



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JUHA HOVILA

TUOTANTOPROSESSIN VIRTAUTTAMINEN SOLUVALMISTUK-  
SEN AVULLA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Kari T. Koski-  
nen Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Teknisten tieteiden tiedekuntaneu-  
voston kokouksessa 12. elokuuta  
2015

## TIIVISTELMÄ

**JUHA HOVILA:** Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 115 sivua, 29 liitesivua

Marraskuu 2015

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Tuotantotekniikka

Tarkastaja: professori Kari T. Koskinen

**Avainsanat:** Virtautettu tuotanto, Lean, soluvalmistus, layout

Tämän diplomityön tilannut yritys valmistaa maanporaukseen soveltuvia teriä vaihtelevan eräkoon funktionaalisella tuotantojärjestelmällä. Kohdeyrityksellä on tavoitteena kaksinkertaistaa tuotantonsa ja puolittaa toimitusketjunsä läpäisy aika seuraavien vuosien aikana, mistä aiheutuu haasteita nykyiselle tuotantoprosessille sekä toimitusketjun hallinnalle. Muutoksen avuksi tehtiin kaksi diplomityötä, joista tämän diplomityön tavoitteena on puolittaa omavalmistuksen läpäisy aika ja keskeneräinen tuotanto. Toinen diplomityö keskittyy toimitusketjun kehittämiseen alihankinnan osalta ja täydentää näin tätä diplomityötä. Töiden yhteiseksi tavoitteeksi asetettiin toimitusketjun läpäisyajan ja lopputuotevaraston puolittaminen.

Diplomityö koostuu teoriaosuudesta ja tutkimusosuudesta. Teoriaosuudessa käsitellään virtautetulle Lean-valmistukselle keskeisiä osa-alueita sekä työn tavoitteille soveltuvia layoutvaihtoehtoja. Soluvalmistuksen soveltuvuus työn tavoitteisiin todetaan tieteellisten tutkimusten avulla. Tämän jälkeen esitellään virtaavan Lean-solun suunnitteluun liittyvää teoriaa, sisältäen solun työn elementtien vaihe aikojen selvityksen, ryhmäteknologisten tuoteryhmien valinnan, arvovirta-analyysin ja solun prosessin yksityiskohtaisen suunnittelun. Tutkimusosuudessa esitellään tutkimusympäristö ja kohdeyrityksen tuotantojärjestelmä, jonka jälkeen esitellään ryhmäteknologisille tuoteryhmille muodostetut nykytilan arvovirtakuvaukset. Suurimman kehityspotentialin tuoteryhmille muodostettiin tulevaisuudentilan arvovirtakuvaus sisältäen tuotannon ohjauksen ja materiaalivirran. Tulevaisuudentilassa funktionaalisesti sijoitetuista työpisteistä muodostettiin U-solu, joka on suunniteltu yksityiskohtaisemmin työssä esitetyn solun teorian pohjalta, käyttäen pääasiassa yrityksen olemassa olevia tuotantolaitteita.

Tuoteryhmien nykytilan arvovirtakuvauksien perusteella keskeisimpiä haasteita tavoitteiden saavuttamiselle olivat funktionaalisen tuotannon aiheuttama suuri keskeneräisen tuotannon määrä ja heikko sekä monimutkainen tuotannon virtaus, jotka aiheuttivat pitkän ja vaihtelevan läpäisyajan. Suunnitellun solun ja tuotannon ohjausperiaatteen muutoksen avulla pystyttiin lyhentämään valittujen tuoteryhmien läpäisy aikaa noin 70 %, jolloin myös keskeneräisen tuotannon määrä väheni alle puoleen. Solun työkierto suunniteltiin kolmella eri vaihtoehdolla, joista yksi sisälsi operaattorien lisäksi robotin. Solussa valmistettavien tuotteiden työn elementtien aikojen perusteella voitiin laskea millaisiin vuosivolyymeihin solu kykenee eri työkiertoilla. Volyymien reilu kaksinkertaistaminen solun avulla todettiin mahdolliseksi sillä edellytyksellä, että suunniteltavan solun lisäksi yrityksen robottisolua kuormitetaan kolmessa vuorossa. Lähes kaksinkertaistetun volyymin valmistaminen todettiin mahdolliseksi myös robottiväestöisellä työkiertoilla, mutta molemmissa tapauksissa joudutaan investoimaan rinnakkaiseen puristimeen.

## ABSTRACT

**Juha HOVILA:** Tampere University of Technology  
Master of Science Thesis, 115 pages, 29 Appendix pages  
November 2015  
Master's Degree Programme in Mechanical Engineering  
Major: Production engineering  
Examiner: Professor Kari Koskinen

**Keywords:** Continuous flow, Lean, Cell manufacturing, layout

The company which has ordered this MSc thesis manufactures ground drills with functional production system of varying batch sizes. The target of the company is to double its production and to halve the lead time of its supply chain during the following years. This causes challenges to the present manufacturing process and to the supply chain. To support this change the company ordered two MSc theses. The purpose of this thesis is to halve the throughput and WIP of the company's own manufacturing process. The another thesis concentrates on the developing of the subcontracting process. Thus, the common objectives of both theses were to halve the lead time of the supply chain and to halve the stock of finished goods.

The thesis consists of the theoretical and empirical parts. The theoretical part discusses the theories of creating the Lean flow and related layout alternatives. The suitability of the cellular manufacturing for the objectives of the thesis is stated with the help of scientific studies. Furthermore, theories related to the planning of the Lean cell is introduced, containing sections such as the process study, group technology, VSM and detailed planning of the cell. In the empirical part of the thesis a study environment and company's production system is presented. Next, the present state value stream maps, which were created with the help of group technological product groups, are introduced. Future state VSM was then formed to the product groups of the biggest developmental potential. The future state VSM contains an U-cell which was formed of the priorly functionally placed production equipment. The cell is then designed in more detail based on the theory part.

On the basis of the VSM's, the most central challenges for reaching the objectives of the Thesis were the large amount of unfinished production caused by the functional production and a weak and complex production flow. These factors caused long and variable throughput. It was possible to shorten the throughput about 70 % by the help of the designed U-cell and with the change of production control principle. The amount of unfinished production also decreased under to half. The job rotation of the cell was designed with three different alternatives, one of which in addition to the operators a robot was used. On the basis of the standard times of work elements, the yearly production volumes of the cell was calculated. The doubling of volumes was found to be possible in two scenarios with the precondition that the company's existing robot cell and the designed U-cell both will be loaded at three shift. In both scenarios the company has to invest in a new hydraulic press.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin Tampereella Oy Atlas Copco Rotex Ab:lle vuoden 2015 aikana.

Haluan kiittää kaikkia Oy Atlas Copco Rotex Ab:n työntekijöitä lämpimästä vastaanotosta ja avuliaasta sekä kannustavasta ilmapiiristä. Haluan erityisesti kiittää yrityksen toimitusjohtajaa Ilkka Romanovia ammattitaitoisesta ohjauksesta ja tuesta, jota sain häneltä diplomityön aikana.

Haluan kiittää myös työn ohjaajaa Hasse Nylyndia sekä työn tarkastajaa Kari Koskista, jotka ovat tukeneet työtä läpi kirjoitusprosessin. Lisäksi haluan osoittaa kiitokset Ilkka Kourille, joka on vahvalla Lean-osaamisellaan ollut ohjaamassa työtä.

Olen myös kiitollinen siitä tuesta, jota olen saanut kihlatultani Annalta, perheeltäni, ystäväpiiriltäni. Hyvää vertaistukea sain toiselta samaan aiheeseen diplomityötä tehneeltä Janikalta.

Tampereella, 12.11.2015

Juha Hovila

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Diplomityön tavoitteet ja rajaukset .....	1
1.2	Työn rakenne.....	2
1.3	Työssä käytetyt tutkimusmenetelmät .....	2
2.	TUOTANNON VIRTAAUTTAMINEN.....	4
2.1	Läpäisyajan merkitys.....	4
2.2	Hukka ja tuhlauksen seitsemän lajia .....	5
2.3	Tasoitettu tuotanto ja eräkokojen pienentäminen.....	6
2.4	Prosessin ja työtehtävien vakiinnuttaminen .....	8
2.5	Asetusaikojen merkitys .....	8
2.6	Imuohjaus ja supermarket-varastot .....	9
2.7	Visuaalisuus ja tuotantoprosessin läpinäkyvyys .....	12
3.	LAYOUTIN VALINTA .....	14
3.1	Layoutin määrittelyä .....	14
3.2	Virtaavaan tuotantoon soveltuvat layoutit.....	15
3.2.1	Funktionaalinen layout.....	15
3.2.2	Tuotantolinja .....	17
3.2.3	Valmistussolu.....	18
3.3	Tutkimustuloksia soluvalmistuksesta.....	21
3.3.1	Soluvalmistuksella saavutetut hyödyt.....	22
3.3.2	Yrityksien kokemat esteet soluvalmistukseen siirtymiselle.....	24
3.4	Soluvalmistuksen soveltuvuus kohdeyrityksen tavoitteisiin.....	26
4.	SOLUVALMISTUKSEN SUUNNITTELU .....	28
4.1	Valmistelu ja työn kulun suunnittelu .....	28
4.2	Arvovirta-analyysi.....	30
4.3	Tuotteiden valinta ja ryhmäteknologia.....	32
4.4	Takt-ajan määrittely.....	33
4.5	Työn tutkimus ja työnaikatutkimus.....	34
4.6	Automaation käyttö solussa .....	38
4.7	Solun vaihe aika .....	40
4.8	Solun työkierron suunnittelu ja tasapainotus .....	41
4.9	Kapasiteettitarkastelu .....	42
4.10	Solun layoutin suunnittelu.....	44
5.	TUTKIMUSYMPÄRISTÖN ESITTELY .....	46
5.1	Valmistettavat tuotteet.....	46
5.2	Tuotteiden konstruktio ja kokoluokat .....	47
5.3	Kohdeyrityksen tuotantojärjestelmä.....	51
5.3.1	Valmistusreitit- ja järjestelmä .....	51
5.3.2	Kappaleiden käsittely .....	57

5.3.3	Tuotannon ohjaus, suunnittelu ja kuormitus .....	58
5.3.4	Vastaanotto ja varastointi .....	59
6.	VERTAILU PARHAISIIN LEAN-KÄYTÄNTÖIHIN .....	60
7.	VIRTAUKSEN ANALYSOINTI .....	66
7.1	Ryhmäteknologiaan perustuvien tuoteryhmien muodostus .....	66
7.2	Volyymien kehitys tulevaisuudessa .....	69
7.3	Tuoteryhmien nykytilan arvovirtakuvaukset .....	71
7.4	Tuotannossa havaitut ongelmat .....	73
8.	TULEVAISUUDEN TILAN ARVOVIRRAN SUUNNITTELU .....	77
8.1	Oikean tuoteryhmän valinta .....	77
8.2	Takt-ajan määrittäminen tahdistavalle työvaiheelle .....	77
8.3	Tulevaisuudentilan arvovirtakuvaus .....	79
8.3.1	Virtauksen luominen solun ja FIFO-linjan avulla .....	80
8.3.2	Tuotannon ohjaus .....	81
8.3.3	Tuotannon tasoittaminen ja varastointi .....	82
8.3.4	Tuotannon ohjauksen ja tasoittamisen visualisoiminen .....	83
8.3.5	Solujen ulkopuolinen tuotanto .....	84
9.	SOLUN SUUNNITTELU .....	85
9.1	Solun tarvitsemat työvaiheet ja laitteet .....	85
9.2	Solun standardityön määrittäminen .....	87
9.3	Prosessitutkimus vaiheajojen selvittämiseksi .....	89
9.4	Lineaariregression käyttö puuttuvien vaiheajojen selvitykseen .....	92
9.5	Solun layoutsuunnitelma .....	95
9.6	Solun työn elementtien standardiaikojen määrittäminen .....	97
9.7	Solun töiden tasapainotus ja työkierron suunnittelu .....	98
9.8	Toisen operaattorin osittainen korvaaminen robotilla .....	99
10.	PÄÄTELMÄT .....	105
10.1	Tutkimustavoitteiden toteutuminen ja johtopäätökset .....	105
10.2	Jatkokehitysehdotukset .....	107
	LÄHTEET .....	110

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

Avarrin	Maaputkelle reiän poraava elementti.
Arvovirta-analyysi	Systemaattinen ja visuaalinen prosessikuvaus (engl. VSM).
ERP	Yrityksen tietojärjestelmä, joka integroi eri toimintoja, esimerkiksi tuotantoa, jakelua, varastohallintaa, laskutusta ja kirjanpitoa (suomeksi toiminnanohjausjärjestelmä).
FIFO	Vanhin tuote tai erä etenee prosessissa aina ensimmäisenä. (engl. First in first out)
Joustavuus	Tarkoitetaan tuotannon mahdollisuutta sopeutua muuttuneeseen kysyntään (engl. Flexibility).
Kaizen	Hukan eliminoimiseksi tehtävä kehityshanke. Jatkuvaa parantamista.
Luppoaika	Käyttämättä jäävä työaika (engl. Idle time).
Läpäisy aika	Aika joka tuotteelta kuluu sen kulkiessa koko prosessin läpi (Engl. Lead time).
Maakenkä	Maaputkeen kiinnitettävä kaulus.
Mixed-model -solu	Solu, jossa valmistetaan useita toisiaan vastaavia tuotteita.
MRP	MRP I (engl. Material Requirement Planning) on materiaalien tarvelaskenta-järjestelmä, jota voidaan käyttää tuotantoaikataulun laskemiseen.  MRP II (engl. Materials Resource Planning) on kehittyneempi versio MRP I:stä. Ottaa tuotantoprosessin vaiheet, reitit ja käytettävissä olevan kapasiteetin huomioon.
Muda	Lisäarvoa tuottamatonta työtä, joka ei tuota arvoa asiakkaalle. Muda jakautuu seitsemään hukkaan.
Pilotti	Maaputken keskeltä poraava elementti.
Reagointikyky	Tuotannon ja toimitusketjun kyky toimittaa tuote nopeasti. Lyhyt läpäisy aika edesauttaa. (Engl. Response time)

SMED	Asetuksien tekemisen nopeuttamiseen keskittyvä menetelmä (engl. single-minute exchange of die).
Suoritusteho	Tehtaan tai yksittäisen linjan kyky valmistaa lopputuotteita aikayksikköä kohti (engl. Throughput).
Takt aika	Tuotteiden myyntivauhtia vastaava tuotantovauhti. Käytettävissä oleva tuotantoaika jaettuna asiakkaiden tilaamalla tuotemäärällä (engl. Takt-time).
Tahtiaika	Aika, jonka tuote voi viettää työpisteellä, ennen seuraavaan vaiheeseen siirtymistä. Solun pisin vaiheaika, joka on samalla solun tahtiaika.
Tuotantomäärä	Tuotannosta valmistuvien tuotteiden määrä tietyssä aikayksikössä (engl. Output).
Tuotannon tasoitus	Valmistetaan pieniä eriä, erilaisia tuotteita järjestyksessä siten, että tuotantokuorma pysyy tasaisena ja varastot täyttyvät tasaisesti. (Engl. Production leveling, japaniksi Heijunka)
Setti	Maakengän ja avartimen yhdistelmä, jotka ovat mekaanisesti kiinnittyneinä toisiinsa
Slotti	Valmistuksen kapasiteetin tietty aikaväli työjonossa.
Vaiheaika	Maksimiaiika, joka kuluu tietyn työvaiheen suorittamiseen (engl. Cycle time).
VSM	Systemaattinen ja visuaalinen prosessikuvaus (suomeksi arvovirta-analyysi).



# 1. JOHDANTO

Diplomityön kohdeyritys valmistaa maanporaukseen soveltuvia teriä vaihtelevan eräkoon funktionaalisella tuotantojärjestelmällä. Yritys ohjaa volyymituotteita lopputuotevaraston avulla, mutta harvinaisempia tuotteita valmistetaan asiakastilauksesta. Kohdeyrityksen kilpailutekijöitä ovat nopeat ja luotettavat toimitukset sekä laadukkaat lopputuotteet. Yrityksellä on tavoitteena kaksinkertaistaa tuotantonsa ja puolittaa valmistuksen läpäisy aika seuraavien vuosien aikana, mistä aiheutuu haasteita nykyiselle tuotantoprosessille sekä toimitusketjun hallinnalle. Muutoksen tehtiin kaksi diplomityötä, joista tämän työn tarkoituksena on kehittää yrityksen omaa tuotantoprosessia Lean-menetelmien avulla. Toinen diplomityö keskittyy toimitusketjun hallintaan alihankinnan osalta ja muodostaa tämän työn kanssa yhtenäisen kokonaisuuden.

Bellgran & Säfsten (2010) ovat tutkineet miten yritykset käytännössä toimivat suunnitellussaan uutta tuotantojärjestelmää. He havaitsivat että yritykset eivät juurikaan käyttäneet tuotantojärjestelmän suunnittelussaan systemaattisia kehitysmalleja tai dokumentointia. Kehitystyön monimuotoisuus johtui erilaisista tavoitteista, rajoitteista ja kehitystiimien kokoonpanoista. Bellgran & Säfsten (2010) havaitsivat, että tuotannon kehitysprosessia helpottivat johdolta tulevat selkeät tavoitteet, rajoitteet ja lähtötiedot, jotka ohjaavat kehitystyötä, ja joihin pohjautuen voidaan tehdä ratkaisuja suunnittelun edetessä. Määritellyistä tavoitteista ja rajauksista huolimatta kehitystyön edetessä tehtävien valintojen määrä on valtava.

## 1.1 Diplomityön tavoitteet ja rajaukset

Tälle diplomityölle asetetut tavoitteet läpäisyajkojen puolittamisesta ja Lean-toimintaan sitoutumisesta mahdollistavat kohdeyrityksen nopeamman reagointikyvyn, varastojen pienentämisen sekä tuotantoon sitoutuneen pääoman vähentämisen. Konkreettiseksi diplomityössä sovellettavaksi Lean-menetelmäksi valittiin tuotannon virtauttaminen, jonka nähtiin mahdollistavan läpäisyajan puolittaminen. Virtaavaan tuotannon toteuttamiseksi päätettiin tarkastella Lean-valmistukselle ominaisia, yksittäisvirtauksella toimivien solujen soveltuvuutta kohdeyrityksen tuotantoon.

Diplomityön lähtökohtana oli käyttää tehtaan nykyisiä tiloja ja tuotantolaitteita. Pienet investoinnit kuitenkin sallittiin, jos ne todetaan tavoitteiden kannalta välttämättömiksi. Diplomityön pääpaino oli oman tuotantoprosessin virtauksen kehittämisessä soluvalmistuksen avulla. Työ rajattiin toimitusketjun ylävirrassa oman tuotannon vastaanottoon ja alavirrassa lopputuotevarastoon, jotta virtaukseen vaikuttavista tekijöistä saadaan kattava käsitys. Virtausta ja siihen liittyvää soluvalmistusta suunniteltiin ainoastaan tärkeim-

pien lopputuotteiden osalta. Tärkeiksi tuotteiksi määriteltiin suuren volyymin ja liikevaihdon tuotteet, jotka olivat pääsääntöisesti pienen kokoluokan tuotteita. Näitä tuotteita valmistettiin myös robotti-solussa, jota tarkasteltiin ainoastaan tehtaan kokonaisvirtauksen ja volyymin kannalta. Työn lopputuloksena on nykyisten valmistusprosessien kartoitus ja tulevaisuuden tilan suunnitelma, joka sisältää valmistusprosessin ja ohjauksen. Tulevaisuuden tilan tuotantoprosessi on tehokas ja virtaava sekä pystyy vastaamaan kasvavaan kysyntään. Prosessin reagointikyky on myös hyvä, sillä suunnittelu ja ohjaus ovat yksinkertaista ja läpäisy aika on puolet nykyisestä.

## 1.2 Työn rakenne

Diplomityö koostuu teoriaosuudesta ja tutkimusosuudesta. Teoriaosuuden luvussa 2 esitellään läpäisyajan merkitystä ja tuotannon virtauttamisen kannalta tärkeitä, Lean-valmistukselle olennaisia aiheita. Luvussa 3 tutkitaan virtaavalle tuotannolle ja työn tavoitteille soveltuvia layoutvaihtoehtoja. Layoutvaihtoehtojen kartoittamisen perusteella tehdään tarkempi kirjallisuustutkimus virtaavan solun valmistuksen soveltuvuudesta kohdeyrityksen tavoitteisiin. Luvussa 4 esitellään solun valmistuksen suunnittelun teoriaan, mihin sisältyy oikeiden lopputuotteiden valinta, nyky- ja tulevaisuuden tilan määrittely sekä solun prosessin, kapasiteetin ja layoutin suunnittelu.

Luvussa 5 esitellään tutkimusympäristö, sisältäen kohdeyrityksen valmistamat tuotteet sekä yrityksen tuotantojärjestelmän. Luku 6 käsittelee diplomityötä varten tehtyä kolmea benchmarking-käyntiä, joiden tarkoituksena oli hakea parhaita käytäntöjä Leanin soveltamiseen ja solun valmistukseen. Luvussa 7 analysoidaan tuotannon virtauksen nykytilannetta ja nykytilanteessa ilmenneitä ongelmia. Nykytilanteen analysoimiseksi muodostetaan ryhmäteknologiaan perustuvat tuoteryhmät sekä huomioidaan tuoteryhmien volyymin odotettu kasvu. Luvussa 8 suunnitellaan tulevaisuuden tilan arvovirta virtauksen kannalta tärkeimmille tuoteryhmille. Tulevaisuuden arvovirrassa tärkeimpänä ajatuksena on luoda virtaus solun valmistuksen avulla, mutta myös tuotannon ohjaus ja suunnittelu sekä toimintaympäristö otetaan huomioon. Luvussa 9 tehdään yksityiskohtaisempi suunnitelma tulevaisuuden tilan arvovirran solusta ja sen layoutista. Luvussa 10 esitellään solun suunnittelemiseksi toteutetut toimenpiteet, kuten vaiheajojen selvitys, työvaiheiden ja laitteiden valinta, töiden tasapainotus sekä kapasiteettitarkastelut. Luvussa 10 esitetään diplomityön päätelmät sekä jatkokehityskohteet.

## 1.3 Työssä käytetyt tutkimusmenetelmät

Työssä käytettiin useita tutkimusmenetelmiä, ja työtä voisi kuvailla toimintatutkimuksena. Teoriaosuudessa suoritettiin kvalitatiivinen kirjallisuustutkimus, jossa käsiteltiin virtautettuun Lean-valmistukseen olennaisesti liittyviä asioita. Teoriaosuuden jälkimmäisessä osassa selvitettiin lähinnä tieteellisiin artikkeleihin ja tutkimuksiin perustuen,

millaisia etuja yritykset ovat saavuttaneet soluvalmistuksella, ja näitä hyötyjä peilattiin työn tavoitteisiin.

Käytännön osassa tehtiin toimintatutkimus ilman interventio-osuutta kvantitatiivisia ja kvalitatiivisia menetelmiä käyttäen. Tuotantoa havainnoitiin tutkimuksen alusta lähtien ja pyrittiin muodostamaan käsitys nykytilanteesta sekä havainnoimaan kehityskohteita. Tutkimuksen edetessä suoritettiin myös lukuisia epävirallisia haastatteluja tuotannon työntekijöille ja yrityksen toimihenkilöille. Tuotantoprosessiin liittyvää tietoa kerättiin myös toiminnanohjausjärjestelmästä sekä valmistuserien mukaan laitetuista kaavakkeista, joiden pohjalta tehtiin myös arvovirtakuvaukset. Solun suunnittelun kannalta tärkeät vaiheajat ja työn elementit eri tuotteille ja työvaiheille saatiin työn- ja työnajan tutkimuksella. Suuren tuotevariaation vuoksi työnajan tutkimuksessa kelloitettiin vain tärkeimpiä tuotteiden työvaiheita ja muodostettiin otoksista lineaariregressiomalli. Mallin avulla voitiin ennustaa solun tuoteryhmille loput tarvittavat vaiheajat.

## 2. TUOTANNON VIRTAUTTAMINEN

Lean valmistuksessa arvoa tuottavien prosessien kehittäminen on tärkeää. Lean-tuotantojärjestelmän perustavana ajatuksena on poistaa hukkaa koko toimitusketjusta ja näin lyhentää asiakkaan kokemaa läpäisyaikaa. (Bellgran & Säfsten 2010, s. 29–31.) Rother & Shook (1999, s. 44) mukaan Lean-tuotannossa on tavoitteena saada prosessit tuottamaan ainoastaan seuraavan prosessivaiheen tarvitsemia asioita, juuri oikean määrän, oikeaan aikaan. Prosessit yritetään linkittää asiakkaalta aina raakamateriaalin asti, niin että ne virtaavat koko ketjun läpi kustannustehokkaasti muodostaen lyhyen läpäisyajan ja parhaan laadun.

Lean toiminnan kehittämisessä määritellään tuotteiden arvo asiakkaan näkökulmasta, minkää jälkeen voidaan tunnistaa arvoketjusta asiakasarvolle tärkeät vaiheet. Arvoa tuottamattomat vaiheet poistetaan ja virtautetaan jäljelle jäävä arvoa tuottava toiminta. Tuotannon virtauttaminen tarkoittaa prosessin eri vaiheiden toteuttamista peräkkäin siten, että tuote valmistuu mahdollisimman nopeasti asiakkaan tarpeeseen. (Kouri 2013.) Virtauttamisen lopullinen tavoite on saada tuotteet virtaamaan yksi kerrallaan koko prosessiketjun läpi niin, että prosessi sisältää mahdollisimman vähän hukkaa. Virtauttaminen luo joustavan tuotantoympäristön, jossa pystytään vastamaan nopeasti kysynnän muutoksiin sekä kapasiteettitarpeen vaihteluihin. Yksittäisvirtaus (engl. one-piece flow) voidaan saavuttaa eräkokoja pienentämällä, tasoittamalla tuotantoa ja luomalla asiakastarpeesta lähtevä imuohjaus, jossa tuote etenee työvaiheelta toiselle esimerkiksi kaksilaatikkoperiaatteella (engl. kanban). (Glenday 2007.) Yksittäisvirtausta pidetään Lean-valmistuksen haastavimpana tavoitteena ja yhtenä tärkeimmistä tekijöistä Toyotan tuotantojärjestelmän (TPS) syntymiselle. Yksittäisvirtaus on osaltaan vaikuttanut Toyotan menestykseen. Yksittäisvirtauksen luomiseksi yrityksen täytyy kehittää soluvalmistusta. (Bellgran & Säfsten 2010, s.28–31.) Kirjallisuuden mukaan soluvalmistuksen katsotaan olevan tehokkain Lean-tuotannon työkaluista läpäisyajan lyhentämiseen ja virtauksen luomiseen (Glenday, 2007). Virtauksen tehokkuuden mittari on läpäisy aika (Kouri 2013).

### 2.1 Läpäisyajan merkitys

Läpäisy aika on tärkeä tuotantojärjestelmän tehokkuuden mittari. Läpäisyajalla voidaan tarkoittaa tilauksen, valmistuksen, osavalmistuksen tai kokoonpanon läpäisy aikaa. Tässä työssä tarkastellaan kohdeyrityksen oman valmistuksen läpäisy aikaa. Lyhyt läpäisy aika viittaa hyvään tuotannon tehokkuuteen ja reagoitakykyyn. Lyhyt läpäisy aika mahdollistaa nopeat toimitusajat ja tuotannon tasoittamisen tuotantopiikkien sattuessa. Se antaa

pelivaraa tuotannon ajoitukseen, jolloin tuotannon ohjattavuus paranee. Lisäksi lyhyt läpäisy aika pienentää keskeneräisen työn määrää (KET, engl. WIP). Tilausohjautuvassa tuotannossa valmistuksen läpäisyajan on oltava toimitusaikaa lyhempi. Jos ajat ovat yhtä pitkät, kuormitus vaihtelee tilauskannan mukaan. Tilausohjautuvassa tuotannossa voidaan myös pitää puolivalmisteverastoja, jolloin asiakkaan kokema tilauksen läpäisy aika lyhenee. (Lapinleimu et al., 1997 s. 53–55.)

Varastoon valmistaminen on kallista, sitoo pääomaa ja aiheuttaa varaston epäkuranttiusriskiä. Tästä syystä kaikkia lopputuotteita ei usein kannata valmistaa varasto-ohjautuvasti. Läpäisyajan tulisi olla niin lyhyt, että ainakin osa valmistuksesta voidaan aloittaa vasta tilauksen saavuttua. Varasto-ohjautuvassa tuotannossa voidaan pitää pienempiä lopputuotevarastoja lyhyen läpäisyajan ansiosta. Lyhyen läpäisyajan tuotannossa tuotteita kyetään valmistamaan peräkkäin, kun taas pitkän läpäisyajan tuotannossa tuotteita valmistetaan usein rinnakkain. (Lapinleimu et al., 1997 s.38–55.) Tuotteiden valmistaminen rinnakkain vaikeuttaa tuotannon ohjausta ja suunnittelua sekä lisää keskeneräisen tuotannon määrää.

## 2.2 Hukka ja tuhlauksen seitsemän lajia

Hukka on asiakkaalle arvoa tuottamatonta toimintaa. Hukan poistaminen on virtauksen ohella Leanin keskeisimpiä ajatuksia. (Stevenson 2012 s. 620.) Tuotannon virtautuksella pyritään valmistamaan yksi kappale kerrallaan asiakastarpeen mukaa, siten, että prosessit sisältävät mahdollisimman vähän hukkaa. Virtauksen luonnin yhteydessä prosesseissa esiintyvä hukka paljastuu, jolloin sitä voidaan poistaa. (Kouri 2013.)

Hukkaa esiintyy prosesseissa eri syistä. **Muda** on Japania ja tarkoittaa lisäarvoa tuottamatonta työtä, joka ei tuota arvoa asiakkaalle. Muda luokitellaan kirjallisuudessa seitsemään hukkaan. (Wilson 2010, Kouri 2013.) Alkuperäiset seitsemän hukan lajia on esitetty alla.

- kuljetukset
- odottelu
- ylituotanto
- vialliset tuotteet
- tarpeeton varastointi
- tarpeeton liikkuminen
- ylimääräinen käsittely

Yhdysvaltalainen Lean-tutkija Jeffrey Liker on lisännyt Leanin vaikuttajan Taiichi Ohnon seitsemään hukkaan vielä kahdeksannen hukan: työntekijöiden hyödyntämätön potentiaali. (Liker 2004, s. 28–29.)

Ylituotantoa pidetään Leanin pahimpana hukkana, koska siitä aiheutuu monia muita hukkan lajeja. Tarpeettomalla varastoinnilla on myös taipumuksena peittää alleen muita hukkia. Tarpeeton varastointi vaikuttaa erityisen haitallisesti tuotannon virtaukseen. (Kouri 2013.) Stephens & Meyers (2013, s. 11) mukaan varastot sitovat paljon pääomaa ja varastojen hallinta vaatii henkilökuntaa sekä materiaalinkäsittelylaitteita. Varastot aiheuttavat myös epäkuranttiusriskin ja vievät lattiatilaa. Varastojen aiheuttamat kustannukset eivät siis liity pelkästään pääoman sitoutumisesta johtuviin kustannuksiin.

**Muri** viittaa ihmisten ja laitteiden ylityöhön, jota esiintyy, kun tuotantoa kuormitetaan yli normaalin kapasiteetin. Muri ilmenee konkreettisesti tuotannon myöhästymänä, ylitöinä, laatuongelmina ja häiriöinä laitteissa. (Kouri 2013.)

**Mura** tarkoittaa epätasaisuutta, joka johtuu prosessin epätasaisuudesta ja johdonmukaisuuden puutteesta. Mura aiheuttaa kuormituksen vaihtelua ja häiriöitä sekä laatuongelmia. Virtaavassa tuotannossa aiheutuu epätasaisuutta, kun työvaiheiden kestot ovat epätasapainossa. (Rother 2001.)

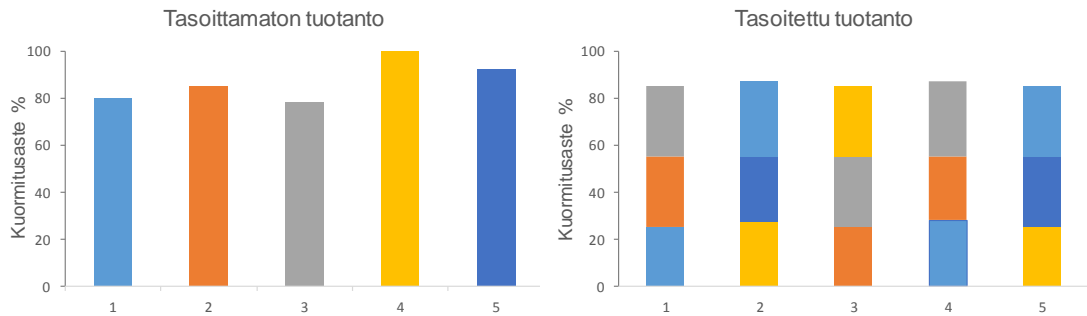
Lean-valmistuksessa on tarkoituksena suunnitella tuotantoprosessi niin että tuotteet voidaan valmistaa ilman häiriöitä ja hukkaa siten, että tuotannon tehokkuus kasvaa. Leanin periaatteilla voidaan tehokkaasti pienentää varastoja, vähentää materiaalin käsittelyä ja tasapainottaa tuotanto. (Stephens & Meyers 2013, s. 40.)

### 2.3 Tasoitettu tuotanto ja eräkokojen pienentäminen

Tasoitetulla tuotannolla (jpn. heijunka) tarkoitetaan tuotannon määrän ja tuotevariaation tasoittamista. Isojen erien sijasta pyritään valmistamaan toistuvasti pieniä eriä, jolloin tuotteita valmistuu tasaisella kysyntää vastaavalla tuotantovauhdilla. (Liker 2004.) Menetelmällä tavoitellaan tuotannon tasapainoista tilaa, joka on tehokkaasti virtautetun tuotannon edellytys. Tasoitettu tuotanto lisää tuotannon suunnitelmallisuutta ja ohjattavuutta sekä helpottaa työn ja prosessin vakiointia. (Liker 2004.) Suurien erien vapauttaminen funktionaaliseen tuotantoon aiheuttaa töiden valikointia työpisteillä, jolloin läpäisyajat pitenevät ja vaihtelevat. Tuotanto ei ole tällöin hallittavaa, ja töiden etenemistä on vaikea seurata. (Rother & Shook 1999, s. 56.)

Tuotannon tasaamiseksi tuotteet täytyy ryhmitellä virtausta tukevasti, jolloin voidaan muodostaa selkeät materiaalivirrat, ja eräkokojen pienentäminen on mahdollista. (Glenday, 2007.) Tuotanto tasoitetaan yleensä tuotannon tahdistavan työvaiheen mukaan. Tahdistavasta työvaiheesta eteenpäin tuotannon tulee virrata. (Rother & Shook 1999, s. 54.) Tahdistavaa työvaihetta käsitellään lisää luvussa 3.2.3. Tuotannon tasoittamiseksi määritetään kiinteä tuotantosunnitelma, jossa tuotteita tehdään määrättyssä järjestyksessä ja optimaalisella volyymilla joka syklissä. Valmistusykli voi olla aluksi pitkä, jopa kuukauden mittainen. Tavoitteena on, että syklejä lyhennetään asteittain, jolloin tuotteita valmistuu tasaisesti. Kapasiteetin keskimääräinen tarve pyritään pitämään va-

kiona, jolloin myös materiaalien kulutusnopeus on vakio ja alihankkijoiden toiminta helpottuu. Sykliä lyhentäminen edellyttää eräkokojen pienentämistä, ja ideaalisena tavoitteena on valmistaa yksi tuote kerrallaan. Sykliä lyhentäminen lisää asetusten määrää, joten asetusaajoilla on merkittävä vaikutus sykliä lyhentämisessä. (Glenday 2007.) Asetusaikoja käsitellään tarkemmin luvussa 2.5. Tasoitetun tuotannon ajatus on esitetty kuvassa 1. Kuvassa vasemmalla on tasoittamaton tuotantosuunnitelma, jossa syklin pituus on 5 päivää. Kuvan oikean puoleisessa tapauksessa on käytetty tasoitetun tuotannon periaatetta, jolloin syklin pituus on alle 2 päivää.



**Kuva 1:** Esimerkki tasoitetun tuotannon periaatteesta.

Tasaisesti valmistuvat pienet tuote-erät mahdollistavat kysyntään vastaamisen pienemmillä lopputuotevarastoilla. Jos yritys valmistaa pitkiä sarjoja pitkissä sykleissä ja kysyntä eri tuotteille on vaihtelevaa, joudutaan pitämään suurta lopputuotevarastoa. Tämä johtuu siitä, että pitkän sarjan aikana lopputuotteita kuluu varastosta enemmän lyhyeen verrattuna, jolloin tuotteita täytyy valmistaa aina niin paljon, ettei varasto pääse valmistuskierron aikana loppumaan. Kourin (2013) mukaan varastoja voidaan käyttää Lean-valmistuksessa harkitusti menekin tasoittamisessa. Jos varastoidaan pelkästään materiaaleja, ja kysynnässä on vaihtelua, ei kiinteää tuotantoaikataulua pystytä pitämään. Yleinen menetelmä on valmistaa vakiotuotteita varastoon ja muita tuotteita tarpeen perusteella. Asiakkaiden tarpeet voidaan sovittaa myös ennalta määrättyyn tuotantotaikatauluun, jolloin asiakas saa tuotteensa, kun tuotetta valmistetaan seuraavan kerran. Asiakas saattaa joutua joustamaan toimitusaajoissa, mutta toimitusvarmuus luvattuun päivään on hyvä ja toimitusaika kohtuullinen. (Kouri 2013.) Kun tuotevariantteja on paljon, kaikkia tuotteita ei käytännössä kyetä valmistamaan tasoitetun tuotantosuunnitelman mukaan.

Virtautetussa tuotannossa pyritään kuitenkin välttämään ylimääräistä varastointia ja kapasiteettia, sillä ne lisäävät aina kustannuksia. Vaihtelevaan kysyntään pyritään vastaamaan tuotannon tasoituksen ja lopputuotevaraston lisäksi tuotannon lyhentyneen läpimenon mahdollistamalla nopealla reagoinnilla eli muuttamalla tasoitettua tuotantosuunnitelmaa. Täytyy kuitenkin muistaa, että suunnitelman muuttaminen aiheuttaa muutoksia myös materiaalin kulutuksessa ja kapasiteetissa, jotka asettavat rajoitteita muutoksien suuruudelle. (Kouri 2013.)

## 2.4 Prosessin ja työtehtävien vakiinnuttaminen

Edellisessä luvussa todettiin tasoitetun tuotannon helpottavan prosessin ja työn vakiinnuttamista. Virtautetussa tuotannossa vakiointi on tärkeää, koska vaihtelevuus työtaivoissa ja vaiheajoissa (engl. cycle time) aiheuttaa hukkaa prosessissa. Luvussa 2.2 mainittu **Mura** viittasi epäjohtonmukaiseen työskentelyyn ja työn vaiheajojen epätasapainoon. Epätasapaino ja epäjohtonmukaisuus aiheuttavat virtauksen katkeamista, kun työvaiheiden väliin alkaa kertyä keskeneräistä tuotantoa. Prosessin epätasapaino ja epäjohtonmukaiset työskentelytavat aiheuttavat täten läpäisyajan, tuotantomäärän ja laadun tarkoituksetonta vaihtelua. (Rother 2001.) Luvussa 4.7 käsitellään sitä, kuinka nämä haasteet huomioidaan virtauksen suunnittelussa.

Prosessin vakiinnuttamisen laiminlyönnistä johtuvat läpäisyajan vaihtelut vaikuttavat toimitusvarmuuteen. Jos tuotannon läpäisyajojen vaihtelua onnistutaan vähentämään, asiakkaalle luvatut toimituspäivät pitävä todennäköisemmin paikkaansa. Läpäisyajojen vaihtelut viestivät siis tuotannossa olevista häiriöistä. (Cohran 2001, s.380.)

Työtehtävien vakiinnuttamisen tarkoituksena on vaihtelun vähentämisen lisäksi helpottaa työtehtävien kehittämistä ja päivittäisjohtamista. Kun tuotannon toimintatavat vakiinnutetaan ja dokumentoidaan, niitä on helpompaa kehittää systemaattisesti.

Prosessin vakiinnuttamiseksi selvitetään työvaiheet, niiden viemä aika sekä tekojärjestys. Lisäksi selvitetään materiaalien tarve ja standardivarastojen sekä laadunvarmistuksen tila. Työtehtävien vakiinnuttamisen jälkeen työtehtävien suorittamisessa tulee noudattaa laadittuja toimintaohjeita. Vakiinnuttamisen yhteydessä havaittuja ongelmia voidaan käyttää apuna, kun kehitetään parempia toimintatapoja. Työtehtävien vakiinnuttaminen vähentää työntekijöiden mahdollisuutta luovuuteen työtehtävien suorittamisessa, mutta luovuus voidaan hyödyntää toiminnan kehittämiseen. (Kouri 2013.)

## 2.5 Asetusaikojen merkitys

Asetusajat mainittiin luvussa 2.3 eräkokojen pienentämisen yhteydessä, ja asetukset kuuluvat myös vakiinnutettaviin työtehtäviin. Asetusaika sisältää kaiken käytetyn ajan, joka kuluu tuotantoyksikössä nykyisen työn lopettamisesta seuraavan työn aloittamiseen. Asetusaikojä sisältyy erityisesti tuotantoon, jossa valmistetaan useita erilaisia tuotteita. Kun tuotteiden volyyymi on suuri ja tuotetyyppien vaihtoja on paljon, asetusaikat muodostuvat merkittäväksi tehokasta työaikaä vähentäväksi tekijäksi eli hukaksi. Koneiden käyttöasteen kannalta olisi edullista valmistaa mahdollisimman suuria eriä, jolloin asetusten määrä vähenee. Luvussa 2.3 todettiin kuitenkin suurten erien haitallisuus ja todettiin myös, että virtautetussa tuotannossa tuotannon tasoituksesta ja eräkokojen pienentämisestä johtuen asetusten määrä lisääntyy. Tästä syystä asetustekniikoiden kehittäminen on tärkeää, koska asetuksia lyhentämällä voidaan pienentää asetusaajan merkitystä, jolloin arvoa lisäävä aika kasvaa. (Shirahama 2012, Lapinleimu 2000.)



Koneistusta sisältävässä kappaletavarateollisuudessa asetusaika voi muodostua seuraavista toimenpiteistä: (Lapinleimu et al., 1997.)

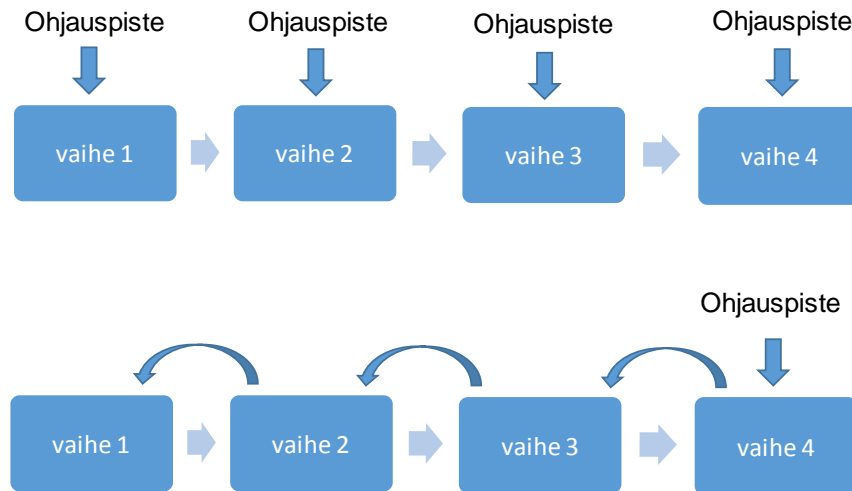
- kappaleen vaihdot
- kiinnittimien vaihdot
- työkalukeskusten ja työkalujen vaihdot
- työstöohjelman kutsumiset ja siirtämiset
- koordinaatiston 0-kohdan ja muiden parametrien asetus
- kappaleenkäsittelijän vaihdot
- työstöohjelman kokeileminen

Työntekijät kiinnittävät usein liian vähän huomiota asetusten tekemisen tehokkuuteen. Asetuksia voidaan kehittää muuttamalla sisäisiä asetusaikoja ulkoisiksi käyttämällä erilaisia jigejä ja apuvälineitä. Asetuksen muuttaminen ulkoiseksi tarkoittaa asetuksen tekemistä työkierron ollessa käynnissä. Asetuksien tekemisessä on tärkeää vähentää erilaisen kokeilemisen ja testaamisen tarvetta. Tähän auttaa juuri asetusten vakiinnuttaminen ja työskentelytapojen kehittäminen. Asetusten videointi ja videon purkaminen vaiheisiin yhdessä työntekijän kanssa on hyvä menetelmä asetusten kehittämisessä. Asetuksien tekoon voidaan käyttää myös apuvoimaa, ja erityisesti koneistusta varten on olemassa paikoitusta helpottavia apuvälineitä. (Kouri 2013.) Kun prosessit ja työtehtävät on vakioitu ja asetukset ovat lyhyitä, voidaan käyttää imuohjusta ja pyrkiä kohti yksittäisvirtausta.

## 2.6 Imuohjaus ja supermarket-varastot

Virtaavassa tuotannossa on tavoitteena käyttää valmistuksen ohjaukseen imuohjausta. Imuohjauksella tarkoitetaan tuotteen valmistamista oikea-aikaisesti tarpeeseen perustuen. Tarvetieto välitetään tuotannon alavirrasta ylävirtaan esimerkiksi yksinkertaisilla kanban-korteilla tai ilmoitustauluilla. Imuohjauksella pyritään vähentämään työntöohjaukselle tyypillisiä puskurivarastoja. Puskurivarastot poistamalla, tuotannon läpäisyai-ka lyhenee, jolloin voidaan lyhentää tuotantosuunnitelman lukittua suunnitteluajakä-ännettä. Menetelmällä saavutetaan hyvä reagointikyky, ja uudet tilaukset voidaan toteuttaa nopeasti seuraavassa tuotantosuunnitelmassa. Käytännössä imuohjauksessakin tarvitaan oikeaan paikkaan sijoitetut pienet puskurivarastot, jolloin pullonkaulavaiheilla on jatku-vasti työtä. (Kouri 2013.)

Imuohjauksessa valmistetaan ainoastaan asiakastilaukseen. Asiakkaan aiheuttama tarve ikään kuin imee tuotteen valmistusprosessin läpi. Imuohjauksessa myös seuraava työ-vaihetta voidaan ajatella asiakkaana. Perinteisessä työntöohjauksessa puolestaan työn-netään tuotteita prosessin läpi ennusteiden ja kokoonpano-ohjelmien perusteella. (Mil-tenburgh 2001, Kouri 2013.) Työntöohjauksen ja imuohjauksen periaatteellinen ero on esitetty kuvassa 2.

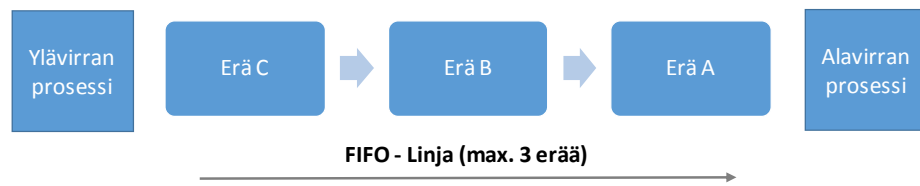


**Kuva 2:** Työntöohjauksen ja imuohjauksen periaatteellinen ero.

Imuohjaus voidaan toteuttaa esimerkiksi kanbanilla siten, että signaali lähtee liikkeelle lopputuotevarastosta. Lopputuotevaraston jonkin nimikkeen vähentyessä sieltä välitetään kanbanilla signaali ylävirtaan, jossa kerrotaan, paljonko kyseistä tuotetta täytyy valmistaa. (Kouri 2013.) Imuohjauksessa ohjauspisteeksi valitaan yleensä tuotannon tahdistava työvaihe eli pullonkaula. Tahdistava työvaihe määrää alavirran lisäksi myös ylävirran tuotantovauhdin. Tahdistavan työvaiheen käyttäminen ohjauspisteenä estää ylituotannon syntymistä. Ohjauspisteestä eteenpäin tuotannon tulee virrata, jolloin tahdistavan työvaiheen jälkeistä tuotantoa ei tarvitse erikseen ohjata (Rother & Shook 1999, s. 54). Ohjauspisteenä voidaan pitää myös pistettä, jossa tuotantotilaus muuttuu asiakastilaukseksi. (Womack 2006, s. 155.)

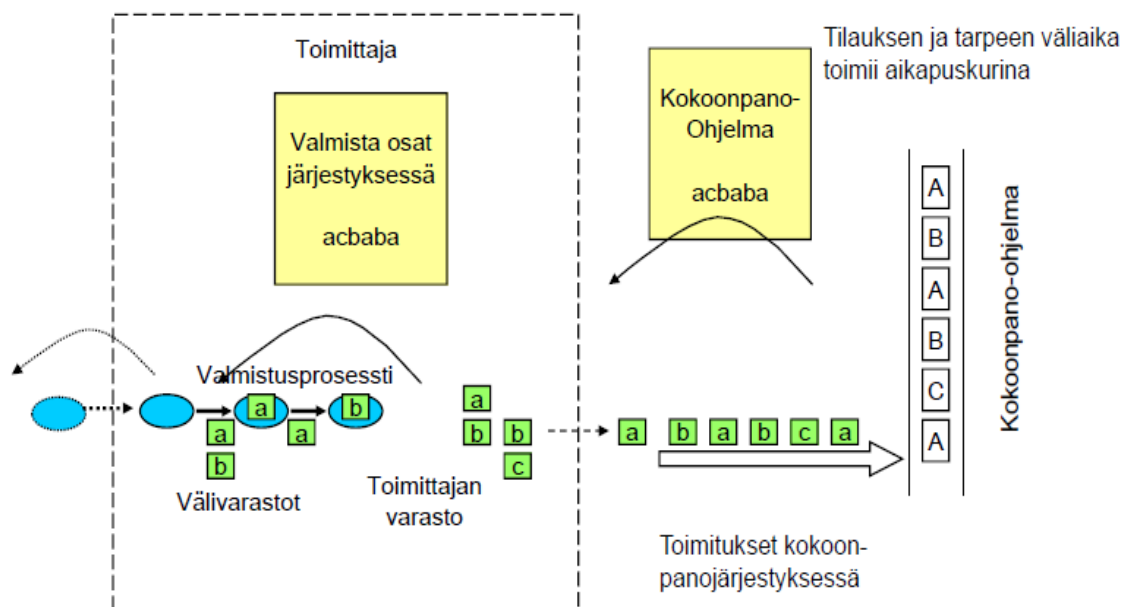
Conwip-imuohjauksessa rajoitetaan keskeneräisen tuotannon määrää. Conwip määriä on tietty määrä ja uusi erä voidaan aloittaa vasta, kun määrän vapautuu edellisen tuotteen valmistuttua ja antaa signaalin aloittaa seuraavan erän. Valmistettavien erien tulisi olla suunnilleen saman suuruisia. Vaihtoehtoisesti suuren erän valmistus voidaan määrittää alkamaan vasta kahden määräimen vapauduttua. Conwip ei ota kantaa valmistettavaan tuotteeseen, vaan järjestys määräytyy työjonon mukaan. (Kouri 2013.) Conwip ei ole puhdasta imuohjausta, vaan vaatii lisäksi tuotantosuunnitelman.

Rother & Shookin (1999, s. 57) mukaan Conwip:stä käytetään vaihtokelpoisesti termiä FIFO (engl. First in first out). Tapping et al. (2002 s. 65) mukaan FIFO-linjan käyttöä voidaan harkita niissä prosessin kohdissa, joissa kanban-imun käyttö on hankalaa. FIFO-linjalla vanhimmat tuotteet käsitellään aina ensiksi, jolloin työjärjestys säilyy läpi valmistusreitien. FIFO-linjan keskeneräinen tuotanto on tyypillisesti rajoitettu, kuten Conwipissäkin, jolloin linjan täytyttyä linjaan ei laiteta uusia kappaleita, ennen kuin vanhin siirtoerä on lähtenyt liikkeelle. (Rother & Shook 1999, s. 57.)



**Kuva 3:** Esimerkki FIFO-linjan toimintaperiaatteesta.

Tarveimu (engl. Sequenced pull) perustuu lyhyen jänteen (1pv-1vko) tuotantosuunnitelmaan, jossa alavirran prosessi tilaa ylävirran prosessilta ennalta määritellyn määrän tuotteita tietyssä järjestyksessä lyhyen tuotantosuunnitelman perusteella. Toimittajille annetaan aina ennustus seuraavasta tuotantojaksosta. Tuotantosuunnitelma ja toimittajille annettava ennuste toimivat prosessissa aikapuskurina. (Kouri 2013, Rother & Shook 1999, s. 58.) Tarveimun toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4.



**Kuva 4:** Periaatekuva tarveimusta kokoonpanoyksikön ja toimittajan välillä. (Kouri 2013).

### Supermarket

Rother & Shook (1999, s. 50) kehittävät käyttämään supermarket varastoa, jos virtaus joudutaan katkaisemaan jossakin kohtaa prosessia. Syitä virtauksen katkeamiselle voi olla useita. Tyypillisimpiä syitä katkeamiselle on eräperustaisen prosessin kuuluminen valmistusketjuun. Joissakin prosessin kohdissa joudutaan käyttämään eräperustaisia prosesseja esimerkiksi, kun prosessiketjuun kuuluu tuotannon yhteinen resurssi, joka palvelee useita alavirran prosesseja. Muita syitä virtauksen katkeamiselle ovat prosessi-

vaiheen pitkä läpäisy aika tai sen epäluotettavuus. Tällöin prosessia ei kannata liittää virtaukseen ilman välivarastoa. Prosessin katkaiseva työvaihe on esimerkiksi lämpökäsittely. Jatkuva virtaus katkeaa myös, kun alihankkija toimittaa prosessille erissä.

Näissä tapauksissa prosessit voidaan yhdistää imuohjaukseen perustuvalla Supermarket-varastolla. Alavirran prosessi ottaa Supermarketista tarvitsemansa tuotteet, ja ylävirtaan lähetetään tietoa supermarketin hupenemisesta esimerkiksi kanbanin välityksellä. Supermarkettia voidaan täyttää eräperustaisella prosessilla. (Rother & Shook, 1999, s. 51.) Yllä olevan kuvan 4 toimittajavarasto voi olla Supermarketvarasto, josta imetään tuotteita tuotantosuunnitelman mukaan. Alihankkija täyttää varastoa saamansa ennusteen ja supermarketin varastotason perusteella.

## 2.7 Visuaalisuus ja tuotantoprosessin läpinäkyvyys

Tärkeänä osana Leania ja virtausta pidetään prosessien visuaalisuutta ja läpinäkyvyyttä. Läpinäkyvyydellä tarkoitetaan tuotantoprosessin helposti havaittavaa ja ymmärrettävää tilaa. Tuotantoprosessista on tavoitteena saada niin selkeä, että sen tila havaitaan yhdellä vilkaisulla. Tällöin vastuuhenkilöt näkevät nopealla tarkastelulla, miten prosessi suoriutuu.

Selkeät ja havainnolliset prosessit mahdollistavat tuotannon itseohjautuvuuden sekä parantavat tuotannon ohjattavuutta, luotettavuutta, laatua ja työturvallisuutta. Visuaalisuuden ja läpinäkyvyyden luomisessa käytetään virtauksen lisäksi yksinkertaisia ohjaus- ja ilmoitustauluja. Niiden avulla voidaan toteuttaa muun muassa tuotantosuunnitelmat sekä koneiden ja työtehtävien miehitys. (Kouri 2013.) Olennainen osa Leanin visuaalisuutta ovat myös kaikkien nähtävillä laitettavat standardityökaaviot (engl. standard work chart). Niitä käytetään työn sisällön sekä keston kuvaamisessa, ja ne luovat perustan työtehtävien kehittämiseksi. (Wilson 2010.)

Erilaiset tilojen, työalueiden ja työkalujen merkitsemiset luovat tuotantoon visuaalisuutta sekä parantavat järjestystä ja työkäytäntöjä. 5S on edellä mainittuihin tavoitteisiin kehitetty leanin työkalu. Viisi S- kirjainta tulevat japanin kielisistä sanoista:

- Seiri – Sortteeraus. Tällä tarkoitetaan turhien työkalujen ja tavaroiden poistamista työpisteiltä
- Seiton – Systematisointi. Kehitetään hyvät varastointi ja säilytysmenetelmät joiden avulla koko tuotanto pidetään järjestyksessä. Menetelmiä ovat muun muassa alueiden rajaaminen värien avulla, värikoodit työkaluille ja jigeille sekä erilaiset nimilaput ja muut merkitsemistekniikat.
- Seiso – Siivous. Työpisteiden päivittäinen järjestäminen.
- Seiketsu – Standardisointi. Vakiinnutetaan parhaat järjestykseen ja siisteyteen liittyvät käytännöt.

- Shitsuke – Seuranta. Auditoidaan 5S säännöllisesti ja varmistetaan että sovittuja menetelmiä noudatetaan. (Wilson 2010.)

### 3. LAYOUTIN VALINTA

Tähän mennessä teoriaosuudessa on käsitelty virtaavaan Lean-valmistukseen liittyviä teorioita. Diplomityön tavoitteisiin vastaavan virtaavan tuotannon toteuttamiseksi päätettiin tutkia soluvalmistusta. Diplomityössä haluttiin kuitenkin selvittää myös lyhyesti, miten muut perinteiset layoutvaihtoehdot sopivat työlle asetettuihin tavoitteisiin.

Tässä luvussa esitellään aluksi kolme yleistä layout-vaihtoehtoa, minkä jälkeen tutkitaan tieteellisten julkaisujen avulla, miten yksittäisvirtauksella toimiva solu soveltuisi virtaavan tuotannon tarpeisiin. Tämän tieteellisiin julkaisuihin perustuvan kirjallisuusselvityksen toteuttamiseksi tunnistettiin kaksi tärkeää tuotannollista piirrettä, jotka ohjasivat kirjallisuustutkimusta. Kohdeyrityksen tuotantoon sisältyy kokoonpanovaiheiden lisäksi koneistusta, jonka yhdistäminen kokoonpanosoluun on kirjallisuudessa harvinaisempaa. Toinen huomioitu tekijä on se, että kohdeyrityksen alihankinnan nykyisestä läpäisyajasta johtuen varasto-ohjauksen lisäksi joudutaan käyttämään tilausohjausta tuotannon ohjaamiseen. Tutkimuksessa yritetään huomioida nämä ennalta tiedossa olevat kohdeyrityksen tuotantoon vaikuttavat tekijät. Tämän ennakkotiedon perusteella kirjallisuusselvitykseen tehtiin perusteellinen lähestymistapa, jossa hakusanoja käytettiin järjestelmällisesti. Eräs tärkeä hakusana oli Linkitetty soluvalmistus (engl. linked cell manufacturing), jossa valmistus prosessi koostuu toisiinsa kytketyistä operaattoriperustaisista valmistussoluista ja, mikä tärkeintä, koneen tekemä työ on erotettu operaattorin tekemästä manuaalisesta työstä.

#### 3.1 Layoutin määrittelyä

Tuotannon makrotason layoutilla tarkoitetaan tehdastason layoutia eli tapaa, jolla työpisteet ja laitteet on järjestetty tehtaan sisällä (Quaterman 1996). Usein makrotason layoutilla tarkoitetaan tuotanto prosessin tyyppiä (Bellgran & Säfsten 2010). Mikrotason layoutilla puolestaan tarkoitetaan makrotason layoutin sisällä olevien pienempien yksiköiden, esimerkiksi yksittäisten solujen järjestystä (Quaterman 1996).

Makrotason layoutin suunnittelun yhteydessä tehdyt ratkaisut ovat usein strategisia ja vaikuttavat koko yritykseen ja sen tuotantoverkoston. Layoutin muuttaminen vaatii investointeja ja resursseja sekä vaikuttaa tuotannon kustannusrakenteeseen, tehokkuuteen ja suunnitteluun. Layoutin muutokset sitovat organisaation pitkäksi aikaa uuteen tuotannon järjestykseen, joten muutokset täytyy toteuttaa suunnitelmallisesti. Yleisin syy layoutin muutokseen ovat nykyisen tuotantoprosessin tehottomuus ja ulkoisen toimintaympäristön muuttumisen aiheuttamat paineet, kuten lisääntynyt joustavuuden tarve. (Stevenson 2012, s. 235- 248.)

Layoutsuunnittelun tärkein tavoite on varmistaa tuotannon tasainen virtaus, jossa materiaali ja informaatio virtaavat prosessin läpi valmiiksi lopputuotteiksi. Tukevia tavoitteita ovat:

- laadukkaan tuotteen aikaansaaminen
- työntekijöiden ja tilan tehokas hyödyntäminen
- pullonkaulojen välttäminen
- materiaalin käsittelyn ja liikkumisen minimoiminen
- läpäisyajan minimoiminen
- työturvallisuuden huomioiminen (Stevenson 2012, s.248.)

## 3.2 Virtaavaan tuotantoon soveltuvat layoutit

Hyvän virtauksen mahdollistava layout tukee Stevensonin (2012) määrittelemien tavoitteiden lisäksi luvussa 2 esiteltyjä virtaavaan Lean-tuotannon osa-alueita, kuten tuotannon tasapainotusta, hukkien poistamista, imuohjausta ja prosessin visuaalisuutta. Virtaavan tuotannon layoutin tulisi olla joustava muutoksille, sillä layoutia joudutaan muuttamaan organisaation kehittyessä ja tarpeiden muuttuessa. Layoutin on oltava myös selkeä ja visuaalinen, jolloin tuotannon ongelmat on helppo havaita, ja ohjaus sekä työn johtaminen on yksinkertaista ja mahdollisimman itseohjautuvaa. (Kouri 2013.)

Virtaavan tuotannon ja tämän diplomityön kannalta voidaan tunnistaa kolme tärkeää makrotason layout-vaihtoehtoa: linja, solu ja funktionaalinen layout. Solu- ja tuotantolinjamuotoinen tuotanto tukevat yleensä parhaiten virtausta. (Kouri 2013.)

### 3.2.1 Funktionaalinen layout

Funktionaalinen layout soveltuu tuotantoon, jossa tuotteiden variaatio on suuri, volyymit pieniä ja tuotteet vaativat paljon erilaisia työvaiheita. Funktionaalisesti järjestetyssä tuotannossa työpisteet ja laitteet on ryhmitelty siten, että yhdessä paikassa tehdään määrättyä työvaihetta. Yleensä jokaisella koneella on oma operaattori, mutta nykytrendissä yksi operaattori voi käyttää myös useampia koneita. (Bellgran & Säfsten 2010, s. 202, Stevenson 2012, s. 251.) Valmistettavat kappaleet liikkuvat yleensä erissä työpisteeltä toiselle niiden vaatimien työvaiheiden perusteella. Liikutteluun kuluu runsaasti aikaa, minkä lisäksi tarvitaan laitteita erien liikutteluun. Tuotannon ohjattavuus on funktionaalisisessa layoutissa hankalaa useiden tuotantoreittien ja ohjauspisteiden vuoksi. Tuotantomuoto ei ole kuitenkaan kovin herkkä häiriöille, sillä työpisteiden eteen kertyvä keskeneräinen tuotanto pitää muun tuotannon käynnissä, vaikka kone vikaantuisi tai työntekijä olisi poissa. (Stevenson 2012, s. 251–252.) Bellgran & Säfsten (2010, s. 205) mukaan funktionaalisisessa layoutissa saavutetaan koneiden korkea käyttöaste monipuolisten reititysvaihtoehtojen ja puskurivarastojen ansiosta. Keskeneräinen tuotanto kuitenkin

pidentää läpäisyajoja, kätkee laatuongelmia ja aiheuttaa haasteita tuotannon ohjaukseen. Kuvassa 6 on esitetty funktionaalisen layoutin periaate.



**Kuva 5:** Funktionaalinen layout (mukaillen Bellgran & Säfsten 2010, s. 205).

Funktionaalisen tuotannon koneet ovat usein yleiskoneita, joiden varaosien saatavuus on hyvä eikä varaosia tarvitse varastoida layoutin häiriönsietokyvyn ansiosta. Funktionaalisen layoutin edut on koottu alle (Stevenson 2012, s. 251- 252):

- soveltuu suurelle tuotevariaatiolle
- mahdollista aikaansaada korkea koneiden käyttöaste (Bellgran & Säfsten 2010, s.205)
- hyvä häiriöiden sietokyky
- laitteet ovat usein yleiskäyttöisiä ja siksi edullisia
- helppo asettaa henkilökohtaisia kannustimia

Haittoina funktionaaliselle tuotannolle voidaan tunnistaa: (Stevenson 2012, s.251- 252).

- heikko tuotannon virtaus ja suuri keskeneräisen tuotannon määrä
- tuotannon ohjaus on hankalaa ja vaatii resursseja
- toimituspäivän arvioiminen on hankalaa vaihtelevan läpäisyajan vuoksi (Bellgran & Säfsten 2010, s. 205)
- materiaalin käsittely on kallista ja aikaa vievää
- kustannuslaskenta, inventaarion hallinta sekä ostojen ajoittaminen on hankalaa

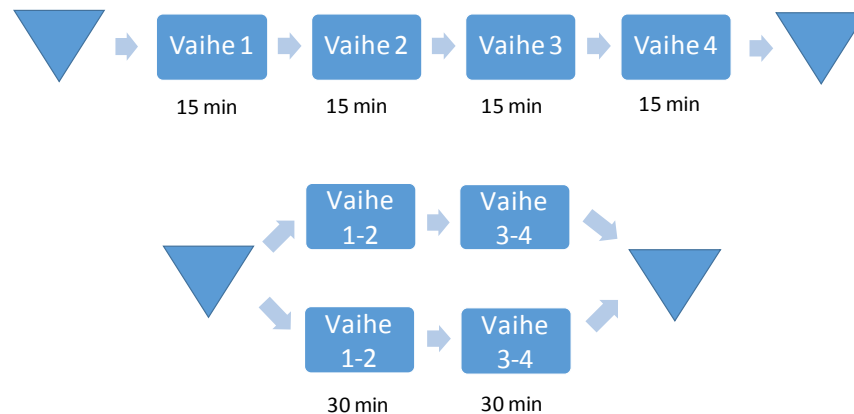
Funktionaalinen layout ei näytä soveltuvan työn tavoitteisiin suuren KET:n, pitkän läpäisyajan, hankalan ohjauksen ja heikon virtauksen vuoksi.



### 3.2.2 Tuotantolinja

Linjavalmistusta käytetään yleensä standardoitujen suuren volyymin tuotteiden valmistukseen (Bellgran & Säfsten 2010, s.207). Linjalla valmistaminen vaatii vähäisen tuotevariaation ja vaiheaikojen vaihtelun sekä vakiintuneet työmenetelmät. Tällöin tuotanto voidaan järjestää tuotteiden työvaiheiden vaatiman järjestyksen mukaisesti linjaan. Linjassa jokainen kappale käy läpi samat työvaiheet, jolloin esimerkiksi materiaalinkäsittelyn ja valmistusvaiheiden automatisointi on usein kannattavaa. Linjassa pyritään työntekijöiden ja laitteiden kapasiteetin käytön tehokkaaseen hyödyntämiseen. Valmistuslinjan kyky käsitellä vaihtelevia tuotteita ja vaiheajoja on huono, mikä johtaa linjan tehotomuuteen. Tuotteet virtaavat linjassa tasaisesti yleensä ilman välivarastoja, joten linjalta päästään nopeisiin läpäisyajoihin. (Stevenson 2012, s. 249–250.) Linjaan on myös mahdollista sisällyttää välivarastoja, jolloin operaattorit eivät ole sidottuja yhteen työvaiheeseen ja linjan häiriöalttiutus pienenee (Bellgran & Säfsten 2010, s. 207). Linjan häiriöalttiutta voidaan vähentää lisäksi standardoinnilla ja ennakoivalla kunnossapidolla (Stevenson 2012, s.249-250).

Alla olevassa kuvassa on esitetty linjan toimintaperiaate. Rakentamalla linjaan rinnakkaisia virtauksia, voidaan lisätä kapasiteettia ja linjan joustavuutta tuotevariaatioille. Rinnakkainen virtaus vähentää myös linjan alttiutta häiriöille sekä helpottaa töiden tasapainottamisessa. (Bellgran & Säfsten 2010, s. 207.)



**Kuva 6:** Linjamainen layout suoralla ja rinnakkaisella virtauksella (mukaillen Bellgran & Säfsten 2010, s. 207).

Alla on lueteltuna toimivan linjatuotannon edut:

- korkea output, lyhyt läpäisy aika ja hyvä virtaus
- matalat yksikkökustannukset korkean volyymin johdosta
- työntekijöiden osaamisen keskittyminen kapealle alueelle, jolloin vähäinen koulutustarve
- vähäinen materiaalin käsittelytarve ja mahdollisuus käsittely automatisointiin

- koneiden ja työvoiman korkea käyttöaste
- hyvä tuotannon ohjattavuus
- kustannuslaskennan, ostojen ja varastojen hyvä hallittavuus

Tuotantolinjan haittapuolia ovat:

- työn yksipuolisuus, mikä voi johtaa työntekijöiden motivaation heikkenemiseen ja saattaa aiheuttaa koneiden huoltojen laiminlyöntejä, laadun heikkenemistä, työtehon laskemista jne.
- joustamattomuus volyymien muutoksille
- joustamattomuus tuotteiden variaatiolle sekä muutoksille
- työn tasapainottamisen vaikeus
- herkkyys häiriöille, kuten poissaoloille, konerikoille, materiaalipuutteille jne.
- ennakoivan kunnossapidon varaosien varastoinnin aiheuttamat kustannukset
- henkilökohtaisien kannustimien asettamisen vaikeus, sillä linja toimii kokonaisuutena. (Stevenson 2012, s.249-250.)

Nykypäivän trendinä on pyrkiä vähentämään tuotevariaation määrää ja siirtyä kohti linjamaista tuotantoa sen tuomien tehokkuusetujen vuoksi. Usein joustavuuden ja varioituvuuden tarve on kuitenkin vielä olemassa, jolloin virtaavan Lean-tuotannon tyypillinen tuotantomuoto, soluvalmistus, on hyvä vaihtoehto. (Stevenson 2012, s.253.) Rother (2001, s.9) mukaan operaattoriperustainen ~~perustuva~~ solu sopii nykyajan toimintaympäristöön, jossa asiakkaat ovat usein maantieteellisesti hajautuneet, kysyntä vaihtelevaa ja tuotteiden elinkaaret lyhyitä.

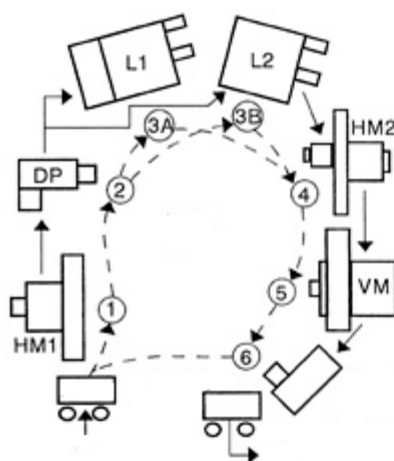
Solun ja virtaavan linjan välillä on vain vähäisiä eroja, ja yritykset käyttävät molempia layout-tyyppejä virtauksen luomiseen (Rother 2001, s.9, Wilson 2010). Miltenburg (2001) mukaan useat tutkijat määrittelevätkin U-muotoisen tuotantolinjan JIT- ja Lean-tuotannolle tyypilliseksi linjan erikoistapaukseksi eli soluksi. Monet soluvalmistuksen edut ovat saavutettavissa myös virtautetussa linjatuotannossa. Soluvalmistuksella on kuitenkin todettu olevan etuja linjamaiseen tuotantoon verrattuna. (Wilson, 2010.)

### 3.2.3 Valmistussolu

Wilson (2010) määrittelee solun ihmisten, laitteiden ja työpisteiden yhdistelmäksi, jossa tuotteet valmistetaan yksi kerrallaan tai pienissä erissä tasaisesti virtaavassa prosessissa. Soluvalmistus soveltuu tilanteisiin, joissa volyymit ovat suuria, tuotteista on kohtuullisesti variaatioita ja läpäisy aika olisi funktionaalisesti valmistettuna pitkä (Bellgran & Säfsten 2010 s. 206). Soluvalmistuksesta saatavat merkittävimmät edut ovat lyhyet läpäisy- ja asetusajat, pieni KET, pienet materiaalin käsittelykustannukset, hyvä laatu ja yksinkertainen tuotannon ohjaus (Wilson, 2010).

Solussa voi työskennellä yksi tai useampi työntekijä, ja työvaiheet voivat koostua manuaalisesta tai koneen tekemästä työstä. Kokoonpanosoluissa työvaiheet sisältävät yleensä ainoastaan manuaalista työtä. (Gunsekaran et al, 2001.) Soluvalmistuksen merkittävä ominaisuus on tuotteelle tarpeettomien prosessivaiheiden ohittaminen, joka on hyödyllinen ominaisuus, kun valmistetaan useita variantteja. Solua, jossa valmistetaan useita toisiaan vastaavia tuotteita, kutsutaan mixed-model- soluksi. Kun samassa solussa valmistetaan useita variantteja, asetusajoilla on tärkeä merkitys. (Stevenson 2012, s. 253, Miltenburg 2001.)

Linkitettyssä operaattoriperustaisessa soluvalmistuksessa (engl. linked cell manufacturing) koneiden tekemä työ pyritään erottamaan operaattorien tekemästä työstä (Black 2000a). Operaattoreita on vähemmän kuin työpisteitä, joten operaattoreiden on oltava monitaitoisia ja hallittava kaikki solun työvaiheet (Bellgran & Säfsten 2010, s. 206). Tällöin koneet voivat työskennellä itsenäisesti työkierron aikana, ja operaattori vapautuu koneen käydessä muihin tehtäviin. Operaattoria voidaan käyttää solussa ainoastaan kappaleen vaihtoon ja liikutteluun koneiden välillä. Työn sisällön määrittelyssä voidaan käyttää apuna standardioperaatiokaavioita (engl. standard work combination sheet), jolloin työ on toistettavissa operaattorista riippumatta, ja vaiheajojen vaihtelua voidaan myös hallita helpommin. Linkitettyssä solussa työskentely edellyttää usein liikkuvaa seisomatyötä. (Miltenburg, 2001.) Solussa tiimityöskentely ja töiden kierrätys on mahdollista, jolloin työn sisältö on monipuolista. Työntekijöillä on myös enemmän vastuuta laadun, kapasiteetin käytön ja tuotannon suunnittelussa. (Bellgran & Säfsten 2010, s. 206.) Linkitetyn operaattoriperustaisen solun periaate on esitetty alla olevassa kuvassa 7.



Työjärjestys	Operaation nimi	Aika (s)		
		Työ	Kävely	Kone
①	Poraus	12"	5"	30"
②	Pesu	15"	5"	20"
③A / ③B	Nastoitus L1 tai L2	13"	5" / 8"	180"
④	Prässäys	12"	8" / 5"	20"
⑤	Maalaus	13"	7"	30"
⑥	Pakkaus	10"	5"	—
		75"	35"	280"

Vaihe aika = 75 s + 35 s = 110 s

Pisin koneistusaika = 180 s

**Kuva 7:** Linkitetty U-muotoinen yhden operaattorin solu (mukaillen Black, 2000a).

Kuvan 7 koneet ovat yksitoimisia, jolloin ne vaativat ainoastaan latauksen, käynnistykseen ja kappaleen poiston. Kun ensimmäinen kone on ladattu ja käynnistetty, operaattori siirtää ensimmäisestä koneesta juuri ennen latausta valmistuneen kappaleen seuraavaan koneeseen, josta täytyy myös poistaa ensin kappale. Tämä prosessi jatkuu solun ympäri, kunnes viimeisestä koneesta poistetaan valmis kappale, ja työkierto alkaa alusta. Kuvas-ta havaitaan, että solun tahtiaika (110 s) koostuu operaattorin suorittamasta manuaali-sesta työstä, johon on lisätty kävelyyn kuluva aika. Pisin vaiheaika on kuitenkin koneen 180 sekuntia. Tilanne on ratkaistu laittamalla työvaiheeseen 3 kaksi rinnakkaista kone-ta, jolloin voidaan käyttää koneita L1 ja L2 vuorotellen. Tällöin koneen 180 sekunnin vaiheaika ei määrää solun tahtiaikaa, vaan tahtiaika määräytyy operaattorin käyttämän ajan mukaan

Solussa voi olla kalliita koneita, joiden käyttöasteen maksimointi on järkevää. Tällöin kone on järkevää sijoittaa solun ensimmäiseen työpisteeseen tahdistavaksi koneeksi (engl. pace-setting machine). Black (2000a) mallista poiketen, Bellgran & Säfsten (2010, s. 206) mukaan tahdistavan koneen tulisi olla työllistettynä koko työkierron ajan. Tahdistavaa työvaihetta seuraavilla työpisteillä voi olla halvempia, tukevia laitteita, joiden vajaakäyttö on hyväksyttävämpää. Ylimääräinen kapasiteetti tahdistavaa konetta seuraavilla työpisteillä estää välivarastojen syntymistä solun sisälle. Tahdistavan ko-neen vaihe-ajan tulee siis olla pitempi kuin alavirran työpisteiden vaiheajat. Tällöin so-lua voidaan käsitellä tuotannossa yhtenä ohjauspisteenä, jolloin tuotannon suunnittelu on helppoa ja läpäisy aika on hallittavissa. (Bellgran & Säfsten 2010, s.206.)

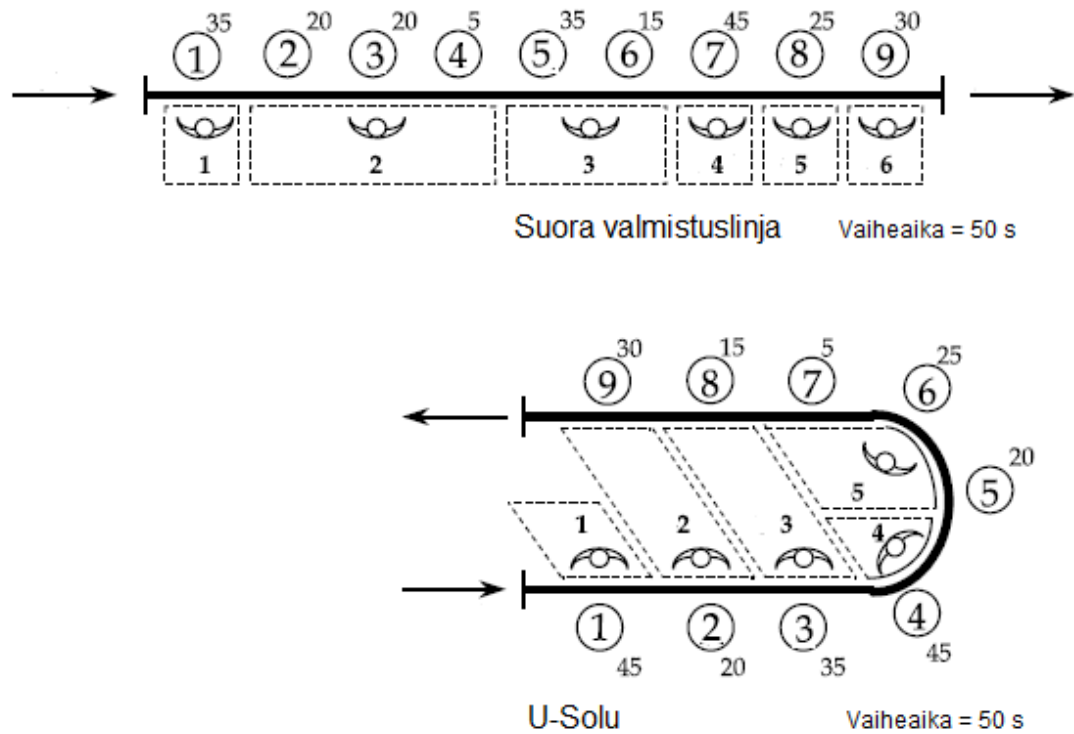
Bellgran & Säfsten (2010, s.206) mukaan solun valmistus ei ole yhtä joustava tuotanto-muoto kuin funktionaalinen layout. Rother (2001, s.9) ja Miltenburg (2001) mukaan operaattoriperusteisen virtaavan solun tärkeä etu on juuri sen joustavuus toimintaympä-ristössä tapahtuviin muutoksiin. Linkitettyssä solussa tahtiaikaa voidaan muuttaa ope-raattorien määrän avulla. Jo solussa voidaan käyttää halpoja ja yksinkertaisia koneita, investoinnista syntyvät riskit vähenevät. Yksinkertaiset koneet ja ihmistyö lisäävät myös prosessin varmatoimisuutta, mikä on tärkeä tekijä jatkuvan virtauksen kannalta. (Rother 2001, s.9).

Wilsonin (2010) mukaan solulle tyypillisiä ominaisuuksia ovat:

- yksittäis- tai pienerävirtaus
- käyttö tuoteryhmän valmistamiseen
- laitteiden sopivuus käyttötarkoitukseen, tilankäytön ja virtauksen kannalta
- visuaalinen layout, mikä helpottaa virtauksen havaitsemista
- työvoiman monitaitoisuus ja joustavuus

Solun tyypillisin mikrotason layout on U-muoto. U-solussa operaattorit työskentelevät U-layoutin sisällä siten, että kappaleet virtaavat sisälle U:n toisesta päästä ja ulos toises-

ta. Menetelmä noudattaa virtaavan tuotannon periaatteita ja mahdollistaa työntekijöiden tehokkaan kommunikoinnin. (Miltenburg 2001.) Kuvassa 8 on esitetty U-solun ja suoran linjan periaatteellinen ero. Linjan tapauksessa operaattori 2 hoitaa kolmea peräkkäistä työvaihetta, kun U-solussa sama operaattori voi hoitaa vaihteita, jotka ovat eri kohdissa tuotantoketjua (Aase et al. 2004). Solun mahdollistama liikkuminen helpottaa työn tasapainotusta, koska työvaiheiden yhdistelemisessä on useampia vaihtoehtoja (Miltenburg, 2001).



**Kuva 8:** U-solun ja valmistuslinjan periaatteellinen ero (mukailten Aase et al. 2004).

Kuvasta 9 havaitaan, että työntekijöiden joustava liikkuminen solun sisällä antaa monipuoliset mahdollisuudet töiden tasapainotukselle (engl. line balancing) (Wilson, 2010, Stevenson 2012, s. 250). Kuvassa 9 linjalla ja solulla on sama tahtiaika (50 s), mutta solussa voidaan tasapainottaa työ kuuden työntekijän sijaan viidellä työntekijällä. Soluvalmistuksen suunnittelua käsitellään yksityiskohtaisemmin luvussa 4.

### 3.3 Tutkimustuloksia soluvalmistuksesta

Kirjallisuuden mukaan soluvalmistuksella pyritään selkeyttämään materiaalivirtaa, vähentämään keskeneräistä tuotantoa ja poistamaan hukkaa tuotannosta (Gunsekaran et al, 2001, Miltenburg 2001, Wilson 2010). Joidenkin tutkijoiden mukaan soluvalmistus on tehokkain Leanin yksittäinen työkalu läpäisyajan lyhentämiseen, laadunparantamiseen ja kustannusten pienentämiseen (Miltenburg 2001). Soluvalmistuksesta on tullut olennainen osa Lean-valmistusta solun variaatiota ja hukkaa vähentävien vaikutuksien

vuoksi (Wilson, 2010 ja Wang, 2015). Wang (2015, s.115) toteaa soluvalmistuksen suurimman hyödyn liittyvän virtauksen paranemiseen, jolloin materiaalien kulkema matka ja läpäisy aika lyhenevät sekä keskeneräinen tuotanto pienenee. Wilson (2010) toteaa kuljetuksien vähenevän, sillä solun työvaiheet kytkeytyvät tiiviisti toisiinsa, jolloin myös työntekijöiden ja kappaleiden liikkuminen on tehokasta. Tehokas liike edesauttaa virtauksen muodostumista soluun ja ideaalisessa tilanteessa solussa on yksittäisvirtaus (engl. one-piece-flow). Yksittäisvirtaus vähentää keskeneräistä tuotantoa, kun solun sisälle ei kerry välivarastoja. Edellä mainitut tekijät johtavat valmistuksen läpäisyajan lyhenemiseen. Läpäisyajan lyhentymisestä saadaan tuotannollisia etuja, kuten parempi tuotannon joustavuus- ja reagoitokyky.

### **3.3.1 Soluvalmistuksella saavutetut hyödyt**

Edellä esitettyjä väitteitä tukee Wemmerlöv & Johnston (1997) suorittama tutkimus, jonka mukaan yritysten tavoitteet soluvalmistuksen osalta liittyvät vahvasti läpäisyajan lyhentämiseen, keskeneräisen tuotannon vähentämiseen, laadun parantamiseen ja nopeampaan reagoitokykyyn. Myös Burbidgen (1980) suorittaman tutkimuksen mukaan läpäisyajan lyhentäminen ja keskeneräisen tuotannon vähentäminen olivat tärkeimmät syyt soluvalmistuksen käyttöönotolle. Boughton (2000) havaitsi pieniä ja keskisuuria yrityksiä koskeneessa solututkimuksessaan, että myös laatu, toimitusaikojen pitävyys sekä työtyytyväisyys paranivat.

Wemmerlöv & Johnston (1997) tutkimuksen kohteena oli 46 yritystä ja yhteensä 126 solua. Tutkituissa soluissa operaattorien määrä vaihteli yhdestä useaan operaattoriin. Soluista 76 kpl sisälsi koneistusta ja lastuavaa työstöä käsittäviä vaiheita. Usein solut myös jakoivat tuotantolaitteita solujen ulkopuolisen tuotannon kanssa. Tutkittavien yritysten soluista suurin osa oli implementoitu viiden vuoden sisällä tutkimuksesta, joten soluvalmistus oli suhteellisen uusi asia monelle tutkittavalle yritykselle. Tutkittavista yrityksistä 70 % käytti korkeintaan 25 % suorista tuotannon työtunneista soluvalmistukseen, mikä viittaa solujen vaiheittaiseen käyttöönottoon. Wemmerlöv & Johnston, (1997) tutkimus vahvisti aiemmin tehtyjä tutkimuksia soluvalmistuksen eduista perinteiseen funktionaaliseen tuotantoon verrattuna.

Wemmerlöv & Johnson (1997) saivat soluvalmistuksen implementointiin liittyvässä tutkimuksessaan seuraavia tuloksia. Tulokset on esitetty taulukossa 1.

**Taulukko 1:** *Soluvalmistuksen implementoinnista saadut tulokset (Wemmerlöv & Johnson, 1997).*

<b>Mittari</b>	<b>Parannus (keskim.)</b>	<b>Mittari</b>	<b>Parannus (keskim.)</b>
<i>Liikumiseen käytetty aika ja matka</i>	61,3 %	<i>Aetusajat</i>	44,2 %
<i>Läpäisy aika</i>	61,2 %	<i>Lopputuotevaraston pienuus</i>	39,3 %
<i>Reagointikyky</i>	50,1 %	<i>Laatu</i>	28,4 %
<i>Keskeneräinen tuotanto</i>	48,2 %	<i>Yksikkökustannukset</i>	16,0 %

Da Silveira (1999) tutki soluvalmistuksen implementointia Brasilialaisessa leluja valmistavassa yrityksessä. Alla olevassa taulukossa on tiivistetysti tutkimuksen tulokset.

**Taulukko 2:** *Soluvalmistuksen implementoinnin tulokset (Da Silveira, 1999).*

<b>Mittari</b>	<b>Lähtötilanne (funktionaalinen layout)</b>	<b>Lopputilanne (solu-layout)</b>
<b>Romutusmäärä</b>	5 %	3 %
<b>Uusintatyön määrä</b>	30 %	5 %
<b>Tuotevariaatio päivässä</b>	12 (maksimi)	40 (maksimi)
<b>Keskeneräinen tuotanto</b>	7 500 kpl (keskim.)	600 kpl (keskim.)
<b>Lopputuotevarasto</b>	3 800 kpl (keskim.)	2 600 kpl (keskim.)
<b>Eräkoot</b>	100 - 1000 kpl	50 - 100 kpl

Hyer et al. (1999) kehittivät viitekehyyksen soluvalmistuksen implementoinnille. Viitekehystä käyttänyt, tutkimuksen kohteena ollut yritys sai seuraavia tuloksia kaksi vuotta implementoinnin jälkeen.

- Romutusarvo väheni 40 000 \$:sta 14 000 \$:n kuukaudessa
- Läpäisy aika lyheni 10–15 päivästä, 5–7 päivään
- Kuukausittainen valmistusarvo kasvoi 11 000 000 \$:sta 20 000 000 \$:n

- Liikevaihto tuotannon työntekijää kohden kasvoi 87 000 \$:sta 154 000 \$:iin.

Chakravorty & Hales (2004) tutkivat myöhemmin Hyer et al. (1999) implementointimallia. Malli implementoitiin Yhdysvaltalaiseen Robert Bowden Inc:iin, joka valmistaa asuin- ja toimistorakennustarvikkeita. Diplomityön kannalta on merkittävää, että yrityksen liikevaihdosta noin 8 % muodostui tilausohjautuvista tuotteista. Soluvalmistuksen implementoinnista saatuja tuloksia mitattiin yhden vuoden ja viiden vuoden kuluttua implementoinnista. Tulokset on esitelty alla.

*Taulukko 3: Solujen implementoinnista saadut tulokset (Chakravorty & Hales 2004).*

Mittari	Alkutilanne	Vuosi impelentoinnista	Viisi vuotta implementoinnista
Läpäisy aika	7,7 viikkoa	3,8 viikkoa	1,6 viikkoa
Romutusarvo	18,4 %	9,8 %	6,7 %
Vuosittainen volyyymi	4,2 milj. \$	4,5 milj. \$	6,0 milj \$
Työntekijöiden määrä	20	20	17
Liikevaihto/työntekijä	0,210 milj. \$	0,225 milj. \$	0,353 milj \$
Keskeneräinen tuotanto (kpl)	35	5	8

Wemmerlöv & Johnston (1997) tutkimuksen kohteena olleista yrityksistä 29 % ilmoitti implementoineensa solut ilman laiteinvestointeja. Suurin osa yrityksistä joutui tekemään investointeja solujen implementoinnin yhteydessä, mikä saattaa osittain myös selittää saatuja parannuksia.

Miltenburgh (2001) suorittaman soluvalmistuksen kirjallisuustutkimuksen mukaan kaikissa hänen tutkimissaan julkaisuissa raportoitiin merkittävistä parannuksista, tuotavuudessa, keskeneräisen tuotannon määrässä, läpäisyajoissa ja laadussa. Tässä diplomityössä suoritettuna kirjallisuustutkimuksen perusteella voidaan todeta, että diplomityön kohdeyrityksellä on hyvät mahdollisuudet parantaa virtausta, puolittaa keskeneräinen tuotanto ja varastot soluvalmistuksen ja Lean-tuotannon avulla.

### 3.3.2 Yrityksien kokemat esteet soluvalmistukseen siirtymiselle

Soluvalmistukseen siirtyminen voi olla kallista layoutin muutosten, investointien ja uuden tuotantoprosessin suunnittelun vuoksi (Stevenson 2012, s.256). Boughton (2000) tutkimuksessa lähes 70 % tutkittavista pienistä ja keskisuurista yrityksistä oli tietoisia soluvalmistuksen hyödyistä, ja 75 %:n tuotteet olisivat volyymin osalta soveltuneet so-



luun, mutta ainoastaan 25 % yrityksistä oli implementoinut soluja. Boughton (2000) tutkimat yritykset, jotka eivät olleet siirtyneet soluvalmistukseen, ilmoittivat soluvalmistukseen siirtymisen oletetuiksi esteiksi alla olevassa taulukossa 4 luetellut seikat.

*Taulukko 4: Esteet soluvalmistukseen siirtymiselle (Boughton 2000).*

Oletetut esteet	Vastaajista (%)
Sopivan tilan puute	100
Tuotannon häiriintyminen	96
Rinnakkaisten koneiden hankinta	91
Tuoteportfolion muutokset	91
Yhteisten resurssien valjastus soluun	77
Koneiden liikuttamisen vaikeus	68
Koneiden vajaakäyttö	68
Kysynnän vaihtelut	46

Wemmerlöv & Johnson (1997) soluvalmistuksen hyötyihin liittyvän tutkimuksen ohessa he havaitsivat solujen käyttöönotossa esiintyvien suurimpien haasteiden liittyvän solujen suunnitteluun, implementointiprosessiin ja henkilöstökäyttöön. Heidän mukaansa implementointisuunnitelman merkitys korostuu erityisesti solun fyysisen sijoituspaikan, solun konkreettisen operoinnin ja henkilöstön roolin osalta. Henkilöstöön liittyvät asiat, kuten työntekijöiden osallistaminen, koulutus, muutosjohtaminen ja työhyvinvointi, koettiin erityisen tärkeiksi soluvalmistukseen siirryttäessä

Myöhemmin Johnson & Wemmerlöv (2004) tutkivat 150:ä yhdysvaltalaisista yritystä, jotka olivat jo siirtyneet soluvalmistukseen. He selvittivät, mitä haasteita yritykset kokivat soluvalmistuksen lisäämisessä. Tutkimuksessa havaittiin että suurimmat haasteet koettiin riittävän ja tasaisen volyymin tuoteryhmien löytämisessä, implementointiin varatun ajan puutteessa, avainprosessien, kuten lämpökäsittelyn, monistamisesta solun käyttöön sekä solujen implementoinnista syntyvien kustannuksien perustelemisessa. Soluvalmistusta on kritisoitu sen kapasiteetin joustamattomuudesta, mutta tutkimuksen mukaan sitä ei koettu merkittäväksi esteeksi. Muutosjohtamiseen liittyvää viittä seikkaa, soluosaamisen puutetta, operaattorien moniosaamisen puutetta, muutosvastarintaa, johdon riskinottohalukkuuden puutetta ja positiivisten kokemusten puuttumista soluvalmistuksesta, ei myöskään koettu tässä tutkimuksessa merkittäviksi haasteiksi.

Huomattavaa on, että kustannuksia ei mainittu merkittäväksi esteeksi soluvalmistukseen siirtymiselle. Sopivan tilan puute koettiin suurimmaksi esteeksi, vaikka soluvalmistuksen oletetaan vapauttavan lattiatilaa. Muutosvaiheessa tosin pilotointisolu saatetaan to-

teuttaa nykyisen layoutin rinnalla, jolloin tilan tarve kasvaa. Solun työpisteet sijoitetaan myös samalle alueelle, jolloin yhtenäistä lattiatilaa on oltava riittävästi. Jotkin koneet saattavat tarvita myös erityisiä kytkentöjä ja liityntöjä, jotka saattavat sijaita vain tietystä kohtaa tehdasta.

### 3.4 Soluvalmistuksen soveltuvuus kohdeyrityksen tavoitteisiin

Edellisessä luvussa käsiteltiin tieteellisillä tutkimuksilla todetut soluvalmistuksen hyödyt. Luvussa 3.2.1 havaittiin funktionaalisen layoutin huono soveltuvuus virtaavalle tuotannolle suuren KET:n, pitkän läpäisyajan, hankalan ohjauksen ja heikon virtauksen vuoksi. Luvussa 3.2.2 todettiin valmistuslinjan sopivan virtaavalle tuotannolle, mutta linja ei siedä suuria kysynnän vaihteluita ja tuotevariaatiota, joita diplomityön kohdeyrityksen tuotantoon kohdistuu. Kumar & Ramesh (2012, s. 308) mukaan soluvalmistuksessa yhdistyy funktionaalisen tuotannon joustavuus ja tuotantolinjan tehokkuus, ja se soveltuu kohtalaisen variaation ja volyymin ympäristöön. Myös luvussa 3.2.3 todettiin solun tuotannollisen joustavuuden olevan parempi linjaan verrattuna. Joustavuus muodostuu monipuolisista solun töiden tasapainotusmahdollisuuksista. Solussa voidaan myös säädellä tahtiaikaa operaattorien määrää muuttamalla. Solussa työntekijöiden on helppoa kommunikoida keskenään, minkä on todettu nopeuttavan ongelmanratkaisua ja lyhentävän vaiheajoja. Lisäksi solu parantaa ohjattavuutta, koska tavoitteena on materiaalin virtaus pienellä alueella, jolloin virtauksen havaitseminen ja visuaalinen ohjaus on mahdollista. (Wilson, 2010.)

Aase et al. (2004) mukaan tutkimuksilla on osoitettu, että U-muotisella solulla on useita etuja suoraan linja layoutiin verrattuna, kuten jo edellä todettiin. Aase et al. (2004) selvittivät omassa tutkimuksessaan, lisääntykö U-muotoisessa solussa työntekijöiden tuottavuus suoraan linjamuotoiseen tuotantoon verrattuna. Havaittiin, että tutkittava tilanne vaikutti suuresti tuottavuuden lisääntymiseen. Tutkimuksessa käytettiin kolmea muuttujaa: työpisteiden määrää, peräkkäisten vaiheiden sitovuutta ja vaiheajojen pituutta. Tulokset vastaavaan linjaan verrattuna olivat seuraavat: Kun työpisteiden kasvoi, niin tuottavuus nousi. Myös perättäisten vaiheiden sitovuuden lisääntyessä ja vaiheajojen lyhentyessä tuottavuus nousi.

Tutkimuksessa havaittiin, että solun tuottavuus nousee suhteessa linjaan, mitä enemmän työpisteitä tutkittava tilanne sisälsi. Tutkimuksessa solujen työpisteiden määrä vaihteli kolmesta 37 kpl:seen. Tuottavuuden nousu vaihteli työpisteiden määrän mukaan 0 - 33,3 %:n välillä, keskiarvon ollessa 2,31 %. Tuottavuus nousi myös, mitä sitovampia perättäiset vaiheet olivat eli mitä vähemmän erilaisia valmistusjärjestyksiä voitiin muodostaa. Diplomityön kohdeyrityksen tapauksessa työvaiheiden suoritusjärjestys on täysin sidottu, jolloin linjan tasapainotuksessa (line balancing) ei ole juurikaan vaihtoehtoja. Kuvassa 8 puolestaan havaittiin, että solun töiden tasapainotuksessa on useita kombinaatioita, vaikka työjärjestys olisikin sidottu. Aase et al (2004) tutkimuksessa havaittiin myös, että perättäisten vaiheiden ollessa sidottuja, solun tuottavuus nousee linjaan

verrattuna, kun vaiheaika on lyhyt eli työntekijällä on vähemmän työtehtäviä, tai vaiheikoja on onnistuttu lyhentämään. Lähes täysin sidotulla työjärjestyksellä ja 45 sekunnin vaiheajoilla tuottavuus nousi keskimäärin 7,1 %, mutta puolestaan 60 sekunnin vaiheajoilla tuottavuus nousi enää 2,7 %. Tutkimuksen mukaan sidotun työjärjestyksen tapauksessa U-solu lisää työntekijöiden tuottavuutta, mutta pitkä vaiheaika vähentää vaikutuksia. Tutkimuksen lisähuomiona havaittiin, että vaiheaikojen ollessa pitkiä työntekijöiden liikkumisen tarve vähenee. (Aase et al., 2004.)

Wemmerlöv & Johnson (2003) mukaan yritykset, jotka käyttävät moderneja kehitysfilosofioita tuotantonsa kehittämiseen, pyrkivät hyödyntämään soluvalmistuksen tuomia etuja. Solujen ja yksiosaisen virtauksen implementointi kannustaa pieniä ja keskisuuria yrityksiä siirtymään kohti täysivaltaista Lean-valmistusta ja parantamaan tuottavuutta sekä suorituskykyä. Soluvalmistus ei Wilson (2010) mukaan kuitenkaan automaattisesti vaikuta esimerkiksi odottelun vähentymiseen. Se ei myöskään suoraan vähennä ylituotantoa tai virheellistä tuotantoa. (Wilson, 2010.) Soluvalmistuksen yhteydessä on käytettävä virtautetun tuotannon periaatteita, kuten työn- ja tuotannon tasapainottamista, variaation vähentämistä, prosessin sisään rakennettua laatua, asetusajkojen lyhentämistä jne. Näitä asioita käsiteltiin luvussa 2 virtautetun tuotannon yhteydessä.

Suoritetun tutkimuksen pojalta voidaan todeta solun olevan linjaa ja funktionaalista layoutia parempi vaihtoehto virtaavan tuotannon layoutiksi. Tutkimustulosten perusteella voidaan myös olettaa soluvalmistuksen soveltuvan kohdeyrityksen tuotantoon, ja että solujen avulla on mahdollista päästä diplomityölle asetettuihin tavoitteisiin.

## 4. SOLUVALMISTUKSEN SUUNNITTELU

Useimmat yritykset aloittavat Leanin implementoinnin tiettyyn tuotannon osaan tai tuoterheeseen kohdistuvalla pilottihankkeella, joka räätälöidään omalle tuotannolle sopivaksi. Pilottihanketta voidaan myöhemmin laajentaa koskemaan koko tuotantoa. (Wang 2015, s.144, Kumar & Ramesh, 2012 s. 397.) Myöskään Black (2000, s.397) mukaan funktionaalista tuotantoa ei voida muuttaa keralla soluperustaiseksi, vaan muutos aloitetaan jostakin tuoteryhmästä. Soluvalmistukseen siirtyminen edellyttää usein muutoksia henkilöstöpolitiikassa, työn suunnittelussa, suorituksen mittaamisessa, tuotannon suunnittelussa ja ohjauksessa, raportoinnissa, kustannuslaskennassa sekä toimittajasuhteissa (Huber & Brown, 1991). Black (2000, s. 397) huomauttaa että aluksi esiintyy varsinkin aikataulutuksen ongelmia, kun solun läpäisy aika poikkeaa funktionaalisen tuotannon läpäisyajasta. Soluvalmistus vähentää kuitenkin funktionaalisen tuotannon määrää ja pienentää näin tuotannon kaoottisuutta.

Tässä luvussa keskitytään solun suunnittelun osalta ainoastaan solun teknisen toteutuksen kannalta välttämättömiin asioihin, kuten tuotteiden valintaan, kapasiteettiin, virtaukseen sekä työn sisällön ja solun layoutin suunnitteluun. Hankkeen edetessä kohdeyrityksessä implementointivaiheeseen voidaan kiinnittää enemmän huomiota muihin soluvalmistukselle olennaisiin aihealueisiin, kuten työpistesuunnitteluun ja Leanin filosofisempaan puoleen. Solun kapasiteetin suunnittelussa ja työn tasapainotuksessa voidaan käyttää perinteisiä tuotannon ohjauksen kirjallisuudesta löytyviä menetelmiä (Da Silveira 1999.)

### 4.1 Valmistelu ja työn kulun suunnittelu

Da Silveira (1999) esitti tutkimuksessaan strukturoidun mallin solujen implementoinnille. Malli koostuu kolmesta osiosta: analyysi ja valmisteluvaiheesta, uuden layoutin määrittelystä ja solun fyysisestä toteutuksesta.

Quaterman (2007) jakaa implementoinnin myös kolmeen vaiheeseen:

1. Ydintekniikat, kuten virtaus ja soluvalmistus.
2. Tukevat tekniikat, kuten 5S, TQM, Kanban ja pienet Kaizenit.
3. Jatkuva parantaminen.

Quaterman (2007) mukaan Lean valmistuksen implementointi kannattaa aloittaa virtauksen luomisella ja soluvalmistuksella, koska ne käsittävät 60–80 % saavutettavissa olevista hyödyistä. Muita tekniikoita, kuten asetusaikojen lyhentämiseen keskittyvä

SMED (engl. single-minute exchange of die) ja järjestystä korostava 5S, lisätään seuraavassa vaiheessa. Hänen mukaansa monet yritykset aloittavat useiden Leantekniikoiden implementoinnin päällekkäin, mikä johtaa huonoihin tuloksiin. TPS:n luoja, Taichi Ohno, kehitti Toyotan tuotantojärjestelmän havaittuihin tarpeisiin. Ohno aloitti kartoittamalla nykytilan ja suunnittelemalla tavoitetilan, jossa tuotteet virtaavat prosessin läpi. Ohnon tavoitetilan valmistusprosessissa oli vierekkäisiä työpisteitä, jotka tasapainotettiin niin, ettei välivarastoa syntynyt ja asiakastilaukset voitiin valmistaa nopeasti ja luotettavasti. Alihankinta toimi imu-periaatteella, ja alihankkijat toimivat oikeaan aikaan ja tarpeeseen. Tavoitetilan visioinnin jälkeen Ohno ymmärsi, että välivarastot ovat nykyisen toiminnan suurin este tavoitetilan saavuttamiseen. Hän päätteli välivarastojen syntyvän, kun valmistetaan suurissa erissä kankeilla koneilla, joiden asetusajat ovat pitkiä. Eri tuotantoreitit hankaloittivat virtausta ja aiheuttivat välivarastoja. Ohno pienensi eräkokoja SMED:n avulla ja yksinkertaisti koneita, jolloin niitä voitiin lisätä ja näin muodostaa soluja eri tuoteperheille. Quaterman (2007) mukaan Toyotan tuotantojärjestelmä, jota usein kopioidaan suoraan, kehittyi tunnistettuun tarpeeseen.

Leanin ja virtauksen implementointi kehoitetaan useassa lähteessä aloittamaan nykytilan kartoituksella ja määrittämään sen perusteella tavoitetilan virtaus (Quaterman 2007, Rother 2009, Wilson 2009). Hyvä työkalu tähän on arvovirta-analyysi. Virtauksen luominen soluvalmistuksen kautta on usein tavoitetilan lähtökohtana. Yrityksen täytyy tunnistaa, mille tuoteryhmälle soluvalmistus soveltuu ja mille ei. Tuoteryhmien muodostamisessa käytetään yleensä ryhmäteknologiaa (engl. Group technology). (Lean Enterprise Institute 2001.) Kun soluvalmistuksen tarve tuoteryhmälle on tunnistettu, määritellään tavoitetilan arvovirtakuvaus (Quaterman 2007).

Wemmerlöv & Johnson (2000) selvittivät tutkimuksessaan, miten yritykset yleensä etenevät solujen implementoinnissa. Heidän havaintojensa mukaan ei ollut selvää, aloittivatko yritykset solujen implementoinnin nykytilan tarkastelulla, jossa havaittiin tarve soluvalmistukselle, vai päättivätkö yritykset aloittaa implementoinnin ainoastaan soluvalmistuksesta tutkimuksissa saatujen positiivisten vaikutusten vuoksi. Yhteistä soluvalmistukseen siirtymisessä oli, että kun päätös solujen implementoinnista oli tehty, yritykset muodostivat ryhmäteknologiaan perustuvat tuoteryhmät soluille, minkä jälkeen määriteltiin solun käyttöön tulevat laitteet ja operaattorien määrä, mistä jatkettiin yksityiskohtaisempaan suunnitteluun.

### **Yhteenveto**

Virtautus ja siihen liittyvä soluvalmistus on nyt tunnistettu hyväksi tavaksi aloittaa Leanin implementointi. Implementoinnin etenemisessä suoritettavat toimenpiteet vaihtelevat hieman kirjallisuudessa, mutta yhteisiä piirteitä ovat oikeiden lopputuotteiden valinta, nykytilan kartoitus ja tavoitetilan muodostaminen, jonka jälkeen voidaan siirtyä virtauksen yksityiskohtaisempaan suunnitteluun, mikä usein tarkoittaa soluvalmistuksen suunnittelua.

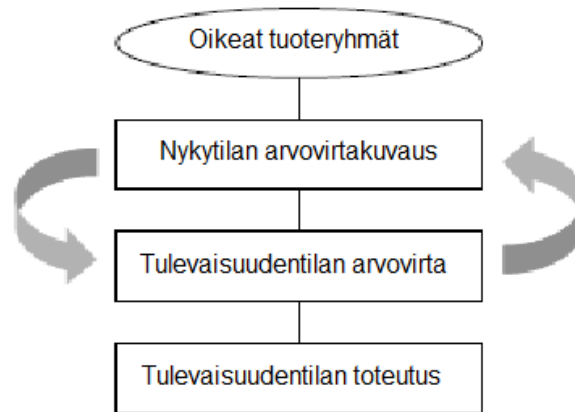
## 4.2 Arvovirta-analyysi

Virtausta tavoiteltaessa tuotannon nykytila täytyy kartoittaa, suurimpien hukkakohtien selvittämiseksi, ja jotta tiedetään, mistä tuotannon virtauttaminen kannatta aloittaa. Nykytilan selvittämisen ja tavoitetilan muodostamisen apuna voidaan käyttää arvovirta-analyysiä (engl. value stream mapping, VSM). (Glenday, 2007, Bellgran & Säfsten 2010, s. 176.) Arvovirta-analyysi on prosessien nykytilan ymmärtämiseen ja tavoitetilan muodostamiseen tarkoitettu visuaalinen työkalu. Arvovirta-analyysi havainnollistaa tuotannon nykytilan, jolloin sen kehittäminen on mahdollista. VSM sitoo yhteen eri Lean-tekniikat ja muodostaa perustan Lean-kehityshankkeille (Rother & Shook 2003, s.14.)

Arvovirta-analyysillä voidaan kuvata pitkiäkin prosessiketjuja tehokkaasti. Analyysiä tehdessä on päätettävä, millä tarkkuudella kuvaus tehdään. Sitä voidaan käyttää yrityksen sisäisen prosessin kuvaukseen tai siihen voidaan ottaa koko toimitusketju. (Bellgran & Säfsten 2010, s. 176.) Rother & Shook (1999) kehottavat aloittamaan arvovirta-analyysin oman tehtaan sisäisestä valmistusprosessista.

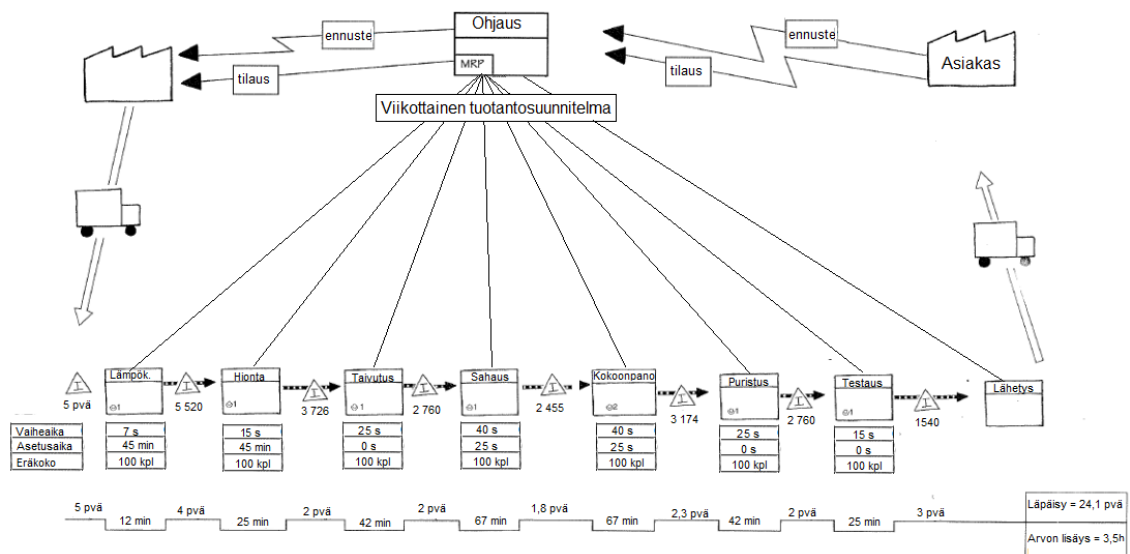
Arvovirta-analyysin tekeminen aloitetaan nykytilan arvovirtakuvauksella. Nykytilaan kerätään tietoa kuvaukseen valitun tuoteryhmän tuotteista. Tuoteryhmät määritellään valmistusreitin ja tuotteiden käyttämien koneiden perusteella (ryhmäteknologia). Arvovirtakuvauksen tekeminen aloitetaan prosessin loppupäästä, sillä ylävirrassa on usein usealle tuoteryhmälle yhteisiä resursseja, joissa operoidaan suuria eriä. (Rother & Shook, 1999.)

Nykytilan arvovirtakuvaus toimii tulevaisuuden tilan arvovirtakuvauksen lähtökohtana (Rother & Shook, 1999). Rother (2015) mukaan tulevaisuudentilan arvovirtakuvaus määrittää suunnan ja haasteet arvovirran kehitysprojektille. Tavoitetila kuvaa suunniteltavaa konseptia eikä se ole yksityiskohtainen lopullinen suunnitelma. Sen perusteella voidaan lähteä iteratiivisesti parantamaan nykyistä prosessia kohti tavoitetilaa, jonka tulisi olla saavutettavissa 6 kuukauden – 3 vuoden aikana. (Rother & Shook 1999.) Alla olevassa kuvassa 12 on esitetty arvovirta-analyysin vaiheet.



**Kuva 9:** Arvovirta-analyysin vaiheet (mukaillen Rother & Shook 1999)

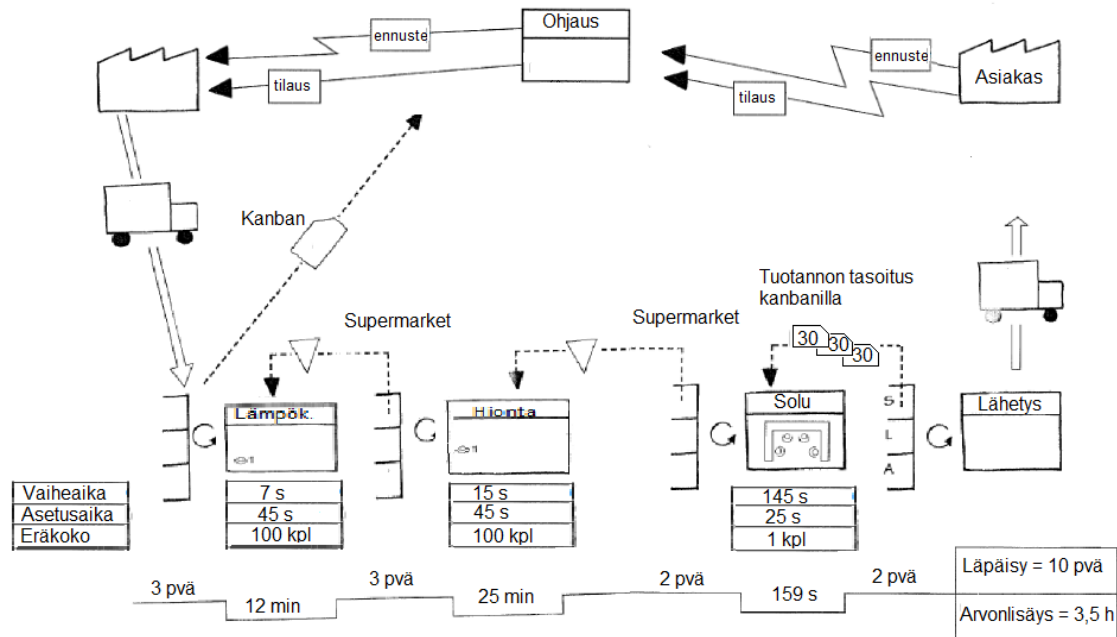
Rother & Shook (1999, s.2) antavat jatkuvan virtauksen luontiin keskittyvässä kirjassaan todellisen esimerkin arvovirta-analyysistä. Esimerkin nykytilan arvovirtakuvaus on esitetty alla olevassa kuvassa 10. Kuvasta nähdään, että suuriin eriin perustuvan valmistusprosessin läpäisy aika on pitkä, ja keskeneräistä tuotantoa kerääntyä valmistusvaiheiden välin. Arvoa lisäävän ajan osuus läpäisyajasta on vain 0,01 %, mikä viittaa prosessin valtavaan hukkaan määrään.



**Kuva 10:** Esimerkki nykytilan arvovirtakuvauksesta (mukaillen Rother & Shook 1999).

Alla olevassa tulevaisuuden tilan arvovirta-kuvauksessa hukkaa on poistettu ja virtausta on parannettu soluilla ja muuttamalla ohjausta. Tulevaisuuden tilan arvovirtakuvauksesta nähdään, että kaksi ensimmäistä työvaihetta on jätetty eräperiaatteella toimiviksi, ja ne on liitetty virtaukseen supermarket-varastoilla. Prosessiketjun seuraavista vaihteista on muodostettu yksittäisvirtauksella toimiva solu. Solun ja sitä edeltävien työpisteiden välille kehitettiin supermarket-periaatteella toimiva imuohjaus. Lopputuotevaraston ja

solun väliin suunniteltiin imuohjaus ja solun kuormitus muutettiin tasoitetun tuotannon periaatteilla toimivaksi.



**Kuva 11:** Esimerkki tulevaisudentilan arvovirtakuvauksesta (mukailen Rother & Shook 1999).

Yllä olevan tulevaisudentilan solusta tehtiin tarkoituksella yksinkertainen jättämällä kaksi ensimmäistä vaihetta pois ja käyttämällä solussa yksinkertaisia laitteita, jolloin investointien määrä jäi vähäiseksi, ja solun toimintavarmuus pysyy hyvänä. Ensimmäisten eräperiaatteella operoitavien työvaiheiden lisäämistä soluun ja niiden muuttamista yksittäisvirtauksella toimiviksi voidaan harkita, kun prosessia kehitetään edelleen. (Rother 2001, s.3–6.)

### 4.3 Tuotteiden valinta ja ryhmäteknologia

Edellisessä luvussa mainittiin ryhmäteknologia, nykytilan arvovirtakuvauksen tuoteryhmän valinnan yhteydessä. Soluvalmistus perustuu yleisen käsityksen mukaan ryhmäteknologiaan, jolla pyritään tuottavuuteen ja tehokkuuteen, hyödyntämällä tuotteiden valmistusprosesseissa esiintyviä samankaltaisuuksia. Samankaltaisuuksia voidaan ryhmitellä tuoteryhmiksi siten, että ne ovat valmistettavissa samassa solussa. (Wang 2015, s.115, Wemmerlov & Johnson 1997.) Tämän jälkeen soluun voidaan valita laitteet ja operaattorit siten, että tuoteryhmien vaatimat valmistusvaiheet kyetään suorittamaan (Boughton, 2000).

Usein ryhmäteknologian perustana käytetään tuotantoprosessin tärkeintä konetta, jonka vaatimusten pohjalta tuoteryhmät muodostetaan. Tällainen kone voi olla esimerkiksi koneistuskeskus, jonka vaihe aika on pitkä ja määräävä. Muut tuotteiden valmistuksessa



käytettävät koneet voidaan ajatella tukevinä koneina, ja ne ryhmitellään avainkoneen yhteyteen valmistusvaiheiden mukaiseen järjestykseen soluksi. (Black 2000, s. 397.)

Stevenson (2012, s.255) mukaan ryhmäteknologiassa tuotteet voidaan luokitella tuotesuunnittelun tai valmistuksellisten ominaisuuksien pohjalta. Tuotesuunnitteluun perustuvassa luokittelussa tarkastellaan kokoa, muotoa ja käyttötarkoitusta. Valmistuksellisia ominaisuuksia tarkasteltaessa katsotaan tuotantoreittiä eli tuotteen valmistamiseksi tarvittavia työvaiheita ja niiden järjestystä. Usein tuotesuunnittelun ja valmistuksen piirteet korreloivat, ja menetelmiä voidaan yhdistellä. Stevenson (2012, s.255) mukaan soluun soveltuvien tuoteryhmien muodostamiseksi kannattaa tutkia tuotteita visuaalisesti, kerätä valmistuksesta dataa ja tutkia tuotannon virtausta. Virtauksen tutkimisella tunnistetaan, mitkä tuotteet menevät samojen työvaiheiden läpi samassa järjestyksessä ja sopivat näin omaksi ryhmäkseen.

Lapinleimu et al. (1997, s. 304) lisäävät, että tuoteperustainen jaottelu, jossa tuotteilla on sama käyttötarkoitus, on hyvä huomioida ryhmäteknologiassa. Tällöin solun yhteys liiketoimintaan havainnollistuu ja valmistettavan tuoteryhmän ohjaus sekä kapasiteetin tarpeen määrittely on helppoa verrattuna tilanteeseen, jossa solu valmistaisi tuotteita eri käyttötarkoituksiin ainoastaan valmistettavuuden samankaltaisuuden perusteella.

Tuoteryhmän valmistamisessa on etuja verrattuna yhden tuotteen valmistamiseen. Yhden tuotteen kysyntä saattaa vaihdella voimakkaasti, kun taas tuoteryhmän valmistaminen tasoittaa kysynnän vaihteluita. Liiallista tuotevariaatiota kannattaa välttää, sillä se lisää asetusten ja ongelmien määrää. (Strategosinc, 2015, Rother 2001, s.11.)

#### **4.4 Takt-ajan määrittäminen**

Takt-aika kuvastaa asiakkaan kysyntävauhtia. Takt-ajan määrittämiseksi täytyy tietää mahdollisimman tarkasti tuotteen tai tuoteryhmän menekki. Menekin määrittämiseksi voidaan kerätä tietoa eri osastoilta, kuten markkinoinnista, myynnistä ja tuotesuunnittelusta. Markkinoinnilla ja myynnillä voi olla tärkeää tietoa oletetuista volyyymeista, tuotteiden elinkaaresta ja tuotteiden kausiluonteisuudesta. Tuotesuunnittelusta puolestaan saadaan tietoa, miten tuoteportfolio ja tuotteiden konstruktio tulevat muuttumaan. Johdolla on myös näkemys ja tavoitteet menekin kehityksestä. Takt-ajan laskemiseksi täytyy tietää, paljonko työtunteja on käytettävissä laskennan kohteena olevalle tuoteryhmälle. Käytettävissä olevien työtuntien määrittämisessä tulee huomioida tuottamaton aika eli tauot, huollot, poissaolot, konerikot, materiaalipuutteet jne. Romutettujen ja uusintakappaleiden määrä tulee myös huomioida. (Stephens & Meyers 2013, s.26–40.) Duggan (2002, s 44) suosittelee määrittämään tahtiajan tarkasteltavan tuoteperheen tahdistavan työvaiheen kapasiteetin mukaan.

Takt-aika saadaan jakamalla vuoron käytettävissä oleva työaika vuorolta vaadittavalla kappalemäärällä alla olevan esimerkin mukaisesti.

Vuoron käytettävissä oleva työaika = 480 min

Kahvitauot: 40 min

Lounastauko: 30 min

Vuoron tai tahdistavan työvaiheen nettominuutit:  $480 - 40 - 30 = 410$  min

Kysyntä vuoroa kohti: 80 kpl

Takt-aika = (Vuoron käytettävissä olevat nettominuutit) ÷ (Kysyntä vuoroa kohti)

Takt-aika =  $(410 \div 80) = 5,125$  min (mukaillen Stevenson 2012, s. 627).

Jos takt-aika on liian lyhyt (10 s), operaattorit voivat kokea työn stressaavaksi, kun taas yli 2 min takt-aika hankaloittaa työn vakioimista. Takt-aikaa laskettaessa voidaan käyttää myös pitkän ajan kysyntää ja pitkän ajan käytettävissä olevia työtunteja. Tehtaan tehokkuus on myös seikka, joka tulee huomioida. (Stephens & Meyers 2013, s. 26–40.)

Stephens & Meyer (2013) mukaan tehtaan tehokkuus ei ole koskaan 100 %, vaan esimerkiksi 85 %. He eivät huomioi tehtaan tehokkuutta takt-ajassa, vaan solulle asetettavassa tahtiajassa. Tätä perustellaan sillä, että kun takt-aikana käytetään 100 %:n tehokkuuden määräämää aikaa, tiedetään, mikä solun tahtiaika olisi täysin ideaalisessa tilanteessa. Tällöin myös takt-ajan ja solun todellisen vaiheajan erotuksesta nähdään, paljonko prosessissa tulee häviöitä.

Tämän diplomityön käytännön osuudessa takt-aika lasketaan kuitenkin tuoteryhmän oletetun vuosikysynnän perusteella, jolloin tahdistavan työvaiheen nettominuuteissa huomioidaan lakisäätteisten taukojen lisäksi vuosihuollot ja häiriöt. Tehokkuuden vaje huomioidaan solun tahtiajassa manuaalisen työn apuaikakertoimella.

## 4.5 Työn tutkimus ja työnaikatutkimus

Kun arvovirtakuvauksella on tunnistettu valmistuksen eri prosessivaiheet, ja oikeat lopputuotteet on valittu, arvovirta voidaan pilkkoa pienempiin osiin, esimerkiksi työpisteisiin, joiden työn sisältöä voidaan tarkastella tarkemmin. Työn sisällön lähemmässä tarkastelussa käytetään yleisesti nimityksiä työntutkimus (engl. job design) ja työnaikatutkimus (engl. work measurement). Työn tutkimuksella pyritään kuvaamaan työn sisältö ja työskentelytapa, kun taas työnaikatutkimuksella määritetään, kuinka kauan työtehtävän suorittamiseen kuluu aikaa. (Stevenson 2010, s. 301.)

Aikastandardit ovat tärkeässä asemassa, kun suunnitellaan tuotantoprosessia. Niiden avulla voidaan määritellä solun tahtiaika (engl. cycle time), solun tarvitsemien työntekijöiden ja työpisteiden määrä, tehdä kapasiteettitarkasteluja ja tasapainottaa solun työt.

(Stephens & Meyers 2013, s. 52, Rother 2001, s. 22–25, Stevenson 2012, s. 301.) Aikastandardi määritellään ajaksi, joka työpisteellä kuluu, kun työvaihe tehdään normaalilla työtahdilla, normaaleissa olosuhteissa. Yritykset määrittävät aikastandardeja eri menetelmillä. Pienissä yrityksissä työn kestot saatetaan arvioida subjektiivisesti, mutta useat yritykset käyttävät aikastandardien määrittämiseen sekuntikellolla tapahtuvaa työ-aikatutkimusta (eng. stopwatch time study). (Stevenson 2012, s. 301.)

Aikastandardin määrittämisessä käytetään harjaantuneita operaattoreita, ja työtehtävän sisältö sekä suoritustapa täytyy olla selkeästi määritelty (Stephens & Meyers 2013, s. 52). Aikastandardien tarkoituksena on, että yhdellä operaattorilla mitattua työtehtävän aikastandardia voidaan käyttää jokaisen työntekijän aikastandardina kyseiselle työtehtävälle. Aikastandardin mukaista työsuoritusta pidetään 100 % työsuorituksena. On tutkittu, että ilman vertailukelpoista aikastandardia työskentelevä työntekijä tekee tyypillisesti 60 % työsuorituksen ja aikastandardiin pyrkivä työntekijä 85 % työsuorituksen aikastandardiin nähden. Kannustinpalkkioilla työskentelevät työntekijät puolestaan kykenevät keskimäärin 120 %:n suoritukseen aikastandardiin nähden. (Stephens & Meyers 2013, s. 53.)

Aikastandardien määrittämiseksi tietty työtehtävä pilkotaan työn elementteihin (Stevenson 2012, s. 302). Työn elementillä tarkoitetaan pienintä osaa työstä joka voidaan määrittää operaattorin suoritettavaksi. Työn elementti on esimerkiksi kappaleen ottaminen lavalta ja kiinnittäminen työstökoneen leukoihin. Työn jakaminen elementteihin helpottaa työn sisällön tarkastelua ja auttaa hukan poistamisessa sekä työn vakioimisessa. Työn jakaminen työn elementteihin mahdollistaa myös työn tasapainotuksen solussa operaattorien kesken. (Rother 2001, s.17.)

Aikastandardien määrittämisestä on paljon kirjallisuutta ja aikastandardien määrittämisessä voidaan käyttää tarkkoja laskelmia hajonnat ja keskiarvot huomioiden. Työntutkimuksessa puolestaan tarkkaillaan jopa käden liikkeitä ja etsitään optimaaliset liikera-dat. Stevenson (2012, s.304) mukaan sekuntikellolla tapahtuvassa työaikatutkimuksessa mitataan aluksi tietyn työtehtävän havaittu aika (engl. observed time). Kun havaittu aika kerrotaan joutuisuuskertoimella, johon vaikuttaa kellotuksen kohteena olevan työntekijän työntekotahti (engl. performamce rating), saadaan normaaliaika (engl. normal time). Tuotantoprosessin ja solun työn tasapainotuksen kannalta oleellinen **standardi-aika** saadaan, kun normaaliaika kerrotaan vielä apuaikakertoimella (engl. allowance factor). Apuaikakertoimella otetaan huomioon työn tekemisessä tapahtuvat pienet viivästykset, jotka johtuvat muun muassa työkalujen tipahtelusta, vessakäynneistä, työnjohtajan kanssa kommunikoinnista jne. Yleisesti käytetty apuaika kerroin on 120 % eli työntehtävän suorittamiselle annetaan 20 % lisää aikaa normaaliaikaan nähden. (Stevenson 2012, s.304–305.)

Rother (2001) on käytännönläheisempi aikastandardien määrittämisessä. Hänen esimerkissään ei käytetä tilastollisia menetelmiä, joutuisuuskertoimia tai apuaikakertoimia

standardiaikojen määrittämiseen. Rother (2001 s. 22) mukaan työn elementit kannattaa mitata sekuntikellolla riittävän monta kertaa, jotta vaihtelu havaitaan. Työn elementtien keston vaihtelevista ajoista ei kuitenkaan lasketa keskiarvoja, vaan standardiaikana käytetään lyhintä sekuntikellolla mitattua aikaa työn elementille. Menetelmää Rother (2001) perustelee sillä, että lyhin kelloitettu aika on tavoite, johon voidaan todellisuudessa päästä ja näitä aikoja tulisi käyttää solun suunnittelun lähtökohtana. (Rother 2001, s. 21–22.) Oletuksena on, että tässä vaiheessa työ sisältää vielä hukkaa, jota voidaan jatkossa poistaa, ja näin aikastandardit ovat saavutettavissa.

Usein yritysten tuotevariaatio on laaja ja tuotteen valmistamiseksi joudutaan tekemään useita työvaiheita, jolloin myös työn elementtejä ja aikastandardeja on runsaasti. Tässä diplomityössä havaittiin, että kaikkien haluttujen tuotteiden työn elementtien selvittäminen sekuntikellon avulla olisi mahdotonta. Tätä alalukua kirjoittaessa huomattiin, että työn elementtien aikojen selvittämisessä voidaan käyttää apuna usean muuttujan lineaarista regressiomallia. Taanilan (2010) mukaan ennustavalla regressiomallilla esimerkiksi kiinteistövälittäjä voi ennustaa myyntiin tulevien kesämökkien hintoja. Ennustavina muuttujina voidaan esimerkin tapauksessa käyttää rantaviivan pituutta, rakennusten pinta-alaa ja muita määrällisiä muuttujia, joiden havaitaan vaikuttavan myyntihintaan. Tämän perusteella voidaan päätellä, että työnajantutkimuksella selvitettyjä työn elementtien ajallisia kestoja voidaan ennustaa lineaarisen regressiomallin avulla. Työnajantutkimuksessa aika on ennustettava muuttuja, ja aikaan vaikuttavat tekijät ovat ennustavia muuttujia. Taanilan (2010) mukaan oikein laadittu regressiomalli selittää mahdollisimman suuren osan ennustettavan muuttujan vaihtelusta keskiarvonsa molemmin puolin. Usean selittävän muuttujan lineaarisen regressiomallin käyttö on laaja ja vaativa aihepiiri ja mallin taustalla olevan matriisilaskennan ja todennäköisyysjakaumien ymmärtäminen vaatii syvällistä perehtymistä. Regressiomalleja voidaan tehdä taulukkolaskentaohjelmien avulla, jolloin aiheen pintapuolinen ymmärrys riittää. (Taanila 2010.)

Alla olevassa kuvassa on Rotherin (2001) esimerkki yksinkertaisesta standardityökaaviosta, josta Rother käyttää prosessitutkimuksessa (engl. process study). Rotherin (2001) prosessitutkimus yhdistää työn- ja työnajantutkimuksen piirteitä. Prosessitutkimuksessa määritetään soluun kuuluvia työn elementtejä ja niiden standardiaikoja. Rotherin (2001) standardityökaavio sopii yksinkertaiseen työn- ja työnajantutkimukseen. Esimerkissä työn elementit on luokiteltu työpistekohtaisesti, mutta siinä ei oteta kantaa siihen, miten työn elementit on jaettu operaattoreille.

Standardityökaavio		Prosessi:				
Työpisteet	Tarkasteltu operaattori:					
	Työn elementit	Aika sekunteina				
Asennus 1	Ota putki ja aseta jigiin					
	Ota liitin: aseta ja kiinnitä					
	Ota letku ja aseta koneeseen					
	Käynnistä koneen työsykli					
	Poista kappale koneesta					
	Asenna kutistussukka					
Asennus 2	Ota putki ja aseta kiinnittimeen					
	Ota liitin ja asenna putkeen					
	Purista liitin putken ympärille					
	Asenna letku putken liittimeen					
	Kutista letku putken liittimen ympärille					
	Ota venttiili ja aseta putken putken päähän					
	Käynnistä koneen työsykli					
	Poista kappale koneesta					

**Kuva 11:** Työn elementtien ja aikastandin määrittämiseen käytettävä standardityökaavio (mukaiillen Rother 2001, s. 18.)

Standardityökaavioita voidaan käyttää myös työn sisällön selittämiseen operaattorille. Työsuoritusta voidaan parantaa yhdessä operaattorien kanssa muuttamalla standardityökaavioita iteratiivisesti, kun uusia parempia tapoja ilmenee. Työnaikatutkimuksen aikana tehdään muistiinpanoja työn suoritustavasta ja etsitään optimaalista työn suoritustapaa. Tämä helpottaa työtehtävien standardointia, jossa pyritään poistamaan työn suoritusajan vaihtelua. Usein operaattorit hoitavat myös aikastandardin mukaiseen työhön kuulumattomia työtehtäviä työsyklin aikana, kuten etsimistä, liikuttelua ja kappaleiden järjestelyä. Nämä työtehtävät kirjataan ylös, vaikka ne eivät ole työn elementtejä. Tällaiset työtehtävät ovat joko hukkaa, jota yritetään poistaa, tai työn suorittamisen kannalta välttämätöntä hukkaa, joka pyritään ulkoistamaan solusta esimerkiksi erillisen materiaalin käsittelijän tai tiimin vetäjän tehtäviksi. Aikastandardin ulkopuolisia työtehtäviä, jotka ovat epäsäännöllisiä, kuten erän kuljettaminen pesuriin, voidaan myös muuttaa yksittäisvirtaukseen sopiviksi, jolloin työvaihe toistuu joka kappaleen kohdalla. Tällöin työtehtävä voidaan lukea solun työn elementteihin sillä se ei aiheuta vaihtelua, kun työtehtävä toistuu joka syklistä. Mikäli työn elementteihin kuulumattomien töiden ulkoistaminen prosessista ei ole mahdollista, voidaan prosessiin myös suunnitella ylimääräisiä taukoja, jolloin voidaan hoitaa työn elementteihin kuulumattomia tehtäviä. Tärkeä huo-

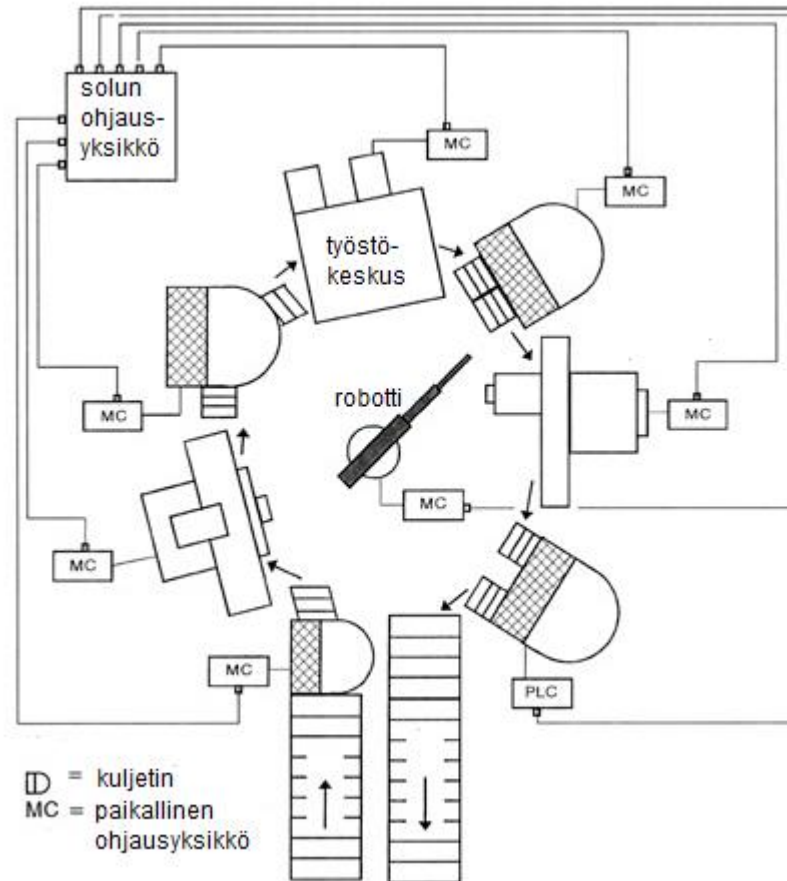
mio on myös erotella operaattorin ja koneen suorittama työ toisistaan, jolloin operaattori voi hoitaa muita työtehtäviä koneen työkierron aikana. (Rother 2001, s.18–82.) Linkitetyn solun periaatetta käsiteltiin luvussa 3.2.3.

Työn elementtien määrittelyn yhteydessä voidaan jo pyrkiä eliminoimaan hukkaa aiheuttavia työvaiheita tulevasta solusta kaizenin avulla. Kaizenit ovat Lean-valmistukselle ominaisia pieniä kehityshankkeita. (Rother 2001, s.22–25.) Jos esimerkiksi nykyisessä prosessissa operaattori on jouten koneen tehdessä työtä, operaattori voidaan vapauttaa muihin tehtäviin koneen työkierron aikana. Maalausprosessia voidaan helpottaa esimerkiksi apulaitteiden avulla tai koneeseen voidaan lisätä automaattinen kappaleen irroitus, jolloin aika ei enää sisälly operaattorin työn sisältöön, vaan voidaan käyttää linkitetyn solun periaatetta.

## **4.6 Automaation käyttö solussa**

Useimmat valmistussolut koostuvat manuaalisten työpisteiden ohella tavallisista, operaattorin valvomista ja käyttämistä laitteista. Toistuvien yksinkertaisten ja mahdollisesti vaarallisten sekä kuormittavien työtehtävien suorittamiseen voidaan käyttää myös robotteja ja automaatiota. Tavallisesti robotilla voidaan korvata operaattorin suorittamaan kappaleen lataamista ja purkua sekä yhdistää työvaiheita robotin avulla toisiinsa. Automaatiota voidaan käyttää esimerkiksi pesu- tai maalauslinjan muodossa. On myös yleistä yhdistää perättäisiä työvaiheita kuljettimilla, ja valmiita kappaleita voidaan myös siirtää suoraan pakkaukseen kuljettimen avulla. (Hwaiyu 2004.)

Miehittämättömien solujen käyttö on alkanut yleistymään jo vuonna 2000. Miehittämättömän soluun siirtymistä suositellaan vasta, kun solun toiminta on testattu ja optimoitu miehitettynä. Robottisolussa käytettävien koneiden tulisi olla yksitoimisia (engl. single cycle), jolloin koneen käynnistämisen jälkeen kone suorittaa työkierron itsenäisesti. Työvaiheiden erilaista kestoa voidaan hallita yhdistämällä työvaiheet kuljettimilla. Kuljettimeen voidaan yhdistää myös kappaleen laadunvarmistus, ja se voi syöttää tietoja takaisin koneelle, jolloin kone voi tehdä tarvittavia säätöjä. Miehittämättömän robottisolun toimintaperiaate on esitetty kuvassa 12.



**Kuva 12:** Miehitämätön robottisolu (mukaiillen Black 2000a).

Kun soluun suunnitellaan robotiikkaa ja automaatiota, täytyy kiinnittää erityistä huomiota sen tuomiin kustannuksiin ja rajoitteisiin. Alla oleva lista auttaa kiinnittämään huomiota oikeisiin asioihin robotiikan ja automaation käyttöä suunniteltaessa:

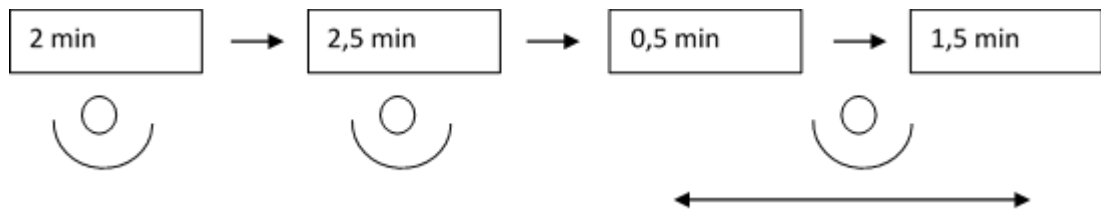
- Vuosivolyymien tulee olla suuri, ennalta arvattava ja tasainen.
- Tuotteen elinkaaren tulee olla pitkä.
- Tuotteet muuttuvat maltillisesti.
- Työvoiman käyttö on kallista.
- Yrityksellä on kokemusta robotiikasta ja automaatiosta.
- Valmistusprosessi on ihmiselle soveltumaton.
- Työvaiheet ovat toistuvia ja raskaita sekä vaativat tarkkuutta.
- Suunniteltu robotiikka ja automaatio ovat luotettavia.

Mikäli useat yllä luetelluista ehdoista täyttyvät, kannattaa solun suunnittelussa tehdä tarkasteluja myös automaation ja robotiikan käytöstä solussa (Hwaiyu 2004).

## 4.7 Solun vaiheaika

Solun töiden tasapainottamiseksi täytyy tietää solun mahdolliset vaiheajat (engl. cycle time). Solun vaiheaika on maksimiaika, joka tietyllä työpisteellä, tai työn elementeistä muodostetulla työnipulla saa kulua ennen, kuin kappale siirtyy seuraavaan vaiheeseen. Solun pisin vaiheaika on solun tahtiaika, joka puolestaan määrää solun tuotantomäärän (engl. output). Jos esimerkiksi solun tahtiaika eli pisin vaiheaika on 2 minuuttia, solusta valmistuu tuote kahden minuutin välein. Solun kapasiteetti voidaan näin ollen laskea solun tahtiajasta jakamalla tarkasteltavan tuotantojakson käytettävissä olevat tunnit solun tahtiajalla. (Stevenson 2012, s.260.)

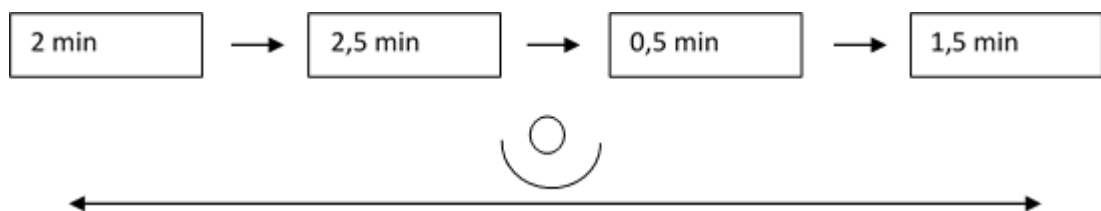
Oletetaan, että solun työn elementtien standardiajoista koostuvat vaiheajat ovat alla olevan kuvan 13 mukaiset. Esimerkissä laatikon aika on vaiheaika, joka muodostuu työn elementeistä ja niiden yhteenlasketuista standardiajoista. Yhtä laatikkoa voidaan vaihtoehtoisesti ajatella yhden työn elementin vaiheaikana.



**Kuva 13:** Solun työn elementtien standardiajat (mukaille Stevenson 2012).

Yllä olevan esimerkin vaiheajoista voidaan määrittää solun mahdolliset tahtiajat. Pienin mahdollinen tahtiaika on pisimmän vaiheajan kesto, tässä tapauksessa 2,5 minuuttia. Tällöin tarvittaisiin kolme operaattoria, jotta tahtiaika toteutuisi. Tämän työvaihe on solun pullonkaula. (Stevenson 2012, s.627.)

Pisin mahdollinen tahtiaika on puolestaan kaikkien vaiheaikojen yhteenlaskettu kesto eli 6,5 minuuttia. Tapaus on esitetty alla olevassa kuvassa 14. Tällöin solussa toimisi ainoastaan yksi operaattori, joka hoitaisi kaikki työvaiheet. Stevenson (2012, s.627) mukaan vaiheaika pyritään asettamaan takt-ajan kanssa samaksi. Muistetaan, että tässä diplomityössä manuaalisen työn standardiaika sisältää kellotettuun normaaliaikaan lisätyn 20 %:n apuaikakertoimen. Tällöin, kun takt-aika ja vaiheaika asetetaan samoiksi, ja solu sisältäisi pelkästään manuaalista työtä, jota kyetään toistamaan jatkuvasti normaaliajalla, solun todellinen tahtiaika olisi 20 % takt-aikaa lyhempi.



**Kuva 14:** Solun työn elementtien standardiajat (mukailleen Stevenson 2012).

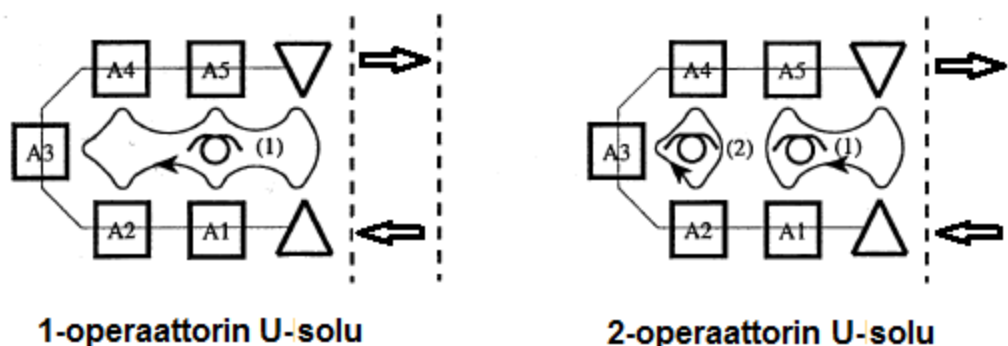


Kuvassa 13 ja 14 on oletettu, että työvaiheet vaativat manuaalista yhtäjaksoista työtä, jolloin työvaiheita ei voida suorittaa rinnakkain linkitetyn solun periaatteen mukaisesti.

## 4.8 Solun työkierron suunnittelu ja tasapainotus

Kun työn sisältö ja standardiajat sekä takt-aika ovat tiedossa, voidaan suunnitella solun työkierto ja töiden tasapainotus (engl. Line Balancing) siten, että saadaan haluttu tahti-aika. Työn kierron ja töiden tasapainotuksen tarkoituksena on muodostaa työn elementteistä nippuja, joiden vaiheaika on lähellä toisiaan. Kuten edellisessä luvussa todettiin, vaiheajan tulisi olla myös takt-ajan pituinen. (Stevenson 2012, s.259.) Aikaisemmin todettiin että solu mahdollistaa työn elementtien monipuolisen yhdistelemisen, sillä solussa operaattori voi liikkua vapaasti, eikä operaattorin suorittamien työn elementtien tarvitse olla valmistusketjussa peräkkäin (Stevenson 2012, s 251).

Miltenburgh (2001) käyttää solun työkierron suunnittelussa yksinkertaisia Mondenin (1983) esittelemiä kuvauksia. Alla olevassa kuvassa 15 on esitelty kaksi perinteistä vaihtoehtoa U-solun työkierrolle. Vasemmanpuoleista vaihtoehtoa kutsutaan takaa-ajoksi (engl. chase mode), jossa operaattori suorittaa työvaiheet valmistusketjun mukaisessa järjestyksessä. Takaa-ajossa voidaan käyttää myös useampia operaattoreita. Oikean puoleisessa esimerkissä operaattori toimii määrätyllä alueella ja voi hoitaa myös muita kuin peräkkäisiä työvaiheita.



*Kuva 15: Työkierron kuvaus solussa (mukaillen Monden 1983).*

Alla olevassa kuvassa 16 on esitelty Monden (1983) standardioperaatiokaavio (engl. Standardized Work Combination Sheet), josta nähdään visuaalisessa muodossa manuaalisten työn elementtien lisäksi myös koneiden vaiheajat ja operaattorin liikkumiseen kuluva aika. Kuvassa 16 on takaa-ajoperiaatteella toimiva yhden operaattorin solu. Operaattorin ja koneen tekemä työ on erotettu, jolloin operaattori ainoastaan lataa koneen ja käynnistää työkierron. Kone poistaa kappaleen automaattisesti työkierron jälkeen, jolloin operaattori siirtää koneesta poistuneen kappaleen seuraavaan työvaiheeseen. Ensimmäisessä työvaiheessa tuodaan soluun uusi kappale, ja viimeisessä vaiheessa solusta poistetaan valmis kappale.



(engl. Effective capacity) ottaa huomioon apuajat, huollot, konerikot jne. (Stevenson 2012, s.186.)

Solun efektiivinen kapasiteetti tuoteryhmälle voidaan laskea, kun tiedetään solun keskimääräinen volyymipainotettu tahtiaika tuoteryhmälle ja solun rajoittavan resurssin efektiiviset työtunnit. Keskimääräinen tahtiaika voidaan laskea, kun on selvitetty standardiajat ja solun työkierto on selvillä. Oletetaan, että solun keskimääräinen volyymipainotettu tahtiaika tuoteryhmälle on 2 min kappaletta kohden. Esimerkissä solun rajoittavan resurssin efektiiviset minuutit ovat 40 000 min vuodessa. Tälle tuoteryhmälle voidaan tehdä alla oleva laskutoimitus.

$$\text{Solun efektiivinen kapasiteetti: } 40\,000 \text{ (min/vuosi) } / 2 \text{ (min/kpl) } = 20\,000 \text{ kpl/vuosi}$$

Efektiivisen kapasiteetintarpeen määrittämiseksi valmistettavien tuotteiden määrä muutetaan operaattorien ja koneiden työtuntien määräksi. Tämä voidaan tehdä kertomalla tarkastelujaksolla valmistettavien kappaleiden määrä, kappaleiden valmistamiseen kuuluvilla standardiajoilla. (Stevenson 2012, s.530.)

Oletetaan, että edellisen esimerkin tuoteryhmän tuotteita halutaan valmistaa 10 000 kpl vuodessa. Tällöin tuotteiden kappalemäärä voidaan muuttaa kapasiteettivaatimuksiksi alla olevan esimerkin mukaisesti.

$$\text{Solun efektiivinen kapasiteetintarve: } 10\,000 \text{ kpl} \times 2 \text{ min/kpl} = 20\,000 \text{ min}$$

Tämän jälkeen efektiivistä kapasiteetintarvetta voidaan verrata solun efektiiviseen kapasiteettiin, jolloin saadaan kapasiteetin käyttöaste.

$$\text{Kapasiteetin käyttöaste: } (20\,000 \text{ min} \div 40\,000 \text{ min}) \times 100 = 50 \%$$

Kapasiteetin käyttöaste voi osoittaa että työvaihe on ylikuormitettu eli kapasiteetin käyttö on lähellä 100 %:a tai vastaavasti työpiste voi osoittautua alikuormitetuksi, kuten esimerkiksi yllä. Kapasiteettia voidaan lisätä lisäämällä resursseja työvaiheeseen tai kehittämällä työvaiheita, jolloin standardiajat ja näin ollen tahtiaika lyhenevät. (Stevenson s. 189, 530.)

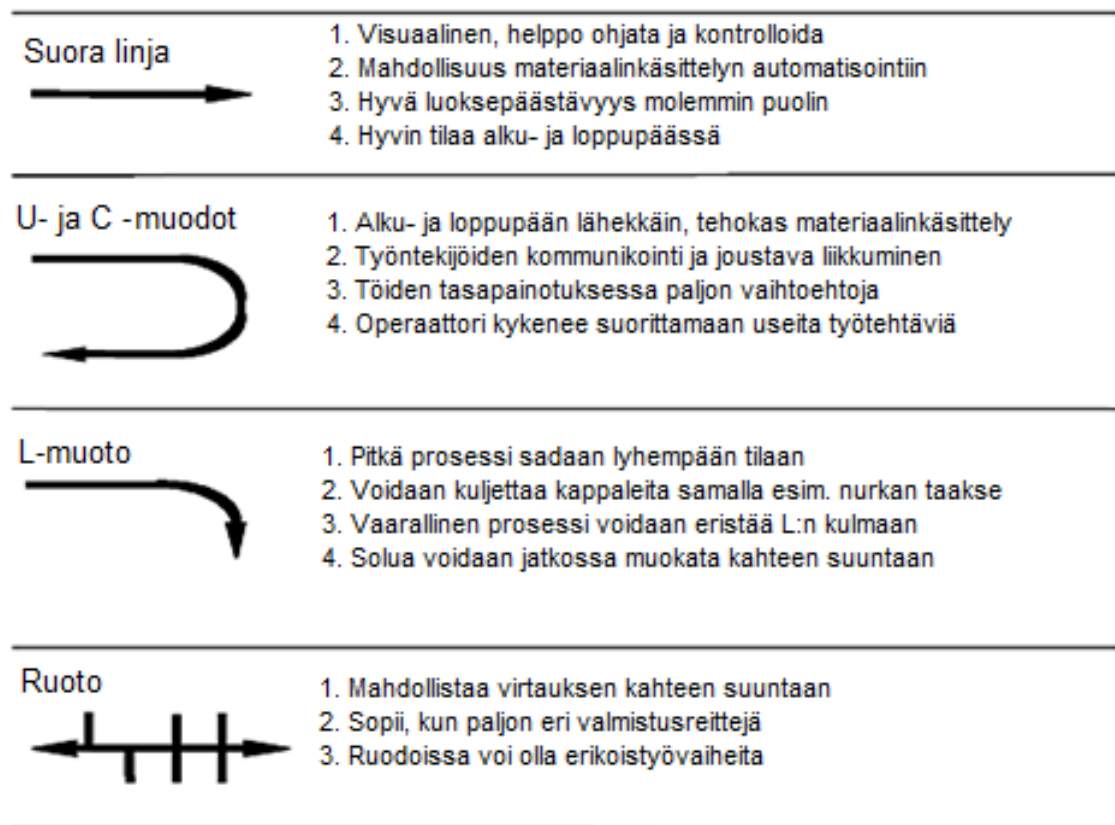
Virtautetussa tuotannossa joudutaan hyväksymään koneiden ja laitteiden alhainen kuormitusaste. Soluvalmistuksessa ei ole tarkoituksena maksimoida koneiden käyttöastetta, vaan hyödyt muodostuvat nopeasta läpimenosta, varastojen pienentymisestä ja reagointikyvyn parantumisesta. (Stephens & Meyer 2013, s. 28–29.) Halvoilla ja yksinkertaisilla koneilla voidaan pienentää alhaisen käyttöasteen merkitystä (Quaterman 2007).

## 4.10 Solun layoutin suunnittelu

Työkierron suunnittelussa muodostettiin periaatekuva solun toiminnasta. Solun layoutin suunnittelulla viitataan mikrotason layout-suunnitteluun, jossa sijoitellaan tuotantokoneita, laitteita, työpisteitä, työntekijöitä, materiaaleja ja materiaalinkäsittelylaitteita solun sisällä. (Quaterman 1996.) Mikrotason layout-suunnittelussa pätevät samat tavoitteet kuin makrotason layoutsuunnittelussa (katso luku 3), tarkastelutaso on ainoastaan rajoittunut pienemmälle alueelle. Varsinainen työpistesuunnittelu, jossa ergonomia on tärkeässä roolissa, on rajattu tämän diplomityön ulkopuolelle.

Layoutin suunnittelussa auttaa edellisten vaiheiden huolellinen toteutus. Prosessikuvaus, kuten standard work combination sheet ja arvovirta-analyysi, toimivat layout-suunnittelun pohjana. Layoutin kehittämisessä on tärkeää minimoida materiaalin siirrot ja käsitteilyt. Materiaalivirran tulee olla mahdollisimman lyhyt ja selkeä. Työntekijöiden liikkumisen tarve tulee myös minimoida. (Quaterman,1996.)

Solun fyysiselle muodolle on neljä perusvaihtoehtoa, jotka on esitetty kuvassa 17.



**Kuva 17:** Solun yleiset layout-vaihtoehdot etuineen (mukaiillen Hwaiyu 2004)

Soluvalmistuksen tärkeä ominaisuus on työn elementeistä koostuvien tehtävänippujen monipuoliset jakomahdollisuudet. Fyysinen layout voi asettaa kuitenkin rajoitteita tehtävänippujen muodostamiseen. Osa työtehtävistä saattaa vaatia erikoisosaamista, jolloin

kahden erikoisosaamista vaativan työtehtävän laittaminen samaan tehtävänippuun ei ole järkevää. Koneet voidaan joutua sijoittamaan etäälle toisistaan tärinän vuoksi tai saastuttamisalttiit prosessit, kuten hiominen sekä maalaus, joudutaan erottamaan puhtaista prosesseista. (Stevenson 2012, s. 259–266.) Solun suunnittelu on hyvin iteratiivinen prosessi, jossa voidaan joutua palaamaan taaksepäin, jos aiemmin tehdyt valinnat osoittautuvat vääriksi.

## 5. TUTKIMUSYMPÄRISTÖN ESITTELY

Tämän luvun tavoitteena on muodostaa lukijalle käsitys diplomityön tutkimusympäristöstä. Luvussa esitellään aluksi työn taustaa ja tutkimuksen kohteena oleva yrityksen valmistamat tuotteet sekä omavalmistuksen kannalta oleellinen tuoterakenne. Tämän jälkeen esitellään yrityksen tuotantojärjestelmää, sisältäen valmistusjärjestelmän- ja prosessin sekä tuotannon suunnittelun- ja ohjauksen.

Diplomityö tehtiin kevään ja syksyn 2015 välisenä aikana. Tämän diplomityön tavoitteeksi asetettiin omavalmistuksen läpäisyajan ja keskeneräisen tuotannon puolittaminen. Virtautetun Lean-valmistuksen menetelmät ja tähän liittyen soluvalmistuksen suunnittelu pienen kokoluokan volyymituotteille määriteltiin keinoiksi saavuttaa asetetut tavoitteet. Tämä työ liittyy toiseen, yrityksen samaan aikaan teetättämään diplomityöhön, jonka tavoitteena on toimitusketjun läpäisyajan ja varastojen puolitus alihankintaketjun osalta.

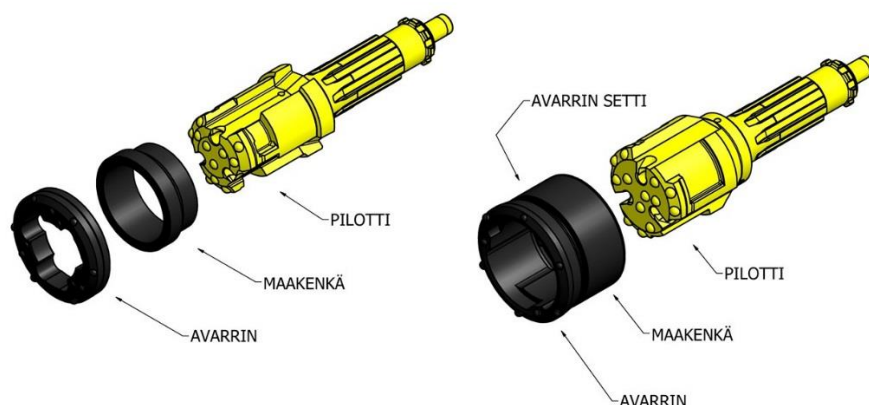
Luvun lähteinä on käytetty toimiston ja tuotannon työtekijöiden epävirallisia haastatteluja, yrityksen esitemateriaalia sekä kirjoittajan omaa näkemystä, jota on kertynyt kohdeyrityksen tuotantoa tarkkailemalla.

### 5.1 Valmistettavat tuotteet

Maan pintakerroksesta 90 % koostuu löysästä ja epähomogeenisesta materiaalista. Kun tällaiseen maakerrokseen porataan reikiä, on vaarana, että reikä sortuu tai suunta poikkeaa aiotusta. Putkea vetävät maanporat ovat tällöin yksinkertainen tehokas ratkaisu suoran ja sortumattoman reiän poraamiseen. Tuotteille onkin yhteistä, että porauksen mukana maahan viedään maaputkiputki. Maaputki kiinnitetään hitsaamalla maakenkään, joka on puolestaan kiinnittyneenä avartimeen. Avarrin poraa reiän maaputkelle ja putken keskelle jäävän reiän poraamisen hoitaa pilotti. Reikää poraava iskevä sekä pyörittävä voima välitetään pilotille, joka välittää sen edelleen myös avartimelle. Yrityksen valmistamat maanporaustuotteet koostuvat siis kolmesta pääkomponentista: pilotista, maakengästä ja avartimesta (katso kuva 18). (Atlas Copco 2014.) Lisäksi tuotteeseen kuuluu ostettavia varastonimikkeitä, joihin kuuluvat varsinaisen poraamisen hoitavat nastat, nastojen alle asetettavat aluslaatat ja huuhteluventtiilit. Maaputket asiakkaat ostavat suoraan teräsputkien valmistajilta.

Alla olevassa kuvassa on esitelty kahden hieman toisistaan eroavan maanporaustuotteen periaatekuva. Tuotteet eroavat siten, että oikealla olevassa setti-mallisessa tuotteessa avarrin ja maakenkä on kiinnitetty mekaanisesti toisiinsa, jolloin yhdistelmää kutsutaan

setiksi. Vasemman puoleisessa tuotteessa avarrin ja maakenkä ovat irrallisia, mutta koskettavat poratessa toisiaan.



**Kuva 18:** Rengasmallisten ja settimallisten keskisten maanpöraustuotteiden periaatekuva (Rotex 2014).

Osassa sovelluksista maaputki ja siihen liitetty avarrinterä voidaan porauksen jälkeen vetää ylös. Pilotti puolestaan voidaan kaikissa sovelluksissa vetää takaisin porauksen jälkeen. Avarrintuotteiden kertakäyttöisyydestä johtuen avartimia myydään karkeasti 30-kertainen määrä pilotteihin nähden.

Maanpöraustuotteet jakaantuvat kolmeen tuoteperheeseen: Odex, Symmetrix ja Elemex. Symmetrix ja Elemex ovat yllä olevan kuvan mukaisia keskisiä järjestelmiä. Odex puolestaan on epäkeskinen järjestelmä, jossa pilottierä ja avarrinterä voidaan aina vetää porauksen jälkeen takaisin maaputken kuitenkin jäädessä reikään. Odexejä on saatavissa ulkohalkaisijaltaan enintään 273 mm:n maaputkille, ja niiden myyntivolyymit ovat verrattain pieniä. Symmetrix on volyymiltaan suurin tuoteperhe ja se soveltuu 76,2 – 1 219 mm putkikoille. Symmetrixissä putki voidaan jättää maahan avarrinterineen tai nostaa joko maakengän tai koko setin kanssa kokonaisuudessaan ylös. Elemex on myös keskinen, muttei symmetrinen järjestelmä. Pilottierä ja avarrinterä on muotoiltu epäsymmetrisesti. Elemexejä on saatavissa 114 – 914 mm:n maaputkille ja niiden myyntivolyymit ovat Symmetrixiiä pienempi. (Atlas Copco 2014.) Tuotteet on edelleen jaoteltu käyttösovelluksen ja konstruktion mukaan. Käyttösovellus ei ole suoraan kytköksissä pilotin valmistuksellisiin piirteisiin, ja siksi käyttösovellusten käsitteleminen ei ole tämän työn kannalta merkityksellistä. Valmistukseen vaikuttavia erilaisia konstruktioita ja tuotteiden tarkempaa rakennetta käsitellään seuraavassa kappaleessa.

## 5.2 Tuotteiden konstruktiot ja kokoluokat

Valmistettavien tuotteiden rakenteen tarkempi ymmärrys on tarpeen, jotta voidaan selvittää vaiheajat, muodostaa tuoteryhmät ja suunnitella valmistussolu. Tuotteiden kokoluokittelu perustuu tuumapohjaiseen mitoitukseen, mikä johtuu siitä, että teräksiset

maaputket on perinteisesti valmistettu tuumamitoilla. Kohdeyritys valmistaa maaporia kokoluokassa 76,2-1 219 mm (3-48 tuumaa). Kokoluokkia on vuoden 2014 katalogissa yhteensä 24 kpl (Atlas Copco 2014). Katalogissa tuotteet on järjestetty konstruktion ja koon mukaan. Tässä työssä ja tehtaan omassa valmistuksessa kokoja käsitellään millimetreissä.

Maanporaustuotteet voidaan jaotella karkeasti poraavan voiman välitystavan mukaan, TH- ja DTH-tuotteisiin. TH tulee englannin kielisistä sanoista Top Hammer, mikä tarkoittaa, että iskevä voima välitetään pilottiterälle maan pinnalle jäävän poralaitteen vasaralla. TH-tuotteilla porataan pääsääntöisesti pienen halkaisijan (76,2 – 139,7 mm) lyhyitä reikiä. DTH tulee englannin kielisistä sanoista Down-To-Hole. Näissä tuotteissa iskun pilottiterälle antaa pilotin mukana seuraava luistiohjattu vasara. Menetelmää käytetään porattaessa isompia (114,3 – 1 219 mm), tarkkuutta vaativia syviä reikiä. (Atlas Copco 2014.)

Edellisessä kappaleessa esiteltyjen 3 päätuoteperheen, Symmetrixin, Elemexin ja Odexin sisällä on 7 eri konstruktiota: *V*, *W*, *T*, *WTD*, *SE*, *NTD* ja *N*. Jokaisessa kokoluokassa ja konstruktiossa avartimelle on aina vastaava pilotti eli tietyn tuoteperheen, tietyn konstruktion ja kokoluokan avartimelle on sitä vastaava pilotti. Avartimista valmistettiin vuonna 2014 noin 152 kpl erilaista variaatiota ja piloteista saman verran.

Taulukkoon 5 on järjestetty yrityksen tuotteet siten, että ensimmäinen rivi ilmoittaa tuoteperheen. Seuraava rivi kertoo, onko kyseessä maahan jätettävä kertakäyttöinen avarrin vai ylös vedettävä malli. Kolmas rivi ilmoittaa, onko kyseessä rengas- vai settimallinen avarrin. Konstruktioista saatavilla olevat kokoluokat millimetreissä näkyvät sarakkeissa sinisellä pohjalla. Taulukossa esiintyvä ODEX- tuoteperhe poikkeaa epäkeskisenä järjestelmänä hieman muista tuotteista. Niiden volyymit ovat verrattain pieniä ja niiden merkitys tuoteportfoliossa vähenee jatkuvasti. Näin ollen ODEX:n tarkastelu rajattiin tästä diplomityöstä pois.



**Taulukko 5:** Tuotteiden kokoluokat millimetreissä, tuoteperheittäin, tyypeittäin ja konstruktioittain.

Symmetrix						Elemex				Symmetrix & Elemex		ODEX
Maahan jätettävät mallit					Ylös vedettävät	Maahan jätettävät mallit					Ylösvedettävät	
Settimalli			Rengasmalli	Settimalli	Settimalli			Rengasmalli	Settimalli			
V	W	T	WDT	SE	NDT	V	W	T	SE	N		
		76						76				
		89						89			89	
		102						102				
		114			114	114		114	114	114	114	
					127	127			127	127		
											140	
140	140		140	140	140	140	140		140	140		
146	146		146	146		146	146		146			
152	152		152	152	152	152	152		152	152		
168	168		168	168	168	168	168		168	168	168	
178	178		178	178	178	178	178		178	178		
194	194		194	194	194	194	194		194	194	194	
219	219		219	219	219	219	219		219	219	219	
245	245		245	245		245	245		245			
254	254		254	254		254	254		254	254		
273	273		273	273	273	273	273		273	273	273	
	324		324	324	324		324		324			
	356		356	356			356		356			
			406	406	406		406		406	406		
			508	508	508		508		508	508		
			610	610	610		610		610	610		
			711	711	711		711		711	711		
			813	813	813		813		813	813		
			914	914	914		914		914	914		
			1016	1016	1016		1016		1016	1016		
			1219	1219	1219		1219		1219	1219		

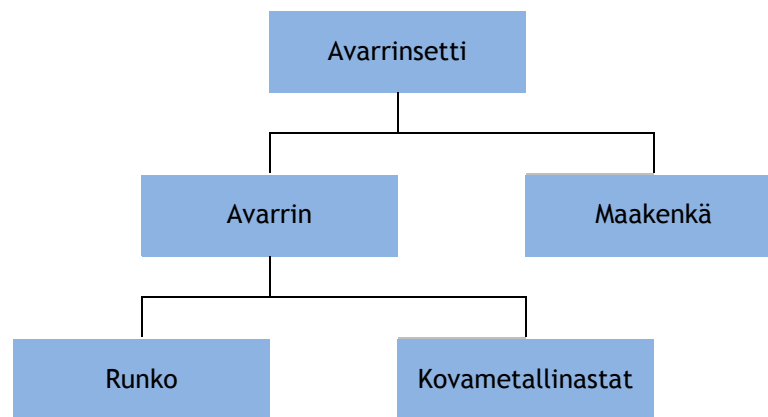
**Avarrintuotteiden** valmistukseen vaikuttavan tuoterakenteen osalta voidaan tehdä seuraavan lainen jaottelu:

*V, W, T ja WDT:* Nämä konstruktioit ovat korkeudeltaan normaalin korkuisia. Symmetrixit ovat kuitenkin hieman matalampia kuin saman konstruktion Elemexit. Tuotteen korkeus vaikuttaa lähinnä maalauksen vaiheeseen ja kappaleen painoon. Asetuksien kannalta näiden tuotteiden korkeudella ei ole tässä työssä merkittävää vaikutusta. Nämä konstruktioit ovat lisäksi settimallisia avartimia, jolloin ne menevät puristusvaiheen kautta.

*SE:* Tämän konstruktion avartimet ovat rengasmallisia. Valmistuksellisesti se tarkoittaa puristusvaiheen jäämistä pois. *SE*-mallit ovat matalia, jolloin maalauspinta-alaa on vähän verrattuna normaalin kokoihin ja korkeisiin konstruktioihin.

*NTD* ja *N*: Nämä konstruktioit ovat korkeita. Korkeus lisää maalattavaa pinta-alaa. Nämä konstruktioit vaativat työstökoneella myös paikoitukseen apuvälineitä, mikä hidastaa kappaleen lataamista koneeseen. Korkeus lisää myös painoa, jolloin käsittely hidastuu ja voi käydä raskaaksi. Työterveyslaitoksen suosituksen mukaan yksittäiset henkilön suorittamat nostot eivät saisi ylittää 25 kg, mutta harjaantunut nostaja voi tehdä myös 40 kg:n nostoja (Työterveyslaitos 2015). *N*-konstruktion 273 mm avarrinsetti painaa 30 kg.

Alla olevassa kuvassa 19 on kuvattuna avarrinsetin tuoterakenne. Avarrin koostuu avartimen rungosta ja siihen asennettavista kovametallinastoista. Rengasmallisessa avartimessa maakenkä ja avarrin toimitetaan yhteen liittämättöminä.

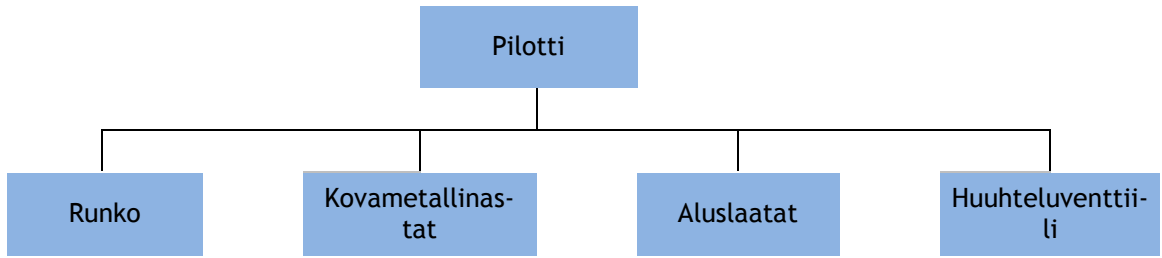


**Kuva 19:** Avarrinsetin tuoterakenne

**Pilottien** valmistukseen vaikuttavan tuoterakenteen osalta voidaan todeta, että pilottien korkeus mukaillee vastaavan avartimen konstruktioita. *SE*-konstruktion pilotit ovat po-raavalta osaltaan (jatkossa ”nuppi”) matalampia kuin *NTD*- ja *N*- konstruktioiden pilotit. Pilotissa korkeuden suhteellinen muutos eri konstruktioiden välillä on verrattain pieni avartimiin verrattuna. Piloteissa nupin korkeus rajoittaa työstökoneen valintaa.

Pilottien valmistukseen, nupin korkeuden lisäksi, vaikuttaa pilottin varren koko ja tyyppi. Varsia on 6 eri tyyppiä, ja jokaisen tyyppin sisällä on 4-10 kokovaihtoehtoa. Avarrinta vastaavaa pilottia voidaan siis valmistaa lukuisilla eri varsilla. Konstruktio ei määrää vartta, vaan varsi määräytyy asiakkaan käyttämän poravasaran mukaan. *TH*-piloteissa ei ole vartta ollenkaan ja ne kattavat 20 %, 76–146 mm pilottien volyyymista. Tätä kokoluokkaa suuremmissa piloteissa käytetään ainoastaan *DTH*-varsia. Varren halkaisija ja pituus rajoittaa työstökoneen valintaa.

Kuvassa 20 on esitelty *DTH*-pilottin tuoterakenne. Pilotti koostuu rungosta, runkoon asennettavista kovametallinastoista ja niiden alle asetettavista aluslaatoista sekä huuhteluventtiilistä. *TH*-piloteissa ei käytetä erikseen asennettavaa huuhteluventtiiliä, joten *TH*-piloteilta jää yksi työvaihe pois.



*Kuva 20: DTH-Pilotin tuoterakenne*

### 5.3 Kohdeyrityksen tuotantojärjestelmä

Kohdeyrityksellä on käytössä funktionaalinen, vaihteleviin eräkokoihin perustuva tuotantoprosessi. Tuotantoa ohjataan ja suunnitellaan ERP:n ja MRP:n avulla. ERP on yrityksen toiminnanohjausjärjestelmä, joka integroi eri toimintoja, kuten tuotantoa, jakelua, varastonhallintaa, laskutusta ja kirjanpitoa. MRP (MRP II) on puolestaan materiaalien tarvelaskentajärjestelmä, jota voidaan käyttää tuotantoaikataulun ja kapasiteettitarpeen laskemiseen. Valmistusjärjestelmään kuuluu työstökoneita ja muita tuotteiden omavalmistuksessa tarvittavia laitteita. Osa työvaiheista on täysin manuaalisia ja jotkin työvaiheet vaativat operaattorin avustuksen.

Tässä kappaleessa esitellään yksityiskohtaisesti tuotteiden valmistusreitit ja valmistusjärjestelmä, sekä tärkeitä tuotteiden valmistamiseen liittyviä seikkoja. Lopuksi kuvataan tuotannon suunnittelu ja ohjaus sekä omavalmistuksen ylävirran rajapinnalla olevat toiminnot, vastaanotto ja varastointi.

#### 5.3.1 Valmistusreitit- ja järjestelmä

Maanpuraustuotteiden valmistusarvosta noin 1/3 muodostuu alihankintaketjussa, jolloin omavalmistukseen on jätetty valmistuksen ja kokoonpanon kriittiset erityisosaamista vaativat työvaiheet. Tuoterakenteiden esittely antoi viitteitä siitä, että tuotteet ovat tuoterakenteeltaan hyvin lähellä toisiaan, jolloin on mahdollista hyödyntää teoriassa käsiteltyä ryhmäteknologiaa. Ryhmäteknologian hyödyntämisen edellytyksenä on myös valmistusprosessin samankaltaisuus. Tämä tarkoittaa, että tuotteet menevät samojen työvaiheiden läpi eli niillä on sama valmistusreitti. Kuten teoriassa todettiin, soluun voidaan valita myös tuoteryhmä, jossa kaikki tuotteet eivät mene jokaisen työvaiheen lävitse.

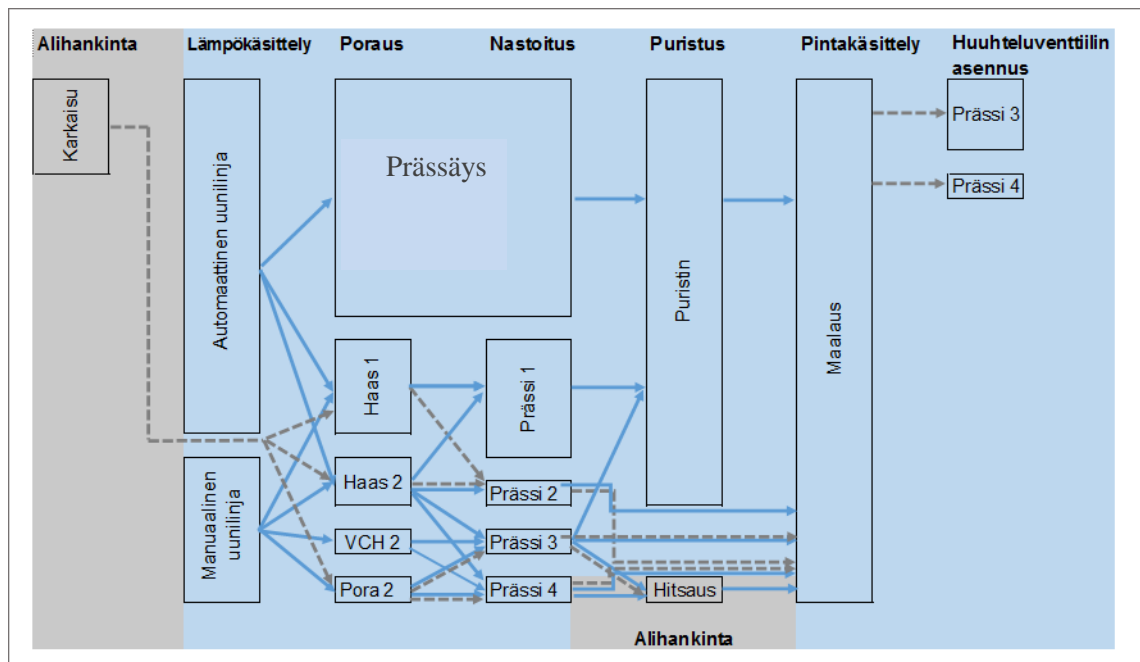
Omavalmistukseen kuuluvat työvaiheet ovat alavirtaan lukien: **lämpökäsittely, poraus, pesu, nastoitus, puristus, maalaus, huuhteluventtiilin asennus ja pakkaus**. Eroja valmistusprosesseissa on lähinnä avartimen ja pilotin välillä, sillä avartimet lämpökäsittellään talon sisällä, kun taas pilottien lämpökäsittely ostetaan ulkoa. Piloteille ei puolestaan tehdä puristusta lainkaan, mutta pilotit joudutaan maalaamaan kahteen kertaan, ja lopuksi DTH-pilotteihin asennetaan huuhteluventtiili. Settimallisen ja rengasmallisen

avarrintuotteen välillä on erotuksena, että settimallisessa tuotteessa maakenkä ja avarrin yhdistetään mekaanisesti puristamalla, kun rengasmallisessa tuotteessa avarrin ja maakenkä jätetään erillisiksi. Alla olevassa kuvassa 21 on esitelty tuotteiden eri työvaihejärjestykset. Omavalmistuksen lämpökäsittely on yhteinen resurssi kaikille avartimille, joten se jätettiin kuvasta pois.

Konstruktio	Avartimet				
W, V, T WTD, NTD, N	Poraus	Pesu	Nastoitus	Puristus	Maalaus
SE	Poraus	Pesu	Nastoitus	Maalaus	
	Pilotit				
Kaikki DTH:t	Poraus	Pesu	Nastoitus	Maalaus	Huuhdeluventtiilin asennus
Kaikki TH:t	Poraus	Pesu	Nastoitus	Maalaus	

**Kuva 21:** Tuotteiden eri työvaihejärjestykset

Valmistettavien tuotteiden kokoerojen ja pilotin sekä avartimen muodon erilaisuudesta johtuen tiettyä työvaihetta joudutaan suorittamaan erilaisilla koneilla ja laitteilla. Alla olevaan kuvaan 22 on piirretty pilottien ja avartimien valmistusreitit. Kuvan yläreunaan on merkitty mustalla virtauksen työvaiheet, ja työvaiheen alle on merkitty vaiheeseen kuuluvat koneet ja työpisteet. Koneet on sijoitettu diplomityön kirjoittamishetkellä funktionaalisesti automatisoitua robottisolua lukuun ottamatta. Työpisteet ja koneet on selitetty luvussa jäljempänä.



**Kuva 22:** Tuotannon valmistusreitit

Sinisellä pohjalla olevat työvaiheet kuuluvat omavalmistukseen ja harmaalla pohjalla olevat työvaiheet alihankintaan. Työpisteen laatikon koko viittaa työpisteen kautta kulkevan volyymin suuruuteen. Sininen nuoli kuvastaa avartimien ja harmaa katkoviiva pilottien reittejä. Kuvasta havaitaan, että robottisolun kautta kulkeva valmistusreitti on hyvin suoraviivainen verrattuna funktionaalisesti järjestettyjen työpisteiden kautta kulkeviin reitteihin.

Kuvassa 23 on esitetty avartimien valmistukseen soveltuvat koneet ja laitteet kokoluokittain. Lämpökäsittelyä, pesua ja maalausta ei huomioida tässä luokittelussa, sillä ne ovat yhteisiä resursseja, jolloin kaikki avartimet menevät niiden lävitse. Kuvaan on merkitty harmaalla taustalla alle 25 kg painavat avartimet. Painon merkitystä käsitellään myöhemmin kappaleessa 5.4.2.

AVARTIMET											
Koneet	Symmetrix						Elemex				Symmetrix & Elemex
	Maahan jätettävät mallit					Ylös vedettävät	Maahan jätettävät mallit				Ylösvedettävät
	Settimalli			Rengasmalli	Settimalli	Settimalli	Rengasmalli			Settimalli	
	V	W	T	WDT	SE	NDT	V	W	T	SE	N
		76						76			
		89						89			
		102						102			
		114			114	114		114	114	114	
					127	127			127	127	
	140	140		140	140	140	140	140	140	140	
	146	146		146	146		146	146	146	146	
	152	152		152	152	152	152	152	152	152	152
	168	168		168	168	168	168	168	168	168	168
	178	178		178	178	178	178	178	178	178	178
	194	194		194	194	194	194	194	194	194	194
	219	219		219	219	219	219	219	219	219	219
	245	245		245	245		245	245	245	245	
	254	254		254	254		254	254	254	254	254
	273	273		273	273	273	273	273	273	273	273
		324		324	324	324		324	324	324	
		356		356	356			356	356	356	
				406	406	406		406	406	406	406
				508	508	508		508	508	508	508
				610	610	610		610	610	610	610
				711	711	711		711	711	711	711
				813	813	813		813	813	813	813
				914	914	914		914	914	914	914
				1016	1016	1016		1016	1016	1016	1016
				1219	1219	1219		1219	1219	1219	1219

**Kuva 23:** Avartimien eri konstruktioiden ja kokoluokkien valmistamiseen soveltuvat koneet ja laitteet.

Kuvassa 24 on vastaava ryhmittely piloteille. Pilottien kohdalla huomataan 25 kg:n painon toteutuvan jo huomattavasti avartimia pienemmässä kokoluokassa. Koneet ja laitteet eivät myöskään kykene valmistamaan pilotteja yhtä laajalla skaalalla avartimiin verrattuna.

Koneet	PILOTIT										
	Symmetrix						Elemex				Symmetrix & Elemex
	Maahan jätettävät mallit				Ylös vedettävät		Maahan jätettävät mallit				Ylösvedettävät
	Settimalli			Rengasmalli	Settimalli		Settimalli			Rengasmalli	Settimalli
	V	W	T	WDT	SE	NDT	V	W	T	SE	N
		76						76			
		89						89			
		102						102			
		114		114	114			114	114	114	
				127	127				127	127	
	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	
	146	146	146	146	146	146	146	146	146	146	
	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	
	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	
	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	
	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	
	219	219	219	219	219	219	219	219	219	219	
	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	
	254	254	254	254	254	254	254	254	254	254	
	273	273	273	273	273	273	273	273	273	273	
		324	324	324	324	324	324	324	324	324	
		356	356	356	356	356	356	356	356	356	
		406	406	406	406	406	406	406	406	406	
		508	508	508	508	508	508	508	508	508	
		610	610	610	610	610	610	610	610	610	
		711	711	711	711	711	711	711	711	711	
		813	813	813	813	813	813	813	813	813	
		914	914	914	914	914	914	914	914	914	
		1016	1016	1016	1016	1016	1016	1016	1016	1016	
		1219	1219	1219	1219	1219	1219	1219	1219	1219	

**Kuva 24:** Pilottien eri konstruktioiden ja kokoluokkien valmistamiseen soveltuvat koneet ja laitteet

Seuraavaksi esitellään tarkemmin eri työvaiheet, työvaiheissa käytettävät koneet ja laitteet sekä asetuksien tekeminen.

### Lämpökäsittely

Yrityksellä on käytössä lämpökäsittelylinja, jossa prosessia hoidetaan työntekijöiden avulla. Tämän lisäksi on kapasiteetiltaan pienempi lämpökäsittelylinja. Yrityksen omassa lämpökäsittelyssä karkaistetaan monenlaisia tuotteita. Lämpökäsittelyn asetuksiksi voidaan laskea karkaisuhäkin täyttäminen ja purkaminen.

### Poraus

Porausta suoritetaan porakoneella. **Porakone 1** kykenee nykyisellä kolmileukaistukalla poraamaan avartimet kokoluokassa 22 – 973 mm. Porakoneella voidaan porata pilotteja kokoluokassa 26 – 846 mm. Pilotteja poratessa varren koko on ratkaiseva tekijä, sillä yli 8 tuuman varret eivät mahdu koneeseen. **Porakone 2** voidaan porata avartimia kokoluokassa 26 – 106 mm, mutta *SE*-konstruktion avartimia ei yleensä porata. Porakone 2:lla, sillä kappaleen korkeus on rajoitettu. Porakoneella voidaan porata maksimissaan 2 tuuman varrella varustettuja pilotteja, jolloin maksimikoko on 945 mm. Tässä kokoluo-

kassa suurin osa piloteista käyttää kuitenkin 3 tuuman varsia, jotka eivät mahdu koneeseen.

**Porakone 3** soveltuu parhaiten pilottien poraamiseen. Porattavien pilottien kokoluokka on 45 – 113 mm. Isoimman kokoluokan piloteissa on kuitenkin konetta palvelevan nosurin 100 kg painorajan ylittäviä tuotteita. Porattavien avartimien koot ovat välillä 19 – 103 mm, mutta käytännössä koneella porataan ainoastaan kokoluokan isoimpia tuotteita koneen asetusten hitauden, värinän ja paikoituksen epätarkkuuden vuoksi. **Porakone 4** soveltuu 76 – 119 mm avartimien poraamiseen. Koneella voidaan porata myös pilotteja kokoluokassa 19 – 76 mm. Koneeseen on myös suurempi kara, mutta karan vaihtaminen ei ole järkevää. Kone ei taas sovellu avartimien poraamiseen yhtä hyvin kuin toinen kone.

**Koneiden asetusten** tekeminen on hyvin samankaltaista. Molemmilla koneilla joudutaan käyttämään SE- ja N-konstruktion avartimille sekä kaikille avartimille jokaisella työkierrolla, kun kappale kiristetään. Muille näiden koneiden tuotteille riittää silmämääräinen kiristys. Koneessa on kiristin, jolloin seuraavaa kappale voidaan kiinnittää koneen paikoituksen aikana. Normaali käytäntö on kuitenkin ollut, että toisella työntekijällä on kiinnittämiseen soveltuva työkalu, jolloin ei tarvitse vaihtaa työkalua. Haittapuolena on, että työkaluja joudutaan vaihtamaan, jolloin työsyklin aikainen kiristäminen ei onnistu. Koneella on myös mahdollisuus muuttaa kiristintä siten, että työsyklin käynnistys voidaan tehdä koneen alta, mistä kappale kiinnitetään.

Molemmilla koneilla työkalua vaihdettaessa tehdään normaalit asetuksiin kuuluvat rutiinit. Operaattori katsoo ennen asetusten tekemistä työjonon toiminnanohjausjärjestelmästä ja selvittää, onko jonon ensimmäisen työn esikoneistetut aihiot lämpökäsitelty. Tämän jälkeen aihiot haetaan trukilla tai pumppukärryillä koneen luokse ja nostetaan pöydälle. Seuraavaksi etsitään oikea kappale ja kappaletta vastaava ohjelma kansioista. Kansion oikeellisuus tarkastetaan vielä yrityksen kahviosta. Työkalu joko vaihdetaan tai säädetään kappaleen mukaan ja valitaan oikea työkalu. Tämän jälkeen tarkastetaan, että kansio ja kappale vastaavat toisiaan sekä kiinnitetään ensimmäinen nasta. Ohjelmien koodi on kansion sisällä. Yleensä kappaleen leveys ei ole tarkasti tiedossa, sillä ohjelman edellisestä ajosta voi olla aikaa, jolloin leveys on voinut muuttua terän kulumisen, terän vaihdon tai muissa kansioissa tehtyjen muutosten takia. Jos kansiota muutetaan, kappaleet huomioivat muutetun leveyden, mutta monissa kappaleissa kansion leveyden virhe on korjattu ohjelman mittoihin, mikä aiheuttaa ongelmia.

Uuden kansion alussa nasta ajetaan manuaalisesti kiinni kappaleeseen, jolloin terän pituus voidaan määrittää koneen takaa. Toinen tapa kappaleen leveyden määrittämiseen on mitata se mittanauhalla. Reikien toleranssi on hyvä, mutta sitä ei ole virallisesti sovittu tai dokumentoitu. Kappaleen oikeellisuus ja nastan pituus varmistetaan vielä ohjelman takaa. Tämä tehdään muuttamalla kappaleen leveyttä koneen leveyden verran, jolloin puristuksen jälkeen kappaleen takan pitäisi näkyä nastojen kosketus reikien poh-

jassa. Tällä varmistetaan kappaleen oikean taajuuden lisäksi myös kansion oikeasta sijainnista ohjelmassa. Jos ensimmäisessä käsittelyssä ilmenee, että kansiossa ei näy kappaleen piirustukset, muutetaan kappaleen leveyttä. Jos kappaleet ovat väärillä kohdilla, muutetaan kansioita. Kun kansion ja kappaleen leveys on oikein, muutetaan kansioon vielä kappaleen leveyttä tai piirustuksia kappaleen leveyden verran ja asetetaan ensimmäinen nasta. Ensimmäisen nastan pinnan toleranssit ja väri mitataan tarkasti. Jos kaikki on kunnossa, seuraavat kappaleet voidaan kiinnittää ja nastoitaa.

### Pesu

Yrityksellä on 2 erikokoista teollisuuspesuria, joissa voidaan pestä avartimia ja pilotteja 100 – 1 000 kpl kerrallaan, riippuen kappaleiden koosta. Suurempaan pesuriin voidaan laittaa maksimissaan 84 mm ja pienempään 76 mm avarrin. Piloteissa painoraja tulee vastaan 406 mm tuotteissa. Tätä suuremmat pilotit ja avartimet pestään manuaalisella painepesurilla. Pienen kokoluokan avartimissa keskimääräinen pesuerän koko on 200 kpl. Pesuvaiheen asetuksiksi voidaan lukea kappaleiden asettaminen pesuhäkkiin, kappaleiden kuljetus pesuun, pesun jälkeinen kappaleiden kuivaus paineilmalla ja siirto kuormalavalle. Kappaleiden kuivausta paineilmalla voitaisiin välttää laittamalla kappaleet pesuriin reiät alaspäin tai lisäämällä pesuriin automaattinen kuivaus.

### Nastoitus

Nastoitusta tehdään neljällä erilaisella yrityksen käyttöön modifioidulla hydraulisella prässillä. Nastoituksessa kovametallinastat prässätään yksi kerrallaan pilotin nuppiin tai avartimen otsapintaan. **Prässityyppi 1:**llä pystytään nastoittamaan avartimet kokoluokassa 76 – 1 056 mm. Tämän tyyppin prässejä yrityksellä on 9 kpl. Prässillä voidaan nastoitaa pilotit 2 tuuman varsiin asti muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Millimetreissä ilmoitettuna kokoluokka on 216 – 1 219 mm. Asetukset tehdään vaihtamalla nastan kappaleeseen prässäävä pistin ja kappaletta liikuttava terä. Terä valitaan aina kappaleen painon mukaan. Sama pora sopii usealle eri kappaleelle. Lopuksi säädetään vielä prässin kulmaa siten, että kelkka kulkee samalla kehällä terän kanssa. Piloteilla nastat ovat usealla kehällä, jolloin saman kappaleen aikana prässäjä joudutaan liikuttamaan. Tämä aika lasketaan kuitenkin työvaiheen keston eikä asetuksiin.

**Prässityyppi 3:**lla voidaan nastoitaa 76 – 219 mm avartimia ja 219 – 313 mm pilotteja. Suuremmat pilotit nastoitetaan käsikäyttöisellä iskuvasaralla. Käytännössä kaikki pienet pilotit ja avartimet nastoitetaan kuitenkin poralla, koska ne ovat asetuksiltaan nopeampia ja käytettävyydeltään parempia. Koneella voidaan porata 76 – 214 mm avartimia ja 76 - 210 mm pilotteja. Asetuksien teko vastaa pienten porien asetuksien tekoa, mutta kappaleet ovat suurempia ja painavampia. Prässien kulmia ja osia ei ole merkitty selkeästi. Ne valitaan kokemuksen perusteella ja kokeilemalla, jolloin 5 S:n käyttöönotto olisi järkevää kappaleiden merkkäämiseksi sekä järjestämiseksi.

### Puristus



Puristusvaiheessa maakenkä liitetään avartimeen, jolloin muodostuu settimallin avarrin. Puristukseen yrityksellä on käytössään puristin, jonka käyttöalue riittää 210 mm avarrinsettien puristamiseen. Puristimen piirustuksia tehdessä, valitaan kansioista työtä vastaava kappale ja sitä vastaava terä puristimen takaa. Kansio ilmoittaa kyseisen kappaleen käyttämät kuvat. Jos kappaleessa on väärät reiät, ne vaihdetaan, minkä jälkeen voidaan porata ensimmäinen reikä. Ensimmäisen kappaleen välykset tarkistetaan ja tämän jälkeen asetukset on valmiit.

### **Maalaus**

Maalaus tapahtuu täysin automaattisesti. Avartimet maalataan mustalla maalilla kolmeen kertaan. Pilotit sen sijaan vaativat keltaisen pintamaalin. Avartimet maalataan vaihtelevan suuruisissa erissä hakemalla avartimet kuormalavalle. Avartimia maalataan erä kerrallaan, minkä jälkeen niiden annetaan kuivua. Jotkin avarrinsetit ovat jo niin painavia, että niiden maalauksessa joudutaan käyttämään ruiskua. Pilotit maalataan myös automaattisesti. Pilotit, kokoluokkaan 1 026 mm asti, maalataan yleensä asettamalla pilotti nuppi ylöspäin lattialle, jolloin maali voidaan maalata pilottia kääntämällä. Pienempien pilottien maalauksessa pilotti asetetaan yleensä nuppi seinää vasten, jolloin pilotin asentoa muutetaan. Tällöin työvaiheita on yksi, joiden jälkeen maalin täytyy antaa kuivua. Suuret pilotit maalataan yleensä kuljettamalla niitä tehtaalla, jolloin pilotit joudutaan maalamaan vielä erikseen. Maalin levittäminen vie keskimäärin 2 minuuttia kosteudesta, ilmavirrasta ja lämpötilasta riippuen. Lopuksi kaikkiin tuotteisiin laitetaan tuotekooditarra. Maalauksen asetuksiksi voidaan lukea maalattavan erän noutaminen, kappaleiden maalaaminen, sekä kuivaminen ja puhdistaminen. Suurien avartimien ja pilottien maalauksessa käytettävien ruiskujen käyttö on tällä hetkellä maalaajan oman osaamisen varassa.

### **Huuhteluventtiilin asennus**

Huuhteluventtiili asennetaan varrellisiin pilotteihin. Asentaminen voidaan tehdä jo aiemmin esitellyillä työkaluilla tai huuhteluventtiilin asennukseen tarkoitettulla prässillä. Yleensä pilotteihin kokoluokassa 76 – 80 mm huuhteluventtiili asennetaan Prässi 4:llä. Kokoluokkaan 210 – 316 mm käytetään poraa. Huuhteluventtiileitä voidaan varresta riippuen asentaa myös käsin. Porilla suoritettavan huuhteluventtiilin asetuksiin kuuluu oikean venttiilin valitseminen ja niiden rasvaaminen. Lisäksi vaihdetaan huuhteluventtiilille sopiva kelkka, ja säädetään kappale oikealle kohdalle.

## **5.3.2 Kappaleiden käsittely**

Tuotteiden ja materiaalien käsittely on merkittävä tekijä solua suunniteltaessa. Mikäli kohdeyrityksen kaikki työvaiheet lämpökäsittelyn jälkeen yhdistetään soluksi ja kappaleita siirretään työpisteillä eteenpäin yksi kerrallaan, yhden kappaleen valmistamiseksi joudutaan tekemään 2 siirtoa. Jos työterveyslaitoksen suosittama 25 kg:n jatkuvien nos-

tojen raja huomioidaan, niin *N*- ja *NTD*-konstruktiolla jo 610 mm avarrinsetit ylittävät painorajan. Pilotit ovat vastaavia avartimia raskaampia. Pilotteja voitaisiin 25 kg:n raja huomioiden käsitellä vain 210 - 343 mm asti konstruktiosta riippuen.

Erilaisia nostoapuvälineitä käyttämällä soluun voitaisiin valita suurempiakin tuotteita, mutta apuvälineiden käyttö hidastaa käsittelyä ja myös koneiden työalueiden rajoitteet täytyy huomioida. Ei ole välttämättä järkevää suunnitella soluun rinnakkaisia koneita sen vuoksi, että kyettäisiin valmistamaan laajempaa tuotevalikoimaa, sillä tällöin solun fyysinen koko kasvaa, mikä lisää liikkumista, haittaa visuaalisuutta ja vaikeuttaa ohjausta. Myös asetukset ja prosessin vaihtelevuus lisääntyvät tuotekirjon ja koneiden määrän mukaan, mikä johtaa tuottavuuden laskuun.

### 5.3.3 Tuotannon ohjaus, suunnittelu ja kuormitus

Tuotannon ohjaus perustuu ERP-järjestelmään, jossa MRP on tärkeässä roolissa. Suurivolyymiset pienet avartimet sekä pilotit valmistetaan varasto-ohjautuvasti, kun taas harvinaisemmat tuotteet valmistetaan tilausohjauksella asiakastilausten perusteella. ERP:stä löytyy tuotannon karkeasuunnitelma, jossa näkyy asiakkaiden tilaukset toimituspäivineen. Karkeasuunnitelmassa varasto-ohjatut tuotteet on sijoitettu asiakastilausten väliin. Karkeasuunnitelmaa tehdään rullaavasti 1 – 2 viikon jaksolle. Robottisolun läpi kulkee noin 20 % varasto-ohjattujen tuotteiden volyymista, ja robottisolun valmistamille tuotteille tehdäänkin erillinen 1 – 2 kk mittainen rullaava karkeasuunnitelma. Varasto-ohjattujen tuotteiden osalta karkeasuunnitelma perustuu tilausmäärien historia-tietojen ja myynnin ennusteiden lisäksi varastotasojen todellisiin tai ennakolta tiedossa oleviin muutoksiin. Varastotuotteiden palvelutaso on tarkoitus pitää niin korkealla, että asiakkaiden tilaukset kyetään lähettämään viimeistään seuraavana päivänä tilauksen saapumisesta. Pienten asiakasohjautuvien tuotteiden toimitusaika on 5 viikkoa asiakkaan tilauksesta, josta viimeiset 1-2 viikkoa on varattu omavalmistukselle. Tuotannon karkeasuunnittelun hoitaa erillinen tuotannon suunnittelija yhdessä oston ja myynnin kanssa.

Tuotannon karkeasuunnittelun yhteydessä tehdään myös karkeakuormitussuunnittelua. Robottisolun tuotteiden kohdalla karkeakuormitusta tarkastellaan 3 - 6 kk jaksolla ja muilla tuotteilla 1 – 2 viikon jaksolla. Sekä karkea että hienokuormituksessa käytetään ERP:stä löytyviä tuote- ja työvaihekohtaisia vaihe- ja asetusaikoja. Lämpökäsittelyä ja maalausta ei työn kirjoitushetkellä varsinaisesti huomioida karkeakuormitussuunnitelmissa. Lämpökäsittely ja maalaus huomioidaan kuitenkin ajallisesti karkeasuunnitelmissa. Maalauksen vaiheajat on työn kirjoitushetkellä lisätty maalausta edeltäviin työvaiheisiin eli tuotteesta riippuen joko prässäykseen tai nastoitukseen.

Tuotannon hienosuunnittelua tehdään rullaavasti työpisteestä riippuen 1 – 2 päivän jaksolle. Hienosuunnitelmat eli työjonot tehdään työvaiheittain, mutta robottisolulle tehdään oma työjono. Porausvaiheelle tehdään konekohtaiset työjonot, kun taas nastoituk-

selle on yksi, prässien yhteinen työjono. Puristukselle on myös yksi työjono, sillä se on tuotannon yhteinen resurssi. Porausvaiheiden suunnitelmat saattavat olla ainoastaan päivänmittaisia, kun taas robottisolun suunnitelma voi olla viikon mittainen. Työnjohtaja tekee hienosuunnitelmat vaiheajojen, käytettävissä olevan kapasiteetin, karkeasuunnitelmien, ja sen hetkisen varastotasojen perusteella. Hienosuunnitelmiin otetaan pääsääntöisesti mukaan ainoastaan vastaanotetut tuotteet, mutta esimerkiksi kiireellisiä asiakastilauksia nostetaan hienosuunnitelmiin, jos niiden tiedetään saapuvan tehtaalle määrättyinä ajankohtana. Asiakastilaukset ovat hienokuormituksessa aina etusijalla ja varasto-ohjatut tuotteet sijoitellaan jäljelle jääneisiin slotteihin, joilla tarkoitetaan valmistuksen kapasiteetin tiettyä aikaväliä työjonossa. Työjärjestystä yritetään optimoida myös asetusajojen minimoimiseksi. Lisäksi hienokuormituksessa huomioidaan, että työpisteet pysyvät sopivasti kuormitettuina. Ainoastaan Haas 1:n, Haas 2:n ja nastoituksen työjonoja päivitetään aktiivisesti tilanteen muuttuessa, sillä ne ovat yleensä tuotannon pullonkaulavaiheita, jolloin muut vaiheet oletetaan tukeviksi työvaiheiksi, joilla on runsaasti kapasiteettia. Työntekijät näkevät ERP:n työjonot työpisteillä sijaitsevilta näyttöpäätteiltä.

### 5.3.4 Vastaanotto ja varastointi

Alihankkijoilta tulevat esikoneistetut avartimet ja lämpökäsittellyt pilotit otetaan vastaan tehtaan päädyssä olevalla vastaanottoalueella. Tuotteilla ei ole määrättyjä hyllypaikkoja vaan kuormalavat laitetaan vapaana olevalle hyllypaikalle tai lattialle. Vastaanoton yhteydessä tehdään ainoastaan silmämääräinen tarkastus, jossa katsotaan, että tuotteita on oikea määrä ja lähetteet vastaavat toimitusta. Työnjohtaja kerää lähetteet myöhemmin ja merkkää toiminnanohjausjärjestelmään aihiot vastaanotetuksi. Asiakastilauksen takana olevat tuotteet kirjataan järjestelmään vastaanotetuksi yleensä saman päivän aikana, koska niillä on tavallisesti kiire edetä prosessissa. Varasto-ohjautuvien tuotteiden kohdalla järjestelmään kirjaus saatetaan tehdä vasta usean päivän päästä vastaanotosta, koska ne ovat yleensä tilattu ennusteen perusteella, ja jos varasto ei ole kulunut, niillä ei ole kiire edetä tuotannossa.

Joitakin esikoneistettuja avartimia pidetään varastossa, vaikka niille ei ole asiakastilauksia, eivätkä ne ole varsinaisesti varasto-ohjautuvia tuotteitakaan. Mallit ovat suuremman kokoluokan avartimia, joille asiakas tavallisesti vaatii nopeaa toimitusta. Näiden mallien alihankintaketju on niin pitkä, että asiakastilauksiin ei kerittäisi reagoimaan ilman puolivalmisteverastoa. Suurin osa avartimista sisältää puristusvaiheen, jossa maakenkä prässätään avartimen ympärille. Maakengät vastaanotetaan koneistettuna ja ne pyritään säilyttämään vastaavien esikoneistettujen avartimien vieressä. Usein maakengät laitetaan kuitenkin kauas vastaavista avartimista.

## 6. VERTAILU PARHAISIIN LEAN-KÄYTÄNTÖIHIN

Diplomityön yhteydessä tehtiin Benchmark-vierailuja kolmeen yritykseen. Vierailujen tarkoituksena oli hakea ideoita soluvalmistukseen ja Lean-tekniikoiden soveltamiseen. Vierailujen kohteina olleet yritykset valmistivat keskenään hyvin erilaisia tuotteita. Tuotteet poikkesivat myös diplomityön kohdeyrityksen tuotteisiin verrattuna, sillä ne sisälsivät huomattavasti enemmän työvaiheita ja ostettavia komponentteja. Yhteistä kaikille yrityksille oli kuitenkin Lean-tekniikoiden soveltaminen tuotantoprosesseissa ja niiden avulla saadut positiiviset tulokset. Benchmarking käynneistä ei juurikaan ollut apua soluvalmistuksen suunnitteluun, mutta ideoita voidaan käyttää tulevaisuuden tilan arvovirran suunnitteluun.

### Yritys A

Yritys A on osa suurta konsernia, jolla on eri liiketoimintayksiköitä. Konsernissa on aloitettu Lean-hankkeet jo 2000-luvun alkupuolella. Vierailun kohteena ollut yksikkö valmistaa suuria projektiluonteisia tuotteita, joiden valmistuksen läpäisyajat ovat useita viikkoja. Yksikössä oli aloitettu Lean-projekti vuonna 2005, jolla saatiin aikaan merkittäviä parannuksia. Vuoteen 2010 mennessä yksikkö oli pystynyt tuplaamaan tuotantonsa, puolittamaan lattiatilantarpeensa ja parantamaan toimitusvarmuuttaan 30 %:sta 96 %:iin. Kokoonpanon läpäisy aika lyhenyi 4 viikosta 5 päivään, lisäksi varaston kierto lähes kolminkertaistui, materiaalikustannukset putosivat 6 %:a ja läheltä piti -tilanteet vähenivät 3,37:sta 0,42 kappaleeseen vuodessa henkilöä kohden.

Lean-hankkeen teknisessä toteutuksessa funktionaalinen layout muutettiin linjamuotoiseksi ja tuotannon virtausta parannettiin. 5S:llä saatiin aikaan merkittävää parannusta etenkin visuaalisuuden ja järjestyksen osalta, mikä vaikutti osaltaan tuotannon tehokkuuteen. Varastojen ja puskureiden koko sekä paikat määriteltiin 5S:n yhteydessä uudelleen. Laadun kehitys ja työtehtävien standardointi oli yksi Lean-hankkeen tärkeimmistä osa-alueista. Sen avulla prosessit saatiin hallintaan ja uusien työntekijöiden koulutus helpottui, kun työtehtävistä tehtiin kuvalliset standardiohjeet. Tilastolliset laadunhallintamenetelmät (SPC) kuuluvat nykyisin yrityksen laadunvarmistukseen, ja jokaisesta projektista löytyy työvaihekohtainen ongelmanseurantataulukko sähköisessä muodossa. Materiaalitoimintoja muutettiin ottamalla käyttöön kaksilaatikkojärjestelmä volyyminimikkeiden kohdalla ja projektiluonteiset osat toimitetaan nykyisin linjalle setteinä ulkopuolisten materiaalin käsittelijöiden toimesta. Projektin yhteydessä tehtiin myös Make or buy -analyysi, jonka seurauksena alihankinnan määrää lisättiin. Tuotannon suunnittelua parannettiin ja otettiin käyttöön 4 viikon rullaava suunnittelujänne.

Yksikössä panostettiin myös Leanin filosofisempaan puoleen ja muutosjohtamiseen. Hankkeen aikana pidettiin runsaasti koulutuksia lattiatasolta johtoportaan ja työntekijöiden tärkeyttä Lean-muutoksessa korostettiin. Organisaatiota muutettiin Leania tukevaksi muun muassa valitsemalla ryhmänvetäjät ja kehityshankkeiden vastuuhenkilöt. Tuotannolle muodostettiin Leania tukeva mittaristo ja visuaalista johtamista parannettiin. Tuotantoon asetettiin visuaalisia tauluja, joissa näkyvät muun muassa työtapaturmat ja 5S-auditointien tulokset. Lisäksi otettiin käyttöön aamupalaverit, joihin osallistuu tuotannon, laadun ja oston edustajien lisäksi johtotason henkilöitä. Palavereissa käydään läpi mittareita, kuten läpäisyaikaa, työtapaturmia ja seurataan tuotannon tilaa. Tuotannon tilasta katsotaan uudet aloitukset, projektien eteneminen ja mahdolliset poikkeamat. Palkkioon perustuvalla aloitejärjestelmällä rohkaistiin työntekijöitä parantamaan prosesseja. Aloitejärjestelmällä on saatu aikaan monia suuria ja pienempiä parannuksia tuotantoprosesseihin. Työntekijöitä kannustetaan myös työtapaturmien ilmoittamiseen tulospalkkaukseen sidotulla palkkiojärjestelmällä.

Lean-projekti lähti liikkeelle johdon tukemana yrityksen strategian pohjalta. Tämän diplomityön kannalta huomattavaa on, että vertailun kohteena ollut yritys käytti myös arvovirta-analyysiä nykytilanteen kuvaamiseen. Nykytilan pohjalta luotiin tulevaisuuden tilan ideallinen arvovirtakuvaus, joka toimi muutosprosessin suunnannäyttäjänä. Arvovirta-analyysien pohjalta valittiin prosessin merkityksellisimmät kehityskohteet, joille määriteltiin vastuuhenkilöt. Tämän jälkeen yksittäisiä prosesseja lähdettiin avaamaan yksityiskohtaisemmin flow-charttien ja visuaalisten ongelmakuvausmenetelmien avulla, jolloin ongelmakohtia on helpompi tarkastella ja kehittää.

## **Yritys B**

Yritys B on myös osa suurta konsernia, jolla on eri liiketoimintayksiköjä. Vierailun kohteena olleessa yksikössä valmistetaan osavalmistuksesta lähtien projektiluonteisia kokoonpanoja, joiden kokoluokka vaihtelee muutamasta sentistä pariin metriin. Pienten kokoluokkien tuotteiden valmistus on erotettu omiin osavalmistussoluihin ja kokoonpanolinjaan. Yksikössä on aloitettu Lean-hankkeet vuonna 2010 virtausprojekteilla, joihin on kuulunut layout-muutoksien lisäksi hyvin laajasti leanin eri tekniikoita. Viimeisin layout-muutos toteutettiin vuonna 2014, minkä seurauksena kokoonpanolinjan läpäisy aika lyheni 75 % ja keskeneräinen tuotanto väheni 60 %. Layout muutos suunniteltiin huolellisesti, ja sen toteuttaminen aiheutti ainoastaan 30 %:n kapasiteetin laskun. Projektin kesto oli myös hyvin hallinnassa, ja se venyi ainoastaan päivän suunniteltuun aikatauluun nähden.

Kohdeyrityksen tuotteet koostuvat kolmesta kokonaisuudesta: venttiilistä, toimilaitteesta ja asennoitimesta. Ennen layout-muutosta kaikki kolme kokonaisuutta valmistettiin ja kasattiin erikseen, minkä jälkeen loppukokoonpano tapahtui kokoonpanolinjalla. Esimerkiksi venttiileiden kasaus oli aikaisemmin järjestetty funktionaalisella periaatteella, jossa tietyt työntekijät kasasivat venttiilit määrättyssä kohdassa hallia. Kesken-

eräistä tuotantoa kerääntyi runsaasti loppukokoonpanon eteen, sillä töiden aikataulutaminen niin, että kaikki kolme kokonaisuutta valmistuvat samaan aikaan oli vaikeaa. Nykyisessä mallissa tehtaan keskelle on sijoitettu ATO-tuotteille supermarket-varasto, joka syöttää kokoonpanolinjaa. Supermarket-varastossa on settejä, joihin kuuluu lopputuotteen kolme suurempaa kokonaisuutta sekä muut tuotespesifit osat. Venttiilit tulevat nykyisin supermarkettiin osissa. Järjestelijät keräävät settien osoitinlaitteet osoitinlaitesolusta, toimilaitteet toimilaitelinjalta ja venttiilien osat, venttiilien osavalmistuksesta. Supermarketissa on settejä kokoonpanolinjalle kahden tunnin tarpeeseen. Kokoonpanolinjan ja supermarketin välissä sekä supermarketin ja osavalmistuksen välissä on Conwip-ohjaus, jolla hallitaan keskeneräisen tuotannon määrää.

Nykyisessä mallissa kokoonpanolinjaan kuuluu myös venttiilien kasaus ja koeponnistus, joka oli aikaisemmin erotettu linjasta funktionaalisesti toimivaksi. Tämän jälkeen venttiili, toimilaitte ja asennoitin kokoonpannaan valmiiksi kokonaisuudeksi, joka menee vielä maalaukseen. Keräilyn alusta maalattuun lopputuotteeseen kuuluva läpäisy aika vaihteli aiemmin 15 – 50 päivän välillä, kun nykyisellä mallilla supermarkettiin tuleva setti on kokoonpantu ja maalattu 4 – 5 päivän sisällä. Yhden setin keräily vie noin 20 minuuttia. Läpäisyajan lyhentymisen lisäksi myös läpäisyajan vaihtelu väheni merkittävästi. Kokoonpanolinjan työntekijöistä koulutettiin moniosaajia, jolloin he hallitsevat useiden venttiilien kasaamisen kokoonpanon ohella. Kokoonpanolinjan häiriöiden ehkäisemiseksi on muodostettu erillinen korjaustyösolu. Soluun siirretään tuotteet, joiden ongelmia ei pystytä ratkaisemaan linjalla 10 minuutin sisällä.

Kokoonpanon tuotannon suunnittelussa on käytössä viikkokohtainen karkeasuunnitelma, johon sovelletaan tasoitetun tuotannon periaatetta. Yritys on määritellyt optimaalisen tuotantojärjestyksen, jota sovitetaan yhteen karkea- ja hienosuunnitelman kanssa. Supermarketin järjestelijät hoitavat hienokuormituksen katsomalla viikkokohtaista tuotantosuunnitelmaa ja sovittavat sitä tasoitetun tuotannon ideaaliseen tuotantojärjestykseen. Näin pyritään kuormittamaan kokoonpanolinjaa optimaalisen tuotantojärjestyksen mukaisesti. Osavalmistuksessa tuotteiden mukana kiertää työkortti, jossa näkyy tuotteen tietojen lisäksi työn aloitus- ja lopetusaika sekä työn tavoitteellinen kesto, eli standardiaika. Töiden suoritus kirjataan ERP:hen viivakoodinlukijan avulla. Töiden kestossa esiintyvän poikkeaman syy merkitään erikseen, jolloin vaiheajoja voidaan korjata tarvittaessa.

Virtausprojekteissa on käytetty spagettikaaviota, jolla kuvattiin vanhan layoutin materiaalivirran ongelmia. Spagettikaavion viivojen paksuudella kuvattiin eri tuotteita, sillä tuotteiden valmistusajat vaihtelevat suuren tuotevariaation vuoksi. Virtautuksen yhteydessä tuotantoa simuloitiin Lean-pelin avulla, joka havainnollisti pullonkaulat ja Conwip-ohjauksen läpäisyajaa lyhentävän vaikutuksen. Pullonkaulavaiheille tehtiin erillinen teollinen koe (DOE), jolla pullonkaulan kapasiteettia onnistuttiin lisäämään 10-kertaisesti ainoastaan työstöarvoja muuttamalla. Yrityksellä on työnaikatutkimukseen erikoistunut ryhmä, joka käyttää vaiheajojen selvittämiseen muun muassa työntekijän

rintaan kiinnitettävää kameraa. Vaiheajat ovat yrityksellä pitkiä, joten työntutkimus on todella aikaa vievä prosessi. Kaikista työvaiheista on tehty standardityökaaviot, joissa on kuvalliset ohjeet työvaiheista. Ohjeissa kerrotaan, mitä tehdään, miksi ja miten. Standardityökaavioita käytetään työn kuvaamisen ja tasapainottamisen lisäksi työn ja tuotteiden hinnoittelun sekä tuotannon suunnittelun tukena.

Tuotannossa on erilaisia visuaalisia tauluja, joihin on muun muassa merkitty magneeteilla työntekijöiden viikkokohtainen allokointi eri työpisteille. Jokaisella työntekijällä on magneetti vuoroa kohden ja työnjohtaja sijoittaa magneetit kapasiteetin ohjaustauluun työpisteiden ja vuorojen kohdalle. Lisäksi tuotannossa on visuaalinen +QDIP-mittaristo. Plus-merkki ja jokainen kirjain kuvastaa mittaria, ja ne on räätälöity työpistekohtaisesti. Plus-merkki kuvastaa työturvallisuutta ja 5S:ää, Q kuvaa laatua, D kuvaa toimitusvarmuutta, I kuvaa inventaariota ja P tuottavuutta. Jokaisella mittarilla on input ja output sekä sanallinen kuvaus siitä, mitä asioita tällä työpisteellä mittari seuraa. Jokaisella mittarilla on viikkokohtainen seuranta, missä mittarin tilaa kuvastaa värikoodi. Jokaisen mittarin kohdalla on myös PDCA-lista, johon laitetaan mittarin arvojen parantamiseksi tehtävissä olevia kehitystoimenpiteitä. Toimenpiteiden edistymistä seurataan värityksellä jokaisen tehtävän kohdalla olevaa PDCA-piirakkadiagrammia tehtävän edistymisen mukaan.

### **Yritys C**

Yritys C on osa suurta konsernia, jolla on eri liiketoimintayksiköjä. Vierailun kohteena ollut yksikkö on metalliteollisuuden yritys, joka valmistaa suurta tuotevariaatiota ATO- ja MTO-periaatteella. Yksikössä on aloitettu vuonna 2007 Lean projektit, joilla on saatu aikaan merkittäviä parannuksia. Suurimmat vaikutukset ovat olleet toimintaan sitoutuneessa pääomassa, toiminnan laadukkuudessa ja asiakaspalvelukyvyssä. Lähtötilanteen suuresta myöhässä olevasta tilauskannasta oli päästy täysin eroon ensimmäisen vuoden aikana. Vuoteen 2015 mennessä toimitusvarmuus oli parantunut tasolta 40% pysyvästi yli 90% tasolle. Vastaavasti varaston kiertonopeus on tuplaantunut, asiakaspalautusten määrä pudonnut 75% ja tapaturmien määrä puolittunut. Lisäksi kahden viimeisen vuoden aikana erään tuotelinjan läpäisyaikaa on onnistuttu pudottamaan noin 50 %.

Yritys soveltaa leania hyvin kokonaisvaltaisesti. Tuotannossa on tehty virtausprojekteja, joihin kuuluvat lähes kaikki leanin tunnetuimmat tekniikat. Myös toimistossa on tehty lean-projekteja, joilla prosessien virtausta on parannettu sekä työtehtäviä ja osamisalueita on selkiytetty. Toimistoprosessien virtausta on parannettu arvovirta-analyysin ja työtehtävien standardoinnin keinoin. Toimistossa on useita visuaalisia tauluja, joissa seurataan systemaattisesti kunkin osaston avainmittareita ja toimitaan niiden parantamiseksi mm. systemaattisen ongelmanratkaisun keinoin.

Kohdeyrityksen tuotteet valmistettiin ennen lean-projekteja funktionaalilla tuotantomuodolla. Funktionaalisen tuotannon ongelmat olivat suuri keskeneräisen tuotannon

määrä, pitkät läpäisyajat ja tuotannon vaikea hallittavuus. Lisäksi usean tuotantovaiheen ongelmana olivat vaiheiden välisten siirtojen tuomat viiveet läpäisyajassa. Funktionaaliseen tuotantoon liittyi myös vahvasti kunkin vaiheen optimointi ilman kunnollista kokonaisuuden tarkastelua. Tämä johti esimerkiksi yksittäisen tuotantokoneen käyttöasteen optimointiin tai taloudellisen eräkoon laskentaan.

Lean-ajattelu on tuonut yksikön tuotantoon kokonaisuuden tarkastelun. Funktionaaliseen tuotannosta on siirrytty asteittain kohti jatkuvan virtauksen prosesseja ja siinä ollaan edetty jo varsin pitkälle. Aiemmin MTO-kappaleiden tuotantoprosessi koostui noin 15 vaiheesta. Nykyisellään samat toimenpiteet tehdään vain viidessä vaiheessa. Tuotanto on tuotteen teknisten vaatimusten vuoksi jaettu edelleen kahteen päävaiheeseen: kokoonpanoon ja koneistukseen. Ohjauksen näkökulmasta tehdas toimii täysin asiakkaan tarpeen perusteella. MTO-tuotannossa kappaleet koneistetaan pieniä varmuusvarastoja lukuun ottamatta täysin asiakkaan tarpeen mukaan, josta tuotteet menevät suoraan kokoonpanoon. ATO-tuotannossa asiakastarve tulee ohjaavana signaalina pelkästään kokoonpanoon. Koneistuksen ohjaussignaali lähtee kokoonpanon supermarket-varastosta. Koneistusta edeltävän raaka-aineen hankinnan ohjaus tapahtuu kanban-signaalien perusteella. Kanban-supermarketien palvelutaso ja pieni varaston määrä on onnistuttu saavuttamaan eliminoimalla asetusajat koneistus-prosesseista ja virtauttamalla muut materiaalin täydennykseen kuuluvat vaiheet.

Kokoonpanosolujen materiaalinhallinta on järjestetty siten, että erilliset järjestelijät keräävät supermarketista kappalekohtaiset osat setteihin ja toimittavat ne kokoonpanosoluihin. Kappalekohtaisia volyyminimikkeitä hallitaan myös kanban-ohjauksella, johon on liitetty viivakoodin lukijalla tehtävät automaattiset ostoehdotukset. Yleisesti kokoonpanoa on volyyminimikkeiden osalta kehitetty erikoistuneiden tuotantosolujen suuntaan, jossa osien täydennykset toimitetaan vastaanotosta suoraan kokoonpanosolun työntekijöiden työskentelyalueelle.

Tuotannossa on käytössä aamupalaverit, jotka pidetään erillisessä visuaalisen johtamisen lean-huoneessa. Huoneessa seurataan visuaalisesti tuotannon tärkeimpiä mittareita ja tuotannon tilaa. Huoneessa on esimerkiksi karkeakuormituslista, jossa tilaukset on järjestetty aloituspäivän mukaiseen järjestykseen. Palaverissa käydään läpi tuotannon tilanne materiaalin saatavuuden, miehityksen ja muiden mahdollisten ongelmien osalta.

Kokoonpanossa työnjohtajat jakavat karkeakuormituslistasta työt eri soluille. Solut hoitavat päiväkohtaisen hienokuormituksen itseohjautuvasti. Hienokuormitusta tehdään solujen välisillä käytävillä sijaitsevilla visuaalisilla tauluilla. Tauluissa vuoron tunnit on jaettu 1-2,5 tunnin aikaväleihin (Pitch interval), joille hienokuormitus tehdään. Taulussa on ilmoitettu aikavälin tuotantotavoite, toteuma ja näiden mahdollinen erotus. Mahdollisen eron selittämiseen ja korjaavien toimenpiteiden ilmoittamiseen on myös erilliset ruudut. Taulussa on myös erikseen määriteltävä aikaväli vuoron lopuksi, jossa jättämä voidaan kuroa umpeen. Visuaalisissa tauluissa on punainen tai vihreä merkki kuvasta-



maan onko aikavälin tuotantotavoite saavutettu. Taulujen hyvän sijoittelun ansiosta työnjohtaja näkee nopeasti, ovatko solut aikataulussa.

Kohdeyrityksessä on suuren tuotevariaation vuoksi paljon eripituisia vaiheaikoja samoille työvaiheille. Vaiheaikoja on kelloitettu ja arvioitu erilaisin menetelmin. Yrityksessä ei käytetä varsinaisia apuaikoja vaiheajoissa. Tämä perustuu siihen, että apuajat peittävät ongelmia. Ilman apuaikoja ongelmat näkyvät heti jättämänä, mikä pakottaa puuttumaan ongelmiin välittömästi. Työtehtävät on standardoitu kuvallisilla standardiohjeilla, joissa on myös tavoiteajat.

Yrityksen Lean-hankkeissa suurimmaksi haasteeksi on koettu muutosjohtaminen. Työntekijöitä on ollut vaikea saada noudattamaan sovittuja uusia standardoituja toimintatapoja systemaattisesti. Tätä on pyritty hallitsemaan systemaattisen johtamisjärjestelmän avulla, johon kuuluu olennaisesti määritellyt vastuuhenkilöt, kuten ryhmänvetäjät, vastualueet sekä säännölliset auditoinnit ja koulutukset.

## 7. VIRTAUKSEN ANALYSOINTI

Teorian mukaan virtaavan tuotannon luomiseksi tuotteet täytyi ryhmitellä virtausta tukevasti. Tässä käytettiin apuna teoriassa esiteltyä ryhmäteknologiaa. Tuoteryhmät pyrittiin valitsemaan siten, että yhden tuoteryhmän tuotteet sisältävät samat työvaiheet ja tuoteryhmän työvaiheet voidaan suorittaa samoilla koneilla. Lisäksi tuoteryhmien muodostamisessa kiinnitettiin huomiota myös volyyymiin. Työssä keskitytään pienen kokoluokan tuotteisiin ja erityisesti avartimiin niiden suuren volyymin vuoksi, mutta haluttiin muodostaa kuitenkin tuoteryhmät, jotka sisältävät kaiken yrityksen tuotannon. Työlle asetettu tavoite volyymin kaksinkertaistumisesta huomioitiin tutkimalla myynnin ja markkinoinnin myyntiennustetta ja ennustamalla kasvua historiatietojen pohjalta.

Kaikille tuoteryhmille tehtiin arvovirran nykytilan kuvaukset, joilla hahmotettiin tuotannon kokonaisvirtaus ongelmiseen ja hukkatekijöineen. Tässä diplomityössä ei keskitytä oman valmistuksen ulkopuolisen prosessin kuvaamiseen, sillä toimitusketjun kuvaaminen kuuluu toiseen kohdeyrityksen teetättämään diplomityöhön.

### 7.1 Ryhmäteknologiaan perustuvien tuoteryhmien muodostus

Tuoteryhmien muodostamiseksi tutkittiin kohdeyrityksen valmistettujen tuotteiden dataa 1.1.2013 - 15.6.2015 väliseltä ajalta. Käytetty data sisälsi muun muassa tuotteiden eräkoot, porauksen ajankohdat ja työpisteet jossa poraus oli suoritettu. Teorian mukaan ryhmäteknologian perustana käytetään tuotantoprosessin tärkeintä tahdistavaa työvaihetta, jonka vaatimusten pohjalta tuoteryhmät muodostetaan. Tällaiseksi työvaiheeksi osoittautui kohdeyrityksen tapauksessa nastareikien poraus. Porauksen vaiheika on pitkä, jolloin poraus muodostaa tuotannon pullonkaulan. Poraukseen käytettävät työstökoneet ovat myös kiinteitä kustannuksiltaan kalliita, mikä tukee niiden valitsemista luokittelun perustaksi. Muut tuotteiden valmistamiseksi tarvittavien työvaiheiden koneet ja laitteet voidaan ajatella tukevin resursseina, joiden kapasiteetin lisääminen tarvittaessa on helpompaa.

Kappaleessa 5 esitettyjen luokitteluiden ja tarkastelujen sekä edellä mainittujen tekijöiden perusteella muodostettiin valmistettujen tuotteiden datasta pivot-taulukko Excel-taulukkolaskentaohjelmaan. Tuotteet järjestettiin taulukkoon seitsemäksi tuoteryhmäksi. Ryhmät valittiin siten, että tietyn ryhmän tuotteet voidaan porata määrättyllä koneella. Ryhmät 1-4 sisältävät avartimet ja ryhmät 5-7 pilotit. Avartimet ja pilotit erotettiin omiksi ryhmikseen niiden erisuurten volyymien ja valmistusvaiheiden poikkeavuuden vuoksi. Tässä luokittelussa varasto-ohjautuvia ja tilausohjautuvia tuotteita ei ole eroteltu omiksi ryhmikseen, sillä ainoa piirre, joka tuotteita erottaa, on ohjausperiaate. Nämä 7

tuoteryhmää voidaan vielä edelleen jakaa ohjaustavan perusteella, jos se katsotaan myöhemmin tarpeelliseksi. Kuvassa 25 on esitetty porausvaiheen mukaan jaotellut tuoteryhmät.

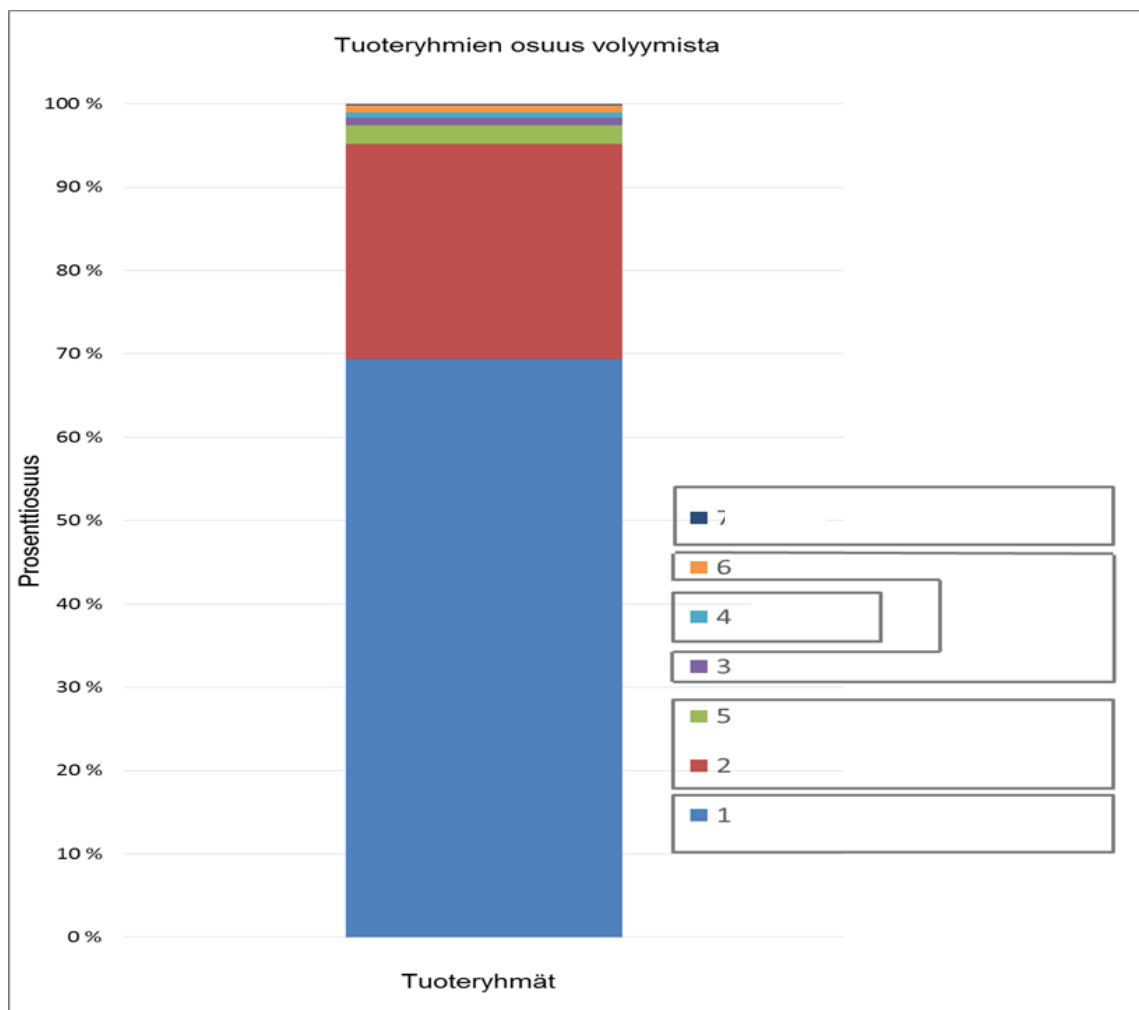
Käytetty raakadata ja Excelissä käsitelty pivot-taulukko sisälsivät yksityiskohtaista tietoa poratuista tuotteista nimike- ja päivätasolla. Kuvassa **Sz**-sarake ilmoittaa tuotteen kokoluokan. **SAC**-sarake kertoo, onko kyseessä varasto vai tilausohjautuva tuote. **Work Center**-sarake kertoo, millä koneella tuotetta on valitun ajanjakson aikana valmistettu. Kokoluokkiin sisältyvien tuotevarianttien suuren määrän vuoksi nimikekohtainen tieto ei mahtunut esitykseen, joten osa kuvan sarakkeista on tyhjiä. Samasta syystä kuvassa ei näy saraketta, joka kertoo, onko kyseessä settimallinen vai irtorengasmallinen avarrin.

Qty		Year	Week					
ryhmä	End	Sz	Item no	SAC	Work center			
						2013	2014	2015
1	APO	0089				3 497	2 400	5 000
		0102				825		
<b>1 Total</b>						<b>4 322</b>	<b>2 400</b>	<b>5 000</b>
2	APO	0102				28	2 416	
		0127				590	566	850
		0152				611	160	30
		0178				505	120	117
		0194				1 001	1 237	374
		0245				745	126	58
		0254				17	3	10
		0267					2	
		0273				1 080	963	540
<b>2 Total</b>						<b>4 577</b>	<b>5 593</b>	<b>1 979</b>
3	APO	0324				487	440	783
		0340				16	76	83
		0356				7	32	4
		0406				190	168	527
<b>3 Total</b>						<b>700</b>	<b>716</b>	<b>1 397</b>
4	APO	0457				737		
		0508				609	28	17
		0559				9	8	3
		0711				42	137	
		0813					21	516
		1016					454	81
<b>4 Total</b>						<b>1 397</b>	<b>648</b>	<b>617</b>
5	PO	0076						12
		0102				27	241	
		0127				172	676	102
		0146					4	
<b>5 Total</b>						<b>199</b>	<b>921</b>	<b>114</b>
6	PO	0152				86	24	460
		0178				33	339	6
		0194				465	842	44
<b>6 Total</b>						<b>584</b>	<b>1 205</b>	<b>510</b>
7	PO	0245				18	450	3
		0254				6	1	1
		0267					1	
		0273				157	71	34
		0340				2	1	2
		0356					8	
		0508				6		
		0660				2		1
		0711					1	
		0813					441	1
<b>7 Total</b>						<b>191</b>	<b>974</b>	<b>42</b>
<b>Grand Total</b>						<b>11 970</b>	<b>12 457</b>	<b>9 659</b>

*Kuva 25: Ryhmäteknologiaan perustuvat tuoteryhmät volyymeineen.*

Tuoteryhmän 1 tuotteet löytyvät myös tuoteryhmästä 2. Tähän on selityksenä se, että ryhmään 1 kuuluvat 10 tuotetta ovat robottisolussa valmistettavia suurivolyymisia tuotteita. Tuoteryhmän 1 pieniä eriä porataan kuitenkin myös Haas 1:llä sen nopeampien asetuksien vuoksi. Kokoluokan 76 – 273 mm avartimet jaettiin kuitenkin kahteen ryhmään myöhemmin tehtäviä arvovirta-analyysseja varten.

Alla oleva kuva 26 havainnollistaa kunkin tuoteryhmän osuuden tehtaan kokonaistuotannosta. Kuvaan on myös merkitty ryhmäteknologian nojalla tuoteryhmälle määritelty työstökone. Tuoteryhmän 1 volyyymi kuvastaa tarkalleen vuoden 2014 aikana robottisolun läpi menneitä volyyymiä. Muiden tuoteryhmien tuotteita on saatettu valmistaa ristiin myös eri koneilla koneiden kuormitustilanteesta johtuen, joten muiden työstökoneiden läpi menneet vuoden 2014 volyymit poikkeavat hieman kuvan osuuksista. Tästä ryhmittelystä voidaan jatkossakin poiketa, jos ryhmälle määritelty kone on hetkittäin ylikuormitettu. Ryhmittelyn mukainen työstökoneen valinta selkiyttäisi kuitenkin virtausta ja helpottaisi tuotannon ohjausta.



**Kuva 26:** Tuoteryhmien poraamisessa käytettävät koneet ja tuoteryhmien osuus kokonaisvolyymista vuonna 2014.

Ryhmittelyihin on valittu kone ja tuotteet siten, että porausvaihe voidaan suorittaa mahdollisimman nopeasti. Haas 1 on esimerkiksi Haas 2:a nopeampi kone, jolloin Haas 1:llä kannattaa valmistaa suurivolyymistä tuoteryhmää 2. Haas 2:lla tosin kappaleen kiinnittäminen voidaan ulkoistaa työkierrosta, mikä hieman tasoittaa vaiheaikojen erotusta. Myöhemmin esiteltävässä vaiheaikojen kellotuksessa todettiin, että Haas 2 on paletinvaihtajasta johtuen noin 70 % hitaampi poraamaan tuoteryhmää 2. Eroa ei saada pienillä tuotteilla kurottua umpeen, vaikka koneen lataus suoritettaisiin työkierron aikana.

## 7.2 Volyymien kehitys tulevaisuudessa

Tuotantojärjestelmää kehitettäessä ja soluvalmistukseen siirryttäessä tulevaisuuden volyymien muutokset ovat tärkeä suunnittelussa huomioitava tekijä. Kohdeyrityksellä on myynnin ja markkinoinnin laatima kasvusuunnitelma, joka on laadittu vuonna 2014 ja ulottuu vuoteen 2017. Kasvuennuste on muodostettu käyttösovellusten mukaan. Tässä työssä tuotteiden luokittelu perustuu kuitenkin ryhmäteknologiaan ja kokoluokkiin, joten kasvuennuste jouduttiin muuttamaan tässä työssä käytettyjen tuoteryhmien mukaiseksi.

Kaivonporaukselle on asetettu 15 000 kappaleen vuotuinen kasvutavoite. Se tarkoittaisi V-, W- ja N-konstruktion tuotteiden osalta 45 000 kpl:n lisäystä vuoden 2014 volyymiin, vuoteen 2017 mennessä.

Tunneliporaukselle on asetettu 6 000 kpl:n vuotuinen kasvutavoite, mikä tarkoittaisi 18 000 kpl:n lisäystä T-konstruktioille vuoden 2014 volyymiin vuoteen 2017 mennessä.

Mikropaalu ja ankkurointiporauksen pienille kokoluokille (114 – 324 mm) on määritetty 18 000 kpl:n lisäys vuodesta 2014 vuoteen 2017. Lisäys koskee V-, W-, WTD-, SE-, N- ja NTD-konstruktioita. Ennuste on valmistuksen kannalta osittain päällekkäinen kaivonporauksen ennusteen kanssa. Ennustettu kasvu koskee lähinnä pieniä kokoluokkia, ja vaikka osa kasvusta osuisi tuoteryhmien 1, 2 ja 5 ulkopuolelle, vaikutus on kuitenkin vähäistä kokonaisuuden kannalta.

Suuren paaluporauksen (356 – 1 219 mm V-, W-, WTD-, SE-, N- ja NTD-konstruktiot) menekin oletetaan pysyvän vakaana tulevat vuodet. Valmistettujen tuotteiden datasta ennustamalla huomataan, että tuoteryhmän 3 volyymin voidaan olettaa kasvavan vuonna 2015 121 %, mikäli loppuvuoden kasvu vastaa vuoden 2014 kasvuvauhtia. Vaikka kasvuvauhti jatkuisi vuoteen 2017, ryhmän 3 kokonaisvolyymi olisi kuitenkin vain 3 313 kpl, vuonna 2017. Tuoteryhmille 4, 6 ja 7 datan tarkastelu ei ennusta merkittävää kasvua, kuten ei myöskään myynnin ja markkinoinnin näkemys.

Eri tuoteryhmien volyymeja ja niiden tulevia muutoksia on tarkasteltu lähemmin liitteessä 1. Liitteen taulukosta havaitaan että myynnin ja markkinoinnin ennustama 81 000

kappaleen lisäys huomioiden vuonna 2017 täytyisi valmistaa yhteensä 100 686 tuotetta. Datasta ennustamalla vuoden 2017 kokonaisvolyymin saadaan 55 128 kpl. Liitteessä 1 on myös tarkasteltu, miten molemmissa tapauksissa volyymin lisäys jakaantuisi 7 tuoteryhmän kesken, vuoden 2014 tuoteryhmien volyymin suhteellisten osuuksien perusteella. Liitteen 1 sarakkeessa ”ennustettu kokonaisvolyymin” on tuoteryhmän 1 kohdalla otettu robottisolun suurin mahdollinen kapasiteetti huomioon. Kapasiteetin ylittävä osuus on siirretty tuoteryhmälle 2. Robottisolun kapasiteetti on esitelty kuvassa 23.

Ryhmä 1 on jo tehokkaan robottisoluvalmistuksen piirissä. Volyymin lisäyksestä (81 000 kpl) kannattaa suunnata robottisolulle mahdollisimman suuri osa. Alla olevassa kuvassa on tarkasteltu kuinka paljon robottisolulla voitaisiin valmistaa tuoteryhmän 1 tuotteita. Tiedot saatiin tarkastelemalla robottisolulla valmistettuja volyymeja aikavälillä 1.1.2014–14.6.2015. Datasta laskettiin viikkokohtaiset volyymin keskiarvot robottisolun ollessa 2 ja 3 vuorossa. Keskiarvoista laskettiin edelleen vuosivolyymin.

2014			2015 (1.1.-14.6.2015)		
Vuorot	2	3	Vuorot	2	3
kpl/vko			kpl/vko		
vaihdot/vko	1,4	1,8	vaihdot/vko	3,0	1,6
kpl/vuosi			kpl/vuosi		

**Kuva 23:** Robottisolun suurin mahdollinen kapasiteetti 2 ja 3 vuorossa, vuosien 2014 ja 2015 valmistusdatan perusteella.

Kuvasta nähdään, että vuonna 2015 robottisolu on toiminut edellisvuotta tehokkaammin. Tätä selittää osittain tuotevaihtojen eli asetusten vähäisempi määrä. Vuoden 2015 volyymin kahdessa vuorossa ei ole kuitenkaan käyttökelpoinen, sillä robottisolu oli vuoden 2015 tarkastelujaksolla vain yhden viikon kahdessa vuorossa. Viikko oli poikkeuksellisen tehokas, vaikka tälle viikolle osui tuotevaihtoja kolme kappaletta. Robottisolun maksimaaliseksi vuosivolyymin tuoteperheelle 1 voidaan näin ollen olettaa 67 662 kpl. Liitteestä 1 nähdään että robottisolulla valmistettiin tuoteperheen 1 tuotteita vuonna 2014 yhteensä 12 346 kpl. Lukujen perusteella voidaan laskea, että robottisolun volyymin olisi mahdollista lisätä 45 316 kappaleella. Tällöin diplomityössä suunniteltavan solun tulisi kyetä myynnin ja markkinoinnin ennusteen perusteella valmistamaan **22 533** kpl ryhmän 2 avartimia ja **6 544** kpl ryhmän 5 pilotteja. Datan analysointiin perustuen vastaavat määrät olisivat 12 547 kpl avartimia ja 2 620 kpl pilotteja. Oletuksena on, että robottisolu valmistaisi maksimivolyymin (37 662 kpl).

Myynnin ja markkinoinnin ennusteen perusteella laskettu solun valmistusmäärä vuodelle 2017 on todella suuri ottaen huomioon, että valmistuksen kokonaiskappalemäärä

vuonna 2014 oli 75 500 kpl. Kasvua edellisestä vuodesta kertyi noin 10 000 kpl, vaikka ennusteen mukainen tavoite olisi ollut 14 600 kpl.

### 7.3 Tuoteryhmien nykytilan arvovirtakuvaukset

Arvovirta-analyysejä tehtiin nykytilan arvovirtakuvauksilla, jotta nähdään missä suurin hukka esiintyy, ja mihin asioihin kannattaa keskittyä virtauksen parantamiseksi. Nykytilan arvovirtakuvauksiin valittiin tuotteet edellisen luvun ryhmäteknologisen luokittelun pohjalta siten, että analyysit sisältävät merkittävän tuotteen jokaisesta 7 ryhmästä. Tällöin jokaisen tuoteryhmän virtaus ja valmistusreitit hahmottuvat visuaaliseen sekä informatiiviseen muotoon.

Tiedot arvovirtakuvauksiin kerättiin erän mukana kulkevalla kaavakkeella. Kaavake asetettiin tuotteiden vastaanoton yhteydessä kuormalavalle, jossa tuote-erä liikkui tuotantoprosessin läpi. Tietojen keräämiseen käytetyt kaavakkeet ovat liitteissä 2 ja 3. Kaavakkeita täyttivät työntekijät ja allekirjoittanut. Kaavakkeeseen merkittiin eräko, työn aloitus- ja lopetusaika päivämäärineen sekä asetuksiin käytetty aika. Tiedoista voitiin määrittää erän työpisteellä viettämä aika, yhden kappaleen vaihe aika työpisteellä, odotusajat, läpäisy aika sekä jalostavan työn osuus läpäisyajasta.

Tietojen täyttäminen oli vaikeaa varsinkin lämpökäsittelyn ja pesun osalta. Välillä lomakkeiden täyttäminen unohtui kokonaan ja täydentäviä tietoja jouduttiin katsomaan toiminnanohjausjärjestelmästä. Lämpökäsittelyssä panoksen kappalemäärä vaihtelee ja samassa panoksessa voi olla useampia tuotteita samaan aikaan. Poraukseen menevällä lavalla saattoi olla usean eri lämpökäsittelypanoksen tuotteita, ja panokset on voitu karkaista usean päivän aikana. Analyysijä tehtäessä oletettiin, että koko lava olisi karkaistu peräkkäisillä panoksilla, jolloin panosten väliin jäivät ajat lisättiin odotusaikaan ennen lämpökäsittelyä. Funktionaalisesta tuotantoprosessista johtuen työntekijät saattoivat vaihtaa työpistettä kesken erän, mutta tätä varten kaavakkeeseen laitettiin ”kommentit” kohta, johon määriteltiin työhön kuulumattomat tehtävät kestoineen. Työhön kuulumattomien vaiheiden merkkäminen oli kuitenkin satunnaista. Tämän vuoksi arvovirtakuvauksien yhden kappaleen vaiheajoja ei voida käyttää tarkemmissa laskelmissa, kuten kapasiteetin määrittämisessä ja solun vaiheajojen suunnittelussa, vaan näitä varten tehtiin teoriassa esitelty työn- ja työnajantutkimus.

Arvovirtakuvauksien tekohetkellä lämpökäsittely, robottisolu, nastoitus ja maalaus olivat pääsääntöisesti kahdessa ja muut työpisteet yhdessä vuorossa. Arvovirtakuvauksissa pyrittiin tutkimaan erää sen suuruisena kuin ne todellisuudessa siirtyivät tuotannossa työpisteeltä toiselle. Keskeneneräisen tuotannon määrä saatiin visuaalisesti laskemalla työpisteille kertyneiden kappaleiden määrä. Yhteisinä resursseina, lämpökäsittelyn, puristuksen ja maalauksen keskeneneräinen tuotanto sisältää kaikilta valmistusreiteiltä tulevia tuotteita.

Arvovirtakuvauksien eräkoissa ja ajoissa ei ole käytetty keskiarvoja, vaan ne ovat tapauskohtaisia tutkitun erän kohdalla toteutuneita arvoja. Joillekin tuotteille tehtiin useampia arvovirtakuvauksia ja tällöin merkittävät vaihteluvälit esimerkiksi odotusajoissa, merkittiin kuvaukseen. Suuria pilotteja valmistettiin pienimmillään 1 kappaleen erissä, kun taas robottisolulle saattoi mennä 500 kappaleen erä. Arvovirtakuvauksien keskenään erisuuruiset eräkoot vaikeuttavat vertailua, mutta tämä kuvastaa hyvin funktionaalisen tuotannon vaihtelevaa luonnetta.

Työntekijät kirjaavat eräkoon sekä työn lopetukset myös ERP:iin. Työn aloitusajankohdasta ei kuitenkaan löydy ERP:stä. Lämpökäsittelylle, maalaukselle ja huuhteluventtiilin asetukselle ei ole myöskään erillisiä työvaiheita, eikä kirjausta välttämättä tehdä reaaliajassa. Kirjallisuudessa kehoitettiin välttämään ERP:n tietojen käyttöä arvovirta-analyyseissä teossa juuri tiedon epäluotettavuuden vuoksi. Nykytilan arvovirtakuvaukset löytyvät liitteistä 4–14.

### **Tuoteryhmä 1 – Robottisolu**

**Liitteiden 4 ja 5** kuvaukset edustavat robottisolun kautta kulkevaa tuoteryhmää 1. Tarkasteltuja tuotteita erottaa koon lisäksi se, että robottisolu ei kykene nastoittamaan toista tuotteista kokonaan valmiiksi, vaan nastoituksessa joudutaan käyttämään lisäksi Prässi 1:stä. Tämä pidentää läpäisyäikää ja aiheuttaa hukkaa, kuten kuljetuksia, liikkumista ja väliavarastointia. Ongelman ratkaisemiseksi on kuitenkin työn kirjoitushetkellä tehty toimenpiteitä. Läpäisy aika on molemmissa kuvauksissa pitkä, jopa 36,7 päivää. Lyhimmillään läpäisy aika oli 2,4 vuorokautta 251 kpl:n erälle. Pitkä läpäisy aika selittyy vastaanoton ja lämpökäsittelyn sekä lämpökäsittelyn ja robottisolun välisellä odotusajalla. Robottisolun eräkoot ovat myös keskimääräistä suurempia pitkän asetusajan vuoksi, mikä heikentää virtausta ja pidentää läpäisyä. Yhden kappaleen arvoa lisäävän ajan osuus läpäisyajasta oli enimmillään 0,1 %.

### **Tuoteryhmät 2 ja 5 – Haas 1**

**Liitteiden 6, 7, 8, 9 ja 12** kuvaukset edustavat Haas 1:llä porattavissa olevia tuoteryhmiä 2 ja 5. Liitteiden 6, 7 ja 9 avartimet ovat settimallisia avartimia, kun taas liitteen 8 avarrin on irtorengasmallinen, eli sen valmistusprosessiin ei kuulu puristusvaihetta. Analyysien eräkoot vaihtelivat 50 – 200 kappaleen välillä. Vertailuryhmän lyhin läpäisy aika 12,1 päivää oli liitteen 8 irtorengasmallisella avartimella, vaikka sen erä koko oli vertailuryhmän suurin, 200 kpl. Yhden kappaleen arvoa lisäävän ajan osuudeksi muodostui 0,2 %. Lyhyt läpäisy aika selittyy puristusvaiheen puuttumisen lisäksi prosessin alkupään nopealla läpäisyllä. Liitteen 8 avarrin porattiin myös ryhmittelystä poiketen hitaammalla Haas 2:lla, mutta sen keskeneräisen tuotannon määrä on pienempi kuin Haas 1:llä, mikä osaltaan selittää ”nopeaa” läpäisyä.



Liitteen 12 DTH-pilotti edustaa tuoteryhmää 5. Pilotteja valmistettiin vain 10 kappaleen erä, mutta läpäisy aika oli kuitenkin 22,9 päivää, koska erä odotti 6 päivää ennen poraukseen siirtymistä. Yhden kappaleen arvoa lisäävä aika oli 0,2 % läpäisystä.

### **Tuoteryhmät 3 ja 6 – Haas 2**

**Liitteen 10 ja 13** arvovirtakuvauksien tuotteet ovat tuoteryhmistä 3 ja 6, jotka suunniteltiin porattavaksi Haas 2:lla. Liitteen 10 irtorengas mallisen, 50 kappaleen avarrinerän läpäisyajaksi saatiin 11,5 päivää, josta myös suurin osa kertyy prosessin alkupäässä ennen porausta. Liitteen 13 eli tuoteryhmä 6 pilottien volyymit ovat jo huomattavasti pienempiä ryhmään 5 verrattuna. Tutkitun pilotin erä koko oli 1, ja se vietiin prosessista kiireellisenä läpi, jolloin se ohitti muita tuotteita. Läpäisy aika oli vain 11 minuuttia, ja arvoa lisäävän ajan osuus jopa 35 %. Pilotin valmistelu noudatteli yksittäisvirtaavan tuotannon periaatteita, mutta hukkaa muodostui kuitenkin kuljetuksista etäällä toisistaan sijaitsevien työpisteiden välillä.

### **Tuoteryhmä 4 – VCH 2**

**Liitteen 11** avarrin kuluu tuoteryhmään 4, joka suunniteltiin porattavaksi VCH 2:lla. Neljän kappaleen läpäisyajaksi saatiin analyysissä 19,9 päivää, joista 4,8 päivää kului alihankintana suoritettavaan hitsaukseen. Tässä kokoluokassa keskeneräinen tuotanto on vähäistä lämpökäsittelyä ja maalausta lukuun ottamatta.

### **Tuoteryhmä 7 – Pora 2**

**Liitteen 14**, eli tuoteryhmän 7 pilotin läpäisy aika oli vain 23 tuntia ja pilotti porattiin Pora 2:lla. Tuoteryhmän 7 pilotit valmistetaan yleensä muutamien kappaleiden erissä tai yksittäin, joten ne mukailevat yksittäisvirtaavaa soluvalmistusta. Hukkaa aiheutuu kuitenkin pitkästä asetusajasta ja siirtelystä etäällä sijaitsevien työpisteiden välillä.

Arvovirtakuvauksista havaitaan, että nykyiseen tuotantoprosessiin sisältyy huomattava määrä hukkaa. Työn arvoa lisäävän ajan osuus kappaletta kohden on keskimäärin vain 0,1–0,2 % pieniä eriä lukuun ottamatta.

## **7.4 Tuotannossa havaitut ongelmat**

Tuotantojärjestelmän ongelmia havainnoitiin arvovirta-analyysien lisäksi myös havainnoimalla tuotantoa ja haastatteleamalla epävirallisesti tuotannon työntekijöitä sekä toimihenkilöitä.

### **Virtaus**

Nykytilan arvovirtakuvauksien perusteella keskeisimpiä ongelmia nykyisessä toimintamallissa on funktionaalisen tuotannon aiheuttama suuri keskeneräisen tuotannon määrä.

Keskeneräinen tuotanto heikentää virtausta, sillä virtaus pysähtyy työpisteille kertyviin välivarastoihin, jolloin läpäisy aika pitenee ja hukka lisääntyy. Keskeneräinen tuotanto vie myös paljon lattia- ja hyllytilaa sekä heikentää tuotannon visuaalisuutta. Suurimmat välivarastot kerääntyvät porauksen, puristuksen ja maalauksen eteen, mikä näkyi arvovirta-analyyseissä odotusaikana. Suuri osa omavalmistuksen läpäisyajasta muodostui juuri vastaanoton ja lämpökäsittelyn välillä. Kesällä 2015, arvovirta-analyysessä tehtäessä, maalausvaiheessa oli kahden kesätyöntekijän ansiosta runsaasti kapasiteettia. Normaalitylanteessa tuotteet odottavat 1-2 päivää maalaukseen pääsyä

Toinen keskeinen ongelma on tuotannon funktionaalisuudesta johtuva valmistusreittien monimutkaisuus. Teoriassa käsiteltiin virtauksen kannalta tärkeää prosessin visuaalisuutta ja läpinäkyvyyttä. Nyt useat valmistusreitit ja etäällä toisistaan sijaitsevat työpisteet aiheuttavat virtauksen risteilemistä tehtaassa lattialla, jolloin valmistusreittien hahmottaminen on hankalaa.

Hukkaa aiheutuu myös kuljetuksista työpisteiden välillä ja ylimääräisestä tekemisestä, kuten kappaleiden kuivauksesta paineilmalla. Myös maalausvaiheessa tehtävistä ylimääräisistä kappaleen käännoistä ja maalin kuivumisen odottelusta aiheutuu hukkaa. Kappaleiden ja työkalujen etsiminen ja noutaminen aiheuttaa puolestaan tarpeetonta liikkumista.

Suuret eräkoot ovat myös ongelmallisia, sillä ne pidentävät läpäisyajaa ja lisäävät keskeneräistä tuotantoa. Asiakastilauksiin reagointi on vaikeaa, kun läpäisy aika on pitkä. Tällöin uudet tilaukset joudutaan sijoittamaan työjonossa kauas, ellei niitä valmisteta kiireellisinä jo suunnitellun tuotannon ohi. Eräkokoja pienentämällä ja välivarastot poistamalla tuotannon läpäisyajaa voitaisiin lyhentää ja myös ohjaus sekä suunnittelu helpottuisivat. Asiakastilaukset voitaisiin viedä prosessista nopeammin läpi ja sijoittaa hienosuunnitelmiin nykyistä aikaisemmin, jos suunnitteluajajänne olisi lyhempi. Eräkokojen pienentäminen edellyttää asetusaikojen lyhentämistä, mikäli tuotannon suoritusteho halutaan säilyttää.

Arvovirta-analyyseissä havaittiin, että tehtaassa sisäisestä läpäisyajasta keskimäärin noin 0,2 % on asiakkaalle arvoa lisäävää aikaa, loppu läpäisyajasta oli luvussa 2.2 esiteltyä välttämätöntä tai poistettavissa olevaa hukkaa. Suurin osa läpäisyajasta muodostuu erien odotusajoista. Työpisteiden sisällä tapahtuvaa hukkaa on myös runsaasti, mikä voidaan todeta vertailemalla arvovirtakuvauksissa saatua yhden kappaleen valmistamiseen kuluvaan aikaan luvun 9.2 prosessitutkimuksen avulla kelloitettuun yhden kappaleen aikoihin. Arvovirtakuvauksissa saadut ajat ovat poikkeuksetta pitempiä, koska kuvauksien yhden kappaleen ajat laskettiin jakamalla erän viemä aika kappalemäärällä.

### **Tuotannon ohjaus ja suunnittelu**

Useat ohjauspisteet yhdistettynä pitkään läpäisy aikaan vaikeuttavat tuotannon ohjausta ja suunnittelua. Nykyisessä funktionaalisessa toimintatavassa luotettavan työjonon

suunnitteleminen on vaikeaa. Työjärjestyksiä joudutaan muuttamaan kiiretilausten ja aihoiden väärän saapumisjärjestyksen vuoksi jatkuvasti. Tämä kerryttää edelleen keskeneräistä tuotantoa, sillä työjärjestyksen muuttaminen pidentää jo aloitettujen erien läpäisyä, kun kiireellisempi erä ohittaa jo aloitetun tuotannon.

Tuotannonohjaus vaatii paljon resursseja, kun ohjauspisteille joudutaan suunnittelemaan omat työjonot. Toisaalta nykytilanteessa kaikilla työpisteillä ja työvaiheilla ei ole omaa työjonoa, vaan esimerkiksi lämpökäsittelyssä työt suoritetaan muiden työpisteiden hienosuunnitelmien, lähetylistan ja varastotasojen perusteella. Koska lämpökäsittelylle ei ole myöskään suoritetuksi kuitattavaa työvaihetta ERP:ssä, porauspisteillä ei nähdä järjestelmästä, mitä tuotteita on karkaistuna. Lämpökäsittelyn työjärjestyksen suunnittelussa ja kuormituksessa työn suorittajalla on suuri vastuu. Työnjohtaja avustaa lämpökäsittelyn kuormituksessa ja välittää tiedon valmistuvista tuotteista porauspisteille. Ohjauksessa korostuu työnjohtajan suullisesti välittämä tieto. Lämpökäsittelyyn ja maalaukseen ollaan työn kirjoitushetkellä lisäämässä omia työjonoja.

Lämpökäsittelyn jälkeisillä työpisteillä on omat työjonot ja kuitattavat työvaiheet maalausta ja huuhteluventtiilin asennusta lukuun ottamatta. Yleensä poratut tuotteet menevät FIFO-periaatteella nastoitukseen, mutta aina ei toimita näin. Porauksen jälkeisillä työpisteillä saatetaan vielä muuttaa järjestystä kiireellisyyden mukaan, mikä aiheuttaa keskeneräisen tuotannon kasvua ja läpäisyajan vaihtelua. Koska maalauksella ei nykytilanteessa ole omaa työjonoa, eikä vaihetta merkitä suoritettuna työvaiheena ERP-järjestelmään, huolitsijat ja myynti eivät näe järjestelmästä, ovatko tuotteet täysin valmiita vai odottavatko ne keskeneräisinä vielä maalausta tai huuhteluventtiilin asennusta. Tuotteet näkyvät puristuksen tai konstruktiosta riippuen jo nastoituksen jälkeen järjestelmässä valmiina, vaikka todellisuudessa maalaus saatetaan suorittaa vasta muutaman päivän päästä.

Karkea- ja hienosuunnittelu perustuu kellotettuihin vaihe aikoihin. Vaihe aikojen kellokukset on suoritettu aikanaan työntekijöiden itsensä mittaamina ja mittaustavoissa on ollut vaihtelua. Diplomityön yhteydessä tehdyssä työajan tutkimuksessa saatiin huomattavasti vanhoista vaihe ajoista poikkeavia, lähinnä lyhempiä vaihe aikoja, jolloin tuotannon suunnitteluun syntyy virhettä. Työpisteiden kuormituksen ja työjonon suunnittelu on ongelmallista myös sen vuoksi, että työntekijät ovat monitaitoisia ja jättävät välillä työn kesken hoitaakseen muita tehtäviä välissä. Toimintatapa on joustava, mutta erien läpäisy aikojen arviointi on hankalaa, jos eriä ei valmisteta kerralla valmiiksi. Tietty erä voidaan viedä tuotannosta läpi nopeasti, mutta samalla rinnakkaiset työt hidastuvat. Työntekijät kokivat myös kiireestä johtuvan työtehtävien jatkuvan vaihtamisen stressaavana.

Kesän 2015 alussa varasto-ohjattavien tuotteiden lopputuotevarastot hupenivat nopeasti, jolloin varastotasojen hälytysrajat antoivat impulssin tilata useita eri varastotuotteita samanaikaisesti. Tilaukset lähetettiin alihankintaan, missä oli poikkeuksellisen paljon

kapasiteettia, jolloin esikoneistettuja aihioita saapui lyhyen ajan sisällä suuri määrä. Tästä aiheutui vastaanoton varastojen täyttyminen, mikä heikensi varaston visuaalisuutta ja nosti varastoihin sitoutuneen pääoman määrää. Tuotannon ohjauksessa unohdettiin oman tuotannon läpäisykyky, mutta toisaalta haluttiin myös varautua tuleviin kesäloimiin.

### **Vastaanotto ja varastointi**

Vastaanottovaraston ja porauksen väliset läpäisyajat vaihtelivat suuresti arvovirtakuvausissa, mikä johtui osittain FIFO-periaatteen noudattamatta jättämisestä ja osittain esikoneistettujen avartimien ja pilottien ottamisesta vastaanottoon ilman oman valmistuksen läpäisykyvyn huomioimista.

Toinen ongelma on vastaanottovaraston sekava järjestys. Vastaanotettuja tuotteita ei kirjata tietyille hyllypaikoille, eikä niitä järjestetä saapumisjärjestyksen tai koon mukaan. Toiminnanohjausjärjestelmä ei myöskään anna ajan tasalla olevaa tietoa siitä, mitä aihioita on vastaanotettu vastaanotettujen kirjauksessa esiintyvän viiveen vuoksi. Lämpökäsittelijä ei voi luottaa ERP:n tietoihin vastaanotetuista tuotteista vaan joutuu usein tarkistamaan visuaalisesti, mitä tuotteita on vastaanottovarastossa.

Toimitusten lähetystiedoissa saattaa myös esiintyä puutteita, jolloin lämpökäsittelijälle ja työnjohtajalle syntyy ylimääräistä selvitystyötä. Toimitukset menevät sekaisin ulkoistetussa lämpökäsittelyssä, missä eri tuotteita pakataan samoille lavoille, ja lisäksi suuret toimitukset saattavat olla usealla lavalla. Kuvat ja lähetteet voivat olla väärillä lavoilla, kuvat voivat puuttua kokonaan tai joukossa on ylimääräisiä kuvia. Välillä on myös osatoimituksia, jolloin tuotteiden järjestäminen yhteen paikkaan on hankalaa. Oman lämpökäsittelyn jälkeen avartimet saattavat mennä vielä takaisin vastaanottovarastoon odottamaan poraukseen pääsyä. Pääsääntöisesti vastaanotetut avartimet lämpökäsittelään heti niiden saavuttua. Lämpökäsitellyt avarrinlavat saattavat olla esikoneistettujen avarrinlavojen seassa, jolloin porari joutuu etsimään haluamansa avarrinlavan vastaanottovarastosta ja välillä myös siirtelemään lavoja pois tieltä.

Alkukesästä 2015 tapahtunut vastaanottovaraston täyttymisen seurauksena lavoja jouduttiin säilyttämään hyllyjen lisäksi lattialla sekavassa järjestyksessä. Lavoja oli päällekkäin ja peräkkäin siten, että ei ollut varmuutta siitä, mitä tuotetta lavat sisälsivät. Lisäksi jouduttiin luopumaan FIFO-periaatteesta (engl. First in first out) ja lämpökäsittelyyn laitettiin aina lähinnä oleva lava haluttua tuotetta. Varastoinnissa ei normaalitilanteessakaan noudateta täysin FIFO-periaatetta, sillä tavaraa vastaanotettaessa sitä ei merkitä määrätulle hyllypaikalle eikä lavalle jää aina merkintää saapumispäivästä, jolloin tiettyä lavaa ei voida jäljittää. FIFO-periaatteen puuttuminen havaittiin arvovirta-analyyseissä todella pitkinä läpäisyaikoina ja läpäisyajan suuressa vaihtelussa. FIFO-periaatteen puuttuminen aiheuttaa ongelmia myös reklamaatiotapauksissa, sillä ei ole varmaa tietoa, mikä alihankkija on toimittanut esikoneistetut tuotteet ja milloin.

## 8. TULEVAISUUDEN TILAN ARVOVIRRRAN SUUNNITTELU

Tulevaisuuden tilan arvovirran muodostamiseksi, valittiin tuoteryhmät, joilla on suurin kehityspotentiaali. Tuoteryhmille laskettiin takt-aika, jota voitiin käyttää apuna tulevaisuuden tilan arvovirran tahtiajan määrittämisessä.

Tulevaisuuden tilan arvovirtakuvaukseen muodostettiin konseptitason suunnitelma, joka sisältää valmistusprosessin lisäksi, tuotannon ohjauksen ja suunnittelun. Valmistusprosessi muutettiin funktionaaliseen soluperiaatteella toimivaksi, jolloin luvussa 7 havaittuihin virtauksen ongelmiin on mahdollista saada selvää parannusta.

### 8.1 Oikean tuoteryhmän valinta

Kohdeyrityksen tuotteiden ja valmistusjärjestelmän analyysin sekä arvovirtakuvauksien perusteella tulevaisuudentila päätettiin muodostaa tuoteryhmille **1**, **2** ja **5**. Ryhmä **1** esiintyy ainoastaan laajemmassa tulevaisuuden tilan arvovirtakuvauksessa, joka on konseptitason suunnitelma tuoteryhmille **1**, **2** ja **5**. Ryhmä **2** edustaa 76 – 273 mm avartimia ja ryhmä **5**, 76 – 146 mm pilotteja. Kuvan 22. avulla havaittiin että nämä kaksi tuoteryhmää kattavat noin 58 % volyymista vuoden 2014 valmistettujen datan perusteella. Kun tähän lisätään robottisolun ryhmä **2**:n kanssa limittyvä ryhmä **1**, volyymista on katettu jo noin 98 %. Ryhmät **1**, **2** ja **5** sisältävät myös noin 80 % yrityksen tuotevariaatiosta. Robottisolun tuoteryhmän **1** virtaus on jo ennestään melko hyvä, joten tuoteryhmien **2** ja **5** virtauksen parantaminen koettiin tärkeäksi.

Teorian mukaan tuoteryhmän valmistamisessa on etuja verrattuna yhden tuotteen valmistamiseen. Kun valmistetaan vain yhtä tuotetta, kysyntä saattaa vaihdella voimakkaasti, kun taas useamman eri lopputuotteen valmistaminen samassa solussa tasoittaa solun tuoteryhmän kokonaiskysynnän vaihteluita. Liiallista tuotevariaatiota kannattaa välttää, sillä se lisää asetusten ja ongelmien määrää. Tuoteryhmät **2** ja **5** sisältävät puolet yrityksen tuotevariaatiosta, mutta vaikka tuotteita jätettäisiin solun ulkopuolelle, jouduttaisiin solusta jätetyille tuotteille kuitenkin tekemään samat asetukset funktionaalisen tuotannon puolella.

### 8.2 Takt-ajan määrittäminen tahdistavalle työvaiheelle

Takt-ajan merkitystä ja sen laskemista käsiteltiin luvussa 4.4. Luvussa 7.2 selvitettiin solun suunnittelussa huomioon otettava volyymien odotettu kasvu. Tahdistavan työvai-

heen takt-ajan laskemiseksi tuoteryhmille 2 ja 5 täytyy selvittää tahdistavan työvaiheen kapasiteetti eli käytettävissä olevien työtuntien määrä vuodessa. Luvussa 7.1 porauksen todettiin olevan tahdistava työvaihe. Tahdistavan työvaiheen kapasiteettia tarkasteltiin Excel-taulukkolaskentaohjelmassa. Tehdystä Excel-tarkastelusta on esitetty tärkeimmät tiedot liitteessä 17. Ensimmäiseksi selvitettiin porausvaiheen käytössä oleva tuotantoaika vuodessa. Tuoteryhmien 2 ja 5 poraamiseen sopivat koneet ovat Haas 1 ja Haas 2. Koneiden vuosittaisena työaikana päädyttiin käyttämään 245 tuotantopäivää, mikä ottaa lomien lisäksi huomioon huollot ja mahdolliset tuotantokatkokset. Haas 1 ja 2 ovat pääsääntöisesti toimineet yhdessä vuorossa, mutta volyymien tulevan kasvun vuoksi laskelmissa käytettiin kahta ja kolmea vuoroa. Vuorokohtaisen efektiivisen koneajan laskemiseksi selvitettiin tuoteryhmien 2 ja 5 keskimääräiset eräkoot vuosilta 2013–2015 ja keskimääräinen asetusaja. Keskimääräisen asetusajan ja eräkoon sekä vuoden 2017 oletetun volyymin avulla laskettiin vuoron käytössä oleva efektiivinen porauksen käytössä oleva aika. Haas 1:n ja Haas 2:n asetuksiin ja huoltoihin käytettyä aikaa voidaan pitää samoina, joten koneille voidaan tehdä yksi yhteinen laskelma. Näillä tiedoilla laskettiin erilaisia skenaarioita takt-ajalle vaihtamalla keskimääräistä eräkokoja, asetusajaa ja volyyymiä. Liitteessä 16 on esitetty työn kannalta merkityksellisimmät vaihtoehdot.

Myynnin ja markkinoinnin vuodelle 2017 ennustaman volyymin mukaan laskettu takt-aika 3 vuorolla, vuoden 2015 keskimääräisillä eräkoilla ja 30 minuutin keskimääräisellä asetusajalla antoi takt-ajaksi **129** sekuntia tuoteryhmälle 2. Tuoteryhmien 2 ja 5 yhdistetyksi takt-ajaksi saatiin **135** sekuntia.

Datasta ennustettua vuoden 2017 volyymiä käyttämällä vastaavilla eräkoilla ja asetuksilla, mutta 2 vuorossa saatiin ryhmän 2 takt-ajaksi **254** sekuntia. Ryhmien 2 ja 5 yhdistetyksi takt-ajaksi saatiin **217** sekuntia.

Takt-aikaa ei voida kohdeyrityksen kausivaihtelusta johtuen pitää samana läpi vuoden, joten selvitettiin vielä sesonkikuukausien takt-ajat. Laskelmat löytyvät liitteestä 18. Laskelmissa skaalattiin vuoden 2014 sesonkikuukausien valmistusvolyymiä molempien, vuoden 2017 ennusteskenaarioiden mukaisiksi. Myynnin ja markkinoinnin ennusteeseen perustuvaksi sesonkikuukausien takt-ajaksi saatiin **108** sekuntia (ryhmä 2) ja **139** sekuntia (ryhmä 2 + 5). Datasta ennustettua kysyntää käyttämällä sesonkikuukausien takt-ajaksi saatiin **327** sekuntia (ryhmä 2) ja **299** sekuntia (ryhmä 2 + 5).

Takt-ajan laskemisessa on monta muuttujaa ja säädettävissä olevaa tekijää. Asetusaikojaa voidaan esimerkiksi lyhentää ja eräkojoja voidaan muuttaa, mikä vaikuttaa asetuksiin menevään aikaan. Työvuorojen määrän muuttaminen vaikuttaa myös takt-aikaan. Volyymit voivat myös olla vuonna 2017 täysin odotetusta poikkeavat. Toisin kuin tässä diplomityössä, Rother (2001) ei huomioi tahdistavan työvaiheen asetuksia takt-ajan laskemisessa. Asetusten huomiotta jättämien vähentää laskuihin vaikuttavia muuttujia, mutta samalla se pidentää takt-aikaa. Rother (2001) huomioi tämän asettamalla tahdistajan, takt-aikaa lyhemmäksi. Tässä työssä lasketut takt-ajat antavat kuitenkin vertailu-

kelpoisemman ajan virtauksen suunnitteluun, koska Rother (2001) olettaa asetuksiin käytettävän verrattain vähän aikaa.

### 8.3 Tulevaisuudentilan arvovirtakuvaus

Liitteessä 15 esitellään tulevaisuuden tilan arvovirtakuvaus tuoteryhmille 2 ja 5. Arvovirtakuvauksessa on pyritty ratkaisemaan tuoteryhmien 2 ja 5 nykytilan kuvauksessa havaitut ongelmat ja hukkaa aiheuttavat tekijät. Keskeisimmät ongelmat olivat pitkä ja vaihteleva läpäisy aika, keskeneräinen tuotanto sekä heikko ja ei visuaalinen virtaus. Ongelmien juurisyyt ovat ratkaistavissa teoriassa esitellyllä soluvalmistuksella ja muuttamalla ohjausperiaatetta. Teoriaosuudessa todettiin solun positiiviset vaikutukset läpäisy aikaan, keskeneräiseen tuotantoon, tilan tarpeeseen, visuaalisuuteen ja tuotannon suunnitteluun sekä ohjaukseen. Myös laadun ja työturvallisuuden todettiin parantuvan sekä tuotannon suunnittelun ja ohjattavuuden helpottuvan. Tulevaisuuden tilan arvovirtassa käsitellään myös robottisolun ohjausta, sillä robottisolussa valmistetaan tuoteryhmän 2 kanssa päällekkäisiä tuotteita, ainoastaan suurempina erinä. Robottisolun huomiointiseksi muodostettiin myös laajempi arvovirtakuvaus, joka on esitetty liitteessä 16.

Arvovirta-analyysin teoriassa todettiin, että arvovirtaa voidaan pilkkoa pienempiin osiin, jolloin kehittämien helpottuu. Tulevaisuudentilan arvovirtakuvaukset toimivat konseptitason suunnitelmina tarkemmille kehitystoimenpiteille. Läpäisyajan todettiin muodostuvan pääasiassa prosessin alkupäässä. Tätä voidaan välttää alkupään tuotantoa rajoittamalla. Alkupään tuotannon ongelmat liittyvät kuitenkin ohjauksen lisäksi hyvin vahvasti alihankintaketjun haasteisiin, joita tarkastellaan toisessa diplomityössä. Tästä syystä tulevaisuudentilan kehityksen pääpaino on liitteeseen 15 kuvatun solun suunnittelussa.

Tulevaisuudentilan arvovirtakuvauksessa tuoteryhmille 2 ja 5 ei ole vielä tarkalleen tiedossa, mitä koneita ja laitteita solun muodostamisessa käytetään. Tässä vaiheessa ei vielä tiedetä, paljonko tarvitaan henkilö- ja konekapasiteettia. Näihin asioihin keskitytään myöhemmin luvussa 9. Oletetun kysynnän ja porauksen kapasiteetin avulla laskettiin jo edellä takt-aika, joka kertoi, millaiseen tahtiaikaan solun tulisi kyetä. Tulevaisuudentilan arvovirtakuvauksessa solun tahtiaikana käytettiin myynnin ja markkinoinnin vuoden 2017 ennusteen perusteella laskettua takt-aikaa. Näin ollen tuoteryhmien 2 ja 5 yhdistetyksi solun keskimääräiseksi tahtiajaksi valittiin 185 sekuntia eli 3,1 minuuttia. Asetusajaksi valittiin, takt-ajan laskennassa käytetty 30 minuuttia ja keskimääräiseksi eräkooksi 65 kappaletta. 65 kappaleen keskimääräinen erä koko ja 30 minuutin asetusaika vievät 10 % tahdistavan työvaiheen, eli porauksen kapasiteetista. Tätä pidettiin kirjallisuudessa hyväksyttävänä arvona. **Tulevaisuudentilan arvovirtakuvauksen mukaisella prosessilla tuoteryhmien 2 ja 5 läpäisy aika lyhenee 12 – 16 päivästä 4,1-4,2 päivään, eli noin 70 %.**

Asetusajan lyhentäminen on oleellista soluvalmistukseen siirryttäessä. Arvoja voidaan vielä myöhemmin muuttaa, kuten porauksen kapasiteettiakin. Muutoksia voidaan tehdä oikeanlaisen tahtiajan saavuttamiseksi, kun tiedetään, minkälaisiin vaihe aikoihin solu kykenee. Esimerkiksi eräkokojen pienentäminen lisää asetuksiin käytettyä aikaa, jolloin koneen efektiivinen kapasiteetti vähenee. Tästä seuraa tuotantomäärän lasku, ellei asetusajoja kyetä nopeuttamaan, tai kapasiteettia kasvattamaan samassa suhteessa.

### 8.3.1 Virtauksen luominen solun ja FIFO-linjan avulla

Kun tuotantoprosessi on virtaava, ~~tällöin~~ tuotantosuunnitelmia ja kuormitustarkasteluja ei tarvita jokaiselle työvaiheelle. Tämä ratkaisee useiden ohjauspisteiden ongelman. Virtaavassa solutuotannossa työntekijöiden ei myöskään tarvitse vaihtaa työtehtäviä satunnaisesti, vaan solulla työskentelevät henkilöt tekevät töitä solussa ennalta määrätyn ajan. Soluvalmistus helpottaa myös myyntiä ja huolitsijoita. Solusta valmistuneet tuotteet merkitään järjestelmään täysin valmiina, eikä jää epäselvyyttä siitä, täytyykö tuotteet vielä maalata ja huuhteluventtiilit asentaa.

Nykytilassa havaittiin, että työvaiheet suoritetaan erisuuruksille tuote-erille kaukana toisistaan sijaitsevilla työpisteillä, joiden väliin kertyy runsaasti keskeneräistä tuotantoa. Tulevaisuudentilan yksittäisvirtauksella toimiva solu, joka käsittää kaikki työvaiheet porauksesta maalaukseen, poistaa keskeneräisen tuotannon soluun kuuluvilta työvaiheilta ja lyhentää siirtomatkoja. Solusta ylävirtaan oleva lämpökäsittely jätettiin solun ulkopuolelle. Kohdeyrityksessä on aikaisemmin selvitetty lämpökäsittelyn toteuttamista yhden kappaleen erissä induktiosilmukan avulla, jolloin lämpökäsittely voisi olla solun ensimmäinen työvaihe. Tähän liittyi kuitenkin useita ongelmia, joten lämpökäsittely päätettiin pitää eräperustaisena prosessina, jonka liittämistä soluun voidaan tutkia myöhemmin.

Lämpökäsittelyä ei voitu sisällyttää solun työvaiheeksi, mutta lämpökäsittely olisi voitu liittää virtaukseen teoriassa esitellyn FIFO-linjan avulla. FIFO-linja kulkisi lämpökäsittelyn läpi ja jakaantuisi lämpökäsittelyn jälkeen kahtia. Toinen osa linjaa menisi robottisolulle ja toinen suunniteltavalle solulle. Lämpökäsittelypanoksissa voisi olla useampia eri tuotteita samanaikaisesti, ja ne jaettaisiin FIFO linjan haarakohdassa robottisolulle ja suunniteltavalle solulle. FIFO-linja rajoittaisi solujen edessä olevaa puskuria ja estäisi tuotantojärjestyksen muuttamisen lämpökäsittelyn jälkeen. Tällöin myös lämpökäsittely toimisi ainoana ohjauspisteenä soluille. Pilotit ovat kuitenkin ongelmallisia, koska niitä ei lämpökäsittelä talon sisällä. Pilotit voitaisiin syöttää soluille lämpökäsittelyn ohi suoraan FIFO-linjan haarakohtaan. FIFO-linja voitaisiin toteuttaa maalaamalla haluttu määrä lavapaikkoja solujen eteen. Lavoja ei tarvitsisi liikuttaa solujen edessä olevalla FIFO-linjalla, vaan linjajärjestys voitaisiin pitää laittamalla lavaa indikoivat työkortit FIFO:n mukaiseen järjestykseen ja ottamalla linjasta aina kortin indikoima lava. Tällöin lämpökäsittelystä eteenpäin olisi virtaus eli tuotanto toimisi itseohjautuvasti ilman työjärjestyksen muutoksia. Virtaus ei olisi optimaalinen lämpökäsittelyn ja solun välissä FIFO-



linjan keskeneräisen tuotannon vuoksi, mutta tasainen puskuri huolehtisi siitä, että tahdistavalla vaiheella eli solulla riittää jatkuvasti työtä.

### 8.3.2 Tuotannon ohjaus

Virtaavan tuotannon teorian mukaan ohjauspiste on yleensä tahdistava työvaihe ja tuotannon tulee virrata ohjauspisteestä alavirtaan. Edellisen luvun FIFO-linja olisi mahdollistanut lämpökäsittelyn käyttämisen ainoana ohjauspisteenä 98 %:lle tuotantoa, tosin pilotit olisi jouduttu viemään linjaan lämpökäsittelyn jälkeen. Poraus on kuitenkin tällä hetkellä tuotannon tahdistava eli kapasiteettia rajoittava työvaihe. Poraus kuuluu tulevaisuuden arvovirtakuvauksessa soluun, jolloin teorian mukaan solua tulisi käyttää prosessin ohjauspisteenä. Lämpökäsittelyn käyttäminen ohjauspisteenä olisi ollut ongelmallista myös sen eräperustaisen tuotannon ja pitkän vaiheajan vuoksi.

Tuotannon ohjaus voitaisiin toteuttaa liitteissä 15 ja 16 kuvatun mukaisesti. Liitteiden tuotantoprosessissa MRP tekee tuotannon hienosuunnitelman varastotasojen ja asiakastilausten perusteella. Työnjohtaja tarkistaa suunnitelman ja tekee korjauksia tarvittaessa. Hienosuunnitelmassa olisi tilausohjautuvat ja varasto-ohjautuvat tuotteet. Tilausohjautuvat tuotteet muodostavat tuotantosuunnitelman rungon. MRP laskee tahtiajan eräkoon ja toimituspäivän perusteella sekä aloitus- ja lopetusajankohdat tilausohjatuille tuotteille. MRP ja työnjohtaja täyttävät tilausohjautuvien väliin jäävät tyhjät slotit varasto-ohjatuilla tuotteilla, samaa periaatetta noudattaen. Tällöin muodostuva hienosuunnitelma huomioi samalla solujen kapasiteetin.

Ohjausperiaatetta voidaan kutsua tarveimuksi, jossa valmistetaan lyhyeen tuotantosuunnitelmaan perustuen varastotasojen ja asiakastilauksien muodostamaan tarpeeseen. Ohjauspisteinä toimisivat prosessin tahdistavat työvaiheet eli solut, joista eteenpäin tuotanto virtaisi ilman erillistä ohjausta. Varasto-ohjautuvat tuotteet menisivät solun jälkeen valmiiden tuotteiden supermarket-varastoon ja tilausohjautuvat suoraan lähetykseen.

Alihankintaa ohjattaisiin varastotuotteiden osalta ennusteisiin ja varastotasoihin perustuen ottaen solujen kapasiteetit huomioon. Tavoitteena olisi tilata oikea määrä oikeaan aikaan tasoitetun tuotannon periaattein. Alihankinnasta ei käytännössä kyetä tilaamaan oikeaan aikaan ja tarpeeseen, sillä alihankinnan läpäisy aika on pitkä ja tarpeet muuttuvat päivittäin, minkä vuoksi tarvitaan supermarket-varasto lämpökäsittelyn ja solun väliin. Vastaanotetut avartimet lämpökäsitteläisiin välittömästi, minkä jälkeen ne menisivät supermarketiin, odottamaan soluille pääsyä. Pilotit menisivät vastaanotettuina suoraan supermarketiin. Lämpökäsittelyn jälkeisen supermarketin ja solujen välissä olisi Conwip-ohjaus, jossa solulle menevä erä odottaa vuoroaan Conwip-ruudussa.

### 8.3.3 Tuotannon tasoittaminen ja varastointi

Suurien erien valmistus on näennäisesti tehokasta ja asetusaikojen merkitys pienenee. Kuten teoriassa todettiin, suuret erät aiheuttavat kuitenkin varastotason kasvua. Lopputuotevaraston kokoa voidaan pienentää tasoitetun tuotannon periaatteella. Jos kyetään valmistamaan eri tuotteita pienissä erissä lyhyellä läpäisyajalla, voidaan varastoja täyttää tasaisesti ja varastojen muutokseen voidaan reagoida nopeasti. Tasoitettua tuotantosuunnitelmaa tehtäisiin oman tuotannon kapasiteettiin perustuen ja saman tuotantosuunnitelman perusteella tilattaisiin myös alihankinnasta. Tasoitetun tuotannolla periaatteella pyrittäisiin alihankinnan osalta tiettyyn tilausjärjestykseen ja mahdollisimman pieniin sekä tasaisiin eräkokoihin. Määrätyn tilausjärjestyksen ansiosta oman tuotannon lämpökäsittelyn jälkeisessä supermarketissa ei tarvitsisi pitää kaikkia variantteja, vaan solut noudattaisivat samaa valmistusjärjestystä alihankinnan toimitusten kanssa. Solujen hienosuunnitelmassa voidaan vielä tehdä muutoksia ja jättää esimerkiksi MRP:n ehdottamat muutamien kappaleiden erät välistä ja tarkistaa tilanne seuraavassa suunnitelmassa. Alihankkijoille lähetettävää tasoitettua tuotantosuunnitelmaa säädettäisiin lämpökäsittelyjen supermarketin ja valmistuotevaraston tasojen mukaan. Tasoitetun tuotantosuunnitelman työjärjestys voisi perustua optimaaliseen vaihtojärjestykseen, jolloin asetusaikoja saataisiin minimoitua.

Tilausohjattuja tuotteita tilattaisiin alihankinnasta karkeasuunnitelman mukaan. Ne menisivät vastaanoton jälkeen myös suoraan lämpökäsittelyyn. Jos tilausohjatut saapuvat juuri oikeaan aikaan, ne voidaan ottaa suoraan solulle, kun ne muuten odottaisivat seuraavaa vapaata Conwip-slottia soluja edeltävässä välivarastossa.

Fyysisen kanban-imun toteuttaminen valmiiden tuotteiden supermarketista lämpökäsittelyjen supermarketiin olisi ongelmallista, koska kanban ei ota huomioon sitä, että solussa valmistetaan myös tilausohjautuvia tuotteita. Suuressa tilauspiikissä kanbanit laukeavat jälkijättöisesti MRP-perustaiseen ennakoivaan ohjaukseen verrattuna. Toisaalta, jos solussa valmistettaisiin vain varasto-ohjautuvia tuotteita, ja tuoteryhmien 2 ja 5 asiakasohjautuvat tuotteet menisivät funktionaalisen tuotannon kautta, niin silloin solujen ohjauksessa voitaisiin käyttää kanbankortti-imua. Suuriin, ennalta tiedossa oleviin, varasto-ohjauksen piirissä olevien tuotteiden kysyntäpiikkeihin voitaisiin kanban-ohjauksessa varautua lisäämällä kanbaneita järjestelmään etukäteen. Tämä olisi kuitenkin työläs menettely ja vaatisi jatkuvaa kanban-korttien määrän säätämistä.

Lopputuotevarastosta lähtevää imua ei voi nykyisellä alihankintaketjun läpäisyajalla jatkaa myöskään solua edeltävästä supermarketista alihankintaan asti ilman tuotantosuunnitelmia. Solua edeltävän supermarketin pitäisi sisältää kaikkia tuotteita noin kuu-kauden kulutukseen, jolloin varaston koko kasvaisi. Toisaalta jos asiakas suostuu odottamaan tuotteita muutaman päivän, lopputuotevarasto voitaisiin poistaa kokonaan ja valmistaa pelkästään tilauksesta, lämpökäsittelyn jälkeisestä supermarketista.

Tasoitettu tuotantosuunnitelma helpottaa erityisesti alihankkijoita, sillä materiaaleja voidaan tilata jo ennakkoon, kun tiedetään, mitä valmistetaan ja missä järjestyksessä. Alihankkijoille lähetettävän tuotantosuunnitelman pituus ei saa olla kovin pitkä. Kun tuotantosuunnitelma lähetetään alihankkijoille, alihankkijat tilaavat materiaalit, jolloin suunnitelman muuttamisesta kesken jakson seuraa ongelmia alihankkijoille. Jos tuotantosuunnitelma on esimerkiksi viikon mittainen, ja lopputuotevarastotasoissa tapahtuu tänä aikana odottamatonta laskua, niin seuraavan jakson tuotantosuunnitelmassa voidaan ottaa tämä huomioon. Kun työjärjestys tiedetään ennalta, myös oman tuotannon kuormitustarkastelun ja karkeasuunnitelman tekeminen helpottuu, kun on olemassa optimaalinen työjärjestys ja eräkoot, joiden pohjalta tuotantoa suunnitellaan.

Supermarket-varasto, jossa jokaiselle tuotteelle on merkityt hyllyvälit, parantaa varaston visuaalisuutta ja järjestystä. Suurivolyymiset tuotteet sijoitettaisiin alahyllyille ja pienivolyymiset ylös. Tilausohjatuille tuotteille määriteltäisiin tietty väli hyllystä, jolloin ne ovat helposti löydettävissä. Vastaanottotarkastuksen yhteydessä vastaanottaja kirjaisi tuotteet puskurivarastoon esimerkiksi tablettitietokoneen avulla, jolloin lämpökäsittelijä näkee ERP:stä, mitä tuotteita on tullut.

Tässä diplomityössä ei oteta kantaa siihen, miten lähetettävä tuotantosuunnitelma jaetaan alihankkijoiden kesken. Alihankkijalle voidaan lähettää tuotantosuunnitelma, joka sisältää varasto-ohjatut ja asiakasohjautuvat tuotteet, tai asiakasohjautuvat tuotteet voidaan tilata eri alihankkijoilta kuin varasto-ohjautuvat.

### **8.3.4 Tuotannon ohjauksen ja tasoittamisen visualisoiminen**

Tuotannon ohjauksen visualisointi voitaisiin toteuttaa yksinkertaisella kanban-työkalulla. Työkalulla olisi valmis matriisiruudukko. Vaaka-akselilla olisivat työpäivän kellonajat esimerkiksi puolen tunnin tarkkuudella. Pystyakselilla olisivat ensin varastotuotteet tasoitettujen tuotannon mukaisessa järjestyksessä ja heti niiden alapuolella olisivat tilausohjautuvat tuotteet. Valmistusajankohta ja määrä merkittäisiin matriisiin.

Matriisissa näkyisi myös tuotteen valmistusreitti eli meneekö tuote robottisolun vai suunniteltavaan soluun. Järjestelijä eli esimerkiksi lämpökäsittelyä hoitava henkilö täyttää solujen Conwip:a kanban-työkalun mukaan. Soluissa otettaisiin Conwip:sta aina seuraava työ, jolloin solun ei tarvitse huolehtia ohjauksesta. Visuaalisen työkalun tulisi sijaita kuitenkin niin, että solujen työntekijät näkevät mitkä, ovat tuote-erien tavoiteajat. Teoriassa tavoiteaikaan työskentelemisen todettiin nostavan työtehhoa.

Kanban-työkalun tietoja päivittäisi työnjohtaja ERP:n antamien signaalien perusteella. Työkalu voitaisiin toteuttaa myös sähköisesti asettamalla ohjauspisteeseen tussityökalun sijasta näyttöpäätte. Näyttöpäätteitä voitaisiin asettaa tuotantoon useampia. Työnjohtaja

voisi päivittää taulua omalta tietokoneeltaan. Jos vaiheajat tiedetään tarkasti ja soluissa päästään haluttuihin vaiheaikoihin, kanban-taulun tuotantosunnitelman tekoa voitaisiin automatisoida.

Työtehtävien jako voidaan myös hoitaa yksinkertaisella, magneettitaululla kuten benchmarkingyritys B:n tapauksessa. Miehitystaululla olisi matriisi, jossa vuorojen kellonajat ovat vaaka-akselilla ja työtehtävät pystyakselilla. Jokaisella työntekijällä olisi omanväriset magneetit, joita työnjohtaja asettaa taululle työtehtävien ja kellonaikojen mukaan. Tämä olisi yksinkertainen visuaalinen tapa ilmoittaa työntekijöiden vastuualueet. Vastuualueet voisivat vaihtua tilanteen mukaan, jolloin joustavuus säilytetään, mutta työntekijät tietäisivät ainakin päivän eteenpäin tulevat työtehtävänsä.

### 8.3.5 Solujen ulkopuolinen tuotanto

Liitteissä 15 ja 16 esitellyn tulevaisuuden tilan ulkopuolelle jää yli 146 mm pilotit ja yli 273 mm avartimet. Ulkopuolelle jäävän tuotannon osuus on vuoden 2014 volyymejä tarkasteltaessa vain 2 %. Solujen ulkopuolelle jäävän tuotannon kapasiteetti voidaan porauksen ja muiden työvaiheiden konekapasiteetin osalta todeta riittäväksi. Solujen ulkopuolinen tuotanto sitoo kuitenkin henkilöresursseja. Solujen ulkopuolisen funktionaalisen tuotannon henkilöresurssien kapasiteettitarpeen määrittäminen on tämän diplomityön puitteissa liian työlästä, sillä solujen ulkopuolelle jää noin 20 % tuotevariaatiosta. Solujen ulkopuolelle jäävien tuotteiden vaiheajat vaihtelevat huomattavasti, eivätkä ne ole tarkasti tiedossa. ERP:stä voitaisiin selvittää karkeasti historiallinen henkilöresurssien tarve solujen ulkopuolisille tuotteille, mutta sitä ei tämän työn puitteissa kuitenkaan tehty.

Solussa käytettävää porausvaiheen konetta ei ole vielä päätetty, sillä HAAS 2:lla voidaan porata samat tuotteet kuin HAAS 1:llä. Tämä mahdollistaa sen, että solun ulkopuolista konetta voidaan käyttää myös solun kapasiteetin tasaamiseen, jos solua on tarve ylikuormittaa tai jokin tuote-erä joudutaan viemään tuotannosta läpi kiireellisenä. Tämä helpottaa solujen tuotannon tasoittamista ja kiiretilauksilla ei tarvitse sekoittaa solujen tuotantoa.

Lämpökäsittely voi muodostua pullonkaulaksi tuoteryhmien 2 ja 5 kasvaessa, sillä lämpökäsittely on yhteinen resurssi myös solun ulkopuolisen tuotannon kanssa. Lämpökäsittelyn kapasiteetti tulee selvittää tarkasti, sillä nykytilassa uunin kapasiteetti on todettu riittäväksi eikä sille ole juuri tehty kuormitustarkastelua. Tuotannon kasvaessa lämpökäsittely alkaa kuitenkin todennäköisesti rajoittaa tuotantoa. Kun tuotanto suunnitellaan solujen kapasiteettien mukaan, uunista saattaakin tulla pullonkaula, eikä tuotannon suunnittelu solun kapasiteetin perusteella enää onnistu.

## 9. SOLUN SUUNNITTELU

Solun suunnittelu on hyvin iteratiivinen prosessi, mikä vaikeuttaa johdonmukaisesti etenevän raportin kirjoittamista. Solun suunnittelu on kirjoitettu siten, että laajemmista kokonaisuuksista edetään tarkemmalle tarkastelutasolle. Todellisuudessa tässä diplomityössä on tehty useita asioita samanaikaisesti ja työn aikana tehtyjen havaintojen perusteella on jouduttu palaamaan välillä taaksepäin. Tulevaisuudentilan arvovirtakuvauksessa tuoteryhmät 2 ja 5 suunniteltiin valmistettavan solussa. Tuoteryhmien oletettu kysyntävauhti eli takt-aika asetti vaatimukset tahtiajalle, johon solun tulisi kyetä. Seuraavaksi suunnitellaan solu, joka pystyy valmistamaan tuoteryhmiä 2 ja 5 halutussa tahtiajassa.

### 9.1 Solun tarvitsemat työvaiheet ja laitteet

Teoriaosuudessa todettiin, että solun tulisi sijaita tuotannon loppupäässä siten, että solun jälkeen ei ole virtausta katkaisevaa funktionaalista toimintaa. Tämän vuoksi soluun valittiin kaikki tuoteryhmien 2 ja 5 valmistamisessa tarvittavat työvaiheet porauksesta alavirtaan. Kuvasta 27 nähdään tuoteryhmille 2 ja 5 muodostuvan kolme erilaista työvaihekombinaatiota. SE-avartimille ja TH-piloteille tehdään samat työvaiheet, mutta niiden soritustapa ja työn suorittamisessa käytettävät laitteet poikkeavat toisistaan.

Konstruktio		Avartimet				
W, V, T WTD, NTD, N	1	Poraus	Pesu	Nastoitus	Puristus	Maalaus
SE	2	Poraus	Pesu	Nastoitus	Maalaus	
		Piloit				
Kaikki DTH:t	3	Poraus	Pesu	Nastoitus	Maalaus	Huuhteluventtiilin asennus
Kaikki TH:t	2	Poraus	Pesu	Nastoitus	Maalaus	

**Kuva 27:** Solun tuoteryhmien 2 ja 5 valmistamiseksi tarvittavat työvaiheet.

Seuraavaksi valitaan solun työvaiheiden suorittamiseen soveltuvat laitteet. Laitteiden valinta perustuu tuotantojärjestelmän esittelyyn (luku 5.4) ja luvun 9.2 prosessitutkimukseen.

#### Poraus

Tuoteryhmien 2 ja 5 porausvaihe voidaan suorittaa Haas 1:llä tai Haas 2:lla. Haas 2 kykenisi poramaan myös tuoteryhmät 3 ja 6. Haas 2:ta ei kuitenkaan kannata valita soluun ilman, että solussa valmistettaisiin myös tuoteryhmiä 3 ja 6, koska Haas 2 on tehokkain

kone ryhmille 3 ja 6. Haas 2 todettiin myös seuraavassa luvussa esiteltävän työn ja työnajan tutkimuksen perusteella Haas 1:tä noin 70 % hitaammaksi koneeksi. Haas 2 on myös kooltaan suurempi, jolloin solun koko kasvaisi. Tuoteryhmien 3 ja 6 valmistuksessa jouduttaisiin lisäksi työterveyslaitoksen suosituksen mukaan käyttämään nostoapuvälineitä. Tuoteryhmien 3 ja 6 ottaminen soluun kasvattaisi myös huomattavasti tuotevariaatiota, minkä seurauksena asetusten määrä solussa lisääntyisi.

### **Pesu**

Yrityksen funktionaalisen tuotannon käytössä olevat pesurit eivät nykyisellään sovellu yksittäisvirtaavaan soluvalmistukseen. Luvussa 5.4.1 kerrottiin, että tuotteet pestään 1-100 kappaleen erissä ja arvovirtakuvauksista nähdään, että pesuvaiheen kesto on noin 12 minuuttia, mikä on selvästi yli solun tahtiajan. Tuoteryhmän 2 ja 5 kohdalla keskimääräinen pesuerän koko on noin 20 kappaletta, ja yhden kappaleen peseminen ei olisi järkevää myöskään energian kulutuksen vuoksi. Yrityksellä on robottisolun käytössä yhden kappaleen pesemiseen suunniteltu pesuri, joka kykenee 90 sekunnin vaiheaikaan. Vastaavaa pesuria voidaan käyttää suunniteltavassa solussa.

### **Nastoitus**

Luvussa 5.4.1 esitetyistä kuvista 19 ja 20 nähdään, että tuoteryhmälle 2 ja 5 voidaan käyttää prässejä 1 ja 2. Tuoteryhmät 3 ja 6 vaatisivat huomattavasti isommat ja hitaammat prässit 3 ja 4. Tämä tukee tuoteryhmien 2 ja 5 valitsemista soluun, mutta myös Haas 1:n valitsemista porausvaiheeseen. Prässeillä tehtävä kovametallinastojen kiinnitys suoritetaan nykyisessä funktionaalisessakin tuotannossa yksi kappale kerrallaan. Avartimien nastoitus tehdään kuitenkin kahdessa vaiheessa Prässillä 1 ja pilotin nastoittaminen yhdessä vaiheessa Prässillä 2. Avartimien nastoituksessa molemmille työvaiheille tarvitaan omat eräkohtaiset asetukset. Tämän vuoksi Prässejä 1 tarvitaan soluun 2 kappaletta, jolloin vaiheet voitaisiin suorittaa peräkkäin virtauksen aikaansaamiseksi. Ryhmän 5 pilottien nastoitukseen valitaan Prässä 2. Nastoitusta voitaisiin tehdä myös yrityksestä löytyvällä käsinastoittajalla. Sitä ei kuitenkaan valita soluun luvussa 9.2 esitettävien perustelujen vuoksi.

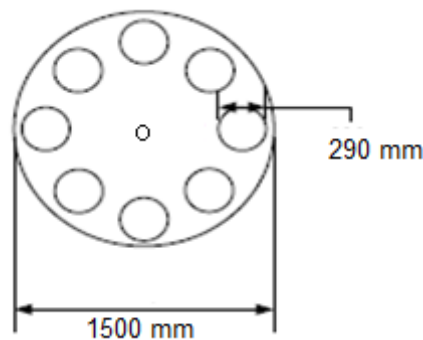
### **Puristus**

Puristaminen on nopea, yhdelle avartimelle kerrallaan tehtävä työvaihe. Haasteena on puristimen käyttö tuoteryhmien 1, 2, 3 ja osittain ryhmän 4 puristettavien avartimien yhteisenä resurssina. Kirjallisuuden mukaan yritykset kuitenkin jakavat usein resurssija solun ja funktionaalisen tuotannon kesken. Resurssien jakaminen todettiin kirjallisuustutkimuksessa myös yhdeksi merkittäväksi haasteeksi soluvalmistukseen siirtymiselle.

Puristusvaihe on todella nopea, jolloin puristinta voidaan käyttää solussa esimerkiksi kahdessa vuorossa ja funktionaalisessa tuotannossa yhdessä vuorossa. Kapasiteettitarastelussa täytyy vielä myöhemmin selvittää kapasiteetin riittävyys.

## Maalaus

Luvussa 5.4.1 kerrottiin, että maalausta tehdään nykyisin erissä melko tehottomasti. Nykytilan arvovirtakuvauksista kuitenkin huomattiin, että yhden kappaleen maalaamisen tahtiaika on selvästi solulta vaadittavaa tahtiaikaa lyhempi. Solussa tapahtuvaa yhden kappaleen maalausta varten tehtiin hahmotelma yhden kappaleen maalaamiseen soveltuvasta telineestä. Teline on esitetty alla olevassa kuvassa 28. Maalaustelineessä on laakeroitu kehä, jossa on pienempiä pyöriä lautasia. Pilotti tai avarrin asetetaan pyörivälle lautaselle, jossa se voidaan maalata. Pilotteja varten pienten lautasten keskellä on tappi, joka uppoaa pilottiin huuhtelukanaavaan. Pilotti pysyy tällöin pystyssä nuppi ylöspäin, jolloin maalikerros voidaan maalata pilottia kääntämättä. Pilotteihin maalataan pohja- ja pintamaali, joten ne kiertäisivät telineessä kaksi kierrosta.



*Kuva 28: Yhden kappaleen maalaamiseen soveltuva maalausteline.*

## Huuhteluventtiilin asennus

Huuhteluventtiili joudutaan asentamaan ainoastaan tuoteryhmän 5 DTH-piloteille, joita on solun kokonaisvolyymista noin 2 %. Huuhteluventtiili voitaisiin asentaa ryhmän 5 pilottien nastoitukseen käytettävällä Prässi 2:lla muutamia ryhmän suurimpia pilotteja lukuun ottamatta. Prässi 2:n liikematkaa voidaan kuitenkin pidentää pienillä muutoksilla, jolloin se soveltuu kaikkien ryhmän 5 pilottien huuhteluventtiilien asentamiseen.

Solun toiminta pyritään pitämään mahdollisimman yksinkertaisena, käyttämällä ihmis-työvoimaa ja helposti hallittavia laitteita. Näin voidaan madaltaa soluvalmistukseen siirtymisen kynnyksiä, vähentää investoinneista syntyviä kustannuksia sekä parantaa solun toimintavarmuutta ja joustavuutta.

## **9.2 Solun standardityön määrittäminen**

Edellisessä luvussa perusteltiin soluun valittuja työvaiheita ja laitteita. Eri työvaihe-kombinaatioita todettiin olevan 3. Tarkemmassa tarkastelussa todettiin kuitenkin, että kombinaatioissa 2 pilotti ja avartimet nastoitetaan eri tavoin ja eri laitteella. Alla olevissa kuvissa 29–32 on kuvattu standardityön muodossa 4 työvaihejärjestystä, jotka vaaditaan tuoteryhmän 2 avartimien ja ryhmän 5 pilottien valmistamiseksi. Standardityökaavioi-

hin on merkitty ainoastaan manuaalisen työn suoritus, johon kuuluu muun muassa koneen käynnistäminen ja lataaminen.

Standardityökaavioissa ei oteta vielä kantaa siihen, miten työvaiheet ja työn elementit jaetaan operaattorien kesken. Kaavioihin on kuvattu ainoastaan manuaalisen työn elementit, jotka täytyy suorittaa yhden kappaleen valmistamiseksi. Kaavioiden yläreunaan on merkitty, sopiiko kyseinen standardityökaavio avartimille vai piloteille. Lisäksi avartimet on jaettu vielä konstruktion mukaan ja pilotit vasaran mukaan.

<b>Standardityökaavio: SOLU Avarrin (W, V, T, WTD, NTD, N)</b>		
<b>Työvaiheet</b>	<b>Työjärjestys 1</b>	<b>Työn elementit</b>
<b>Poraus 1</b>	Ota kappale lavalta, aseta leukoihin ja käynnistä kone	
	Poista kappale koneesta	
<b>Pesu 2</b>	Laita kappale pesuriin ja käynnistä pesu	
	Ota kappale pesusta ja siirrä pöydälle	
<b>Nastoitus 3</b>	Ota kappale pöydältä ja aseta jigiin	
	Nastoita ulkokehä	
	Siirrä kappale toiseen jigiin	
	Nastoita sisäkehä	
	Siirrä nastoitettu avarrin pöydälle	
<b>Puristus 4</b>	Ota kappale pöydältä, maakenkä lavalta ja aseta leukoihin	
	Purista maakenkä avartimen ympärille	
	Aseta kappale maaluspöydälle	
<b>Maalaus 5</b>	Ota spraypullo, maalaa setti ja kierrä maalaustelineen kehää	
	Kiinnitä tuotetarra valmiiseen kappaleeseen ja laita lavalle	

*Kuva 29: Standardityökaavio työjärjestykselle 1.*

<b>Standardityökaavio: SOLU Avarrin (SE)</b>		
<b>Työvaiheet</b>	<b>Työjärjestys 2</b>	<b>Työn elementit</b>
<b>Poraus 1</b>	Ota kappale lavalta, aseta leukoihin ja käynnistä kone	
	Poista kappale koneesta	
<b>Pesu 2</b>	Laita kappale pesuriin ja käynnistä pesu	
	Ota kappale pesusta ja siirrä pöydälle	
<b>Nastoitus 3</b>	Ota kappale pöydältä ja aseta jigiin	
	Nastoita ulkokehä	
	Siirrä kappale toiseen jigiin	
	Nastoita sisäkehä	
	Siirrä nastoitettu avarrin pöydälle	
<b>Maalaus 4</b>	Ota avarrin pöydältä, aseta maaluspöydälle	
	Ota spraypullo, maalaa kappale ja kierrä maalaustelineen kehää	
	Kiinnitä tuotetarra valmiiseen kappaleeseen ja laita lavalle	

*Kuva 30: Standardityökaavio työjärjestykselle 2..*



Standardityökaavio: SOLU Pilotti (Kaikki DTH)		
Työvaiheet	Työjärjestys 3	Työn elementit
Poraus 1	Ota kappale lavalta, aseta leukoihin ja käynnistä kone	
	Poista kappale koneesta	
Pesu 2	Laita kappale pesuriin ja käynnistä pesu	
	Ota kappale pesusta ja siirrä pöydälle	
Nastoitus 3	Ota kappale pöydältä ja aseta jigiin	
	Aseta aluslaatat reikiin	
	Nastoita pilotti	
	Siirrä nastoitettu pilotti pöydälle	
Maalaus 4	Ota pilotti, aseta maalauspöydälle ja ota spraypullo	
	Maalaa pohjamaali ja käännä maalaustelineen kehää	
	Maalaa pintamaali ja nosta pöydälle	
Huuhteluventtiilin asennus 5	Ota pilotti lavalta ja aseta prässille	
	Ota huuhteluventtiili ja prässää pilottiin	
	Kiinnitä tuotetarra pilottiin ja nosta lavalle	

*Kuva 31: Standardityökaavio työjärjestykselle 3.*

Standardityökaavio: SOLU Pilotti (Kaikki TH)		
Työvaiheet	Työjärjestys 4	Työn elementit
Poraus 1	Ota kappale lavalta, aseta leukoihin ja käynnistä kone	
	Poista kappale koneesta	
Pesu 2	Laita kappale pesuriin ja käynnistä pesu	
	Ota kappale pesusta ja siirrä pöydälle	
Nastoitus 3	Ota kappale pöydältä ja aseta jigiin	
	Aseta aluslaatat reikiin	
	Nastoita pilotti	
	Siirrä nastoitettu pilotti pöydälle	
Puristus 4	Ota pilotti, aseta maalauspöydälle	
	Ota spraypullo maalaa pohjamaali ja kierrä maalaustelineen kehää	
	Maalaa pintamaali ja nosta lavalle	
	Kiinnitä tuotetarra lavalla olevaan kuivaan pilottiin	

*Kuva 32: Standardityökaavio työjärjestykselle 4.*

Standardityökaavioihin voitaisiin liittää kuvalliset tarkat ohjeet töiden suoritustavasta ja lisätä tavoiteajat. Näin voitaisiin yhtenäistää työskentelytapoja ja vähentää manuaalisen työn ajallista vaihtelua.

### 9.3 Prosessitutkimus vaiheajojen selvittämiseksi

Solun suunnittelemiseksi täytyy tietää myös solussa valmistettavien tuotteiden työvaiheiden ja työn elementtien ajallinen kesto. Solun suunnittelua varten suoritettiin diplo-

mityöhön soveltuva yhdistelmä kirjallisuuslähteistä löydetyistä työn- ja työnajantutkimusmenetelmistä, joka muistuttaa Rotherin (2001) prosessitutkimusta. Työntutkimusta ja työnajantutkimusta (jatkossa prosessitutkimus) suoritettiin rinnakkain kevään 2015 aikana. Prosessitutkimus aloitettiin selvittämällä edellisessä luvussa kuvatut työvaiheet ja työn elementit. Koska samaa työvaihetta suoritettiin eri koneilla ja laitteilla riippuen kappaleen koosta, konstruktiosta ja siitä, oliko kyseessä avarrin vai pilotti, prosessitutkimuksessa tutkittiin lähes kaikkia työpisteitä.

Prosessitutkimus sisälsi työntutkimuksen, missä kuvattiin työn sisältö. Työn sisältö jaettiin edelleen työn elementteihin. Työn elementeille kelloitettiin työnajantutkimuksen mukaisesti, elementtien ajallinen kesto. Työn elementteinä käytettiin teorian mukaisesti pienintä osaa työstä, joka voidaan järkevästi antaa työntekijän suoritettavaksi. Prosessitutkimuksessa havaittiin operaattorien suorittavan myös työn elementteihin kuulumattomia työtehtäviä, kuten etsimistä, liikuttelua ja kappaleiden järjestelyä. Nämä työtehtävät kestoineen kirjattiin ylös, kuten kirjallisuudessa suositeltiin, mutta niitä ei kuitenkaan laitettu edellisen luvun standardityökaavioihin. Työn elementteihin kuulumattomat työtehtävät ovat joko hukkaa, jota yritetään poistaa, tai työn suorittamisen kannalta välttämätöntä hukkaa, mikä pyritään ulkoistamaan solusta. Prosessitutkimuksen aikana tehtiin myös muistiinpanoja työn suoritustavasta ja pohdittiin tehokkaampia työskentelytapoja. Tärkeä prosessitutkimuksessa käytetty menetelmä oli operaattorin ja koneen suorittaman työn erottaminen. Tällöin solu voidaan suunnitella linkitetyn solun periaatteen mukaisesti, jolloin operaattori hoitaa muita työtehtäviä koneen työkierron aikana.

Teoriaosuuden pohjalta muodostettiin prosessitutkimuksessa käytetyt kaavakkeet, jotka on esitetty liitteissä 19–24. Kaavakkeet räätälöitiin työvaiheen ja tutkittavan tuotteen mukaan ja niitä korjattiin iteratiivisesti tutkimuksen edetessä. Kaavakkeesta selviää työpisteen, koneen ja tuotetietojen lisäksi suorituspäivä, kellonaika ja työvaihetta suorittanut operaattori. Porausvaiheen kaavakkeeseen merkittiin myös lastuamisarvot, joita käytettiin myöhemmin esiteltävässä lineaariregressiossa. Kaavion ”Huomiot”-sarakkeessa kuvailtiin työn suoritusastapaa ja tehtiin parannusehdotuksia. ”Kesto”-sarakkeeseen kirjattiin sekuntikellolla mitattu työn elementin kesto. Työn elementtien mittaamisessa käytettiin aina johdonmukaisesti samaa mittaustapaa, eikä mittaussuunnitelmia muutettu työn aikana. Koneen suorittama työ on merkitty myös työn elementtinä, mutta se on selkeästi erotettu manuaalisesta työstä. Prosessitutkimuksen kaavakkeilla tutkittiin lisäksi asetusten sisältöä ja kestoja.

Prosessitutkimuksen alussa työn elementin aika mitattiin kymmenen kertaa, vaihtelun havaitsemiseksi. Normaali ajaksi valittiin aina otosjoukosta työn elementin lyhin toistuva aika, jolloin ei käytetty erillistä joutuisuuskerrointa. Koneen suorittamaa työn elementtien eli vaiheajan mittaaminen kymmeneen kertaan havaittiin kuitenkin turhaksi, sillä koneen vaiheajaksi pysyi lähes vakiona. Tällaisiksi vaiheajoiksi tunnistettiin porauksen, pesun ja puristuksen vaiheajat, joita ei työn edetessä mitattu kuin 1-2 kertaa per prosessitutkimus.

Solun suunnitteluun ryhdyttiin sen virtausta ja läpäisyä parantavan vaikutuksen vuoksi, joten yksittäisvirtauksen aikaansaaminen ohjasi tutkimusta. Prosessitutkimusta tehdessä havaittiin maalauspisteen nykyisten työskentelymenetelmien soveltumattomuus yksittäisvirtaukseen. Maalauksen kellottamista varten suunniteltiin luvussa 9.1 esiteltyä maalaustelinettä simuloiva kuvan 28 mukainen teline. Kuvan mukaisella menetelmällä voitiin kellottaa solun suunnitteluun soveltuvia työn elementtejä.



**Kuva 33:** *Maalauksen prosessitutkimusta varten suunniteltu teline.*

Kuvan pyörivässä maalaustelineessä on tappi, johon pilotti asetetaan nuppi ylöspäin. Näin pilotti kyettiin maalaamaan yhdestä suunnasta, telinettä pyörittämällä. Samaa telinettä käytettiin myös avartimien työn elementtien kellottamiseen.

Erikoisjärjestelyjä käytettiin myös nastoituksen osalta. Luvussa 9.1 kerrottiin avartimien nastoituksessa tarvittavan kahta peräkkäistä prässiä ja pilottien nastoittamiseen tarvitaan vielä kolmas prässi. Yrityksellä on myös käsikäyttöinen pneumaattinen nastoituskone, jota ei ole otettu käyttöön. Käsikäyttöisen nastoituskoneen etuna on sen pieni koko ja nopea asetus aika. Käsikäyttöisellä nastoituskoneella voitaisiin korvata kolme prässiä, ja nastoituskone vaatisi soluun ainoastaan yhden työtason. Se todettiin kuitenkin normaaliajaltaan noin 10 % nykyistä menetelmää hitaammaksi. Prosessitutkimuksella saadut käsinastoituksen ajat eivät ole kuitenkaan luotettavia, sillä käsinastoituksessa käytettiin harjaantumaton operaattoria, ja koneen optimaalisia asetuksia ei myöskään tutkittu. Aikaa olisi voitu muokata joutuisuuskertoimen avulla, mutta vertailukohdan puutteen

vuoksi menetelmää ei todettu järkeväksi. Käsinnastoitusta on myös saanut työntekijöiltä kritiikkiä tärinän ja melun sekä raskaan käytettävyyden vuoksi.

Luvussa 9.2 kerrottiin, että nykyinen eräperustainen pesu ei sovellu myöskään yksittäisvirtaavaan soluun. Tämä todettiin pesun prosessitutkimuksella. Robottisolun käytössä oleva yhden kappaleen pesuri sen sijaan soveltuu soluun, mutta sen pesutulos ei ole kovin hyvä. Yritys on jo aikaisemmin selvittänyt muita yhden kappaleen pesuun soveltuvia laitteita. Selvityksessä todettiin, että hyvään tulokseen päästään 4 minuutin vaiheajalla. Selvityksen mukaisen pesurin käyttö vaatisi vähintään 2 kappaleen puskurin pesurin sisälle.

## 9.4 Lineaariregression käyttö puuttuvien vaiheajojen selvitykseen

Tuoteryhmä 2 ja 5 sisältävät yhteensä noin 152 erilaista tuotetta ja niiden valmistamisessa tarvitaan 6 erilaista työvaihetta. Prosessitutkimusta tehtiin näihin 6 työvaiheeseen kuuluvilla 11 työpisteellä. Prosessitutkimuksessa jokainen työpisteen työn sisältö jaettiin vielä kuvien 29–32 mukaisesti 2-5 työn elementtiin. Prosessitutkimuksen suorittaminen kaikille tuotteille olisi ollut mahdotonta. Kuvassa 30 on esitetty, montaako erilaista tuotetta milläkin työpisteellä tutkittiin. Rasti ruudukossa tarkoittaa, että kyseisellä työpisteellä ei tehdä joko avartimia tai pilotteja.

	Poraus		Pesu			Prässäys			Puristus	Maalaus	Huuhteluventtiilin asennus
	Haas 1	Haas 2	Pesuri 1	Pesuri 2	Robopesu	Prässä 1	Prässä 2	Prässä 5	Puristin	Pyöröpöytä	
Avartimet	10	8	3	1	1	5			3	9	
Pilotit	5	3	2	0			2	2		2	2

**Kuva 34:** Prosessitutkimuksessa kelloitettujen avartimien ja pilottien määrät työpisteittäin.

Prosessitutkimuksessa havaittiin, että työpisteiden vaiheajat vaihtelevat huomattavasti, tuotteesta riippuen. Esimerkiksi Haas 1:llä kelloitettu pisin avartimen porauksen vaihe-aika oli yli 6 kertaa pidempi kuin lyhin avartimen porauksen vaihe-aika. Todettiin, että luotettavien solun kapasiteetilaskelmien tekemiseksi tarvittiin enemmän vaiheajoja. Jos kaikkien solun tuotteiden vaiheajat tiedettäisiin, voitaisiin historiallisten volyymipainotusten avulla laskea volyymipainotettu vaiheajan keskiarvo. Myös solun töiden tasapainottamiseksi tarvittiin tietoa mahdollisimman monen tuotteen työn elementtien kestosta. Jos solun töiden tasapainotus ja työkierto olisi suunniteltu ainoastaan kelloitettujen, tuoteryhmän 2 ja 5 tuotteiden mukaan, voisi solun käyttöönotossa osoittautua, että tasapainotus ja työkierto eivät toimi kellottamattomille tuotteille. Prosessitutkimuksessa pyrittiin tutkimaan lyhyen ja pitkän vaiheajan tuotteita, jolloin otoksien perusteella olisi voitu laskea vaiheajojen karkeita keskiarvoja. Eri tuotteiden historialliset vuosivolyymit poikkeavat kuitenkin huomattavasti toisistaan, eivätkä vaiheajakaan näyttäneet

kasvavan suoraan tuotteen fyysisen koon mukaan, jolloin otoksien perusteella lasketut keskiarvot olisivat olleet epätarkkoja. Prosessitutkimuksella voitiin kuitenkin karkeasti todeta tietyn työpisteen vaiheajan kasvavan tuotteen koon mukaan.

Prosessitutkimuksessa havaittiin tietyn tuotteen eri työpisteiden vaiheajojen korreloivan keskenään. Kun porauksen vaiheaika oli pitkä, ~~niin~~ myös nastoituksen vaiheaika oli pitkä. Edellä esitetyn porauksen vaiheajakesimerkin tuotteiden vaiheajat käyttäytyivät nastoituksessa siten, että pitkän porausajan avartimen nastoitusaika oli 7 kertaa pidempi kuin esimerkin nopeasti porattavan tuotteen. Korrelaation pääteltiin olevan kytköksissä nastojen määrään ja kokoon sekä kappaleen halkaisijaan.

Puuttuvien vaiheajojen selvittämisessä päätettiin käyttää monimuuttujalineaariregressiota. Regressioyhtälöt muodostettiin luvussa 9.1 valituille solun työvaiheiden työpisteille. Pesuvaiheelle ei muodostettu regressiota, vaan sen aikaa pidettiin vakiona. Avartimille ja piloteille tehtiin omat regressiot, niiden keskenään eroavien työvaiheiden suoritustavan ja tuotepiirteiden vuoksi. Regressioita tehtiin yksittäisille työn elementeille, jolloin solun tasapainotuksessa ja työnkierrossa on enemmän mahdollisuuksia. Jos regressio olisi tehty kokonaisille työvaiheille, ei työn tasapainotuksessa olisi voitu erottaa yksittäisen työn elementin kestoa.

Regressiomallin muodostuksessa käytettiin prosessitutkimuksessa kellotettuja työn elementtien aikoja. Työn elementtien ajat olivat mallissa ennustettavia muuttujia. Regressioyhtälöiden ennustavat eli aikaa selittävät muuttujat haettiin iteratiivisesti kokeilemalla eri vaihtoehtoja. Regressiomallin toimivuutta tarkasteltiin regressiotunnuslukujen lisäksi käytännön testauksella. Mallilla laskettiin esimerkiksi jonkin sellaisen avartimen porauksen vaiheaika, jota ei ollut vielä kellotettu. Tämän jälkeen mallin avulla laskettu avartimen porauksen vaiheaika tarkistettiin kellottamalla se porakoneella. Porauksessa, joka on solun tärkein työvaihe, havaittiin vain muutamien sekuntien poikkeamia.

### **Poraus**

Porauksessa regressiomallilla ennustettiin ainoastaan koneen vaiheaikaa eli manuaalista koneen latausta ja kappaleen poistoa ei huomioitu. Avartimien porauksen selittävinä muuttujina käytettiin avartimen halkaisijaa, reikien lukumäärää, syöttöä sekä kierroslukua. Avartimen halkaisija vaikuttaa terän kulkemaan matkaan. Reikien lukumäärä ja reikien halkaisija vaikuttavat koneen tekemän porausliikkeen yhteenlaskettuun pituuteen. Reiän halkaisija vaikuttaa, koska reiän syvyys muuttuu halkaisijan mukaan. Porausliikkeen aikaan puolestaan vaikuttaa reiän pituuden lisäksi syöttö ja kierrosluku. Pilottien poraukselle muodostettiin oma regressiomalli, koska pilotin halkaisija vaikuttaa terän kulkemaan matkaan eri tavalla. Alla olevassa kaavassa 1 on esitetty Haas1:n avartimien porauksen vaiheajan määrittämiseen käytetty regressioyhtälö.

$$y = 0,09x_1 + 6,4x_2 + 0,2x_3 - 1,4x_4 - 0,26x_5 + 512 \quad (1)$$

Kaavassa,  $y$  on ennustettu porauksen aika sekunteina ja  $x_1$ - $x_5$  ovat edellä selitetyt ennustavia muuttujia. Tuotteiden piirustuksista voitiin lukea kappaleen ja reikien halkaisija sekä reikien määrä. Koneen työstöarvot katsottiin työstökeskusten ohjausyksiköistä. Koneen vaiheajan regressiomalli tehtiin sekä Haas 1:lle että Haas 2:lle, koska regressiomallilla saadut vaiheajat vaikuttivat osaltaan Haas 1:n valitsemiseen solun koneeksi. Regression avulla selvisi jo aikaisemminkin mainittu havainto Haas 2:n hitaudesta Haas 1:een verrattuna. Haas 2:n keskimäärin 70 % hitaampi vaiheaika johtui paletinvaihtajasta, jolloin hitaus korostui lyhyillä vaiheajoilla.

Muilla työpisteille muodostettiin regressioyhtälöt vastaavalla periaatteella. Kaikkia kuvissa 29–32 esiintyviä työn elementtejä ei otettu kuitenkaan mukaan regressioon. Tämä johtui siitä, että muilla työpisteillä vaiheajat muodostuvat pääasiassa manuaalisista operaattorin suorittamista työn elementeistä, jolloin regressiomallin epätarkkuus kasvaa. Esimerkiksi kappaleiden siirtelyihin kuluva aika arvioitiin matkan ja kappaleen painon perusteella, ilman varsinaista regressioyhtälöä.

### **Nastoitus**

Nastoituksen regressioyhtälön ennustavina muuttujina käytettiin lopulta kappaleen halkaisijaa, reikien lukumäärää sekä reikien halkaisijaa. Prosessitutkimuksen aikana, avartimen nastoitus suoritettiin kahdessa vaiheessa funktionaalisesti siten, että ensimmäinen vaihe tehtiin koko erälle ennen, kuin siirryttiin seuraavaan vaiheeseen. Regressiossa huomioitiin ainoastaan nastoitukseen kulunut aika, eikä kappaleen siirtoa toiseen jigiin kelloitettu. Solussa 2 prässä voitaisiin yhdistää rungoistaan, jolloin kappaleen siirtämiseen prässien välillä kuluva aika on lyhyt. Tätä aikaa arvioitiin erikseen kappaleen painon perusteella.

Pilottien nastoitukselle tehtiin myös oma regressioyhtälö, koska pilotin nastojen asentaminen poikkeaa avartimista. Ennustavat muuttujat olivat samat kuin avartimilla ja pilottien regressiolla arvioitiin myös pelkästään nastoitukseen kuluva aika. Pilottien aluslaattojen asentamiseen kuluva aika arvioitiin erikseen laattojen lukumäärän mukaan.

### **Puristus**

Hydraulisen puristimen regressioyhtälön muodostuksessa käytettiin selittävänä muuttujana ainoastaan halkaisijaa. Puristimen työliike on nopea ja se noudatti hyvin regressiolla ennustettuja aikoja. Puristuksen vaiheaika on lyhyt, jolloin vaiheajan pienen poikkeaman merkitys kokonaisuuden kannalta on pieni. Puristuksen regressiossa ei myöskään huomioitu siirtoja, vaan niihin kuluva aika arvioitiin erikseen painon ja matkan perusteella.

### **Maalaus**

Maalauksen regressio muodostettiin kuvan 33 telineessä kelloitetujen aikojen perusteella. Maalauksessa selittävänä muuttujana käytettiin kappaleen halkaisijaa. Luvussa 5.3 käsiteltiin avartimen konstruktion vaikutusta kappaleen korkeuteen, mikä puolestaan vaikuttaa maalattavaan pinta-alaan. Regressiolla ennustettuja maalauksen vaiheajoja korjattiin lopuksi kertoimella, joka määräytyi konstruktion mukaan. Pilottien maalauksen ajat saatiin vastaavalla periaatteella, sillä erotuksella, että pilotteihin maalataan 2 maalikerrosta.

Useamman selittävän muuttujan regressiomallin otoskoon tulisi olla vähintään 50 (Taani 2010). Tähän ei diplomityön puitteissa kuitenkaan ollut resursseja. Porauksen ajat olivat työn kannalta oleellisimpia, koska poraus tiedettiin solun tahdistavaksi työvaiheeksi. Suurinta otoskokoja 10 käytettiin avartimien porauksen regressiomallissa. Porauksessa regressiomallin epätarkkuutta aiheuttivat lähinnä koneen työstöratojen erilaiset ohjelmointiperiaatteet. Terän pikaliikkeiden pituudet ja terän kulkema reitti vaihteli hieman. Lisäksi jotkin ohjelmat pyörittivät kappaletta kolmileukaistukassa ohjelman päätteeksi.

Manuaalisen työn vaihtelu on huomattavasti koneen tekemää työtä suurempaa, jolloin luotettavien selittävien muuttujien löytäminen oli hankalaa. Tästä syystä manuaalisten työvaiheiden regressiomallissa käytettiin vähemmän selittäviä muuttujia. Myös manuaalisten työvaiheiden kuvassa 34 näkyvät pienet otoskoot vaikeuttivat selittävien muuttujien löytämistä. Manuaalisen työn keston määrittämiseen ei haluttu kuluttaa liikaa resursseja, sillä siinä esiintyy aina vaihtelua. Luvussa 2.4 käsitelty työtehtävien ja prosessin vakiinnuttaminen pyrkikin vähentämään muun muassa manuaalisen työn vaiheajojen vaihtelua.

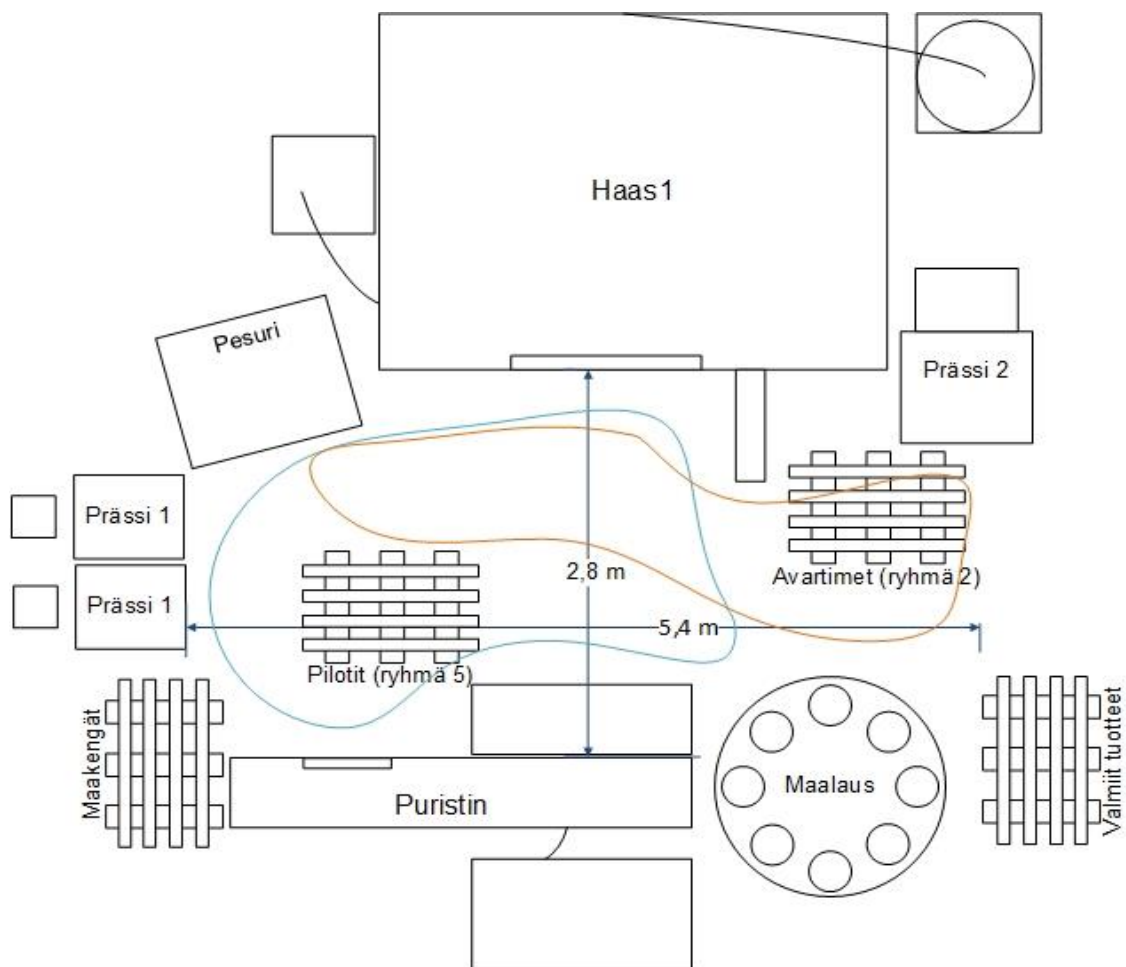
Manuaaliseen työhön vaikuttavat työtä suorittavan työntekijän ominaisuudet ja käytetyt työskentelytavat, mutta esimerkiksi työntekijän ominaisuuksien käyttö muuttujana ei ole kovin luotettavaa eikä hyväksyttävää. Manuaalisten työn elementtien kestot saatiin kuitenkin melko luotettavasti arvioitua regression ja edellä kuvattujen menetelmien avulla. Regression avulla määritettyä koneen vaiheajan pituutta voidaan pitää suoraan standardiaikana. Manuaalisten regressioyhtälöiden muodostuksessa käytetyt manuaalisen työ lyhimmät toistuvat ajat aiheuttavat sen, että tässä vaiheessa määritetyt työn elementtien kestot ovat vasta normaaliaikoja. Aihetta käsiteltiin luvussa 4.5.

## 9.5 Solun layoutsuunnitelma

Työkierron suunnittelun ja solun töiden tasapainottamiseksi tarvittiin myös mikrotason layout-suunnitelma solusta. Tässä layout-suunnitelmassa aseteltiin työpisteet ja sen avulla voitiin suunnitella kappaleen virtausta solun sisällä. Layoutia suunniteltaessa materiaalivirrasta tehtiin mahdollisimman lyhyt ja selkeä. Soluun ei myöskään haluttu

ylimääräisiä työtasoja, koska ne aiheuttavat riskin puskurin kertymiseen. Kappaleiden liikkeen lisäksi myös työntekijöiden liikkumisen tarvetta minimoitiin tekemällä solusta mahdollisimman tiivis. Layout jätettiin kuitenkin yleiselle tasolle, jolloin varsinaista työpistesuunnittelua ei tehty. Nimikkeille ei esimerkiksi piirretty tarkkoja säilytyspisteitä, eikä työskentelyergonomiaan kiinnitetty huomiota. Solun layoutsuunnitelma on esitetty kuvassa 35.

Solun 4 erilaista työvaihejärjestystä esiteltiin luvussa 9.2. Suunniteltavan solun työvaihejärjestys on täysin sidottu, mutta teoriaosuudessa todettiin U-layoutin monipuoliset töiden tasapainotusvaihtoehdot. U-layoutissa yksi operaattori voi hoitaa vaiheita, jotka ovat eri kohdissa työvaiheketjua. U-layoutin todettiin myös lisäävän työntekijöiden kommunikointia ja helpottavan ryhmien muodostumista.



**Kuva 35:** Solun layoutsuunnitelma.

Solun sisälle täytyy pystyä tuomaan lavoja, jolloin Haas 1:n ja puristimen väliin täytyi jättää tilaa. Haas 1:n ohjainyksikkö on kääntyvä, joten se ei rajoita trukin tai pumppukärryn kulkua. Rinnakkaiset Prässi 1:t vaativat myös kuvan layoutissa vertikaalista tilaa. Prässejä ei vielä tässä suunnitelmassa korvattu käsinastoituksella eikä nykyisten prässien runkojen yhdistämisen tuomaa tilan säästöä huomioitu. Kuvassa solun sisällä on



kaksi kuormalavaa, jotka eivät kuitenkaan ole solussa koskaan samaan aikaan. Soluun on piirretty sinisellä viivalla reitti, jonka varrella ovat ryhmän 2 avartimien valmistamisessa tarvittavat työpisteet. Sinistä reittiä kuljettaessa pilottien lavaa ei tarvita solun sisällä. Oranssilla on vastaavasti piirretty pilottien reitti, jolloin pilotteja valmistettaessa avartimien lava ei ole solussa ja näin estä pääsyä Prässi 2:lle.

Layout-suunnitelman avulla voitiin määrittää työntekijän liikkumisen standardiaika, jota tarvitaan solun töiden tasapainotukseen ja kapasiteetilaskelmiin. Liikkumisen standardiajan laskennassa käytettiin Stephens & Meyer (2013, s. 80) suosittelemaa 1,3 m/s.

## 9.6 Solun työn elementtien standardiaikojen määrittäminen

Tässä diplomityössä manuaalisen työn elementtien kestossa esiintyvän vaihtelun hallitsemiseksi käytettiin apuaikakerrointa. Luvussa 8.2 lasketut takt-ajat laskettiin tuoteryhmän oletetun vuosikysynnän perusteella. Vuosikysynnälle kohdistettavana solun tahdistavan työvaiheen (poraus) aikana käytettiin nettominuutteja, joihin huomioitiin lakisääteisten taukojen lisäksi vuosihuollot, häiriöt ja asetuksiin kuuluva aika. Stevenson (2012, s.627) mukaan vaiheaika pyritään asettamaan takt-ajan kanssa samaksi, jolloin tässä työssä manuaalisen työn luonteesta johtuva tehokkuuden vaje sekä vaihtelu huomioitiin lisäämällä manuaaliselle työlle 20 % apuaika. Prosessitutkimuksen ja lineaariregression avulla saatuihin manuaalisen työn elementtien normaaliaikoihin lisättiinkin vielä apuajat jolloin saatiin, luvussa 9.7, työn tasapainotuksessa ja kapasiteetilaskelmissa käytettävät standardiajat.

Solun työn elementtien standardiajat laskettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaan. Excelissä standardiajoista voitiin määrittää solun pisimmät ja lyhimmat mahdolliset tahtiajat. Jokaiselle tuoteryhmän 2 ja 5 tuotteelle laskettiin lyhin mahdollinen tahtiaika, jonka määräsi teorian mukaisesti pisimmän vaiheajan kesto. Muodostetun solun tapauksessa pisin vaiheaika määräytyi porausvaiheen mukaan. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka solussa työskentelisi kuinka monta operaattoria tahansa, tahtiaika ei voi olla porauksen vaiheaikaa nopeampi. Lyhimmän mahdollisen vaiheajan aritmeettinen keskiarvo tuoteryhmälle 2 ja 5 oli **187** sekuntia, joka on kaikkia luvussa 8.2 laskettuja takt-aika skenarioita lyhempi. Aritmeettinen keskiarvo ei ota tuoteryhmien erisuuruisia volyyymeita huomioon, mutta tästä voitiin jo päätellä, että muodostetulla solulla on mahdollista päästä riittävän lyhyisiin tahtiaikoihin.

Tuoteryhmille 2 ja 5 laskettiin myös pisin mahdollinen tahtiaika, joka muodostui tietyn tuotteen kaikkien työn elementtien yhteenlasketusta kestosta, porauksen ja pesun vaiheikoja lukuun ottamatta. Porauksen ja pesun huomioita jättäminen perustui operaattorin tekemän työn erottamiseen koneen tekemästä työstä, jolloin kone hoitaa työsyklinä operaattorin suorittaessa manuaalisia työn elementtejä. Kaikkien tuoteryhmän 2 ja 5 tuotteiden porauksen työkierto todettiin selvästi muuta työn sisältöä lyhemmäksi, jolloin pisimmät tahtiajat muodostuivat aina operaattorin tekemästä työstä. Pisimmän tahtiajan

tilanteessa porausvaihe ei enää rajoita solun tahtiaikaa, vaan rajoittavana tekijänä on operaattori. Pisimmän mahdollisen vaiheajan aritmeettinen keskiarvo tuoteryhmille 2 ja 5 oli **339** sekuntia, joka riittäisi vielä datasta ennustetulle vuoden 2017 takt-ajalle. Vaikka aritmeettisessä keskiarvossa ei painoteta tuoteryhmien erisuuruisia volyymeita, aritmeettisesti laskettu pisimmän vaiheajan keskiarvo antaa viitteitä siitä, että solulla voitaisiin vastata tulevaan kysyntään pienilläkin henkilöresursseilla.

## 9.7 Solun töiden tasapainotus ja työkierron suunnittelu

Työn kierron ja töiden tasapainotuksen tarkoituksena on muodostaa työn elementeistä nippuja, joiden vaiheaika on lähellä toisiaan. Pisin työn elementeistä koostuva tehtävänippu määrää samalla myös solun tahtiajan kyseiselle tuotteelle. Solun töiden tasapainotuksessa ja työkierron suunnittelussa pyrittiin ottamaan huomioon solun sisäisiä tekijöitä, joiden oletettiin aiheuttavan epätasaista virtausta. Tällaisiksi tekijäksi tunnistettiin solun sisälle mahdollisesti muodostuvat puskurit, joita saattaa muodostua, jos solun työt jaetaan epätasapainoisesti operaattorien kesken. Solun epätasapainoinen töiden jako aiheuttaa pysähdyksiä virtauksessa ja toisen operaattorin odottelua. Epätasainen operaattorien kuormitus operaattorien kesken saattaa aiheuttaa myös väsymistä. Nämä tekijät vaikuttavat pitkän ajan kuluessa solun suoritustehoon (engl. output).

Töiden tasapainotuksessa ja työkiertojen suunnittelussa käytettiin apuna luvussa 4.8 esiteltyä standardioperaatiokaaviota (engl. standard work combination sheet). Standardioperaatiokaavioilla suunniteltiin, miten tuotteiden valmistamiseksi tarvittavat työn elementit jaetaan operaattoreiden kesken sekä tarkasteltiin, miten koneiden työsyklit käyttäytyvät suhteessa manuaaliseen työhön ja liikkumiseen. Standardioperaatiokaaviot havainnollistivat hyvin erilaisia tilanteita ja niillä voitiin iteratiivisesti kokeilla erilaisia tasapainotus ja työkiertovaihtoehtoja. Solun työvaihejärjestys on täysin määrätty eli esimerkiksi nastoitusta ei voida tehdä ennen, kun reiät on porattu. Operaattorit voivat liikkua kuitenkin U-solussa vapaasti, mikä mahdollisti kahden operaattorin tapauksessa työkierron, jossa toinen operaattori hoitaa pelkästään nastoitusta ja toinen operaattori suorittaa takaa-ajo-periaatteella muita solun työtehtäviä. Kahden operaattorin tapauksessa tällä työkierrolla saatiin molempien operaattorien työn sisällön kesto melko hyvin tasapainoon kaikissa neljässä työvaihejärjestyksessä.

Kahdella operaattorilla tasapainotetut standardioperaatiokaaviot kaikille neljälle työvaihejärjestykselle, on esitetty liitteissä 25–28. Liitteissä punainen paksu horisontaalinen viiva kuvaa operaattorin odotusaikaa, tahtiaikaa kohden. Odottelua ei voida kahden operaattorin tapauksessa välttää muuten kuin lisäämällä rinnakkainen työstökeskus soluun, jolloin kahta työstökeskusta käytettäisiin vuorosyklein.

Teorian mukaan koneen vaiheaika ei saisi olla solun rajoittava tekijä, vaan koneita tulee monistaa ja kehittää siten, että solun tahtiaika muodostuu operaattorin manuaalisesta työstä ja liikkumiseen käytetystä ajasta. (Black 2000a). Tässä tasapainotusmenetelmässä on kuitenkin oletuksena, että solussa käytetään yksinkertaisia ja halpoja koneita, jotka ovat helposti monistettavissa. Solun käyttöön määrätty työstökeskus on kuitenkin kallis ja sen käyttöastetta haluttiin maksimoida Lean-filosofian vastaisesti. Standardioperaatiokaavioita tehtiin myös yhden operaattorin hoitaessa kaikkia työn elementtejä, jolloin operaattorista muodostui solun rajoittava tekijä. Liitteiden 25–28 kaavioista nähdään helposti miten työkierto, tahtiaika ja tasapainotus muuttuvat, jos solussa käytetään yhtä operaattoria. Tämä voitiin todeta siirtämällä Excel-pohjassa operaattori 2:n janoit operaattori 1:n suoritettaviksi.

Kaavioilla suunnitellun työkierron ja tasapainotuksen perusteella voitiin muodostaa kaavat Exceliin, joilla laskettiin edellä selvitettyjen työn elementtien standardiaikojen pohjalta solun tahtiajat kaikille tuoteryhmien 2 ja 5 tuotteille. Tahtiaikoja käsitellään tarkemmin luvussa 9.9.

## 9.8 Toisen operaattorin osittainen korvaaminen robotilla

Luvussa 4.6 esitettiin lista tekijöistä, jotka täytyessään viittaavat automaation ja robotiikan käytön mahdollisiin hyötyihin soluvalmistuksessa.

- Vuosivolyymi tulee olla suuri, ennalta arvattava ja tasainen.
- Tuotteen elinkaaren tulee olla pitkä.
- Tuotteet muuttuvat maltillisesti.
- Työvoiman käyttö on kallista.
- Yrityksellä on kokemusta robotiikasta ja automaatiosta.
- Valmistusprosessi on ihmiselle soveltumaton.
- Työvaiheet ovat toistuvia ja raskaita sekä vaativat tarkkuutta.
- Suunniteltu robotiikka ja automaatio ovat luotettavia.

Listasta seuraavien kohtien voidaan katsoa täytyvän: Vuosivolyymi on suuri, mutta tuotevariaatio huomioituna, yksittäisen tuotetyypin volyymi ei ole kovinkaan suuri. Tuotteiden elinkaari on ollut pitkä, mutta uusia vanhoista poikkeavia tuotetyyppejä on suunnitteilla. Tuotteet ovat muuttuneet tähän mennessä valmistettavuuden kannalta maltillisesti, ja työvoiman kalleus tukee myös robotiikan käyttöä. Yrityksellä on myös kokemusta robotiikasta. Valmistusprosessi ei ole ihmiselle soveltumaton, mutta toistuvat raskaat työvaiheet voivat aiheuttaa räsitystä. Solusta olisi mahdollista saada robotiikan ja automaation avulla myös varmatoiminen, mutta tuoteryhmien 2 ja 5 tuotevariaation ohjelmoiminen robotille voi osoittautua työlääksi.

Listan perusteella päädyttiin tekemään myös robottiaivusteisille soluille standardioperaatiokaaviot, joiden perusteella muodostettiin robottiaivusteisen solun tahtiaikojen kaavat

Exceliin kaikille neljälle työvaihejärjestykselle. Robottivaiheisen solun standardiopeeraatiokaavio työjärjestykselle 1 on esitetty liitteessä 29. Liitteestä nähdään, että robotilla voitaisiin korvata porausvaiheen kappaleen lataus ja poisto, poratun kappaleen siirto pesuriin ja kappaleen nosto pesurista nastoitukseen. Robotilla voitaisiin ilman suurempia muutoksia korvata pelkästään kappaleen alkupään käsittelyä. Muiden työvaiheiden korvaaminen robotilla on hankalaa, sillä U-layoutissa robotin työskentelyalue täytyy eristää operaattorin alueesta, ettei robotti pääse vahingoittamaan ihmistä. Jos robotilla hoidettaisiin kaikki kappaleen käsittelyt ja siirrot, täytyisi nastoitus, puristus, maalaus ja huuhteluventtiilin asennus automatisoida. Tuoteryhmän 5 jättäminen solun ulkopuolelle helpottaisi automatisointia huomattavasti. Teoriassa miehittämättömään soluun siirtymistä suositeltiin kuitenkin vasta, kun solun toiminta on testattu ja optimoitu miehittämättömänä.

Robotin laskuissa käytetyt vaiheajat saatiin alihankkijalta, jonka tuotannossa tuplatarttujalla varustettu robotti hoitaa vastaavia työvaiheita. Vaiheajat ja standardiopeeraatiokaavio on muodostettu tuplatarttujaa hyödyntäen, jolloin tarttujassa voi olla aina kahdessa eri valmistusvaiheessa oleva kappale. Myös robottivaiheisen solun tahtiaikoja käsitellään tarkemmin luvussa 9.9.

## 9.9 Solussa valmistettavat volyymit ja kapasiteettitarkastelu

Tahtiaika määrittää solun tuotantomäärän. Tuoteryhmien 2 ja 5 sisältämän suuren tuotevariaation vuoksi lähes kaikkien tuotteiden tahtiajat poikkeavat toisistaan. Kuten edellä havaittiin, solun tahtiaikaan vaikuttaa myös operaattorien määrä sekä käytetty tasapainotus ja työkierto. Solun volyymitarkasteluja ja kapasiteettilaskelmia voitiin kuitenkin tehdä melko tarkasti, sillä kaikkien tuoteryhmien 2 ja 5 tuotteiden tahtiajat pystyttiin laskemaan Exceliin tähän mennessä selvitettyjen tietojen avulla.

Nyt tiedetään tuotekohtaiset tahtiajat yhden ja kahden operaattorin työkierrolla ja tilanteissa, jossa toinen operaattoreista on korvattu robotilla. Myynnin ja markkinoinnin vuodelle 2017 ennustaman volyymin kasvun mukaan solussa tulisi voida valmistaa yhteensä 62 533 ryhmän 2 avarrinta ja 2 544 ryhmän 5 pilottia (katso liite 1). Näiden volyymien mukaan lasketuiksi takt-ajoiksi saatiin: **199** sekuntia (ryhmä 2) ja **185** sekuntia (ryhmä 2+5). Takt-aika laskettiin solun operoidessa kolmessa vuorossa.

Alla oleviin taulukoihin 7–8 on laskettu, vuoden 2014 tuotekohtaisilla volyymeillä painotettuja keskimääräisiä tahtiaikoja solun tuoteryhmille. Taulukoissa on myös esitetty, millaisiin tuotantomääriin on mahdollista päästä edellä kuvatuilla työkierron kiertokäytöillä. Taulukoiden volyymit on laskettu yhdessä, kahdessa ja kolmessa vuorossa. Taulukoissa 6 ja 7 on käytetty myynnin ja markkinoinnin ennustamaa vuosivolyymia, jonka perusteella määräytyivät laskuissa käytetyt keskimääräiset eräkoot ja asetuksiin kuluva aika (katso liitteet 1 ja 17). Taulukoiden volyymit eivät kasva suoraviivaisesti vuorojen mukaan, sillä kuten liitteestä 17 nähdään, asetusajat syövät yhden vuoron efektiivistä kapasiteet-

tia huomattavasti enemmän, verrattuna tilanteeseen jossa asetusajat jakautuvat kolmelle vuorolle.

**Taulukko 6:** Solun volyymipainotetut tahtiajat erikseen tuoteryhmälle 2 ja 5, sekä mahdolliset volyymit myynnin ja markkinoinnin ennustamaan vuoden 2017 volyymiin perustuen.

TUOTERYHMÄ 2			TUOTERYHMÄ 5		
Tahtiaikojen volyymipainotettu keskiarvo (s)			Tahtiaikojen volyymipainotettu keskiarvo (s)		
2 operaattoria	1 operaattori	1 operaattori + robotti	2 operaattoria	1 operaattori	1 operaattori + robotti
Vuoroja päivässä			Volyymit yhdessä vuorossa (kpl)		
			Volyymit yhdessä vuorossa (kpl)		

Taulukosta 7 havaitaan, että 2 operaattorin työkierrolla pystyttäisiin 3 vuorossa valmistamaan 94 238 kappaletta vuosivolyymi, joka on noin 8 000 kappaletta enemmän kuin ennustettu maksimi. Havaitaan myös, että robottiaivusteisella työkierrolla päästään lähelle ennustettua maksimia.

**Taulukko 7:** Solun volyymipainotetut tahtiajat ja mahdolliset volyymit, myynnin ja markkinoinnin ennustamaan vuoden 2017 volyymiin perustuen.

TUOTERYHMÄ 2 + 5		
Tahtiaikojen volyymipainotettu keskiarvo (s)		
2 operaattoria	1 operaattori	1 operaattori + robotti
Vuoroja päivässä	Volyymit yhdessä vuorossa (kpl)	
1	59	39
2		50
3		
	Vuosivolyymit eri vuoromäärillä	
1	14 507	9 492
2		12 129
3		

Myynnin ja markkinoinnin ennusteeseen perustuvan volyymin sesonkikuukausien takt-ajaksi saatiin **268** sekuntia (ryhmä 2) ja **249** sekuntia (ryhmä 2 + 5). Datasta ennustettua kysyntää käyttämällä sesonkikuukausien takt-ajaksi saatiin **157** sekuntia (ryhmä 2) ja **169** sekuntia (ryhmä 2 + 5). Kahden operaattorin työkierrolla voitaisiin näin ollen valmistaa keskimäärin sesonkikuukausien takt-ajassa.

Alla olevan taulukon 8 laskelma perustuu puolestaan datasta ennustettuun volyymin kasvuun. Datasta ennustettu vuoden 2017 maksimivolyymi solulle oli: 52 547 kappaletta (ryhmä 2) ja 55 167 kappaletta (ryhmä 2+5). Datasta ennustetun volyymin takt-

ajoiksi saatiin 2 vuorossa: **314** sekuntia (ryhmä 2) ja **277** sekuntia (ryhmä 2+5). Havaitaan, että datasta ennustetun vuosivolyymien valmistaminen olisi mahdollista kahdessa vuorossa käyttämällä solussa ainoastaan yhtä operaattoria.

Taulukon 8 laskuissa on käytetty myös liitteen 17 keskimääräisiä eräkokoja, mutta pienemmän volyymin vuoksi asetuksiin kuluu vähemmän aikaa, jolloin päästään suurempiin volyymeihin. Asetukset ovat laskujen kannalta hankalia. Teoriassa todettiin, että takt-aika voidaan laskea, ilman asetusajojen huomioimista, mutta tällöin tahtiajan täytyy olla aina takt-aikaa lyhempi, jotta asetusten tekemiselle jää aikaa. Tässä diplomityössä asetuksiin menevät ajat on huomioitu jo takt-ajan laskennassa. Tämän luvun taulukoiden laskuissa volyymina valmistamiseen menevät asetusajat on laskettu myynnin ja markkinoinnin ennusteen sekä datasta ennustetun pohjalta. Esimerkiksi liitteessä 8 volyymiksi oletetaan datasta ennustettu 15 167 kpl/vuosi, minkä mukaan on laskettu asetuksiin menevä aika käyttämällä keskimääräistä eräkokoa. Jos sarakkeen ”Vuosivolyymit eri vuoromäärillä ” tulos on alle oletetun volyymin, asetusajaa on laskuissa liikaa, eli todellinen valmistuva määrä olisi suurempi. Jos sarakkeen tulos on puolestaan yli oletetun volyymin, todellinen valmistuva määrä olisi puolestaan pienempi. Näin ollen ainoastaan taulukon 7 tuloksia 3-vuoron tapauksessa ja taulukon 8 tuloksia 2 vuoron tapauksessa voidaan pitää luotettavina. Ne ovat samalla tuloksia, jotka vahvistavat, että solulla voitaisiin todella vastata jopa myynnin ja markkinoinnin ennustamaan yli kaksinkertaiseen volyymiin.

**Taulukko 8:** Solun volyymipainotetut tahtiajat ja mahdolliset volyymit, datasta ennustettuun vuoden 2017 volyymiin perustuen.

TUOTERYHMÄ 2 + 5			
Tahtiaikojen volyymipainotettu keskiarvo (s)			
	2 operaattoria	1 operaattori	1 operaattori + robotti
Vuoroja päivässä	Volyymit yhdessä vuorossa (kpl)		
1	112	74	94
2			
3			
Vuosivolyymit eri vuoromäärillä			

U-solun joustavat tasapainotus- ja miehitysvaihtoehdot mahdollistavat solun tahtiajan muuttamisen kysynnän mukaan. Mikäli myynnin ja markkinoinnin ennusteet osoittautuvat ylioptimistisiksi, solua voidaan operoida yhden henkilön työkierrolla, jolloin solun tahtiaika laskee, jolloin Lean-valmistukselle haitalliseksi todettua ylituotantoa voidaan välttää.

### Kapasiteettitarkastelu

Aiemmin todettiin, että virtautetussa tuotannossa joudutaan hyväksymään koneiden ja laitteiden vajaakäyttö, ja että soluvalmistuksessa ei yleensä maksimoida koneiden, vaan

operaattoreiden käyttöastetta. Soluvalmistuksen suurimmat hyödyt saadaankin nopeasta läpimenosta, yksinkertaisesta ohjauksesta ja muunneltavissa olevan tahtiajan tuomasta joustavuudesta. Diplomityössä haluttiin kuitenkin myös tarkastella, paljonko solun työstökeskukselle tai operaattoreille jää käyttämättömää kapasiteettia kolmella kuvatulla työkiertovaihtoehdolla. Tulokset on esitetty tuoteryhmittäin, kolmelle työkiertovaihtoehdolle alla olevissa taulukoissa 9 ja 10.

**Taulukko 9:** Tuoteryhmän 2 volyymipainotetut käyttämättömän kapasiteetin ajat eri miehitysvaihtoehdoille.

<b>TUOTERYHMÄ 2</b>			
<b>Volyymilla painotetut käyttämättömän kapasiteetin ajat (sekuntia per sykli)</b>			
<b>2 operaattorin solu</b>		<b>1 operaattorin solu</b>	<b>1 operaattori + robotti</b>
<b>Nastoittajan luppoaika/sykli</b>	<b>Haasin käyttäjän luppoaika/sykli</b>	<b>Haasin käyttämätön kapasiteetti/sykli</b>	<b>Haasin käyttämätön kapasiteetti/sykli</b>
22	55	38	12
<b>Käyttämätön kapasiteetti prosentteina</b>			
13,1 %	33,1 %	14,8 %	6,0 %
Yhteensä 46,2 %			

**Taulukko 10:** Tuoteryhmän 5 volyymipainotetut käyttämättömän kapasiteetin ajat eri miehitysvaihtoehdoille.

<b>TUOTERYHMÄ 5</b>			
<b>Volyymilla painotetut käyttämättömän kapasiteetin ajat (sekuntia per sykli)</b>			
<b>2 operaattorin solu</b>		<b>1 operaattorin solu</b>	<b>1 operaattori + robotti</b>
<b>Nastoittajan luppoaika/sykli</b>	<b>Haasin käyttäjän luppoaika/sykli</b>	<b>Haasin käyttämätön kapasiteetti/sykli</b>	<b>Haasin käyttämätön kapasiteetti/sykli</b>
32	63	113	81
<b>Käyttämätön kapasiteetti prosentteina</b>			
15,2 %	30,1 %	35,0 %	31,3 %
45,4 %			

Taulukoista havaitaan, että 2 operaattorin työkierrolla operaattoreille jää yhteensä noin 46 % käyttämättömää kapasiteettia. Tämän on paljon, mutta diplomityön ohjaajan mukaan 20 % apuaika manuaalisille työvaiheille voi osoittautua suomalaisessa konepajassa liian pieneksi. Tällöin operaattorien ylimääräinen kapasiteetti sallisi suuremman vaihtelun manuaalisessa työssä. 2 operaattorin työkierrossa työstökeskus on täysin kuormitettu. Yhden operaattorin työkierrolla työstökeskukselle jää noin 16 % käyttämättömää kapasiteettia. 16 % saadaan, kun painotetaan avartimien pilotteihin nähden moninkertaista volyymia. Yhden operaattorin työkierrossa operaattori on täysin kuormitettu. Robotin käyttö solussa näyttää suotuisalta kapasiteetin käytön suhteen, sillä operaattori on tällöin täysin kuormitettu ja työstökeskuksenkin käyttämätön kapasiteetti on volyymipainotetuna vain noin 8 %. Robottiavusteisella solulla voitiin myös taulukon 7 mukaan valmistaa kolmessa vuorossa lähes myynnin ja markkinoinnin ennustamaa volyymia. Robot-

tiavusteisessa työkierrossa voidaan myös käyttää robotin ohella kahta operaattoria, jolloin päästää hieman kahden operaattorin työkiertoa nopeampaan tahtiin. Tämä perustuu siihen, että tuplatarttuja on ihmistä nopeampi, jolloin kahden operaattorin tapauksessa rajoittavaan vaiheeseen sisältyvät kappaleen lataamiset ja poistamiset tapahtuisivat nopeammin.

Yhden operaattorin ja robottiväestöisen työkiertojen tahtiin voidaan nopeuttaa työskentelymenetelmiä kehittämällä. Kahden operaattorin työkierrossa työstökeskus on rajoittava tekijä, jolloin sen työsyklin nopeuttaminen on haasteellista, koska työstöarvot oletetaan optimeiksi. Porauksen työsyklin lisäksi rajoittavaan tahtiin kuuluvia koneen lataamista ja kappaleen poistamista voitaisiin tosin nopeuttaa juuri robotin avulla.

Soluista valmistuvaa volyyymia voidaan kasvattaa efektiivistä kapasiteettia lisäämällä, mikä onnistuisi muun muassa nopeuttamalla työstökeskuksen huoltoja ja asetuksia. Myös muiden työpisteiden asetukset vaikuttavat efektiiviseen kapasiteettiin. Eräkokojen suurentaminen kasvattaisi myös efektiivistä kapasiteettia, mutta Lean-valmistuksessa asetusten nopeudesta saatava lisäkapasiteetti käytetään päinvastoin eräkokojen pienentämiseen, mikä puolestaan mahdollistaa tuotannon tasoittamisen.

Luvussa 8.3.5 todettiin lyhyesti konekapasiteetin riittävyys robottisolun ja edellä suunnitellun solun ulkopuoliselle tuotannolle. Solun layoutin yhteydessä otettiin myös huomioon, että soluun sijoitettua tuotannon yhteistä resurssia, puristinta voidaan käyttää esimerkiksi kolmannessa vuorossa. Puristimen kapasiteetille tehtiin karkea kapasiteettitarkastelu, jossa todettiin sen kapasiteetin riittävän robottisolulta tulevan tuoteryhmän 1 ja solun ulkopuolisten tuotteiden puristamiseen yhdessä vuorossa. Jos myynnin ja markkinoinnin ennuste kuitenkin toteutuu, ja suunniteltua solua aletaan käyttää kolmessa vuorossa, täytyy yrityksen käyttöön hankkia rinnakkainen puristin.



## 10. PÄÄTELMÄT

Tässä luvussa tarkastellaan diplomityölle asetettujen tavoitteiden täyttymistä sekä esitellään tämän diplomityön keskeisimmät päätelmät. Jälkimmäisessä alaluvussa esitellään millaisia jatkokehityksen kannalta mielenkiintoisia havaintoja työn edetessä tehtiin.

### 10.1 Tutkimustavoitteiden toteutuminen ja johtopäätökset

Tämän diplomityön tavoitteet määrittivät konsernitasolta tuleva vaatimus läpäisyaikojen puolittamisesta ja Lean-kehitykseen sitoutumisesta. Diplomityön kohdeyritys asetti tämän ja yrityksen teetättämän toisen diplomityön yhteiseksi tavoitteeksi varastojen, keskeneräisen tuotannon ja toimitusketjun läpäisyajan puolittamisen. Tämän työn tarkoituksena oli kartoittaa nykyiset valmistusprosessit ja nykytilan pohjalta luoda tulevaisuuden tilan suunnitelma, joka sisältää valmistusprosessin ja ohjauksen. Tulevaisuuden tilan suunnitelman tuli toteuttaa töille asetetut tavoitteet oman valmistusprosessin osalta. Diplomityön tarkoituksena oli myös suunnitella pienen kokoluokan volyymituotteiden tulevaisuuden valmistusprosessi siten, että myynnin ja markkinoinnin ennustama myynnin reilu kaksinkertaistuminen otetaan huomioon. Kehitysprojektin lähtökohtana oli käyttää tehtaan nykyisiä tiloja ja tuotantolaitteita, mutta pienet investoinnit sallittiin, jos ne todetaan tavoitteiden kannalta välttämättömiksi.

Konkreettiseksi diplomityössä sovellettavaksi Lean-menetelmäksi valittiin tuotannon virtauttaminen. Soluvalmistus tiedettiin jo työn alussa Lean-valmistukselle olennaiseksi keinoksi parantaa tuotannon virtausta, mutta soluvalmistuksen soveltuvuus työn tavoitteisiin täytyi selvittää vielä kirjallisuustutkimuksen avulla.

Nykyisten valmistusprosessien kartoittamiseksi ja tulevaisuuden tilan muodostamiseksi muodostettiin virtausta tukevat ryhmäteknologiaan perustuvat tuoteryhmät. Tuoteryhmien nykytilan arvovirtakuvauksien perusteella keskeisimpiä haasteita tavoitteiden saavuttamiselle olivat funktionaalisen tuotannon aiheuttama suuri keskeneräisen tuotannon määrä ja heikko sekä monimutkainen tuotannon virtaus, jotka johtivat pitkään ja vaihtelevaan läpäisy aikaan.

Tuoteryhmien nykytilan virtauksen pohjalta muodostettiin tulevaisuuden tilan arvovirtakuvaus pienen kokoluokan tuoteryhmille, jotka käsittivät 98 % prosenttia vuoden 2014 volyyymista ja 70 % tuotevariaatiosta. Kohdeyrityksen kysyntä vaihtelee ja on ennalta arvaamatonta. Tulevaisuuden tilaan suunnitellulla tasoitetun tuotannon periaatteella pyrittiin nopeaan reagointikykyyn, täyttämään varastoja tasaisesti, lyhyellä läpäisyajalla. Tulevaisuuden tilan valmistusprosessin ydin muodostui kuitenkin kahdesta solus-

ta. Toinen soluista on yrityksessä jo käytössä oleva robottisolun, jonka valmistusprosessin kehittäminen rajattiin volyymeja ja ohjausta lukuun ottamatta työn ulkopuolelle. Toinen tulevaisuudentilan arvovirtakuvauksen soluista muodostettiin, työn kirjoitushetkellä funktionaalisesti sijoitelluista tuotantolaitteista. Työssä keskityttiinkin robottisolun ulkopuolisen volyymituotannon virtaukseen, jossa todettiin olevan suurin kehityspotentiaali.

Tulevaisuudentilan arvovirtakuvauksen mukaisella prosessilla robottisolun ulkopuolisten volyymituotteiden läpäisyajan todettiin lyhenevän 12 – 14 päivästä 4,1 – 4,2 päivään, eli noin 70 %. Arvovirtakuvauksissa robottisolun läpäisyajoiksi saatiin 10,5 – 36 päivää, joista suurin osa muodostui ennen solua sekä solun ja maalauksen välille. Myös robottisolun kautta kulkevan tuotannon läpäisyajan arvioitiin lyhentyvän ja erityisesti läpäisyajan vaihtelun vähentyvän ohjausperiaatteen muutoksen ja keskeneräisen tuotannon rajoittamisen ansiosta. Tulevaisuuden tilan arvovirtakuvaus oli kuitenkin vasta konseptitason suunnitelma, ja solun toteutuksesta haluttiin tarkemmat suunnitelmat sekä laskelmat.

Solun suunnittelua ja laskelmia varten suoritettiin prosessitutkimus, jossa selvitettiin soluun kuuluvien tuotteiden työn elementtien kestot. Prosessitutkimuksessa tehtiin otos, solulle osoitetusta isosta tuotevariaatiosta ja loput ajat selvitettiin lineaariregression avulla. Soluun valittiin soveltuvat tuotantolaitteet ja työmenetelmät, minkä yhteydessä todettiin maalauksen ja pesun vaativan pieniä investointeja. Solun työkierto suunniteltiin kolmella eri vaihtoehdolla, joista yksi sisälsi operaattorin lisäksi robotin. Solussa valmistettavien tuotteiden työn elementtien aikojen perusteella voitiin laskea, millaisiin vuosivolyymeihin solu kykenee eri työkiertoilla. Työkiertoilla päästiin 9 erilaiseen vuosivolyyymiin, sillä kaikki tapaukset laskettiin 1-3 vuorossa. Todettiin, että myynnin ja markkinoinnin ennustama pienen kokoluokan tuotteiden volyymin yli kaksinkertaistaminen on mahdollista, jos molempia soluja käytetään kolmessa vuorossa. Suunnitellussa solussa työskentelisi tällöin kaksi henkilöä. Lähes kaksinkertaistetun volyymin valmistaminen todettiin mahdolliseksi myös robottiaivusteisella työkiertoilla. Molemmista tapauksissa, soluun sijoitetun tuotannon yhteisen resurssin, puristimen, monistamien olisi välttämätöntä. Tulevaisuudessa toteutuvat volyymit vaikuttavat investointien lisäksi solun järkevään miehitykseen ja robottiaivustuksen käyttöön. Suunnitellun solun etuna on nopean läpäisyajan ja yksinkertaisen ohjauksen lisäksi se, että sen avulla voidaan säilyttää nykyisen funktionaalisen tuotannon tuoma joustavuus juuri sen monipuolisten työkiertomahdollisuuksien ansiosta.

Nykytilan arvovirtakuvauksissa vastaanoton ja maalaukseen välinen keskeneräinen tuotanto oli keskimäärin 5 500 kpl. Pelkästään solun muodostaminen vähentää keskeneräisen tuotannon 3 200 kappaleeseen, sillä solun sisäinen keskeneräinen tuotanto on maksimissaan 15 kappaletta, joista suurin osa on maalaustelineessä. Jos tulevaisuudentilan mukaisilla ohjausperiaatteilla rajoitetaan soluja edeltävää keskeneräistä tuotantoa, KET pienenee edelleen. Tulevaisuuden tilan arvovirtakuvauksessa laskettiin molempien solu-

jen kahden päivän riiton mukaiset puskurit vuoden 2014 tuotantomäärällä, jolloin soluja edeltävä keskeneräisen tuotanto olisi keskimäärin 625 kappaletta. Suunnitellussa solussa olisi 15 kappaletta, mutta robottisolun jälkeiseen funktionaaliseen tuotantoon jäisi edelleen 1 200 kpl KET:ä nykytilan perusteella. Tällöin koko valmistusprosessin keskeneräisen tuotannon määrä olisi keskimäärin 1 840 kpl, mikä on reilusti alle puolet nykyistä vähemmän.

Diplomityössä onnistuttiin suunnittelemaan soluvalmistusta hyödyntävä tuotantoprosessi, joka pystyy vastaamaan yli kaksinkertaistuvaan kysyntään, yli puolet lyhemmällä läpäisyajalla ja yli puolet pienemmällä KET:llä. Voidaankin todeta, että tälle diplomityölle asetetut tavoitteet täyttyivät. Laskelmat ovat kuitenkin teoreettisia, mutta ne antavat suuntaa päätöksenteon tueksi. Toimitusketjun läpäisyajan puolittamien mahdollistaa teoreettisesti lopputuotevaraston puolittamisen. Toimitusketjun läpäisyajasta noin 60 % muodostuu alihankinnasta. Oman tuotannon läpäisyajan puolittamisella on siis marginaalinen vaikutus lopputuotevaraston puolittamisen kannalta, ellei soluja edeltävässä supermarketissa pidetä kaikkia tuotteita, jolloin nopealla oman tuotannon läpäisyllä voitaisiin valmistaa suoraan tilaukseen. Tämäkään ei kuitenkaan riitä yrityksen lupamaan palvelutasoon. Yritykselle tekeillä olevalla toisella diplomityöllä onkin lopputuotevarastojen puolittamisen kannalta merkittävä rooli. Toisen diplomityön tulokset eivät ole kuitenkaan tämän luvun kirjoitushetkellä (11.11.2015) vielä selvillä.

## 10.2 Jatkokehitysehdotukset

Diplomityön edetessä ilmeni useita eri jatkokehityskohteita, joihin ei työn laajuuden vuoksi voitu keskittyä. Selvitettäviä jatkokehityskohteita ovat:

- Solun työmenetelmien tarkempi suunnittelu ja kehittäminen.
- Operaattorin korvaamiseen robotilla liittyvät investointilaskelmat.
- Solujen ulkopuolisen tuotannon virtauksen suunnittelu, mihin sisältyy myös robottisolun jälkeinen funktionaalinen tuotanto.
- Koko tehtaan tuotannon layoutin suunnittelu.
- Työtehtävien tarkempi standardointi, kuvallisten standardityöohjeilla ja työntekijöiden monitaitoisuuden lisääminen.
- Asetusaikojen lyhentäminen ja asetusten teon yhtenäistäminen.
- Siirtoihin kuluvan ajan vähentäminen, uusien karkaisuhäkkien avulla.
- Lämpökäsittelyn kapasiteetin selvittäminen.
- Solun ulkopuolisen henkilöresurssitarpeen laskenta.

Solun suunnittelussa ei tehty varsinaista työpistesuunnittelua, jolla olisi määritetty tarkasti esimerkiksi materiaalien säilytys ja työtasojen korkeudet. Työpistesuunnittelu voitaisiin toteuttaa pahvimallin avulla, jolloin työntekijät pääsevät vaikuttamaan lopputuotokseen. Solussa käytettävää pesuria ja maalaustelinettä ei myöskään suunniteltu yksi-

tyiskohtaisesti, joten niiden tarkempi suunnittelu tai valmiin ratkaisun etsiminen on suotavaa. Solun työpisteiden automatisointia siten, että operaattori hoitaisi ainoastaan kappaleen lataamisen ja poistamisen, ei myöskään selvitetty. Ainoastaan robotin käyttö alkupään kappaleiden käsittelyyn todettiin onnistuvan suhteellisen helposti. Maalausmenetelmiä voitaisiin kehittää käyttämällä spray-pullon sijasta maalausruiskua. Robottisolun jälkeisen tuotannon maalaaminen pyramidissa ei ole myöskään tehokasta, sillä kerroksen kuivamisen odottelu on hukkaa. Avartimia voitaisiin pinota suoraan varastoitavalle kuormalavalle pyramidin muotoon siten, että jokainen kerros maalataan ennen, kuin päälle nostetaan uusi kerros. Lopuksi lavalle voitaisiin asettaa kaulus ja siirtää lava varastoon tai vastaanottoon.

Solujen ulkopuolelle jää ainoastaan 2 % volyymista, mutta solun ulkopuolinen tuotanto voitaisiin myös toteuttaa soluperiaatteella. Isojen tuotteiden vaatimat koneet voidaan järjestää siten, että pitkällä puominosturilla siirretään porattu kappale kaikkien työvaiheiden läpi, jolloin siirtoihin kuluva aika lyhenee. Robottisolun jälkeen on vielä funktionaalisia työvaiheita, joiden virtauksen parantaminen lyhentää läpäisyä ja pienentää KET:ä. Koko tehtaan tuotannolle täytyy myös suunnitella layout, jossa kokonaisvirtaus on huomioitu.

Solun työtehtävistä tehtiin standardityökaaviot, mutta kuvallisten standardityöohjeiden avulla voitaisiin yhtenäistää työskentelytapoja ja näin vähentää virtausta heikentävää vaihe aikojen vaihtelua. Työntekijöiden monitaitoisuutta joudutaan myös lisäämään, sillä jos solua käytetään kolmessa vuorossa, solussa täytyy olla aina henkilöitä, jotka hallitsevat kaikki solun työvaiheet. Kahden operaattorin työkierrolla tehtäviä voidaan vaihdella ja myös kouluttaminen helpottuu.

Porauksen asetuksien ja ohjelmien tekemistä täytyy yhtenäistää. Kun kaikki tekevät asetukset ja ohjelmat samalla periaatteella, operaattorin selvitystyön ja kokeilun tarve vähenee. Porauksen asetuksien teon yhteydessä käsiteltiin poikkeavia menetelmiä ohjelman koekäytössä, jolla varmistetaan terän pituudesta ja reikien oikeasta paikasta. Ohjelmat tulisi tehdä siten, että nollapiste on kappaleen alareunassa ja ohjelman z-mitat kappaleen otsapinnassa reikien pohjan tasalla. Terän mitta voitaisiin varmistaa esimerkiksi koneen pyöröpöytään kiinnitettävällä *BASE MASTER* -paikoitusanturilla. Kun makasiinissa olevat terän mitat ovat oikein samoin kuin ohjelman z-mitat, ainut syy ohjelman koekäyttöön on reikien oikean paikan varmistaminen. Reikien oikeaa paikkaakaan ei tarvitse varmistaa, jos ohjelmat on tehty yhdellä periaatteella ja ne pidetään ajan tasalla. Lisäksi reikien syvyystoleranssi täytyy sopia ja dokumentoida sekä kiinnittää koneille halkaisijatoleranssien yhteyteen.

Lämpökäsittelyyn sisältyy huomattava määrä siirtoja, joissa tuotteita ladotaan kuormalavalta karkaisuhäkkiin ja karkaisun jälkeen takaisin kuormalavalle. Karkaisuhäkkejä lisäämällä karkaistut tuotteet voitaisiin toimittaa soluun suoraan karkaisuhäkissä. Sekapanokset mahdollistavat sen, että voidaan käyttää tasoitettua tuotantoa ja toimittaa solul-

le häkki, jossa on useaa tuotetta. Karkaisuhäkki on laakeroitu, joten kappale voidaan ottaa aina samasta kohdasta. Kappaleet voidaan myös asettaa sopivalle korkeudelle, asettamalla karkaisuhäkki saksipöydälle.

Tulevaisuuden tilan arvovirrassa lämpökäsittelyn kapasiteetti oletettiin riittäväksi, jolloin tuotantoa ohjattiin solujen avulla. Volyymin kasvaessa lämpökäsittelystä tulee todennäköisesti tuotannon rajoittava resurssi. Lämpökäsittelyn kapasiteetti eri tuotekoilla täytyy selvittää, lämpökäsittelyn muodostuessa pullonkaulaksi, tuotannon ohjaus solujen avulla ei enää onnistu. Myös solujen ulkopuolisen tuotannon henkilöresurssien kapasiteettitarpeen määrittäminen oli tämän diplomityön puitteissa liian työlästä, sillä solujen ulkopuolisen tuotannon tuotevariaatio on 50 %, eivätkä vaiheajat olleet tarkasti tiedossa.

## LÄHTEET

Aase, G.R., Olson, J.R. & Schniederjans, M.J. 2004. U-shaped assembly line layouts and their impact on labor productivity: An experimental study, *European Journal of Operational Research*, Vol. 156(3), pp. 698-711.

Atlas Copco 2014. Casing Advancement systems product catalogue and selection guide, March 2014, Fagersta, Sweden, 56 p.

Black, J.T. 2000a. Linked-cell manufacturing system (L-CMS) Lean manufacturing LINKED-CELL MANUFACTURING SYSTEM (L-CMS), *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*, pp. 363-369.

Black, J.T. 2000b. Cycle time in cell manufacturing design. *MANUFACTURING CELL DESIGN*, *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*, pp. 396-398.

Bellgran, M. & Säfsten, K. 2010. *Production Development Design and Operation of Production Systems*, Springer-Verlag London, London. 339 p.

Boughton, N.J. 2000. The application of cellular manufacturing: a regional small to medium enterprise perspective, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers.Pt.B.Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 214 pp. 751-754.

Burbidge, J.L. 1980. *Group Technology in the Engineering Industry: Precision Engineering*, Vol. 2(3), pp. 146-146.

Burnham, J.M. 2000. Transition to Cell Manufacturing: The Case of Duriron Company Inc., Cookeville Valve Division (1988–1993), *Innovations in Competitive Manufacturing*, pp. 199-213.

Chakravorty, S. & Hales, D. 2004. Implications of cell design implementation: A case study and analysis, *European Journal of Operational Research*, Vol. 152(3), p. 602-628.

Cochran, D. (2001). A decomposition approach for manufacturing system design, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 20(6), pp. 371-389.

Continuous improvement store. Velaction. 2015. Saatavissa: <http://www.velactionstore.com/>

Da Silveira, G. 1999. A methodology of implementation of cellular manufacturing, *International Journal of Production Research*, Vol. 37(2), pp. 467-479.

Duggan, K.J. 2002. *Creating Mixed Model Value Streams: Practical Lean Techniques for Building to Demand*. New York, Productivity Press, 206 p.

Gleanday, I. 2007. *Breaking Through to Flow: Banish fire fighting and increase customer service*. Herefordshire, Lean Enterprise Academy Ltd. 92 p.

Gunasekaran, A., McNeil, R., McGaughey, R., Ajasa, T. 2001. Experiences of a small to medium size enterprise in the design and implementation of manufacturing cells. *International Journal Computer Integrated Manufacturing*. Vol 14, No 2, pp. 212-223.

Huber, V. L., & Brown, K. A., 1991. Human resource issues in cellular manufacturing: a sociotechnical analysis. *Journal of Operations Management*, 10, pp. 138-159.

Hyer, N., Brown, K. & Zimmerman, S. 1999. A socio-technical systems approach to cell design: case study and analysis, *Journal of Operations Management*, Vol. 17(2), pp. 179-203.

Hyer, N. & Wemmerlöv, U. 2003. Getting cells in place, *Manufacturing Engineering*, Vol. 130(3), pp. 89-97.

Hyer, N. & Wemmerlöv, U. 2002. *Reorganizing the factory competing through cellular manufacturing*, Productivity Press, Portland, 770 p.

Hwaiyu, Geng. 2004. *Manufacturing Engineering Handbook. Work Cell Design*, McGraw-Hill Professional, Access Engineering, Chapter 52.

Johnson, D.J. & Wemmerlöv, U. 2004. Why Does Cell Implementation Stop? Factors Influencing Cell Penetration in Manufacturing Plants, *Production and Operations Management*, Vol. 13(3), pp. 272–289.

Kouri, I., 2013. Tampereen teknillinen yliopisto. Lean Management. Luentomateriaali, Julkaistu Moodle 2, 15.3-12.4.2013. Rajoitettu saatavuus.

Kumar, A.,D. & Ramesh, V. 2012. Cellular Manufacturing Layout Design in Inner Tube Manufacturing Industry: A Case Study. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, Volume No.1, Issue No.6, pp. 306-313.

Labach, E.J. 2010. Using Standard Work Tools For Process Improvement, *Journal of Business Case Studies*, Vol. 6(1), pp. 39-47.

Lapinleimu, I. 2000. *Ideaalitehdas: Tehtaan suunnittelun teorian kiteytys*. TEKESin teknologiaohjelmaan, Mallitehdaskonseptin kehittäminen, kuuluvan tutkimushankkeen raportti. Tampereen teknillinen korkeakoulu. PAINOS 2.2001. 197 p.

Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen S. 1997. *Kone- ja metalliteollisuuden tuotantjärjestelmät*. WSOY Konepajan tuotantotekniikka. Porvoo 1997. 398 p.

Lean Enterprise Institute. 2001. Adds New Workshop on Creating Continuous Flow as Follow-up to Value Stream Mapping Workshop, PR Newswire, pp. 1-9.

- Liker J., K., 2004. *The toyota way: 14 Management Principles from the World's greatest manufacturer*. McGraw-Hill. 330 p.
- Locher, D., 2008. *Value stream mapping for lean development : a how-to guide for streamlining time to market*, Taylor & Francis, Boca Raton, 127 p.
- Miltenburg, J. 2001. U-shaped production lines: A review of theory and practice, *International Journal of Production Economics*, Vol. 70(3), pp. 201-214.
- Miltenburg, J. 1998. Balancing U-lines in a multiple U-line facility. *European Journal of Operational Research* 109, pp. 1–23.
- Miltenburg, J. 2002. Balancing and scheduling mixed-model U-shaped production lines. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems* 14 (2), pp. 123–155.
- Miltenburg, J., Wijngaard, J. 1994. U-line balancing problem. *Management Science* 40, 1378–1388.
- Quaterman 2007. *Implementing lean manufacturing: Imitation to innovation*. Management Services, Autumn 2007. 6 p.
- Rother, M. *Improvement Kata Handbook: Direction*. 2015 Saatavissa: <http://www-personal.umich.edu/~mrother/Handbook/Direction.pdf>
- Rother, M. *Improvement Kata Handbook: Analysis*. 2015 Saatavissa: [http://www-personal.umich.edu/~mrother/Materials\\_to\\_Download.html](http://www-personal.umich.edu/~mrother/Materials_to_Download.html)
- Rother, M. & Niemi, M. 2011. *Toyota kata, Readme.fi*, Helsinki, 282 p.
- Rother, M. 2001. *Creating continuous flow an action guide for managers, engineers and production associates*, Lean Enterprise Institute, Cambridge (MA). 103 p.
- Rother, M., Shook, J. 1999. *Learning to See. Version 1.2*. Lean enterprise institute. 102 p.
- Shirahama, S. 2012. *Maynard's Industrial Engineering Handbook, Fifth Edition*. Chapter 32.
- Stephens, M., Meyers, F. 2013. *Manufacturing facilities design and material handling, Fourth edition*, Pearson Education, New Jersey, 486 p.
- Stevenson, W.J. 2012. *Operations management theory and practice*, McGraw Hill/Irwin, New York, NY, 908 p.
- Strategnos, *Designing Workcells & Micro layouts*, 2015. Saatavissa: <http://www.strategosinc.com/celldesign.htm>



Taanila, A., 2010 Lineaariset regressiomallit, Haaga-Helia 17.6.2010. 28 p. Saatavissa: <http://myy.haaga-helia.fi/~taaak/m/regressio.pdf>

Tapping, D., Luyster, T. & Shuker, T. 2002. Value Stream Management: Eight Steps to Planning, Mapping and Sustaining Lean Improvements. New York, Productivity Press, 169 p.

Työterveyslaitos. 2015. Nostotyö. Saatavissa: [http://www.ttl.fi/fi/ergonomia/tyon\\_fyysisia\\_kuormitustekijoita/nostotyö/sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/ergonomia/tyon_fyysisia_kuormitustekijoita/nostotyö/sivut/default.aspx)

Wang J. X. 2015. Cellular Manufacturing. CRC Press. 206 p.

Wemmerlov, U. 1997. Cellular manufacturing at 46 user plants: implementation experiences and performance improvements, International Journal of Production Research, Vol. 35(1), pp. 29-49.

Wemmerlov, U. & Johnson, DJ. 2000. Empirical findings on manufacturing cell design, International Journal of Production Research, Vol. 38(3), pp. 481-507.

Whitmore, T. 2008. Standardized WORK, Manufacturing Engineering, Vol. 140(5), pp. 171.

Wilson, L. 2010. How to Implement Lean Manufacturing, McGraw-Hill, New York. 335 p.

Womack, J.P. 2006. Value Stream Mapping. Manufacturing Engineering. Vol. 136, No. 5, pp. 145–156.

## LIITTEET

**Liite 1.** Tuoteryhmien volyymeja ja volyymien ennustettuja muutoksia.

**Liite 2.** Avartimien arvovirta-analyysien kaavake.

**Liite 3.** Pilottien arvovirta-analyysien kaavake.

**Liite 4.** Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 1.

**Liite 5.** Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 1, erillisellä nastoituksella.

**Liite 6.** Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 2, suurella sarjakooalla.

**Liite 7.** Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 2, pienellä sarjakooalla.

**Liite 8.** Arvovirta-analyysi Haas2:lla poratulle tuoteryhmä 2:n ei puristettavalle avartimelle.

**Liite 9.** Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 2.

**Liite 10.** Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 3.

**Liite 11.** Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 4.

**Liite 12.** Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 5.

**Liite 13.** Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 6.

**Liite 14.** Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 7.

**Liite 15.** Tulevaisuuden tilan arvovirtakuvaus tuoteryhmille 2 ja 5.

**Liite 16.** Tulevaisuuden tilan karkea arvovirtakuvaus tuoteryhmille 1, 2 ja 5

**Liite 17.** Takt-ajan laskentaa myynnin ja markkinoinnin sekä datan ennusteen mukaan.

**Liite 18.** Takt-ajan laskentaa sesonkikuukausille.

**Liite 19.** Prosessitutkimuksessa käytetty kaavake 1.

**Liite 20.** Prosessitutkimuksessa käytetty kaavake 2.

**Liite 21.** Prosessitutkimuksessa käytetty kaavake 3.

**Liite 22.** Prosessitutkimuksessa käytetty kaavake 4.

**Liite 23.** Prosessitutkimuksessa käytetty kaavake 5.

**Liite 24.** Prosessitutkimuksessa käytetty kaavake 6.

**Liite 25.** Standardioperaatiokaavio (Työjärjestys 1).

**Liite 26.** Standardioperaatiokaavio (Työjärjestys 2).

**Liite 27.** Standardioperaatiokaavio (Työjärjestys 3).

**Liite 28.** Standardioperaatiokaavio (Työjärjestys 4)

**Liite 29.** Standardioperaatiokaavio Robotilla (Työjärjestys 1)

Liite 1. Tuoteryhmien volyymeja ja volyymien ennustettuja muutoksia.

	Toteutuneet volyymit		Volyymien muutos								Volyymi		Robottisolu	
	2013	2014 kpl	Toteutunut		Datasta ennustettu		Myyntin ja markkinoinnin ennuste				2014 toteutunut	Ennustettu kokonaisvolyymi		volyymi maksimi
			2013-2014 kpl %	2014-2015** kpl %	2015-2017*** kpl %	2014-2015**** kpl %	2014-2017 kpl %	2014-2015**** kpl %	2014-2017 kpl %	Datasta		Myynti ja markkinointi		
<b>Yhteensä</b>			10184	10548	31643	27000	81000							3vuorossa
<b>Tuoteryhmä</b>														
1			5637	5195	15586	19355	57115							1
2			4439	4266	12797	6710	21255							2
3			16	866	2597	278	781							3
4			176	-11	-32									4
5	1660	1695	35	308	925	658	1849	109%				2620	3544	5
6	722	643	-79	-84	-252	0%	0%	0%				391	643	6
7	196	156	-40	7	21	0%	0%	0%				177	156	7

\* Valmistettujen tuotteiden data on väliltä 1.1-14.6.2015.

\*\* Tässä on käytetty vuoden 2014 kasvun lisäksi tuoteryhmittäin, ajankohdasta 14.6.2014 ajankohtaan 31.12.2014 ja saadulla kasvun lisäyksellä on kerrottu ajankohtaan 14.6.2015 mennessä kertynyt volyymi.

\*\*\* Käytetty määriteidän \*\* kasvuvahtia.

\*\*\*\* Myyntin ja markkinoinnin 81 000 kappallen kasvunennuste suhteutettu vuodelle. Oletettu lisäksi kasvun kohdistuvan pienin kokoluokkiin.

## Liite 2. Avartimien arvovirta-analyyseiden kaavake.

**Tuote (avarrin)**

esim. P219/12,7-171 tai koodi:

**Arvovirta-analyysi**

**Avarrin**

**Tavaran vastaanotto**

kuittaus	
määrä:	
päivä	
klo:	

Jokaiselle lavalle oma lappu

**Lämpökäsittely**

kuittaus	
eräkoko	
asetusaika (panostus)	
aloituspäivä	
löpök. alkoi klo:	
käsittelyn lopetuspäivä	
klo:	
asetusaika (purkaminen)	

**Poraus**

kuittaus	
eräkoko	
asetusaika	
aloituspäivä	
klo:	
lopetuspäivä	
klo:	

**Pesu**

kuittaus	
pesuerän koko	
aloituspäivä	
pesuerien määrä	
eka pesu alkoi klo:	
pesun kesto (siirrot ja puhallukset mukaan lukien)	
viimeinen pesu loppui klo:	
lopetuspäivä	

Kommentit: (esim. muita tehtäviä välissä, kesto)

**Nastoitus**

kuittaus (montako nastoitajaa)	
eräkoko	
aloituspäivä	
klo:	
asetusaika erälle	
lopetuspäivä	
klo:	

**Prässäys**

kuittaus	
eräkoko	
asetusaika erälle	
aloituspäivä	
klo:	
lopetuspäivä	
klo:	

**Maalaus**

kuittaus	
eräkoko	
aloituspäivä	
klo:	
lopetuspäivä	
klo:	

**Pakkaus**

kuittaus	
eräkoko	
aloituspäivä	
klo:	
lopetuspäivä	
klo:	

Kommentit: (esim. muita tehtäviä välissä, kesto)

## Liite 3. Pilottien arvovirta-analyyseiden kaavake.

Arvovirta-analyysi  
Pilottit

<b>Tuote (pilotti)</b>
------------------------

esim. R194/12,7-154-G2-QL60 tai koodi:

**Tavaran vastaanotto**

kuittaus	
määrä:	
päivä	
klo:	

Jokaiselle lavalle oma lappu

**Kommentit: (esim. muita tehtäviä välissä, kesto)**

**Pesu**

kuittaus	
pesuerän koko	
aloituspäivä	
pesuerien määrä	
eka pesu alkoi klo:	
pesun kesto (siirrot ja puhallukset mukaan lukien)	
viimeinen pesu loppui klo:	
lopetuspäivä	

**Poraus**

kuittaus	
eräkoko	
asetusaika	
aloituspäivä	
klo:	
lopetuspäivä	
klo:	

**Nastoitus**

kuittaus (montako nastoitajaa)	
eräkoko	
aloituspäivä	
klo:	
asetusaika erälle	
lopetuspäivä	
klo:	

**Kommentit: (esim. muita tehtäviä välissä, kesto)**

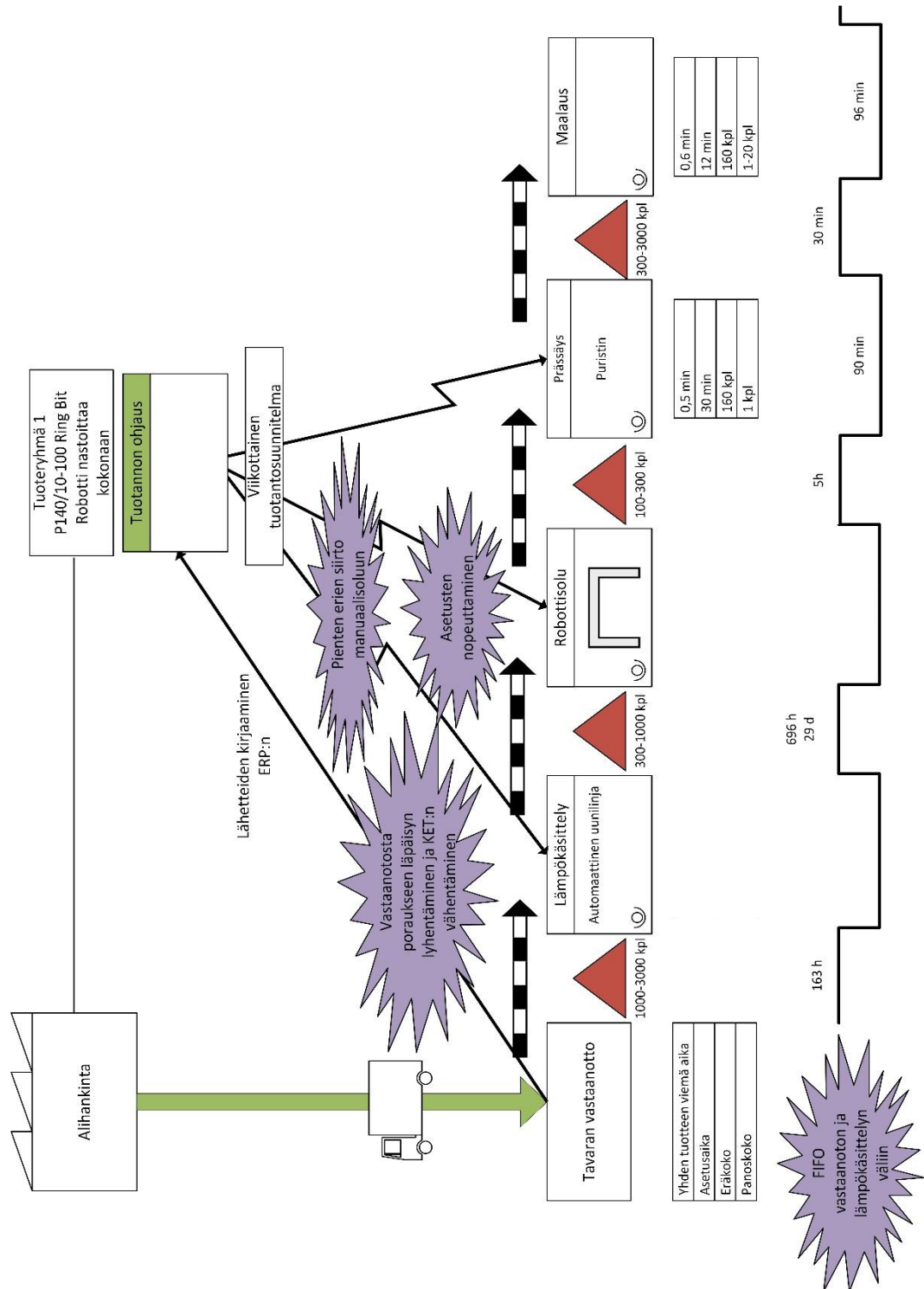
**Huuhteluventtiili**

kuittaus	
eräkoko	
aloituspäivä	
klo:	
asetusaika erälle	
lopetuspäivä	
klo:	

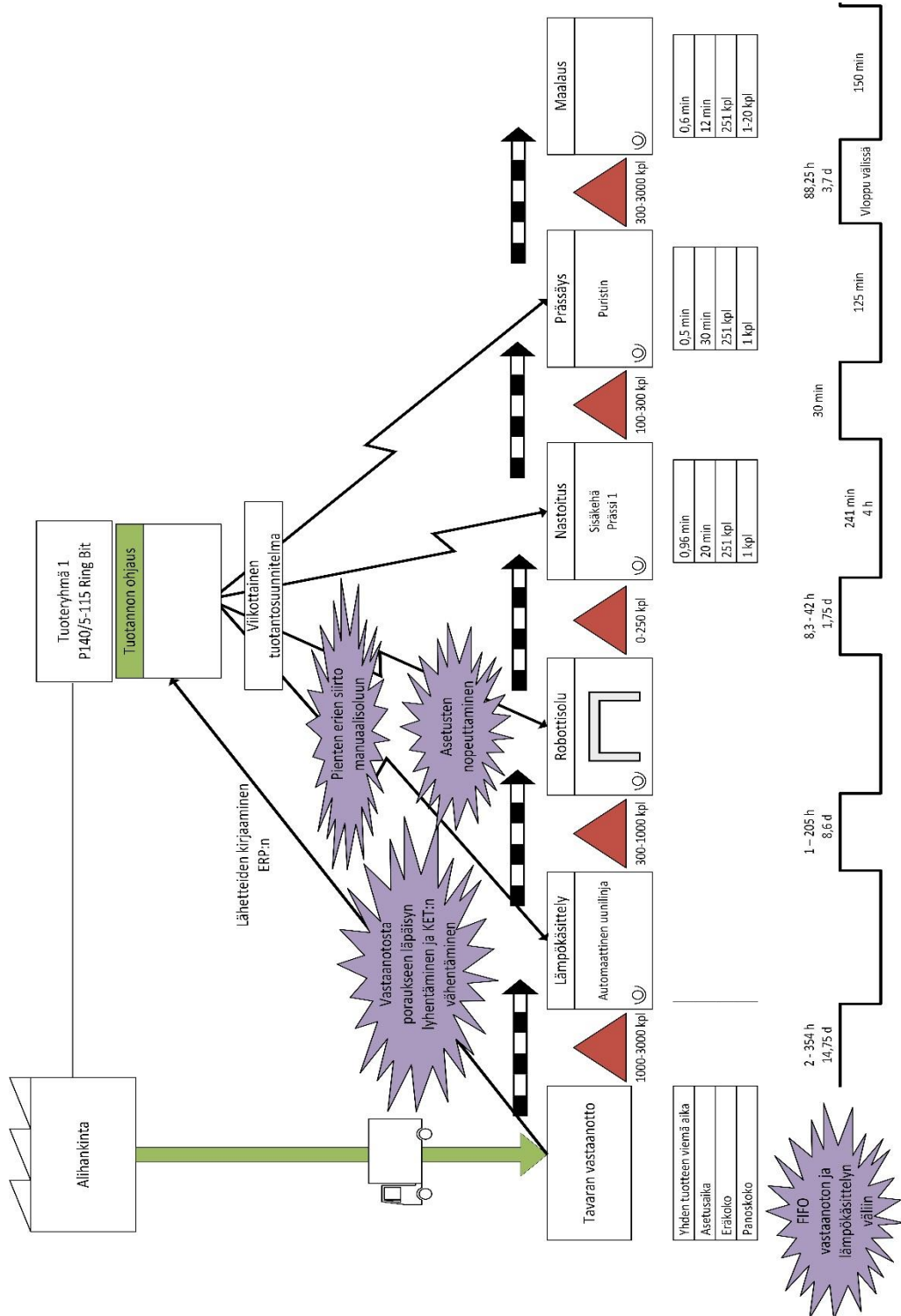
**Pakkaus**

kuittaus	
eräkoko	
aloituspäivä	
klo:	
lopetuspäivä	
klo:	

Liite 4. Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 1.

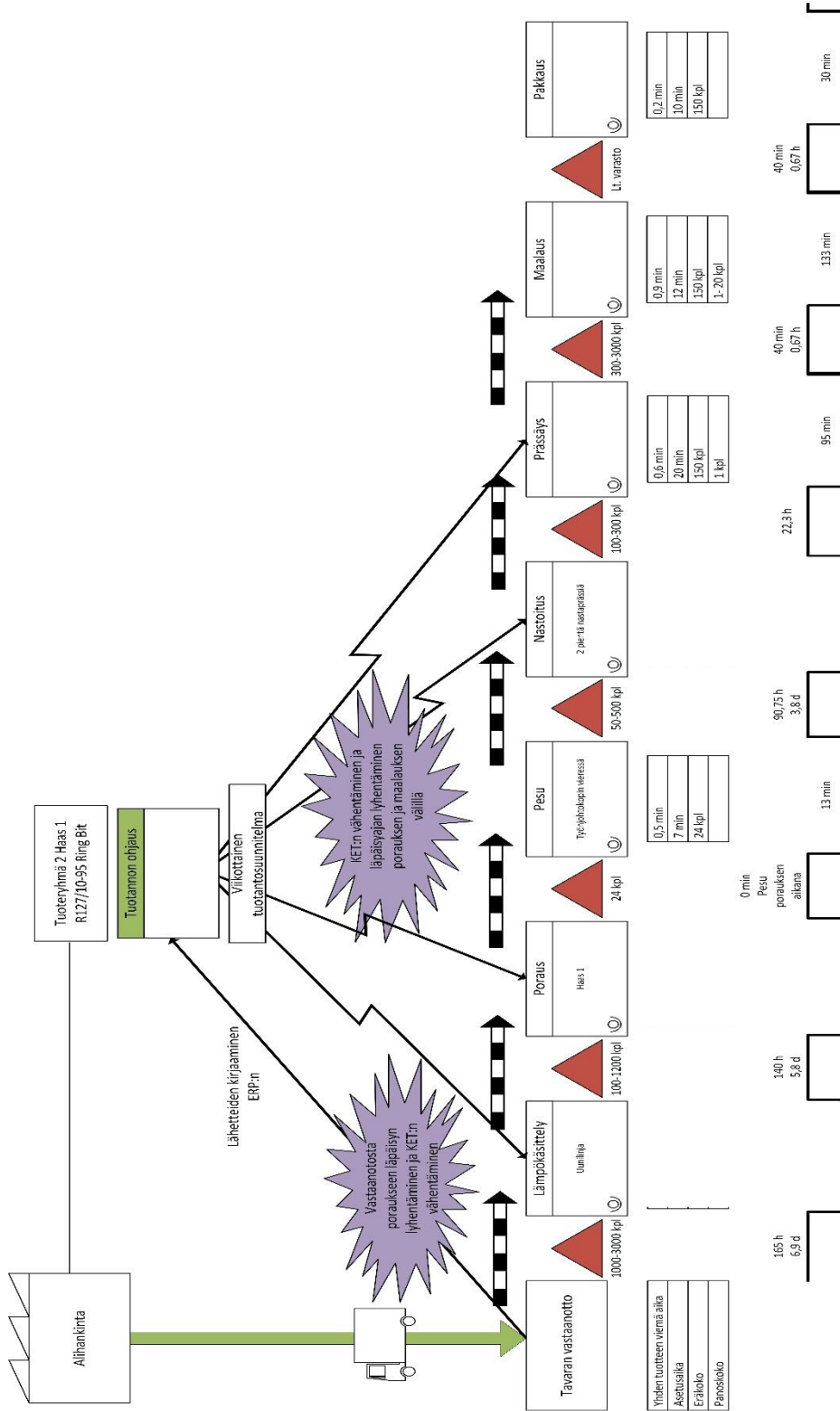


Liite 5. Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 1, erillisellä nastoituksella.

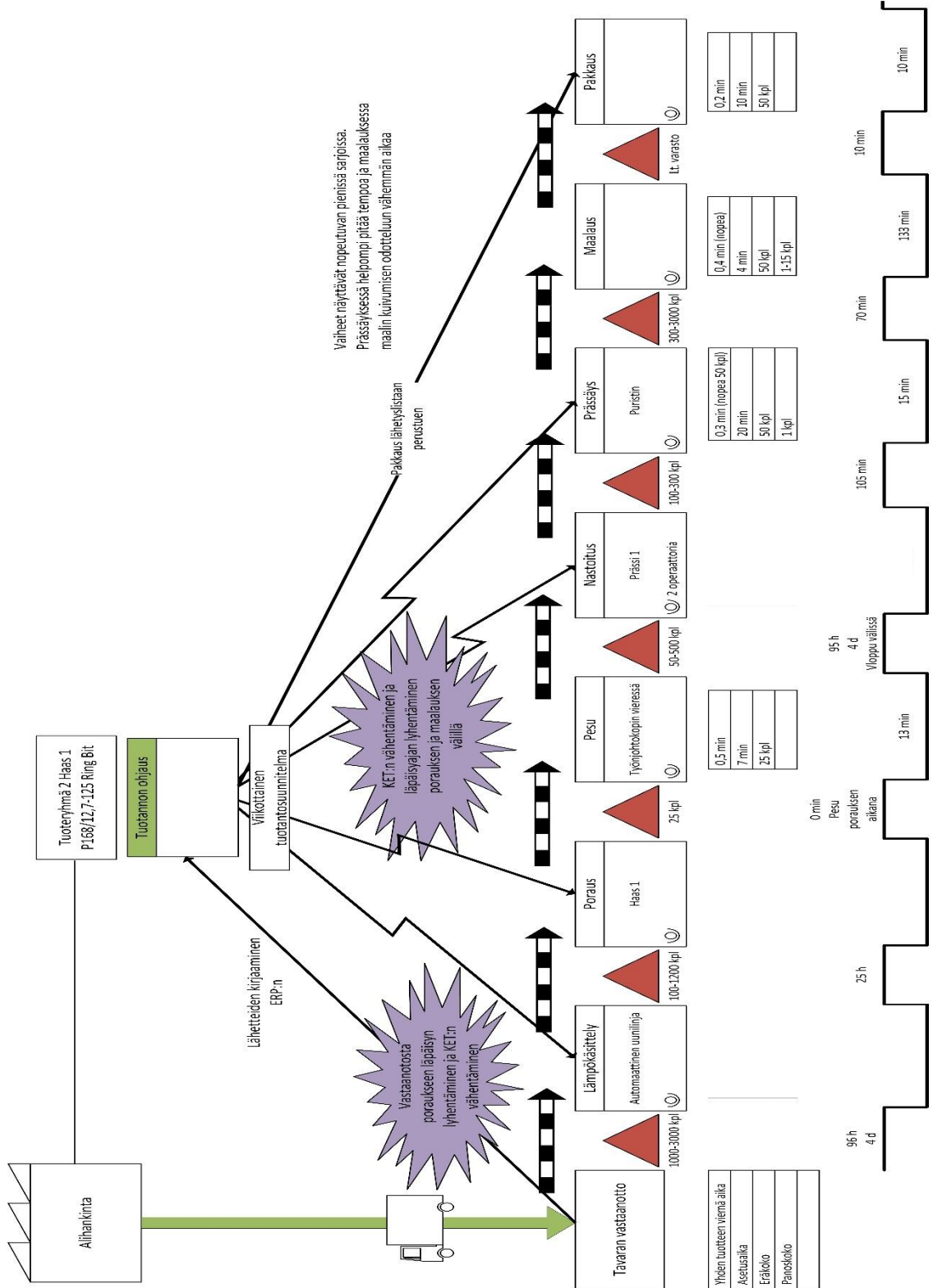




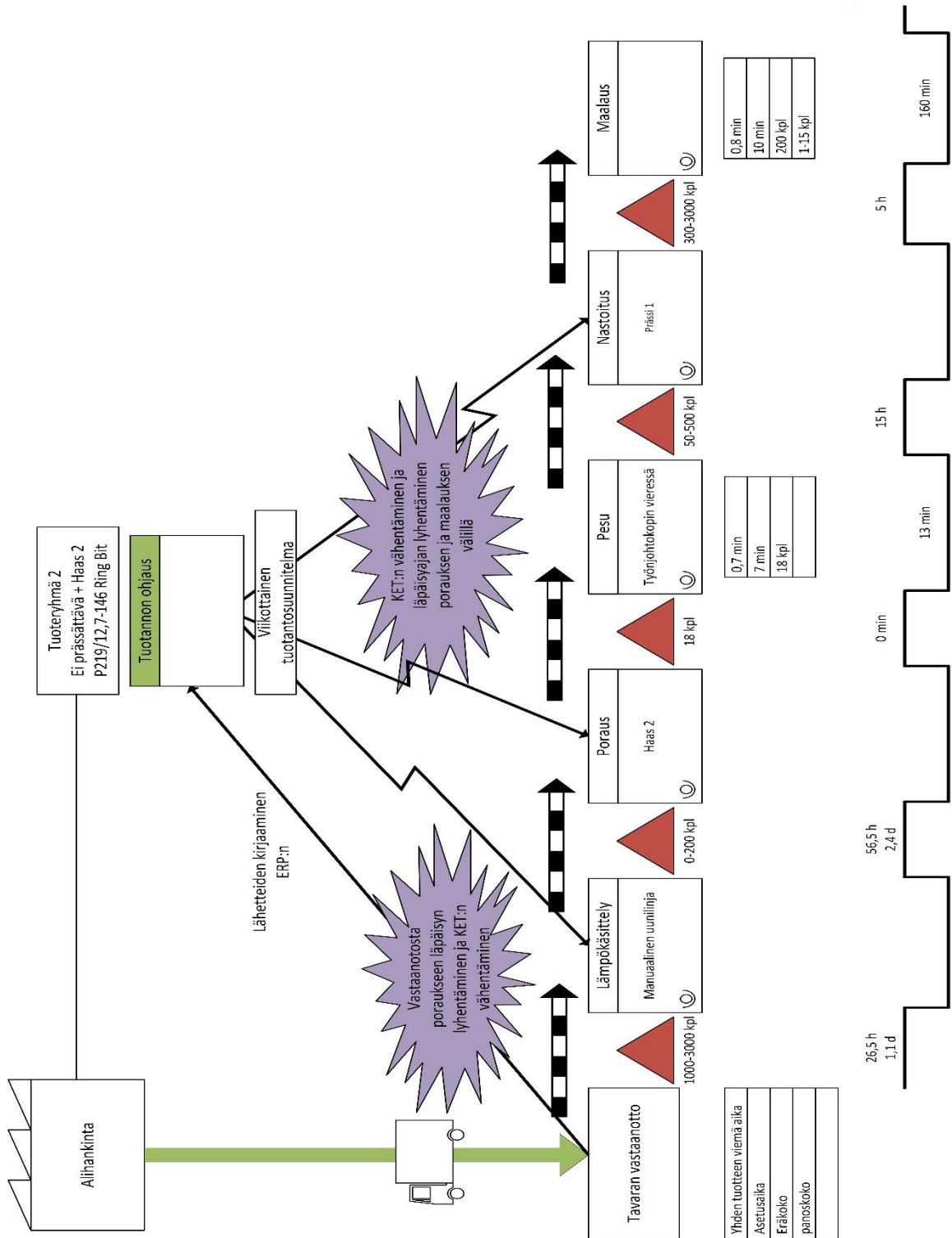
Liite 6. Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 2, suurella sarjakoolla.



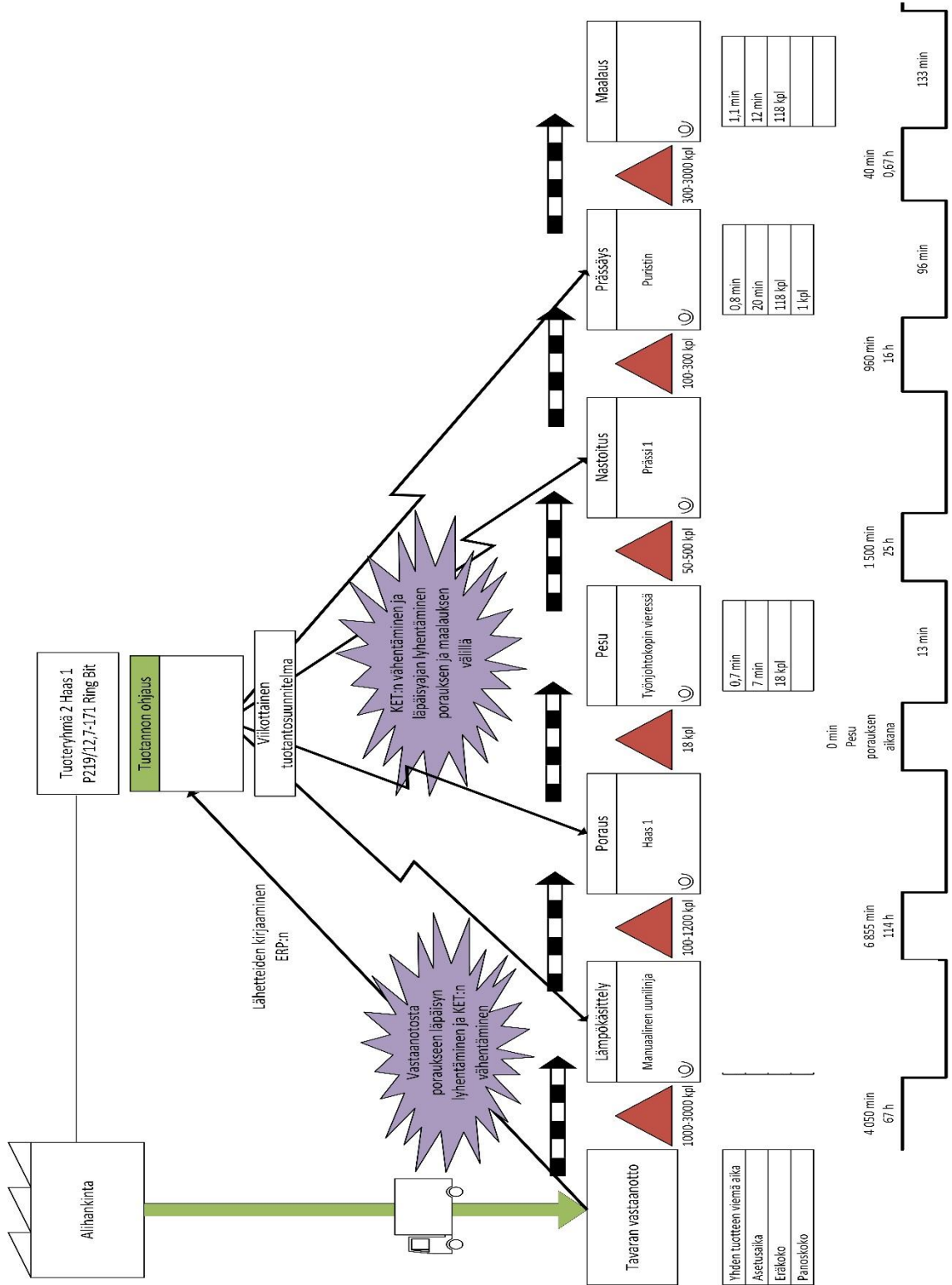
Liite 7. Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 2, pienellä sarjakoolla.



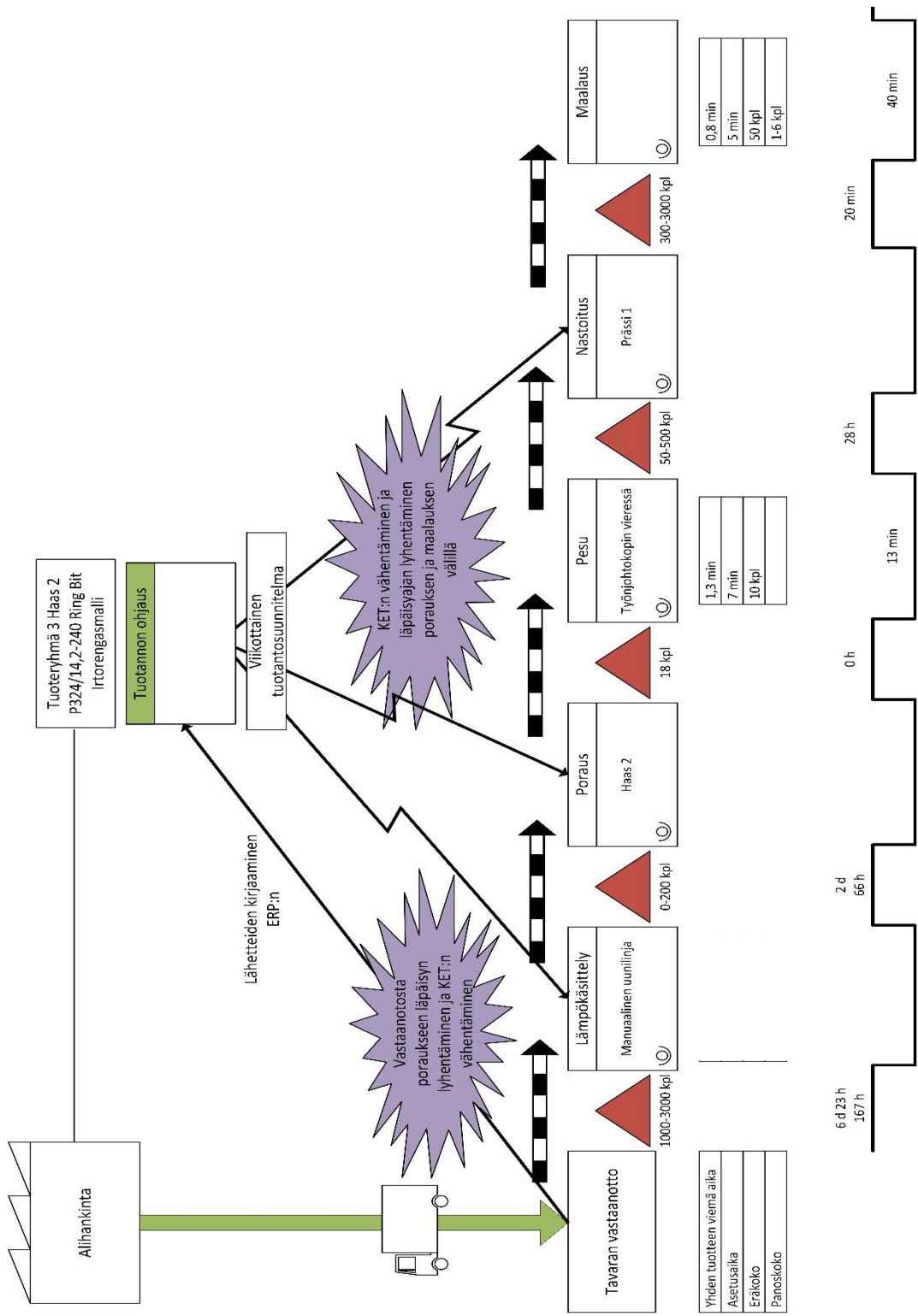
Liite 8. Arvovirta-analyysi Haas2:lla poratulle tuoteriikillä 2:n ei puristettavalle avartimelle.



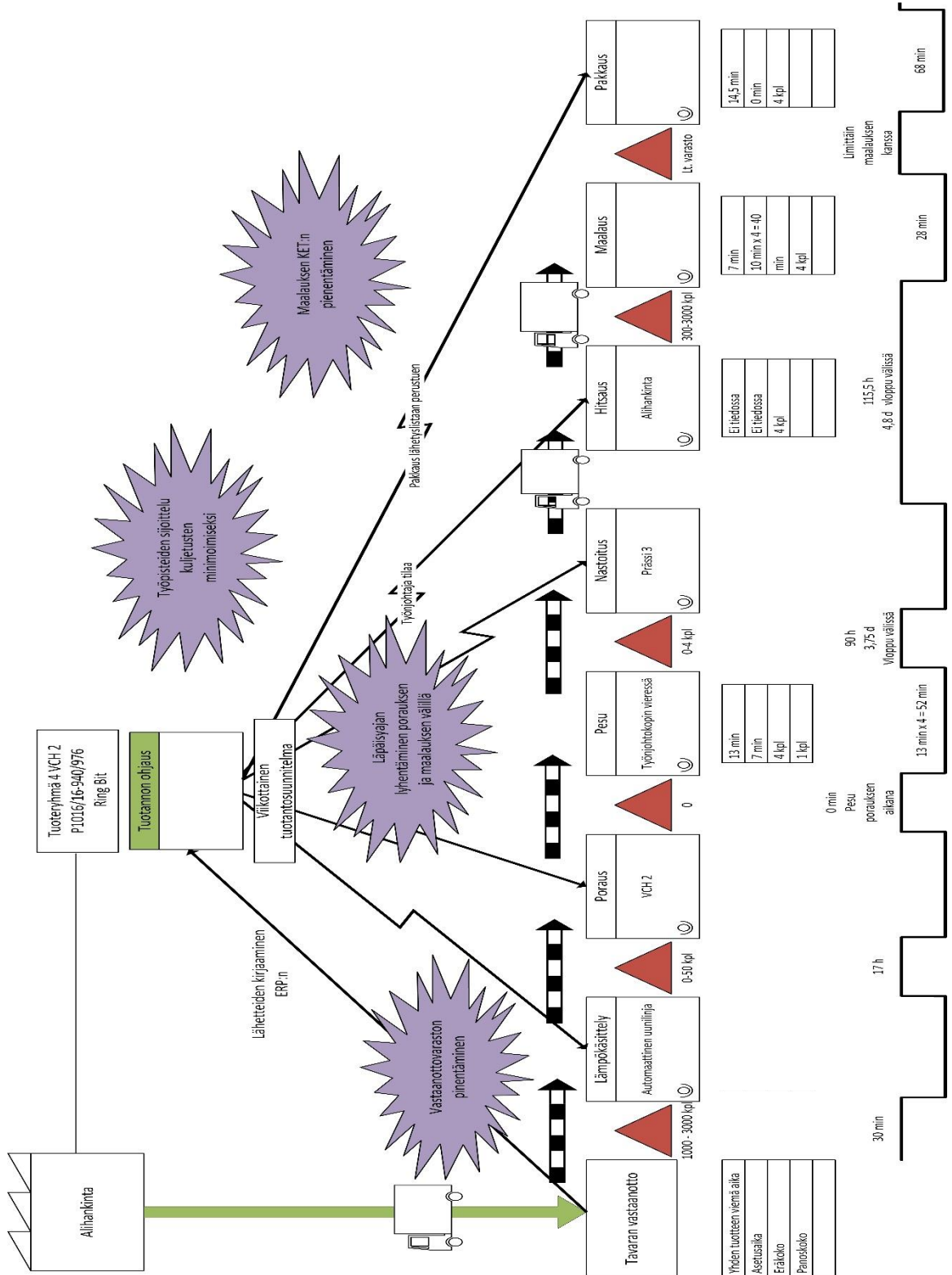
Liite 9. Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 2.



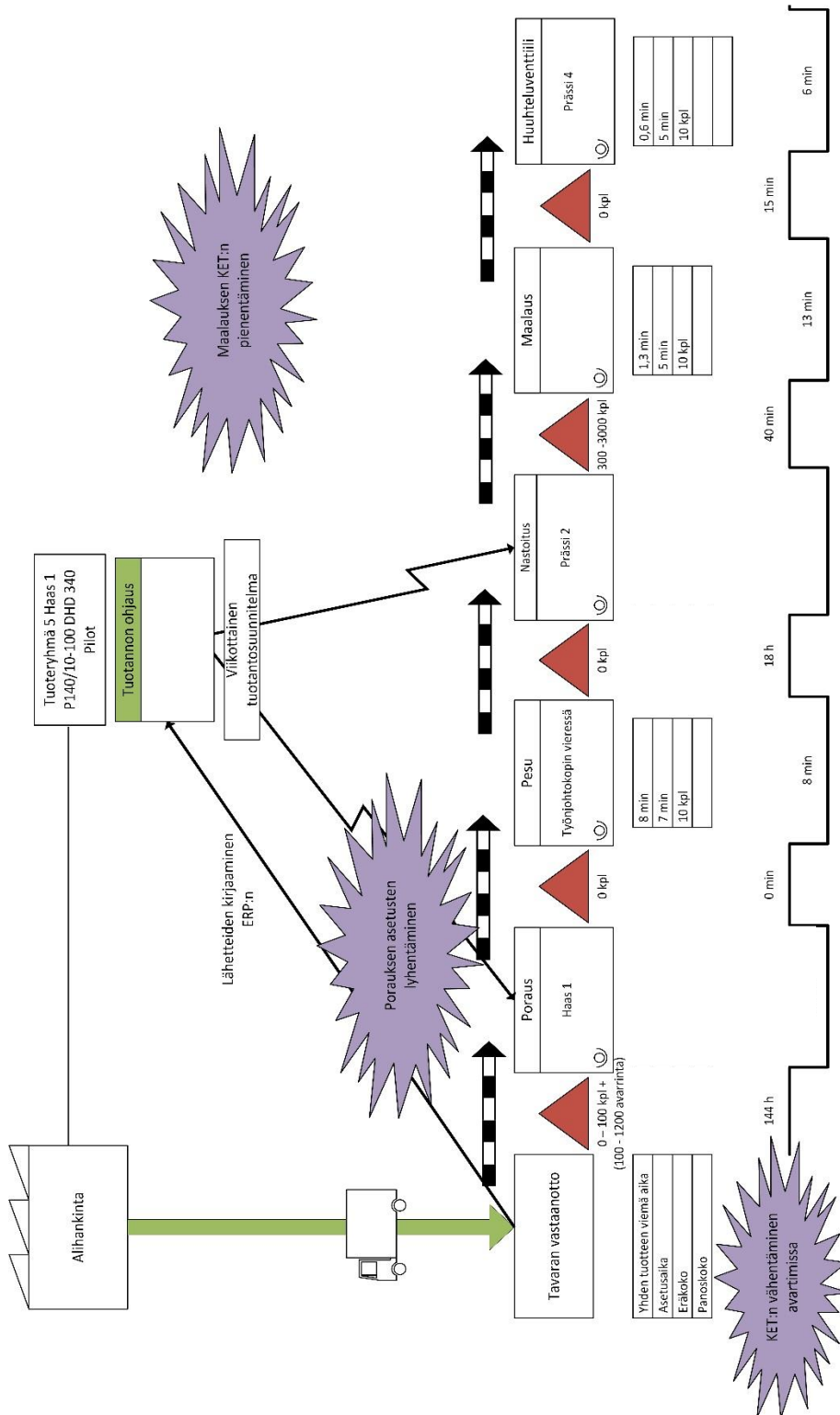
Liite 10. Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 3.



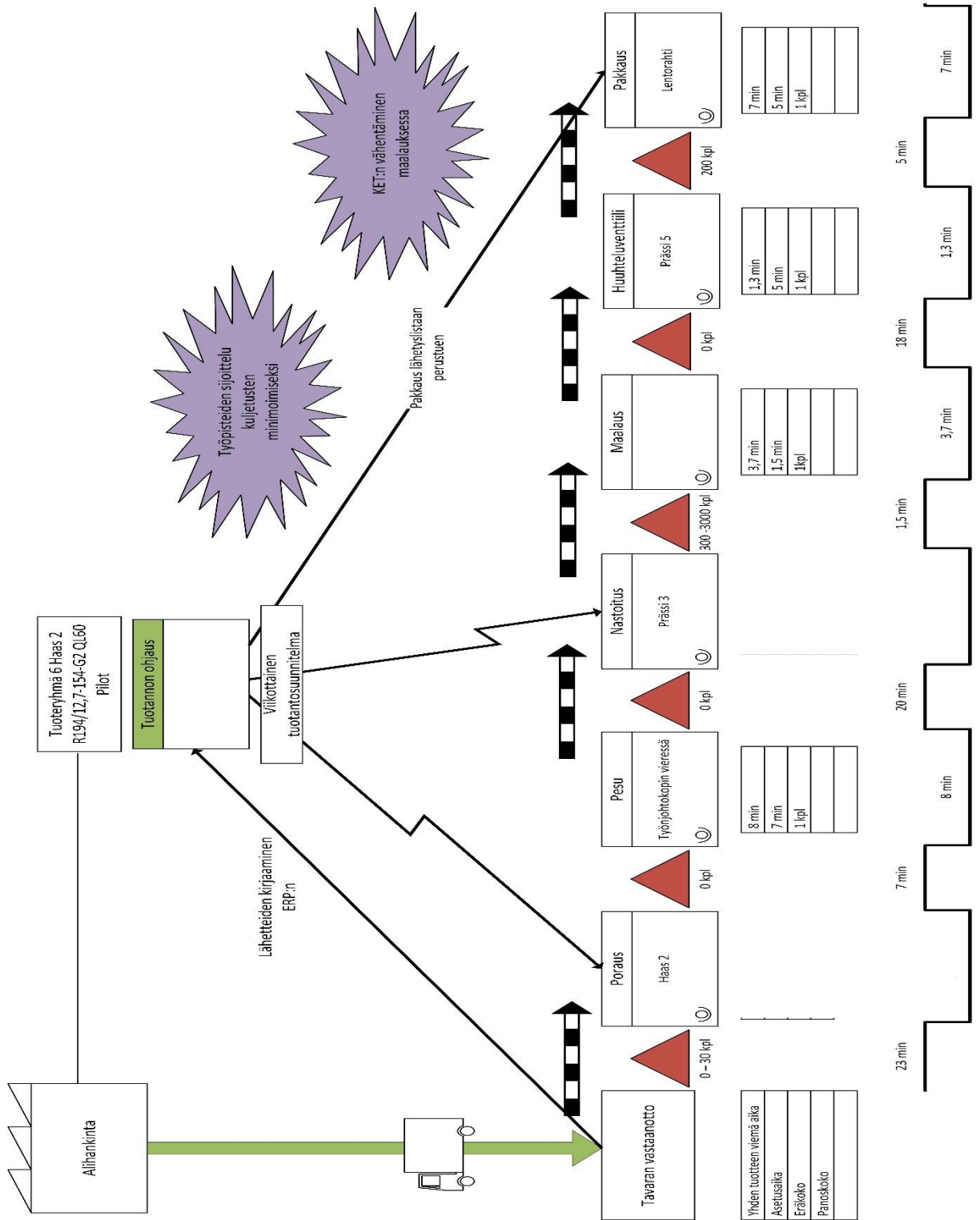
Liite 11. Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 4.



Liite 12. Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 5.

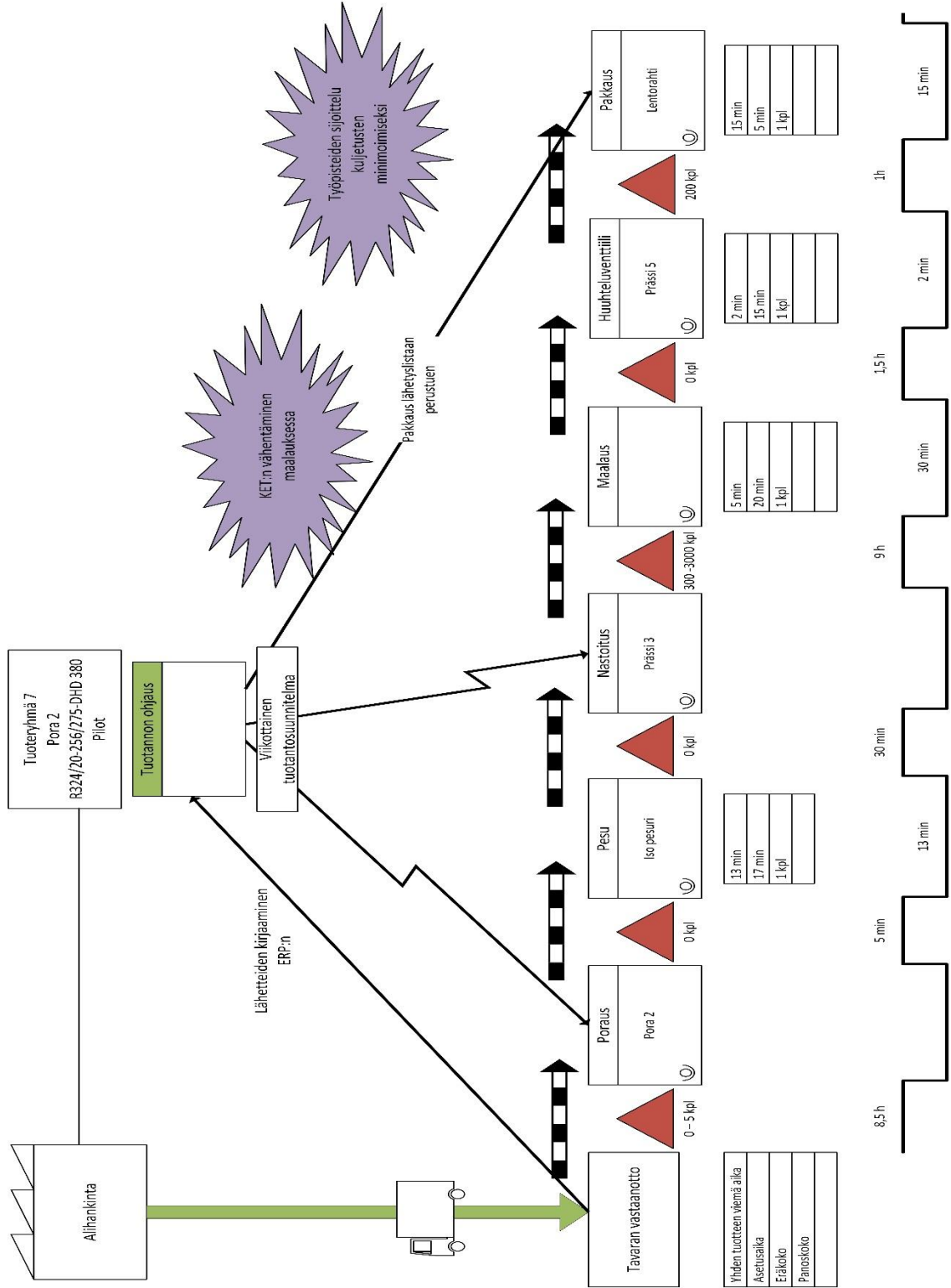


Liite 13. Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 6.

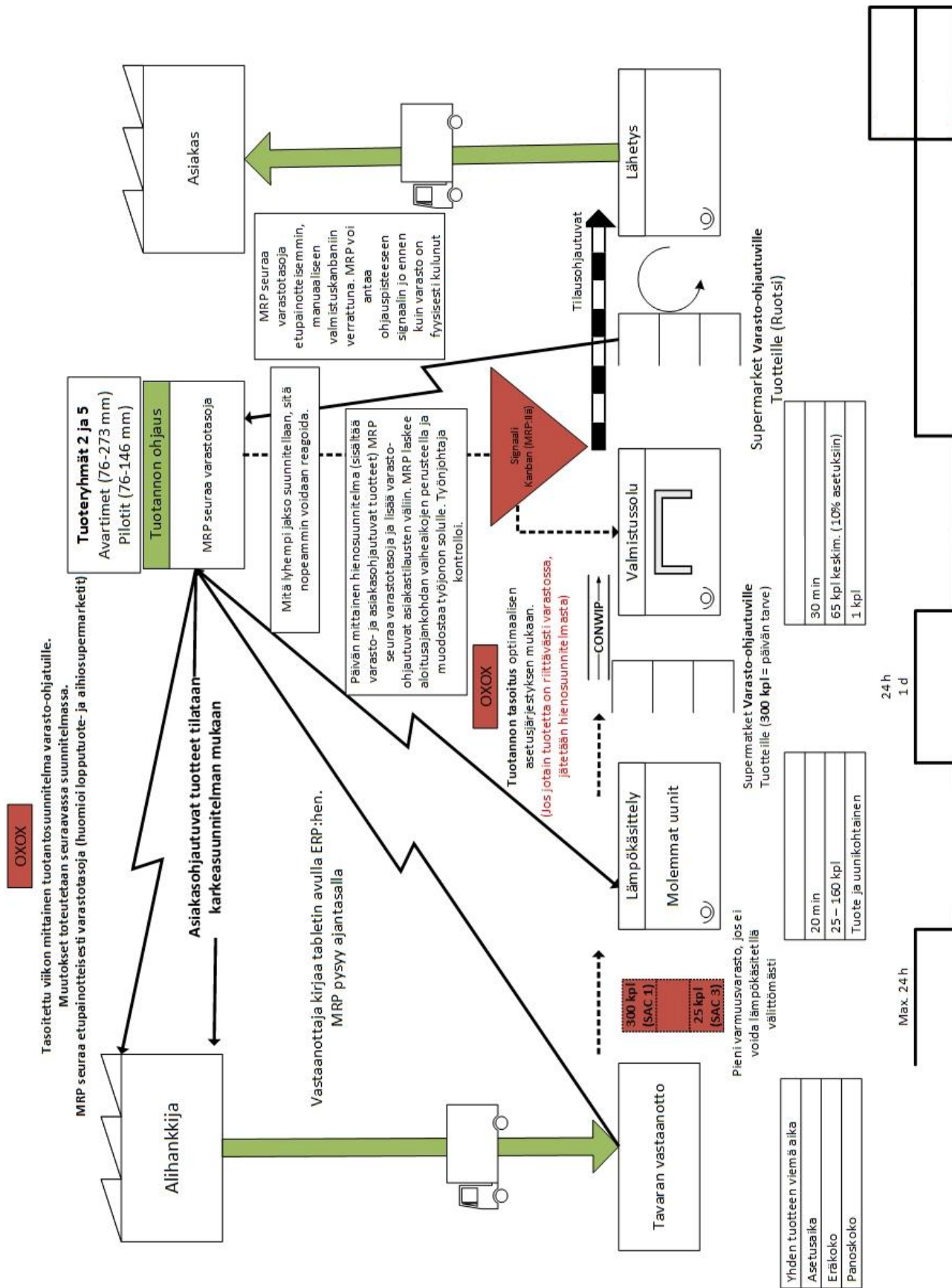




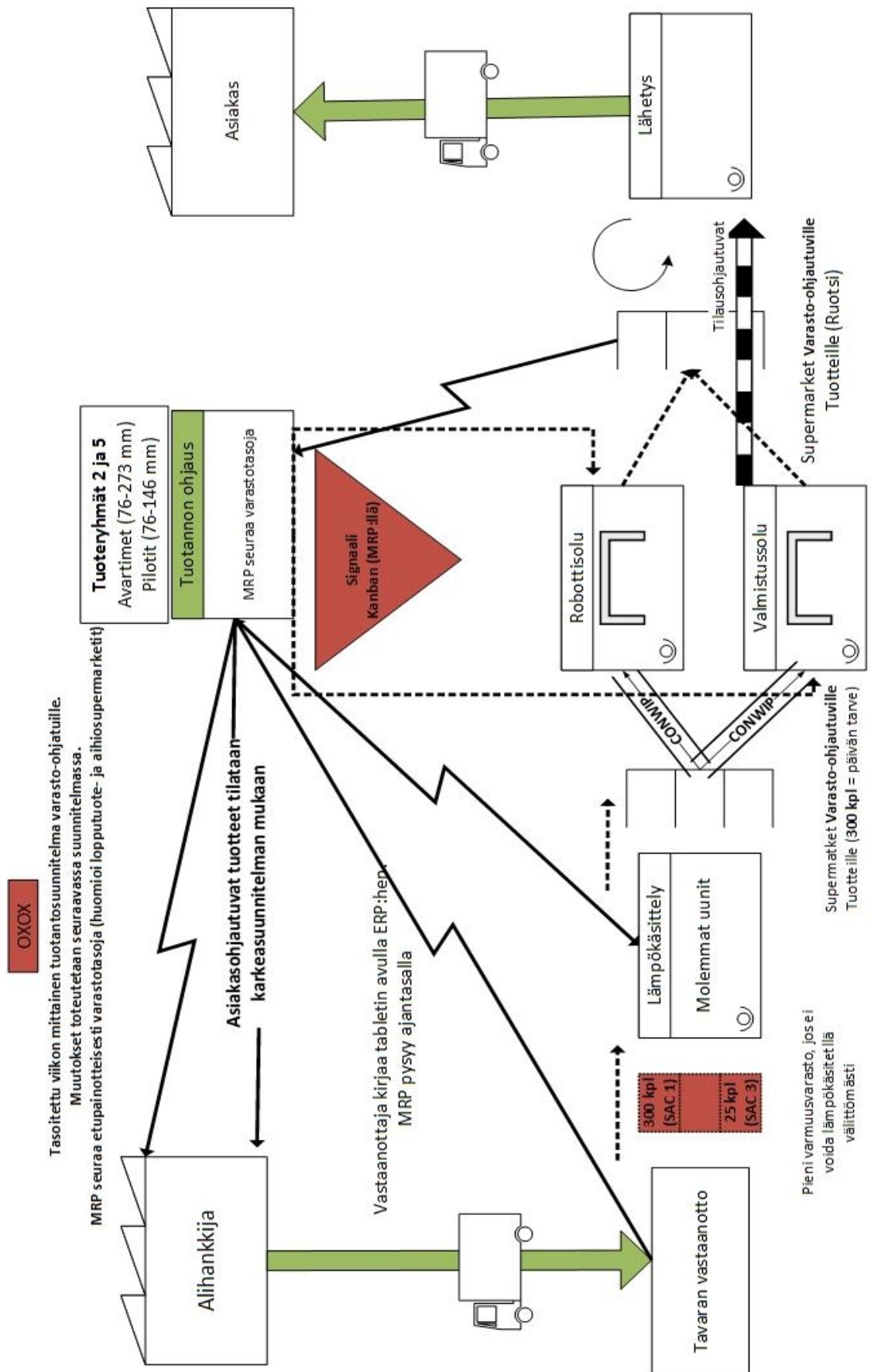
Liite 14. Arvovirta-analyysi tuoteryhmälle 7.



Liite 15. Tulevaisuuden tilan arvovirtakuvaus tuoteryhmille 2 ja 5.



Liite 16. Tulevaisuuden tilan karkea arvovirtakuvaus tuoteryhmille 1, 2 ja 5



Liite 17. Takt-ajan laskentaa myynnin ja markkinoinnin sekä datan ennusteen mukaan.

Tuotantoajat (X vuorossa) katso solu(J) Päivää	Vuorot	h	min	Päivää	Vuorot	h	min	Keskimääräinen erä koko
Tuotantoaika/vuosi	245	3	5 880	245	2	3 920	235 200	
Tuotantoaika/päivä			24			16	960	
taut/vuoro			1,00			1,00	60	
(tuotantoaika/päivä)-taut			21,00			14,00	840	
<b>Asetusajat</b>								
Asetusaika (h) keskim. Haas1			0,50			0,50	30	Ryhmä 2
Keskim. Eräkoko. APO								2015 70,0
Keskim. Eräkoko. PO								2014 63,6
Keskim. Eräkoko. APO+PO								2013 47,1
								Pilotit Ryhmä 5

#### Käytetty ennuste

#### Tuoteryhmä

#### Tuotantomäärä/vuosi

#### Tuotantomäärä/päivä

#### Tuotantomäärä/vuoro

Asetusten määrä(kpl)/vuosi

Asetusten määrä(kpl)/päivä

Asetusten määrä(kpl)/vuoro

Asetusten määrä(h)/vuoro

koneaika/vuoro(h)

#### Myynnin ja markkinoinnin

#### Datasta ennustettu

2 5 2 ja 5

APO PO APO+PO

1180 273 1452

4,81 1,11 5,93

1,60 0,37 1,98

0,80 0,19 0,99

465 202 667

1,90 0,82 2,72

0,95 0,41 1,36

0,47 0,21 0,68

Vuorot	3	Takt-aika	1
--------	---	-----------	---

(h)

(min)

(s)

Liite 18. Takt-ajan laskentaa sesonkikuukausille.

Tuotantoajat (X vuorossa) katso solut J	Päivää	Vuorot	h	min	Päivää	Vuorot	h	min	Keskimääräinen eräkoko
Tuotantoaika/vuosi	61	3	1 464	87 840	61	2	976	58 560	
Tuotantoaika/päivä			24	1 440			16	960	
taut/vuoro			1,00	60			1,00	60	
(tuotantoaika/päivä)-taut			21,00	1 260			14,00	840	
<b>Asetusajat</b>									<b>Vuosi</b> <b>Avaritimet</b> <b>Pilotit</b>
Asetusaika (h) keskim. Haas1			0,50	30			0,50	30	Ryhmä 2 Ryhmä 5
Keskim. Eräkoko. APO									2015 70,0 13,0
Keskim. Eräkoko. PO									2014 63,6 9,1
Keskim. Eräkoko. APO+PO									2013 47,1 10,2

**Käytetty ennuste****Tuoteryhmä****Myymin ja markkinoinnin****Datasta ennustettu**

2	5	2 ja 5	2	5	2 ja 5
<u>APO</u>	<u>PO</u>	<u>APO+PO</u>	<u>APO</u>	<u>PO</u>	<u>APO+PO</u>

Tuotantomäärä/vuosiTuotantomäärä/päiväTuotantomäärä/vuoro

Asetusten määrä(kp)/vuosi

Asetusten määrä(kp)/päivä

Asetusten määrä(kp)/vuoro

**Asetusten määrä(h)/vuoro**

koneaika/vuoro(h)

310	104	414	140	54	194
5,08	1,71	6,78	2,30	0,88	3,18
1,69	0,57	2,26	1,15	0,44	1,59
<b>0,85</b>	<b>0,28</b>	<b>1,13</b>	<b>0,58</b>	<b>0,22</b>	<b>0,79</b>

Takt-aika	
Vuorot 3	Vuorot 2

(h)

(min)

(s)

Liite 19. Prosessitutkimuksessa käytetty kaavake 1.

Päivä: Klo:		Prosessitutkimus								Avarrin/Pilotti malli: Eräkkö: Reikien määrä: Reikien koko:	
vaihe	Operaattori										
	Työn elementti	kesto (s)								Huomiot	
ohjelma:	Kappale lavalta ja asetus leukoihin + käynnistys										vatupassi
	Työstöaika										operaattori voi tehdä muuta
	Kappaleen irrotus + asettaminen alavalle										
	Kappaleen irrotus + mitaus + asettaminen alavalle										
	<b>Normaaliin työhön kuulumattomat vaiheet</b>	<b>&lt;&lt;&lt;Vaiheiden kokonaisaika</b>									
Poraus	Piirustuksen ja kappaleiden haku										
	Vastaanottotarkastus (mitat + kovuus)?										
	Ohjelman valmistelu										
	työkalun vaihto										
	työkalun mittaus										
Kierros- luku: Syöttö:	kiinnittimen vaihto										
	Ensimmäisen kappaleen paikan hakeminen (ko-keilu)										
	Kappaleiden kuljetus pesuun										
	Kappaleiden puhallus pesun jälkeen										
	Kappaleiden siirto pesukorista lavalle										
Kone:	Kappaleiden järjestely ottamisen helpottamiseksi										

- Välttämättömään työhön kuulumattomia vaiheita pyritään kehittämään Kaizenilla
- Korjaa lista työntekijän kanssa niin että työvaiheet ovat oikein. Jos muuttuu, tee uusi lista.
- Työn elementtejä tutkittaessa alkaa paljastua hukkaa- liikumista, etsimistä jne. Älä lisää pelkkää hukkaa työn elementtinä- kävely, lavan liikuttelu, tarkastus, työkalun vaihto. (nämä pyritään ulkoistamaan virtauksesta toisen henkilön suoritettavaksi- materiaalin käsittelijä).

- Lisää sykliin kuulumaton vaihe, esim. kappaleiden kuljetus 25kpl:n erässä pesuriin. Batchin käsittelyyn kuluva aika tasataan jatkossa siten että toimenpide tehdään joka kappaleelle erikseen jolloin sen voi lisätä johonkin vaihe aikaan. Tällöin vaihe aika ei vaihtele aina kun tulee joku erämuotoinen toiminto.
  1. Ei kävelyä ja liikkumista työn elementtinä
  2. Ei laatutarkastuksia, eristä johtuvaa toimintaa (siirtely, kuljetus lavaaminen jne.) työn elementtinä. Nämä pyritään ulkoistamaan prosessista, tai suorittamaan esim. asetus-ten aikana!! Tai esim. siirto tehdään joka kappaleelle erikseen jolloin se kuuluu cycle timeen ja vaihe aika on tasainen.
  3. Jos automaattinen kappaleen käsittely voisi toimia, älä lisää sitä työn elementtinä (esim pesuri syöttää kappaleen automaattisesti seuraavaan työpisteeseen) tällöin operaattorin aikaa ei sitoudu ja voi tehdä muuta.
  4. Jos koneen lataaminen vie 5s ja koneen käynnistäminen 1s ja kone aika 10s on kelloitettu aika 6s ei 16s, koska koneen aikaa ei lasketa operattorin aikaan.
  5. Kellota kokeneita operaattoreita ja käytä lyhintä aikaa, ei keskiarvoa.





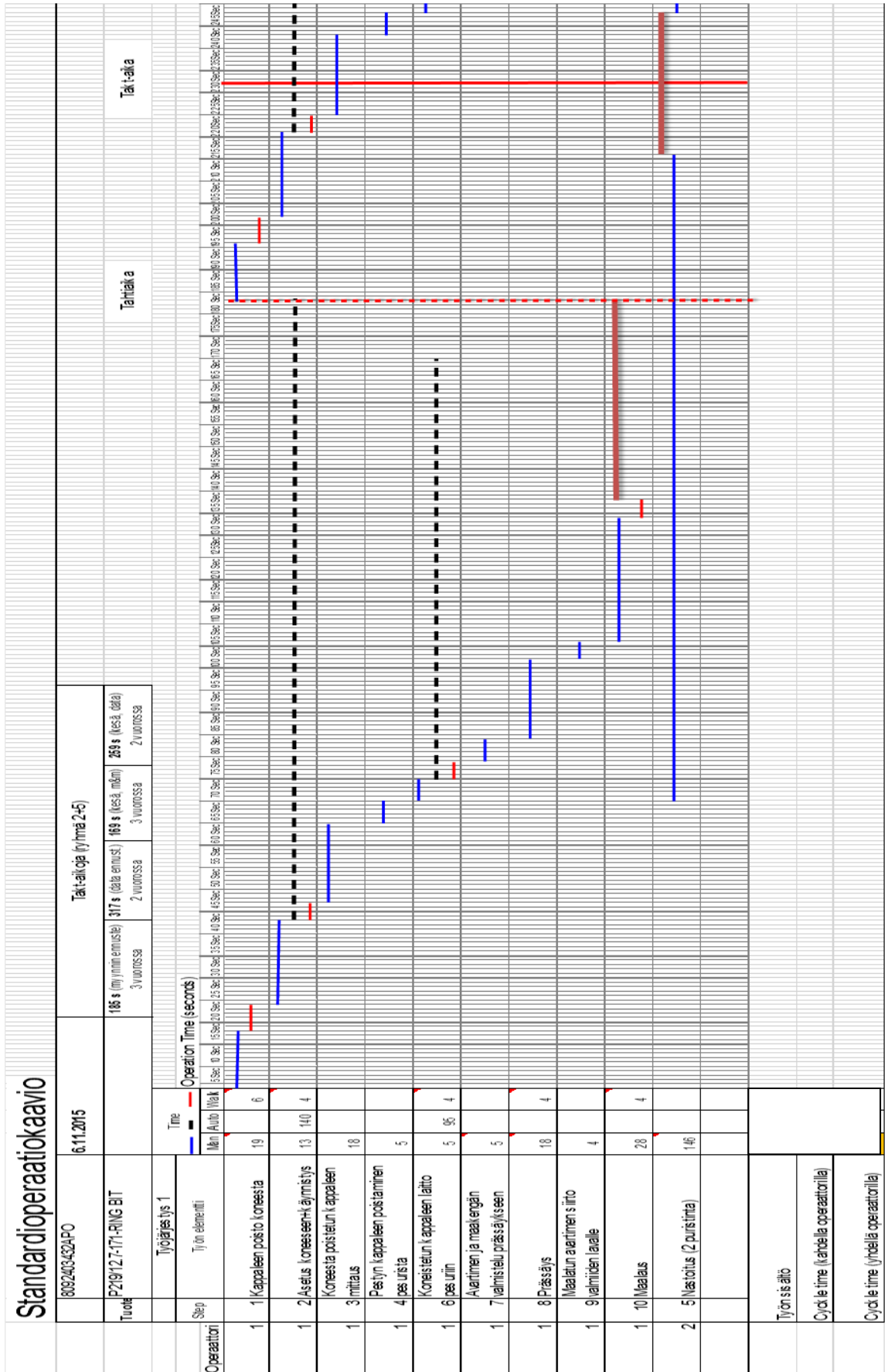




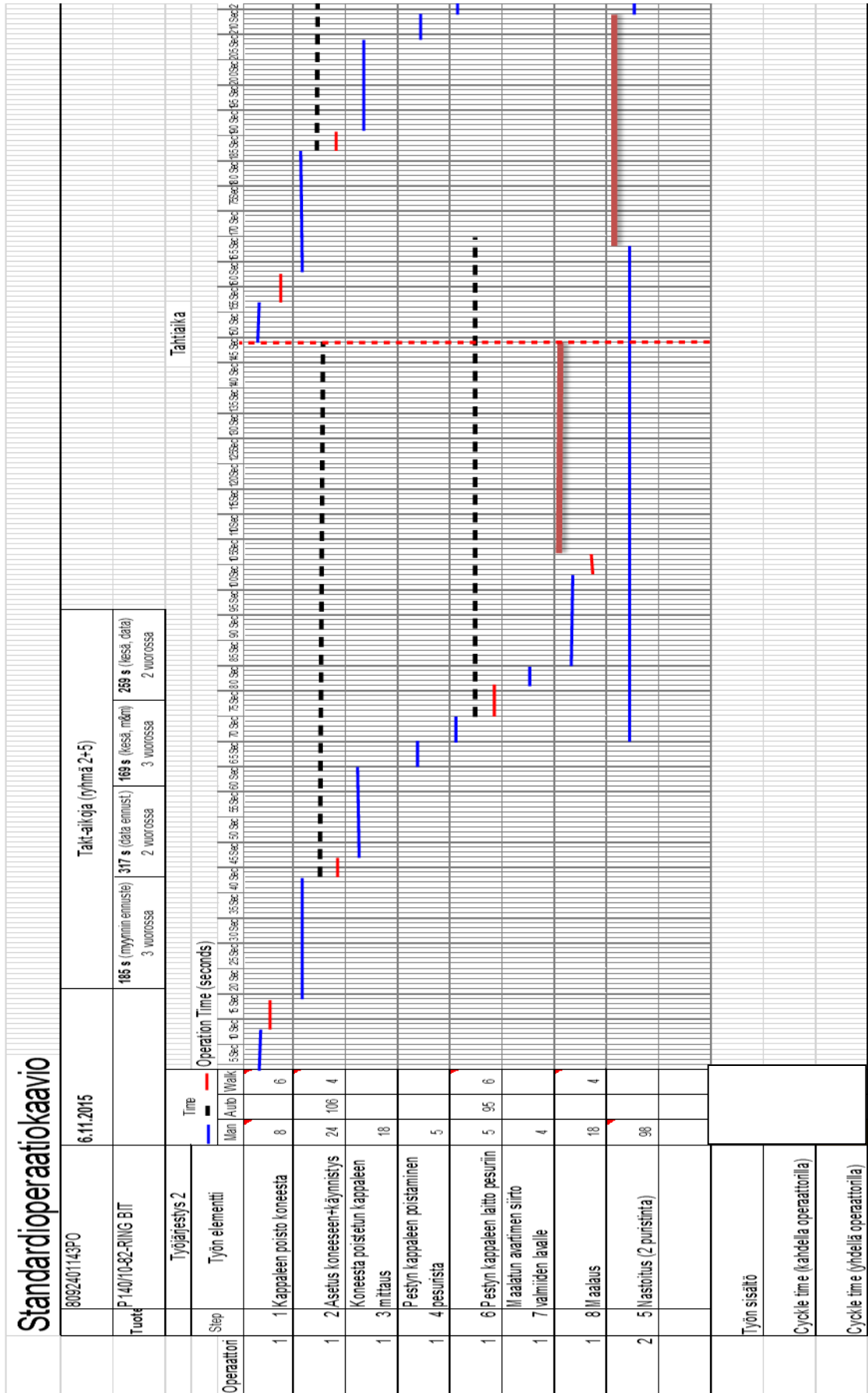




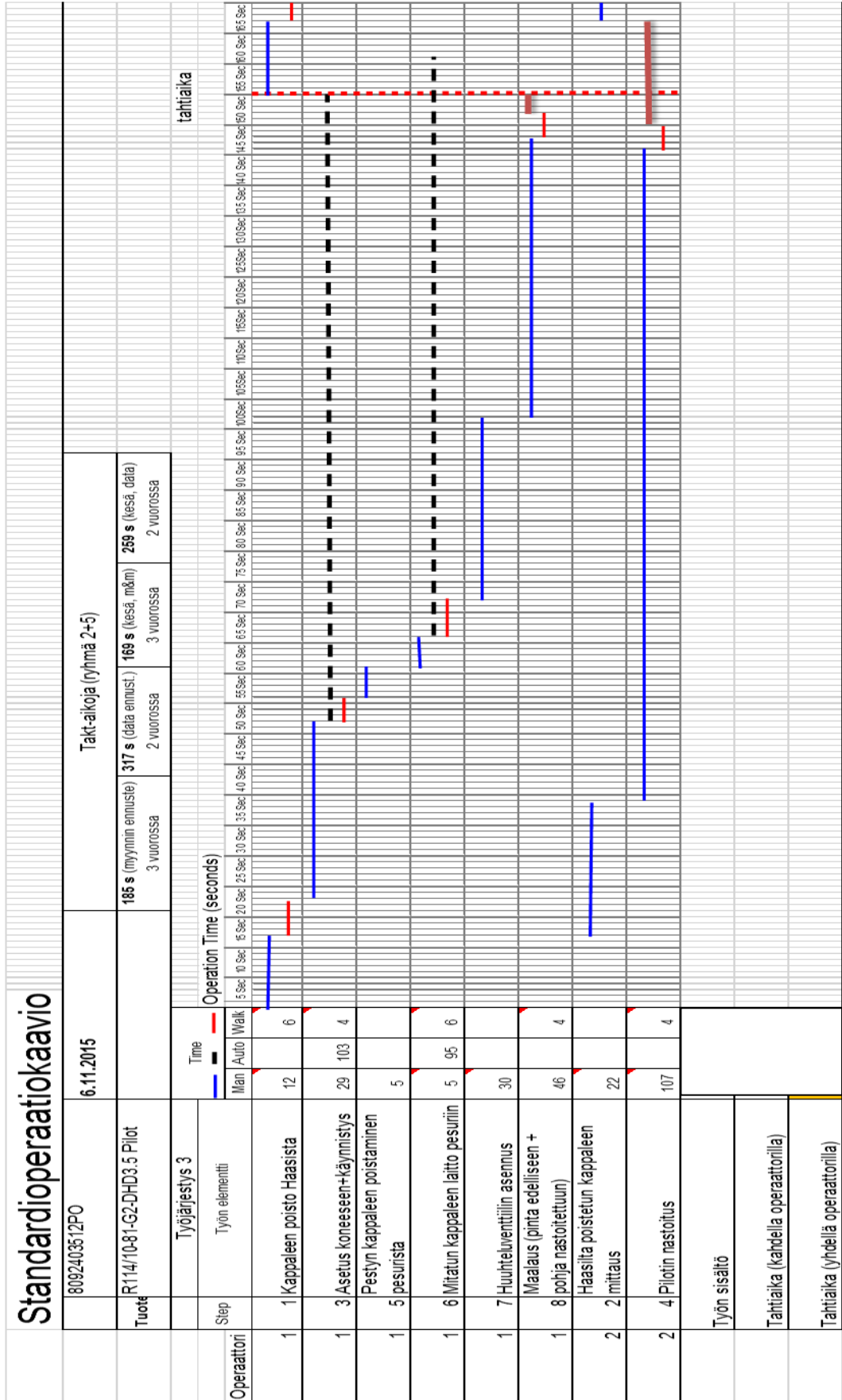
Liite 25. Standardioperaatiokaavio (Työjärjestys 1).



Liite 26. Standardioperaatiokaavio (Työjärjestys 2).



Liite 27. Standardioperaatiokaavio (Työjärjestys 3).







Liite 29. Standardioperaatiokaavio Robotilla (Työjärjestys 1)

