on pelkästään imu- tai työntöohjattu, jos tarkastellaan koko tuotantojärjestelmää ja sen kaikkia tasoja. Jaon voi kuitenkin valmistuksessa erottaa sen perusteella, että jos materiaalivirtaa hallitaan etukäteen määritetyn aikataulun mukaan ilman, että hallitaan keskeneräisen tuotannon määrää, on järjestelmä työntöohjattu (Benton ja Shin, 1998). Työntöohjauksessa tuotannon aikataulu on ohjauksen perusta (Sipper and Bulfin, 1998, s. 533) ja valmistusimpulssi tulee nimenomaan tuotannon aikataulusta. Työntöohjauksessa tuotteita voidaan ajoittaa kalenteriin joko eteenpäin tai taaksepäin. Eteenpäin ajoituksessa lähdetään ajoittamaan työvaiheita tuotannon aloittamisajankohdasta eteenpäin. Taaksepäin ajoituksessa lähdetään tuotteen suunnittelusta valmistuspäivämäärästä, johon ajoitetaan päättymään viimeinen vaihe ja niin edelleen aina valmistuksen alkuun asti. (Haverila et al., 2005, s. 419) Haverila et al. (2005, s. 419) huomauttavat myös, että aikataulun tarkkuus paranee, jos työvaiheiden lisäksi ajoitetaan myös odotus- ja siirtoajat työvaiheiden väliin. Tuotteiden keskinäinen valmistusjärjestys voidaan päättää erilaisten prioriteettisääntöjen mukaan (Haverila et al., 2005, s. 420). Työntöohjaus sopii lähtökohtaisesti kaikille tuotantomuodoille, mutta se vaatii selkeän valmistusprosessin sekä kurinalaista toimintaa, jotta suunnitelmassa pysytään. Monimutkaisille ja laajoille ketjuille työntöohjaus ei välttämättä ole paras vaihtoehto, sillä silloin etenkin aiheuttaa ongelmia se, jos suunnitelma ja todellinen valmistuksen tilanne eivät pysy toistensa tahdissa. (Haverila et al., 2005, s. 422).

Imuohjauksessa valmistusimpulssi kulkee valmistusprosessin lopusta alkuun päin. Imuohjausta varten ei käytännössä tarvitse tehdä tarkkaa aikataulusuunnitelmaa,

vaan aina seuraavasta vaiheesta takaisinpäin tuleva impulssi kertoo, koska valmistus tulee aloittaa. Impulssina voidaan käyttää esimerkiksi kanban-korttia. Imuohjaus perustuu siihen, että tuotteita valmistetaan vain oikeaan tarpeeseen. Valmistusketjussa voi kuitenkin olla pieniä nopeasti kiertäviä välivarastoja, joista lähtee valmistusimpulssi, kun taso laskee tietyn tuotemäärän alle. (Haverila et al., 2005, s. 422) Imuohjattu järjestelmä kontrolloi keskeneräisen tuotannon määrää vetämällä materiaalivirtaa seuraavaan vaiheeseen (Benton ja Shin, 1998). Lyhyesti sanottuna imuohjaus kontrolloi keskeneräistä tuotantoa ja mittaa läpimenoa, kun taas työntöohjaus kontrolloi läpimenoa ja mittaa keskeneräisen tuotannon määrää. (Sipper and Bulfin, 1998, s. 543) Imuohjaus sopii parhaiten vakio-osille ja etenkin tasaiselle menekille (Haverila et al., 2005, s. 422), sillä kuormitusta ei tasoiteta resursseille samalla tavalla kuin työntöohjausta varten tehtävässä tuotantosuunnitelmassa. Imuohjaus edellyttää hyvää laatua (Haverila et al., 2005, s. 422).

Osa tutkijoista on sitä mieltä, että MRP (Material Requirement Planning, suom. materiaaliarvelaskenta) voidaan nähdä työntöohjauksena ja JIT (Just in Time, johtamisfilosofia) imuohjauksena (Benton ja Shin, 1998). Benton ja Shin (1998) kuitenkin mainitsevat, että JIT voi periaatteessa olla kumpaa vain, koska JIT ei ole pelkkä tuotannonohjausperiaate, vaan konsepti, joka ottaa kantaa materiaalivirran hallinnan lisäksi myös johtamisfilosofiaan. JIT perustuu hukan eliminointiin, työntekijöiden osallistamiseen päätöksenteossa, alihankkijoiden osallistumiseen ja laadun kontrolloimiseen. (Sipper and Bulfin, 1998, s. 545) MRP on ollut jo vuosikymmeniä suosittu materiaalinohjaustapa, mutta siinä ja sen muunnoksissa on joitakin puutteita esimerkiksi rajallisen kapasiteetin ottamisessa huomioon. Lopulta molemmissa on omat hyvät puolet, joiden yhdistäminen voisi tarjota hyviä ratkaisuja. (Miclo et al., 2019)

Yksi ohjaamisen tavoista on pullonkaulaohjaus. Pullonkaula on se työasema tai kone, jolla on suurin käyttöaste tai jonka edessä on iso varasto puolivalmiita tuotteita odottamassa. Pullonkaula ei siis päästä lävitseen yhtä nopeasti tuotteita kuin muut koneet tai työasemat. (Sipper and Bulfin, 1998, s. 579) Aikataulutusta tehdään pullonkaulan mukaan niin, että pullonkaulalle aikataulutetaan maksimimäärä valmistettavaa ja muut työpisteet sekä koneet vain palvelevat pullonkaulaa ja saattavat täten välillä olla myös tyhjäkäynnillä. (Sipper and Bulfin, 1998, s. 570) Tuotteiden aikataulutusta tehdään pullonkaulasta eteen- ja taaksepäin. Eteenpäin aikataulutuksessa tuotteen tulee olla valmis pullonkaulasta sellaiseen aikaan, että se ehtii

vielä kulkemaan loppuprosessin ennen toimituspäivämäärää. Pullonkaulasta taaksepäin aikataulutuksessa on tavoite, että tuote saapuu pullonkaulaan mahdollisimman myöhään, mutta kuitenkin tarpeeksi ajoissa, että se kerkeää toimituspäivämäärään. (Sipper and Bulfin, 1998, s. 579–581)

Tuotannonohjauksen haasteet

Wagner et al. (2017) ja Messner et al. (2019) mukaan nykypäivän tuotantolaitosten on osattava tasapainotella risteävien tavoitteiden välillä. Pitäisi pysyä aikatauluissa mahdollisimman pienillä kustannuksilla, kun samaan aikaan tuotantoketjut ovat yhä kompleksisempia, asiakasrätälöinti yleistyy ja laatuvaatimukset ovat kovia (Messner et al., 2019; Wagner et al., 2017). Dynaaminen tuotantoympäristö eli nopeasti muuttuvat tilanteet vaativat myös nopeaa reagointia, mikä on mahdollista vain, jos tietovirrat tuotannonsuunnittelun ja -ohjauksen sekä tehtaan operaattoreiden kanssa ovat sujuvia (Järvenpää et al., 2015).

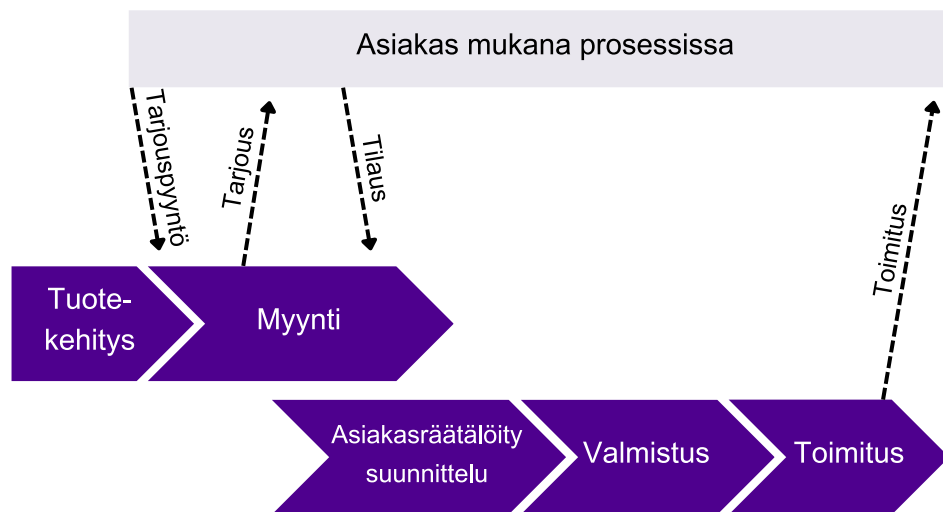
Lisäksi läpinäkyvyys eri osastojen, kuten myynti, osto, tuotanto, ja toisaalta myös tuotannossa operaattoreiden välillä hyödyttää kokonaisuuden hallintaa ja tuotannonsuunnittelua. Siten myynti myy sellaisia tuotteita, sellaisia määriä ja sellaisilla toimituspäivillä, joihin tuotannolla on resursseja, ja operaattorit tietävät, mitä muualla tuotannossa tapahtuu sekä osaavat ennakoida valmistuvia osia ja osakokoonpanoja, jotka vaikuttavat heidän omaan työskentelyynsä. Ratkaisu läpinäkyvyyteen on parempi tiedonkulku ja oikeiden tietojärjestelmien käyttö. (Järvenpää et al., 2015) Myös Lapinleimu et al. (1997, s. 280) peräänkuuluttavat tuotesuunnittelun, markkinoinnin ja valmistuksen yhteistoimintaa, sillä kaikkien niiden toiminta vaikuttaa toisiinsa. On myös ehdottomasti yrityksen etu, että esimerkiksi tuotesuunnittelu suunnittelee sellaisia tuotteita, jotka ovat mahdollisimman helppo valmistaa (Lapinleimu et al., 1997, s. 280). Se vaatii kuitenkin kommunikointia ja yhteistyötä eri toimintojen välillä.

Burggräf et al. (2020) selvittivät, mitkä ovat yleisimpiä syitä, jotka johtavat toimitusajasta myöhästymiseen. Syitä ovat häiriöt, kuten konerikot, materiaali puutteet, henkilöstön puute tai taitojen puute (Burggräf et al., 2020). Wagner et al. (2017) kuvaa häiriön tahattomaksi poikkeamaksi normaaliprosessista ja juurisyyksi sille yleensä henkilöstön, materiaalin, tiedon ja kiireelliset tai muuttuneet tilaukset. Wagner et al. (2017) tekivät empiirisen tutkimuksen, jossa selvitettiin häiriöiden ilmentymistä kokoonpanon aikana 100 teollisuuden yrityksessä. Yrityksistä 53 % valmisti osittain tai pääasiassa asiakasrätälöityjä tuotteita. Tutkimuksen mukaan suurin osa yrityksistä koki, että häiriöt olisivat usein teoreettisesti ennustettavissa

sekä estettävissä. Samoin suurin osa yrityksistä totesi, että häiriöt toistuvat usein samanlaisina. (Wagner et al., 2017) Burggräf et al. (2020) mukaan häiriöt tulisi ottaa huomioon läpimenoaikoja ennustettaessa, kun ne ovat toistuvia ja ennustettavia. Wagner et al. (2017) selvittivät tutkimuksessaan, miksi näin ei toimita. Yritykset kertovat syyksi sen, ettei tuotannosuunnittelukapasiteetti riitä siihen, että häiriöt voitaisiin ottaa tuotannosuunnittelussa huomioon (Wagner et al., 2017).

2.3 Engineer to Order -tuotanto

ETO-tuotannossa tuotteet räätälöidään ja suunnitellaan asiakaskohtaisesti ja valmistusmäärät ovat verrattain pieniä (Adrodegari et al., 2015). Tämä tarkoittaa sitä, että tuotteen suunnittelu ja valmistus on aina linkittynyt asiakastilaukseen. Birkie et al. (2017) kuvailevat, että ETO-projekti alkaa asiakkaan toiveiden kuuntelemisesta ja päättyy suunnitellun ja valmistetun tuotteen toimittamiseen. Asiakas on siis mukana koko ETO-tuotteen prosessin ajan, kuten kuvassa 12 on esitetty. Adrodegari et al. (2015) määrittelevät, että siinä välissä on kaksi eri vaihetta: ei-fyysinen ja fyysinen. Ei-fyysinen vaihe sisältää esimerkiksi suunnittelun, kun taas fyysinen itse toteutuksen (Adrodegari et al., 2015).

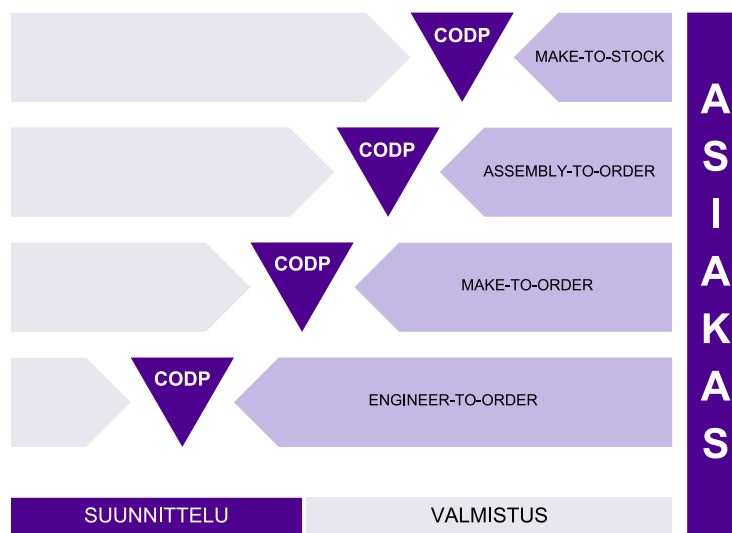


Kuva 12. ETO-tuotannon arvoketju (mukaillen Willner et al., 2014)

Kuvassa 12 näkyy projektin päävaiheet: suunnittelu ja valmistus sekä projektin aloitus ja päätös asiakkaan kanssa. Läpimenoaika ETO-tuotteilla koostuu suunnittelusta, hankinnasta, tuotannosta, testauksesta ja käyttöönotosta, jotka voivat kuitenkin mennä ajallisesti limittäin ja joille voidaan myös määrittää omat läpimenoaikansa (Bhalla et al., 2023; Mello et al., 2015). Mitä enemmän asiakasräätälöity tuote, sitä pidempi läpimenoaika sillä on (Mello et al., 2015). Koska läpimenoaika

ETO-projekteissa on yleensä pitkä, on luvatussa läpimenoajassa pysyminen Bhalla et al. (2023) mukaan hyvää asiakaspalvelua tai jopa markkinaetu. Myös Willner et al. (2016) sekä Gejo García et al. (2019) korostavat lyhyttä läpimenoaika ETO-tuotannon kilpailuetuna. Luotettavan ja lyhyen läpimenoajan onnistumiseksi on yhteensovitettava sujuvasti kaikki toiminnot ja toimitusketjun osat. Etenkin ETO-yrityksille tämä on erityisen tärkeää projektien monimutkaisuuden takia ja usean toimijan takia. (Mello et al., 2015)

ETO-tuotannossa tilauksen kohdennuspiste (CODP, engl. Customer Order Decoupling Point) eli ajanhetki, jolloin tilaus eli asiakas ja tuote yhdistetään, on suunnitteluvaiheessa eli myös suunnittelu on osa toimituksen läpimenoaika. Tilauksen kohdennuspiste liikkuu kohti asiakasta sekä valmistuksen loppupäätä, kun tuotanto vaihtuu MTO (Make to Order, suom. tilauksesta valmistettava), ATO (Assembly to Order, suom. tilauksesta kokoonpantava) ja MTS (Make to Stock, suom. varastoon tehtävä) tuotannoiksi. (Willner et al, 2016) Nämä tyypilliset tilauksen kohdennuspisteet on esitetty kuvassa 13. Ennen tilauksen kohdennuspistettä asiat tehdään epävarmuuden ja ennusteiden varassa. Tilauksen kohdennuspisteen jälkeen tuotteelle on kohdistettu asiakas. (Wikner ja Rudberg, 2005)



Kuva 13. Erilaisia tilauksen kohdennuspisteitä (mukaillen Rudberg ja Wikner, 2004)

Wikner and Rudberg (2005) ovat kuitenkin kehittäneet tätä perinteistä yhden ulottuvuuden jakoa ja luoneet mallin, jossa on kaksi ulottuvuutta: tuotantoon liittyvä CODP ja suunnitteluun liittyvä CODP. Tämä eroaa kuvassa 13 esitetyistä tilauksen kohdennuspisteistä siten, että myös suunnitelma voi olla varastosta eli valmiina ja osa suunnittelusta voidaan tehdä myös limittäin valmistuksen kanssa. Täten ETO-

tuotanto onkin suunnittelun osalta ETO ja tuotannon osalta MTO. Kaksiulotteinen malli sisältää myös vaihtoehdon, jossa suunnittelu on ATO ja tuotanto MTO. (Wikner ja Rudberg, 2005) Malli siis mahdollistaa termien käytön myös sellaisille suunnittelun ja tuotannon yhdistelmille, jotka eivät sovi perinteiseen kuvan 13 mukaiseen jakoon. Wiknerin ja Rudbergin (2005) kahden ulottuvuuden mallissa perinteisten ATO:n ja MTS:n suunnitteluvaihe on aina ETS (Engineer to Stock, suom. varastoon suunniteltava). Tämä tarkoittaa sitä, että suunnittelu on tehty ennen asiakastilausta ja suunnitelma otetaan ennen tuotantoa ikään kuin varastosta (Wikner ja Rudberg, 2005).

Tilauksen kohdennuspisteen sijainti vaikuttaa tuotannosuunnitteluun ja -ohjaukseen. Hicks et al. (2007) tutkimuksen mukaan ETO-yritykset käyttävät projektinhallintatyövälineitä projektien korkean tason suunnitteluun. Kun suunnitellaan tehtaan tasolla valmistusta ja kokoonpanoa, on käytössä yleensä MRP II (Manufacturing Resources Planning, suom. valmistuksen resurssien suunnittelu). ETO-tuotannossa odottamattomia muutoksia tulee. Dynaaminen aikataulutus tarkoittaa sitä, kun odottamattomia tapahtumia ilmenee ja sen seurauksena aikataulu päivittyy. Odottamaton tapahtuma voi olla esimerkiksi konerikko tai yllättävä uusi tilaus. Dynaaminen aikataulutus voi joko pitää olemassa olevat tilaukset niillä paikoilla, kuin ne ovat ja sovittaa uuden tilauksen väleihin, joihin se mahtuu. Toinen vaihtoehto on, että kaikki tilaukset voi uudelleen ajoittaa ja löytää näin paras mahdollinen ratkaisu. Joka tapauksessa ratkaisu tulisi olla sellainen, että uusille tilauksille on realistiset eräpäivät ja olemassa olevat tilaukset valmistuvat ajallaan. ETO-yrityksissä dynaamisen aikataulutuksen tulee kyetä aikatauluttamaan kompleksisia tuotteita rajallisille resursseille. (Hicks et al., 2007)

Birkie et al. (2017) mukaan ETO-projektit ovat kompleksisia ja dynaamisia: Projekteissa on paljon tehtäviä päätöksiä ja päätöksien tekoon vaikuttaa suuri määrä eri tekijöitä. Lisäksi projektit sisältöineen ovat vaikeasti ennustettavia eikä ole valmista mallia, minkä mukaan tehdä. (Birkie et al., 2017) ETO-valmistus sisältää luonteensa takia paljon epävarmuuksia esimerkiksi läpimenoajoissa (Adrodegari et al., 2015). Järvenpään et al. (2015) tutkimuksen mukaan suomalaiset valmistavan teollisuuden ETO-yritykset kokevat, että tuotteiden valmistusaikojen haastava ennustaa. Myös Grabenstetter ja Usher (2013) mainitsevat, että ETO-ympäristö on tuotannonohjauksen näkökulmasta haastava, sillä etukäteen tuotteista ja niiden valmistusajoista tiedetään niin vähän.

Little et al. (2000) tutkivat ETO-yrityksistä tehtyjä tapaustutkimuksia ja löysivät keskeisiä haasteita, joita ETO-yrityksissä ilmenee aikataulutukseen ja tuotannosuunnitteluun liittyen. He toteavat, että tuotantoketjun eri osat kommunikoiivat ja hallinnoivat usein vain omia osiaan. Myös Mello et al. (2015) toteavat, että ETO-yrityksillä on usein haasteita koordinoinnissa liittyen tuotevaatimuksiin ja muutoksiin. Suunnittelu ja tuotanto ovat toisistaan riippuvaisia, joten niiden välinen koordinaatio on erityisen tärkeää, vaikkakin haastavaa. (Mello et al., 2015) Myöhästymiset ovatkin ETO-yritysten keskeisin ongelma (Hicks et al., 2001; Little et al., 2000; Stavroulaki ja Davis, 2010). Myöhästymisiin johtaa kommunikaatiohaasteiden lisäksi myös se, ettei uusien tilausten aiheuttamaa kuormitusta oteta huomioon tai käytetään tuotantojärjestelmälle sopimattomia ohjaustapoja (Little et al., 2000). Little et al. (2000) huomasivat tutkimuksessa, että vaikka ETO-yrityksissä tuotantoa suunniteltaisiin ja ohjattaisiin aktiivisesti, jää suunnittelutoiminnon ohjaus, suunnittelu ja aikataulutus uupumaan, vaikka se on merkittävä osa ETO-tuotteiden tuotantoa. Tähän Bhalla et al. (2023) lisäävät, että ETO-yrityksissä on tuotteiden valmistusaikojen ennustamisen lisäksi haastavaa myös suunnittelun keston ennustaminen. Tästä seuraa se, että tuotteiden toimituspäivämäärän asettaminen on vaikeaa.

Suunnittelu vaikuttaa myöhempisiin vaiheisiin, eikä esimerkiksi osia voi hankkia ennen kuin piirustukset ja suunnitelmat ovat olemassa. Willner et al. (2016) mukaan suunnitteluprosessin ja tuoterakenteiden standardisointi sekä suunnitteluprosessin automatisointi auttaa lyhentämään suunnitteluvaiheen läpimenoaikaa. ETO-tuotannossa suunnitteluvaihe on kriittinen, sillä tutkimusten mukaan suunnitteluun kuuluu läpimenoajasta jopa yli puolet (Pandit and Zhu, 2007). Suunnittelu ei välttämättä ole vain prosessin alkupään vaihe, joka päättyy, kun valmistaminen alkaa. Asiakasräätelöityjen tuotteista puhuttaessa ominaisuuksia määritetään jopa projektin aikana jatkuvissa neuvotteluissa. Tämäkin vaikuttaa siihen, että usein läpimenoajat ovat pitkiä. (Birkie et al., 2017)

Jünge et al. (2023) toteuttivat tutkimuksen, jossa seurattiin kaksi vuotta kymmentä ETO-yritystä ja erityisesti Lean-filosofian integrointia suunnitteluvaiheeseen. Myös Jünge et al. (2023) huomasivat, että iso osa ETO-projekteihin käytetyistä tunteista kuluu tuotteen suunnitteluun ja se sisältää paljon Lean-filosofian mukaista hukkaa eli niitä toimia, jotka kuluttavat resursseja, mutta eivät luo arvoa asiakkaalle. Hukkaa suunnittelussa on Jünge et al. (2023) mukaan esimerkiksi päätösten tai tiedon odottaminen ja ylimääräiset, liian tarkat tai liian aikaisin tehdyt laskelmat. Hukkaa on myös, jos tehdään enemmän, mitä asiakas pyytää sekä virheet, kuten väärät

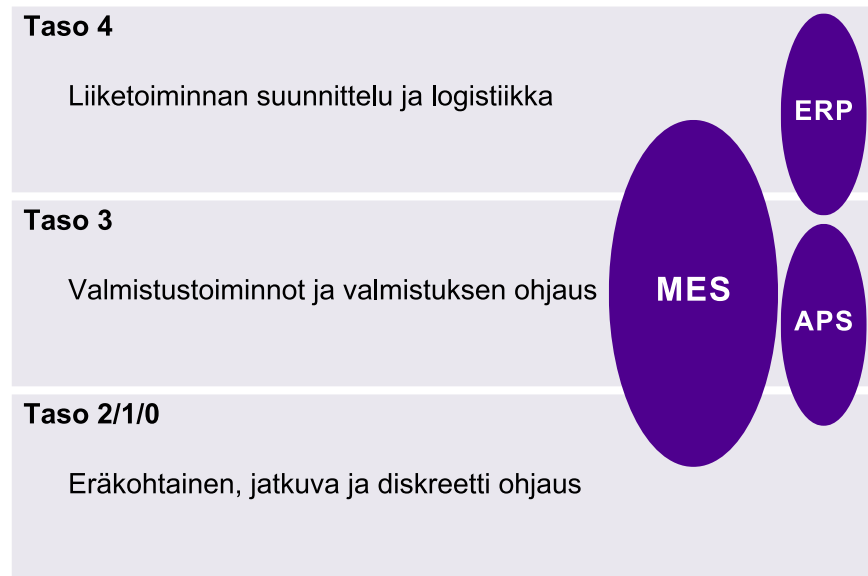
piirustukset, laskelmat tai komponentit ja virheiden tai muuten ominaisuuksien korjaaminen ja muuttaminen (Jünge et al., 2023).

lakymenko et al. (2022) mukaan ETO-ympäristölle on ominaista, että suunnittelumuutoksia tuotteisiin tulee ennen tuotantoa ja tuotannon aikana. He kuitenkin muistuttavat, ettei suunnittelumuutokset ole pelkästään negatiivisia. Muutosten avulla tuotetta parannetaan, ilmenneet virheet poistetaan tai tuote sopeutetaan uusia vaatimuksia vastaavaksi. Suunnittelumuutoksen voi laukaista asiakas, alihankkija, markkinat, säädökset tai suunnitteleva yritys itse. Haastavia suunnittelumuutoksista ETO-ympäristössä tekee se, että muutokset ovat usein ainoastaan yhtä tuotetta koskevia, eikä välttämättä ennakoitavia. Esimerkiksi MTO-valmistuksessa muutokset koskevat usein kaikkia tulevia tuotteita ja niiden käyttöönotto voidaan suunnitella ja ajoittaa, eikä se silloin häiritse valmistusta yllättäen. Suunnittelumuutosten mahdollisia negatiivisia vaikutuksia ovat kustannusten nousu ja projektin viivästyminen. (lakymenko et al., 2022) lakymenkon et al. (2022) tulivat tutkimuksen perusteella siihen tulokseen, että siihen, kuinka helposti suunnittelumuutokset saadaan toteutettua, vaikuttaa ainakin se, kuinka aikaisin suunnittelumuutos tulee ilmi. Jos valmistus on jo aloitettu, on muutos työläämpi toteuttaa. Myös tuotteen ja teknologian tuttuus sekä työntekijöiden kokemus vaikuttavat siihen, kuinka helppoa suunnittelumuutos on toteuttaa. (lakymenko et al., 2022)

2.4 Tuotannon tietojärjestelmät

Tuotannon tietojärjestelmiä ovat esimerkiksi ERP, MES (Manufacturing Execution System, suom. tuotannonohjausjärjestelmä) ja APS (Advanced Planning and Scheduling, suom. tuotannonsuunnittelujärjestelmä) (Järvenpää et al., 2015). ISA95 (International Society of Automation) on standardi, joka määrittelee kyseisten järjestelmien rajapinnat, toiminnot ja termit (Govindaraju ja Putra, 2016). ISA95 määrittämä järjestelmien hierarkia on esitetty kuvassa 14.

ERP on koko yrityksen toiminnanohjausjärjestelmä, joka on tarkoitettu yrityksen tasolla tilausten aikatauluttamiseen ja hallintaan (Jaskó et al., 2020). Shehab et al. (2004) luettelevat, että ERP sisältää yleensä esimerkiksi talous- ja kustannuslaskentaan, myyntiin ja jakeluun, materiaalihallintoon, henkilöstöhallintoon, tuotannonsuunnitteluun, toimitusketjuun ja asiakastiedon hallintaan liittyviä työkaluja. ERP:n avulla on siis mahdollista yhdistää ja hallita yrityksen kaikkia liiketoimintaan liittyviä toimintoja (Shehab et al., 2004). Toisaalta laajuutensa takia se on myös melko monimutkainen järjestelmä ja yksittäisen toiminnon toteuttaminen on hankalaa (Haverila et al., 2005, s. 430–431).



Kuva 14. ISA95-standardin mukainen hierarkia (mukaillen ISA/ANSI 95.00.01:2000,19)

MES yhdistää yritystason (kuvassa 14 taso 4) ja tehtaan lattian tason (taso 2) (Jaskó et al., 2020). Se on tarkoitettu tuotannon operatiiviseen ohjaamiseen eli toimeenpanoon sekä seurantaan. MES tarjoaa mahdollisuuden seurata tuotannon tilannetta jatkuvasti reaaliajassa ja täten reagoida nopeasti poikkeamiin. (Järvenpää et al., 2015) Sen käyttö myös mahdollistaa tuotannon paremman jäljitettävyyden ja läpinäkyvyyden (Mantravadi ja Møller, 2019).

APS:n avulla voidaan tehdä tuotantosuunnitelmia ja tarkkoja aikatauluja (Järvenpää et al., 2015). APS, eikä MES:kään, korvaa ERP:ä, vaan täydentävät sitä. APS pyrkii löytämään parhaan toteuttamiskelpoisen suunnitelman ottamalla huomioon rajalliset materiaalit ja resurssit ja simuloimalla eri tilanteita. Tuloksena syntyy eri suunnitelmaskenarioita, jotka auttavat aikataulutuksessa sekä päätöksenteossa. (Steger-Jensen et al., 2011)

Teollisuus 4.0 (engl. Industry 4.0) on käynnissä oleva neljäs teollinen vallankumous (Hermann et al., 2016). Se on informaatioteknologian ajama muutos ja pyrkii siihen, että tuotannon eri toiminnoilla olisi välittömämpi tietotekninen yhteys ja tieto olisi läpinäkyvää kaikille (Mantravadi ja Møller, 2019). Hermann et al. (2016) mukaan teollisuus 4.0:n elementtejä ovat kommunikointi ihmisten, koneiden ja resursien välillä, hajautettu päätöksenteko, fyysisen ja virtuaalisen maailman yhdistäminen sekä älykkäät tuotteet, jotka tietävät menneen, nykyisen ja tulevan tilansa sekä ohjaavat itseään prosessin läpi. Esineiden internet (IoT, engl. Internet of Things) yhdistettynä valmistusjärjestelmään on yksi teollisuus 4.0:n mahdollistaja. Lisäksi tietovirrat sekä niitä käsittelevät järjestelmät ovat keskeisessä osassa. (Hermann

et al., 2016) Tulevaisuudessa teollisuuden yrityksissä on oltava saumaton tiedonkulkue eri tasojen välillä. Se vaatii nykyistäkin automaattisempia ja reaaliaikaisempia järjestelmiä sekä langattomien ja mobiilien tieto- ja viestintävälineiden käyttöönottoa. (Mantravadi ja Møller, 2019)

Lapinleimu et al. (1997, s. 271) painottavat, että suurin hyöty tietojärjestelmistä saavutetaan, kun tietoa ei pelkästään siirretä tuotantoon niiden kautta, vaan sitä saataisiin myös takaisin päin tuotannosta. Silloin päätöksenteko tuotantojärjestelmän suunnittelujärjestelmässä voitaisiin perustaa oikeaan kokemuspohjaiseen tietoon valmistusjärjestelmästä. Tätä voisi kutsua myös oppivaksi järjestelmäksi. (Lapinleimu et al., 1997, s. 271) Tuotannonsuunnittelu vaatii onnistuakseen virheetöntä dataa tuotannon prosesseista, kuten prosessin läpimenoajasta (Messner et al., 2019). Tuotannosta raportoidun datan avulla tuotannon suunnitelmia päivitetään ja ajoituksen toteutumista seurataan. Sen perusteella voidaan myös seurata tuottavuutta, läpimenoaikoja sekä eri työvaiheiden ja tuotteiden tarvitsemia työmääriä. (Haverila et al., 2005, s. 426) Lapinleimun (2000, s. 118) mukaan takaisinpäin raportointi on myös osa ohjauksen valvontaa. Valmistuksesta tulee saada tieto, kun valmistusimpulssi on mennyt perille ja välittömästi tieto, jos on poikkeamia tai impulssia ei pystytä jostain syystä toteuttamaan (Lapinleimu, 2000, s. 118). Nykypäivänä raportoinnin tulisi olla ripeää, jotta poikkeamiin pystytään myös reagoimaan nopeasti, joten raportointi suoraan tietojärjestelmään on paras vaihtoehto (Haverila et al., 2005, s. 426).

Lapinleimu et al. (1997, s. 271) täsmentävät, että tietojärjestelmiin kirjattavan tiedon tulee olla laadukasta, jos halutaan tietojärjestelmän antavan hyödyllistä tietoa. Tietojärjestelmä ei kykene tuottamaan tarkempia tuloksia kuin mitä sille annetaan syötteeksi puhumattakaan, jos sille annetaan virheellistä tietoa (Lapinleimu et al., 1997, s. 237; Messner et al., 2019). Lisäksi tuotannonsuunnittelun tarkkuus ja laatu paranee, kun dataa kertyy pidemmältä ajalta (Messner et al., 2019). Myös käyttäjien osaaminen vaikuttaa siihen, kuinka paljon hyötyä tietojärjestelmästä on mahdollista saada. (Lapinleimu et al., 1997, s. 237)

Tietojärjestelmät ovat tärkeässä asemassa, kun valmistusympäristö ja vaatimukset ovat nopeasti muuttuvia sekä kysyntä vaihtelevaa ja vaikeasti ennustettavaa (Järvenpää et al., 2015). Järvenpää et al. (2015) haastattelivat 25 suomalaista valmistavan teollisuuden yritystä haasteista, joita he ovat kohdanneet tuotannonsuunnitteluun ja -ohjaukseen liittyen. Haastatteluiden tuloksena Järvenpää et al. (2015) totesivat, ettei yrityksillä ole käytössä sopivia tietojärjestelmiä tuotannonsuunnitte-

lua ja -ohjausta varten. MES- ja APS-ohjelmien käyttö on edelleen harvassa: tutkimuksen kohteena olevista yrityksistä vain 8 % oli käytössään MES. Sen sijaan tuotannonohjaukseen käytetään useita eri taulukkolaskentaohjelmien taulukoita ja ERP:iä, joka oikeastaan on suunnattu liiketoimintatasolle toiminnanohjaamiseen. (Järvenpää et al., 2015)

Järvenpää et al. (2015) mukaan tuotannonohjauksen haasteet tutkimuksen kohteena olevissa yrityksissä johtuvat pääasiassa väärin työkalujen käytöstä. Puutteet tietojärjestelmien käytössä näkyvät siinä, ettei muutoksiin reagointi tuotannonohjauksen näkökulmasta ole sujuvaa tai muutosten päivittäminen tietojärjestelmiin ei käy helposti. Tämä johtuu siitä, että tieto taulukoiden ja ERP:in välillä ei päivity automaattisesti ja ERP:iin muutokset ovat työläisiä tehdä. Jos muutoksia ei kirjata järjestelmiin, niistä ei jää jälkeä, jolloin tietoa ei voida tulevaisuudessa tuotantoa suunnitellessa hyödyntää. Kaiken paperilla olevan tiedon, on tapana jäädä paperille, eikä se silloin hyödytä tulevaisuuden suunnittelua. Valmistuksesta pitäisi kerätä systemaattisesti tietoa ja käsitellä sitä niin, että se hyödyttäisi tuotannosuunnittelun, työnjohdon sekä operaattoreiden päivittäistä työskentelyä. Haasteena on, että operaattorit kokevat ERP-kirjaukset liian haastavina ja työläisinä, jolloin niitä ei aina tehdä reaaliajassa ja saatava data on siten vääristynyttä. ERP:n systemaattinen käyttö auttaisi tuotannonohjauksen täsmällisyyteen, mutta MES ja APS ratkaisivat ongelmat vielä todennäköisemmin. (Järvenpää et al., 2015) Myös Adrodegari et al. (2015) totesivat tutkimuksessaan, että ETO-yrityksiltä puuttuu oikeat ohjelmistot ja niiden ympäriltä selkeät prosessit. Käytössä on useita eri ohjelmistoja, jotka eivät välttämättä ole linjassa toistensa tai toiminnan kanssa sekä saattavat olla osittain jopa päällekkäisiä. Lisäksi sellaista työtä, jonka voisi tehdä tietokoneohjelmisto, tehdään käsin. (Adrodegari et al., 2015)

2.5 Työntutkimus

Haverila et al. (2005, s. 490–491) mukaan työntutkimuksia ovat kaikki sellaiset tutkimukset, jotka tähtäävät työn tuottavuuden kehittämiseen. Lisäksi työntutkimuksen päämääränä ovat usein hyvät työolosuhteet sekä työn suorittamiseen tarvittavan ajan määrittäminen (Haverila et al., 2005, s.490–491; Tajini and Elhaq, 2014). Tajini ja Elhaq (2014) mainitsevat, että työtehtäviin tarvittavan ajan selvittäminen on tärkeä työntutkimuksen sovellus tuotannosuunnittelua ja -ohjausta varten. Oli työntutkimuksen tavoite mikä tahansa, joka tapauksessa siinä tutkitaan ihmisiä, materiaalia ja tuotantovälineitä sekä näiden yhteistoimintaa (Haverila et al., 2005, s. 490–491). Ahokas et al. (2011) jakavat työntutkimuksen menetelmät neljään eri

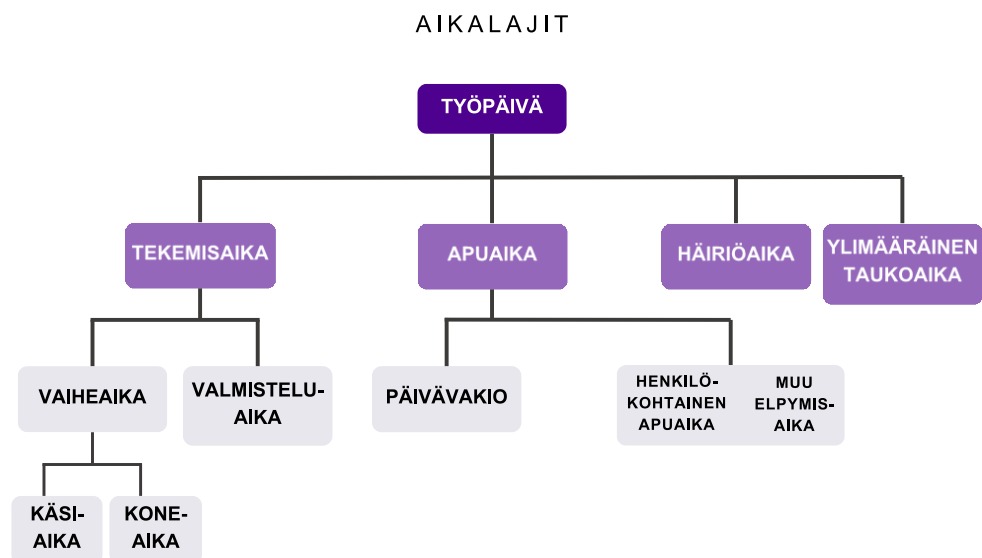
kategoriaan tai vaiheeseen: Menetelmätutkimuksella keskitytään tutkimaan ja kehittämään työmenetelmiä. Työn vakiinnuttamisella pyritään standardoimaan tehokkain työmenetelmä. Työnopastus tarkoittaa tehokkaimman menetelmän opastusta työntekijöille. Neljäs eli työn mittaus käsittää kaikki menetelmät, joilla mitataan tietyllä menetelmällä suoritettun työn ajantarvetta. Haverila et al. (2005, s. 492–493) kertovat, että työn mittauksen tuloksia voidaan käyttää kuormitussuunnitteluun, työmenetelmien vertailuun, hinnoitteluun, palkan perustana ja valmistusmenetelmien kehittämiseen. Työn mittaukseen voidaan käyttää seuraavia menetelmiä (Ahokas et al., 2011, s. 24–25; Haverila et al., 2005, s. 492–493):

- Kelloaikatutkimus: Normaaliaikatutkimus, jossa työ jaetaan etukäteen pieniin usein toistuviin osiin, joiden kestot mitataan, tai jatkuva ajankäytön tutkimus, jossa työtä seurataan ja kirjataan jokaisen tapahtuman kesto. Jatkuva ajankäyttötutkimus on hyvä vaihtoehto silloin, kun työtehtävät eivät ole usein toistuvia tai järjestys ei ole vakio.
- Havainnointitutkimus, jossa kirjoitetaan tietyn aikavälein ylös havainto meillä olevasta tapahtumasta ja lopuksi työaika jaotellaan aikalajeihin.
- Aikalaskelmat, joissa käytetään koneen työaikaa työvaiheen keston selvittämiseksi.
- Liikeaikatutkimus, kuten Methods Time Measurement (MTM), jossa työ jaetaan kehon liikesarjoiksi, joille on määritetty yleispätevät suoritusajat. Tämä vaatii koulutetun henkilöstön.

Tajini ja Elhaq (2014) mukaan työntutkimuksen, joka keskittyy valmistusaikojen mittaamiseen ja määrittämiseen, kuuluisi koostua kolmesta vaiheesta: tutkimuksen valmistelu, työn mittaus ja tulosten tarkastelu. Valmisteluihin tulisi kuulua mitattavan työn ja sen erityispiirteiden määrittäminen sekä tutkimuksen tarkoituksen päättäminen. Jos tutkittavassa työssä on tarvetta saada mitattua hyvin lyhyitä ajanpätkiä, kannattaa valmistellessa miettiä, tulisiko mittauksessa käyttää aikayksikkönä esimerkiksi minuutin sadasosa, joka on työntutkimuksessa yleinen aikayksikkö. Tulosten tarkasteluun kuuluu valmistusaikojen ja häiriöajan laskenta sekä erilaisten kertoimien määrittäminen valmistusajoille, jotta saadaan lopulliset ajat tuotantosuunnitelmaa varten. (Tajini ja Elhaq, 2014)

Työntutkimuksessa työnmittauksen jälkeen usein jaetaan mittaustulokset eri aikalajeihin, jotta hahmottuu, mitä työ sisältää. Työnmittauksessa käytetyt aikalajit on esitetty kuvassa 15. Tekemisaika edustaa työtehtäviä, jotka edistävät valmistettavan tuotteen valmistumista. Tekemisajasta vaihe aika on välttämätöntä tuotteen

valmistumiseksi ja sen pituus riippuu yleensä valmistettavien tuotteiden määrästä. Vaiheaika voi olla joko koneella tai käsin tehtävää työtä. Valmistelu-aikaan taas yleensä kuuluvat ne työt, jotka tehdään vain kerran työtehtävää ja sarjaa kohden, kuten koneen asetusten tekeminen. Apuaika on henkilökohtaista elpymisaikaa sekä välttämättömiä työtehtäviä, jotka eivät kuitenkaan edistä työtä. Apuaika voidaan jakaa päivävakioiden, henkilökohtaiseen apu-aikaan sekä muuhun elpymisaikaan. Päiväväkio tarkoittaa esimerkiksi työpisteen kuntoon laittoa päivän aluksi ja päätteeksi sekä tehtyjen tuntien merkkäamista. Henkilökohtainen apuaika sisältää sovitut kahvi- ja ruokatauot. Muu elpymisaika taas on työn rasitustasosta riippuva palautumiseen tarvittava aika pienten työn ohessa tapahtuvien taukojen muodossa. Häiriöaika on odottamattomiin keskeytyksiin sekä turhaan työhön, kuten laaturvirheiden korjaamiseen kuluva aika. Ylimääräinen tauko-aika on nimensä mukaisesti sellaista tauko-aikaa, joka ylittää sovitut tauot. (Ahokas et al., 2011, s. 11–12)



Kuva 15. Työntutkimuksen aikalajit (mukaillen Ahokas et al., 2011, s. 13)

Ahokas et al. (2011, s. 26–28) mukaan, jos työnmittauksella määritetään työlle tai sen vaiheille työarvo T eli käsin tehtävän työn normalisoitu aika-arvo, lasketaan se sekä valmistelulle että vaiheajalle kertomalla apuaikakerroin k_a työn normaaliarvolla t_N :

$$T = k_a \times t_{N, valmistelu} + k_a \times t_{N, vaiheaja} \quad (2)$$

Tuotannossa, jossa valmistetaan sarjoja, kerrotaan vaiheaikatermi vielä sarjakoolla, sillä vaiheaika sellaisenaan koskee yhtä kappaletta ja valmistelu-aika koko

sarjaa. Työn normaaliarvo t_N on summa työvaiheiden valituista ajoista t_v kerrottuina joutuisuuskertoimella k_j

$$t_N = \sum t_n, \quad (3)$$

josta

$$t_n = k_j \times t_v. \quad (4)$$

Valittu aika lasketaan aritmeettisena keskiarvona eri mittaustuloksista samalle työvaiheelle

$$t_v = \frac{t_1+t_2+\dots+t_n}{n}. \quad (5)$$

Apuaikakerroin lasketaan

$$k_a = 1 + \frac{t_a}{t-t_a}, \quad (6)$$

josta t on työpäivän pituus.

Apu aika t_a sisältää (Laine, n.d., s. 50–51):

- Sovitut tauot työajalla eli esimerkiksi kahvitauot
- Elpymisajan, joka katsotaan taulukosta työn kuormittavuuden mukaan
- Työvuoron aloitus- ja lopetusrutiinit
- Tarvittavan siivousajan
- Vaatehuollon ja suojainten pukemisen

Demirkesen et al. (2022) toteavat, että työn mittaus ei vielä suoraan itsessään ole prosessien kehitystyökalu, vaan ennemmin nykytilan analysointia tai tehdyn muutoksen todentamista. Tutkimuksessa myös mainitaan työn mittauksen auttavan ymmärtämään työn sisältöä ja siten sitä voidaan käyttää apuna hallinnollisten ja johdollisten päätösten tekemisessä. (Demirkesen et al., 2022)

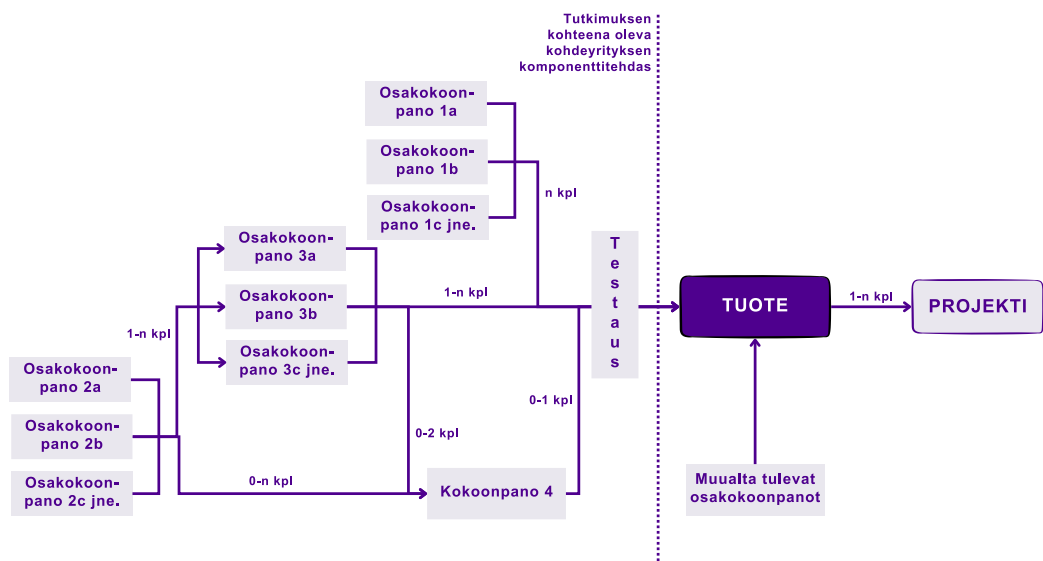
Työntutkimuksessa virhelähteitä ovat tutkittava työntekijä ja tuote sekä tutkija. Jos työntekijän suhtautuminen työntutkimukseen ei ole neutraali, vaikuttaa se todennäköisesti tuloksiin. Tässä tapauksessa olisi tutkimuksen kannalta hyvä vaihtaa tutkittavaa työntekijää. Myös tutkittava tuote voi aiheuttaa virhettä tuloksiin tai ainakin tehdä tuloksista sellaisia, etteivät ne ole yleistettävissä. Tutkija voi toiminnallaan vääristää tuloksia, jos hän ei ole valpas tutkimustilanteessa tai hahmota, mitä tapahtuu. (Laine, n.d.)

3. TYÖN TOTEUTUS

Tämän työn tutkimuskysymyksiä ovat: Millainen työntutkimuksen toimintamalli sopisi kohdeyritykselle? Miten ja missä tapauksissa työntutkimusta voisi käyttää apuna valmistusaikojen ennustamisessa? Millainen on kohdeyrityksen valmistusaikojen ennustus- ja tuotannosuunnitteluprosessi tällä hetkellä? Tässä luvussa käsitellään työn kokeellinen osuus eli se, kuinka valittuja tutkimusmenetelmiä käyttämällä etsittiin vastaukset tutkimuskysymyksiin.

3.1 Kohdeyritys

Kohdeyritys valmistaa asiakasräätelöityjen tuotteiden osakokoonpanoja. Kuvassa 16 on esitetty, mistä tuote koostuu kohdeyrityksenä olevan tehtaan näkökulmasta. Kuvassa näkyy siis vain kyseisellä tehtaalla valmistettavat osakokoonpanot ja kokoonpanot. Kokoonpano 4 on kokoonpano kohdeyrityksenä olevan komponenttitehtaan näkökulmasta, koko tuotteen näkökulmasta sekin on vain osakokoonpano. Todellisuudessa tuotteeseen tulee osakokoonpanoja myös muilta tehtailta.



Kuva 16. Tuotteen muodostuminen

Asiakastilausten pohjalta syntyy projekteja, jotka saattavat sisältää yhden tuotteen tai vaihtoehtoisesti samaa tuotetta useamman kappaleen sarjan. Eri tuotteilla on eri toiminnallisuuksia. Vaikka kyseessä olisi kaksi eri projektia, joissa molemmissa on nimellisesti sama tuote, voi tuotteiden välillä olla silti eroja, koska tuotteet rää-

tälöidään kuitenkin asiakaskohtaisesti. Tuote koostuu kohdeyrityksen näkökulmasta osakokoonpanoista ja kokoonpanosta. Yhdessä tuotantosolussa valmistetaan yhtä osakokoonpanoa tai kokoonpanoa. Valmistuksen jälkeen jotkin osakokoonpanoista 1 ja 3 sekä yleensä kaikki kokoonpanot 4 testataan vielä lopuksi.

Koska tuotteet ovat asiakasräätälöityjä, eikä mitkään projektit ole täysin samanlaisia keskenään, on kohdeyrityksessä haasteena ennustaa etukäteen, kuinka paljon osakokoonpanojen ja kokoonpanon valmistamiseen kuluu aikaa. Valmistusaikojen ennustamiseen käytetään eri tapoja, mutta yhtä yhtenäistä tapaa, joka perustuisi tuotteen sisältöön ja todennettuihin eri työvaiheiden aikoihin, ei ole käytössä. Tällaista työkalua on kohdeyrityksessä aloitettu kokoamaan, mutta se ei ole vielä täysin käytössä, eikä laajennettavissa kaikille tuotteille. Lisäksi se, että työ tehdään käsityönä useiden eri työntekijöiden toimesta, aiheuttaa vaihtelua valmistusaikoihin. Myös vaihteleva määrä laatuongelmia suunnittelun, toimittajien ja sisäisen toiminnan aiheuttamana sekä komponenttien saatavuus vaikeuttaa valmistusaikojen ennustettavuutta.

3.2 Teemahaastattelut

Kohdeyrityksen valmistusaikojen ennustamis- ja tuotannosuunnitteluprosessin selvittämiseksi toteutettiin teemahaastattelut syys-lokakuun 2023 aikana. Kohdeyrityksellä on useampi työtehtävä, joka on mukana valmistusaikojen ennustamisessa ja tuotannosuunnittelussa. Teemahaastattelu valittiin haastattelumuodoksi sen takia, että etukäteen ei ollut täysin selvää, mitä kunkin työtehtävän työnkuvaan kuului ja teemahaastattelu mahdollisti keskustelun ja jatkokysymysten esittämisen. Haastattelut toteutettiin niin, että kerrallaan oli ryhmä- tai yksilöhaastattelussa tietyn työtehtävän edustajat. Haastatteluihin osallistuneet työtehtävät on taulukoitu haastattelujärjestyksessä taulukossa 1. Haastattelut aloitettiin työsuunnittelijoista, jotka lähtökohtaisesti ennustavat valmistusajat töille. Työsuunnittelijoita osallistui haastatteluihin kolme neljästä. Työsuunnittelijoiden jälkeen haastateltiin molemmat työnjohtajat yhdessä ja tuotantopäällikkö, joka on lisäksi työnjohtaja, yksin. Sen jälkeen haastateltiin yhdessä molemmat tuotannosuunnittelijat yhdessä ja viimeisenä tehdaspäällikkö yksin. Haastatteluja varten kirjoitettiin kysymyksiä valmiiksi, mutta haastattelussa tarvittaessa kysyttiin myös lisäkysymyksiä tai jätettiin joitain kysymyksiä kysymättä, jos jonkun muun vastauksen ohessa selvisi, etteivät ne ole tarpeellisia. Haastattelukysymykset, jotka ohjasivat haastatteluiden kulkua, löytyvät liitteestä A.

Taulukko 1. *Haastattelut*

Työtehtävä	Haastatteluun osallistui
Työnsuunnittelija	3/4
Työnjohtaja	2/2
Tuotantopäällikkö	1/1
Tuotannonsuunnittelija	2/2
Tehdaspäällikkö	1/1

Työnsuunnittelijoiden työtehtäviin kuuluu muun ohella osakokoonpanojen ja kokoonpanojen valmistusaikojen ennustaminen ja lisäys ERP:iin. ERP:ssä on kaikille tuotteille valmis reititys eli vaiheistus. Reitityksessä on asetettu oletuksena kesto jokaiselle vaiheelle, mutta kesto muokataan tuotteen mukaan. Reitityksen sisältämät vaiheet ovat pääasiassa jaettu niin, että yhden tuotantosolun osuus työstä on yksi vaihe. Työnsuunnittelijoiden mukaan usein valmistusaikaa ennustaessa käytetään samaa aika-arviota, mitä on aiemmin vastaavanlaisen projektin samalle osakokoonpanolle käytetty. Vastaavanlaisuus arvioidaan tuotteen piirustusten mukaan. Väliillä apua ennustamiseen kysytään myös tuotannosta työntekijöiltä ja joskus työnjohtajilta. Lisäksi on olemassa yksinkertainen laskentakaava, jota käytetään osakokoonpanoille 3 valmistusajan ennustamiseksi. Laskentakaavalle annetaan tiedoksi joitain perustietoja valmistettavan osakokoonpanon sisällöstä ja sen perusteella kaava laskee valmistusajan.

Tuotantopäälliköllä on olemassa myös toinen kehittyneempi työkalu, jolla on tällä hetkellä mahdollista määrittää valmistusaika yhden tuotteen osalle osakokoonpanoista. Työkalua ei kuitenkaan ole vielä otettu käyttöön työnsuunnittelijoiden joukossa, eikä se ole toistaiseksi käytettävissä kaikille tuotteille ja osakokoonpanoille. Kyseessä on laskentakaava, joka laskee yhteen kaikkien tuotteeseen tulevien komponenttien asennusajat ja johtojen kytkentäajat. Tiedot tuotteeseen tulevista komponenteista ja johtojen määrästä sekä paksuuksista kaava saa CAD-ohjelmasta (Computer Aided Design, suom. tietokoneavusteinen suunnittelu), jota käytetään tuotteen suunnitteluun. Asennusajat tulevat peruskomponenteille samasta ohjelmasta ja lopuille itse ylläpidetystä taulukko-ohjelmassa olevasta tietokannasta. Aina, kun tuote sisältää komponentin, jolle ei aiemmin ole määritetty asennusaikaa, se ennustetaan itse ja lisätään taulukko-ohjelman tietokantaan. Kun laskentakaava on summannut asennus- ja kytkentäajat, tuloksena syntynyt aika kerrotaan vielä apuaikakerroimella. Tällä hetkellä käytettävää apuaikakerrointa ei kuitenkaan ole määritetty laskennallisesti.

Työnsuunnittelijoiden mukaan heidän ei tule katsottua edellisten projektien osakoonpanojen toteutuneita kestoja ERP:stä. Toteutuneiden kestojen käyttäminen uusien arvioiden pohjana ei kuulemma olisi kuitenkaan mahdotonta. Tällä hetkellä sitä ei kuitenkaan tapahdu. Lisäksi työnsuunnittelijoita epäilyttää työntekijöiden työskentelynopeuden variaation vaikutus toteutuneisiin kestoihin ja sitä kautta uusiin ennusteisiin, jos toteutuneet kestot otettaisiin huomioon uusia ennustaessa. Tuotantopäällikön mielestä voisi olla hyvä idea, jos aika-arvio koostettaisiin aiempien samankaltaisten projektien aika-arvioiden ja toteutuneiden tuntien jonkinlaisena yhdistelmänä. Tämä kuulemma kuitenkin vaatisi sen, että toteutuneisiin tunteihin voisi luottaa nykyistä paremmin. Tällä hetkellä työntekijöiden ERP:iin syöttämiä toteutuneita tunteja ei tuotantopäällikön mukaan käytetä juuri mihinkään. Tehdaspäällikön mukaan työn osuus tuotteiden hinnasta määräytyy kuitenkin juuri työntekijöiden tuntimerkkausten perusteella.

Työnjohtajat vastaavat omista tuotantosoluistaan. Molemmilla on oma tapansa tehdä tuotannon ajoitus omille tuotantosoluilleen. Toisen työnjohtajan tuotantosoluissa ajoitetaan kokoonpanoon tulevat osakokoonpanot taakse päin valmistusajankohdasta ja näin selviää, milloin ensimmäisen osakokoonpanon valmistus tulisi aloittaa. Sen jälkeen prosessi menee omalla painollaan, eikä tarkempaa ajoitusta tehdä. Toinen työnjohtaja tekee tuotantosoluihinsa ajoituksen puolen työpäivän tarkkuudella ja kohdistaa samalla valmistettavat osakokoonpanot ja kokoonpanot yksittäisille työntekijöille. Tuotannon ajoitusta tehdessään työnjohtajat käyttävät lähtökohtana työnsuunnittelijoiden ennustamia valmistusaikoja. Ajoittaessaan tuotteita tuotantosuunnitelmaan, he kuitenkin ottavat huomioon työntekijän harjaantuneisuuden ja saattavat siten pidentää tai lyhentää työn kestoa tuotantosuunnitelmassa, vaikka ERP:ssä valmistusaika-arviona on edelleen työnsuunnittelijoiden ennustama kesto. Lisäksi ajoitusta tehdessä saatetaan ottaa huomioon se, että sarjan ensimmäisessä kappaleessa kestää kauemmin kuin myöhemmissä, sillä piirustuksissa ja tuotteen määrittelyissä on yleensä vielä virheitä, jotka korjataan ensimmäisen kappaleen kohdalla. ERP:ssä jokaisella sarjan tuotteella on kuitenkin sama kesto, joten työnjohtajat vain varaavat tuotantosuunnitelmasta pidemmän välin sarjan ensimmäiselle kappaleelle. Tuotannonsuunnittelijoiden osuus prosessissa on se, että he vapauttavat työt tuotantoon. Töitä vapautetaan viikon tai parin aikajänteellä sitä mukaan, kun tiedetään, mitä tullaan valmistamaan seuraavilla viikoilla ja ensisijaisesti vasta, kun komponentit ovat saapuneet. Lisäksi tuotannonsuunnittelijat hoitavat jälkitoimituksina lähtevät komponentit sekä tekevät

muutostöille tilaukset ERP:iin, jos jo tuotantoon vapautettuihin töihin tulee suunnitelumuutoksia tai muita lisätöitä aiheuttavia muutoksia.

Jos projektiin tulee muutoksia tai valmistusaika-arvio on jo alun perinkin työntekijöiden mukaan liian pitkä tai lyhyt, on työntekijällä vastuu tulla kertomaan työnjohtajille asiasta. Tämän jälkeen keskustellaan perusteluista ja mahdollisesta uudesta aikaennusteesta. Työnsuunnittelijat eivät pysty tekemään aikaan muutoksia ERP:iin enää sen jälkeen, kun tuote on jo vapautettu tuotantoon. Työnjohtajakaan eivät muuta ERP:iin arvioita, vaan jos työnjohtaja ja työntekijä päätyvät siihen, että aika-arviota tulee muuttaa, asia menee tuotantopäällikölle ja hän muuttaa aika-arvion. Kaikki työntekijät eivät välttämättä tule pyytämään valmistusaika-arvioon muutosta, pyyntöjä tulee tuotantopäällikön mukaan noin 5–10 kertaa kuukaudessa.

3.3 Työntutkimuksen toteutus

Työntutkimuksen lajiksi valittiin jatkuva ajankäyttötutkimus, sillä se sopii työntutkimustavaksi silloin, kun työn sisältö ei ole tarkasti tiedossa etukäteen. Kohdeyrityksessä ei ollut määritettyjä työvaiheita eri osakokoonpanoille ja kokoonpanoille, eikä työ etene aina samalla tavalla. Näistä syistä valittiin työntutkimuksen lajeista jatkuva ajankäyttötutkimus. Työntutkimus toteutettiin kesän aikana neljässä eri tuotantosolussa. Tuotantosolussa 4 työntutkimus suoritettiin ensimmäisenä. Sen jälkeen työntutkimuksen toteutusta kehitettiin ja mukautettiin kohdeyrityksen tuotantoympäristöön sopivaksi aina tuotantosolusta toiseen siirryttäessä. Työntutkimusta toteutti pääasiassa kolmen hengen tiimi, jonka vetäjänä toimin diplomityöntekijän roolissani. Lisäksi tiimissä oli kaksi kesätyöntekijää työntutkijana.

Ennen mittaamisen aloitusta kussakin tuotantosolussa pidettiin aloituspalaverit, joihin osallistuivat työntutkimustiimi sekä mittauksen kohteena olevat työntekijät ja tuotantosolun tiiminvetäjä. Aloituspalaverissa luotiin yleispätevä työvaiheistus kyseisen tuotantosolun osakokoonpanoille tai kokoonpanoille sekä keskusteltiin, mitä oli etukäteen tiedossa työntutkimuksen kohteena olevasta tuotteesta. Lisäksi kerrottiin työntekijöille, kuinka työntutkimus toteutetaan käytännössä. Työvaiheiden kirjoittaminen ylös auttoi työntutkijoita valmistautumaan työntutkimukseen sekä myöhemmin datan lajittelussa. Yhteinen aloituspalaveri koettiin molemmin puolin hyväksi käytännöksi, sillä se auttoi valmistautumaan mittaukseen ja lisäsi motivaatiota sekä avoimuutta.

Työntutkimusta varten määritettiin etukäteen aikalajit (kuva 17) ja häiriöaikalajit (kuva 18). Aikalajit on mukautettu luvussa 2.5 mainituista työntutkimuksen aikalajeista. Työntutkimuksen aikalajit sellaisenaan toimivat parhaiten sarjoina toistuville keskenään samanlaisille töille. Tästä syystä aikalajien sisällöt mukautettiin paremmin tämän tehtaan ETO-tuotantoon sopivaksi. Lisäksi lisättiin aikalajit tutkijahäiriö ja ylimääräinen, jolloin apuaikaan ei jäänyt taukoja, vaan pelkästään muita päivittäin toistuvia tehtäviä, jotka eivät liity valmistettavaan tuotteeseen. Jatkuvaa ajankäytön seurantaa tehtiin sillä tarkkuudella, että tapahtumat pystyttiin lajittelemaan mainittuihin aikalajeihin. Eli aikaleima ja merkintä mittauspohjaan tehtiin vähintään silloin, kun aikalaji vaihtui. Todellisuudessa merkintöjä tehtiin useamminkin, jos se oli mahdollista, jotta dataa voisi käyttää tulevaisuudessa myös muihin tämän tutkimuksen ulkopuolelta esille tuleviin kysymyksiin. Lisäksi työntutkimustilanteessa oli välillä haastavaa miettiä, milloin aikalaji vaihtuu ja helpompi lisätä aikaleima aina, kun tekeminen vaihtuu toiseksi.

Vaiheaika	• Valmistettavalle tuotteelle tai sen osalle tapahtuu lopullisesti jotain, esim. reiän poraaminen.
Valmistelu aika	• Tuote ei edisty, mutta toimenpide on tehtävä, jotta työtä voidaan tehdä, esim. reiän paikan merkkäminen.
Apuaika	• Päivittäiset valmistettavaan tuotteeseen liittymättömät työt, kuten työpisteen järjestely, siivous, roskien vieni ja ERP-kirjaukset
Tutkijahäiriö	• Työntutkijan aiheuttama keskeytys
Häiriöaika	• Työn edistymisen keskeytyminen virheen tai työhön liittyvän ulkoisen tekijän seurauksena
Ylimääräinen	• Lounas-, kahvi- ja muut tauot työn ohessa, meneillään olevaan työhön liittymättömät selvittelyt

Kuva 17. Työntutkimuksen aikalajit ensimmäisessä mittauksessa

Kuvan 18 häiriöaikalajit kehitettiin ensimmäisen mittauksen jälkeen, kun tiedettiin, minkälaisia häiriöitä tuotannossa ilmenee. Odotusaika tarkoittaa sitä aikaa, kun joudutaan odottamaan vapautuvaa työkalua tai saapumatonta materiaalia, eikä sen takia voida jatkaa työskentelyä. Suunnittelumuutokset-kategoria sisältää kaiken muutostyön ja selvittelyn, jotka johtuvat siitä, että valmistettavaan tuotteeseen tulee muutoksia, kun se on jo tuotannossa. Laaturvirheet on jaettu solun sisäisiin ja ulkoisiin laaturvirheen alkuperän perusteella. Kaverin auttaminen on toisen työntekijän auttamista hänen työtehtävässään. Kaikki näiden mainittujen kategorioiden ulkopuolelle jäävä, mutta kuitenkin meneillään olevaan työhön liittyvä on selvitte-

lyä. Tämä sisältää esimerkiksi työohjeissa tai piirustuksissa olevien epäselvyyksien selvittämisen.

Odotusaika	• Työn keskeytyminen työkalujen ollessa käytössä muualla tai materiaalin puutteen vuoksi, eikä muita työtehtäviä voida aloittaa
Suunnittelumuutokset	• Muutostyö ja selvittely, jotka johtuvat kesken työtä ilmenevistä muutoksista
Laatuvirheiden korjaus, solun sisäinen	• Oman solun työntekijöiden tekemien virheiden korjaus tai selvittely
Laatuvirheiden korjaus, solun ulkoinen	• Solun ulkopuolisista syistä aiheutuneiden virheiden korjaus tai selvittely
Kaverin auttaminen	• Toisen työntekijän neuvominen tai työtehtävässä avustaminen
Selvittely	• Kaikki yleinen meneillään olevaan työhön liittyvä selvittely

Kuva 18. Työntutkimuksen häiriöaikalajit

Tuotantosolussa 4 tutkimuksen kohteena oli vain yksi kokoonpano, jonka valmistusaika-arvioksi oli annettu 240 tuntia. Tuotantosolun 4 työntekijöillä oli jo kokemusta tutkittavasta kokoonpanosta, sillä tutkittava kappale oli kyseisen sarjan seitsemäs. Jatkuvaan ajankäyttötutkimukseen käytettiin taulukkolaskentaohjelmaan tehtyä mittauspohjaa, joka löytyy liitteestä B. Molempia kokoonpanon parissa työskenteleviä työntekijöitä seurasi yksi työntutkija ja molempien työntekijöiden tekemät työtehtävät kerättiin omiin mittauspohjiinsa. Kesälomien takia työntekijät vaihtelivat tutkimuksen aikana. Jatkuvan ajankäytön seurannan lisäksi tehtiin havaintoja työympäristöstä, työmenetelmistä, laatupoikkeamista, työturvallisuudesta sekä ergonomiasta erilliselle havaintolomakkeelle. Eri työvaiheista ja laatupoikkeamista otettiin myös kuvia ja videoita, jotta tilanteisiin pystyttäisiin palaamaan datan analysoinnissa ja raportoinnissa. Kaikki oman tuotantosolun ulkopuolelle suuntauneet materiaalien ja työkalujen haut sekä viennit merkittiin tehtaan pohjapiirustukseen, jotta saataisiin selville, paljonko työntekijät joutuvat kävelemään yhden kokoonpanon aikana.

Tuotantosolu 1 oli tutkimuksen kohteena toiseksi. Siellä tutkitut osakokoonpanot on esitetty taulukossa 2. Ensimmäisenä työntutkittua osakokoonpanoa (1a) tutkittiin neljä kappaletta samanlaisia. Loput kolme osakokoonpanoa olivat keskenään erilaisia. Kaikkia valmisti yksi työntekijä. Osakokoonpanojen valmistusaika-arviot näkyvät taulukossa. Tutkimuksen kohteena olevia osakokoonpanoja valmisti sekä vakityöntekijä että kaksi kesätyöntekijää.

Taulukko 2. Osakokoonpanosolussa 1 työntutkitut osakokoonpanot

Työ	Valmistusaika-arvio
Osakokoonpano 1a #4	40:00:00
Osakokoonpano 1a #5	40:00:00
Osakokoonpano 1a #7	40:00:00
Osakokoonpano 1a #8	40:00:00
Osakokoonpano 1b	20:00:00
Osakokoonpano 1c	16:00:00
Osakokoonpano 1d	15:00:00

Tuotantosolussa 2 tutkittiin kaksi eri osakokoonpanoa, joita molempia valmisti yksi kokenut työntekijä. Osakokoonpanojen ennustetut valmistusajat olivat 44 ja 50 tuntia. Tuotantosolussa 3 tutkittiin yksi osakokoonpano, jota valmisti yksi kokenut työntekijä. Ennustettu valmistusaika tutkitulle osakokoonpanolle oli 70 tuntia.

Työntutkimuksen data lajiteltiin työvaiheittain, jotta saatiin tietoon jokaisen työvaiheen kesto. Työvaiheiden etenemää myös hahmoteltiin, jotta nähtiin, kuinka määritetyt työvaiheet suhtautuvat todellisuudessa työn tekoon. Lisäksi työntutkimuksen data lajiteltiin aikalajeittain, jotta nähtiin, mistä työ koostuu, kuinka suuri osa työstä on häiriöaikaa ja paljonko käytetään aikaa valmisteleviin toimenpiteisiin verrattuna jalostavaan aikaan. Työntutkimuksen mittaustulosten oheen otettiin ERP:stä työntekijöiden tekemät toteutuneiden kestojen kuittaukset, jotta pystyttiin vertailemaan, kuinka tarkasti ja osuvasti kuittauksia tehdään. Työntutkimuksessa kerättiin numeerisen datan lisäksi havaintoja kaikesta työhön liittyvästä, kuten työturvallisuudesta, työkaluista ja -menetelmistä sekä tiedonkulusta. Nämä havainnot käytiin läpi työntekijöiden kanssa ja niistä valittiin muutama, jotka erityisesti vaatisivat jatkotoimenpiteitä. Myös kaikki sijainnit, joista työntekijät joutuivat tutkimuksen aikana hakemaan tai viemään työkaluja ja materiaalia, otettiin tutkimuksessa ylös. Näin pystyttiin tutkimuksen jälkeen laskemaan, mihin sijainteihin kertyi eniten kävelymetrejä ja olisiko niitä joillakin toimenpiteillä mahdollista vähentää. Työntutkimuksesta muodostettiin kattavat raportit kohdeyritykselle. Ne tulokset, joilla on merkitystä tämän diplomityön kannalta, on esitetty luvussa 4.

3.4 Työntutkimuksen toimintamallin kehitys

Tuotantosolun 4 mittausten jälkeen tehtiin muutama pieni muutos työntutkimuksen työkaluihin. Mittauspohjaan lisättiin mahdollisuus täydentää työvaihe ja aikalaji jo

mittauksen yhteydessä, jotta datan käsittely mittauksen jälkeen keventyisi. Lisäksi alun perin paperisena ollut havaintolomake siirrettiin sähköiseksi samaan tiedostoon, jossa mittauspohja oli, koska havaintojen kirjaaminen todettiin helpommaksi sähköisesti kuin paperille. Mittauspohjaan lisättiin myös työtehtävä-sarake, johon pystyi jo mittaustilanteessa kirjaamaan työvaihetta pienempien kokonaisuuk- sien alun ja lopun.

Myös aikalajit päätettiin päivittää. Tuotantosolun 4 työntutkimuksen perusteella to- dettiin, että työssä, joka on hyvin vaihtelevaa ja pääosin käsityötä, oli haastava käyttää luvussa 3.3 mainittuja työntutkimuksen aikalajeista mukautettuja aikalajeja. Uudet aikalajit, jotka määritettiin tuotantosolun 4 työntutkimuksen pohjalta, on esitetty kuvassa 19.

Jalostava aika	• Valmistettavalle tuotteelle tai sen osalle tapahtuu lopullisesti jotain, esim. reiän poraaminen levyyn.
Valmisteluaika	• Tuote ei edisty, mutta toimenpide on tehtävä, jotta työtä voidaan tehdä, esim. reiän paikan merkkäminen levyyn ja tuntikirjaukset
Järjestelyaika	• Työpisteen järjestely, siivous ja roskien vienti
Hakuaika	• Työpisteeltä lähdetään hakemaan tai viemään jotain materiaalia, osaa tai työkalua
Häiriöaika	• Työn edistymisen keskeytyminen virheen tai työhön liittyvän ulkoisen tekijän seurauksena
Ylimääräinen	• Lounas-, kahvi- ja muut tauot työn ohessa, tutkijahäiriöt ja meneillään olevaan työhön liittymättömät selvittelyt

Kuva 19. Lopulliset aikalajit

Aikalajeihin lisättiin kaksi uutta aikalajia: järjestelyaika ja hakuaika. Järjestelyaika erotettiin apuajasta ja siihen kuuluu kaikki työpisteen järjestelyt ja siivoukset. Ne eivät varsinaisesti liity valmistettavaan tuotteeseen, mutta työpisteen pitäminen siistinä ja turvallisena kuuluu kuitenkin työtehtäviin. Tätä ei haluttu sisällyttää valmisteluaikaan, koska valmisteluajan haluttiin nimenomaan liittyvän tuotteeseen, vaikka siinä tuote ei edistykään. Hakuaika lisättiin, jotta voitaisiin selvittää aika, joka kuluu työntekijöillä työkalujen ja materiaalien hakemiseen. Vaihe- aikanä sopinut tähän työhön, joten nimi vaihdettiin jalostavaksi ajaksi, mutta sisältö niissä on sama. Valmisteluaika ja häiriöaika säilyivät ennallaan muuten, mutta valmisteluaikaan lisättiin vanhan jaottelun mukaisesta apuajasta tuntikirjaukset ja muut tietojärjestelmiin tehtävät kirjaukset, kun apuaika poistettiin. Työntutkijan aiheuttamat häiriöt siirrettiin ylimääräiseen ja nyt ylimääräinen kattaa kaiken sellaisen, joka ei varsinaisesti työn kannalta ole kiinnostavaa.

Lisäksi todettiin, että jatkuva ajankäyttötutkimus on resursseja vaativa toimintatapa, koska se sitoo yhden työntutkijan työntekijää kohden ja yhden osakokoonpanon tai kokoonpanon valmistusaika on yleensä vähintään päiviä, jopa viikkoja. Tästä syystä päätettiin testata myös sellaista työntutkimuksen vaihtoehtoa, jossa työntekijä mittaa ja merkitsee itse lomakkeelle työvaiheiden kestot. Tällä tavalla saatava data ei ole niin tarkkaa, kuin työntutkijan suorittamalla jatkuvalla ajankäyttötutkimuksella, mutta on silti joissain tapauksissa riittävän tarkkaa.

Työntekijän suorittamaa työntutkimusta lomakkeella testattiin kesän ja syksyn 2023 aikana tuotantosoluissa 1, 3 ja 4. Tuotantosolussa 1 tutkittiin kaksi keskenään erilaista osakokoonpanoa, jotka myös työntutkija oli tutkinut. Samoin tehtiin tuotantosolussa 4, jossa mitattiin yksi sama kokoonpano, kuin työntutkijat olivat tutkineet. Lomakkeet koottiin jokaiselle solulle erikseen, koska niihin kirjattiin valmiiksi työntutkimuksessa määritetyt työvaiheet, jotka ovat kaikissa tuotantosoluissa eri. Työntekijän on tarkoitus kirjoittaa aloittamansa työvaiheen kohdalle aina aloituspäivämäärä ja kellonaika sekä tukkimiehen kirjanpidolla tauot, joilla hän on käynyt tuona aikana. Kun työntekijä lopettaa työvaiheen, hän kirjoittaa lopettamisajan. Näin toimitaan myös työpäivän loppuessa ja alkaessa, vaikka työvaihe olisi kesken. Lisäksi lomakkeella on paikka häiriöiden ja huomioiden sekä niiden kestojen kirjaamiselle. Tuotantosolun 1 mittauslomake on liitteessä C. Muilla tuotantosoluilla lomakkeet ovat vastaavanlaiset.

Lomaketutkimukseen osallistuneet työntekijät antoivat palautetta siitä, että lomake oli helposti ymmärrettävä ja täytettävä. Kuitenkin lomakkeen täyttäminen saattoi helposti unohtua ja vaati muistuttelua. Niiltä työntekijöiltä, jotka olivat mukana paperisen lomakkeen tutkimuksessa ja joilla on henkilökohtainen tietokone tai taulutietokone käytössä, tuli toive siitä, että lomake olisi sähköinen. Tuotantosolun 3 lomakemittausta varten kehitettiin lomakkeesta sähköinen versio, jota kerettiin testaamaan tuotantosolussa 3 osakokoonpanon kohdalla, joka ei ollut tuttu työntutkimuksesta ennestään. Sähköinen työnmittauslomake on esitetty liitteessä D. Sähköisessä lomakkeessa riittää, että työntekijä painaa Aloita-nappia sen työvaiheen kohdalla, jota hän alkaa tekemään. Vastaavasti painetaan Seis-nappia, kun lopetetaan työnteko esimerkiksi työpäivän päättymisen tai tauolle siirtymisen takia. Lomakkeella mitataan työvaiheissa esiintyvää häiriöaikaa ja korjaustöihin kuluva aikaa samalla tavalla kuin itse työvaiheen kesto. Sähköinen lomake helpottaa myös datan käsittelyä jälkikäteen. Tuotantosolun 3 työntekijät, jotka testasivat sähköistä lomaketta, antoivat palautetta, että lomaketta oli helppo käyttää, eikä se vaatinut ylimääräistä työtä.

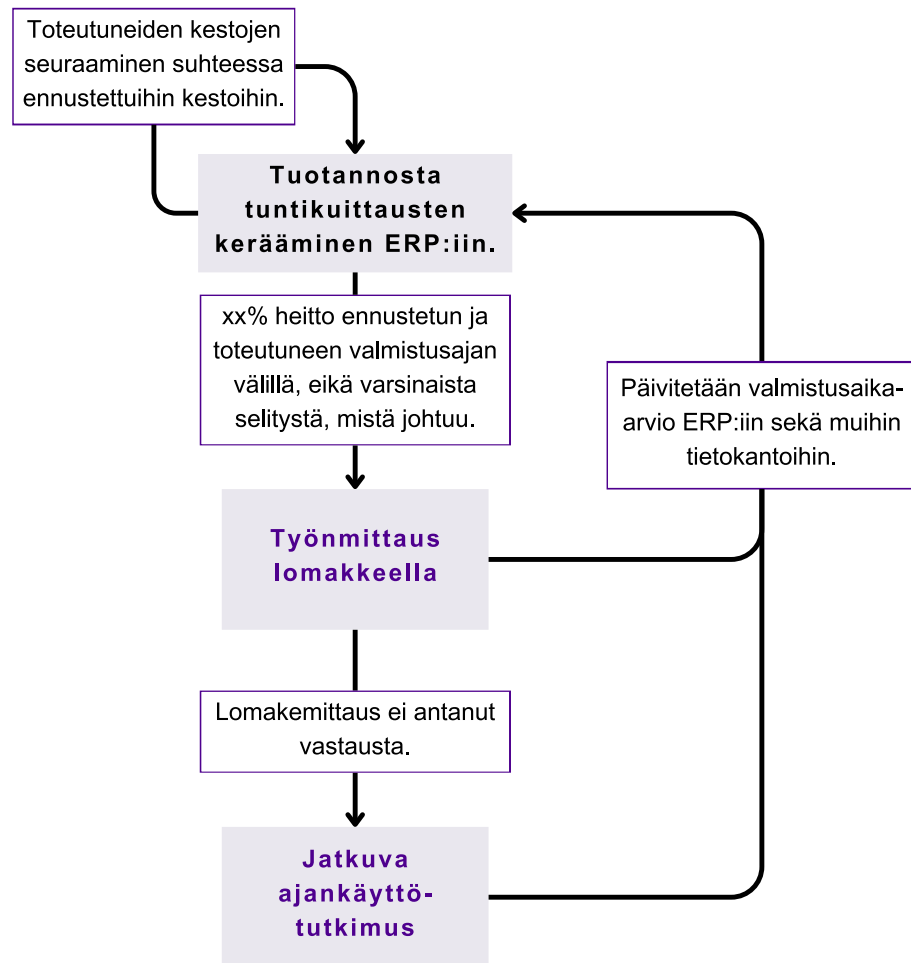
Kun lomakemittauksesta saatua dataa verrattiin valmistusaika-arvioihin sekä ERP:iin tehtyihin tuntikirjauksiin, huomattiin, että jos työntekijä kirjoittaa lomakkeelle jonkin häiriön, olisi hänen hyvä myös lisätä, mihin hän ERP:in tuntikirjauksissa häiriöajan kuittaa. Näin lomake- ja ERP-kirjaukset vastaisivat toisiaan. Ja kaikki, mitä työntekijä merkitsee ERP:iin häiriöajaksi, tulisi olla myös lomakkeella häiriöaikaa. Suoritetuissa lomakemittauksissa näin ei ollut, joten lomakemittauksen ohjeistusta tuli tältä osin tarkentaa. Sähköistä lomaketta tehdessä tämä otettiin huomioon.

Kesän aikana toteutetun työntutkimuksen pohjalta koottiin toimintamalli eli ohjeistus, kuinka samankaltainen työntutkimus olisi helppo toistaa. Tämä toimintamalli kävi kommenttikierroksen projektiryhmällä syyskuun lopussa. Palautteita saatiin kaksi ja ne otettiin huomioon. Lopulta toimintamallia muokattiin vielä yhteneväksi seuraavassa alaluvussa käsiteltävän suunnitelman kanssa.

3.5 Suunnitelma työntutkimuksen käytöstä valmistusaikojen ennustamisessa

Asiakasräätelöityjen tuotteiden takia kohdeyrityksellä on haasteena ennustaa tuotteiden valmistusaikoja. Lisäksi koska tuotteet ovat asiakasräätelöityjä, ei kerran toteutettu työntutkimus riitä kaikkien tuotteiden valmistusaikojen määrittämiseksi, vaan ennusteiden tulee kehittyä sitä mukaan, kun uusi tuotteita tulee tuotantoon eli jatkuvasti. Tähän ongelmaan vastaamiseksi kehitettiin suunnitelma, jonka mukaan tuotannosta kerätään valmistusaikadataa, jota verrataan ennustettuihin kestoihin ja tarvittaessa reagoidaan, jos ennusteet eivät täsmää toteutuneiden tuntien kanssa.

Ennen haastatteluja suunnitelma oli, että yhdistettäisiin päivittäinen valmistusdatan keruu eli työntekijöiden ERP:iin kuittaamat toteutuneet kestot, työntutkimus lomakkeella ja työntutkijan toteuttama jatkuva ajankäyttötutkimus portaikoksi. Kun toteutunut kesto suhteessa ennustettuun keston osuu yksiin ei toimenpiteitä tarvita. Tätä varten tuli määrittää rajat, joiden sisällä suhteen vaihtelu on hyväksyttävää. Silloin, kun suhde ei pysy rajojen sisällä, tulisi valmistusaika-arvio määrittää uudelleen työntutkimuksen avulla. Lähtökohtaisesti silloin portaikossa siirryttäisiin seuraavalle portaalle eli lomaketutkimukseen. Jos sekään ei riitä valmistusajan määrittämiseksi, toteutettaisiin jatkuva ajankäyttötutkimus. Tämä suunnitelman ensimmäinen versio on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Suunnitelman ensimmäinen versio

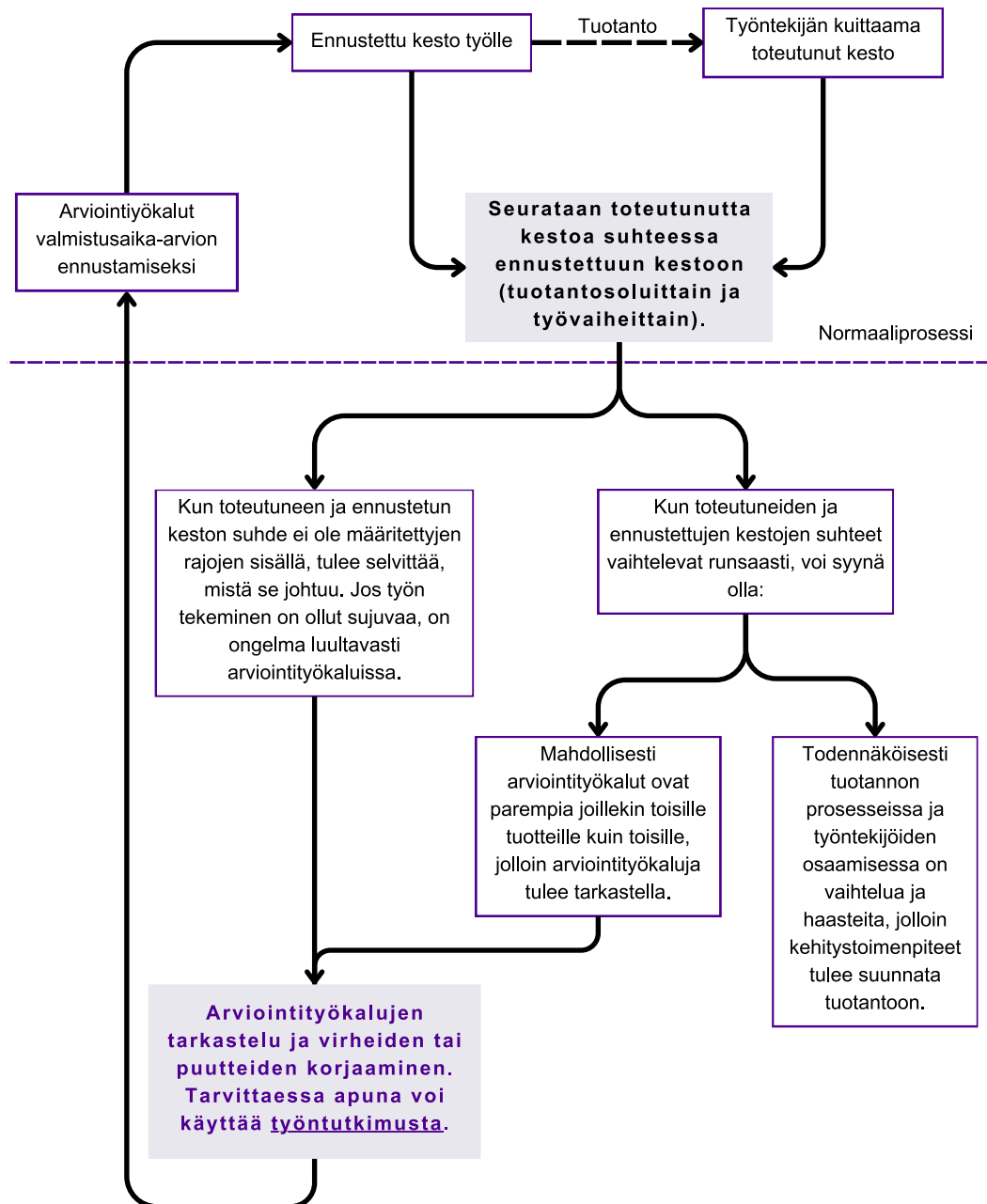
Lokakuussa 2023 pidettiin palaveri, jossa kerättiin palautetta suunnitelman ensimmäisestä versiosta eli kuvan 20 portaikosta. Palaveriin osallistui tehdaspäällikkö, tuotantopäällikkö, molemmat työnjohtajat, kehitysinsinööri, kehitysteknikko, Lean-insinööri sekä tuotannon kehitysinsinööri. Palaverissa todettiin, että portaikon kanssa toimiessa saattaa olla haasteellista määrittää, milloin työntutkimus käynnistetään ja mitä tuotetta työntutkitaan. Alla mainitut kaksi esimerkkiä ovat tällaisia tilanteita, joissa ongelmana on, ettei työntutkittavan kappaleen määrittäminen onnistu tai työntutkimuksen tuloksesta ei välttämättä saada hyötyä. Toisessa tehdään täysin uniikki yksittäiskappale ja toisessa pidempää sarjaa, jossa tulee peräkkäin useampi samanlainen kappale. Nämä kaksi esimerkkitalannetta kattaa lähes kaikki tilanteet, joten suunnitelma ensimmäisessä versiossa todettiin olevan haasteita.

Esimerkkitilanteet, joissa suunnitelman ensimmäinen versio ei toimi:

- Osakokoonpanon tai kokoonpanon toteutunut kesto suhteessa ennustettuun keston poikkeaa yli määritetyn rajan. Ei kuitenkaan ole tulossa samanlaista osakokoonpanoa tai kokoonpanoa, jota tutkia tai jonka aika-arvio pitäisi määrittää uudestaan.
- Osakokoonpanon tai kokoonpanon toteutunut kesto suhteessa ennustettuun keston poikkeaa yli määritetyn rajan. Osakokoonpano tai kokoonpano on osa sarjaa ja samaan sarjaan kuuluvia kappaleita on vielä tulossa valmistukseen. Toteutunut kesto on kuitenkin kuitattu jo ERP:iin kyseisen kappaleen osalta, jossa poikkeamakin todettiin. ERP:iin ei voi siis enää muuttaa valmistusaika-arviota edes myöhempien kappaleiden osalta.

Lisäksi haastatteluissa tuli ilmi, että kohdeyrityksellä on jo olemassa alustava työkalu valmistusaikojen ennustamiseen, mutta sitä ei ole vielä otettu työnsuunnittelijoiden käyttöön. Olemassa olevaa työkalua ei haluttu täysin sivuuttaa suunnitelmassa, vaan jopa mahdollistaa sen kehittäminen. Kun yhdistettiin suunnitelman ensimmäisen version haasteet ja se, että kohdeyrityksellä on olemassa alustava työkalu valmistusaikojen ennustamiseksi, päädyttiin suunnitelmaa päivittämään.

Työntutkimusta ei suoraan haasteiden takia pysty käyttämään minkään osakokoonpanon tai kokoonpanon valmistusajan määrittämiseksi. Työntutkimuksen avulla voitaisiin kuitenkin kehittää olemassa olevaa työkalua, jotta se pystyisi parempiin valmistusaikojen ennusteisiin. Edelleen toteutuneet kestot kuitattaisiin ERP:iin ja niitä seurattaisiin suhteessa ennustettuihin kestoihin. Jokaisen rajat ylittävän tai alittavan työn kohdalla tulisi selvittää, mistä se johtuu. Myös vaihtelua kannattaa seurata, sillä sekin voi paljastaa ongelmia joko tuotantoprosesseissa tai valmistusaikojen arviointityökaluissa. Korjaavat toimenpiteet eivät välttämättä sisällä työntutkimusta, vaan se arvioidaan tilanteen mukaan. Kuitenkin jos todetaan, että valmistusaikojen arviointityökalu ennustaa työn ajan väärin ja siinä on puutteita, on työntutkimus toimiva tapa päivittää arviointityökalua. Työntutkimuksen avulla voisi tarvittaessa päivittää arviointityökalun sisältämiä komponenttien asennusaikoja, jos ne paljastuvat olevan pielessä. Työntutkimuksen avulla voi myös määrittää uusien komponenttien tai työtehtävien keston ja lisätä sitten arviointityökalun tietokantaan. Kolmas asia, jonka voi päivittää työntutkimuksen avulla, on arviointityökalun sisältämä apuaikakerroin. Päivitetty suunnitelma on esitetty kuvassa 21.



Kuva 21. Suunnitelman toinen versio

Päivitetystä suunnitelmasta pidettiin palaveri, jossa oli paikalla tehdaspäällikkö, tuotantopäällikkö, molemmat työnjohtajat, kehitysinsinööri, kehitysteknikko ja Lean-insinööri. Uusi suunnitelma oli yksimielisesti toteutuskelpoinen ja hyvä. Rajat päätettiin määrittää tuotantosolukohtaisesti, sillä eri tuotantosoluissa valmistetaan erilaisia ja eri kestoisia osakokoonpanoja. Suunnitelman käyttöönotto vaatii kohdeyrityksessä joitakin toimenpiteitä sekä vastuuhenkilöiden määrittämisen.

4. TULOKSET

Tässä luvussa esitetään ensin työntutkimuksen tulokset. Sen jälkeen esitetään työn päätulos, joka on suunnitelma valmistusaikadatan seurannasta ja työntutkimuksen käytöstä valmistusaikojen ennustamisessa. Siihen sisältyy myös työntutkimuksen toimintamalli.

4.1 Työntutkimuksen tulokset

Taulukossa 3 on esitetty yhteenvetona kaikkien työntutkittujen osakokoonpanojen ja kokoonpanojen keskeiset tulokset diplomityön kannalta. Sähköisellä lomakkeella mitattu osakokoonpano 3 puuttuu tulostaulukosta, sillä mittaukseen ei saatu työn alkua mukaan sähköisessä lomakkeessa ilmenneiden ongelmien takia. Kokonainen versio taulukosta löytyy liitteestä E taulukko 4. Lisäksi liitteessä E kuvassa 26 on esitetty kokoonpanon 4 sarjan kappaleiden 1–11 ERP:iin kuitatut tunnit. Sarjasta tutkittiin työntutkimuksessa 7. kappale ja lomakkeella 11. kappale.

Tulostaulukossa toteutunut suhteessa ennustettuun kuvaa sitä, kuinka hyvin työntutkimuksessa mitattu toteutunut ja ennustettu kesto osuvat yhteen. Toteutunut aika sisältää myös häiriöajan, jota ei ennustetussa ajassa ole otettu huomioon. Seuraavassa sarakkeessa on tehty vertailu, paljonko työntekijä on yhteensä kuittanut tunteja työlle, häiriöajaksi ja muutostyölle suhteessa siihen, mitä työntutkimuksella mitattu toteutunut aika on. Suhdeluku kertoo siitä, kuinka tarkasti työntekijät kuittaavat toteutuneita tunteja ERP:iin. Sen jälkeen on vielä vertailtu työntekijän ainoastaan työlle kuittaamia tunteja suhteessa siihen, paljonko työlle oli ennustettu kestoja. Tämä suhdeluku on selvitettävissä ilman työntutkimusta pelkän ERP:stä otetun datan avulla. Huomioita-sarakkeessa on mainittu, jos työntekijä oli kesätyöntekijä ja jos työntutkimus oli suoritettu lomakemittauksena työntekijän toimesta, eikä työntutkijan mittaamana. Kesätyöntekijöitä on ohjeistettu kuittaamaan 0,7-kertaisena toteutuneet tunnit, jotta kokemuserot tasoittuisivat. Tämän takia kesätyöntekijöiden kuittaamat kestot ovat noin 70 % toteutuneesta kestopista. Häiriöaikaa töissä oli 0,96–12,71 %. Häiriöaika koostui esimerkiksi toimittajalta tulleen huonon laadun paikkaamisesta, erinäisten epäselvien asioiden selvittämisestä sekä suunnittelumuutoksien toteuttamisesta.

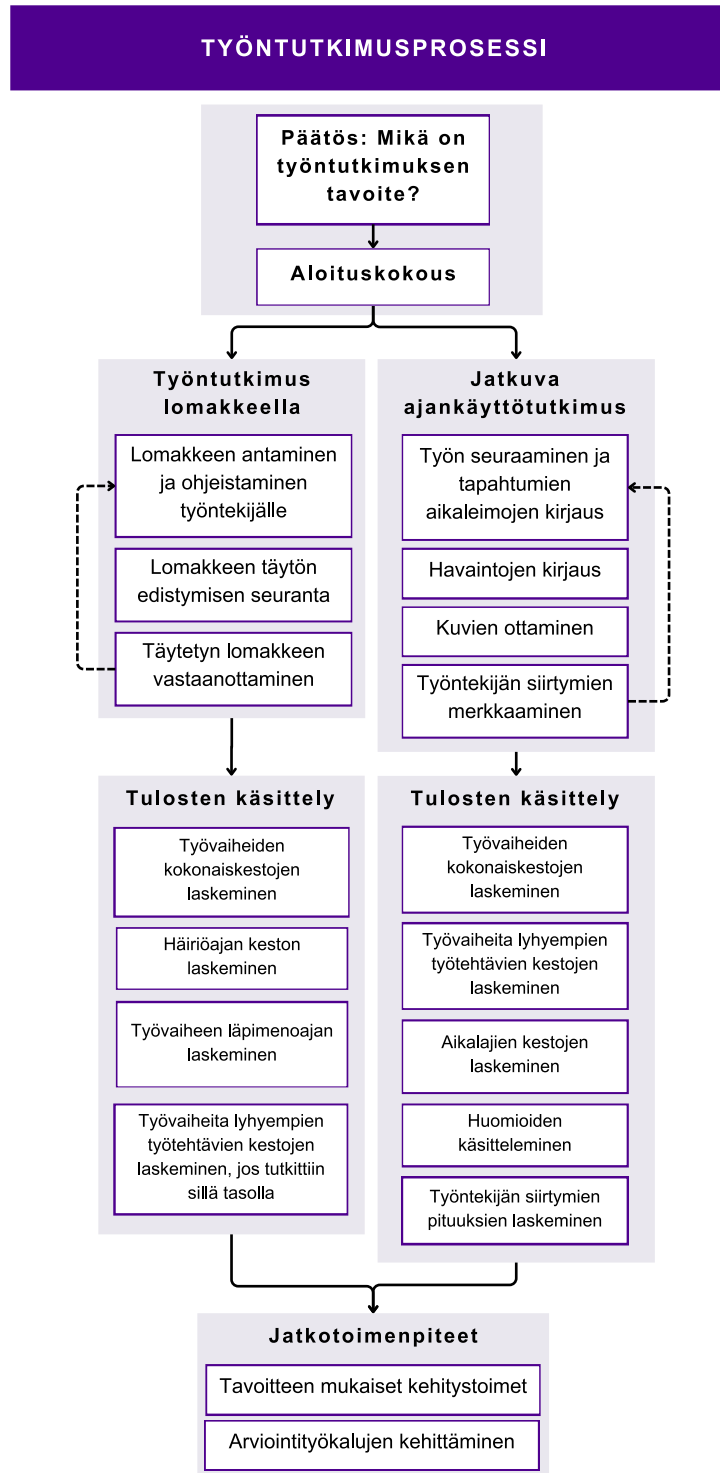
Taulukko 3. Työntutkimuksen tulosten yhteenveto

Työ	Toteutunut / ennustettu	Kuitattu yhteensä / toteutunut	Kuitattu työlle / ennustettu	Huomioita
Osakokoonpano 1a #4	88,95 %	72,80 %	64,75 %	Kesätyöntekijä
Osakokoonpano 1a #5	83,72 %	104,52 %	87,50 %	
Osakokoonpano 1a #7	91,71 %	102,23 %	93,75 %	
Osakokoonpano 1a #8	87,55 %	71,96 %	63,00 %	Kesätyöntekijä
Osakokoonpano 1a #10	99,00 %	73,23 %	70,00 %	Kesätyöntekijä, lomakemittaus
Osakokoonpano 1b	85,23 %	102,66 %	87,50 %	
Osakokoonpano 1c	74,62 %	100,51 %	75,00 %	
Osakokoonpano 1d	50,60 %	72,46 %	36,67 %	Kesätyöntekijä
Osakokoonpano 1d	54,44 %	73,47 %	40,00 %	Kesätyöntekijä, lomakemittaus
Osakokoonpano 2a	44,01 %	111,33 %	49,00 %	
Osakokoonpano 2b	49,99 %	136,40 %	68,18 %	
Osakokoonpano 3	64,20 %	107,92 %	69,29 %	
Kokoonpano 4 #7	74,25 %	79,68 %	58,75 %	
Kokoonpano 4 #11	111,88 %	95,72 %	98,75 %	Lomakemittaus

Työntutkimusta varten määritettiin kaikkiin tutkimuksen kohteena oleviin tuotantosoluihin oma, solussa yleisesti pätevä työvaiheistus. Liitteen E taulukoissa 5–8 on esitetty, kuinka kullekin osakokoonpanolle tai kokoonpanolle määritetyt työvaiheet etenevät mitattujen töiden osalta. Riippuen työn kokonaispituudesta on etenemää seurattu tunti, päivä tai kolmasosa päivä kerrallaan. Taulukossa prosenttiluvut tarkoittavat, kuinka paljon kustakin työvaiheesta on saatu valmiiksi sen päivän tai tunnin loppuun mennessä.

4.2 Työntutkimuksen käyttö valmistusaikojen ennustamisessa

Työntutkimuksen toteuttamiseksi on kehitetty työntutkimuksen toimintamalli, joka on esitetty tiivistettynä kuvassa 22. Tarkemmin työntutkimuksen toimintamalli on esitetty liitteessä F. Toimintamalli keskittyy erityisesti jatkuvaan ajankäyttötutkimukseen, sillä se on helppo toteuttaa silloinkin, kun työn sisältö ei ole täysin tarkasti tiedossa etukäteen ja lisäksi sillä saa mitattua tarkasti eri työtehtävien kestoja. Toinen pienemmällä resursseilla toteutettava vaihtoehto on työntutkimus lomakkeella. Toimintamalli sisältää myös ohjeistuksen siihen.



Kuva 22. Työntutkimus prosessina

Diplomityön tuloksena syntyi suunnitelma siitä, kuinka yrityksen tulisi jatkossa kerätä valmistusaikadataa tuotannosta ja käyttää sitä sekä tarvittaessa työntutkimusta hyväkseen saadakseen valmistusaika-arviot todenmukaisiksi. Tämä suunnitelma löytyy liitteestä G. Suunnitelma perustuu siihen, että valmistusaikojen en-

nustamiseen käytetään työkalua, joka on kohdeyrityksessä jo käytössä osalle osakokoonpanoista. Sen lisäksi tuotannosta kirjataan jokaisen valmistettavan työn kohdalla toteutunut kesto todenmukaisesti ja mahdollisimman tarkasti. Työkalua tulee täydentää ja kehittää seuraamalla tuotannosta kerättyjä toteutuneita kestoja suhteessa valmistusaika-arvioihin ja tarvittaessa reagoimalla arviointityökalun puutteisiin ja virheisiin. Tällä tavalla arviointityökalu saataisiin myös asteittain otettua käyttöön lopulta kaikkien osakokoonpanojen ja kokoonpanojen kohdalla.

Kun tuotannossa toteutuneet valmistusajat suhteessa ennustettuihin valmistusaikoihin pysyvät määritetyn rajan sisällä, voidaan todeta työkalun ennustavan valmistusajat tarpeeksi osuvasti. Kun toteutuneet valmistusajat suhteessa ennustettuihin valmistusaikoihin menevät yli tai ali määritetyn rajan, tulee arviointityökalua tarkastella. Virhe arviointityökalussa voi olla se, että se sisältää komponenteille väärät asennusajat, se ei osaa ottaa huomioon kaikkia työvaiheita tai apuaikakerroin, jonka tulisi ottaa huomioon tauot, elpyminen ja työpäivän aloitus- ja lopetusrutiinit, ei ole sopiva. Näiden virheiden selvittämiseksi ja korjaamiseksi voidaan käyttää työntutkimusta. Kun seurataan toteutuneita valmistusaikoja suhteessa ennustettuihin, tulisi myös kiinnittää huomiota niiden vaihteluun. Jos suhde vaihtelee paljon, syy voi olla, että tuotannon prosesseissa tai työntekijöiden osaamisessa on vaihtelua ja ongelmia. Silloin kehitystoimet tulee suunnata tuotannon prosesseihin ja työmenetelmiin.

5. LOPPUPÄÄTELMÄT JA KEHITYSEHDOTUKSET

Tässä luvussa pohditaan aluksi käytettyjen menetelmien ja niillä saatujen tulosten luotettavuutta, yleistettävyyttä ja relevanttiutta. Sen jälkeen analysoidaan tuloksia ja vastataan vielä tutkimuskysymyksiin. Lopuksi ehdotetaan jatkokehitystä varten muutamia toimenpiteitä.

5.1 Menetelmien arviointi

Työntutkimus oli yksi tämän työn tutkimusmenetelmistä. Työntutkimuksen pääasiallinen rooli työssä oli se, että sen toteuttamisen kautta pyrittiin löytämään kohdeyritykselle toimiva työntutkimuksen toimintamalli. Sen lisäksi se auttoi ymmärtämään kohdeyrityksen toimintaa ja tuotannon ominaispiirteitä. Työntutkimus tuotti numeerista dataa työvaiheiden kestoista ja siitä, miten työ jakautui eri aikalajeihin. Lisäksi saatiin tietoa siitä, paljonko työntekijät joutuivat kävelemään hakeakseen työkaluja ja materiaaleja sekä havaintoja työympäristöstä, työmenetelmistä ja työturvallisuudesta. Näistä kaikki ei ollut oleellista tämän työn kannalta, mutta tulosten aikaansaamiseksi tarvittujen työntutkimuksen menetelmien testaaminen oli kuitenkin tärkeää, jotta saatiin luotua testattu työntutkimuksen toimintamalli. Lisäksi kaikki työntutkimuksesta saatu data ja huomiot ovat hyödyllisiä kohdeyritykselle. Niiden perusteella kohdeyritys on tekemässä kehitystoimia tuotantoonsa.

Työntutkimuksessa on mahdollisia virhelähteitä ovat työntutkija, tutkimuksen kohteena oleva työntekijä tai tutkittava tuote. Työntutkijan tulee olla valppaana koko tutkimuksen ajan ja hahmottaa, mitä tapahtuu, jotta hänen vaikutuksensa tuloksiin olisi minimaalinen. Työntekijästä aiheutuu virhettä tuloksiin, jos hänellä ei ole neutraali suhtautuminen tutkimukseen. Tuote saattaa vaikuttaa virheellisesti tuloksiin tai hankaloittaa yleistettävyyttä, jos sen valmistusmenetelmät ja -ympäristö poikkeavat merkittävästi muiden tuotteiden valmistusmenetelmistä ja -ympäristöstä. Tämä tulee ottaa huomioon, jos tulevaisuudessa työntutkimusta käytetään valmistusaikojen selvittämiseksi. Työntutkimuksen luotettavuutta voidaan lisätä sillä, että tutkitaan useampia tuotteita ja työntekijöitä, jotta yksittäiselle tutkimuksen kohteena olevalle tuotteelle ja työntekijälle ei anneta liikaa painoarvoa. Tässä työssä työntutkimukseen osallistui yhteensä 11 työntekijää ja valituilla työntekijöillä oli hyvä asenne sekä halu tehdä yhteistyötä. Työntutkimustiimi oli myös hyvin orientoitunut työntutkimukseen. Niiltä osin tutkimustulokset ovat luotettavia. Tulosten

yleistettävyyteen vaikuttaa se, että luultavasti työntekijät ovat tehneet kehotuksesta huolimatta työnsä nopeammin, kuin normaalitilanteessa, jossa kukaan ei seuraa heitä vierestä. Tästä seuraa se, että tulosten mukaan tuotteiden valmistus on nopeampaa, kuin normaalissa tilanteessa.

Haastattelussa, joka oli toinen tämän työn tutkimusmenetelmistä, virhelähteitä on työntutkimuksen tapaan haastattelija ja haastateltava. Tässä työssä haastatteluiden luotettavuutta lisäsi se, että samasta aiheesta haastateltiin useampaa henkilöä, jotta saatiin vastauksia eri henkilöiltä jopa samoihin kysymyksiin ja ainakin eri näkökulmista samaan aiheeseen. Henkilöt haastateltiin työrooleittain ryhmiin jaetuna, jotta kukaan ei jättäisi sanomatta asioita muiden läsnäolon takia. Haastatteluiden aihe ei ollut arka, eikä ole syytä epäillä, etteivät haastateltavat olisi puhuneet todenmukaisesti. Haastatteluiden lisäksi olisi tuotannosuunnittelu- ja valmistusaikojen ennustamisprosessia voinut havainnoida luotettavuuden ja syvällisen ymmärtämisen lisäämiseksi.

Tämä diplomityö toteutettiin kohdeyrityksessä yhdelle komponenttitehtaalte. Työntutkimuksen toimintamalli on yleistettävissä kohdeyrityksessä muillekin tehtaille. Kohdeyrityksellä on muitakin ETO-ympäristössä toimivia komponenttitehtaita, joilla valmistetaan samojen tuotteiden muita osakokoonpanoja ja siten tuotantotoiminta on lähellä kohdeyrityksenä olleen komponenttitehtaan tuotantotoimintaa. Työntutkimuksen toimintamalli on toimiva myös yrityksen ulkopuolella tuotantolaitoksissa käytettäväksi.

Valmistusaikadatan keruu ja seuranta on toimintatapa, joka tulisi olla käytössä missä tahansa tuotannossa. Kuten myös se, että reagoidaan jollakin tavalla, kun tuotannossa toteutuma ei enää täsmää suunnitellun kanssa. Se osa suunnitelmasta on siis yleistettävissä kaikkiin tuotantolaitoksiin. Lisäksi kohdeyrityksen muille tehtaille sekä muille ETO-periaatteella toimiville valmistavan teollisuuden yrityksille suunnitelma on yleistettävissä kokonaisuudessaan, sillä heillä on luultavasti samankaltaisia haasteita kuin kohdeyrityksellä. Suunnitelmassa valmistusaikadataan reagointi keskittyy siihen, että pyritään saamaan valmistusaikojen ennustamiseen käytettävät arviointityökalut osumaan oikeaan. Sellaisessa tuotantoympäristössä, jossa variaatiota tuotteiden välillä on vähän, ei seurantaa tarvitse tehdä sen takia, että ennustaminen olisi vaikeaa. Kuitenkin joka tapauksessa työntutkimus on yksi tapa ottaa selvää poikkeamien syistä.

Tämän diplomityön aihe on relevantti kohdeyritykselle, sillä heillä on haasteita tuotteiden valmistusaikojen, häiriöajan osuuden ja tuotteiden valmistumisajankohtien

ennustamisessa. Kohdeyritys ei kuitenkaan ole ainoa ETO-yritys, jolla on samankaltaisia haasteita. Tästä syystä tutkimus ja kehitystyö ETO-yritysten päivittäisten haasteiden ratkomiseksi on relevanttia.

5.2 Tulosten analysointi ja vastaukset tutkimuskysymyksiin

Tässä luvussa vastataan tutkimuskysymyksiin sekä analysoidaan saatuja tuloksia. Luvussa käydään läpi jokainen tutkimuskysymys kerrallaan, vastataan siihen sekä analysoidaan siihen liittyviä tuloksia ja niiden merkitystä.

Millainen työntutkimuksen toimintamalli sopisi kohdeyritykselle?

Tähän tutkimuskysymykseen vastaamiseksi toteutettiin työntutkimus kohdeyrityksessä ja samalla toimintamallia kehitettiin esille tulleiden huomioiden perusteella. Valmis työntutkimuksen toimintamalli on nähtävissä liitteestä F. Työn rajoituksiin kuului se, että työntutkimus toteutettiin vain osassa tehtaan tuotantosoluista. Siitä huolimatta työntutkimuksen toimintamalli on yleistettävissä muihinkin tuotantosoluihin. Toimintamallilla voi valmistusaikojen arviointityökalujen kehittämisen lisäksi esimerkiksi arvioida tuotantosolujen layoutin nykytilaa, määrittää eri työmenetelmien tehtyjen töiden kestot sekä havainnoida ergonomian, työturvallisuuden ja työmenetelmien nykytilaa. Toimintamalli sisältää lomaketutkimuksen, jonka sähköinen versio sai käyttäjiltä hyvää palautetta siitä, että lomakkeen käyttö oli helppoa, eikä häirinnyt varsinaista työntekoa. Paperisen lomakkeen täyttämässä ilmeni enemmän unohduksia ja sillä mitatun datan käsittely oli vaivalloisempaa kuin sähköisen lomakkeen.

Työntutkituissa töissä toteutuneet kestot ovat suurimmaksi osaksi alle ennustettujen aikojen, huolimatta siitä, että toteutuneissa ajoissa oli häiriöaikaa 0,96–12,71 %, eikä sitä ollut ennustettu valmistusaikaan. Lyhyet toteutuneet valmistusajat voivat johtua osaksi siitä, että työntutkimuksessa työntekijää seuraa koko ajan vierestä työntutkija. Ristiriidan luo se, että yleinen kommentti työntekijöiden joukossa on se, että ennustetut valmistusajat ovat liian lyhyitä, eikä niihin ole mahdollista päästä. Tämä kiellii mahdollisesti siitä, että tuotannon työntekijöidenkin keskuudessa on epäselvää, mihin valmistusaika-arviot perustuvat. Lisäksi jännitteitä aiheuttaa se, että valmistusaika-arviot vaikuttavat työntekijöiden rahallisiin bonuksiin.

Tutkituissa töissä havaittu häiriöaika koostui esimerkiksi toimittajalta tulleen huonon laadun paikkaamisesta, erinäisten epäselvien asioiden selvittämisestä sekä suunnittelumuutoksien toteuttamisesta. Kaikki näistä häiriöistä on tyypillisiä ETO-

tuotannossa. Helpoiten pystytään vaikuttamaan epäselvien asioiden selvittämiseen. Siihen auttaa se, että tuotantosoluissa ja tuotannon tukitoiminnoissa on selkeät tietovirrat ja toimintajärjestys. Ulkoisesta syystä tai toimijasta aiheutuvien häiriöiden poistaminen on haastavaa, mutta niistä tulisi kuitenkin antaa palautetta, jotta häiriön aiheuttanut toimija on tietoinen virheistä ja voi parantaa toimintaansa. Lisäksi, jos tiedetään töiden sisältävän häiriöaikaa, kannattaa häiriöille myös varata aikaa tuotantosuunnitelmaan, etteivät työt sen takia ole järjestäen myöhässä aikataulusta. Samaan tapaan kannattaa tuotantosuunnitelmaan varata enemmän aikaa sarjan ensimmäiselle työlle kuin myöhemmille, koska tiedetään, että ensimmäisen kohdalla joudutaan ratkomaan ongelmat ja epäselvät tuotemäärittelyt.

Työntutkimuksen tulokset eivät varsinaisesti tuoneet esille sitä, kuinka työn kesto muuttuu, kun tehdään sarjaa, jossa on monta samanlaista työtä, koska työntutkimuksessa ei tutkittu mistään sarjasta ensimmäistä ja myöhempää kappaletta. Liitteen E kuvasta 26 kuitenkin nähdään, että kokoonpanosta 4, josta työntutkittiin 7. kappale, ERP:iin kuitatut tunnit noudattavat sarjan edetessä laskevaa trendiä, mikäli luotetaan, että työntekijät ovat kuitanneet tunnit todenmukaisesti. Kuvasta huomataan myös, että 7. kappaleelle on kuitattu selvästi vähiten tunteja, myös vähemmän kuin työntekijät mittasivat työn kestoksi, mikä viittaa siihen, että sen kohdalla osa tunneista on unohtunut raportoida. Liitteen E taulukosta 4 nähdään, että mitatuista tuotteista kolmelle on kuitattu yli 10 % enemmän tai vähemmän tunteja, kuin mittauksen mukaan toteutunut kesto on. Tässä ei ole otettu huomioon kesätyöntekijöiden tekemiä töitä, sillä heidät on opastettu kuitaamaan toteutuneet tunnit 0,7-kertoimella. Jos siis tutkittujen töiden tuntikuittauksista tehdään yleistävä johtopäätös, voidaan todeta, että tuntien kuittauksessa esiintyy unohduksia tai muusta syystä virheitä.

Liitteen E taulukoista 5–8 nähdään, että työvaiheet, jotka määritettiin työntutkimuksessa, toteutuvat järjestyksessä, mutta useampi kerrallaan samaan aikaan. Työvaiheiden sisältö ja järjestys on riippuvainen valmistettavasta tuotteesta, kuten taulukoista 5 ja 6 nähdään eri osakokoonpanojen 1 kohdalla. Lisäksi osakokoonpanossa 1 työvaiheet 3 ja 5 eivät välttämättä toteudu aina. Kokoonpanosta 4 etenemän seuranta tehtiin myös lomakkeella mitatusta kappaleesta. Lomakkeella mitatun kokoonpanon etenemästä taulukosta 8 nähdään, ettei työvaiheet etene täysin, kuten työntutkijan mittaamassa kappaleessa. Se saattaa selittyä sillä, että lomakemittaus on aina yksinkertaistettu versio työntutkijan tekemään työntutkimukseen verrattuna. Työvaiheita muutettiin kokoonpanon 4 työntutkitun kappaleen jälkeen niin, että vaiheet 1 ja 2 yhdistettiin vaiheeksi 1, kuten etenemästä huomataan.

Työvaiheista voidaan työntutkimuksen perusteella todeta, että niiden määrä on järkevä. Jos haluaisi työvaiheiden etenevän niin, että edellinen loppuu ennen seuraavan alkua eli mitään vaiheita ei tehtäisi limittäin, pitäisi työvaiheet jakaa joko todella pieniksi kokonaisuuksiksi tai nykyistä suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Pienempiin kokonaisuuksiin jakaminen ei kannata, koska silloin työntekijälle olisi suhteettoman vaivalloista toteuttaa lomakemittaus tai raportoida toteumaa työvaiheiden tarkkuudella. Suurempiin kokonaisuuksiin jako ei taas antaisi juuri tarkempaa informaatiota valmistusajan jakautumisesta, kuin yksi kokonaisuus. Työvaiheistus on määritetty vain niiden tuotantosolujen osakokoonpanoille ja kokoonpanoille, joissa on suoritettu työntutkimus.

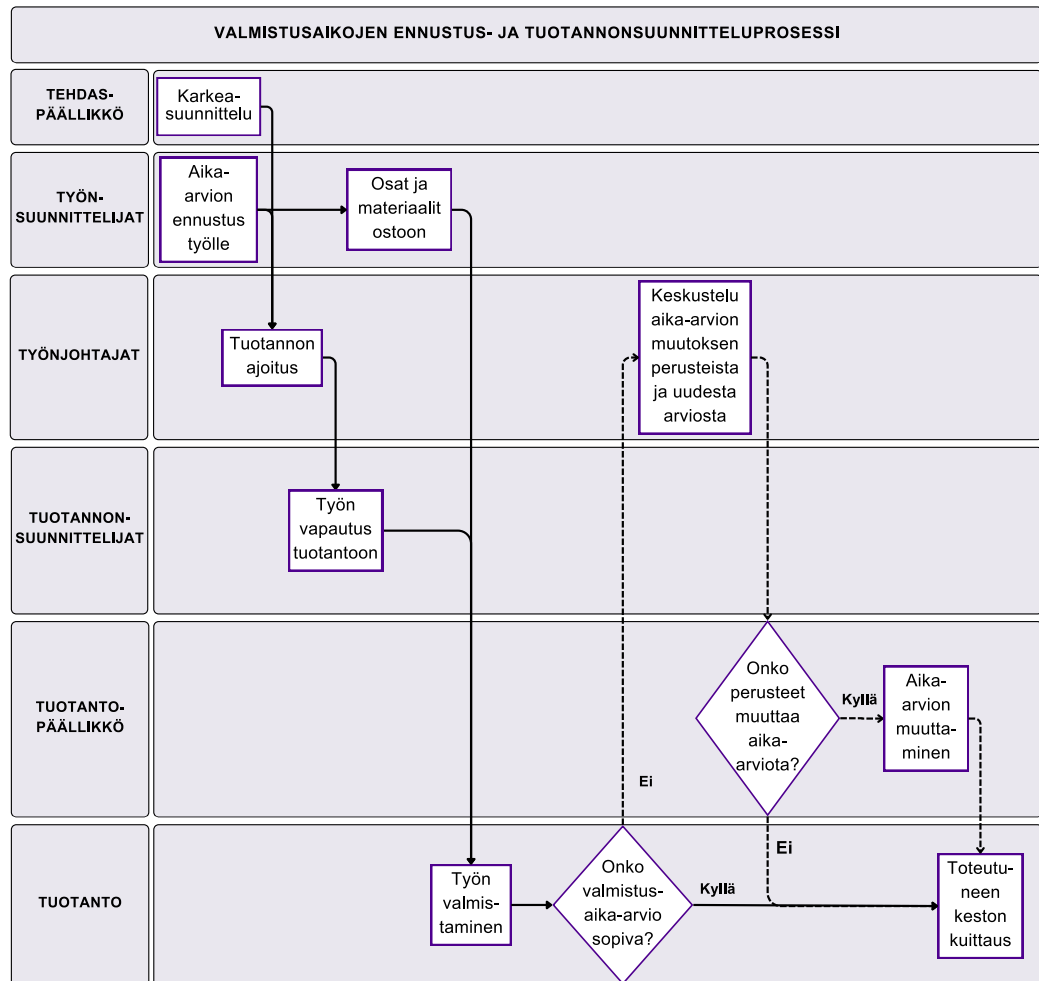
Miten ja missä tapauksissa työntutkimusta voisi käyttää apuna valmistusaikojen ennustamisessa?

Työntutkimusta tulisi käyttää valmistusaikojen ennustamiseen käytettävien työkalujen kehittämiseen silloin, kun ennustettu ja toteutunut kesto eivät täsmää. Työntutkimusta tulisi käyttää myös arviointityökalujen koostamiseksi niille osakokoonpanoille ja kokoonpanoille, joille sitä ei vielä ole olemassa. Suunnitelma tästä on esitetty liitteessä G. Tämä diplomityö rajoittuu suunnitelman esittämiseen ja sen käyttöönotto jää kohdeyrityksen tehtäväksi. Suunnitelman toimeenpano on pitkä prosessi, eikä sitä diplomityön aikarajoitteen puitteissa olisi mahdollista toteuttaa.

Diplomityön luoman suunnitelman käyttöönotto on jo aloitettu kohdeyrityksessä ja se aiotaan ottaa käyttöön kokonaisuudessaan. Suunnitelman toteuttaminen mahdollistaa yritykselle jatkuvan kehittymisen töiden valmistusaikojen ennustamisessa, vaikka se on haastavaa ETO-tuotantoympäristössä. Diplomityö pyrkii vaikuttamaan kohdeyrityksen tuotannosuunnitteluprosessiin sekä siihen, kuinka kohdeyrityksessä suhtaudutaan valmistusaikojen raportoinnin merkitykseen ja raportoinnista saadun datan hyväksikäyttöön. Diplomityön seurauksena on mahdollista, että yrityksen tuotannosuunnittelu on täsmällisempää, tuotantoa on helpompi ohjata kuin tällä hetkellä ja toimitusvarmuus on nykyistä parempi.

Millainen on kohdeyrityksen valmistusaikojen ennustus- ja tuotannosuunnitteluprosessi tällä hetkellä?

Yrityksen nykyistä valmistusaikojen ennustus- ja tuotannosuunnitteluprosessia käytettiin pohjana työn päätulokselle eli suunnitelmalle. Prosessiin tulee suunnitelman käyttöönoton myötä uutena toteutuneiden ja ennustettujen kestojen vertaaminen. Diplomityö ei ota kantaa siihen, tulisiko työnjakoa prosessissa muuten muuttaa. Tämän hetken prosessi on esitetty kuvassa 23.



Kuva 23. Valmistusaikojen ennustus- ja tuotannosuunnitteluprosessi

Tällä hetkellä työnsuunnittelijat käyttävät valmistusaikojen ennustamiseen eri tapoja. Suunnitelmassa lähtökohtana on, että valmistusaikojen ennustamiseen käytettäisiin arviointityökaluja. Syynä on se, että jos valmistusaika-arviot eivät perustu yhteen, samaan lähteeseen tai ovat yksittäisen työnsuunnittelijan omia arvioita ja todetaan, etteivät arvio ja toteutunut kesto täsmää, ei ole olemassa virhelähdettä, jonka voisi korjata. Tämän takia tulisi työnsuunnittelussa vakiinnuttaa kaikkien osakokoonpanojen ja kokoonpanojen valmistusaikojen ennustamiseen arviointityökalut, jotka perustuvat osakokoonpanojen ja kokoonpanojen todelliseen sisältöön ja joita voi päivittää, kun huomataan, ettei ennustettu valmistusaika ja toteutunut kesto täsmää.

5.3 Kehitysehdotukset

Tämän diplomityön päätulos on jo itsessään kehitysehdotus, joka vaatii toimenpiteitä kohdeyrityksessä. Sen lisäksi, että suunnitelma otetaan kohdeyrityksessä

käyttöön, voi sitä myös edelleen kehittää. Siihen liittyen on alla esitetty kolme kehitysideaa kohdeyritykselle.

Valmistusaikojen ennustaminen ja toteutuneiden kestojen raportointi työvaiheiden tarkkuudella:

Sen sijaan, että työntekijät kuittaavat toteutuneet kestot yhtenä lukuna osakokoonpanoa tai kokoonpanoa kohden, kestot olisi hyvä kuitata työntutkimuksessa määritettyjen työvaiheiden tarkkuudella. Se auttaisi rajaamaan jo valmistusaikadatan seurantavaiheessa poikkeaman tiettyyn työvaiheeseen. Työvaiheittain kestojen kuittaminen vaatisi sen, että ERP:iin lisättäisiin osakokoonpanoille ja kokoonpanoille työvaiheiden mukaiset vaiheistukset. Lisäksi valmistusajat pitäisi myös ennustaa ja ilmoittaa työvaiheiden tarkkuudella eli arviointityökaluja pitäisi muokata niin, että ne ilmoittavat valmistusaika-arvion työvaiheittain. Joka tapauksessa osakokoonpanon kokonaisvalmistusaika on summa työvaiheiden kestoista, joten arviointityökalun muokkaaminen niin, että se ilmoittaa ennustetut kestot työvaiheittain ei vaadi suurta vaivaa.

Haastavinta toteutuneiden valmistusaikojen raportoimisessa työvaiheiden tarkkuudella on se, miten työntekijät seuraavat, paljonko käyttivät aikaansa eri työvaiheisiin. Tämä johtuu siitä, ettei työvaiheet etene niin, että edellinen päättyisi ennen seuraavan alkua, vaan työvaiheet etenevät limittäin. Niille työntekijöille, joilla on käytössä tietokone tai taulutietokone, toimii avuksi seurantaan sähköinen työntutkimuslomake. Sen avulla voi mitata käyttämänsä ajan työvaiheittain ja lopuksi siirtää työvaiheiden toteutuneet kestot ERP:iin. Sähköistä työntutkimuslomaketta testanneiden asentajien mielestä sen täyttäminen oli helppoa, eikä aiheuttanut lisätyötä. Sähköinen mittauslomake mahdollistaa myös häiriöajan sekä muutostyöhön kuluneen ajan seurannan tarkasti, kun tähän mennessä niihin käytetty aika on vain arvioitu karkeasti. Jos sähköisiä laitteita ei ole käytössä, voi saman tiedon kerätä myös paperiselle lomakkeelle.

Työvaiheiden tarkkuudella valmistusaikojen ennustamisessa ja raportoinnissa on myös se hyvä puoli, että kesken työn pystyy paremmin arvioimaan, onko se aikataulussa vai ei. Jos osakokoonpanon tai kokoonpanon ennustettu valmistusaika on yksi kokonaisaika, ei ole mitään vertailupistettä, johon voisi käytettyä aikaa verrata ja päätellä, onko työ aikataulussa vai myöhässä.

Valmistusaikojen arviointityökalujen kehittäminen:

Valmistusaikojen arviointityökalut kehittyvät niiden osakokoonpanojen osalta, jolle niitä käytetään, kun suunnitelma otetaan aktiiviseen käyttöön. Muiden osakokoonpanojen ja kokoonpanojen kohdalla tulee arviointityökalu ensin koota ja sitten käytön myötä kehittää sitä. Arviointityökalu, joka laskee jokaiselle työvaiheelle keston erikseen, koostuisi esimerkiksi osakokoonpanolle 1 kuvan 24 mukaan. Kuvassa on esitetty, miten eri kestot ja tiedot työkalulle tulevat. Työntutkimuksella määritettävät kestot, kuten komponenttien asennus ja johtojen kytkeminen, määritetään keskiarvona useista mittauksista ja laskemalla lopullinen aika luvussa 2.5 esitettyjen laskelmien mukaan. Lopuksi kestot kerrotaan vielä apuaikakerroimella. Apuaikakerroimen muodostamista jokaiselle työvaiheelle erikseen voi myös harkita.

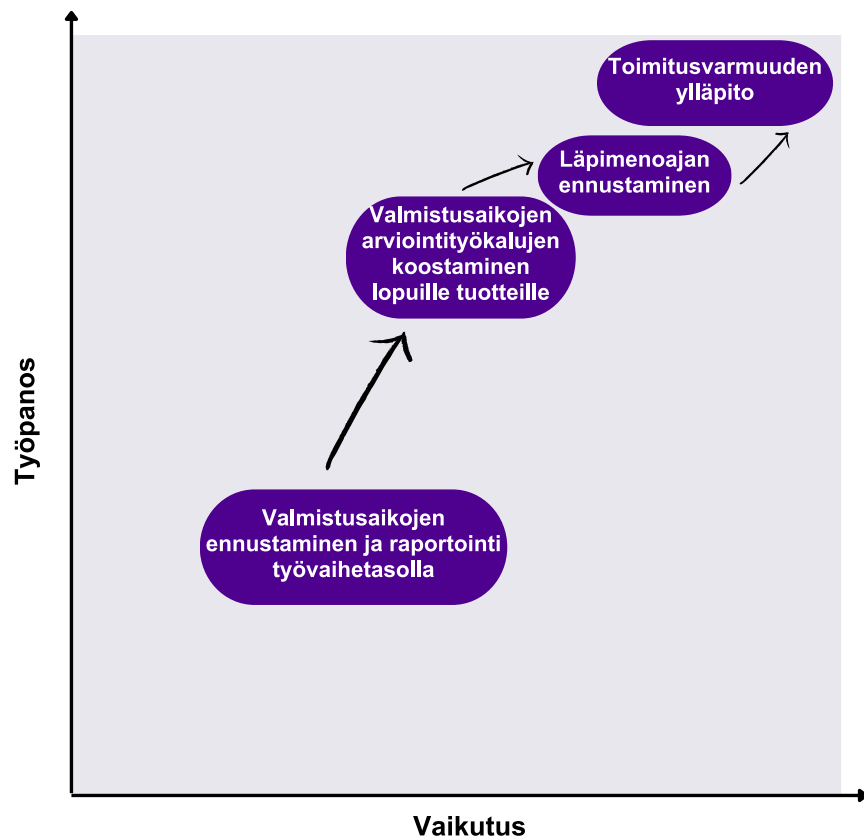
Työvaihe 1	Riippumatta työn sisällöstä vakio		Voidaan määrittää työntutkimuksella solukohtaisesti	A p u a i k e r r o i n
Työvaihe 2	Riippuu komponenttien	asennusajoista	Voidaan määrittää työntutkimuksella komponenttikohdaisesti	
		määrästä	Eri komponenttien määrät tulevat suunnitteluohjelmasta	
Työvaihe 3	Riippuu kytkettävien johtojen	kytkemisajoista	Voidaan määrittää työntutkimuksella eri paksuisille johdoille	
		paksuuksista ja määrästä	Eri paksuisten johtojen määrät tulevat suunnitteluohjelmasta	
Työvaihe 4	Riippuu komponenttien	asennusajoista	Voidaan määrittää työntutkimuksella komponenttikohdaisesti	
		määrästä	Eri komponenttien määrät tulevat suunnitteluohjelmasta	
	Riippuu muun työstön tarpeesta		Kesto erilaisille työstötarpeille voidaan määrittää työntutkimuksella, tuotekohtainen tarve tulee tarkistaa asennusohjeista	
Työvaihe 5	Riippuu kytkettävien johtojen	kytkemisajoista	Voidaan määrittää työntutkimuksella eri paksuisille johdoille	
		paksuuksista ja määrästä	Eri paksuisten johtojen määrät tulevat suunnitteluohjelmasta	
Työvaihe 6	Riippumatta työn sisällöstä vakio		Voidaan määrittää työntutkimuksella solukohtaisesti	

Kuva 24. Arviointityökalun rakenne osakokoonpanolle 1

Apuaikakerroimen määrittämisestä keskusteltiin luvussa 2.5. Apuaikakerroin koostuu osittain sellaisista ajoista, jotka tulevat työsopimuksesta tai ovat muuten sovittu työntekijän kanssa. Kuitenkin tarvittava siivousaika sekä työvuoron aloitus- ja lopetusrutiinien kestot tulee määrittää esimerkiksi työntutkimuksen avulla. Komponenttien asennusaikaan tulisi laskea mukaan niiden valmisteluun kuluva aika, esimerkiksi leikkaaminen oikeaan mittaan tai kiinnityspaikan mittaaminen ja merkitseminen. Lisäksi arviointityökalun tulee ottaa jollain tavalla huomioon työkalujen ja materiaalien hakemiseen, työvälineiden valmisteluun sekä kuvien ja ohjeiden lukemiseen kuluva aika.

Läpimenoajan ennustaminen ja toimitusvarmuus:

Kaiken perusta on se, että tiedetään, paljonko aikaa kuluu jonkin tietyn työvaiheen tekemiseen tai yhden osakokoonpanon valmistamiseen, koska ne vaikuttavat läpimenoaikaan. Läpimenoaikaan vaikuttaa kuitenkin moni muukin asia. Kun puhutaan valmistuksen läpimenoajasta, vaikuttaa siihen valmistusajan lisäksi tuotteen odotusaika sekä tuotantosolun sisällä, että tuotantosolujen välillä, tuotteen siirtoajat ja komponenttien toimitusaika. Lopulta toimitusvarmuuden kannalta on merkitystä ainoastaan sillä, pysytäänkö suunnitellussa läpimenoajassa. Suunnitellun läpimenoajan toteutuminen vaatii omien prosessien tuntemista, koko tuotantoputken hallintaa ja ajoittamista. Tietoa läpimenoajasta ja sen muodostumisesta on mahdollista saada keräämällä dataa. Dataa voi kerätä esimerkiksi kohdeyrityksellä aiemminkin käytössä olleella IoT-järjestelmällä, joka käyttää sijaintitietoa hyväkseen. Ennustettuun läpimenoaikaan pääsemiseksi on myös hyvä tuoda tuotannosakin työntekijöille tietoon, mitkä ovat töiden ennustetut valmistusajankohdat ja seurata niihin pääsemistä. Läpimenoajan ennustettavuutta lisää lisäksi se, että tuotannosta poistetaan häiriöitä puuttamalla ilmeneviin häiriöihin ja kehittämällä prosesseja.



Kuva 25. Vaikutus-panos-kaavio kehitysehdotuksista

Ehdotus on, että suunnitelman käyttöönoton jälkeen siirryttäisiin valmistusaikojen ennustamisessa sekä toteutuneiden kestojen raportoinnissa työvaiheiden tarkkuuteen. Lisäksi arviointityökalujen käyttöä tulisi laajentaa asteittain myös sellaisiin osakokoonpanoihin ja kokoonpanoihin, joille sillä ei tällä hetkellä ole mahdollista ennustaa valmistusaikaa. Lopulta, kun suunnitelma on käyttöönotettu ja onnistutaan ennustamaan arviointityökaluja käyttäen yksittäisten osakokoonpanojen kestoja, tulisi näkökulmaa laajentaa myös oman tehtaan läpimenoajan ennustamiseen. Läpimenoajan ennustaminen ja tunteminen helpottaa toimitusvarmuuden ylläpitoa. Kuvassa 25 on esitetty näiden kehitysehdotusten vaatima työpanos suhteessa niiden positiiviseen vaikutukseen. On hyvä muistaa, ettei arviointityökalujen kehittäminen tai ennusteiden parantaminen ole kertaluontoinen kehitysprojekti, vaan jatkuvaa oppimista omasta toiminnasta.

6. YHTEENVETO

Tämän diplomityön tavoite oli tuottaa kohdeyritykselle työntutkimuksen toimintamalli sekä suunnitelma siitä, kuinka työntutkimusta voisi käyttää apuna valmistusaikojen ennustamisessa. Lopulta suunnitelma laajeni sisältämään valmistusajadatan jatkuvan keräämisen tuotannosta ja vertaamisen suhteessa ennustettuihin valmistusaikoihin. Vertailu mahdollistaa sen, että pystytään reagoimaan, kun ennustetut ja toteutuneet valmistusajat eivät täsmää. Jos näin käy, suunnitelman mukaan työntutkimuksella voidaan täydentää ja korjata valmistusaikojen arviointityökalun puutteet ja virheet.

Työtä varten suoritettiin työntutkimus tuotannossa. Samalla kehitettiin työntutkimuksen toimintamalli, jotta yrityksessä on jatkossa malli, jonka avulla toistaa työntutkimusta. Työntutkimuksen ohessa määritettiin myös työvaiheistus niihin tuotantosoluihin, joissa työntutkimus suoritettiin. Nykyisen tuotannosuunnittelu- ja valmistusaikojen ennustusprosessin selvittämiseksi toteutettiin teemahaastattelut, joihin osallistui työsuunnittelijat, työnjohtajat, tuotantopäällikkö, tuotannosuunnittelijat sekä tehdaspäällikkö. Haastatteluiden ja työntutkimuksen pohjalta rakennettiin lopuksi työn päätulos eli edellisessä kappaleessa mainittu suunnitelma. Työntutkimuksessa tuli lisäksi ilmi, että toteutuneiden kestojen kuittauksessa esiintyy joitakin virheellisiä tuntikuittauksia.

Työn rajoitteita on se, että työntutkimus toteutettiin vain osaan tehtaan tuotantosoluista. Suunnitelmaa tehdessä ei ole siis ollut yhtä kattava tietämys kaikista tehtaan tuotantosoluista, eikä työvaiheistusta ole luotu niille tuotantosoluille, joissa ei ole toteutettu työntutkimusta. Työntutkimisen toimintamalli sekä suunnitelma ovat kuitenkin yleistettävissä kaikkiin tuotantosoluihin. Diplomityö ei sisällä aikarajoitteen takia suunnitelman toimeenpanoa, vaan se jää kohdeyrityksen tehtäväksi.

Tämä työ hyödyttää kohdeyrityksen tuotannosuunnitteluprosessia. Työn tuottama suunnitelma mahdollistaa yritykselle jatkuvan kehittymisen töiden valmistusaikojen ennustamisessa, vaikka se on haastavaa ETO-tuotantoympäristössä. Työ pyrkii vaikuttamaan kohdeyrityksen tuotannosuunnitteluprosessiin sekä siihen, kuinka kohdeyrityksessä suhtaudutaan valmistusaikojen raportoinnin merkitykseen ja raportoinnista saadun datan hyväksikäyttöön. Työn seurauksena on mahdollista, että yrityksen tuotannosuunnittelu on täsmällisempää, tuotantoa on helpompi ohjata kuin tällä hetkellä ja toimitusvarmuus on nykyistä parempi.

Kun kohdeyritys on saanut käyttöönotettua suunnitelman, kannattaisi yrityksen koota valmistusaikojen arviointityökalut myös niille osakokoonpanoille ja kokoonpanoille, joille ei ole vielä käytössä arviointityökaluja. Tämän lisäksi tuotannosta toteutuneiden valmistusaikojen raportoinnin tarkkuutta tulisi lisätä. Eli valmistusajat tulisi ennustaa ja raportoida työvaiheittain, ei osakokoonpanojen tai kokoonpanojen kokonaiskestonä. Tulee kuitenkin muistaa, että valmistusaikojen ennustamisen lisäksi tulee myös koko läpimenoaika osata ennustaa toimitusvarmuuden takaamiseksi ja tähän tulisi kiinnittää huomiota tulevaisuudessa.

LÄHTEET

- Adrodegari, F., Bacchetti, A., Pinto, R., Pirola, F., Zanardini, M., 2015. Engineer-to-order (ETO) production planning and control: an empirical framework for machinery-building companies. *Prod. Plan. Control* 26, 910–932. <https://doi.org/10.1080/09537287.2014.1001808>
- Ahokas, P., Tiihonen, J., Neuvonen, J., Suikki, M., 2011. Työntutkimuksen käsitteitä, menetelytapoja ja käyttökohteita.
- Benton, W.C., Shin, H., 1998. Manufacturing planning and control: The evolution of MRP and JIT integration. *Eur. J. Oper. Res.* 110, 411–440. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00080-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00080-0)
- Bhalla, S., Alfnes, E., Hvolby, H.-H., 2023. Tools and practices for tactical delivery date setting in engineer-to-order environments: a systematic literature review. *Int. J. Prod. Res.* 61, 2339–2371. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2057256>
- Birkie, S.E., Trucco, P., Kaulio, M., 2017. Sustaining performance under operational turbulence. *Int. J. Lean Six Sigma* 8, 457–481. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2016-0077>
- Burggräf, P., Wagner, J., Koke, B., Steinberg, F., 2020. Approaches for the Prediction of Lead Times in an Engineer to Order Environment—A Systematic Review. *IEEE Access* 8, 142434–142445. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3010050>
- Demirkesen, S., Sadikoglu, E., Jayamanne, E., 2022. Investigating effectiveness of time studies in lean construction projects: case of Transbay Block 8. *Prod. Plan. Control* 33, 1283–1303. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1859151>
- Gejo García, J., Gallego-García, S., García-García, M., 2019. Development of a Pull Production Control Method for ETO Companies and Simulation for the Metallurgical Industry. *Appl. Sci.* 10, 274. <https://doi.org/10.3390/app10010274>
- Govindaraju, R., Putra, K., 2016. A methodology for Manufacturing Execution Systems (MES) implementation. *IOP Conf Ser. Mater. Sci. Eng.* 114. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/114/1/012094>
- Grabenstetter, D.H., Usher, J.M., 2013. Determining job complexity in an engineer to order environment for due date estimation using a proposed framework. *Int. J. Prod. Res.* 51, 5728–5740. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.787169>
- Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I., Miettinen, E., 2005. Teollisuustalous, 5. p. Infacs johntamistekniikka, Tampere.
- Hermann, M., Pentek, T., Otto, B., 2016. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios, in: 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). Presented at the 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), IEEE, Koloa, HI, USA, 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Hicks, C., McGovern, T., Earl, C.F., 2001. A Typology of UK Engineer-to-Order Companies. *Int. J. Logist. Res. Appl.* 4, 43–56. <https://doi.org/10.1080/13675560110038068>
- Hicks, C., Song, D.P., Earl, C.F., 2007. Dynamic scheduling for complex engineer-to-order products. *Int. J. Prod. Res.* 45, 3477–3503. <https://doi.org/10.1080/00207540600767772>
- Hirsjärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P., Sinivuori, E., 2010. Tutki ja kirjoita, 19. p. Tammi, Helsinki.
- Iakymenko, N., Brett, P.O., Alfnes, E., Strandhagen, J.O., 2022. Analyzing the factors affecting engineering change implementation performance in the engineer-to-order production environment: case studies from a Norwegian shipbuilding group. *Prod. Plan. Control* 33, 957–973. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1837939>
- ISA/ANSI 95.00.01. 2000. Enterprise-Control System Integration. Part I: Models and Terminology. North Carolina: American National Standards Institute.
- Järvenpää, E., Lanz, M., Tokola, H., Salonen, T., Koho, M., 2015. Production planning and control in Finnish manufacturing companies – Current state and challenges, Proceedings of the 25th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing.
- Jaskó, S., Skrop, A., Holczinger, T., Chován, T., Abonyi, J., 2020. Development of manufacturing execution systems in accordance with Industry 4.0 requirements: A review of standard- and ontology-based methodologies and tools. *Comput. Ind.* 123, 103300. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103300>

- Jünge, G., Alfnes, E., Nujen, B., Emblemvag, J., Kjersem, K., 2023. Understanding and eliminating waste in Engineer-To-Order (ETO) projects: a multiple case study. *Prod. Plan. Control* 34, 225–241. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1903279>
- Kunnela, A., 2023. 8 Kirjallisuuskatsaukset | Opinnäytetyön ohjaajan käsikirja – Thesis Tutor Handbook [WWW-sivu]. jamk. URL <https://oppimateriaalit.jamk.fi/yamk-kasikirja/kirjallisuuskatsaukset/> (viitattu 1.11.23).
- Laine, J., n.d. Ohjeita ja neuvoja työntutkimuksen tekoa varten. Palkkataito Oy.
- Lapinleimu, I., 2000. Ideaalitehdas: tehtaan suunnittelun teorian kiteytys. Tampereen teknillinen korkeakoulu, tuotantotekniikan laitos, Tampere.
- Lapinleimu, I., Kauppinen, V., Torvinen, S., 1997. Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät. WSOY, Porvoo.
- Little, D., Rollins, R., Peck, M., Porter, J.K., 2000. Integrated planning and scheduling in the engineer-to-order sector. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.* 13, 545–554. <https://doi.org/10.1080/09511920050195977>
- Lukka, K., 2014. Konstruktiivinen tutkimusote [WWW-sivu]. METHODIX. URL <https://methodix.fi/2014/05/19/lukka-konstruktiivinen-tutkimusote/> (viitattu 15.6.23).
- Mantravadi, S., Møller, C., 2019. An Overview of Next-generation Manufacturing Execution Systems: How important is MES for Industry 4.0? *Procedia Manuf.* 30, 588–595. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.083>
- Martinsuo, M., 2016. Tuotanto ja toiminnanohjaus, Teoksessa Teollisuustalous Kehittyvässä Liiketoiminnassa. Edita, Helsinki, luku 10.
- Mello, M.H., Strandhagen, J.O., Alfnes, E., 2015. Analyzing the factors affecting coordination in engineer-to-order supply chain. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 35, 1005–1031. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-12-2013-0545>
- Meltwater, 2022. Mitä on data-analytiikka? [WWW-sivu]. Meltwater. URL <https://www.meltwater.com/fi/blog/data-analytiikka> (viitattu 1.11.23).
- Messner, M., Pauker, F., Mauthner, G., Frühwirth, T., Mangler, J., 2019. Closed Loop Cycle Time Feedback to Optimize High-Mix / Low-Volume Production Planning. *Procedia CIRP* 81, 689–694. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.177>
- Miclo, R., Lauras, M., Fontanili, F., Lamothe, J., Melnyk, S.A., 2019. Demand Driven MRP: assessment of a new approach to materials management. *Int. J. Prod. Res.* 57, 166–181. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1464230>
- Miettinen, P., 1993. Tuotannonohjaus ja logistiikka. Painatuskeskus, Helsinki.
- Ojasalo, K., Moilanen, T., Ritalahti, J., 2014. Kehittämistyön menetelmät: uudenlaista osaamista liiketoimintaan, 3. uud. p. Sanoma Pro, Helsinki.
- Pandit, A., Zhu, Y., 2007. An ontology-based approach to support decision-making for the design of ETO (Engineer-To-Order) products. *Autom. Constr.* 16, 759–770. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2007.02.003>
- Rudberg, M., Wikner, J., 2004. Mass customization in terms of the customer order decoupling point. *Prod. Plan. Control* 15, 445–458. <https://doi.org/10.1080/0953728042000238764>
- Saunders, M.N.K., Lewis, P., Thornhill, A., 2009. Research methods for business students, 5th ed. ed. Prentice Hall, New York.
- Shehab, E.M., Sharp, M.W., Supramaniam, L., Spedding, T.A., 2004. Enterprise resource planning: An integrative review. *Bus. Process Manag. J.* 10, 359–386. <https://doi.org/10.1108/14637150410548056>
- Sipper, D., Bulfin, R.L., 1998. Production: planning, control, and integration, International ed. ed. McGraw-Hill, New York.
- Stavrulaki, E., Davis, M., 2010. Aligning products with supply chain processes and strategy. *Int. J. Logist. Manag.* 21, 127–151. <https://doi.org/10.1108/09574091011042214>
- Steger-Jensen, K., Hvolby, H.-H., Nielsen, P., Nielsen, I., 2011. Advanced planning and scheduling technology. *Prod. Plan. Control* 22, 800–808. <https://doi.org/10.1080/09537287.2010.543563>
- Tajini, R., Elhaq, S.L., 2014. Methodology for work measurement of the human factor in industry. *Int. J. Ind. Syst. Eng.* 16, 472. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2014.060655>
- Wagner, J., Burggräf, P., Dannapfel, M., Fölling, C., 2017. Assembly Disruptions – Empirical Evidence in the Manufacturing Industry of Germany, Austria and Switzerland. *International Refereed Journal of Engineering and Science* 6, 15–25.

Wikner, J., Rudberg, M., 2005. Integrating production and engineering perspectives on the customer order decoupling point. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 25, 623–641. <https://doi.org/10.1108/01443570510605072>

Willner, O., Powell, D., Duchi, A., Schönsleben, P., 2014. Globally Distributed Engineering Processes: Making the Distinction between Engineer-to-order and Make-to-order. *Procedia CIRP* 17, 663–668. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.054>

Willner, O., Powell, D., Gerschberger, M., Schönsleben, P., 2016. Exploring the archetypes of engineer-to-order: an empirical analysis. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 36, 242–264. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-07-2014-0339>

LIITE A: HAASTATTELUKYSYMYKSET

Työnsuunnittelijat

- Onko töiden kestojen ennustaminen osa työtehtäviäsi?
 - Mitä eri lähteitä tai tapoja ennustamiseen käytät?
 - Käytätkö ennustamiseen apuna työntekijöiden ERP:iin kuittaamia toteutuneita tunteja? Jos et, niin miksi?
- Mitä teet aika-arviolle? / Mihin sen laitat?
 - Jos työhön tulee muutoksia sen jälkeen, kun aika-arvio on tehty, päivitetäänkö aika-arviota? Päivitätkö sinä? Onko aika-arviota mahdollista päivittää? Onko sellaista pistettä prosessissa, jonka jälkeen enää ei ole mahdollista?
 - Annetaanko jokaiselle saman sarjan kappaleelle sama aika-arvio? Onko ERP:iin mahdollista laittaa eri aika-arvio ensimmäiselle ja lopuille töille?

Työnjohtajat

- Ennustatko koskaan töille valmistusaikoja? Entä muokkaatko tai tarkistatko työnsuunnittelijoiden määrittämiä aika-arvioita?
 - Jos ennustat itse, mitä eri lähteitä tai tapoja ennustamiseen käytät?
 - Jos työhön tulee muutoksia sen jälkeen, kun aika-arvio on tehty, päivitetäänkö aika-arviota? Päivitätkö sinä?
 - Annetaanko jokaiselle saman sarjan kappaleelle sama aika-arvio?
- Kuuluuko töiden sijoittaminen tuotantosuunnitelmaan työtehtäviisi?
- Sijoitatko työt tuotantosuunnitelmaan niiden aikojen perusteella, jotka työnsuunnittelija on töille ennustanut?
- Millä perusteilla teet tuotannon ajoitusta?
- Kuinka usein ja millä perusteella tuotantosuunnitelmaa muutetaan?

Tuotantopäällikkö/työnjohtaja

- Ennustatko koskaan töille valmistusaikoja?
 - Jos ennustat itse, mitä eri lähteitä tai tapoja ennustamiseen käytät?

- Jos työhön tulee muutoksia sen jälkeen, kun arvio on tehty, päivitetäänkö aika-arviota? Päivitätkö sinä?
- Onko mahdollista käyttää ennustamiseen apuna työntekijöiden ERP:iin kuittaamia toteutuneita tunteja?
- Käytetäänkö työntekijöiden tekemiä tuntikuittauksia mihinkään?

Tuotannosuunnittelijat

- Mitä työtehtäviisi kuuluu?
 - Ennustatko töille valmistusaikoja?
 - Teetkö tuotannon ajoitusta?
 - Hoidatko töiden vapautuksen ERP:ssä? Millä perusteilla?

Tehdaspäällikkö

- Teetkö tuotannon karkeasuunnittelua?
- Millä perusteella karkeasuunnittelu tehdään? Mistä töille tulee kestot karkeasuunnitelmaan? Onko kestot määritelty vain tuotetyypeittäin vai otetaanko huomioon myös tarkempi työn sisältö?
- Onko aika-arviot, joilla karkeakuormitusta tehdään, realistisia?
- Päivitetäänkö aika-arvioita milloinkaan?
- Kun lasketaan työn hintaa, minkä keston perusteella työn hinta määräytyy?

LIITE C: MITTAUSLOMAKE

Työvaihe	Aloitus	Lopetus	Kahvitauko	Lounastauko	Häiriöt ja huomiot	Häiriöaika
Esimerkkirivi Työvaihe 1 työvaiheen sisältö työvaiheen sisältö työvaiheen sisältö työvaiheen sisältö työvaiheen sisältö	20.7. 7:05	20.7. 16:30	II	I	Eisittin puuttuvaa komponenttia	13:30-13:50
Työvaihe 2 työvaiheen sisältö työvaiheen sisältö työvaiheen sisältö työvaiheen sisältö työvaiheen sisältö						

Osakoonpano:

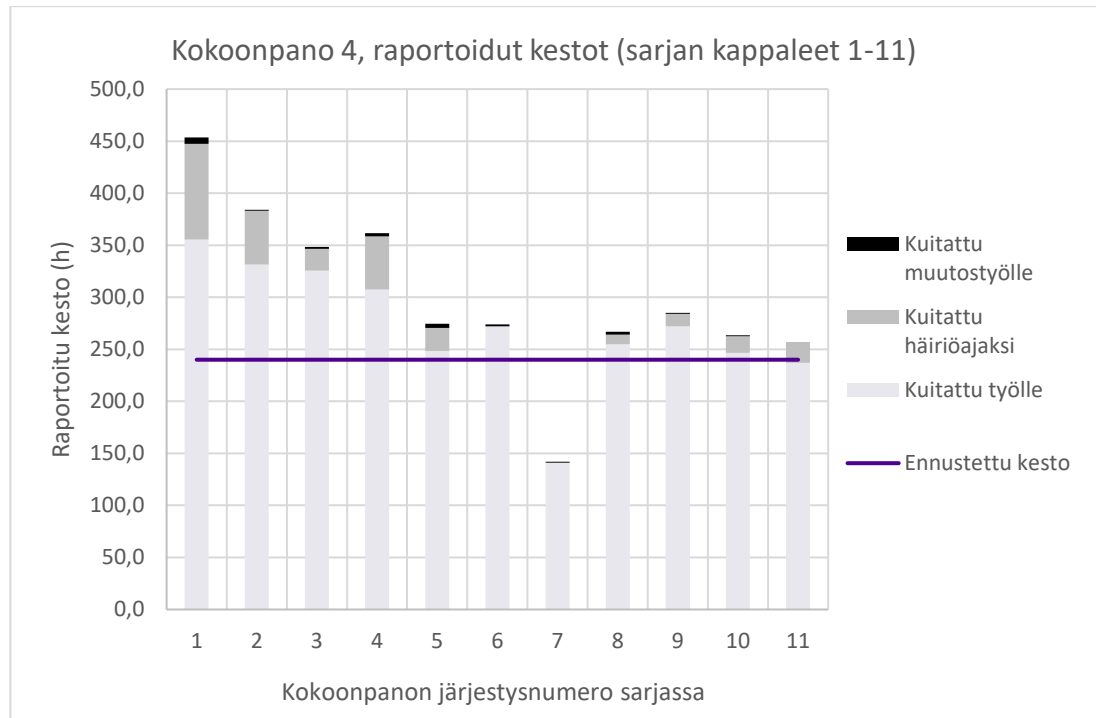
Prod. Order num.:

Työntekijä:

LIITE E: TYÖNTUTKIMUKSEN TULOKSET

Taulukko 4. Työntutkimuksen tulokset

Työ	Ennustettu	Mittattu kokonaisaika	Toteutunut	Toteutunut / ennustettu	Kuitattu			Kuitattu yhteensä / toteutunut	Kuitattu työlle / ennustettu	Huomioita	Prosentuaalinen häiriö- ja muutostyöaika
					työlle	häiriöaika	muutostyölle				
		Sis. myös palkaton ruokatauko	Sis. häiriöaika ja muutostyö, mutta ei palkaton ruokatauko							Mitatun häiriö- ja muutostyöajan prosenttiosuus mitatusta kokonaisajasta	
Osakkoonpano 1a #4	40:00:00	37:34:44	35:34:44	88,95 %	25:54:00		72,80 %	64,75 %	Kesätyöntekijä	8,93 %	
Osakkoonpano 1a #5	40:00:00	35:29:15	33:29:15	83,72 %	35:00:00		104,52 %	87,50 %		6,11 %	
Osakkoonpano 1a #7	40:00:00	38:40:58	36:40:58	91,71 %	37:30:00		102,23 %	93,75 %		8,49 %	
Osakkoonpano 1a #8	40:00:00	37:31:12	35:01:12	87,55 %	25:12:00		71,96 %	63,00 %	Kesätyöntekijä	9,89 %	
Osakkoonpano 1a #10	40:00:00	41:36:00	39:36:00	99,00 %	28:00:00	1:00:00	73,23 %	70,00 %	Kesätyöntekijä, lomakkeella mitattu	3,65 %	
Osakkoonpano 1b	20:00:00	18:02:49	17:02:49	85,23 %	17:30:00		102,66 %	87,50 %		2,66 %	
Osakkoonpano 1c	16:00:00	12:56:20	11:56:20	74,62 %	12:00:00		100,51 %	75,00 %		6,11 %	
Osakkoonpano 1d	15:00:00	8:05:26	7:35:26	50,60 %	5:30:00		72,46 %	36,67 %	Kesätyöntekijä	4,00 %	
Osakkoonpano 1d	15:00:00	8:40:00	8:10:00	54,44 %	6:00:00		73,47 %	40,00 %	Kesätyöntekijä, lomakkeella mitattu	0,96 %	
Osakkoonpano 2a	50:00:00	23:30:23	22:00:23	44,01 %	24:30:00		111,33 %	49,00 %		11,54 %	
Osakkoonpano 2b	44:00:00	23:29:37	21:59:37	49,99 %	30:00:00		136,40 %	68,18 %		2,96 %	
Osakkoonpano 3	70:00:00	47:56:32	44:56:32	64,20 %	48:30:00		107,92 %	69,29 %		12,71 %	
Kokoonpano 4 #7	240:00:00	190:12:21	178:12:21	74,25 %	141:00:00	1:00:00	79,68 %	58,75 %	Lomakkeella mitattu	10,57 %	
Kokoonpano 4 #11	240:00:00	285:00:00	268:30:00	111,88 %	237:00:00	20:00:00	95,72 %	98,75 %		5,16 %	



Kuva 26. Kokoonpano 4, raportoidut kestot (sarjan kappaleet 1–11)

Taulukko 6. Osakoonpano 1b-d, työvaiheiden eteneminen tunneittain

Osakoonpano 1b			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Työvaihe	Tunti:																					
Työvaihe 1		75 %				88 %	100 %															
Työvaihe 2							2 %	11 %	28 %	40 %	46 %	59 %	69 %	85 %	93 %	94 %	95 %	98 %		100 %		
Työvaihe 3															31 %		69 %	100 %				
Työvaihe 4		4 %	18 %	41 %	54 %													65 %	79 %		95 %	100 %
Työvaihe 5																			68 %	100 %		
Työvaihe 6																				26 %	48 %	100 %

Osakoonpano 1c			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Työvaihe	Tunti:															
Työvaihe 1		57 %	100 %													
Työvaihe 2					16 %	54 %	84 %							91 %	100 %	
Työvaihe 3							4 %	17 %	32 %	54 %	64 %	84 %	99 %	100 %	100 %	
Työvaihe 4			51 %	54 %	63 %										88 %	100 %
Työvaihe 6																100 %

Osakoonpano 1d			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Työvaihe	Tunti:										
Työvaihe 1		45 %	100 %								
Työvaihe 2			19 %	42 %	71 %	78 %	100 %				
Työvaihe 3							100 %				
Työvaihe 4								30 %	81 %	100 %	
Työvaihe 6										100 %	

Taulukko 8. Kokoonpano 4, työvaiheiden eteneminen päivittäin

Kokoonpano 4, työn eteneminen päiväkohtaisesti																			
#7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Työvaihe 1	29 %	100 %																	
Työvaihe 2		64 %	69 %		72 %	100 %													
Työvaihe 3		55 %	59 %	63 %	75 %	84 %			100 %										
Työvaihe 4		7 %	40 %	73 %	97 %	100 %													
Työvaihe 5			17 %	30 %		39 %	64 %	76 %	77 %			82 %	89 %	91 %	100 %				
Työvaihe 6					1 %		5 %	21 %	40 %	54 %	64 %	74 %	83 %	96 %	99 %	100 %			
Työvaihe 7															32 %	100 %			
#11 (lomake)																			
Työvaihe 1+2	49 %	51 %	100 %																
Työvaihe 3				65 %		100 %													
Työvaihe 4				6 %	33 %	53 %	100 %												
Työvaihe 5					22 %	29 %	46 %					54 %	77 %	89 %	93 %	100 %			
Työvaihe 6								13 %	26 %	38 %	50 %	58 %	62 %	74 %	87 %	95 %	100 %		
Työvaihe 7																	22 %	67 %	100 %

LIITE F: TYÖNTUTKIMUKSEN TOIMINTAMALLI

TYÖNTUTKIMUKSEN TOIMINTAMALLI

Mihin työntutkimista ja etenkin jatkuvaa ajankäyttötutkimusta voidaan käyttää?

- Ergonomian, työturvallisuuden, työmenetelmien ja tuotantosolun tai tehtaan järjestyksen nykytilan havainnointiin
- Ajankäytön selvittämiseksi
- Valmistusajan ennustamiseen käytettävien työkalujen päivittämiseen ja kehittämiseen
- Jatkuva ajankäyttötutkimus sopii erityisesti silloin, kun työn sisältö ei ole ennakkoon täysin tiedossa ja halutaan tarkasti mitattuja kestoja jopa pienistä tapahtumista.

On huomioitavaa, että itse jatkuva ajankäyttötutkimus ei vielä muuta asioita tai paranna mitään. Jatkuvalla ajankäyttötutkimuksella pystyy selvittämään nykytilan, eri asioiden keston ja sen, päästiinkö kehitystoimien jälkeen tavoitteeseen. Työympäristön ja -menetelmien parantaminen tehdään sen jälkeen, kun työntutkimuksessa on tullut esiin, mitä asioita olisi hyvä tehdä eri tavalla.

ENNEN TUTKIMUSTA

- ✓ **Päätös** siitä, mihin työntutkimuksessa halutaan keskittyä. Esimerkiksi:
 - Ennustetut ja toteutuneet valmistusajat poikkeavat toisistaan yli määritetyn rajan, joten arviointityökalua tulee täydentää tai muokata.
 - Tässä tapauksessa on hyvä jo ennen tutkimusta tarkastella, minkälaiset tuotteet ja mitkä työvaiheet ovat niitä, joiden osalta valmistusaika-arvio ei osu oikeaan. Tämän jälkeen arviointityökaluista kannattaa alustavasti etsiä puutteita eli sellaisia komponentteja tai työstöä, mitä arviointityökalu ei ota huomioon. Näin on helpompi rajata työntutkimuskohteet.
 - Samojen tuotteiden valmistusajoissa on paljon vaihtelua eli työmenetelmät tai työntekijöiden osaaminen vaativat tutkimista ja vakiinnuttamista.
 - Tuotteiden valmistuksessa ilmenee paljon häiriö- tai odotusaikaa ja halutaan tutkia, mistä syistä sitä syntyy ja olisiko sitä mahdollista vähentää.
 - Halutaan havainnoida työmenetelmien, työturvallisuuden, työergonomian tai layoutin nykytilaa.
- ✓ **Aloituskokous** työntutkimukseen osallistuvien kanssa (mukana ainakin tutkimuksen kohteena olevat työntekijät ja työntutkijat).
 - Käydään läpi työntutkimuksen toteutus.
 - Käydään läpi pelisäännöt, kuten se, että työtä ei saa edistää ilman työntutkijan läsnäoloa ja työ pitää tehdä omalla normaalilla vauhdilla.
 - Sovitaan valokuvaamisesta työntutkimuksen osana.

- Jos kyseessä on lomakemittaus, käydään läpi lomakkeen täyttäminen.

TYÖNTUTKIMUS

Työntutkimus lomakkeella

- ✓ Lomake annetaan työntekijän täytettäväksi, kun sen täyttäminen on opastettu.
- ✓ Lomakkeella voidaan mitata esimerkiksi koko työ työvaiheiden tarkkuudella tai yksi työvaihe tarkemmin, kuten yhden komponentin asennuksen tarkkuudella.
- ✓ Lomakkeen täyttämisen aikana tulee säännöllisesti käydä tarkistamassa, että lomaketta muistetaan täyttää ja auttamassa mahdollisissa lomakkeen täytön suhteen ilmenevissä ongelmatilanteissa.

Jatkuva ajankäyttötutkimus työntutkijan toteuttamana

- ✓ Työntutkimustilanteessa seurataan tarkasti työntekoa, kirjataan tapahtumia ja niiden aikaleimoja mittauspohjaan. Mittauksen ohessa voi jo täyttää tapahtumille aikalajit, työvaiheet ja sitä pienemmät kokonaisuudet ”työtehtävät” mittauspohjaan. Lisäksi voidaan:
 - Kirjata havainnot työympäristöstä ja -menetelmistä, ergonomiasta ja työturvallisuudesta.
 - Merkitä tehtaan layout-kuvaan pisteet, joista haetaan jotain ja kirjata, mitä haettiin.
 - Ottaa kuvia työvaiheista, laatuvirheistä, työskentelyasunnoista ja kaikesta muusta, mikä on tutkimuksen kannalta kiinnostavaa.
- ✓ Jos tavoitteena on täydentää tai päivittää valmistusaikojen arviointityökalua, voi olla riittävää tutkia vain sitä työvaihetta, jonka osalta arviot eivät osu kohdalleen.
- ✓ Mittausta toistetaan tarvittava määrä.

Aikalajit työntutkimusta varten:

Jalostava aika	Valmistettavalle tuotteelle tai sen osalle tapahtuu lopullisesti jotain, esim. reiän poraaminen
Valmisteluaika	Tuote ei edisty, mutta toimenpide on tehtävä, jotta työtä voidaan tehdä, esim. reiän paikan merkkäminen ja tuntikirjaukset
Järjestelyaika	Työpisteen järjestely, siivous ja roskien vienti
Hakuaika	Työpisteeltä lähdetään hakemaan tai viemään jotain materiaalia, osaa tai työkalua
Häiriöaika	Työn edistymisen keskeytyminen virheen tai työhön liittyvän ulkoisen tekijän seurauksena
Ylimääräinen aika	Lounas-, kahvi- ja muut tauot työn ohessa, tutkijahäiriöt ja meneillään olevaan työhön liittymättömät selvittelyt

TULOSTEN KÄSITTELY

Työntutkimus lomakkeella

- ✓ Lomakemittauksen tuloksena saadaan työvaiheiden tai niitä lyhyempien tapahtumien, kuten komponenttien asennusten kestot riippuen siitä, mitä tutkittiin.
- ✓ Lomakemittauksen datasta voidaan laskea työn tai sen työvaiheen läpimenoaika tai häiriöajan osuus.

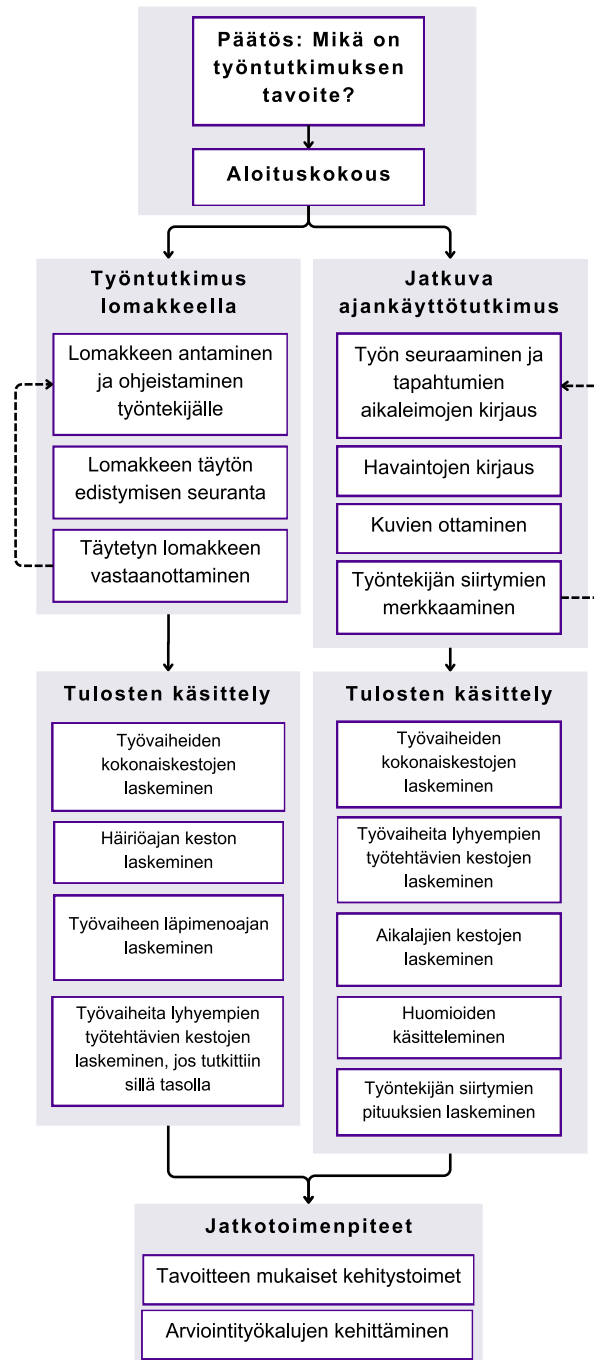
Jatkuva ajankäyttötutkimus työntutkijan toteuttamana

- ✓ Datasta saadaan työvaiheiden tai niitä lyhyempien tapahtumien, kuten komponenttien asennusten kestot.
 - Komponenttien asennusten kestojen avulla voi päivittää tai täydentää valmistusaika-arviointiin tarkoitettua työkalua sellaisten komponenttien osalta, joita ei vielä työkalussa ole tai joiden asennusajat ovat virheellisiä.
 - Myös muiden aikaa vievien työvaiheiden, kuten mekaanisen työstön tai eristämisen, vaatima aika voidaan päivittää arviointityökaluihin datan avulla.
 - Voi tehdä vertailua esimerkiksi eri tuotteiden työvaiheiden tai eri työmenetelmin tehtyjen työvaiheiden kestojen välillä. Tämän perusteella saa selville joko vaihteluvälin tai nopeimman työtavan.
- ✓ Data voidaan lajitella aikalajeittain.
 - Auttaa hahmottamaan, mitä tuotteen valmistuksessa tapahtuu. Aikalajeittain lajittelulla saadaan esimerkiksi selville, kuinka paljon joudutaan tekemään tuottamattomia töitä, että saadaan tuote valmistettua tai kuinka paljon kuluu aikaa erilaisiin häiriöihin.
 - Arviointityökalun apuaikakerroin voidaan päivittää, kun on tutkittu, paljonko mitäkin tuottamattomia, avustavia työtehtäviä pitää jalostavaa aikaa tai tuotetta kohden tehdä.
- ✓ Jos tutkimuksessa kerättiin, mistä ja mitä työkaluja sekä materiaaleja asentajat joutuivat hakemaan työtä varten, voidaan siitä analysoida, minkä asioiden hakeminen aiheuttaa eniten kävelyä ja onko sitä mahdollista vähentää.
- ✓ Huomiot on hyvä käydä läpi asentajien kanssa ja valita joko toistuvimmat aiheet tai suurimmat ongelmat, joihin keskitytään kehitystoimissa. Huomiot luultavimmin johtavat muutamaaan suurimpaan juurisyyhyn, joita voi yrittää selvittää esimerkiksi 5x miksi -menetelmällä. Eli jokaisen huomion kohdalla kysyä niin kauan "miksi", kunnes selviää pohjimmainen syy tapahtumalle.

JATKOTOIMENPITEET

- ✓ Määritetään kehitystoimet sen mukaan, mikä oli tutkimuksen tavoite ja mitä tutkiessa löydettiin.
- ✓ Tarvittaessa toistetaan työntutkimus kehitystoimien jälkeen, jotta saadaan vahvistettua, toimivatko kehitystoimet halutulla tavalla.
- ✓ Jos työntutkimus käynnistettiin, koska ennustetut ja toteutuneet kestot eivät kohdanneet ja arviointityökalua oli tarve päivittää, tehdään tarvittavat päivitykset arviointityökaluun:
 - komponenttien asennusaikoihin
 - apuaikakertoimeen
 - tai lisätään uuden komponentin asennusaika tai muu työstöaika, jota arviointityökalu ei aiemmin ottanut huomioon.
- ✓ Työntutkimuksen perusteella voidaan myös päivittää tuotteen valmistusaika karkeakuormitusta varten. Tässä tulee kuitenkin ottaa huomioon, että karkeakuormituksessa tuotteiden valmistusajat ovat samat, vaikka työn sisältö olisikin hieman eri. Kestoa ei siis kannata muokata ihan pienistä muutoksista tai alakanttiin.

TYÖNTUTKIMUSPROSESSI



LIITE G: SUUNNITELMA

SUUNNITELMA VALMISTUSAIKADATAN SEURANNASTA JA TYÖNTUTKIMUKSEN KÄYTÖSTÄ VALMISTUSAIKOJEN ENNUSTAMISESSA

