



Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Engineering Science
Tuotantotalouden koulutusohjelma

Diplomityö

Christer Andersson

Tuotannon kehittäminen SMED-konseptia hyödyntäen

Työn tarkastaja: Professori Timo Pirttilä

Työn ohjaajat: Professori Timo Pirttilä
 DI Arttu Laitsaari

TIIVISTELMÄ

<p>Tekijä: Christer Andersson</p> <p>Työn nimi: Tuotannon kehittäminen SMED-konseptia hyödyntäen</p>
<p>Vuosi: 2019 Paikka: Lappeenranta</p>
<p>Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, tuotantotalous.</p> <p>87 sivua, 43 kuvaa ja 4 liitettä</p> <p>Tarkastaja: Professori Timo Pirttilä</p>
<p>Hakusanat: Asetusaika, SMED, Lean, läpimenoaika, materiaalivirta, tuotannon kehitys</p>
<p>Diplomityössä kartoitetaan ongelmakohdat PVC- ja PEM-tuotteiden asetuksista ja tämän pohjalta kehitetään ratkaisu asetusajojen ja tuotantoprosessin kehittämiseksi. Työn päämenetelmä on SMED-metodiikan hyödyntäminen. SMED-metodiikan avulla voidaan merkittävästi lyhentää asetuksiin käytettävää aikaa. Työssä huomioidaan tehtaan sisäiset tuotannolliset tekijät, joiden katsotaan olevan merkityksellisiä tuotteiden läpimenoaikojen lyhentämiseksi. Lisäksi SMED antaa edellytykset JIT-tuotannolle mahdollistamalla pienempien valmistuseräkokojen tuottamisen.</p> <p>Työn avulla asetusajoista pystytään leikkaamaan uudelleenjärjestelmällä prosesseja noin 80 % alkuperäisestä. Prosessien uudelleenjärjestelyn edellytyksenä on investointi prosessin kehityksen tarvitsemiin lisäkomponentteihin tuotannon layoutissa. Asetusprosessin merkittävän kehittymisen johdosta valmistuksen läpimenoaika pieneni 64 %.</p> <p>Työn tuloksena syntyi asetuksia tehostavia ja nopeuttavia ohjeistuksia kehitysehdotuksen muodossa sekä tuotannon prosessikuvauksia ja toimintaa ohjaavia dokumentteja. Diplomityö tarjoaa merkittäviä hyötyjä kohdeyritykselle tuotannon joustavuuden, suunnitelmallisuuden ja kannattavuuden parantumisen myötä.</p>

ABSTRACT

<p>Author: Christer Andersson</p> <p>Work Title: Development of the production by using SMED-concept</p>
<p>Year: 2019 Place: Lappeenranta</p>
<p>Master's thesis. Lappeenranta University of technology, LUT School of Engineering Science.</p> <p>87 pages, 43 pictures ja 4 appendices</p> <p>Examier: Professor Timo Pirtilä</p>
<p>Keywords: Setup time, SMED, Lean, pass through time, material flow, production development</p>
<p>The purpose of this master's thesis is to identify problem areas in setups for PVC and PEM products, and on this basis a solution will be developed to shorten setup times and to develop production process. The main method of this thesis is to utilize the SMED methodology. The SMED methodology can significantly shorten the time spent on set-ups. This research take into account internal production factors, which are considered to be relevant to shorten lead times. In addition, SMED provides conditions for JIT production by enabling smaller batch sizes.</p> <p>With the contribution of this thesis, it is possible to cut down setup times 80 % of the original by reorganizing processes. The prerequisite for the reorganization of the processes is the investments in additional components needed for the process development in the production layout. Due to development of the setup process, pass through time shortened by 64 %.</p> <p>As a result of the thesis, action-enhancing guidelines were developed in the form of a development proposal, as well as production process descriptions and documents that guide operations. The thesis provides significant benefits for the company due to the flexibility of production, the planning and the improvement of profitability.</p>

ALKUSANAT

Tahdon kiittää Uponorin Nastolan liiketoimintayksikön tehtaanjohtajaa Arttu Laitsaarta tämän kehitystyön mahdollistamisesta ja ohjaamisesta. Lisäksi kiitos kaikille hankkeeseen osallistuneille henkilöille sujuvasta yhteistyöstä ja positiivisesta suhtautumisesta.

Suuri kiitos kuuluu työn ohjaajalle Lappeenrannan teknillisen yliopiston professori Timo Pirttilälle työn aikana saamastani ohjauksesta.

Tämän lisäksi haluan kiittää vanhempiani, tyttöystävääni, ystäviäni ja opiskelutovereitani tuesta, ymmärryksestä ja kannustuksesta diplomityön ja opiskeluiden aikana. Opiskelu on antanut minulle paljon valmiuksia työelämään ja opiskeluaika on luonut minulle paljon hyviä muistoja.

Lappeenrannassa 5. toukokuuta 2019

Christer Andersson

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	1
1.1	TUTKIMUKSEN TAVOITE JA TUTKIMUSONGELMA	2
1.2	TUTKIMUKSEN RAJAUKSET	3
1.3	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	3
1.4	DIPLOMITYÖN RAKENNE JA TYÖN KULKU	3
2	TUOTANNONOHJAUS	5
2.1	TUOTANTO JA OHJAUS	5
2.1.1	<i>Tuotannon tehtävät ja tavoite</i>	5
2.1.2	<i>Tuotannonohjauksen tehtävät ja tavoite</i>	7
2.2	TOIMINNANOHJAUSPROSESSI.....	8
2.2.1	<i>Kokonaisuussuunnittelu</i>	9
2.2.2	<i>Karkeasuunnittelu</i>	11
2.2.3	<i>Hienosuunnittelu</i>	13
2.3	TUOTANTO JA VARASTOT.....	14
2.3.1	<i>Läpimenoaika</i>	14
2.3.2	<i>Eräkoko</i>	15
2.3.3	<i>Asetukset</i>	15
2.3.4	<i>Varastot ja varastojen hallinta</i>	16
2.4	YHTEENVETO.....	17
2.4.1	<i>Läpimenoaika</i>	17
2.4.2	<i>Tuotannonohjaus ja suunnittelu</i>	19
3	VALMISTUSPROSESSIN KEHITTÄMINEN	21
3.1	LEAN	21
3.1.1	<i>Ajattelu</i>	21
3.1.2	<i>Työkalut</i>	23
3.1.3	<i>Tavoitteet</i>	25
3.2	TUOTANNON OPTIMOINTI.....	28
3.2.1	<i>Just-in-time (JIT)</i>	28
3.2.2	<i>Tuotannonohjaus JIT-tuotannossa</i>	30
3.3	ASETUSAJAN OPTIMOINTI	32
3.3.1	<i>SMED-konseptin historia</i>	32
3.3.2	<i>Asetusprosessi</i>	34
3.3.3	<i>Kehitysvaiheet</i>	35
3.3.4	<i>Vaikutukset tuotantoon</i>	36
4	KOHDEYRITYS, VALMISTUSPROSESSI JA NYKYTILA.....	39
4.1	KOHDEYRITYS ..39	

4.1.1	<i>Yritysesittely</i>	39
4.1.2	<i>Valmistusprosessi</i>	40
4.1.3	<i>Aseteprosessi</i>	45
4.2	NYKYTILAN ANALYSOINTI.....	48
4.2.1	<i>Nykytila</i>	48
4.2.2	<i>Analysointi ja kehitysvaiheet</i>	54
5	ASETUSAJAN LYHENTÄMINEN CASE-KOhteessa	57
5.1	LÄHTÖKOHDAT.....	57
5.2	MITTAUKSET	59
5.2.1	<i>Tuotantoanalyysi</i>	59
5.2.2	<i>Vaiheiden analysointi</i>	60
5.2.3	<i>Konvertointi ja Virtaviivaistaminen</i>	62
5.3	TULOKSET	64
5.3.1	<i>Ajallinen säästö</i>	64
5.3.2	<i>Muu asetusprosessi</i>	65
5.3.3	<i>Investoinnit</i>	66
5.3.4	<i>Työjärjestys</i>	67
5.4	EVALUOINTI	70
5.4.1	<i>Investoinnit</i>	70
5.4.2	<i>Tuotannolliset vaikutukset</i>	71
5.5	YHTEENVETO.....	73
6	ASETUSAJAN LYHENTÄMISEN TUOMAT MAHDOLLISUUDET	
	TUOTANNONOHJAAMISEEN	74
6.1	KOHTI JIT-TUOTANTOA.....	74
6.1.1	<i>Ennuste</i>	75
6.1.2	<i>Tuotannon optimointi uusille aseteajoille</i>	76
6.1.3	<i>Erä- ja tuotantoaika</i>	78
6.1.4	<i>Varastot</i>	80
6.2	YHTEENVETO.....	82
7	POHDINTA JA JATKOTUTKIMUS	83
8	YHTEENVETO	86
	LÄHTEET	88
	LIITTEET	
	- LIITE 1: Kehitysehdotus	
	- LIITE 2: Tuotantopöytäkirja	
	- LIITE 3: Mittauspöytäkirja	
	- LIITE 4: Parametrien laskenta	

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

TPS	Toyota Production Systems
SMED	Single Minute of Exchange Die
MTO	Make-To-Order
MTS	Make-To-Stock
ATO	Assemble-To-Order
ETO	Engineer-To-Order
CTO	Configure-To-Order
IED	Inside Exchange of Die
OED	Outside Exchange of Die
JIT	Just-In-Time
PVC	Polyvinyylidloridi
VSM	Value Stream Map
KET	Keskeneräinen tuotanto
KPI	Key Performance Indicator
OTD	On Time Delivery
OEE	Overall Equipment Efficiency
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time To Repair

1 JOHDANTO

Teollisuuden prosessien optimaalinen toiminta on liiketoiminnan kannalta olennaista. Nykypäivän markkinat ovat useimmilla teollisuuden aloilla hyvin kilpailtuja. Tämän vuoksi on tärkeää, että yritys pystyy vastamaan kovaan kilpailuun optimoimalla omia valmistusprosessejaan. Suurilla organisaatioilla on melko vakiintunut kysyntä ja usein tuotanto on näiltä osin ajansaatossa kehittynyt vastamaan tähän kysyntään. Merkittävästi vaihteleva kysyntä voi kuitenkin kyseenalaistaa systeemin robustisuuden. Tällaisissa tilanteissa voidaan törmätä tuotantoprosessien keskeisiin haasteisiin, jolla voi olla pitkäaikaisia vaikutuksia tasapainotilan uudelleen saavuttamiseen.

Teollisuudessa helpoin tapa on usein ollut lähteä hakemaan ratkaisuja tuotannollisiin ongelmiin osioimalla, mutta tällöin unohdetaan kokonaisuus. Tämä on näkynyt perinteisessä länsimaisessa massatuotannossa esimerkiksi eräkokojen kasvuna ja suurempien varastotasojen ylläpitämisenä. On fakta, että tuotantoprosessi on niin tehokas kuin sen heikoin lenkki on. Määräajattelusta on aika siirtyä laatu- ja tehokkuusajatteluun. 90-luvulla huomattiin, miten japanilainen teollisuus pystyi valmistamaan huippuluokkaisia tuotteita kilpailukykyisesti ja tämän seurauksena voittivat itsellensä asiakkaita ja vahvan markkina-aseman.

Single Minute Exchange of Die (SMED) on kehitetty lyhentämään asetuksiin käytettävää aikaa. Tämän työkalun avulla voidaan merkittävästi nopeuttaa, yksinkertaistaa ja virtaviivaistaa asetusprosessia. Tätä työkalua hyödynnettiin laajasti 50-luvulta lähtien japanilaisessa valmistavassa teollisuudessa. SMED on mullistanut tuotannon pysyvästi, sillä se on mahdollistanut pienempien eräkokojen tuottamisen, useampien tuotevaihtojen suorittamisen sekä kasvattanut tuotantokoneiden käyntiaikoja ja kapasiteettia.

1.1 Tutkimuksen tavoite ja tutkimusongelma

Diplomityössä kartoitetaan polymeovimateriaaleja tuottavan linjan asetusten ongelmakohdat ja kehitetään tämän pohjalta ratkaisu tuotevaihtojen nopeuttamiseksi. Työn tarkoituksena on pienentää linjan pysäyttämisen ja käynnistämisen välistä aikaa kehittämällä asetusprosessia. Tutkimuksessa kerätään tietoa, analysoidaan ja tehdään ratkaisupäätös keinoista, millä asetusprosessista saadaan tehokkaampi. Tutkimuksessa etsitään syitä sille, miksi lajinvaihdoissa asetukset venyvät ja miten asetuksissa esiintyviä ongelmia voidaan kehittää ja ehkäistä.

Työssä huomioidaan tehtaassa sisäiset tuotannolliset tekijät, joiden katsotaan olevan merkityksellisiä valmistuksen läpimenoaikojen lyhentämiseen vähentämällä asetuksista johtuvia ajallisia hukkia. Tuloksena syntyy tuotantoprosessin uudelleen käynnistämistä tehostavia ohjeistuksia, tuotannon prosessikuvauksia ja toimintaa ohjaavia dokumentteja. Tärkeimmiksi tutkimuskysymyksiksi muodostuvat alla olevat kysymykset:

Pääongelma:

Minkälaisilla keinoilla ja toimenpiteillä asetusajaa voidaan lyhentää?

Alaongelmat:

Mitkä ovat asetusten keskeiset haasteet ja ongelmakohdat kohdeyrityksessä?

Millaisia tehokkuusvaikutuksia asetusajojen lyhentäminen tuo tuotantoon ja mitä asetusprosessin kehitys mahdollistaa tuotannonohjaukseen?

Mainintana, että pääongelma ja siitä pohjautuvia alaongelmia tarkastellaan ja avataan tulevissa luvuissa. Näiden kysymysten valossa analysoidaan kohdeyrityksen nykytilaa sekä suunnitellaan ja luodaan kohdeyritykselle kehitysehdotus.

1.2 Tutkimuksen rajaukset

Tutkimuksen päähuomio keskittyy ja kiinnittyy asetusajan lyhentämiseen. Tutkimuksessa kahdeksasta tuotantolinjasta valitaan yksi tarkasteltava tuotantolinja. Nämä kahdeksan linjaa ovat toiminnaltaan lähes identtisiä, muutamaa yksityiskohtaa lukuun ottamatta. Tutkimukseen tarkasteltavaksi tuotantolinjaksi valittiin polyvinyylidikloridi-linja, sillä se on havaittu haastavimmaksi työkalun asetusajan suhteen. Tutkimustyön lopputulema on monistettavissa muille linjoille. Työssä käsitellään myös tuotannonohjausta, mutta fokuksen ollessa asetusajojen lyhentämisessä, tuotannonohjauksen käsittely jää pienemmäksi osakokonaisuudeksi.

1.3 Tutkimusmenetelmät

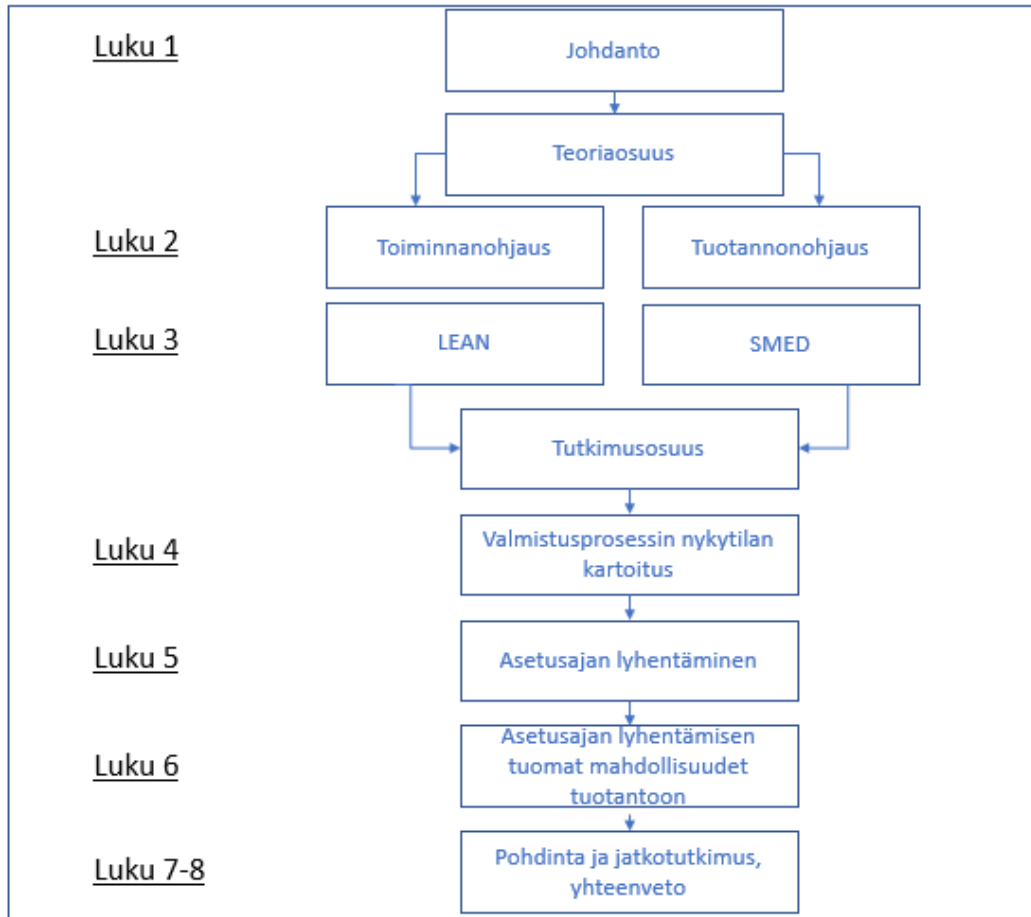
Tutkimus suoritetaan toimintatutkimuksena. Ennen mittauksien aloittamista tutustutaan jokapäiväiseen työhön ja linjoilla työskentelyyn, jotta saadaan perustieto kartoitetuksi linjojen vaiheista ja toiminnasta. Tämän jälkeen suoritetaan mittaukset ja datan keruu. Mittausten päämääränä on selvittää putkityökalun asetusprosessin ottama aika ja analysoida näitä tuloksia. Lisäksi vapaamuotoisia puolistrukturoituja haastatteluja suoritetaan sekä tuotannon ja suunnittelun toimihenkilöille prosessin kehittämisestä.

Tutkimuksessa hyödynnetään Single Minute Exchange of Die-metodia. Tämän työkalun avulla asetusprosessin vaiheista karsitaan turha aika pois järjestelemällä uudelleen työvaiheita, joita voidaan suorittaa ulkoisesti eli tuotannon käydessä. Nykytilakartoituksen, mittauksien ja analysoinnin jälkeen kehitystyön ehdotus dokumentoidaan.

1.4 Diplomityön rakenne ja työn kulku

Tutkimuksen rakenne noudattaa kuvassa 1. esiintyvää kaaviota. Tämä diplomityö muodostuu kahdeksasta luvusta. Ensimmäisen luvun tarkoitus on johdattaa lukija tutkimuksen ongelmaan ja aiheeseen ja antaa käsityksen siitä, miten tutkimus työ tulee etenemään. Luvut kaksi ja kolme sisältävät tutkimuksen viitekehysten. Luvussa kaksi käsitellään tuotannonohjauksen ja toiminnanohjauksen yleisiä periaatteita ja käsityksiä

ideaalitehtaasta. Kysymyksinä ovat miten tuotantoa ohjataan tehokkaasti, miten ja mitkä menetelmät parantavat tuotantoa.



Kuva 1. Tutkimuksen rakenne

Kolmannessa luvussa käsitellään SMED-metodia ja siihen kytkeytyviä menetelmiä. Tämä luku kertoo lukijalleen käytettävistä menetelmistä ja mitä erityispiirteitä resursseja tehokkaasti hyödyntävällä tuotannolla on. Neljännessä luvussa perehdytään kohdeyritykseen, tarkasteltavaan linjaan ja valmistusprosessiin kokonaisuutena. Mikä on kohdeyrityksen nykyinen tila ja mitä kehitettävää siinä on? Luvun tarkoitus on kiteyttää empiirinen tutkimus ja se, mihin ongelma rajataan, mitä tutkitaan ja mitä kehitetään. Viides luku konkretisoi tuloksien sekä kehitysehdotuksen kautta pääongelman. Kuudennessa luvussa pohditaan esimerkin avulla asetusaajan lyhentämisen tuomia mahdollisuuksia tuotannolle. Luku 7-8 tarkoitus on pohtia tuloksia ja jatkotutkimusehdotusta sekä luoda yhteenveto työstä.

2 TUOTANNONOHJAUS

Tutkimustyön kannalta toiminnan- ja tuotannonohjauksen teoria on tärkeää, sillä asetusajkojen optimointi tulee vaikuttamaan merkittävästi tuotannonohjaukseen sekä toiminnanohjaukseen. Tämä teoria tulee hahmottamaan sekä selittämään syy-yhteysseurauksia asetusajan minimoimisen vaikutuksille.

2.1 Tuotanto ja ohjaus

2.1.1 Tuotannon tehtävät ja tavoite

Tuotanto ja sen hallinta on prosessi, joka yhdistelee, hyödyntää ja muuntaa organisaation resursseja lisäarvoon. Tuotanto on prosessi, jossa muutetaan jonkin raaka-aineen muoto toiseen muotoon, joko kemiallisen tai mekaanisen prosessin avulla tuottaakseen loppukäyttäjälle haluttu hyödyke. Täten tuotantoa voidaan kutsua arvoa lisääväksi prosessiksi (Kumar & Suresh 2006, s. 3). Tuotanto koostuu tuotannon suunnittelusta, valvonnasta ja ohjauksesta. Tavoitteena on ajoittaa ja osoittaa käytettävissä olevat resurssit siten, että niiden käyttö ja mahdollinen hukka olisi mahdollisimman vähäistä määräaikatavoitteet saavuttaen. (Haverila et al. 1997, s. 357)

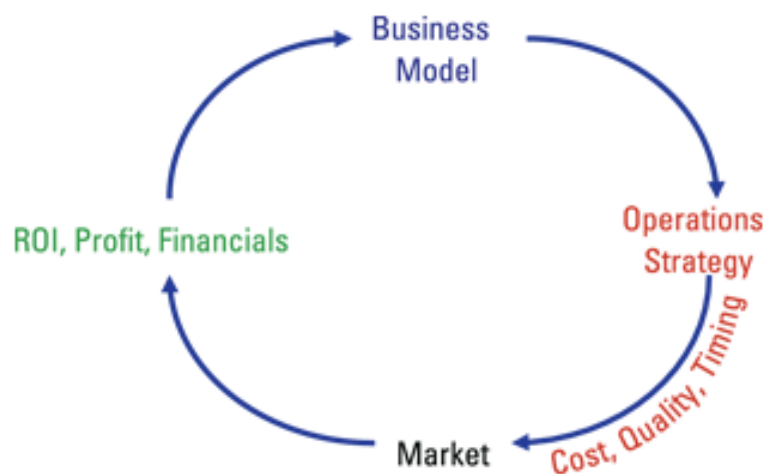
Tuotannolle asetettavat tavoitteet voidaan jaotella seuraavasti:

- Laatu – Kyky valmistaa tuotteita, jotka vastaavat asiakkaan odotuksia.
- Kustannukset – Kyky toimittaa sekä valmistaa tuotteita tehokkaasti.
- Toimituskyky – Kyky toimittaa nopeasti ja luotettavasti.
- Joustavuus – Kyky muuntaa ja sopeuttaa tuotantoa tehokkaasti ja nopeasti tilanteen niin vaatiessa. (Haverila et al. 1997, s. 357)

Kustannustehokkuus on tuotannon yksi keskeisimpiä tavoitteita. Kokonaiskustannukset pyritään minimoimaan resurssien tehokkaalla hyödyntämisellä ja pitämällä toimintaan sitoutunut pääoma pienenä. Merkittävä osa kustannustehokkuudesta riippuu hankintojen, kuten materiaalien edullisuudesta. Materiaalikustannukset ovat usein työ- ja pääomakustannuksia suurempia. Kustannustehokkuus korreloi suoraan pienentyneiden yksikkökustannuksien kanssa, jolloin yritys on kannattavampi ja hintakilpailukyvyltään parempi. (Haverila et al. 1997 s. 357)

Laatu taas nähdään tuotteen vastaavuutena asiakkaan tarpeisiin. Tuotannon näkökulmasta laatu tarkoittaa virheettömyyttä. Laatu on yleisesti hyväksytty kriteeri tuotannolle. Laatu näkyy tuotannossa: tuotelaatuna, toiminnan laatuna ulospäin, toiminnan sisäisenä laatuna tai huollon laatuna. Tavoitteena on, että tuote vastaa määrittelyä ja vaatimuksia. Tuotantoprosessin ensisijaisena tavoitteena on poistaa kaikki virhelähteet, koska virheet ja hukka lisäävät kustannuksia tarpeettomasti. Virheet johtavat helposti ongelmiin toimitusvarmuudessa. (Lapinleimu 2007, s. 70, Haverila et al. 1997, s. 357)

Tuotejoustavuus on lyhyellä aikavälillä konfigurointia asiakkaan mukaan. Tämä tarkoittaa, että kukin tuote on valmistettavissa kunkin asiakkaan mukaan. Valmistuksessa tämä on kuitenkin toteutettava kannattavasti, mikä tarkoittaa osien ja moduulien toistuvuutta. (Lapinleimu 2007, s. 66) Toimituskyky kertoo yrityksen toimitusvarmuudesta. Tuotannon läpimenoaikojen kannalta nopeus on ensisijaisen tärkeää mm. tilausohjautuvan tuotannon suhteen. Yrityksissä pyritään lyhentämään tuotantoprosessin läpimenoaikaa, koska on havaittu, että läpimenoajan lyhentäminen tehostaa prosesseja, parantaa laatua ja pienentää kustannuksia. Viidennes kilpailutekijä on kyky innovatiivisuuteen eli kykyä uudistaa ja kehittää tuotteita sekä itse toimintaa. Kilpailutekijät, jotka yritys valitsee ja niiden yhdistelmät muodostavat tuotannon johtamiselle tavoitteet. (Haverila et al. 1997, s. 357)



Kuva 3. Liiketoiminta ohjaa tuotantoa ja tuotanto ajaa liiketoimintaa (Anderson & Parker 2013, s. 7)

Kuvassa 3. kuvataan kuinka liiketoiminta ohjaa tuotantoa ja puolestaan tuotanto ajaa liiketoimintaa. Liiketoiminta malli määrittelee kohdemarkkinat sekä tuotteen tai palvelun hinnan, myynnin tai kokonaisbudjetin suhteen, tämän vuoksi se on tiivisti mukana tuotannon toiminnoissa. Toisien sanoen tuotanto määrittelee kustannuksen, laadun ja ajoituksen sille miten yritys voi tarjota arvolupauksen asiakkaille. Tämän vuoksi, jos tuotanto ja sen ohjaus on huonossa kunnossa on myös asiakaskokemus huono. Tämä vaikuttaa suoraan yrityksen taloudelliseen menestymiseen (Anderson & Parker 2013, s. 7).

2.1.2 Tuotannonohjauksen tehtävät ja tavoite

Tuotannonohjauksen tavoite on aikatauluttaa, ohjata ja seurata tuotantoa. Kilpailukykyisenä pysyäksään valmistavien yritysten täytyy panostaa ohjaukseen. Tämä merkitsee tuotannon ohjaukselta korkeaa vaatimustasoa ja useiden asioiden huomioonottamista. Vain tosiasiat huomioon ottava suunnitelma pystytään toteuttamaan. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, s. 194)

Tärkeitä asioita suunnitelman laatimisessa on asiakastoimitusten oikea-aikaisuus eli yrityksen toimintakyky. Samalla voidaan ilmaista loppukokoonpanon ja osatoimitusten ajankohdat. Suunnitelmassa on myös erityisen tärkeää ottaa huomioon valmistusyksiköiden kuormitukset, samoin on myös otettava huomioon materiaalityövoimien toimituskyky. Mahdollisten pullonkaularesurssien on oltava selvillä ennen suunnitelman laatimista. (Lapinleimu et al. 1997, s. 194)

Operatiivisen ohjauksen tavoitteita ovat vastuu siitä, että on olemassa luvattuja toimitusaikoja vastaava tuotantosuunnitelma ja tämä on saatettu suunnitelmana sekä impulsseina kaikkien toteuttajien tietoon. Vaihto-omaisuuteen ei myöskään tulisi sitoutua liikaa pääomaa aikaisten ostojen vuoksi. (Lapinleimu et al. 1997, s. 192)

Systemaattisesti toteutettu suunnittelu tuotantoprosesseille takaa sen, että voidaan saavuttaa paras mahdollinen tehokkuus ja tuottavuus. Jotta kilpailukykyisyys säilytetään, on yrityksen implementoitava tehokas ohjausjärjestelmä tuotannolle,

jolloin se voi valmistaa tuotteita nopeammin ja tarkemmin pienemmin kustannuksin. (Sisk, 2018)

Tuotannonohjauksessa on otettava huomioon alla olevat asiat:

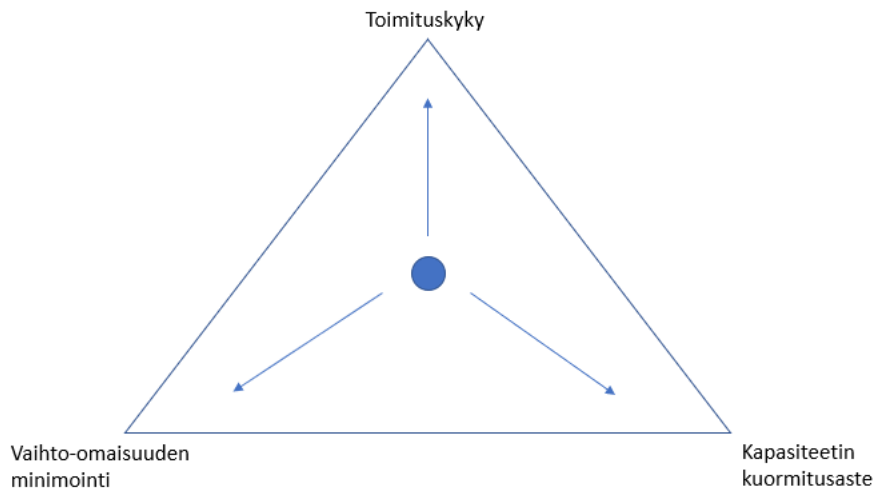
- markkinoiden analysointi ja uudet tuotteet;
- minimoida tuotantoaika;
- vähentää kustannuksia;
- hyödyntää tehokkaasti resursseja;
- ja pysyä aikataulussa asiakastyytyväisyyden takaamiseksi (Sisk, 2018)

Kuitenkin tärkeimpänä asiana voidaan tuotannosuunnittelussa pitää niitä keinoja, joilla johdetaan, valvotaan ja ohjataan kutakin työvaihetta niin, että tiedetään:

- mitä tehdään, missäkin tilanteessa
- miten tehdään ja toteutetaan
- miten työt etenevät aikataulullisesti ja
- mikä on lopputulos (Koski, Koskenvesa, Mäki & Kivimäki 2010, s. 274).

2.2 Toiminnanohjausprosessi

Toiminnanohjauksessa käytetään tavallisesti lyhyen ja keskipitkän aikavälin ennusteita. Menetelmiä voivat olla esimerkiksi toteutuneen kysynnän analysointi sekä regressioanalyysi. Toteutuneiden kysyntätietojen analysoinnissa luotetaan siihen, että toteutuneen kysynnän perusteella voidaan ennustaa myös tuleva kysyntä. (Haveri et al. 2005, s. 413) Ennusteen perusteella voidaan määrittää esimerkiksi vuotuinen kokonaisvalmistusmäärä ja suunnitella valmistamiseen tarvittavan kaluston taso. Suuri kokonaisvalmistusmäärä puoltaa tehokasta valmistuskalustoa, vaikka se olisikin investointina kallis. (Lapinleimu 1997, s. 44)



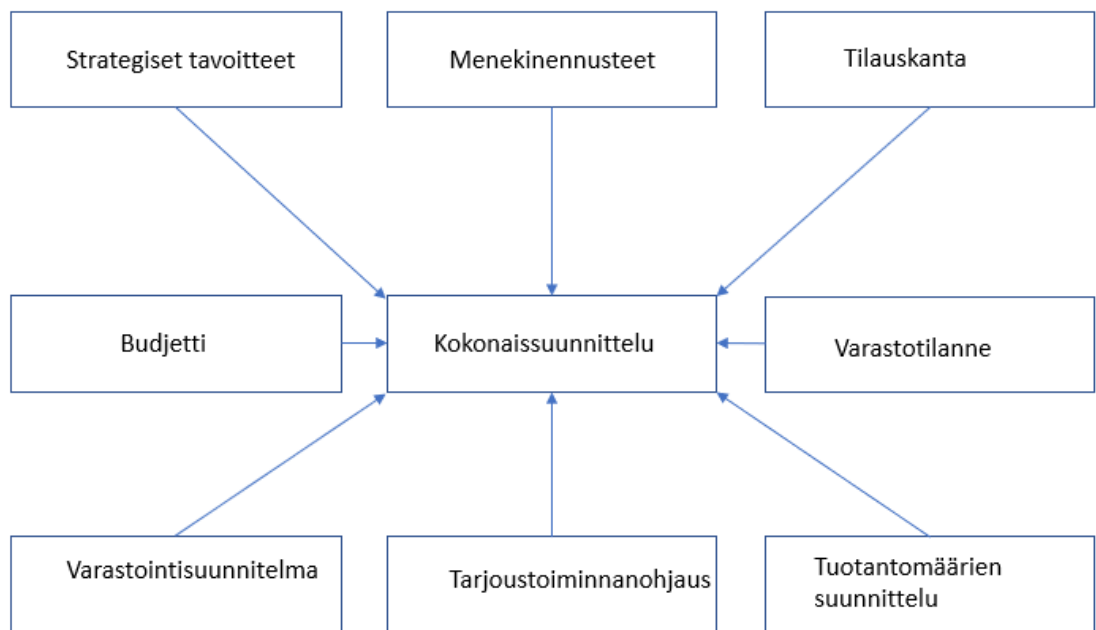
Kuva 4. Toiminnanohjauksen ristiriita (Haverila et al. 2005, s. 404)

Kuvassa 4. näemme, että toiminnanohjauksen on pystyttävä toimimaan kolmion sisällä painottaen eri toimintoja. Kuva kertoo, että optimaalisella toiminnanohjauksella toteutettu tuotanto tuottaa lisäarvoa sekä asiakkaalle että arvoa yritykselle itsellensä. (Hokkanen, Karhunen & Luukkainen, 2012, s. 201) Toiminnanohjauksen tavoitteena on pyrkiä maksimoimaan hyödyt jokaisella osa-alueella. Yksittäisen osa-alueen paras mahdollinen toimiminen voi aiheuttaa haasteita toisessa osa-alueessa. Toiminnanohjauksen tavoite on siis tasapainottaa näiden osa-alueiden toimintaa ja muodostaa toiminta malli huomioon ottaen ne valitut tuotannon kilpailukytekijät, jotka yrityksen toiminnan toteutuksessa on laadittu. Toiminnanohjaukselta vaaditaan sitä enemmän nopeaa reagointi kykyä ja joustavuutta mitä enemmän on muuttujia liiketoiminnassa. (Haverila et al. 2005, s 403-404)

2.2.1 Kokonaisuussuunnittelu

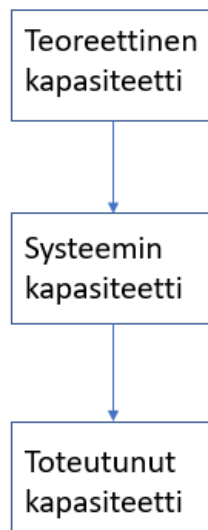
Kokonaisuussuunnittelulla tarkoitetaan ylimmän tason suunnittelua, jossa toteutetaan kokonaisvolyymiä ja taloutta koskevat suunnitelmat. Suunnittelu on yleensä osana vuotuista budjettisuunnittelua. Suunnitelmia joudutaan usein kuitenkin muuttamaan tai tarkistamaan budjettikauden aikana. Kokonaisuussuunnittelun tehtävänä on määrittää toiminnan volyyymi, varastotasojen suunnittelu sekä eri resurssien ja kapasiteetin kokonaistarpeen määrittely. (Haverila et al. 2005, s. 411-412)

Kokonaissuunnittelu pohjautuu yrityksen tilauskantaan, menekkiennusteisiin sekä varastotilanteeseen. Suunnittelun tietoja käytetään tarkempien suunnitelmien perustana. Kokonaissuunnittelun perusteella voidaan suunnitella kapasiteetin muutokset sekä suunnitella materiaali- ja tuotevarastojen tasot, palkata lisää henkilökuntaa tai tehdä kauppasopimuksia alihankkijoiden ja toimittajien kanssa. (Haverila et al. 2005, s. 412)



Kuva 5. Kokonaissuunnittelu (mukaellen Haverila et al. 2005)

Kuvassa 5. esitetään kokonaissuunnittelussa huomioon otettavat tekijät. Strategiset tavoitteet sisältää myös yrityksen oman kapasiteetin mutta myös toimitusketjukumppaneiden investointien aiheuttamat lisätarpeet kapasiteetille. Investoinnit toimitusketjussa vaikuttavat laajasti arvoketjussa toimiviin yrityksiin. (Argoneto, Perrone & Renna 2008, s. 2) Ensisijaisesti menekkiennusteet ovat kokonaissuunnittelun lähtökohta. Ennusteita tarvitaan, koska kysynnän muutokset ovat usein nopeampia kuin tuotannon prosessien reagoitokyky. (Haverila et al. 2005, s. 413)



Kuva 6. Todellisen kapasiteetin muodostuminen (mukaellen Kumar & Suresh 2006)

Kokonaissuunnittelussa kapasiteetin määrittely noudattaa kuvassa 6. esitettyä hierarkiaa. Teoreettinen kapasiteetti kertoo täydellä käyttöasteella kapasiteetin ilman minkäänlaisia häiriötilanteita. Teoreettiseen kapasiteettiin vaikuttaa tuotemixi, laatuvaatimukset ja tuontalaitteiston erot ja työvoiman saatavuus. Puolestaan systeemin kapasiteetin määrittelee todellinen kysyntä, työntekijöiden teho, aikataulutus, suunnittelu ja seuranta. Systeemin kapasiteetista vähennetään tosielämän tilanteet, kuten virheet, häiriöt sekä kunnossapito, näin saadaan toteutunut kapasiteetti. (Kumar & Suresh 2006 s. 122)

2.2.2 Karkeasuunnittelu

Karkeasuunnittelu on tarkempaa suunnittelua verrattuna laajaan kokonaissuunnitteluun. Karkeasuunnittelua tehdään tiheämmin, tavallisesti muutaman viikon aikajänteellä. Lähtökohtana on yrityksen tilauskanta, tuotteiden varastotilanne sekä valmistusbudjetin tavoitteet. Ennusteet eivät ole yhtä vahvassa roolissa kuin kokonaissuunnittelussa. (Haverila et al. 2005, s. 415)

Karkeasuunnittelussa tulisi ottaa huomioon seuraavat tehtävät:

- resurssien käytön yleissuunnittelu
- toimituskyvyn määrittely

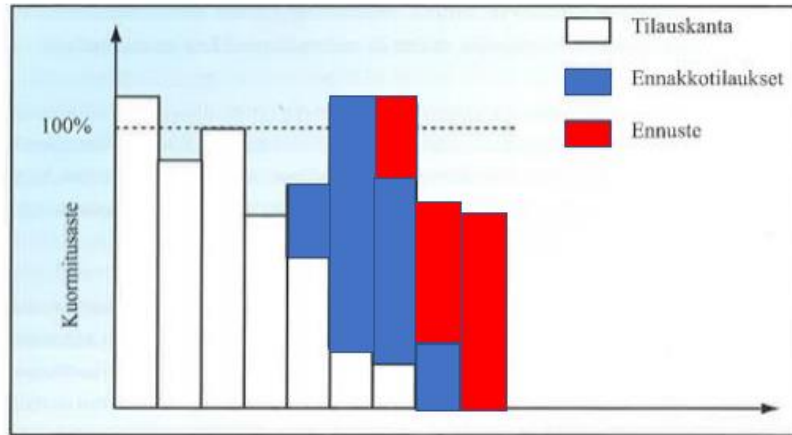
- kuormitussuunnittelu
- ja kuormituspiirros (Haverila et al. 2005, s. 415-416)

Karkeasuunnittelun perustuu lähtökohtaisesti tuotannonojaukseen, eli vallitsevaan tuotannonohjausmuotoon. Tuotannonohjausmuotoja ovat MTS (Make-to-Stock), MTO (Make-to-Order), ATO (Assemble-to-Order), CTO (Configure-to-Order) ja ETO (Engineer-to-Order). (Bowersox, Closs & Cooper 2013, s. 106)

Karkeasuunnittelussa otetaan huomioon kokonaissuunnittelussa määritetty varastointisuunnitelma. Tämän suunnitelman perusteella tuotteita valmistetaan määritetyn tuotantomuodon mukaan. Tilausohjautuvien (MTO) tuotteiden valmistaminen aloitetaan aina tilauksesta. MTO-tuotteille yksikköhinta on useimmiten korkea ja toimitusaika on pitkä. Varasto-ohjautuvia (MTS) tuotteita puolestaan valmistetaan ennusteen mukaan tai ohjausparametrien mukaisesti varastoitaviksi. MTS-tuotteet ovat yleensä hyvin säilyviä vakiotuotteita joiden elinkaari on pitkä. Asiakasohjautuvia (ATO) tuotteita valmistetaan räätälöitynä asiakkaan tarpeisiin vastaavaksi. ATO-tuotteissa standardikomponenteista tuotetaan erilaisia tuotevariaatioita. Tässä ohjausmuodossa varastoon voi sitoutua paljon pääomaa, sillä kokoonpanoon tarvittavia komponentteja voi olla paljon. (Ritvanen, Inkiläinen, Bell & Santala 2011, s. 48-49)

Karkeasuunnittelussa määritellään tuotannon vaatimat resurssit sekä suunnitelma resurssien käytöstä. Työvoima-, kone- ja laitekapasiteetti määritellään yleisellä tasolla. Tilanteen vaatiessa voidaan muuttaa suunnitelmia kapasiteetin lisäämiseksi tai vähentämiseksi. Huomio kiinnittyy suunnittelussa, että resurssit saadaan sopeutettua menekkiä vastaavalle tasolle. Karkeasuunnittelussa on myös tärkeää määritellä toimituskyky. Toimituskyky pyritään säilyttämään seuraamalla varastotasojä sekä tilauskannan kehittymistä. Toimituskykyä ylläpidetään määrittelemällä sopivat täydennyserät. Valmistuskapasiteetti on usein keskeinen rajoittava tekijä tuotannossa ja sen suunnittelussa. Karkeasuunnittelussa laaditaan alustava tuotantosuunnitelma ja ylläpidetään yleisen tason kuormitussuunnitelmaa. Toimitusaikojen määrittelyssä usein huomataan tuotannon rajoittuneisuus kapasiteetin osalta, tämän vuoksi

karkeasuunnittelussa on hyvä ottaa huomioon kapasiteetti. (Haverila et al. 2005, s. 415-417)



Kuva 7. Kuormituspiirros (Haverila et al. 2005, s. 417)

Kuormituspiirroksen (Kuva 7.) avulla kuvataan jonkin kuormitusryhmän kuormitusta tarkasteluajanjaksona. Piirroksessa kuvataan käytettävissä oleva kapasiteetti, aikaisemmin toteutunut kapasiteetti ja tulevaisuuden suunniteltu kuormitus. Tämän piirroksen avulla suunnitellaan tuotantoa ja voidaan mahdollisesti ennusteiden valossa puskuroida jotain tuotetta kapasiteetti pullonkaulojen ehkäisemiseksi. Karkeakuormituksessa tarkastellaan kapasiteetin yleistä riittävyyttä, täten hetkelliset yli- tai alikapasiteetit ei ole ongelmallisia. (Haverila et al. 2005, s. 415-417)

2.2.3 Hienosuunnittelu

Hienosuunnittelun tavoite on muodostaa työjärjestys, joka toteuttaa tuotannon tavoitteet mahdollisimman tehokkaasti. Hienosuunnittelulla pyritään takaamaan hyvä toimitusvarmuus sekä korkea tuottavuus. Tuotannossa, joissa asetuskustannukset ovat korkeat, pyritään usein kasvattamaan eräkokoja tai yhdistelemään tuotantoeria korkeiden asetuskustannuksien kompensaatioksi. Eräkoon kasvattaminen pienentää läpimenoaikoja, mutta puolestaan kasvattaa varastoon sitoutunutta pääomaa sekä heikentää toimitusvarmuutta. Pullonkaula työvaiheet, jotka rajoittavat kokonaiskapasiteettia, kannattaa suunnitella tarkasti, koska pullonkaula työvaiheissa menetetty tuotanto on pois koko tehtaan tuotannosta. Ideaalista on, että pullonkaulojen kuormitusasteen täytyy olla korkea. Ajoittamisessa täytyy huolehtia, että pullonkaulavaihe ei pysähdy muun toiminnan tai myöhästelyn takia. (Haverila et al.

2005, s. 417-418, Krajewski, Malhotra & Ritzman 2013, s. 185) Hienosuunnittelussa on tärkeää huomioida priorisointisäännöt. Priorisoinnilla tarkoitetaan tuotannonohjauksessa jonkin asian asettamista toisen edelle. Yleensä priorisointi on osaoptimointia jollekin kuormitusryhmälle ja täten on epäedullista muulle tuotannolle.

Priorisointisääntöjä ovat alla olevat:

- suurin myöhästyminen
- lyhin työvaihe ensin
- pisin työvaihe ensin
- kallein tuote-erä ensin
- nopeimmin valmistuva ensin
- saapumisjärjestys
- aikaisin aloitusajankohta
- asennuskustannuksien minimointi (Haverila et al. 2005, s. 420)

2.3 Tuotanto ja varastot

2.3.1 Läpimenoaika

Läpimenoaika on tuotantojärjestelmän tehokkuuden tärkein mittari. Läpimenoaika muodostuu jonkin toiminnan alkamisesta ja sen valmiiksi tulemiseen. Läpimenoaika voidaan määritellä eri kokonaisuuksille, mutta tässä kontekstissa sillä tarkoitetaan valmistuksen läpäisyäikää. Läpimenoaika voidaan erottaa toimitusajasta, sillä toimitusajassa huomioidaan myös kuljetusajat. (Lapinleimu et al. 1997, s. 55, Sutherland & Canwell 2004, s. 235) Lyhyt läpimenoaika indikoi toimivasta järjestelmästä. Lyhyt läpimenoaika antaa yritykselle mahdollisuuden lyhyisiin toimitusaikoihin sekä pienentyneisiin varastotasoihin parantaen tuotannon ohjattavuutta. Tuotannon materiaalivirtojen kasvaminen läpäisyajan lyhentymisestä merkitsee myös pienempää keskeneräiseen tuotantoon sitoutunutta pääomaa. Työkustannukset eivät ole suoraan riippuvaisia läpimenoajasta, sillä suuri osa on odotuksia ja muuta työtä ja kapasiteettia sitomatonta aikaa. (Lapinleimu et al. 1997, s. 55)

2.3.2 Eräkoko

Vuosivolyymi tuotteet valmistetaan erissä. Tavoitteen toteutuminen riippuu tekniikasta, joka on erityisesti asetustekniikka. Eräkokojen pienentäminen pienentää varastotasoja, useammat erät mahdollistavat varaston täytön tasaisemmin. Erityisesti lopputuotevarastoissa on huomioitava pääomakustannuksien syntymisen lisäksi epäkurantti varaston muodostuminen, ellei jokaista erää vastaa asiakastilaus. Eräkoon pienentäminen tarkoittaa useampia eriä vuodessa, joka puolestaan merkitsee, että asetuksia tarvitsee suorittaa useampia vuoden aikana. Koska jokaisella erällä on eräkohtaisia kustannuksia kokonaiskustannukset pyrkivät kasvamaan ja puolestaan kustannukset pyrkivät kasvattamaan keskimääräistä eräkokoja. Eräkohtaisia kustannuksia syntyy aseteajoista, kuljetuksista tehtaan sisällä ja ulkopuolella sekä varastoinnista. (Lapinleimu et al. 1997, s. 59)

2.3.3 Asetukset

Asetuksiksi voidaan sanoa niitä toimenpiteitä, jotka ovat välttämättömiä tuotantolinjan saattamiseksi sellaiseen tilaan, että se pystyy tuottamaan haluttua hyödykettä. Asetustyö koostuu komponenttien vaihdoista, työkaluasetuksista, kalibroinnista, automaation uudelleen asettamisista sekä käyttöönotosta ja testauksesta. (Shingo 1985, s. 27)

Asetuksia voi olla tuotekohtaisia tai universaaleja vakioasetuksia. Universaalit asetukset eivät vaadi tuotantoaikaa vievää toimenpidettä, vaan työ voidaan hoitaa koneen käydessä. Puolestaan tuotekohtaiset vaihdot vaativat linjaston muutostoimenpiteitä ja täten vievät tuotantoaikaa. (Lapinleimu et al. 1997, s. 61)

Asetusten nopeuttaminen perustuu toiminnan vakioimiseen:

- Työkalut ovat vakioasetuksena koneessa
- Automaation tehtävät ovat esiasennettuina
- Kaikki tarvittavat työvälineet on kerätty yhteen ja ovat vakiopaikoilla välittömästi otettavissa.
- Tarvittavat kiinnityskohdat on standardisoitu ja mekanisoitu. (Lapinleimu et al. 1997, s. 61)

Nopeat asetusajat pienentävät eräkokoja ja vähentävät täten tuotannon pullonkauloja, toisin sanoen siis tuotannon pienet eräkoot vaativat tuotannolta erittäin lyhyitä asetusajoja. Asetaikoja voidaan nopeuttaa hyödyntämällä SMED-tekniikkaa. (Pinto, Matias, Pimentel, Azevedo ja Govindan 2018, s. 84)

2.3.4 Varastot ja varastojen hallinta

Varastot ovat sydän jokaiselle tuotanto- tai toimitusketjusuuremille. Varastot ovat kompromissi aina kustannuksien ja palvelun välillä. Varastointiin liittyy aina kustannuksia sekä varastointi aiheuttaa kustannuksia. Varastoinnin kustannuksia ovat sitoutunut pääoma, varastotilojen rakentaminen ja ylläpito, materiaalien käsittelykulut, laadun säilyminen, vakuutusmenot ja muut erilaiset varastoon liittyvät kulut. (Hopp 2003, s. 95) Varastot yleisesti viittaavat varastoitaviin hyödykkeisiin. Varastoja kutsutaan myös yrityksen seisoviksi resursseiksi. Valmiita myytäväksi tarkoitettua tuotteita varastoidaan tasoittamaan kysynnän ja tuotannon välistä kuilua. Yrityksien on tärkeää ylläpitää varastoja maltillisesti, siten että missään tilanteessa varastot eivät pääsee kasvamaan tai laskemaan liiallisesti. (Kumar et al. 2006, s. 91)

Varastoinnin syyt:

- sisään ostetut tavara- tai materiaalierät ovat varastoitava
- asiakaspalvelun turvaaminen saatavuuden kautta
- tuotevalikoiman sekä asiakaskunnan laajuus, monimuotoisen valikoiman ylläpitäminen
- materiaalitoimittaja/toimittaja on epäluotettava
- hintojen muutosten ennakointi, esimerkiksi raaka-aineiden kohdalla (Ritvanen et al. 2011, s. 80)

Varastojen pitämisen ensisijaisena tarkoituksena on tasoittaa tuotantoa ja sen kuormitusta, sillä kysyntä ei useimmissa tapauksissa ole täysin vakiota ja kysyntään voi vaikuttaa monet ulkoiset sekä sisäiset tekijät. Toisena kannattavuustekijänä voidaan pitää, että varastojen avulla voidaan ottaa hyöty esimerkiksi tuotantomateriaalien alennuksista, jolloin voidaan tuottaa pienemmillä valmistuskustannuksilla. Kolmantena syynä on oman tuotannon varmistaminen, jos

arvoketjussa takana olevilla yrityksillä esiintyy toimitusvaikeuksia. Kirjallisuudessa on esitetty myös neljäs syy varastojen pitämiselle, jotka ovat myynnin menettäminen puutetilanteiden vuoksi. (Kumar et al. 2006, s. 91-92)

Hyvin hoidettu varastojen hallinta:

- laskee kustannuksia sekä parantaa rahavirtaa
- kasvattaa toimitusvarmuutta
- ehkäisee puutostilanteita tuotannossa sekä lopputuotevarastossa
- ehkäisee liiallista varastointia lopputuotteissa sekä raaka-aineissa
- Ehkäisee epäkurantin tuotteen muodostumista varastoissa

Varastoinnilla on myös muita vaikutuksia, jotka on otettava huomioon tuotannonohjauksessa ja suunnittelussa. Esimerkiksi joidenkin tuotteiden laatu voi heiketä ajan mittaan, mikä voi vaikuttaa käyttötarkoitukseen tai tuotteet voivat vanhentua teknologisen kehityksen tai markkinoiden muutoksien vuoksi. (Lang 2010, s. 21)

2.4 Yhteenveto

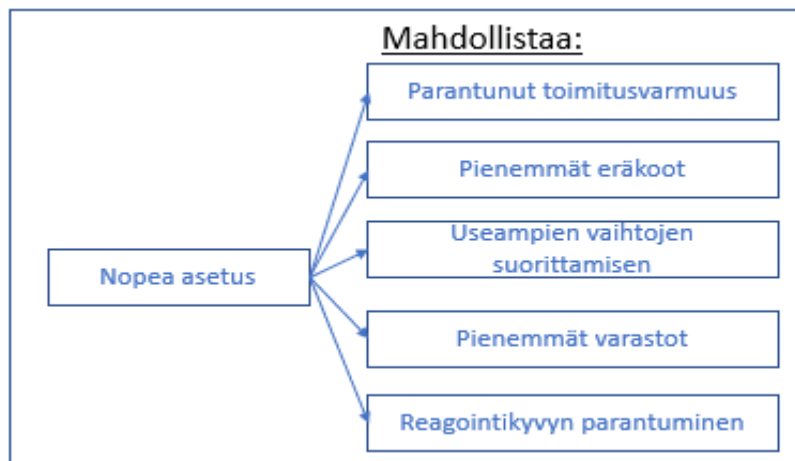
Tässä työssä tutkitaan aseteaikojen vaikutusta läpimenoaikaan sekä tuotannonohjaukseen. Tämän työn kannalta on relevanttia käsitellä läpäisyajkojen vaikutusta tuotantoon kokonaisuutena, sillä tutkimustyön tuloksena läpimenoaikoja lyhennetään aseteajan kautta SMED-metodiikkaa hyödyntäen. Tämän alaluvun tarkoituksena on selventää ja kiteyttää edellä kirjoitettu teoria yhdeksi kokonaisuudeksi omalla pohdinnalla sekä liittää tämä osakokonaisuus pääongelmaan.

2.4.1 Läpimenoaika

Läpimenoaika on yksi tärkeimmistä mittareista, jolla voidaan mitata tuotannon tehokkuutta. Läpimenoaika on käsitteenä laaja, sillä se kattaa tuotantoprosessin kaikki vaiheet aina raaka-ainevarastosta lopputuotevarastoon. Mitä lyhyemmäksi läpimenoaikaa saadaan, sitä kestävämpi ja nopeammin sopeutettavissa tuotanto on. Nopea läpimenoaika merkitsee yritykselle toimitusvarmuuden kasvamista, mahdollisuutta pitää pienempiä väli- ja lopputuotevarastoja sekä vastata herkemmin

mm. satunnaiskysyntään parantuneen materiaalivirran seurauksena. Tuotantoprosesseissa kokonaisvaltainen kehittäminen on ensisijaisen tärkeää osaoptimoinnin sijaan. Lean-ajattelun yksi ideologia on, että prosessin on niin vahva kuin sen heikoin lenkki on. Lämpäisyajoja usein lähdetään osaoptimoimaan unohtamalla kokonaisuus. Tämä näkyy tuotannossa mm. eräkokojen kasvuna sekä kasvaneina varastoina.

Asetus on osa tuotantoprosessia, jossa tehdään tarvittavat toimenpiteet tuotannon käynnistämiseksi. Asetusaika on yksi merkittävimmistä tekijöistä läpimenoajan osalta, sillä hidas asetus tarkoittaa usein myös hetkellistä tuotannon seisokkia. On selvää, että tuotanto ei voi käydä vaihdon aikana, joten aina vaihtoon käytetty aika on pois potentiaalisesta tuotannosta. Pientämällä asetusaikaa pystytään vaikuttamaan suoraan vaihtojen määrään. Lyhyt asetusaika mahdollistaa pienemmät eräkoot ja mahdollistaa useampien vaihtojen suorittamisen. Pitkä asetusaika puolestaan aiheuttaa sen, että vaihtojen määrää minimoidaan, jotta potentiaalista tuotantoaikaa ei menetetä. Täten voidaan todeta, että vaihtojen määrä korreloi suoraan keskimääräisen eräkoon kanssa, kun kysynnän oletetaan olevan vakio.



Kuva 8. Nopeiden asetusten positiivisia vaikutuksia

Vaikutukset varastoon näkyvät myös keskeisesti. Varastohallinnan ja suunnittelun kannalta on vaikeaa, jos tuotannon materiaalivirrat takkuavat. Eräkokojen kasvaessa joudutaan turvautumaan puskurointiin, sillä eräkokojen kasvaessa aina seuraava

tuotantoerä tulee viivästymään optimitilanteesta. Varastojen puskurointi on yksi osaoptimoinnin alue, jota voidaan suorittaa tasoittamaan tuotantoa tai korjaamaan tuotannon tehottomuutta. Varastojen puskurointia suoritetaan, jotta toimitusvarmuus saadaan säilytettyä myös yllättävissäkin tilanteissa. Puskuroinnin syy piilee yleensä heikoissa tuotantoprosesseissa, mutta on kuitenkin fakta, että puskurointia voidaan käyttää myös varautumisena esimerkiksi kausisesonkeihin, jolloin kysyntä poikkeaa merkittävästi normaalista ennusteesta. Tämänlaisessa tilanteessa puskurointia ei ole merkki prosessin toimimattomuudesta, vaan tuotannon kuormituksen tasaamisesta.

2.4.2 Tuotannonohjaus ja suunnittelu

Tuotannonohjauksen ja suunnittelun kannalta on erittäin tärkeää, että asetusajoissa ei synny ongelmia tai häiriöitä, joko käyttäjä- tai konelähtöisiä. Venyneet asetusajat tuottavat päänsäivää suunnitteluun ja ohjaukseen, jos prosessi ei etene suunnitellusti. Ongelmat asetusajoissa merkitsevät viiveitä tuotannossa. Viiveitä joudutaan kompensoimaan lyhentämällä tai pidentämällä eräkokoja. Ongelmat, joita joudutaan kompensoimaan, koskevat niitä tuotettavia eriä, jotka ovat ajojärjestyksessä häiriön takana. Kompensoinnin seurauksena voi mennä pitkiäkin aikoja, jotta tuotannon tasapainotila saavutetaan uudestaan. Tämän vuoksi häiriöiden ja muiden ongelmien poistaminen on tärkeää asetusprosessista.

Standardisoitu asetusprosessi antaa tukea kokonais-, karkea- ja hienosuunnitteluun. Jos odottamattomia ongelmia syntyy tuotantoprosesseissa jatkuvasti, on kokonaissuunnittelun perusta käytännössä merkityksetön. Tämän vuoksi laskentaan perustuva keskimääräinen läpimenoaika on tärkeää tietää, jotta voidaan suunnitella varastosaldot ja toimitusajat. Jos läpimenoaika ei ole tiedossa tai se on epävarmuustekijä, johtaa se usein yli- tai alikompensointiin. Ylikompensointi kasvattaa ja kuormittaa tuotantoa tarpeettomasti, joka näkyy ylisuurina varastoina ja osittaisina toimitusvaikeuksina. Alikompensointi puolestaan näkyy puutetilanteina varastoissa ja toimitusvaikeuksina. Riskinä molemmissa tilanteissa on myynnin menettäminen.

Karkeasuunnittelussa kuormitussuunnitelman laatiminen hankaloituu, sillä odottamattomiin tilanteisiin ja ongelmiin tuotantolinjalla on lähes mahdotonta varautua. On tosin yleistä, että linjoilla tapahtuu odottamattomia häiriöitä, mutta systemaattisuus näiden häiriöiden kohdalla on saatava poistettua. Hienosuunnittelun lyhyen aikajänteen vuoksi mahdolliset ongelmat tuotantolinjalla johtavat tehtävien priorisointeihin. Asetuksista johtuvat seisokit voivat pahimmassa tapauksessa muuttaa kokonaan karkeasuunnittelussa esitetyn suunnitelman, joka puolestaan johtaa tuotannossa hätäratkaisuihin ja tulipalon sammutuksiin. Tilapäisratkaisuna voidaan ajaa jotain tuotetta pidempinä erinä, jotta asetuskustannuksia saadaan minimoitua ja aikataulua otettua kiinni. Tämä puolestaan johtaa oravanpyörään missä seuraava erä on lähtökohtaisesti myöhässä. Myöhästynyt erä voidaan, joko ajaa lyhyempänä tai siirtää erän ajoa pidemmälle, jos tuotetta on puskuroitu varastoon edellisessä tuotantosyklissä.

3 VALMISTUSPROSESSIN KEHITTÄMINEN

Tämän luvun tarkoituksena on esitellä tutkimusosuudessa käytettävää teoriaa ja menetelmiä. Lean-ajattelu ja -menetelmät toimivat työn pääongelman teoreettisena viitekehyksenä.

3.1 Lean

3.1.1 Ajattelu

Lean-filosofia kehittyi ajattelumallina suosituksi kirjan ”The Machine That Changed the World”, jonka kirjoitti Womack, Jones ja Ross vuonna 1990. Yhä useampi yritys on ottanut Lean-ajattelun käyttöön osaksi tuotantoansa. Lean-ajattelun myötä laatu on kasvanut, tuotantokustannukset pienentyneet ja hukat vähentyneet. Tästä syystä Japani valloitti markkinat 1980-luvulla tehokkaalla tuotannollaan. Opit lähtivät alun perin Toyotan tuotantojärjestelmästä, joka sai käsitteen TPS (Toyota Production Systems). (Pinto et al. 2018, s. 5)

Lean tuotantoperiaatteita, joita esimerkiksi Toyota tuotannossaan hyödynsi ovat:

- Pienissä erissä valmistus – asiakastilauksen mukaan
- Pienet erät johtavat asetusajan sekä tekniikan merkityksen korostumiseen
- Tuotantoa tasoitetaan myyntitoimenpitein sekä tuotannon ohjauksella
- Ohjaus perustuu just in time-ajatukseen (JIT), eli valmistetaan vain tarvittava määrä
- Valmistuksen ohjaus visuaalista
- Periaatteena pienet varastot
- Koneiden täyteen kuormitusasteeseen ei pyritä
- 0-virhe-ajattelu ja sisäinen asiakkuus
- Suhtautuminen vakavasti tuotantohäiriöihin ja niitä aiheuttaviin virheisiin.

(Lapinleimu 2007, s. 38)

Lean ajattelumallissa keskitytään arvon tuottamiseen asiakkaalle mahdollisimman vähin resurssein. Tavoite saavutetaan keskittymällä niihin osa-alueisiin, jotka ovat arvontuoton kannalta ja asiakkaan näkökulmasta keskeisimpiä. Lean-ajattelussa poistetaan kaikki ylimääräinen. (Lapinleimu 2007, s. 38)

Lean-tuotanto eroaa länsimaisesta massatuotannosta monella eri tavalla. Massatuotannossa toimivuus pyritään maksimoimaan, niin että häiriöitä tai muita tuotantoa estäviä tekijöitä ei pääsisi syntymään. Massatuotannossa keskeistä on koneiden käyntiajan maksimointi ja suuret eräkoot. Tämä saattaa aiheuttaa ongelmia tuotantoprosessin muissa vaiheissa, jos valmistusprosessi on monivaiheinen. Tätä joudutaan kompensoimaan puskuroimalla KET-varastoa (keskeneräinen tuotanto), jotta tuotanto ei häiriintyisi tarpeettomasti. Puolestaan Lean-ajattelussa pyritään sellaiseen tuotannon sujuvuuteen, että puskurit ym. muut varotoimenpiteet eivät olisi tarpeellisia. Ongelmien esiintyessä, tuotanto pysäytetään ja ongelma korjataan. Lean tähtää tuotantoprosessina vahvuuteen jokaisella tuotannon osa-alueella. Lean-filosofian ensisijaisena tavoitteena on maksimoida arvontuotto. Arvontuottoa tarkastellaan ketjuna aina asiakastilauksesta toimitukseen asti. Tarkoitus ei ole osaoptimoida prosesseja vaan keskittyä tuotantoon kokonaisuutena ja lyhentää tuotteiden läpimenoaikoja. (Chiarini 2018, s. 4-11)

Menestykäs Lean-tuottaminen edellyttää yritykseltä oikeita tuotanto- sekä johtamisperiaatteita. Tuotantoperiaatteista tärkeimpiä ovat nopeat tuotevaihtoajat, varastojen ja hukkien pienentäminen, tuotannon mukautumiskyky, toimittajien kehitysyhteistyö, laadunkehitys ja kehitysohjelmat. (Pinto et al. 2018, s. 8) Johtamisperiaatteina voidaan pitää sitä, että ihmiset tekevät yhdessä toimien tulosta ja näille toimille on asetettu selkeät tavoitteet, mittarit ja seuranta. Muita kirjallisuudessa esitettyjä periaatteita ovat tulosvastuullinen delegointi, organisaation hajauttaminen ja henkilöstön monitaitoisuuden ylläpitäminen. Lisäksi on ajateltava asiakkaan, omistajan ja henkilöstön yhteistä etua päätöksiä tehdessä. (Lapinleimu 2007, s. 39)

Taulukossa 1. on esitetty 14 Lean management-periaatetta, jotka Liker esitteli kirjassaan ”The Toyota Way”. Periaatteet voidaan jakaa neljään osioon. Ensimmäisessä osiossa puhutaan pitkän ajan filosofiasta, joka liittyy hyvin vahvasti strategiseen päätöksentekoon, jolla pyritään pitkän aikavälin tavoitteisiin. Toisessa osiossa käsitellään tuotannollisia vahvuuksia, joilla tähdätään prosessien optimaaliseen toimivuuteen. Kolmannessa osiossa käsitellään periaatteita, joilla

henkilöstön kautta organisaatiosta saadaan tuottavampi. Neljännessä osiossa tarkastellaan tutkimusta, jolla taataan yrityksen kehityksen jatkuvuus.

Taulukko 1. Toyotan johtamisperiaatteet (mukaillen Liker, 2004)

Osio		Periaate	
1	Pitkän ajan filosofia	1	Tavoitteena asettaa päätökset palvelemaan pitkän aikavälin tavoitteita, vaikka se söisi lyhyen aikavälin tuloksia
2	Oikeat prosessit tuottavat oikeita tuloksia	2	Jatkuva prosessivirta
		3	Pull-systeemien käyttäminen ylituotannon välttämiseksi
		4	Tasoita kuormitukset
		5	Havaitse poikkeamat (Jidoka)
		6	Standisoi tehtävät
		7	Hyödynnä visuaalista ohjausta
		8	Käytä luotettavia välineitä
3	Tuo lisäarvoa organisaatioon kouluttamalla työntekijöitä ja yhteistyökumppaneita	9	Luo johtajia talon sisältä
		10	Kouluta työntekijät tehtäviin
		11	Kunnioita yhteistyökumppaneita ja auta heitä kehittymään
4	Jatkuva kehittäminen ja ongelmien ratkominen johtaa organisaation oppimiseen	12	"Mene ja katso itse"-ajattelu
		13	Tee päätökset rauhassa käyden läpi kaikki vaihtoehdot
		14	Kehitä organisaatio oppiympäristöksi reflektion ja Kaizenin kautta

3.1.2 Työkalut

Tämän kappaleen tarkoituksena on kuvata työn kannalta oleelliset Lean-työkalut. Esitettyjen lisäksi Lean työkaluja ovat lisäksi arvovirtakuvaukset (VSM), Kanban, Heinkunka, Jidoka, Kaikaku, takt-time (Tahtiaika) ja Poka-Yoke.

Just-in-time (JIT)

Just-in-time-periaate tarkoittaa nimensä mukaisesti ”juuri oikeaan aikaan”-tuotantoa, se ei suoranaisesti ole yksi Leanin työkaluista vaan yhdistelee useampia Lean-menetelmiä. Periaate tuli tunnetuksi japanilaisena tuotantofilosofiana jo ennen Lean-ajattelua. Tässä periaatteessa tuotteita valmistetaan, siirretään tai kuljetetaan vain todellisen tarpeen mukaan. JIT on saanut käsitteenä myöhemmin laajemman merkityksen, kun siihen on lisätty myös muita japanilaisia tuotantofilosofioita. JITin tavoitteena nykypäivänä on vastata kysyntään parhaalla mahdollisella laadulla mahdollisimman vähällä hukilla. (Logistiikan maailma, 2018) JIT-metodiikka sisältää

työkaluja kuten Kaizenia, imuohjaus-menetelmiä (eng. the pull system), 5S, tahtiaikaa (eng. takt-time) ja SMEDiä. (Pinto et al. 2018, s. 28)

Kaizen

Kaizen perustuu jatkuvaan kehittämiseen. Sana Kaizen tulee japanin kielestä ”muutos parempaan”. Kaizenin keskeinen ajatus on yhteistyö osallistamalla organisaation eri portaista työntekijöitä kehittämiseen. Kehittämiseen otetaan mukaan johtohenkilöitä sekä työntekijöitä. Toisena keskeisenä asiana kirjallisuudessa esitetään kehittäminen käyttämättä liikaa rahaa kehitystyöhön käyttämällä luovia menetelmiä. Luovat menetelmät tarkoittavat, että jokaisen tulisi tarkastella jatkuvasti ympäristönsä ja kehittää parempia tapoja toteuttaa työtä tunnistamalla ja poistamalla prosesseista ei arvoa lisääviä toimintoja. Tämän vuoksi Kaizen-ajattelua pitäisi toteuttaa päivittäin. (Pinto et al. 2018, s. 14)

Kaizen-filosofian tavoitteena on rohkaista työntekijöitä tekemään pieniä parannuksia päivittäin. Pitkän aikavälin tavoitteena on saada työntekijät työskentelemään tehokkaammin. Vaikka numeroiden viitekehyksestä asetetut tavoitteet saavutetaan, kuitenkin parannus ja kehitystyötä lopetetaan. Kaizenin avulla voidaan myös ehkäistä muutosvastarintaa, sillä osallistamisen kautta jokainen on ollut osana kehitystyötä. (Pinto et al. 2018, s. 14)

Single minute exchange of die (SMED)

SMED on Shigeo Shingon kehittämä kehitysmetodi tuotannolle, jonka perimmäisenä tarkoituksena on vähentää tuotantolinjoilla tuotevaihtoihin kuluva aikaa. SMED on Leanin yksi työkalu. Sen perimmäisenä tarkoituksena on lyhentää asetuksen ottamaa aikaa tai toisien sanoen lyhentää aikaa käynnissä olevan prosessin ja uuden käynnistyvän prosessin välillä. SMEDin avulla saadaan tuotantoon joustavuutta samalla vähentäen kustannuksia. ”Single minute” viittaa, että prosessia mitataan minuutin tarkkuudella. (Lopresti, 2018) Konkreettinen SMED-menetelmän tuoma hyöty on lyhentynyt tuotevaihto-aika. Lyhentämällä tuotevaihtoon kuluva asetaika on mahdollista tuottaa pienempiä eräitä. Tällöin keskeneräinen tuotanto vähenee sekä varastoja voidaan pitää pienempinä. SMED-menetelmän hyödyntämisestä hyötyy lisäksi tuotannosuunnittelu. Kun vaihtoajat voidaan standardisoida ja tuoda

läpinäkyväksi, on suunnittelussa mahdollista luottaa fakta tietoon ja täten tarkentaa tuotannon suunnittelua. (Arrow 2013)

5S-menetelmä

5S on systemaattista Lean-tuotantoa. Se on liiketoimintajärjestelmä, jolla organisoidaan ja hallitaan tuotantotoimintaa vähemmällä vaivalla, tilalla, pääomalla sekä ajalla, jotta voidaan saavuttaa parempi laatu. 5S-systeemi tulee englannin kielen sanoista sort, set in order, shine, standardize & sustain. Systeemi perustuu siis lajitteluun, järjestelyyn, puhdistukseen, standardointiin sekä ylläpitämiseen. Monet organisaatiot usein toteuttavat näistä viidestä tekijästä ensimmäiset kolme, mutta unohtavat standardoinnin sekä ylläpidon. 5S-menetelmien laiminlyönti heikentää tai tekee muut Lean-menetelmät hyödyttömiksi. Tämän vuoksi on tärkeää, että tämän menetelmän periaatteiden noudattaminen on tärkeää. (Chapman 2005, s. 27)

3.1.3 Tavoitteet

Lean-menetelmien sisällyttäminen tuotantoon johtaa kustannuksien laskuun ja suorituskyvyn kasvuun auttaen yritystä pysymään kilpailukykyisenä (Chiarini 2013, s. 12). Lisäksi viimeaikaisissa tutkimuksissa on todettu menetelmien käyttämisen johtavan yrityksen toiminnan ohjautumiseen kohti asiakaslähtöisyyttä. Lean tuottaminen on strateginen vaihtoehto massatuotannolle, joka on hyvin omaksuttu teollisuudessa tuottavuuden maksimoimiseksi. Tosin Lean-menetelmien hyödyntäminen vaatii usein merkittäviä fyysisiä muutoksia tuotantoon menetelmien implementoinniksi. (Pinto et al. 2018, s. 12)

Tänä päivänä tuotanto on uudelleen läpimurroksessa, vanhat käytännöt eivät sovi enää tämän päivän kilpailussa. Tätä kehitystä ajavat kaksi tekijää: kestävä taloudellinen kasvu sekä se, että vanhat johtamiskäytännöt eivät enää toimi työntekijöille, joilla ei ole laaja-alaista koulutusta. (Alcaraz, Macias & Robles 2014, s. 4)

Mitä yritykset tavoittelevat näiden menetelmien käyttöön otolla?

- Laadukkaiden tuotteiden valmistamista
- Kustannuksien vähennystä
- Kaikkien työntekijöiden osallistamista

- Kulturaalista lähestymistapaa (Alcaraz et al. 2014, s. 4)

Toiminnan laadulla on suuri sisäinen merkitys. Toisien sanoen kerralla kunnolla tehtyä ei tarvitse jälkeinpäin korjailia. Sama pätee myös tuotantoon ja tuotantolaitteisiin. Laadukkaasti toteutetusta tuotannosta suurin osa pitäisi olla ns. priimatuotantoa. Tämä on tuotannon yksi keskeisimpiä tavoitteita. Kustannuksien vähentämistä on asetuskustannuksien, yksikkövalmistuskustannuksien pienentyminen sekä varastoon sitoutuneen pääoman pienentäminen. Osallistaminen puolestaan johtaa innovatiivisuuteen sekä sitä kautta kestävään kehitykseen. Innovatiivisuus nähdään uutena dimensiona tavoitteissa. Innovatiivisuus ja kehittyminen eivät näy irrallisina toimintoina, vaan ovat läsnä kaikessa operatiivisessa tekemisessä. (Lapinleimu 2007, s. 70-72)

Hukkien eliminointi on yksi Leanin tärkeimmistä tehtävistä. Seitsemän tunnistettavaa hukkaa ovat ylituotanto ja prosessointi, kuljetukset, liike, odottelu, kuljetukset sekä vialliset tuotteet.

Ylituotanto Tuotetaan liikaa, liian aikaisin tai liian myöhään kysynnän tyydyttämiseksi. Tätä voidaan estää nopeilla tuotevaihtoajoilla, tuotannon lay-outin muutoksilla ja prosessien ajoituksen kohdistamisilla.

Yliprosessointi Prosessoidaan tuotetta liikaa, kuin mitä asiakas oikeasti tarvitsee

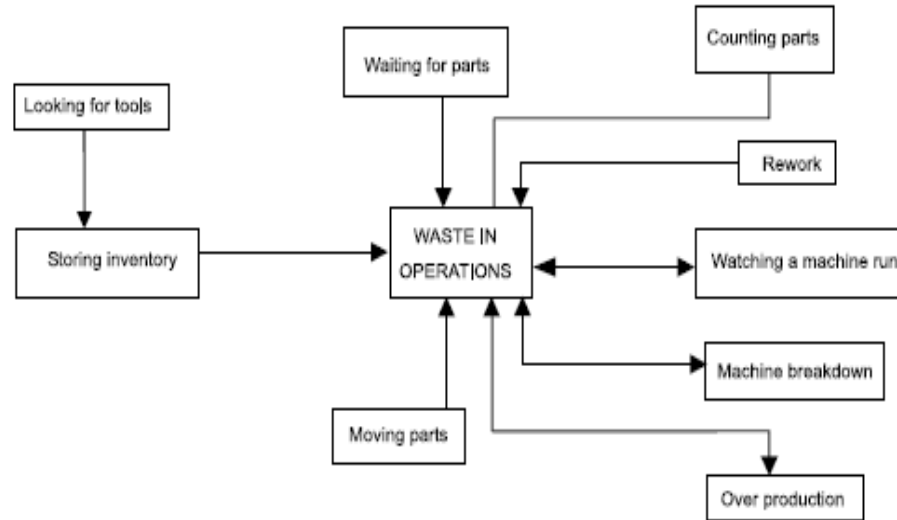
Kuljetukset Osien ja materiaalien kuljettaminen tiloissa pitäisi pystyä minimoimaan strategisesti. Aikaa säästetään, kun välinevarastot sekä nouto- ja lastauslaiturit on sijoitettu lähelle tarvealueita.

Liike Turha epäsystemaattisuus tuotannossa kuluttaa aikaa. Automatisoimalla prosesseja voidaan poistaa turha aika prosessien väliltä. Tehokas käyttö parantaa tuottavuutta ja johdon mukaisuus laatua.

Odottelu Tilanteet, joissa joudutaan odottamaan seuraavaa vaihetta, katkaisee materiaalivirran. Poistamalla pullonkaulat tuotantoprosesseista voidaan tasoittaa erisuuret kuormitukset.

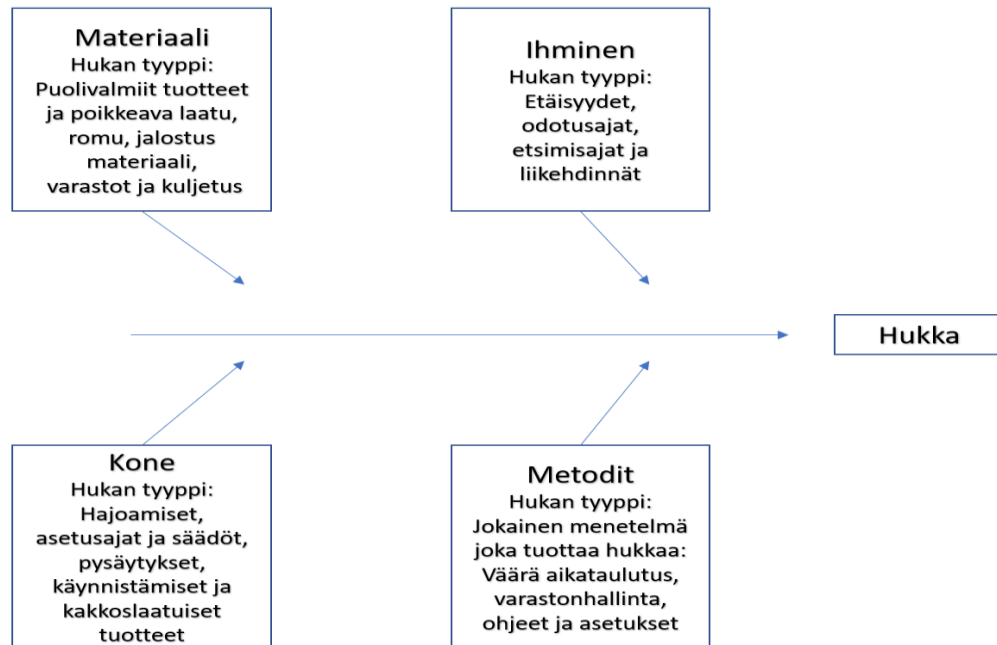
Varasto Liiallinen raaka-aineiden, keskeneräisten tuotteiden (KET) ja lopputuotteiden varastointi sitoo pääomaa

Viallinen tuote Vialliset tuotteet/palvelut ovat myynnin menettämistä ja tuhlaavat potentiaalista tuotantoaika. (Chiarini 2013, s. 19, Kumar & Suresh 2006, s. 103)



Kuva 9. Hukat toiminnassa (Kumar & Suresh 2006, s. 104)

Kuvassa 9. on esitetty operatiivisessa toiminnassa syntyviä hukkia. Kuvassa esitettyä toimintoa voidaan pitää esimerkiksi, vaikka tuotantokoneena. Hukkia syntyy työntekijöiden toimesta työkalujen etsimisessä ja varastoinnissa, koneen toiminnan turhasta seurailusta tai virheellisistä asennusoperaatioista. Mekaanisia hukkia voivat olla koneenhajoamiset, kun puolestaan toiminnallisia hukkia ovat osien siirtely ja odottelu sekä ylituotanto.



Kuva 10. Lean hukat ja 4-M (Mukaellen Chiarini 2013, s. 19)

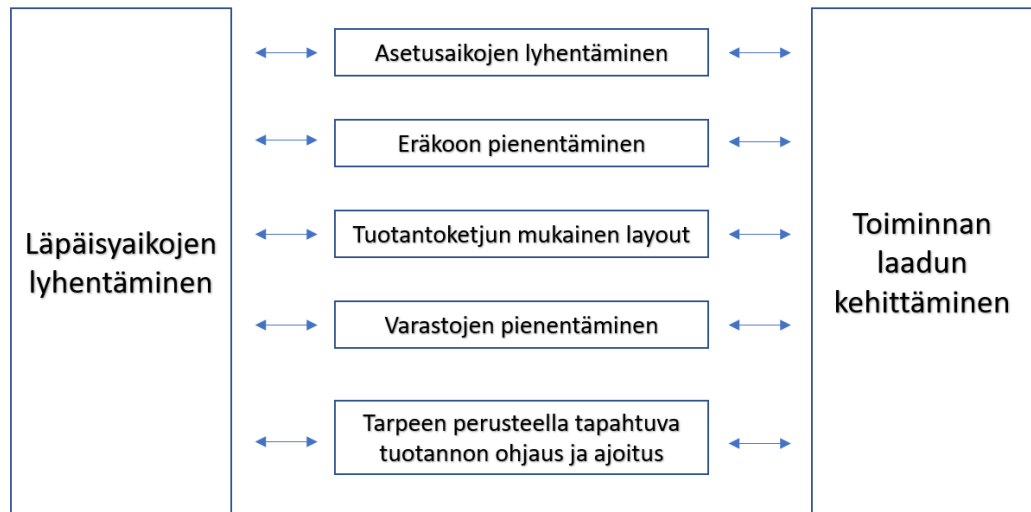
Kuvassa 10. Esitetään 4-M fishbone-diagrammina tai syy-seuraus-diagrammina. 4-M on jaettu erilaisten hukkien mukaan ja tulee sanoista: M = Man, M = Material, M = Machine ja M = Method of work. 4M voi sisältää lisäksi yhden komponentin, joka on viides M = Mother nature. Tämän diagrammin tarkoituksena on selventää mistä tekijöistä hukat aiheutuvat. (Chiarini 2013, s. 18)

3.2 Tuotannon optimointi

3.2.1 Just-in-time (JIT)

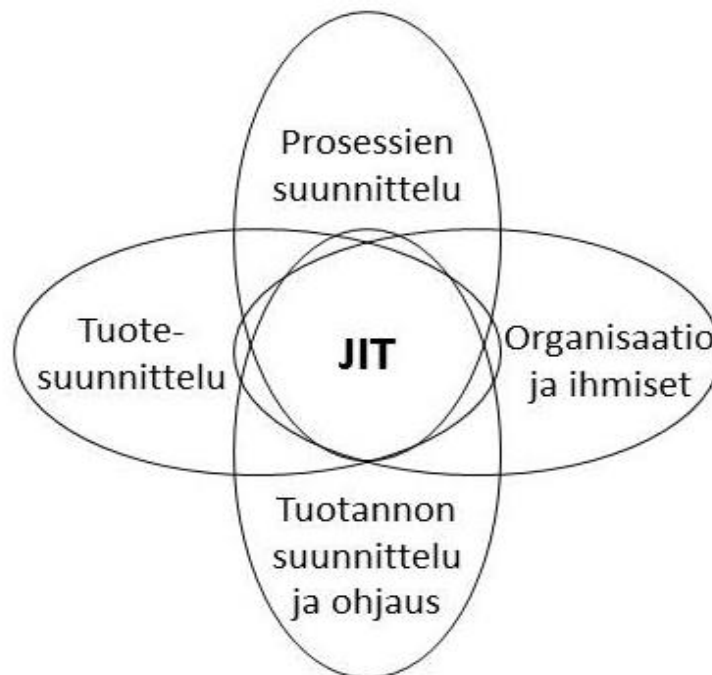
JIT-tuotantomallissa tähdätään selväpiirteiseen tuotantoon, jossa perustana on, että materiaalivirrat sekä tuotannonohjaus on järjestetty mahdollisimman tehokkaasti. Perinteisessä valmistavassa teollisuudessa tuotteiden ja valmistustehtävien toistuvuus on suuri. JIT-tuotannon kehittämisen lähtökohtana on asetusajojen lyhentäminen. Tuotevaihtoajat pyritään minimoimaan asetustekniikkaa ja menetelmiä kehittämällä. Lyhyet asetusajat mahdollistavat eräkoon pienentämisen, joka automaattisesti korreloi suoraan tuotannon läpimenoajan lyhentymisen kanssa. JIT-tuotanto edellyttää toiminnan korkeaa laatutasoa, joka puolestaan vaatii kaikkien työntekijöiden sitoutumista kehitystyöhön. JIT-tuotanto mahdollistaa tuotevarastojen pienentämisen, koska parantuneiden materiaalivirtojen vuoksi tuotetta voidaan valmistaa nopeasti

lisää. Toisin sanoen saatavuus ja toimitusajat varmistetaan varastojen kasvattamisen sijaan joustavalla JIT-tuotannolla. (Haverila et al. 2005, s. 428-429)



Kuva 11. JIT-tuotannon kehittämisen vaiheet (Mukaellen Haverila et al. 2005, s. 429)

Kuvassa 11. ja 12. huomataan, että laajasti ymmärrettynä JIT on käsitteenä lähempänä Lean-ajattelua, eli Leanistä ja JITistä puhutaan rinnakkain ja tarkkaa erottelua tai rajausta ei ole näiden kahden käsitteen välille ole tarpeellista tehdä.

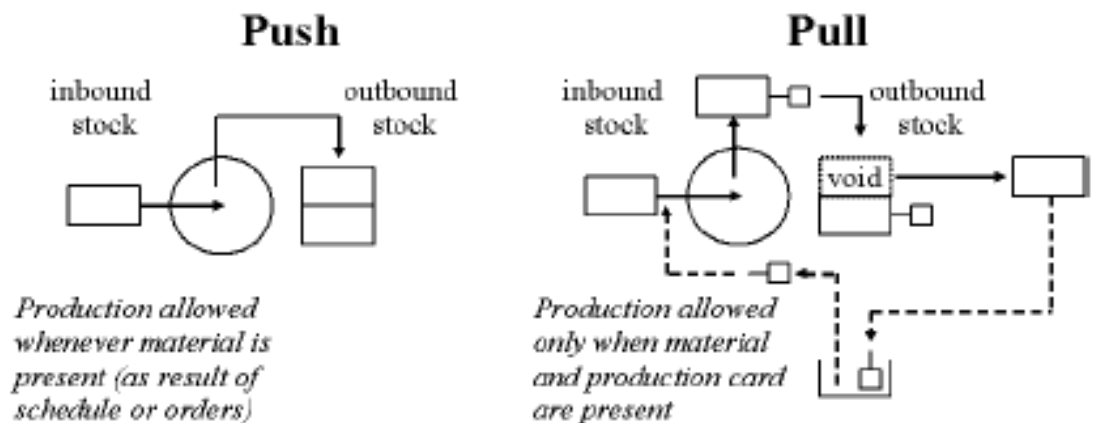


Kuva 12. JIT (Logistiikan Maailma, 2018)

JIT liittyy hyvin kokonaisvaltaisesti tuotannon prosessien suunnitteluun, tuotesuunnitteluun ja tuotannon ohjauksen merkeissä. JIT tuotannonohjauksessa tarkoittaa tavoitetta luoda tehokas ja taloudellinen tuotantosysteemi, joka määritellään neljällä vektorilla: laadulla, kustannuksilla työntekijöillä ja toimituksilla. (Pinto et al. 2018, s. 30-31) Lean-ajattelun ja tehokkaan tuotannon periaate on ohut ja tasainen materiaalivirta. Tuotanto on tehokas silloin, kun kysyntä ohjaa materiaalivirtaa.

3.2.2 Tuotannonohjaus JIT-tuotannossa

Edellisessä kappaleessa esitetään tuotannon tehokkuuden riippuvan pitkälti tuotannon ajoittamisesta kysynnän mukaan. Materiaalivirtoja voidaan ohjata, joko imu- tai työntöohjauksella. Imu- ja työntöohjauksen tärkein ero on siinä, mikä ohjaa käytännön materiaalivirtaa (Logistiikan maailma, 2018). Työntö- ja imuohjaus määritellään seuraavasti:



Kuva 13. Työntö ja imuohjaus (Hopp 2003, s. 80)

Työntöohjaus tarkoittaa tuotannon suunnittelijan tekemää valmistussuunnitelmaa. Suunnitelmalla ohjataan ja koordinoidaan eri valmistustehtäviä ja nimensä mukaisesti ”työnnetään” eriä tuotannon läpi. Hienosuunnittelu periaatteet kuvaavat työntöohjausta menetelmänä. Työntöohjaus on teollisuudessa eniten käytetty ohjausmenetelmä ja soveltuu kaikkiin tuotantomuotoihin. (Haverila et al. 2005, s. 422) Kuva 13. demonstroi työntöohjauksen periaatetta. Asiakkaan tarve ei suoraan ohjaa käytännön materiaalivirtaa, vaan perustuvat ennalta tehtyyn suunnitelmaan. Tyypillistä on, että keskeneräisille tuotteille ja varastoille ei ole asetettu ylärajaa. Tämä voi olla ongelmallista, jos prosessit eivät toimi optimaalisesti. Työntöohjaus on

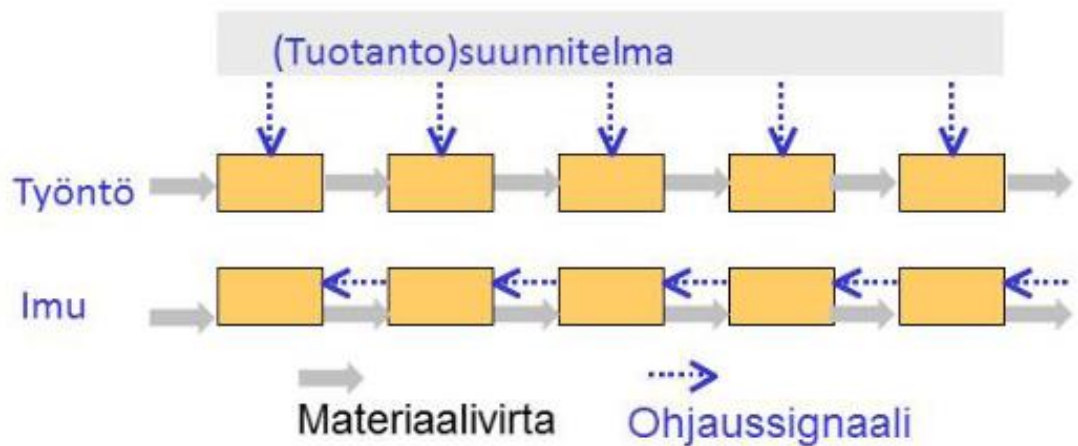
toimiva tapa ohjata tuotantoa, mutta se vaatii kuria ja systemaattisuutta. (Hopp 2003, s. 80, Logistiikan Maailma, 2018)

Imuohjaus on ajatus siitä, että varastot aiheuttavat kustannuksia ja prosessit piilottavat ongelmia. Ajatus on myös siinä, että tuotteita tulisi valmistaa vain todellisen tarpeen mukaisesti – tuotteita ”imetään” kokoonpanoon vain välittömän tarpeen verran. Täten imuohjaus edellyttää tuotannolta hyvin lyhyttä läpimenoaikaa ja virheetöntä laatua. (Haverila et al. 2005, s. 422) Imuohjaus soveltuu parhaiten sellaisten tuotteiden tuottamiseen, joissa kysyntä on kohtuullisen tasaista ja täydennykset nopeita. Haasteellisia tilanteita ovat, joissa täydennysaika on pitkä ja kysyntä vaihtelee voimakkaasti. (Logistiikan Maailma, 2018)

Imuohjaus voi olla käsitteenä vaikeasti ymmärrettävä, ja se usein sekoitetaan muiden termien kanssa. Imuohjausesimerkkejä:

1. Imuohjaus ei ole kanban. Kanban on kylläkin yksi imuohjauksen periaate, koska se mukautuu rajoittamaan keskeneräistä tuotantoa tuotannon tilan mukaisesti. Mutta myös muutkin systeemit pystyvät tähän, joten imuohjauksen määrittäminen yksiselitteisesti kanbaniin on liian rajoittava.
2. Imuohjaus ei tarkoita valmistusta tilauksesta (MTO). Kirjallisuudessa on yleistynyt käytäntö yhdistää imuohjaus tilausohjautuvaan tuotantoon, sillä ajatellaan että imuohjaus ei voi olla myös ennusteohjautuvaa tuotantoa. Viitekehiksestä katsottuna imuohjaus ”imee” tilaukseen systeemin ja toimii impulssina tuotannolle. Vaikka tilausohjautuva tuotanto on preferoitu ohjausmuoto ennusteohjautuvaan tuotantoon, niin tämän ajatuksen osalta mennään usein metsään.
3. Imuohjaus ei tarkoita varastoon valmistamista (MTS). Monet imuohjaus systeemit on suunniteltu täyttämään puutteita varastoissa, tämä ei kuitenkaan ole sama asia kuin varasto-ohjautuva tuotanto. Varasto-ohjautuvassa tuotannossa varastoja täydennetään myöskin ilman asiakaskysyntää. Kuitenkaan ei ole mitään estävää syytä, miksi esimerkiksi kanban ei voisi syöttää ohjaussignaalia tuotantoon tilauksille, jotka ovat jo menossa asiakkaille. Tämän vuoksi imuohjausjärjestelmä voi olla tilaus- tai varasto-

ohjautuva. Kumpikaan näistä termeistä ei määrittele kuitenkaan imuohjausta yksiselitteisesti. (Hopp 2003, s. 81)



Kuva 14. Imu- ja työntöohjauksen ohjaussignaalit (Logistiikan Maailma, 2018)

Usein käytännössä imu- ja työntöohjausta esiintyy harvoin läpi koko tuotannon tai toimitusketjun puhtaana periaatteena. Tosielämässä näitä yhdistellään, jotta voidaan saavuttaa paras mahdollinen ratkaisu kokonaisuuden kannalta tavoitettaessa tarkoituksenmukaista ohjausta materiaalivirrälle. Toisaalta pitkän toimitusajan komponentteja on lähes pakko tilata ennusteisiin pohjautuen, tämä kuitenkin edellyttää hyvää näkemystä ja datan keruuta asiakkaiden tarpeista, jolloin voidaan ennustaa tulevaisuuden kysyntää. (Logistiikan Maailma, 2018)

3.3 Asetusajan optimointi

3.3.1 SMED-konseptin historia

The Single Minute Exchange of Die (SMED) on japanilainen prosessipohjainen metodiikka. SMEDin avulla yritysten mahdollista pienentää toimitusaikoja ja vähentää hukkia tuotevaihdon aikana. SMED kehitettiin vuonna 1950-luvulla Shigeo Shingon toimesta. Shingo tutki Mazdan korinmuotoilumuotteja ja huomasi niiden toiminnassa epäkohtia – ne eivät toimineet niiden lasketun kapasiteetin mukaisesti. (Alcaraz 2014, s. 483, Shingo 1985, s. 21)

Shingon mielestä oli järjetöntä, että tuotannon seisokki venyi jonkin mitättömän asian takia. Siksi hän alkoi kehittämään aikaan pohjautuvaa mittausmenetelmää, jossa

jokaisen vaiheen ottama aika mitattiin ja analysoitiin. Näin saatiin selkeä ajatus siitä, mitä toimenpiteitä tulisi tehdä, jotta tuotannon kapasiteetti ja läpimeno pystyttäisiin maksimoimaan.

Hän muodosti teoriansa kahteen alakategoriaan:

- Internal setup (IED), Kuten työkalun asettaminen tai poistaminen, jotka voidaan toteuttaa koneen ollessa poissa päältä
- External setup (OED), Kuten työkalun siirtäminen varastoon tai uuden työkalun kuljettaminen/valmistelu koneen ollessa päällä

Shingo loi analyysin mittauksistaan, jossa näkyy jokaisen tuotantovaiheen ottama aika sekä sen prosentuaalinen osuus koko prosessista. Kuvassa 15. näemme Shingon suorittaman analyysin Mazdan muottiprosessin vaiheista ajallisesti. Tämä oli ensimmäinen askel SMED-metodiikan syntymiselle.

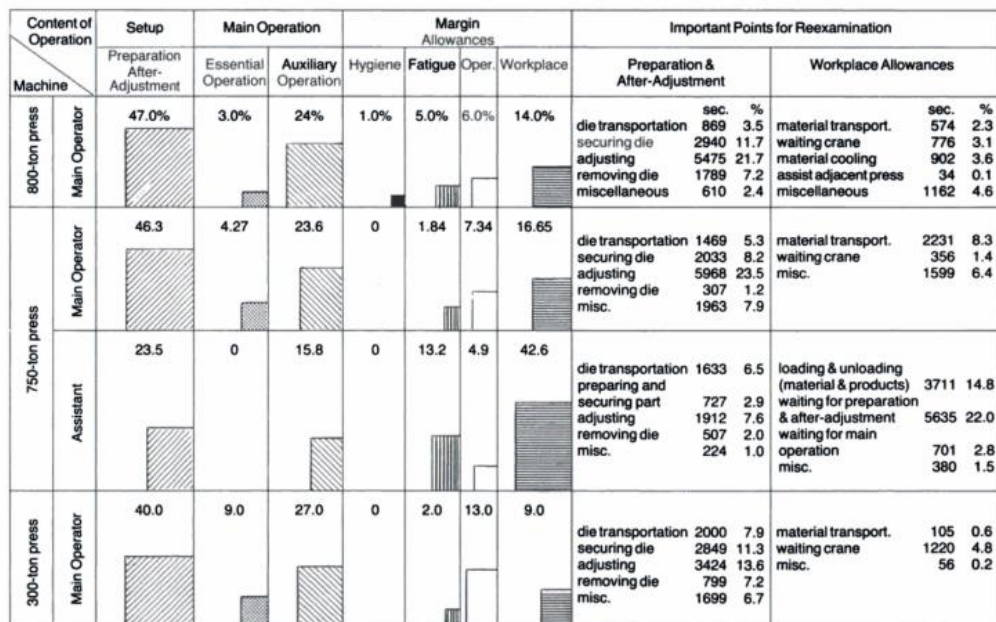


FIGURE 3-1. Production Analysis of a Large Press

Kuva 15. Mazdan tuotantoanalyysi. (Shingo 1985, s. 23)

Shingo painotti OED-vaiheessa esivalmistelun tärkeyttä. Jos jokin ruuvi puuttui, työntekijät sinkoilivat ympäri tehdasta etsien puuttuvaa osaa. Shingon menetelmässä

kaikki tarvittavat osat oli etsitty valmiiksi oikeaan paikkaan, jotta turhasta osien haravoinnista ei syntyisi merkittävää ajallista hukkaa.

3.3.2 Asetusprosessi

Asetusprosessi on tyypillisesti ajateltu hyvin vaihtelevaksi riippuen toiminnosta ja minkälaisesta laitteesta on kyse. Toiminnot sisältävät useita vaiheita. Perinteisessä asetusoperaatiossa aika jakautuu kutakuinkin taulukon x. mukaisesti.

Taulukko 2. Asetusprosessin vaiheet ajallisina osuuksina (mukaellen Shingo 1985, s. 27)

Toiminto	Ajan osuus
Valmistelu, jälkiprosessi toimenpiteet ja materiaalien tarkistaminen	30 %
Asentaminen ja irrottaminen	5 %
Mittaukset, asetukset ja kalibrointi	15 %
Koeajot ja säädöt	50 %

Taulukon 2. vaiheet avattuna:

Valmistelu, jälkiprosessi toimenpiteet, Materiaalien tarkistaminen, työkalut, jne.

Tämä vaihe on merkittävä prosessin etenemisen kannalta. On tärkeää, että tarvittavat osat ja työkalut ovat niille tarkoitetuissa paikoissa sekä helposti löydettävissä. Työkalujen on oltava käyttökelpoisessa kunnossa. Myöskin asennusprosessin aikana irrotetut osat on viety varastoon niille kuuluville paikoille, putsattuna ja huollettuina.

Asentaminen ja irrottaminen Tähän kuuluu osien ja työkalujen irrottaminen käsittelyn päättymisen jälkeen sekä osien ja työkalujen kiinnittäminen seuraavaa vaihtoa varten.

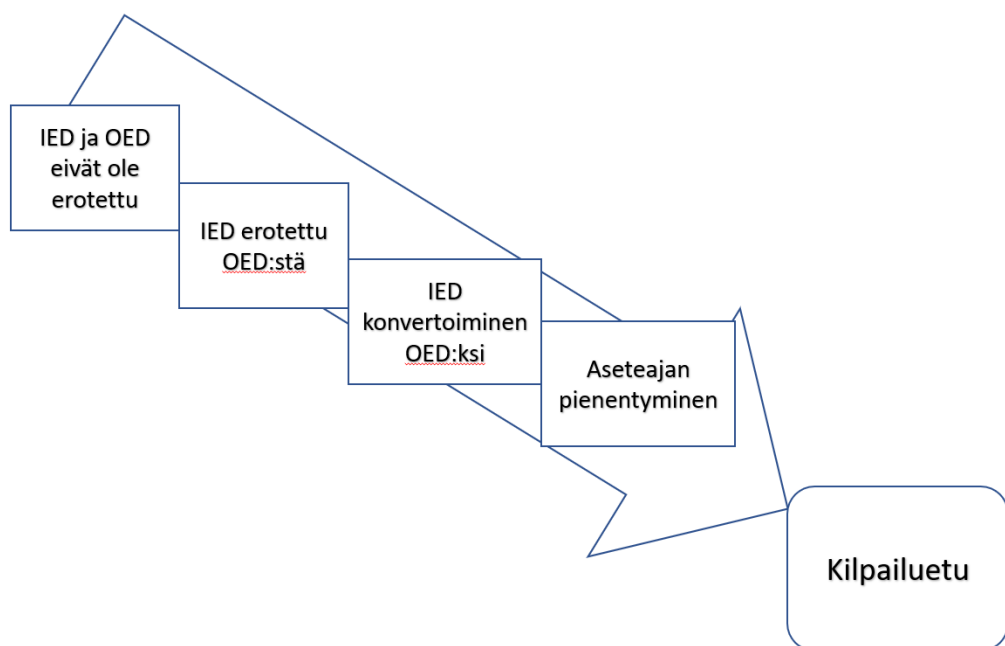
Mittaukset, asetukset ja kalibraatio Tämä vaihe viittaa kaikkiin mittauksiin ja kalibrointeihin. Keskittäminen, mitoitus sekä lämpötilan ja paineen tarkastaminen on tärkeää ennen tuotantotoimintojen suorittamista.

Koeajot ja säädöt Mitä tarkemmin edellisen vaiheen mittaukset, asetukset ja kalibraatio on tehty, sitä helpompi on suorittaa säätö laitteistolle. Toistuvuus ja koeajojen pituus säätötoimenpiteissä riippuu koeajajan taidoista ja kokemuksesta. Suurin vaikeus säätötoimenpiteissä on säätöjen oikein asettaminen. Iso osa ajasta kuluu koeajojen parissa oikeita säätöjä etsittäessä. Jos halutaan tehdä koeajoista

helpompaa ja säädoistä helpompaa – on tärkeää, että edellisen vaiheen laitteiston mittaukset, asetukset ja kalibraatio on tehty huolellisesti. (Shingo 1985, s. 25-27)

3.3.3 Kehitysvaiheet

SMED-menetelmän käyttö aloitetaan usein päättämällä mitä vaihtoprosessissa halutaan parantaa. On tärkeää arvioida, että halutaanko kehittää tuotevaihtoja, joita on määrällisesti eniten vai tuotevaihtoja joita on vähän, mutta haukkaavat leijonan osan tuotantoajasta. (Arrow, 2013)



Kuva 16. SMED-metodiikan hyödyntämisen edut (Pinto et al. 2018, s. 77)

Kuvassa 16. parannusprosessi kulkee läpi neljä vaihetta, joita ovat:

Vaihe A: Jos yritys ei määrittele sisäistä sekä ulkoista asetusajaa, johtaa se tuotannon tyhjäkäyntiin pitkäksi ajaksi. Pää tavoite SMEDin implementoinnissa on tutkia kaikki mahdolliset asetuksen vaiheet tuotantoanalyysin ja työntekijöiden haastattelun kautta.

Vaihe B: On eroteltava asetusprosessin vaiheet sisäisesti ja ulkoisesti suoritettaviksi tekijöiksi. Tämän vaiheen hallitseminen on avain SMEDin menestyksekkäästi implementoimiseen.

Vaihe C: Tässä vaiheessa eniten aikaa ottavat sisäiset asetusprosessin vaiheet konvertoidaan ulkoisiksi. Myöskin tässä on tärkeää vielä tarkastella uudestaan, jos jonkin vaiheen oletetaan virheellisesti olevan sisäinen ja täten tarpeen mukaan voidaan järjestellä vaiheita uudestaan.

Vaihe D: Viimeisessä vaiheessa virtaviivaistetaan asetusprosessi sekä etsitään vielä systemaattisia parannuskeinoja jokaisesta ulkoisesta ja sisäisestä vaiheesta. Tarkoituksena on löytää keinoja, miten toteuttaa kukin vaihe vielä helpommin, nopeammin ja turvallisemmin. (Chiarini 2018, s. 106, Pinto et al. 2018, s. 79, Alcaraz et al. 2014, s. 491)

3.3.4 Vaikutukset tuotantoon

SMED on yksi Leanin pohjapilari sekä on myös JIT-tuotannon edellytys. Perinteisesti minimoitiin asetuskustannuksia tuottamalla suuria eriä kerralla saavutettaessa parasta mahdollista tuotanto/tyhjäkäynti suhdetta. Jos tuotevaihtoja pystytään tekemään lyhyemmässä ajassa, niin ideaalinen tuotantomäärä voi olla pienempi, jolloin myös tuotantoon kohdistuvat kustannukset ovat pienempiä. Valmistuksen yksikkökustannukset ovat lähes suoraan verrannolliset tuotevaihdon ottamaan aikaan, täten on tärkeää, että yrityksellä tulee olla selkeä strategia asetusaikojen minimoimiseen, muutoin voidaan kohdata seuraavia ongelmia:

- Tarve nostaa tuotannon valmistuseräkokoja, minkä vaikutukset ovat negatiiviset kokonaisuuden hallinnan kannalta;
- Pidemmät läpimenoajat, jotka voivat toimia epäsuotuisesti kykyyn vastata kilpailuun;
- Isommat varastokustannukset ja sitoo enemmän työvoimaa, trukkeja, lavoja yms, mikä heikentää kilpailukykyä;
- Suurempia laatuongelmia, sillä ilman asetusprosessien kehitystä joudutaan turvautumaan perinteisiin massatuotanto tekniikoihin;
- Pääoman menettäminen varastojen arvonlaskuna, mikä heikentää kilpailukykyä;
- Työvoimaa joudutaan sitomaan sisäisiin kuljetuksiin sekä varastoon, mikä heikentää kilpailukykyä;

- Kasvaneet tuotepalautukset, joka johtuu kasvaneista (mahdollisista) laaturvirheistä (Alcaraz 2014, s. 489)

Shingon mukaan SMEDin hyödyntäminen tuotannon kehittämisessä tuottaa useita suoria sekä epäsuoria hyötyjä. Suurimpina on varastojen vähentäminen, kapasiteetin kasvu sekä muut välilliset hyödyt, kuten joustavuus ja järjeistäminen. Välittömänä etuna näkyy puolestaan aseteajan lyhentäminen tuotevaihdossa, Hienosäätämisen käytetyn ajan lyhentäminen, virheiden väheneminen vaihdon aikana sekä laadun kohentuminen.

SMEDin implementoiminen tuotantoon listaa monia merkittäviä vaikutuksia. Suurin vaikutus on selkeästi potentiaalisen tuotantoajan säästäminen tai toisin sanoen sen lisääminen. (Shingo 1985, s. 26-28)

No.	Company	Capacity (in tons)	Before Improvement	After Improvement	1/n
Presses (single-shot dies)					
1	K Auto	500t-3 machines	1 hr 30 min	4 min 51 sec	1/19
2	S Auto	300t-3 machines	1 hr 40 min	7 min 36 sec	1/13
3	D Auto	150t	1 hr 30 min	8 min 24 sec	1/11
4	M Electric	*	2 hr 10 min	7 min 25 sec	1/18
5	S Electric	*	1 hr 20 min	5 min 45 sec	1/14
6	M Industries	*	1 hr 30 min	6 min 36 sec	1/14
7	A Auto Body	*	1 hr 40 min	7 min 46 sec	1/13
8	K Industries	100t	1 hr 30 min	3 min 20 sec	1/27
9	S Metals	*	40 min	2 min 26 sec	1/16
10	A Steel	*	30 min	2 min 41 sec	1/11
11	K Press	*	40 min	2 min 48 sec	1/14
12	M Metals	*	1 hr 30 min	5 min 30 sec	1/16
13	K Metals	*	1 hr 10 min	4 min 33 sec	1/15
14	T Manufacturing (dies for springs)	80t	4 hr 0 min	4 min 18 sec	1/56
15	M Ironworks	*	50 min	3 min 16 sec	1/15
16	H Engineering	50t	40 min	2 min 40 sec	1/15
17	M Electric	*	40 min	1 min 30 sec	1/27
18	M Electric	*	50 min	2 min 45 sec	1/18
19	H Press	30t	50 min	48 sec	1/63
20	K Metals	*	40 min	2 min 40 sec	1/15
21	Y Industries	*	30 min	2 min 27 sec	1/12
22	I Metals (multiple dies)	*	50 min	2 min 48 sec	1/18
23	S Industries (progressive dies)	150t	1 hr 40 min	4 min 36 sec	1/22
24	K Metals	100t	1 hr 50 min	6 min 36 sec	1/17
25	M Electric	100t	1 hr 30 min	6 min 28 sec	1/14
				Average	1/18

Kuva 17. Asetusaikojen parantuminen SMED-metodiikan hyödyntämisen myötä (Shingo 1985, s. 114)

Ajansäästön lisäksi vaihtoaikojen pienentyminen merkitsee useita muita tuotantoon liittyviä vaikutuksia, joita ovat muun muassa:

Varastoton tuotanto Nopeat aseteajat vaikuttavat siihen, että tuotanto pystyy tuottamaan tehokkaasti pieniä eräkokoja useista nimekkeistä ja täten vastaamaan kysyntään ilman nimekkeiden puskurointia. Työkalun vaihtoon, johon kului ennen kaksi tuntia, kuluukin enää kahdesta kuuteen minuuttia (Kuva 17.). Tämä mahdollistaa pienien varastotasojen ylläpitämisen, joka puolestaan nopeuttaa yrityksen pääoman kiertonopeutta.

Kasvaneet tuotantokoneiden käyntiajat ja kapasiteetti Vaihtoaikojen merkittävästi pienentyessä tuotantokoneiden käyntiajat sekä tuottavuus kasvavat, vaikka nimikevaihtojen lukumäärä kasvaisi

Asetevirheiden pienentyminen Työkalujen asennusvirheiden lukumäärä pienenee.

Parantunut laatu Laatu paranee, koska toimintaolosuhteet on etukäteen säännelty (Shingo 1985, s.116).

4 KOHDEYRITYS, VALMISTUSPROSESSI JA NYKYTILA

Tässä luvussa tutustutaan kohdeyritykseen ja yrityksen muovituotteiden valmistusprosessiin. Luvussa käsitellään kohdeyrityksen nykytilaa ja analysoidaan nykyisessä toiminnassa esiintyviä ongelmia.

4.1 Kohdeyritys

4.1.1 Yritysesittely

Kohdeyritys on kansainvälinen yhtiö, joka tarjoaa tuotteita ja ratkaisuja vedenjakeluun, energiatehokkaaseen lämmitykseen ja viilennykseen sekä luotettavaan yhdyskuntatekniikkaan. Yhtiö työllistää 4 100 työntekijää 30 eri maassa. Tuotantolaitoksia on yhteensä 18 kappaletta sijoittuneena eri puolille maailmaa. Kohdeyrityksen liiketoiminta on jaettu kolmeen segmenttiin: Talotekniikka – Eurooppa, Talotekniikka – Pohjois-Amerikka sekä Infra. Nämä segmentit palvelevat asunto-, teollisuus, liike- ja julkisrakentamista sekä ympäristörakentamisen markkinoita. Liikevaihto oli 1,2 miljardia euroa vuonna 2018.

Tämä diplomityö teetetään tuotantolaitokselle, joka toimii segmentissä Infra. Infra tarjoaa yhdyskuntateknisiä ratkaisuja, kuten maanalaisia ratkaisuja veden, kaasun, ilman tietoliikenteen ja tietojen käsittelyyn. Infran päätoimipisteet ja tuotantolaitokset sijaitsevat Tsekissä, Tanskassa, Suomessa, Virossa, Latviassa, Norjassa, Puolassa ja Ruotsissa. Segmentin liikevaihto kattaa noin 28 % koko yrityksen liikevaihdosta. Yhtiön strategia painottaa vahvan aseman puolustusta jakelumarkkinoilla ja asuinrakentamisen alla. Toisena strategisena kehityssuuntana on laajentaminen. Yhtiö haluaa laajentaa toimintaa liikerakentamisen markkinoilla tavoitellen räätälöityjen ratkaisujen myyntiä ja markkinaosuutta. Kestävä kehitys on yksi strateginen suuntaus. Yhtiön pitkän aikajänteen tavoitteena on rakentaa mahdollisuuksia tulevaisuuden kasvulle, kuten juomaveden hygieniaan liittyviä teknologioita sekä uusia tuotantotekniikoita. (Uponor, 2019)

4.1.2 Valmistusprosessi

Valmiin lopputuotteen valmistamiseksi raaka-aine käy seitsemän vaihekokonaisuutta, jotka tässä luvussa käydään lävitse vaihe vaiheelta. Lämpimenoajan ja asetusprosessin merkityksen kannalta on hyvä ymmärtää valmistusprosessi kokonaisuudessaan. Valmistusprosessi kuvataan PVC-muovimateriaalia valmistavasta linjasta. PVC eli polyvinyylidikloridi on halogenoitua muovia, johon on lisätty klooria. PVC on teollisuudessa hyvin yleisesti käytetty valmistusraaka-aine.

Valmistusprosessi käynnistyy luonnollisesti linjan alkupäästä raaka-aineen syöttöpisteeltä (Kuva 14.). PVC-sekoitetta siirretään keskitetyistä silloista paineilmaa hyödyntäen linjan omiin pienempiin linjakohtaisiin prosessisiloihin, joista sekoite syötetään gravimetrille. Gravimetrin toiminta perustuu gravimetriaan, joka analysoi aineen koostumusta ja pitoisuutta. Gravimetrilla voidaan säännöstellä ja seurata raaka-aineen kulutusta reaaliaikaisesti. Gravimetrilta raaka-aine jatkaa matkaansa syöttölaitteelle, joka annostelee raaka-aineen ekstruuderin ruuville. Ekstruuderin ruuvissa seinämien kitka tuottaa lämpöä, joka muokkaa raaka-aineen kemiallista koostumusta ja täten jauhosekoite muuttua olomuotoaan kiinteämpään muotoon.



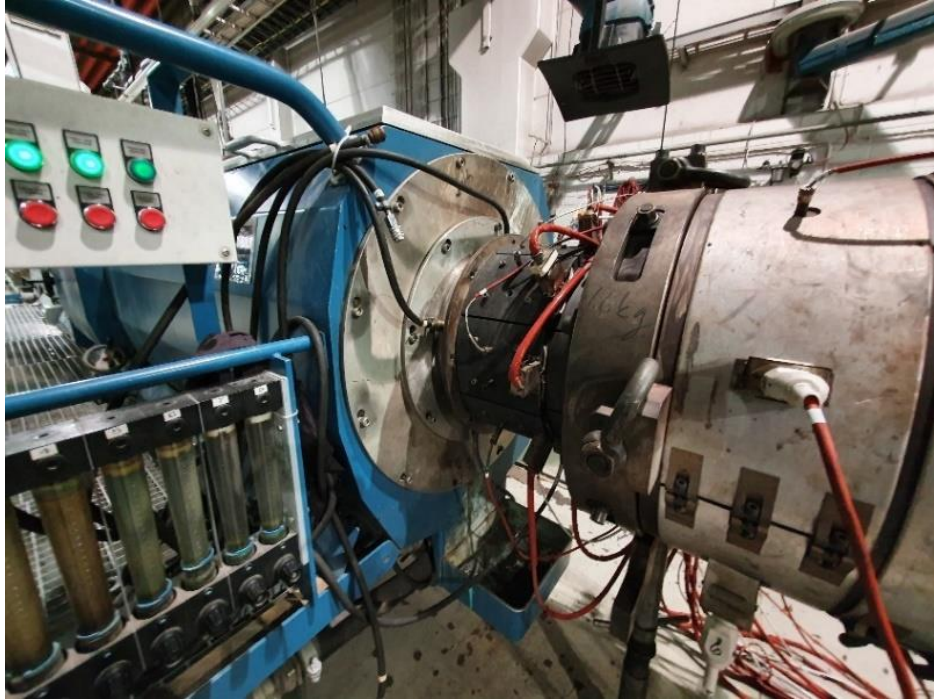
Kuva 18. Raaka-aineen syöttöpiste

Linjan käynnistys- ja pysäytysvaiheessa syöttölaitteeseen kaadetaan normaalista tuotantoraaka-aineesta poikkeavaa liukkaampaa sekoitetta, jonka avulla putkityökalun purkaminen ja konfiguraatio toimenpiteiden jälkeinen käynnistäminen on nopeampaa ja käytännöllisempää. Lisäksi valmistettavasta tuotteesta riippuen PVC-sekoitteeseen voidaan lisätä väriaineita, joiden avulla voidaan vaikuttaa lopputuotteen ulkonäköominaisuuksiin.



Kuva 19. Putkityökalu

Ekstruuderin kuvassa 15. näkyvän näyttöpäätteen takana syöttää kiinteämmän raaka-aineen putkityökalun kaula-aukole, josta raaka aine siirtyy työkalun sisälle. Putkityökalussa raaka-aine muovautuu asetettujen sisuskalujen mukaisesti. Putkityökalun toinen funktio on jatkaa raaka-aineen lämmitystä. Raaka-aine notkistuu ja täten saavuttaa oikean kemiallisen koostumuksen ennen ekstruusiota.



Kuva 20. ekstruusio

Ekstruusiossa sulaa muovi työnnetään putkityökalan suulakkeen läpi, jossa putki saa lopullisen muotonsa.



Kuva 21. Alipainesäiliö

Suulakkeesta pursotetaan muovimateriaali kalibrointitulville (Kuva x ja x). Kalibrointitulkin tehtävä on imeä muotoutuneen muoviputken seinämät tulkin seinämiin kiinni alipainetta hyödyntäen. Näin vielä löysänä oleva raaka-aine säilyttää muotonsa. Alipainesäiliössä on kiertovesipumput, jotka kierrättävät vettä putken ympärillä jäähdyttäen putken pintalämpötilaa. Alipainesäiliön molemmin puolisten tiivisteiden on tärkeää vastata tuotettavan nimikkeen dimensiota, sillä vuodot aiheuttavat putken laatuvirheitä.

Jäähdytys on kaksivaiheinen. Putken kulkiessa alipainesäiliön läpi se suuntaa suoraan jäähdyttimelle, jonka ainoa funktio on jäähdyttää koko putken lämpötila siihen pisteeseen, että se saavuttaa riittävän lujuuden seuraavia valmistusprosessin vaiheita varten. Jäähdyttimessä kiertää alipainesäiliön tapaisesti myös kiertovesi.



Kuva 22. Jäähdytin

Linja on noin 40 metriä pitkä ja tällä matkalla putken massa on useita satoja kiloja, joten löysä raaka-aine massa ei pystyisi työntämään putkea linjalla eteenpäin. Vetimen (kuva x.) tehtävä on synkronoitua tuotantonopeuden kanssa ja ehkäistä ekstruusiossa raaka-aineen pursottamisen katkeamista.



Kuva 23. Putkivedin



Kuva 24. Leikkuri

Vetimeltä putki jatkaa matkaansa leikkurille. Leikkurin tehtävä on mitata ja leikata putki tietyn mittaisiksi pätkiksi asetettujen parametrien mukaisesti.



Kuva 25. Muhvain

Putkien saapuminen muhvaimelle on valmistusprosessin viimeinen vaihe, jossa putkille luodaan putkien kiinnitystä toisiinsa edellyttävä muhvi. Putken päät lämmitetään ensiksi kahdessa vaiheessa ja sen jälkeen hydraulisesti puristetaan putken päähän muhvi. Tämän jälkeen putki siirtyy robotille, joka nostaa valmiit lopputuotteet lavoille varastoitaviksi.

4.1.3 Aseteprosessi

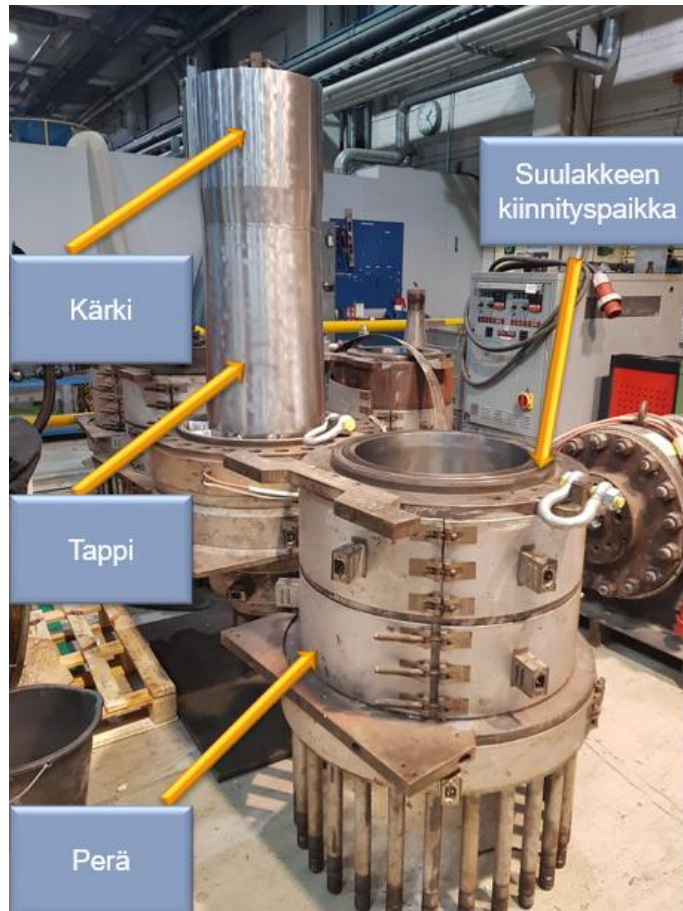
Aseteprosessi on monivaiheinen. Asetuksia on kahdentyyppisiä: koko putkityökalun vaihtoja tai pelkkiä suulakkeen vaihtoja. Suulakkeen vaihto edellyttää usein myös tapin ja kärjen vaihtoa, mutta tämä tehdään usein vain lyhyellä toimintakatkoksella. Tässä työssä tarkastellaan putkityökalun aseteprosessia, joka etenee pääsääntöisesti seuraavasti:

1. Työ aloitetaan kaulan irrottamisella. Ensiksi sähköjohdot irrotetaan putkityökalusta lämmityksen sammuttamiseksi ja sitten löysätään kaulan pultit. Tällöin saadaan putkityökalu irti ekstruuderista. Putkityökalu on tässä vaiheessa kiinnitettynä nosturiin.
2. Putkityökalun ollessa irti linjasta – voidaan aloittaa ekstruuderin suuaukon ja laipan puhdistus sekä päästään käsiksi kaulakappaleeseen ja suoritetaan puhdistus kaulakappaleelle.



Kuva 26. Putkityökalu kokonaisuudessaan

3. Seuraavana vuorossa on putkityökalun purkaminen. Putkityökalu siirretään purkualueelle, aloitetaan purku ja muovimassojen irroitus komponenttien päältä ja välistä.
4. Työkalu puhdistetaan huolellisesti. Alaosan, johon kärki ja tappi kiinnitetään putsataan kevyesti ennen suunnitteluun siirtoa.



Kuva 27. Putkityökalun komponentteja

5. Suunnitteluvaiheessa kerätään tuotantosuunnitelman mukaiset vaihto-osat putkityökalun kokoonpanoalueelle.
6. Työkalun kokoonpano vaiheessa irrotetaan vanhat komponentit, jos tuotantosuunnitelma vaatii eri dimension komponentteja tilalle. Jos vaaditaan uusia komponentteja, niin tässä tapauksessa vanhat komponentit puhdistetaan, öljytään ja siirretään varastoitaviksi.
7. Putkityökalu konfiguroidaan tuotantosuunnitelman mukaiseksi ja jätetään odottamaan siirtoa.
8. Tässä vaiheessa siirrytään linjalle vaihtamaan kalibrointitulkki vastaamaan putkityökalun suulaketta. Kalibrointitulkki asennetaan jäähdytysaltaan seinämään.
9. Uusilla komponenteilla asetettu putkityökalu asetetaan paikalleen ekstruderin kaulakappaleeseen ja kaulakappaleen pultit kiristetään siten että työkalu on kohdistunut kalibrointitulkkiin.

10. Kalibrointitulkki ajetaan lähelle putkityökalun suulaketta ja tarkistetaan, että suulake ja kalibrointitulkki on keskitetty.
11. Tehdään vaaditut kytkennät, eli johdotetaan putkityökalu (virtakaapeleiden ja tunnustelijoiden asennus putkityökalun lämmitykseen saattamiseksi). Lämmityksen päällä ollessa voidaan siirtyä linjalla eteenpäin tekemään muita toimenpiteitä käynnistyksen edesauttamiseksi.

4.2 Nykytilan analysointi

4.2.1 Nykytila

Tutkimustyön pääongelma on tutkia, miten asetusaikaa lyhennetään, joten olennaista on analysoida asetusaikaan liittyviä ongelmia tässä alaluvussa. Osakokonaisuutena otetaan tarkasteluun myös ohjauksen ja suunnittelun kytkeytyminen asetusaikaongelmiin.



Kuva 28. PVC-Linjan putkityökalu

Eri nimikkeet tuotevaihdossa edellyttävät joko suulakkeen vaihdon tai suurissa dimensiomuutoksissa koko putkityökalun vaihdon. Tuotevaihdossa ajajärjestyksessä

seuraavana olevan nimikkeen halkaisija ja seinämäpaksuus määrittelee työkalukonfiguraation sekä vaihtoprosessin luonteen. Koko työkalun vaihto tarkoittaa ajallisesti pidempää prosessia, kun puolestaan työkalun pelkän suulakkeen vaihto on huomattavasti yksinkertaisempi ja nopeampi prosessina. Suuret dimensiomuutokset tarkoittavat, että linja täytyy pysäyttää, putkityökalu irrottaa ja purkaa sekä konfiguroida putkityökalu tuotantosuunnitelman mukaiseksi linjan ulkopuolella. Asetusprosessin työjärjestely hoidetaan nykytilassa mahdollisuuksien rajoissa.

Linjan muuntotoimenpiteiden työvaiheiden standardointi ei ole täysin systemaattista tällä hetkellä. Työt järjestellään ja tehdään miten aikaa riittää linjalla työskentelyyn muiden työtehtävien ohella. Tämän vuoksi työt saattavat satunnaisesti pysähtyä muiden työtehtävien vuoksi. Työntekijöiden kiire voi konkretisoitua vaihtoprosessissa siten, että törmätään tilanteisiin, jossa putkityökalun komponentit ovat jääneet esimerkiksi huolimattomasti puhdistamatta purkamisen jälkeen syystä tai toisesta. Täsmällinen puhdistaminen on tärkeää vaihtoprosessin etenemisen kannalta. Huonosti puhdistettu komponentti aiheuttaa laatuvirheitä, jotka voidaan huomata vasta laadunvalvonnassa. Tämä merkitsee hävikin lisäksi menetettyä tuotantoaikaa tai koko asetusprosessin uusimista. Mittaustuloksien perusteella puhdistaminen voi viedä jopa 30 % vaihtoprosessin viemästä ajasta. Jos työkalu täytyy purkaa linjalta tämän syyn takia, voi ajallinen tappio olla jopa yli 200 % normaalista vaihto-operaatiosta.

	Running	Start up	Error	Tool change	Tool change
Lines					
PVC01	117	38	49	39	41

Kuva 29. Tutkittavan linjan statistiikka (Yksiköt päivissä)

Asetusaikojen ongelmasta kertoo kuva 29. Asetteet vievät potentiaalista tuotantoaikaa noin 80 päivää vuodesta. Tämä ei yksinään johdu asetusprosessin kankeudesta, vaan myös siitä, että linjalla työskentely saattaa keskeytyä useaksi päiväksi. Tämän tutkimuksen tavoitteena on lyhentää ainakin noin 60 – 70 % prosenttia asetuksien

viemää aikaa. Tämä tarkoittaisi, että vaihtoihin kuluva aika tippuisi 80 päivästä 24 – 32 päivään. Tosin vaikutus voi olla vielä suurempi, jos optimoidaan koko linjan muuntoprosessi asetusprosessin lisäksi niin nopeaksi, että työtä seisauttavia tilanteita ei pääsisi syntymään.

Ongelmat tuotevaihdossa on otettu huomioon karkea- ja hienosuunnittelussa. Tuotantosunnitelma pyritään laatimaan niin, että nimikkeitä ajetaan porras kerrallaan dimensiossa alaspäin putkityökalun rungon teknisten rajoitusten sisällä. Tällöin voidaan toteuttaa useampi vaihto pelkällä suulakkeen muutoksella. Tämä ei ole kuitenkaan varastojenhallinnan kannalta optimaalista. Ajojärjestyksen osaoptimointi johtaa puoliautomaattisesti tarpeettomaan puskurointiin, sillä ei voida tuottaa välttämättä aina todelliseen tarpeeseen minimoidessa asetuskustannuksia. Haasteet asetuksissa aiheuttavat myös sen, että asetuksissa syntyvien ongelmien kompensoimiseksi joudutaan osaoptimoimaan tuotantoa kasvattamalla eräkokoja. Eräkokoja on jouduttu kasvattamaan ideaalitalanteesta, jotta vaihdossa menetettyä tuotantoaikaa voidaan minimoida. Eräkokojen kasvu johtuu käytännössä siitä, että suunnittelussa ei voida luottaa tuotantoon. Asetuskustannuksia pyritään vähentämään ja toimitusvarmuus säilyttämään tuottamalla suuria erä kerralla. Rajallinen tuotantoaika tarkoittaa, että jotain valmistuserää kasvattamalla joudutaan usein toista valmistuserää pienentämään, joka puolestaan voi aiheuttaa turhan pieniä valmistuseriä satunnaisesti.

Linjoja oli aikaisemmin vain 10 kappaletta, nykyään 14 kappaletta. Kapasiteetti on kuitenkin säilynyt samana, vaikka linjojen määrää on kasvatettu. Keskimäärin ajetaan 8-10 linjaa samanaikaisesti. Tämä tarkoittaa, että tuotannon toiminta-aste on tippunut, vaikka käytettävissä olevaa tuotantopotentiaalia olisi enemmän. Ajoittain törmätään toimitusvaikeuksiin yllättävissä kysyntäpiikeissä asetuksista johtuvien ongelmien vuoksi. Tuotantoa pyritään ohjaamaan kysynnän mukaan imuohjautuvasti, mutta tällä hetkellä asetusongelmien takia kuitenkin joudutaan enimmäkseen työntöohjaamaan. Ohjaus perustuu toiminnanohjausjärjestelmistä saataviin ennusteisiin.

Taulukko 3. Tuotannossa suoritettavat vaihdot vuositasolla

	Vaihdot	Linjan ajoaika (h)	Ajoaika/vaihto (h)
Linja 04	7	323	46
Linja 09	11	1402	127
Linja 10	14	1374	98
Linja 03	32	2420	76
Linja 08	36	1664	46
Linja 11	5	329	66
Linja 21	26	1204	46
Linja 01	28	2088	75
Linja 02	16	861	54
Linja 05	11	92	8
Linja 06/07	30	2553	85
Linja 12	20	1598	80
Linja 13	3	298	99

Taulukosta 3. näemme toimintavuoden aikana tehtyjen vaihtojen määrän ja kuinka monta tuntia keskimääräinen erän pituus on ollut.

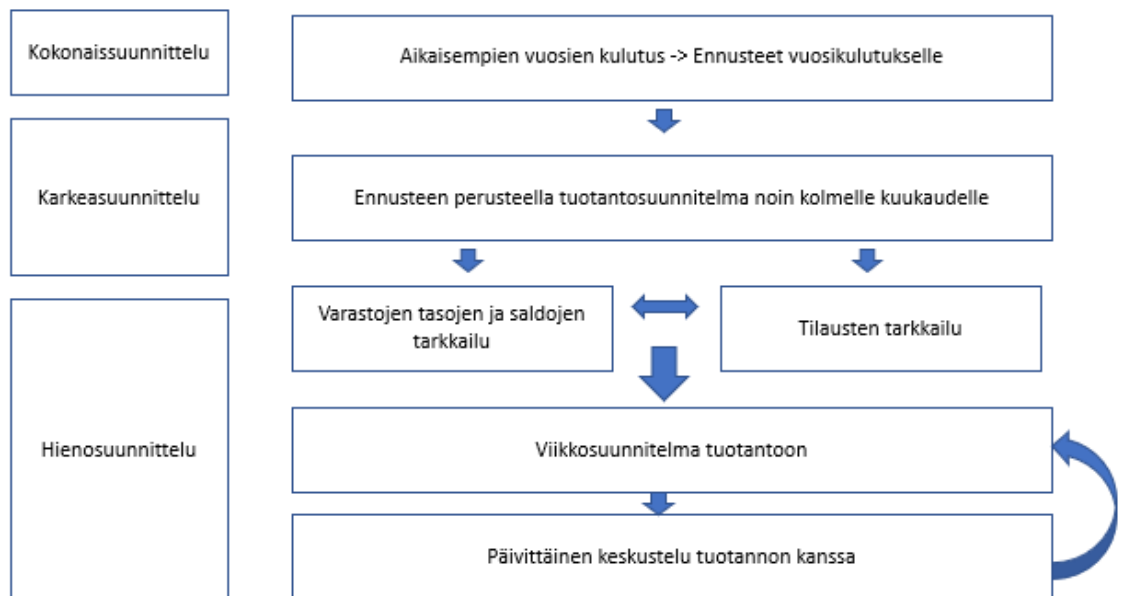
Se, että asetusajat usein venyvät epäsuotavan pitkiksi saattaa muuttaa hetkessä koko tuotantosuunnitelman. Tämä tarkoittaa käytännössä, että joudutaan hyvin paljon priorisoimaan ajojärjestyksiä poiketen laaditusta tuotantosuunnitelmasta. Suunnittelussa priorisoidaan seuraavasti:

- Mille tuotteelle on riskinä suurin myöhästyminen
- Minimoidaan asetuskustannuksia tuottamalla suuria valmistuseriä kerralla
- Pyritään valmistamaan aikaisin tilaus ensin

Joidenkin nimikkeiden kohdalla joudutaan tuottamaan koko vuoden tarve yhdessä tai kahdessa valmistuserässä. Eräkokojen kasvaessa materiaalivirrat heikentyvät eli nimikkeitä ei pystytä täyttämään tasaisesti varastoon. Tämä näkyy kasvaneina

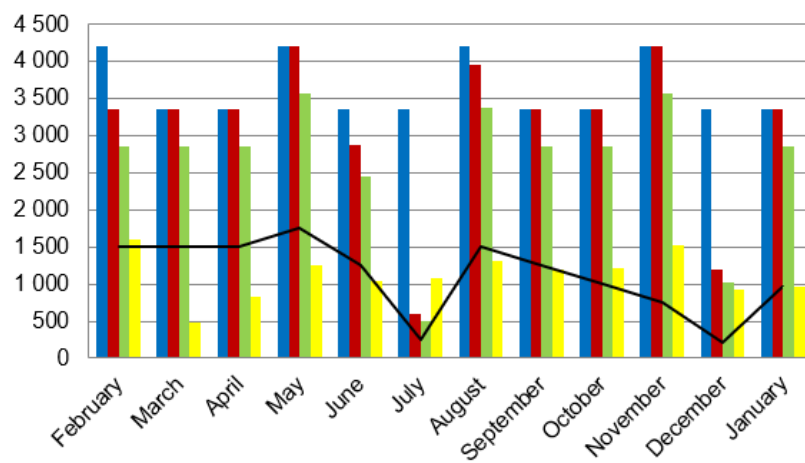
varastotasoina. Sen lisäksi hitaan läpimenoajan johdosta tilausohjautuvien tuotteiden toimitusajan määrittäminen on haastavaa ja asiakkaalle annettavan arvolupauksen täyttäminen epävarmaa, ilman muuta tuotantoa haittaavia kompromisseja.

Varastojenhallinnan kannalta suuret eräkoot ovat haitallisia. Ongelmat konkretisoituvat varastoissa kiertonopeutena, joka on johdannaissuure ohjausparametreille. Nopea varastojen kiertonopeus pienentää sitoutunutta pääomaa ja toisinpäin. Voidaan todeta, että kasvattamalla eräkojoja eli kompensoimalla toimimattomia prosesseja – muodostuu varastoihin sitoutunutta pääomaa enemmän, mikä on tilanne tällä hetkellä. Varastoon sitoutunut pääoma ja varastot yleisesti aiheuttavat kustannuksia ja täten heikentävät liiketoiminnan kannattavuutta.



Kuva 30. Tuotannonohjauksen nykytila

Karkea- ja kokonaissuunnittelu ei tällä hetkellä anna tarpeeksi merkityksellistä painoarvoa tuotannon ohjaamiselle, sillä aikataulunhallinta on hyvin haasteellista ja ajoittain jopa mahdotonta. Suunnittelussa tavoitteena on kuitenkin, että tilikaudelle asetetuissa budjeteissa pysytään ja että koneiden kapasiteetti sekä tuotanto saadaan kutakuinkin vastaamaan kysyntäennusteisiin.



Kuva 31. Karkeasuunnittelu – kuormituspiirros

Kuormituspiirros tehdään linjakohtaisesti ja se kertoo, kuinka monta yksikköä myytäväksi kelpaavaa tuotetta linjan täytyy tuottaa kuukausitasolla. Kuvasta 30. voidaan huomata, että suunnittelussa pyritään varautumaan pienellä puskuroinnilla, jotta yllättävissä tilanteissa on enemmän reagointiaikaa. Kuvasta 30. voimme todeta, että tällä hetkellä kysymys ei ole suinkaan kapasiteetti ongelmasta.

Kuvassa 30. pylväsdiagrammit kuvaavat:

Sininen pylväs kuvaa teoreettisesta kapasiteettia tarkoittaen, että tuotantokoneet käyvät täydellä teholla vuorokauden ympäri ja eikä tuotannossa ilmene toimintaa estäviä häiriöitä. **Punainen pylväs** kertoo potentiaalisen kapasiteetin, jossa huomioidaan vuorojaksot. **Vihreä pylväs** kuvaa todellisen käytettävissä olevan kapasiteetin, joka huomioi käytettävissä olevan työvoiman, häiriöt sekä vaihdoista johtuvat kapasiteettihukat. **Keltainen pylväs** kuvaa ennusteisiin perustuvaa kysynnän vaatimaa kapasiteettia. **Musta viiva** on tuotannon suunnittelijoiden suunnittelema kapasiteetti.

Tuotettavat nimikkeet ovat jaettu neljään pääluokkaan: A, B, C ja F. A-pääluokan nimikkeet ovat varastoitavia ja jotka kattavat euromääräisesti n. 70 % kaikesta myynnistä. B-pääluokan tuotteet kattavat 18 % kokonaismyynnistä. A- ja B-pääluokan tuotteet varastoidaan, kun puolestaan C-luokan tuotteet valmistetaan tilauksesta. Poikkeuksena on F-luokka, joka matemaattisen mallin mukaan olisi C, eli tilausohjautuva. F-luokan tuotteita kuitenkin varastoidaan sopimuksesta yrityksen

myynnin kanssa, sillä näitä tuotteita tarvitsevat sopimusasiakkaat. Yrityksen KPI (Key Performance Indicator) on asetettu OTD-lukuun (On Time Delivery). OTD-luvulle on budjetoitu enimmäisvarastotasot, jotka budjetoidaan vuotuisesti osana kokonaissuunnittelua. Ennen seurattiin varastojen kiertonopeutta, mutta nykyään paino on siirtynyt toimitusvarmuuden säilyttämiseen.

4.2.2 Analysointi ja kehitysvaiheet

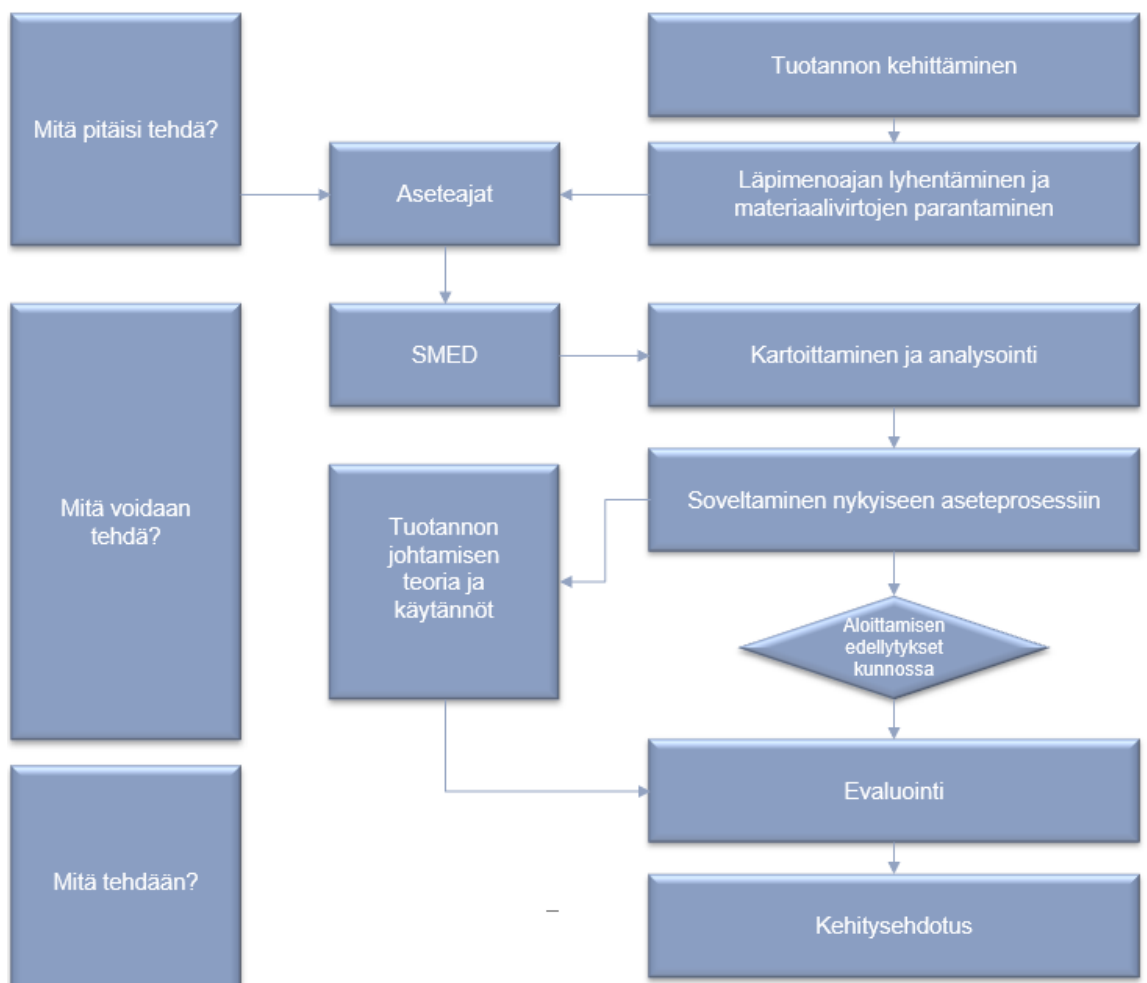
Nykytilan analysoinnissa ongelmanratkaisumalli auttoi selvittämään ja jäsentämään nykytila-analyysissä tehtyjä havaintoja. Ongelma määritettiin muodostamalla A3-kaavio.

<p>Taustaa</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ongelma: Tuotannon lajinvaihtoajat, Aikataulunhallinta, varastot ja työvoimapula — syy seuraussuhde • Lisäksi vakintuneet toimintatavat puuttuvat <p style="text-align: right;">P</p>	<p>Toimenpiteet</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nykytilan kartoitus ja ongelmien määrittäminen • Työkalunvaihto optimointi hyödyntäen SMED-konseptia • Lajinvaihtoajojen mittaukset ja analysointi • Laadulliset haastattelut; Tuotannon havainnointi, tuotannonohjauksen ohjaukseen tarkasteleminen ja menetelmien sopeuttaminen <p style="text-align: right;">DO</p>
<p>Nykyinen tila</p> <ul style="list-style-type: none"> • Systemaattisuus vähäistä • Tuotannosuunnittelulla puuttuu luotto tuotantoon • Vähäinen osaaminen tuotantotyöntekijöillä <p style="text-align: right;">L</p>	<p>Toimenpiteiden vaikutusten tarkastelu</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ennen ja jälkeen tilanteen kartoitus ja arviointi; Miten prosessin kehitys vaikuttaa tuotannon materiaalivirtoihin, varastoihin ja tuotannonohjauksen aikataululliseen toimintaan • Mahdollisten ongelmien määrittäminen • Ongelmien selvitys <p style="text-align: right;">CHECK</p>
<p>Päämäärä</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tuotannon ja suunnittelun saumaton yhteistyö • Aikataulullisen ohjauksen parantaminen • Tuotannon työntekijöiden osaamisen kehittäminen • Samanaikaiset työkalun vaihtoprosessit • Standardisoidut työmenetelmät <p style="text-align: right;">A</p>	<p>Jatkotoimet</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prosessin kehityksen testaus ja implementointi myös muille linjoille • Investoinnit • Prosessin jatkojalostaminen ja muut kehitystoimet <p style="text-align: right;">ACT</p>
<p>Juurisyyanalyysi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Miksi?- Lajinvaihtojen venyminen kasvattaa eräkojoja • Miksi?- Varastoja joudutaan kasvattamaan toimitusvarmuuden takaamiseksi • Miksi?- Kaikille selkeät menetelmät puuttuvat • Miksi?- Kehittäminen haastavaa sekä vaatii ajallista ja rahallista panostamista <p style="text-align: right;">N</p>	

Kuva 32. A3-kaavio nykytilan analysoinnista

Kaavion taustana on nykytila-analyysissä selvinneet ongelmat tuotannon lajinvaihtoajoissa, joka on perimmäinen syy, miksi tämä tutkimustyö teetetään. Kuvassa 31. on esitetty kehittämisen vaiheet, päämäärä ja tavoitteen saavuttamiseen edellyttävät toimenpiteet.

Kehitystyö aloitettiin taustojen kartoittamisella – minkälaisia ongelmia tämän hetkessä toiminnassa esiintyy. Näihin ongelmiin etsitään tieteellisin menetelmin ratkaisut. Teoreettinen viitekehys pääongelmalle on SMED-metodiikka. Kehitystyön päämääränä tutkia ja kehittää asetusprosessia eli saavuttaa parhaat käytännöt asetusprosessin nopeuttamiseksi ja standardoida menetelmät, jotka tulevat tukemaan ja helpottamaan työskentelyä tuotantolinjoilla. Lisäksi menetelmien kehittämisen tavoitteena on tuotannon aikataulunhallinnan, kannattavuuden sekä systemaattisuuden parantaminen läpi tuotannon. Lopuksi kehitysehdotuksen vaikutuksia pohditaan tuotannon johtamisen teoriaa hyödyntäen. Kehitystyön tulokset ja ehdotus suunnitellaan siten, että ehdotuksen implementoiminen toimintaan olisi mahdollisimman saumatonta.



Kuva 33. Empiirisen tutkimuksen eteneminen kohdeyrityksessä.

Empiriaosuuden keskeisimmät kysymykset ovat:

- Tekeekö asetusprosessin kehittäminen ja siitä pohjautuva kehitysehdotus riittävän tehokkaan parannuksen nykytilassa kohdennettujen ongelmien korjaamiseksi?
- Nähdäänkö tämän tutkimuksen lopputulos riittävän hyödyllisenä ja liiketoiminnan kannalta tuottavana, että se voidaan implementoida?

Lopullisena tuloksena syntyy parantavia toimia esimerkiksi ohjeistuksien, prosessikuvauksien ja toimintaa ohjaavien dokumenttien muodossa.

5 ASETUSAJAN LYHENTÄMINEN CASE-KOHITESSA

Tutkimustyön pääongelmaa tarkastellaan tässä luvussa. Luvussa kartoitetaan mistä ongelmat asetteissa pohjautuvat ja mitä toimenpiteitä näiden ongelmien ratkaisemiseksi vaaditaan. Lopulliset toimenpiteet dokumentoidaan kehitysehdotuksena toimintaohjeen muodossa liitteeseen 1.

5.1 Lähtökohdat

Tutkimustyö aloitetaan tutustumalla ja jakamalla case-kohteen asetusprosessin tehtäväkokonaisuus osakokonaisuuksiin, eli komponentteihin sekä näiden edellyttämiin työvaiheisiin. Teoreettisen viitekehyksen kontribuutiona on lähteä hyödyntämään SMED-metodiikkaa tämän diplomityön tutkimukselliseen osaan.

Työn vaiheet noudattavat kronologista järjestystä seuraavasti:

Ensin tutkitaan kaikki mahdolliset asetuksen vaiheet tuotantoanalyysin kautta;

Seuraavaksi analysoidaan kaikki prosessin vaiheet ja jaotellaan ne sisäisesti tai ulkoisesti suoritettaviksi;

Tämän jälkeen eniten aikaa vievät sisäiset aseteprosessin vaiheet konvertoidaan ulkoisiksi;

Viimeiseksi virtaviiwaistetaan asetusprosessi sekä etsitään vielä systemaattisia parannuskeinoja jokaisesta ulkoisesta ja sisäisestä vaiheesta

Mittaukset, analysointi ja havainnot on tehty osana toimintatutkimusta, joka on suoritettu 1.1.2019 – 1.4.2019 välisenä ajanjaksona. Mittauksia suoritettiin tänä ajanjaksona yhteensä neljä noin reilun viikon pituisina sykleinä, muun toiminnan ja datan keruun rinnalla. Mittauksien suurimmaksi ongelmaksi muodostui tilastollinen merkittävyys. Mittauksien sisällä ja mittauksien välillä oli merkittävästi hajontaa. Mittauksien tulokset eivät siis tässä tapauksessa ole täysin absoluuttisia. Myöskään vertailukohtaa menneisyydestä vaihtoajoille ei ole, sillä niitä ei ole kirjattu mihinkään järjestelmään. Reliabiliteetin luomiseksi, todetaan tuloksien luotettavuuteen vaikuttavat tekijät:

- Vaihtelevat muuttujat (Mittauksissa eri työntekijät, olosuhteet, tauot, työmotivaatio ja tehokkuus jne.)
- Ei standardoituja työmenetelmiä (Mittauksissa työntekijät tekivät ”omalla” tavallaan)
- Ongelmat (Puuttuvat osat, hajonneet osat ja osien ylimääräinen etsiminen)
- Ei aikaisempaa dataa vaihtoajoista
- Eri putkityökalu konfiguraatiot (Eri yhdistelmät vievät eri määrän aikaa)

Muuttujat näyttelivät merkittävää osaa mittaustuloksissa. Suhteellisen pienellä otannalla toteutetut mittaukset, jotka olivat mittausaikajakson aikana mahdollista suorittaa – ei saada riittävän luotettavaa ja laajaa otantaa aikaiseksi absoluuttisten asetusajojen todentamiseksi. Mittauksien edetessä todettiin, että tilastollisesti merkitsevät arvot olisi saavutettu sadoilla toistomittauksilla, jotka puolestaan olisivat vaatineet enemmän aikaa kuin koko diplomityön aikabudjetti olisi ollut kokonaisuudessaan. Myöskin putkityökalun konfiguraatiovariaatiot aiheuttavat voimakkaasti hajontaa asetusprosessin läpivientiin. Mittauksien häiriöt pyrittiin minimoimaan keskittämällä työntekijät pelkästään asetusprosessin suorittamiseen.

Teesinä voidaan todeta, että käytettävissä olevalla datalla saadaan kehitystyön kannalta se merkittävin tieto, **että mitä voidaan tehdä toisin lyhentäessä asetusaikaa**. Lisäksi on tärkeää, että asetusprosessille saadaan tavoiteaika. Tällä hetkellä ei ole dataa siitä, kuinka kauan asetusprosessi todellisesti kestää.

Seuraavissa luvuissa käsitellään SMEDin soveltamista kohdeyritykseen sekä tarkasteltavaan tuotantolinjaan. Mittaukset suoritettiin polyvinyylidikloridi-linjalla, joka myös rajattiin tutkittavaksi tuotantolinjaksi. Kyseinen polyvinyylidikloridi-linja on osoittautunut ongelmalliseksi, sillä se sisältää haastavia lajinvaihtoja sekä omaa monivaiheisimman asetusprosessin.

5.2 Mittaukset

5.2.1 Tuotantoanalyysi

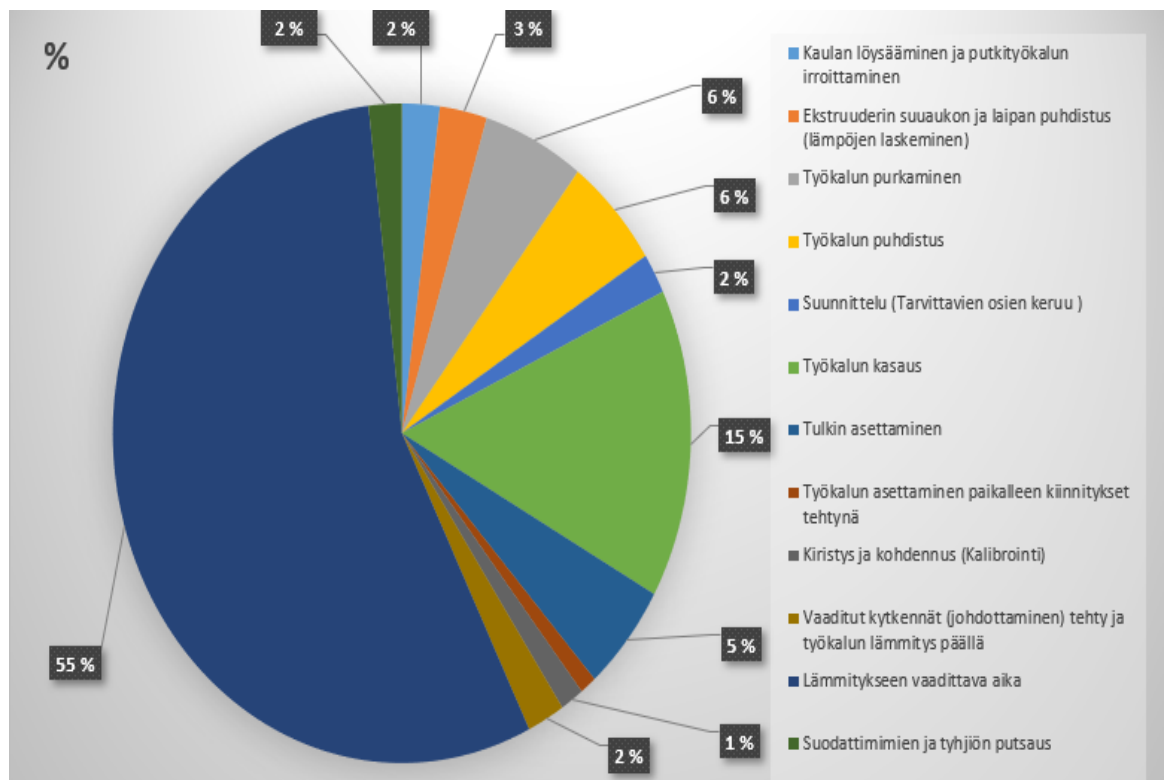
Ennen prosessin kehittämistä on hyvä ymmärtää itse asetusprosessin ottama aika tuotantoanalyysin kautta. Tuotantoanalyysissä (Taulukko 4.) esitetään ne vaiheet, jotka asetusprosessin läpiviemiseksi on suoritettava ennen linjan uudelleen käynnistämistä. Näitä vaiheita muodostui yhteensä 12 kappaletta. Taulukon funktio on analysoida koko prosessin läpivientiin kuluva aika ja kuinka paljon yksittäiset vaiheet vaativat aikaa. Taulukon mukaisesti prosessin läpivientiin kuluu kaiken kaikkiaan 758 minuuttia. Taulukossa 4. on esitelty asetusprosessin työvaiheiden ajallinen jakautuminen.

Taulukko 4. Kohdelinjan tuotantoanalyysi

Tehtävä	
Työkalu:	Kesto (min.)
Kaulan löysääminen ja putkityökalun irroittaminen	16
Ekstruuderin suuaukon ja laipan puhdistus (lämpöjen laskeminen)	20
Työkalun purkaminen	43
Työkalun puhdistus	42
Suunnittelu (Tarvittavien osien keruu)	15
Työkalun kasaus	115
Tulkin asettaminen	40
Työkalun asettaminen paikalleen kiinnitykset tehtynä	7
Kiristys ja kohdennus (Kalibrointi)	10
Vaaditut kytkennät (johdottaminen) tehty ja työkalun lämmitys päällä	16
Lämmitykseen vaadittava aika	420
Suodattimien ja tyhjiön putsaus	14
Yhteensä	758

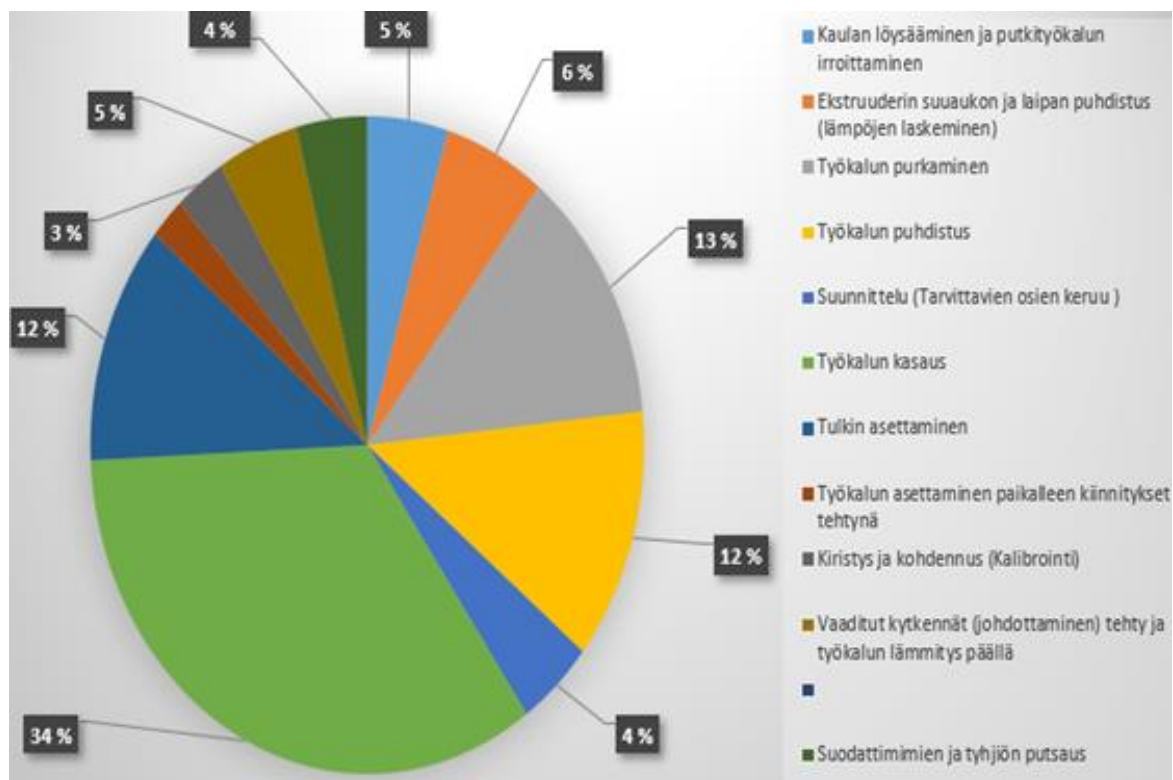
5.2.2 Vaiheiden analysointi

Vaiheiden analysointia ja konvertointivaiheen tueksi muodostettiin mittaustuloksista ympyräkaaviot. Ympyräkaavioiden avulla nähdään visuaalisesti selkeämmin ne vaiheet, jotka ovat nykyisen asetusprosessin läpiviennin kannalta merkittävimpiä. On myös huomioitava, että kaikkia vaiheita ei voida konvertoida ulkoisesti suoritettaviksi, esimerkiksi vaiheet jotka vaativat putkityökalun kiinnittämistä ja kytkemistä linjaan.



Kuva 34. Analyysi asetusprosessin vaiheiden ottamasta ajasta

Putkityökalun lämmitys vie asetusprosessin kokonaisajasta noin 55 %. Se on kiinteä aika, joka on määritetty noin kuuteen tuntiin. Nykytilassa lämmityksen aikana siirrytään valmistelemaan muuta linjaa.



Kuva 35. Analyysi aseteprosessin vaiheiden ottamasta ajasta pl. lämmitys

Selkeyttääkseen mekaanisia vaiheita, ympyräkaaviosta (Kuva 34.) otettiin pois lämmityksen viemä aika. Vaiheista pisimmän ajan vie itse putkityökalun kasaaminen. Tämän lisäksi putkityökalun kokoonpano ja purkaminen ovat molemmat merkittävästi aikaa vieviä osuuksia.

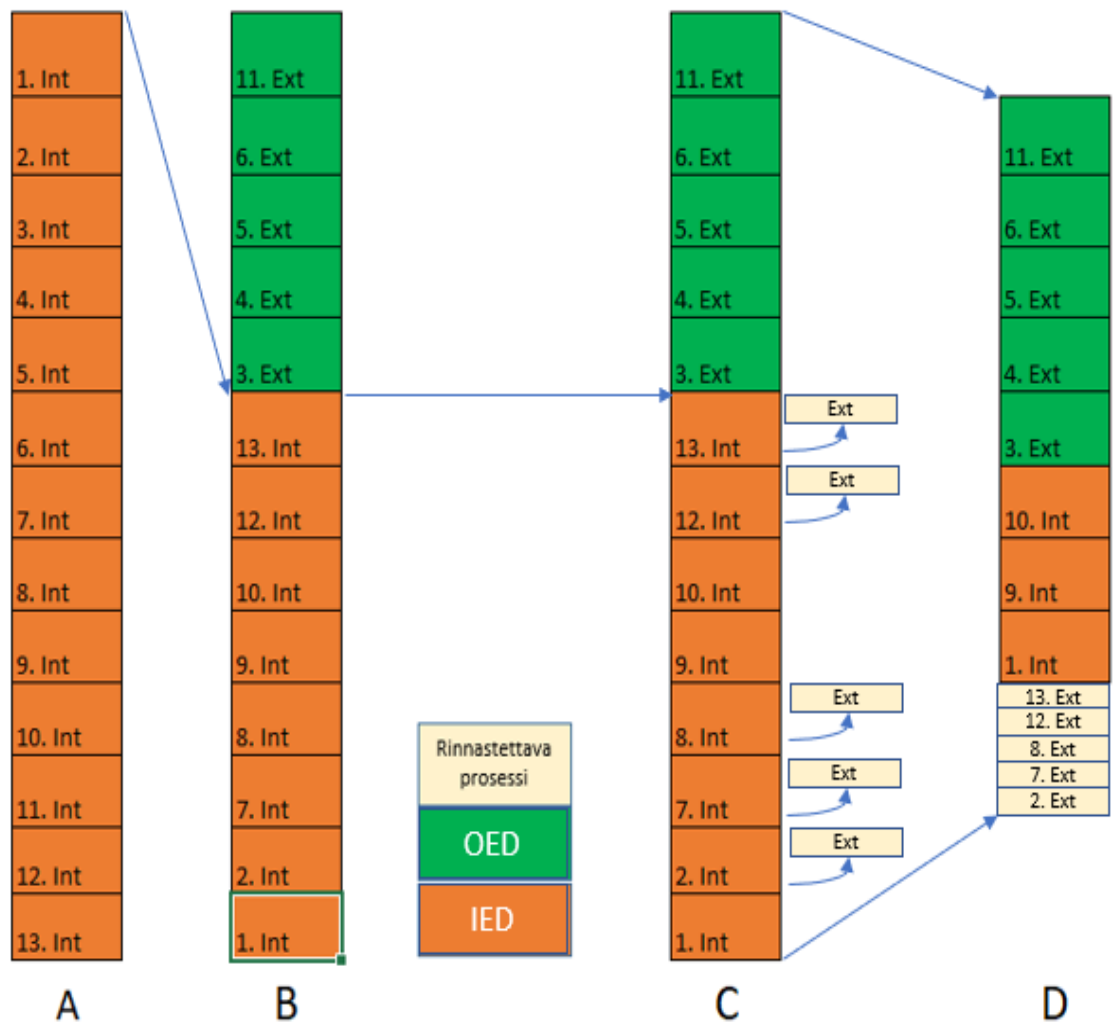
5.2.3 Konvertointi ja Virtaviivaistaminen

Taulukkoon 5. on luotu tunnukset jokaiselle vaiheelle, jotta järjestelyyn saadaan visuaalinen selkeys. Työvaiheita aloitetaan nyt konvertoimaan sisäisistä IED-vaiheista (Internal) ulkoisiksi OED -vaiheiksi (External).

Taulukko 5. Konvertointitunnukset

Vaihe	Vaihe nro.
Kaulan löysääminen ja putkityökalun irroittaminen	1
Ekstruuderin suuaukon ja laipan puhdistus (lämpöjen laskeminen)	2
Työkalun purkaminen	3
Työkalun puhdistus	4
Suunnittelu (Tarvittavien osien keruu)	5
Työkalun kasaus	6
Tulkin asettaminen	7
Työkalun asettaminen paikalleen kiinnitykset tehtynä	8
Kiristys ja kohdennus (Kalibrointi)	9
Vaaditut kytkennät (johdottaminen) tehty ja työkalun lämmitys päällä	10
Lämmitykseen vaadittava aika	11
Suodattimien ja tyhjiön putsaus	12
Muu linja	13

Nykytilanteessa (A) joudutaan kaikki vaiheet suorittamaan sisäisesti eli linjan ollessa pysäytettynä. Lähtötilanteessa linjalla PVC-1 tunnukset 1-13 on sijoitettu (Int)-tunnuksiksi. Konvertointi (B)-vaiheessa sijoitetaan ne mahdolliset vaiheet, jotka ovat muunnettavissa sisäisistä (Int-to-Ext) ulkoisiksi (Kuva 35.). Konvertointi perustuu omaan näkemykseen mittauksien suorittamisen aikana ja tuotantotyöntekijöiltä saatuun informaatioon prosessin kehittämisestä.



Kuva 36. Konvertoinnin neljä vaihetta

Vaiheessa (C) IED-prosessivaiheita pilkotaan vielä mahdollisuuksien rajoissa sellaisiksi, mitkä voidaan toteuttaa vaihto-osaation loogisessa järjestyksessä yhtäaikaaisesti. Rinnastettavat prosessit, tarkoittavat muun vaihto-osaation lomassa tapahtuvaa toimintaa, jolla pystytään merkittävästi nopeuttamaan linjan käynnistämistä. Virtaviivaistetussa (D)-osiossa on lopulliset putkityökalun asetusprosessin vaiheet. Rinnastettavat prosessit ovat merkitty kuvaan pienemmillä laatikoilla indikoimaan ajansäästämistä. Vaiheen (D) perusteella voidaan suunnitella työjärjestys ja työselostus asetusprosessin standardoimiseksi. Lisäksi pystytään määrittelemään raja-arvot työnkestolle työvaihekohtaisesti.

5.3 Tulokset

5.3.1 Ajallinen säästö

Edellisessä luvussa konvertoidut vaiheet ovat nyt sijoitettuna (taulukko 6.), josta saadaan säästetty aika laskemalla merkityt rivit konvertoinnin mukaisesti. Teoriassa prosessi tehostuu ilman lisälämmitystarvetta 83,5 % eli tämä on nykytilanteeseen verrattuna lähes viisinkertainen parannus. Mainittakoon, että vallitsevien muuttujien johdosta on realistista olettaa todellisessa skenaariossa prosessin parannuksen olevan noin 70 % prosenttia lähtötilanteesta.

Taulukko 6. Ajallinen säästö. Yksiköt (min)

Tehtävä			
Vaihe	Kesto	Sisäinen	Ulkoinen
Kaulan löysääminen ja putkityökalun irroittaminen	16	16	16
Ekstruuderin suuaukon ja laipan puhdistus (lämpöjen laskeminen)	20	20	20
Työkalun purkaminen	43	43	43
Työkalun puhdistus	42	42	42
Suunnittelu (Tarvittavien osien keruu)	15	15	15
Työkalun kasaus	115	115	115
Tulkin asettaminen	40	40	40
Työkalun asettaminen paikalleen kiinnitykset tehtynä	7	7	7
Kiristys ja kohdennus (Kalibrointi)	10	10	10
Vaaditut kytkennät (johdottaminen) tehty ja työkalun lämmitys päällä	16	16	16
Lämmitykseen vaadittava aika	420	420	420
Suodattimien ja tyhjiön putsaus	14	14	14
Lisälämmitys	60	60	60
Yhteensä	818	167	651

Suurin ajallinen säästö syntyy lämmityksen ulkoistamisesta ja työkalun kasaamisesta ja valmistelusta ennen linjalle siirtoa. Virtaviivaistamisvaiheessa rinnakkaisprosesseiksi siirrettyjä vaiheita ei oteta tässä toistaiseksi huomioon, sillä niiden toteutuminen riippuu voimakkaasti työvoiman määrästä ja osaamisesta. Kokoonpanopaikalta linjalle siirtämisen aikana esilämmitetty putkityökalu voi jäähtyä

juuri sen verran, että se vaatii vielä hetken lämmittämisen ennen aloitusmassojen ajamista. Oletetaan tarvittavan lisälämmitysajan olevan noin 60 minuuttia linjalle kytkemisen jälkeen, eli asetusprosessin läpivientiin kuluisi kaiken kaikkiaan noin 167 minuuttia. Tämä mittauspöytäkirja koskee absoluuttisesti vain putkityökalun vaihtoprosessia kokonaisuutena, jättäen huomioimatta muut linjan konvertointi toimenpiteet.

5.3.2 Muu asetusprosessi

Suulakkeenvaihdot ovat yleisimpiä kohdeyrityksen tuotannossa toteuttavia vaihtoja. Nämä eivät ole tuotannon kannalta haasteellisia siinä mielessä, sillä toimenpiteet voidaan hoitaa nopeasti ilman, että työkalua tarvitsisi asetusprosessin ajaksi irrottaa. Asetusprosessi on tämän osalta hyvin yksinkertainen ja nopea.

Taulukko 7. Suulakevaihdon tuotantoanalyysi. Yksiköt. (min)

Tehtävä			
Vaihe	Kesto	Sisäinen	Ulkoinen
Linjan pysäyttäminen	2	2	2
Aloitusmassan ajaminen	12	12	12
Lämpöjen laskeminen	22	22	22
Suulakkeen irroittaminen	7	7	7
Suulakkeen, kärjen ja tapin puhdistaminen	12	12	12
Tapin vaihto	5	5	5
Uuden suulakkeen asentaminen	6	6	6
Suulakkeen ja kärjen kohdennus	4	4	4
Yhteensä	70	70	0

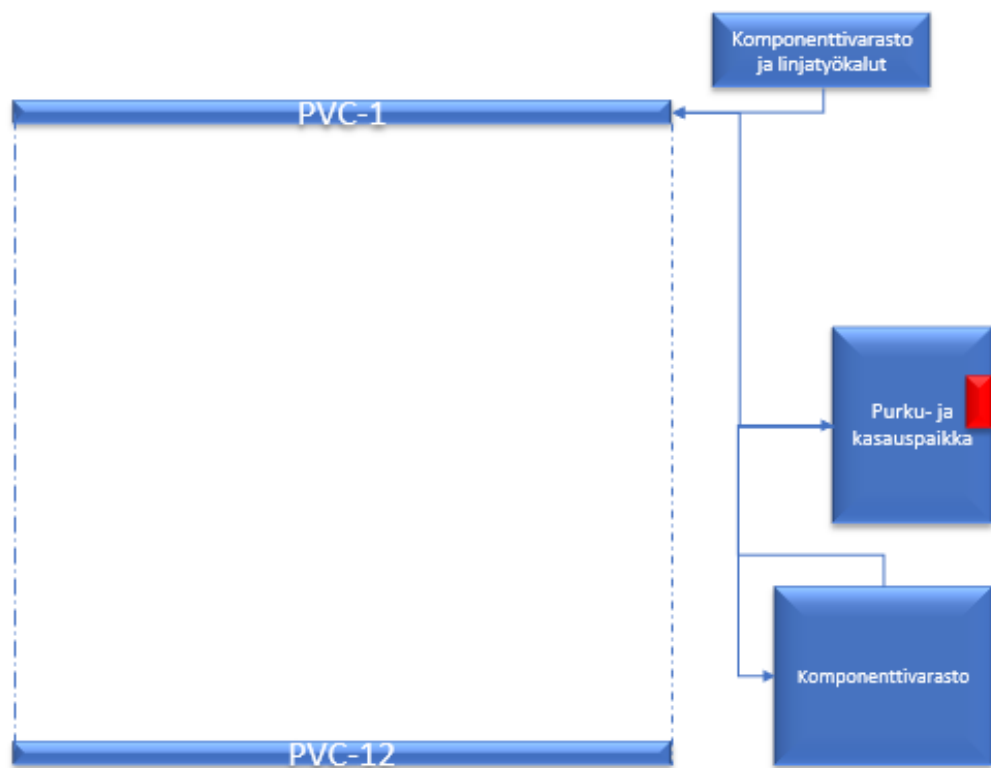
Suulakkeenvaihto voidaan suorittaa 70 minuutissa (Taulukko 7.). Tähän aikaan on lisättävä vielä asennuksen jälkeinen lämmitys, jonka suulakkeenvaihto edellyttää. Lämmitykseen voidaan budjetoida noin 120 minuuttia, jotta voidaan tehdä tarvittavat kiristykset ja kohdennukset työkalun osien lämmön tasaantumisen jälkeen.

Suulakkeen vaihtoja on kahta tyyppiä: seinämäpaksuuden vaihtoja ja putkidimension muutoksia. Seinämäpaksuuden muuttaminen ei välttämättä tarvitse muutoksia linjalla, kun puolestaan dimension muuttaminen edellyttää linjan muutostoimenpiteitä. Linjan muutostoimenpiteisiin täytyy linjasta riippuen varata aikaa kuudesta kahdeksaan

tuntia. Suulakkeen vaihdossa ei ole mahdollista suorittaa ulkoisia toimenpiteitä, sillä linja on aina pysäytettävä kyseisen operaation ajaksi.

5.3.3 Investoinnit

Jotta asetusprosessin läpivientiä saadaan tehostettua, on investoitava uusiin laitteisiin, joita tällä hetkellä tuotannon layoutissa ei ole. Putkityökalun lämmitys vie ajasta noin 55 %. Tämän vuoksi työkalun esilämmitys tulisi voida suorittaa jo työkalujen kasauspaikalla (Kuva 36.). Punainen laatikko merkitsee lämmityskaappien paikkaa purku- ja kasauspaikalla.



Kuva 37. Tuotannon layout

Investointi uusiin kokoonpanopaikalle sijoitettaviin lämmityskaappeihin on kannattava, jos asetusprosessin ja linjan muuntoprosessi saadaan standardoitua sekä kokonaisprosessin vaatima aika saadaan hyödynnettyä tehokkaasti työjärjestyksen optimoimisen kautta. Investoinnin suuruus luokkaa ei vielä tässä vaiheessa voida arvioida, sillä lämmityskaapit ovat asiakkaan mukaisesti räätälöityjä erikoistuotteita.

5.3.4 Työjärjestys

Kehitystyön keskeinen osa-alue on määrittää optimaalinen työjärjestys asetusprosessin tehokkuuden maksimoimiseksi. Ilman optimaalista työjärjestystä kehitystyön tuoma hyöty jää odotettua pienemmäksi eikä täten tuo tarpeeksi arvoa tarvittaville investoinneille. Työjärjestys suunnitellaan erikseen putkityökalulle kuin myös työjärjestyksen viimeistelemiseksi koko linjalle. Seuraavassa pääluvussa annetaan kehitysehdotus työjärjestelylle työselosteen muodossa

Kehitystyön vaikuttavuuden maksimoimiseksi on käytettävä riittävää määrää työvoimaa oikeaan aikaan oikeassa paikassa. Tämän vuoksi ehdotan, että linjoille vaihdon ajaksi muodostettaisiin kaksi työryhmää. Työryhmät tulisivat jakaantumaan kahteen ryhmään osaamisen perusteella:

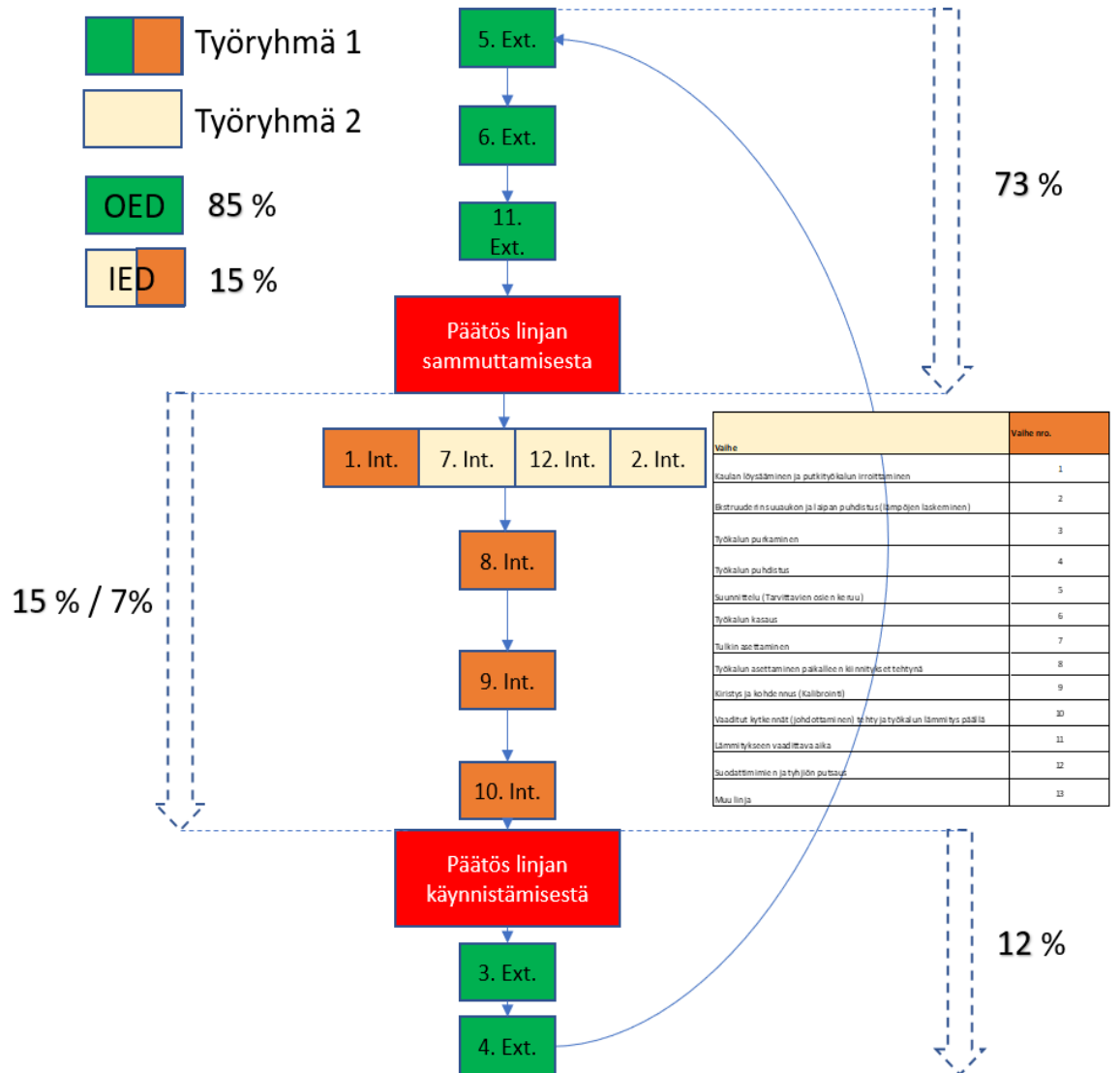
1. Työryhmä 1: laitoshoitajat, jotka suorittavat putkityökaluun liittyvät kytkemistoimenpiteet ja loppupään muhvimen muutostoimenpiteet.
2. Työryhmä 2: linjahoitajat, jotka hoitavat linjan kaikki muut komponentit alipainesäiliöstä leikkurille tarvittavat toimenpiteet linjan konvertoimiseksi.

Työryhmien muodostaminen tulisi tapahtua työnjohtajien ja tuotantopäällikön päätöksenteon mukaisesti määrätyn aikajakson sisällä esim. viikkotasolla. Työryhmät muodostetaan kulloisen käytettävän työvoiman mahdollisuuksien mukaan etukäteen suunniteltuna tuotantosuunnitelman mukaisesti. Työryhmien muodostaminen linjan muutostoimenpiteisiin tukisi yrityksen strategista suuntausta kehittää osaamista organisaation sisällä. Erityinen ohjattu sekä standardoitu ryhmätyö tukevat myös heikoimmin osaavien tuotantotyöntekijöiden ammatillista kehitystä. Tämän lisäksi useampien työntekijöiden osallistaminen vaihtoprosesseihin tukee yhteistä päämäärää tuotannon kehittämiseksi. Seuraavissa kappaleissa käsitellään työryhmien merkitystä työjärjestykselle vaihto-operaation nopeuttamiseksi.

Putkityökalun vaihto:

Putkityökalun vaihdossa on tärkeää saada minimoitua linjan sammuttamisessa ja käynnistämisen välinen aika. Käynnistämisen jälkeinen aika ei ole läpimenoajan ajalta

osalta niin olennaista - kuinka kauan ulkoiset vaiheet vievät, sillä nämä vaiheet voidaan rauhassa työstää linjan käydessä, linjan ulkopuolella.

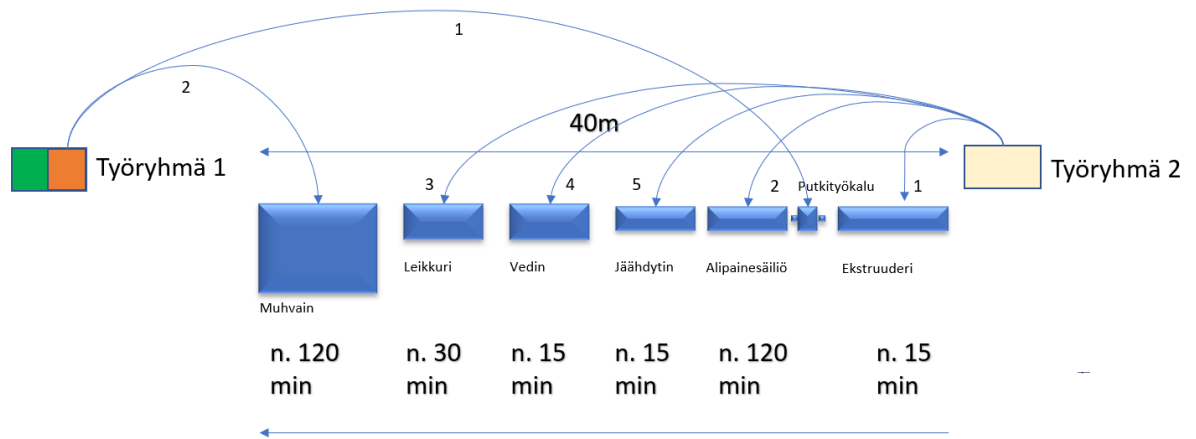


Kuva 38. Työjärjestys vaiheiden uudelleenjärjestelyn jälkeen

Kuvassa 37. kaavion tarkoituksena on selventää työjärjestyksen vaiheet. Linjan sammuttamisen ja käynnistämisen välissä olevat sisäiset vaiheet on merkitty kahdella eri prosentiarvolla. Prosenttiluvut määrittävät kuvassa 37. esiintyviä vaaleita IED-prosesseja: jos näitä prosesseja ei suoriteta rinnakkain, lukuarvo on isompi, kun taas rinnakkain suoritettuna on lukuarvo pienempi. Suorittamalla nämä merkityt prosessit rinnakkain säästetään noin 8 % tuotantoaikaa verrattuna toisiaan seuraaviin prosesseihin.

Muu linja:

Putkityökalun vaihto itsessään ei riitä edellyttämään linjan käynnistämistä, joten on myös otettava huomioon myös muut linjan komponentit. Putkityökalun jälkeiset linjan vaiheet ovat etenkin työjärjestelyn osalta tärkeitä uudelleen käynnistämistä ajatellen. Jos pelkästään asetusprosessi kehittyy yksinään merkittävästi – pullonkaula siirtyy linjaston muihin komponentteihin.



Kuva 39. Linjaston muuttamiseen kuluva aika

Kuva 38. osoittaa ehdotetuille työryhmille etenemisjärjestyksen kohdelinjalla.

Puhtaasta teoreettisesta näkökulmasta katsottuna pullonkaulavaiheiksi muuttuvat alipainesäiliön ja muhvaimen valmistelu. Aika, joka ennen hyödynnettiin lämmityksen aikana muun linjaston työstöön, on nyt kriittinen kokonaisprosessin viemän ajan lyhentämisen kannalta.



Kuva 40. Nykytilan ja uuden toimintaehdotuksen ajallinen arviointi

Kuvasta 39. voidaan päätellä, että teoriassa koko linjan muuntamisprosessi voidaan läpiviedä noin 6,5 tunnissa (387 min), eli työntekijöiden tauot huomioon ottaen noin yhdessä työvuorossa. Tämä tarkoittaa teoriassa, että seuraavat vuorossa olevat työntekijät voivat aloittaa tuotannon käynnistämällä linjan. Jos prosessit tehtäisiin nykyisellä tavalla prosessin läpivienti kestäisi absoluuttisesti ilman häiriöitä ja taukoja noin 18 tuntia (1053 min), mutta systemaattisuuden puuttuessa linjan käynnistämiseen saattaa kulua jopa 72 tuntia. Tämän ongelman konkretisoimiseksi voidaan ajatella, että jos linjan muuntamisprosessi kestää yksinään yhdeltä laitosmieheltä 16 tuntia keskeytymätöntä työtä, niin on todennäköisempää, että tälle aikajaksolle osuu toimenpiteitä muilta linjoilta. Tämän vuoksi laitoshoitaja voi joutua keskeyttämään työnsä ja asetusprosessi ja linjan muuntoprosessi saattaa kestää odotettua kauemmin.

Työjärjestelyn päämääränä on lyhentää tuotannontekijöiden keskittämää aikaa yhteen tehtävään, jolloin työntekijöiden joustavuus muille tuotannon tehtäville kasvaa. Jos laitoshoitaja käyttää linjan ollessa sammuneena 240 minuuttia keskitettyihin tehtäviin vrt. 1053 minuuttia koko linjan muuntamiseen – on näin myös enemmän aikaa muulle tuotantoa ylläpitävälle toiminnalle. Puolestaan linjahoitajat sijoittaisivat tällä mallilla linjan muuntamisprosessille 180 minuuttia. Näin ollen kenenkään kontribuutio linjan muuntamiseen ei vie liikaa aikaa tuotannon ylläpitämiseltä ja prosessi voidaan saattaa tehokkaasti loppuun.

5.4 Evaluointi

5.4.1 Investoinnit

Tämän diplomityön aikana olen pohtinut työkalun komponenttien kaksoikkapaleiden merkityksestä läpimenoajan lyhentämisessä. Prosessin ja työjärjestyksen mallintamisen aikana olen kuitenkin tullut toiseen tulokseen tämän investoinnin järkevyydestä. Tämän hetken ongelmat eivät suoranaisesti johdu tarvittavien putkityökalukomponenttien vähydestä vaan prosessien järjestelmällisyydestä. Suurin hyöty saavutetaan noudattamalla systemaattisesta kaavaa asetusprosesseissa ja nimenomaan siinä, että pyritään rinnastamaan prosesseja.

Prosessien rinnastamisen edellytyksenä on investointi lämmityskaappeihin, joilla saadaan asetusprosessin suurin pullonkaula eliminoitua. Ajallinen tappio putkityökalun asetusprosessissa syntyy pääosin siitä, että lämmitys vie 55 % linjan uudelleen käynnistämistä. Tämä aika on osittain hyödynnetty nykytilassa, sillä linjaa on siirretty työstämään edemmäksi. Kuitenkin kokonaisprosessia tarkasteltaessa tämä on tehoton tapa, sillä lämmityksen takia menetetään potentiaalista tuotantoaikaa, joka muutoin olisi saavutettavissa työjärjestystä optimoimalla.

5.4.2 Tuotannolliset vaikutukset

Käynnistämiseen menee nykyisellä 1053 minuuttia vanhalla toimintamallilla ja uudella toimintamallilla arvioituna noin 387 minuuttia. Kun oletetaan kolmena vuorona olevan käytettävissä potentiaalista tuotantoaikaa $24h * 60 = 1440 \text{ min}$.

Tuotantoaikaa olisi käynnistämispäivänä:

Nykytilassa: 407 minuuttia

Uudella toimintamallilla: 1053 minuuttia

(Laskelma ei ota koeajoja ja kalibraatiota huomioon, toisien sanoen huomioi vain linjan sammuttamisen ja käynnistämisen välisen ajan)

Tuotantonopeus on valmistusprosessin kannalta kriittinen ja se on määritetty nimikekohtaisesti kiinteäksi linjan ominaisuuksien mukaisesti. Koska tuotantonopeuteen ei voida vaikuttaa, kohdistuu vaikutus siihen, kuinka paljon potentiaalista tuotantoa menetetään seuraavilta vuorossa olevilta tuotettavilta nimikkeiltä. Tämän jos kertaakaan vuoden aikana toteutuneilla vaihdolla on ajallinen säästö huomattava. Vaikutusta korostaa, se että nykytilassa tuotantolinja saattaa olla seisokissa useita päiviä, muista työtehtävistä tai ongelmista johtuen.

Nykyisellään linjalla toteutetaan 28 vaihtoa, jolloin vuotuinen ajallinen säästö olisi, jos ei huomioida häiriöitä ja muita tuotantotoimintaa keskeyttäviä tekijöitä:

$$= \frac{(1057 - 387) \text{min}}{60} h * 28 = 313 h$$

Käytännössä tarkoittaa, että tämä aika voidaan käyttää vaihtoihin. Vaihtoja voidaan

toteuttaa: $\frac{313 h}{\frac{387 min}{60} h} = 48$ kappaletta lisää.

Yhteensä vuoden aikana voitaisiin suorittaa 76 vaihtoa 28 vaihdon sijaan. Jos linjan käynnistämiset saadaan systematisoitua, vaihtoja voidaan toteuttaa merkittävästi enemmän, kun hukat seisokeista saadaan poistettua.

Kun nykytilanteessa 28 suoritetaan vaihtoa ja yhteenlaskettu ajoaika vuoden 2018 tiedoilla on 2088 tuntia, keskimääräiseksi ajoajaksi tulee 75 tuntia. Jos vaihtoja kasvatetaan 76 kappaleeseen vuodessa, niin keskimääräiseksi ajoajaksi muodostuu tällöin 27 tuntia per valmistuserä. Tämä tarkoittaa, että $(1 - \frac{27h}{75h}) * 100 = 64$ % kasvaa materiaalivirta, joka korreloi lähes suoraan verrannollisesti varastotasojen kanssa, eli teoriassa varastoja olisi mahdollisuus pienentää noin kaksi kolmasosaa. Tasainen materiaalivirta varastoihin mahdollistaisi tasaisemman nimikkeiden täydennyksen läpi vuoden ja näin ollen mahdollistaisi pienempien varastotasojen pitämisen kuitenkin säilyttämällä toimitusvarmuus ennallaan. Lämpimenoajan lyhentyessä 665 minuuttia mahdollistaa tuotannon joustavammin vastaamaan kysyntään sekä mahdollistaen myös keskimääräistä vähemmän kysytyjen nimikkeiden muuttamisen varasto-ohjautuvista tilausohjautuviksi.

Nämä laskelmat ovat hahmottavia esimerkkejä ja tarkoituksena on konkretisoida yksinkertaisesti kehitystyön ehdotuksen käytännön hyötyjä. Lopulliset päätökset mahdollisen kehitystyön implementoinnin jälkeisenä aikana tuotannonohjauksesta ja ohjausmuodoista täytyy muodostaa tuotannon johdon, suunnittelun ja myynnin toimihenkilöiden kesken yhteiseen näkemykseen perustuen.

5.5 Yhteenveto

Tämän tutkimusosion kiteyttämiseksi taulukossa 8. nähdään kehitystyön oleellimmat parannukset. Kehitysehdotus on tämän luvun tutkimuksen perusteella dokumentoitu liitteeseen 1.

Taulukko 8. Yhteenveto tuloksista tarkastelu linjalta

	Ennen	Jälkeen	%.
Aseteprosessin parannus	818 min	167 min	80 %
Läpimenoajan parannus	1053 min	387 min	63 %
Säästetty aika vuodessa	-	313 h	-

Asetusaika parantuu teoriassa noin 80 %, mutta odotettavissa on noin 70 % parannusta ottaen huomioon hukat ja muut epätehokkuustekijät asetusprosessissa.

Tutkimukseeni vedoten tutkimuksessa nykytilan asetusprosessin vaiheet ovat olleet prosessin läpiviennin kannalta ajallisesti epätehokkaita. Tosin nykyinen tuotannon layout ei ole mahdollistanut muita parannuskeinoja prosessin nopeuttamiseen. Työjärjestelyllä voidaan nopeuttaa asetusprosessia merkittävästi, mikäli kokoonpanopaikalle investoidaan lämmityskaappeihin.

Valmistuksen läpimenoajan parannus puolestaan voi olla mahdollisesti suurempi kuin 63 %, jos prosessien uudelleenjärjestelyn ansiosta saadaan linjan konvertointi ja asetusprosessi sidottua yhteen työvuoroon käytettävissä oleva aika tehokkaasti hyödyntäen. Läpimenoajan parannus on prosentuaalisesti heikompi kuin aseteprosessin parannus, koska asetusprosessi kehittyy niin merkittävästi, että pullonkaula siirtyy asetusprosessista linjan muuntamiseen.

Suunnittelun tueksi tehtäviä suorittavat tuotantotyöntekijät täyttävät tuotevaihoissa pöytäkirjan (Liite 2.), jonka avulla pitkällä aikavälillä voidaan saada dataa vaihtoihin kuluvasta ajasta ja ongelmista tuotantolinjoilla. Tätä tietoa voidaan käyttää tuotannon kehittämisen tukena. Lähitulevaisuudessa otetaan käyttöön sähköinen erillinen toiminnanohjausjärjestelmä, johon asetuspöytäkirjat voidaan syöttää ja käsiteltävä data saadaan sähköiseen muotoon.

6 ASETUSAJAN LYHENTÄMISEN TUOMAT MAHDOLLISUUDET TUOTANNONOHJAAMISEEN

Työn tarkoituksena on ollut luoda edellytykset Lean-tuotannolle. Aseteajan ja läpimenoajan lyhentäminen hyödyntäen SMED-metodiikkaa on askel kohti kokonaisvaltaisempaa Lean-tuotantoa. Tässä luvussa tarkastellaan esimerkin avulla kehitystyön tuomia valmiuksia JIT-tuotannolle. Laskennassa käytetyt kaavat on esitetty liitteessä 4.

6.1 Kohti JIT-tuotantoa

JIT ei ole sanan varsinaisessa merkityksessä Lean-tuotantoa, mutta sisältää monia Lean-menetelmiä. JITin toteutuminen vaatii valmistussarjojen koon pienentämistä. Tämä taas lisää aseteajoista johtuvien tuotannon seisokkien määrää. Käytännössä joudutaan etsimään oikeaa kustannusoptimia, esimerkiksi suunnittelemalla tuotannolle parhaiten sopivia valmistuseräkokoja ja sitä kuinka monta tuotevaihtoa on käytännössä järkevä toteuttaa. Siispä voidaan todeta, että JIT-tuotannon yksi edellytyksistä on lyhentää aseteaikkaa ja saada se vakioiduksi.

Edellisissä luvuissa käsiteltiin aseteajan vakioimista ja tuotevaihtoprosessin vaatiman ajan lyhentämisestä. Lopputulemana todettiin, että vaihtoprosessia ja linjan konvertointia nopeuttamalla voidaan toteuttaa 46 vaihtoa lisää, eli yhteensä 76 vaihtoa vuoden aikana kohdelinjalla. Kannattavuuden näkökulmasta täytyy löytää vaihtojen määrän osalta se rajakustannus, jossa tuotevaihtojen määrä leikkaa hyödyn.

JIT-tuotannon yksi pääperiaate on toteuttaa tuotanto imuohjautuvasti. Käytännössä toimiva järjestelmä on työntöohjauksen ja imuohjautuvuuden sekoitus oikeassa suhteessa. Asetusaikojen merkittäväällä lyhentämisellä pystytään muuttamaan tuotantoa selvästi joustavammaksi sekä reagoitokyvyltään nopeammaksi. Tämä on yksi edellytys sille, että kysyntä voi määritellä tuotannon. Tarkoitus on saada tuotettua oikea määrä oikeaan aikaan.

6.1.1 Ennuste

Taulukossa 9. on vuosiennuste kysynnälle. Vuosiennuste on saatu kohdeyrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä. Värikoodatut nimikkeet ovat tarkasteltavan linjan volyymituotteita, ja lukuja tarkastelemalla voidaan olettaa näiden osalta kysynnän olevan melko normaalisti jakautunutta.

Taulukko 9. Kysynnän ennuste vuodelle 2019

Desc.	Luokka	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
Tuote 1	B					150							
Tuote 2	B			12			12		24	24	12	12	
Tuote 3	C							120					
Tuote 4	A	700	620	960	1 060	1 840	1 220	1 080	720	1 000	940	1 160	1 020
Tuote 5	A	360	360	480	576	864	564	516	432	588	564	468	552
Tuote 6	A	300		300		300	300	300	300		300	300	300
Tuote 7	A			120		120			120			120	
Tuote 4 variaatio	A	600	660	1 590	1 110	960	1 650	1 155	915	1 725	1 575	1 095	1 095
Tuote 5 variaatio	A	120	132	264	204	192	312	252	156	276	228	192	252
Tuote 6 variaatio	F	102	72	180	168	114	234	162	96	252	228	186	144
Tuote 7 variaatio	F	54	30	72	60	66	126	60	42	72	72	48	60
Tuote 8	F	15			15		15			15	15		
Tuote 9	C								9				
Tuote 10	F			200									
Tuote 11	A			60			60			60			60
Tuote 12	A			120	120	108	132	96	84	84	96	84	84
Tuote 13	A	30	108	102	90	126	114	90	84	132	108	78	108
Tuote 14	B				30			30		30		30	30
Yhteensä tuotettava (kpl)		2 281	1 982	4 460	3 433	4 840	4 739	3 861	2 982	4 258	4 138	3 773	3 705

Yhteensä	Keskihajonta
44 452	907

Yhteensä PVC01-linjan on pystyttävä tuottamaan ennusteen mukaisesti 44 452 kappaletta. Kysyntä on kuitenkin jakautunut kuukausi kohtaisesti hieman epätasaisesti, joten kysynnän keskihajonta on 907 kappaletta. Tämä on tuotannollisesti haastavaa ja tämän lisäksi epätasainen kysyntä on juuri oikeaan aikaan tuottamisen kannalta epäsuotuisaa.

6.1.2 Tuotannon optimointi uusille aseajoille

Taulukkoon 10. muodostettiin kuukausikohtainen tuotanto nimikekohtaisesti. Tuotannon tasoittaminen kysyntään suoritettiin iteroinnilla, niin että tuotanto pystyy vastaamaan kysyntään juuri ja juuri, jottei pääsääntöisesti suoritettaisi ylimääräistä tuotantoa lainkaan.

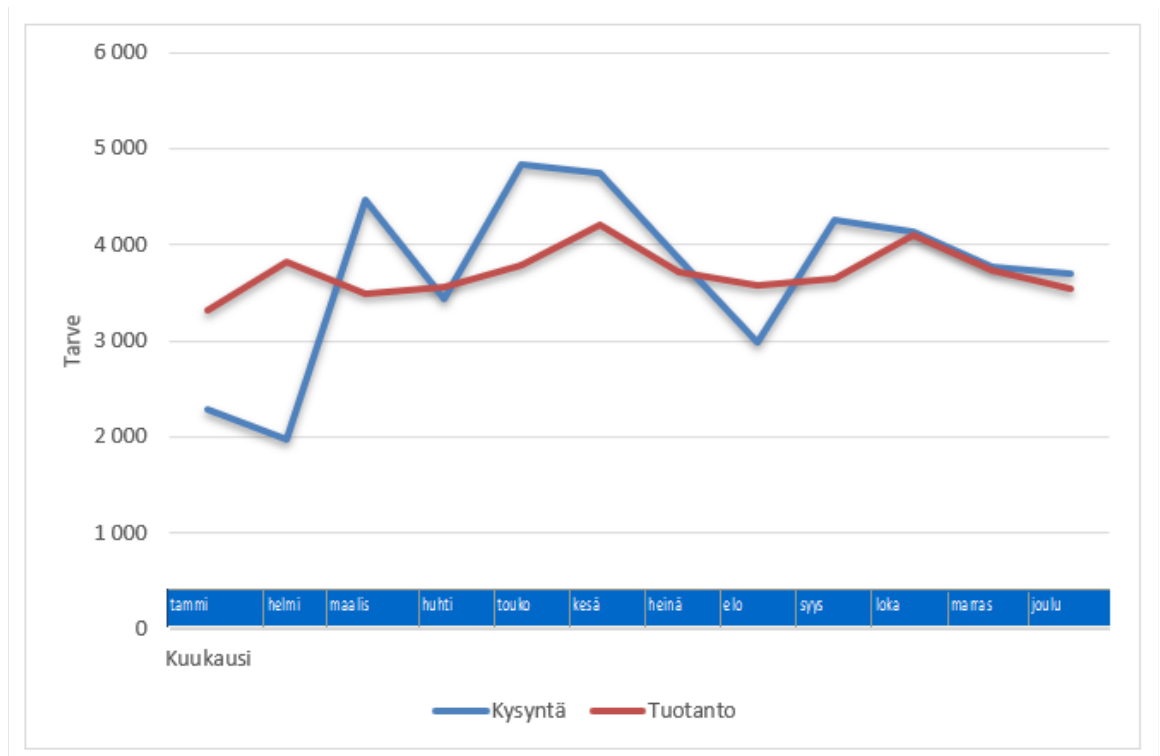
Taulukko 10. Tuotannon tasoittaminen

Desc.	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
Tuote 1				150								
Tuote 2		96										
Tuote 3						120						
Tuote 4 (+var)	1 950	2 130	2 050	2 170	2 200	2 470	2 235	2 135	2 225	2 515	2 255	2 117
Tuote 5 (+var)	730	692	644	680	806	876	768	588	864	792	660	804
Tuote 6 (+var)	302	352	300	302	414	400	462	396	252	528	486	444
Tuote 7 (+var)	119	116	127	60	100	126	60	162	72	72	168	60
Tuote 8	75											
Tuote 9							9					
Tuote 10		200										
Tuote 11		120						120				
Tuote 12		120	120	108	132	96	84	84	96	84	84	
Tuote 13	138		102	90	126	114	90	84	132	108	78	108
Tuote 14			150									
Yhteensä tuotettava (kpl)	3 314	3 826	3 493	3 560	3 778	4 202	3 708	3 569	3 641	4 099	3 731	3 533
Vaihtojen lukumäärä	6	8	7	7	6	7	7	7	6	6	6	5

Yhteensä Keskihajonta

Yhteensä tuotettava (kpl)	44 454	251
Vaihtojen lukumäärä	78	1

Tuotanto pyrittiin tasoittamaan kuukausijaottelulla siten, että tuotannon toimintasuhde saadaan maksimoitua. Kysynnän piikkejä ennustetaan etukäteen, mutta kuitenkin siten, että pystytään vastaamaan kysyntään täsmällisesti. Puskurointi, joka nähdään kuvassa x. tammi – helmikuun välisenä aikajaksena aiheuttaa hieman enemmän kuukausikohtaisia varastoja, mutta kokonaisuuden kannalta tämä on välttämätöntä. Kuitenkin varastoon sitoutunut pääoma muun toimintakauden aikana saadaan pidettyä hyvin hallinnassa.



Kuva 41. Iteroitu tuotannon tasoittaminen.

Kuva 40. on eräänlainen kuormituspiirros, joka hahmottelee tuotannon mukauttamista kysyntään. Mikäli kysyntä on ennustettua korkeampaa, ei tämä muodostu ongelmalliseksi, sillä tuotantoaika on käytettävissä, jos volyyymiä todetaan tarvitsevan lisää.

Tasoittamisen lopputulemana saadaan tuotannon keskihajonta tiputettua noin 251 kappaleeseen. Volyymituotteet muodostettiin yhden nimikkeen alle ja ohjeistaen näitä nimikkeitä tuotettavan samassa valmistuserässä tarvittavan suhteen verran, sillä ainoa

muuttuja on nimikkeen leikkauspituus. Näin ollen voidaan volyymituotteiden kohdalla priorisoida leikkauspituuden suhteen ja saavutetaan parempi kyky vastata todelliseen kysyntään, muuttamalla valmistussuhdetta tai kasvattamalla valmistuserän pituutta. Vaihtojen lukumäärä on tässä havainnollistavassa esimerkissä noin 78 kappaletta, mikä on teoriassa täysin mahdollista, jos vaihtoajoissa onnistutaan implementoimaan ehdotettu asetusprosessi ja työjärjestys. Vaihtoja tapahtuisi kuukausitasolla noin 7 kappaletta ja nimikkeiden valmistuseriä ajetaan kerran kuukaudessa. Tuotannon suunnittelun tehtävä on muodostaa esimerkiksi esitetyn taulukon pohjalta kiinteä tuotantocykli, jossa loogisesti poistetaan epäsuotuisat vaihdot tuotevaihtojen välillä. Toisin sanoen pyritään priorisoimaan ensisijaisesti suulakkeenvaihtoja ja sitten putkityökalun vaihtoja, jotka ajetaan rungon teknisten rajoitteiden sisällä dimensio kerrallaan alaspäin. Näin ollen pystytään maksimoimaan tuotantoaika ja minimoimaan asetuskustannukset. Hienosuunnittelu toteutetaan tarvittaessa tuotannosta saadun informaation pohjalta ja myynnin toiveiden mukaisesti, eli kasvatetaan tarvittaessa jonkin nimikkeen eräkokoja tai tarpeen vaatiessa ajetaan lisävalmistuseriä.

6.1.3 Erä- ja tuotantoaika

Taulukkoon 11. muodostettiin PVC01-linjan suorituskykytiedot. Potentiaaliseen tuotantoaikaan on huomioitu nykytila-analyysissä kartoitetut häiriöt ja kehitysehdotuksen mahdollistamat asetusajat. Asetusaika (387 min) oletetaan tässä laskelmassa olevan kutakuinkin yhtä suuri putkityökalun vaihdolle kuin suulakkeen vaihdolle.

Taulukko 11. Tuotantolinjan suorituskyky

Tuotantolinja	PVC01-linja		
Kokonaistuotantoaika	1 095	vuoroa x	8 h
Linjan ylös- ja alasajo/a	78	vaihtoa x	387 min (6,45 h)
Linjan ylös- ja alasajo/kk	7	vaihtoa x	387 min (6,45 h)
Häiriöt ja huoltoseisokit (h/a)	1176		h/a
Teoreettinen tuotantoaika (h/a)		8 760	
Potentiaalinen tuotantoaika (h/a)		7 081	
Potentiaalinen tuotantoaika (h/kk)		590	

Potentiaalista tuotantoaikaa on kuukausitasolla 590 tuntia, mikä tukee väitettä, että tarpeen mukaisesti voidaan varautua tuottamalla hetkellisesti enemmän stokastisissa

kysyntätilanteissa, eli tilanteissa missä kysynnän ennustaminen ei ole tarkasti mahdollista.

Keskimääräinen ajoaika nimikkeille on nykytilassa noin 70 tuntia. Tasoituksen jälkeen keskimääräiseksi valmistuserän ajoajaksi muodostuu noin 18 tuntia per nimike, jos suoritetaan ehdotettu määrä vaihtoja toimintavuoden aikana. Kuukaudessa tuotantoa pitäisi muodostua tällöin keskimäärin noin 248 ajotunnin edestä.

Taulukko 12. Valmistuserien pituudet tunneissa.

Desc.	Tuotantonopeus kpl/h	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
Tuote 1	7,7	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0
Tuote 2	5,1	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tuote 3	3,9	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0
Tuote 4 (+var)	20,2	96	105	101	107	109	122	111	106	110	124	112	105
Tuote 5 (+var)	14,2	51	49	45	48	57	62	54	41	61	56	46	57
Tuote 6 (+var)	9,7	31	36	31	31	43	41	48	41	26	55	50	46
Tuote 7 (+var)	6,2	19	19	20	10	16	20	10	26	12	12	27	10
Tuote 8	47,2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tuote 9	13,8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Tuote 10	30,0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tuote 11	3,0	0	39,99996	0	0	0	0	0	39,99996	0	0	0	0
Tuote 12	20,0	0	6	6	5	7	5	4	4	5	4	4	0
Tuote 13	14,0	10	0	7	6	9	8	6	6	9	8	6	8
Tuote 14	2,0	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aika yhteensä (ajoaika yht.)		210	280	286	227	240	289	233	264	223	258	245	224
Keskim. valmistuserän pituus		15	20	20	16	17	21	17	19	16	18	17	16

6.1.4 Varastot

Taulukossa 13. on suunniteltu tuotannonohjausparametrit taulukossa 13. esiintyvälle tasoitetulle ennusteelle. Värit indikoivat tilausohjautuvia ja varasto-ohjautuvia tuotteita. Näitä on hieman muuteltu alkuperäisestä ABC-luokituksesta, jotta tuotantoa saadaan järkevöitettyä. Näiden värikoodien lisäksi taulukossa on tumman sinisellä tuotteita, joiden kysyntä on alhaista, mutta ovat tästä huolimatta varasto-ohjautuvia alkuperäisen luokituksen mukaan.

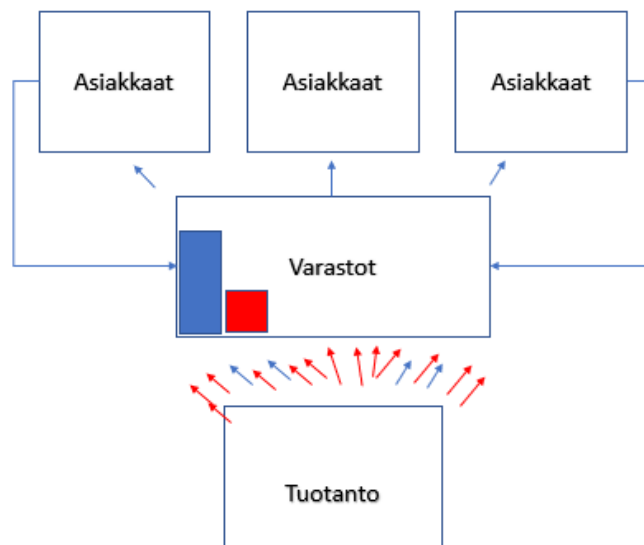
Taulukko 13. Tuotannonohjausparametrit

Desc.	Keskihajonta	Kysyntä yhteensä	Keskimääräinen kysyntä viikossa	Viikkokulutuksen odotusarvo	Keskimääräinen täydennyserä koko	Leadtime (L)	Tilauspiste	Täydennysajan kulutuksen odotusarvo	Varmuusvarasto (SL=95%)	Keskivaraasto	Varaston kiertonopeus
Tuote 1	0	150	150	0	-	30	0	0	0	0	0
Tuote 2	0	96	96	2	-	30	0	0	0	0	0
Tuote 3	0	120	120	2	-	30	0	0	0	0	0
Tuote 4 (+var)	159	26 452	551	509	2 204	30	2 465	2 204	261	1 363	19
Tuote 5 (+var)	91	8 904	186	171	742	30	891	742	149	520	17
Tuote 6 (+var)	86	4 638	97	89	387	30	527	387	141	334	27
Tuote 7 (+var)	39	1 242	26	24	104	30	167	104	64	116	40
Tuote 8	0	75	75	1	-	30	0	0	0	0	0
Tuote 9	0	9	9	0	-	30	0	0	0	0	0
Tuote 10	0	200	200	4	-	30	0	0	0	0	0
Tuote 11	0	240	120	5	-	30	0	0	0	0	0
Tuote 12	18	1 008	101	19	84	30	433	84	30	72	14
Tuote 13	20	1 170	106	23	98	30	458	98	33	81	14
Tuote 14	0	150	150	0	-	30	0	0	0	0	0
		Tilausohjautuva	Varasto-ohjautuva					Yhteensä	677	2 486	

Tumman sinisille määrällisesti vaadittava tuotanto on pientä. Kysyntä kohdistuu yksittäisille kuukausille, joiden etäisyys toisistaan on vaihteleva ja kohtalaisen pitkä. Näiden tuotteiden kohdalla on kannattavaa tuottaa koko vuoden tarve kerralla, jotta ajoerästä saadaan taloudellisempi. Tilausohjautuvien tuotteiden kohdalla pyritään myös samaan ajatukseen, määrittäen minimivalmistuserä nimikekohtaisesti sekä tilannekohtaisesti, jotta voidaan tuottaa taloudellinen valmistuserä.

Tuotannonohjaus määritettiin tilauspistemethodella, jossa tilauspiste (ts. hälytysraja) määrittelee tässä kontekstissa tuotantoimpulssin ja esimerkiksiin perustuen

varasto-ohjautuvien tuotteiden täydennysviive on 30 tuotantopäivää, eli jokaista linjalla tuotettavaa varasto-ohjautuvaa nimikettä valmistetaan kerran kuukaudessa. Täydennyseräkokoo ei ole vakio, vaan erän koko katsotaan aina tilannekohtaisesti. Ennusteessa varasto-ohjautuvien nimikkeiden kohdalla kysynnän voidaan olettaa olevan normaalisti-jakautunutta, joka nähdään taulukosta 13. Tällöin varmuusvarastoihin voidaan hyödyntää Poisson-jakaumaa varmuusvarastoja määrittäessä, kun tapahtumien todennäköisyys on ajassa kohtalaisen vakio ja riippumaton edellisestä tapahtumasta. Palveluaste, eli normitetun normaalijakauman kertymäfunktio määritettiin varastoille yleisen standardin mukaisesti 95 prosenttiin, eli noin 5 prosentissa toimituksissa voi esiintyä puute. Näin saadaan varmuusvarastojen arvot. Kiertonopeudeksi varastoille muodostuu keskiarvoisesti noin 40 vaihtoa vuodessa, joka on kiitettävä lukuarvo varastoon sitoutunutta pääomaa arvioiden ja JIT onnistumisen.



Kuva 42. Materiaalivirran merkitys tuotevaihtoja kasvattamalla

Kuvassa 41. demonstroidaan yksinkertaisesti vaikutusta varastoihin kasvattamalla vaihtojen lukumäärää. Täydennyksiä tapahtuu kolme kertaa enemmän varastoihin, jolloin täydennystiheyden vuoksi varastojen tasot laskevat. Nykytilassa täydennysviive valmistuserälle voi olla jopa vuoden, sillä joidenkin nimikkeiden vuotuinen tarve saatetaan tuottaa yhdessä erässä. Tässä esimerkki hahmotelmassa täydennysviiveksi asetettiin jokaiselle varasto-ohjautuvalla nimikkeelle 30 päivää,

jonka seurauksena varastoja voidaan pitää nykyistä tasoa huomattavasti alhaisempina kuitenkin toimitusvarmuus säilyttämällä ennallaan.

6.2 Yhteenveto

JIT-tuotantosysteemillä on etuja perinteisiin malleihin nähden. Eräkokoja voidaan pienentää, joka johtuu mahdollisuudesta tehdä nopeita tuotevaihtoja. Tämä pienentää tuotannon yksikkökustannuksia vähentämällä varastoihin sitoutunutta pääomaa. Asetuskustannukset tulevat likimain pysymään entisellä tasollaan johtuen kasvaneista tuotevaihtoista. Ennusteiden valossa suunnitteleminen on suuntaa antava ja todellinen kysyntä voi vaihdella merkittävästi, joka saattaa vaikuttaa lopulliseen toteutukseen. Voidaan kuitenkin todeta, että tuotanto on asetusprosessin kehittämisen jälkeen merkittävästi joustavampi sekä kysynnän vaihteluihin pystytään reagoimaan nopeasti ja tehokkaasti.

Vuosiennusteita käytettiin esimerkkinä prosessinkehityksen mahdollisuuksien hahmotteluun. Tarkoituksena oli suunnitella esimerkit tuotannonohjaukselle, jotka ottaisivat maksimaalisen hyödyn lyhentyneestä läpimenoajasta ja parantuneesta materiaalivirrasta. Lisähuomiona ja jatkokehityksen kannalta JIT-tuotanto on hyvin kriittinen laitteiden toimivuudesta. Seuraava kehitysaskel olisi saada OEE-luku (Overall Equipment Effectiveness, suom. KNL) mahdollisimman korkeaksi, eli panostaa käytettävyyteen, nopeuteen ja erityisesti laatuun.

7 POHDINTA JA JATKOTUTKIMUS

Tämän työn konsepti voi olla haastava nykyisellä työvoimalla. JIT-tuotanto ja nopeat asetusajat voivat olla mahdollisia nykyisellä työvoimalla yhdellä tai muutamalla linjalla, mutta kaikkien polypropeeni- ja polyvinyylidikloridi-linjojen mukaan ottaminen voi vaatia lisätyövoimaa tuotantoon. Toisaalta kehitystyön lopputuloksena työjärjestyksen ollessa joustavampi ja tämän seurauksena tuotannon suunnitelmallisuuden kasvaessa ovat myös työntekijöille jakautuvat työkuormat tasapainoisempia. Aikataulunhallinnan ja parantuneen suunnitelmallisuuden johdosta työvoima on allokoitavissa paremmin tuotannon kannalta tärkeisiin tehtäviin.

Hukkien eliminointi oli yksi tärkeä osa-alue, jotta valmistusprosessissa saadaan mahdollisimman vähin resurssein tuotettua mahdollisimman paljon. Asetusaikaa ja läpimenoaikaa lyhentämällä ei saavuteta kaikkea, mutta se vähentää hyvin monta tyypillistä hukkaa. Kehitystyön tuloksena perustuen 4-M-metodiin on pyritty juuri näitä hukkien osatekijöitä vähentämään kohdeyrityksen valmistusprosessista.

Hukat, jotka saadaan poistettua		Hukat, jotka tarvitsevat lisäselvitystä: Poikkeava laatu, jalostus materiaali, kakkoslaatuiset tuotteet, koneiden hajoamiset
Materiaali varastot	Ihminen Etäisyydet, odotusajat, etsimisajat ja liikehännät	
Kone asetusajat ja säädöt, pysäytykset ja käynnistämiset	Metodit Väärä aikataulutus, varastonhallinta, ohjeet ja asetukset	

Kuva 43. Kehitystyön lopputuleman hukkien poistaminen pohjautuen 4-M fishbone-diagrammiin.

Asiat joihin, pystytään tämän kehitystyön tuloksena vaikuttamaan ovat: koneeseen asetusajojen ja läpimenoajojen muodossa ja ihmisiin vähentämällä odotus- ja etsimisaikoja sekä turhaa liikehdintää linjalla. Viimeiseksi vaikutettiin metodeihin,

standardoimalla asetusprosessi ja muodostamalla aikataulullinen työjärjestys linjan käynnistämisen nopeuttamiseksi.

Nopeat asetusajat mahdollistavat tuottamisen juuri oikeaan tarpeeseen. Tällöin voidaan täydentää varastoja tiheämmin ja tasaisemmin, joka näkyy pienentyneinä varastotasoina ja parantuneena varastojen kiertonopeutena. Hukat, jotka vaativat lisäselvitystä ovat laatu ja materiaalin käyttö. Tehokkaampi materiaalien hallinta vaatii tuotannon muuttamisen enemmän automatisoiduksi, esimerkiksi robotiikan avulla. Tällä hetkellä kohdeyrityksen suurin hukka syntyy materiaalihävistä. Tuotteiden poikkeava laatu, eli kakkoslaatuiset tuotteet tuovat suuria materiaalienetyksiä, jotka ovat tällä hetkellä suurin yksittäinen kustannuserä.

Tulevaisuudessa olisi tärkeää saada tuotantolinjojen OEE-lukua nostettua (Taulukko 14.). Tämän diplomityön tuloksena käytettävyyttä voidaan nostaa, mutta laatukerrointa täytyy saada nykyistä selvästi paremmalle tasolle. Laatukerroin määrittyy tuotannon ja hylätyn tuotannon mukaisesti, joten on tärkeää kehittää tuotteiden laatua parantavia tekijöitä. Kunnossapidon kehittämisen merkitys on myös tärkeässä roolissa OEE-luvun nostamisessa. Keskimääräistä korjausaikaa MTTR-lukua (Mean time to repair) ja linjojen keskimääräistä vikaväliä MTBF-lukua (Mean time between failures) on pienennettävä, jotta linjojen toiminta-astetta saadaan kasvatettua.

Taulukko 14. OEE-luvun laskenta

Nimi	Yksikkö	Laskentakaava
Tuotantojärjestelmän tehokkuuden kaavat		
Käyttöaste	%	Käyttöaika / kalenteriaika
Käytettävyyys (K)	%	Käyntiaika / (Käyntiaika+seisokkiaika)
Toiminta-aste (N)	%	Tuotanto / (Tuotantokyky x käyttöaika)
Laatukerroin (L)	%	(Tuotanto-Hylätty tuotanto) / Tuotanto
Kokonaistehokkuus	%	$K \times N \times L = KNL / OEE$
Tuotantojärjestelmän luotettavuus		
Keskimääräinen korjausaika (MTTR)	h	Korjausaikojen summa / Häiriöiden lukumäärä
Keskimääräinen vikaväli (MTBF)	h	Kalenteriaika / Häiriöiden lukumäärä

Relevantti jatkotutkimusaihe olisi kartoittaa robotiikan mahdollisuudet tuotannolle. Tällä hetkellä suurimmat taloudelliset menetykset tulevat hylätystä tuotannosta ja laatuvirheistä. Materiaalinen tehokas käyttäminen toisi arvoa yritykselle niin taloudellisesti kuin ekologisesti. Robotiikkaa voisi hyödyntää esimerkiksi tässä diplomityössä tarkastellussa linjassa automaattiseen kalibrointiin. Tällä hetkellä kalibraatio tehdään koeajojen aikana manuaalisesti. Manuaalinen kalibraatio sitoo työvoimaa ajallisesti ja ennen kaikkea manuaalinen työ on hyvin tehotonta verrattuna robotin kykyyn antureiden avulla kalibroida linjaa reaaliaikaisesti.

Robotiikan avulla päästään lähemmäksi täydellistä tuotantoa. Tämänlaisessa tuotannossa OEE-luku on lähellä 100 prosenttia. Täydellisessä tuotannossa koneet toimivat jatkuvasti, käyvät niiden teoreettisilla maksiminopeuksilla ja eikä synny laatuhäviöitä. Teollisuuden keskimääräinen OEE-luku on vain noin 60 prosenttia, mutta yli 85 prosenttiin pääseviä yrityksiä pidetään jo todella tehokkaina toimijoina. (Arrow, 2016) Tähän tavoitteeseen kohdeyrityksessä voidaan päästä keskittämällä resursseja kunnossapidon kehitykseen ja kartoittamalla mahdollisuudet eri prosessien automatisoinnille.

Teollisuus on hyvin vahvasti suuntaamassa SCM 4.0 (Supply Chain Management) kohti, jossa kasvavissa määrin prosesseja automatisoidaan kustannustehokkuuden saavuttamiseksi. On fakta, että tekoälyn tuomat mahdollisuudet on otettava vakavasti tänä päivänä, jotta kilpailukykyä voidaan tehostaa. SCM 4.0 ei tarkoita tavallisten tuotantotyöntekijöiden korvaamista, vaan heidän työpanoksensa allokoimista niihin tehtäviin, jossa sitä eniten tuotannon kannalta tarvitaan.

8 YHTEENVETO

Diplomityön päätavoitteena oli asetusaikojen lyhentämisen mahdollisuuksien tutkiminen SMED-metodiikkaa hyödyntäen. Työssä selvitettiin miten ja millä keinoin asetusajan lyhentäminen on mahdollista. Asetukset ovat tuotannon toimivuuden kannalta erityisen tärkeitä, sillä asetukset vaikuttavat useisiin asioihin suoraan tai välillisesti. Nopeat asetukset mahdollistavat nopeat läpimenoajat sekä useampien tuotevaihtojen suorittamisen, eli parantavat tuotannon materiaalivirtoja. Aetusajan lyhentäminen tuo useita tuotannon tehokkuutta parantavia vaikutuksia, kuten mahdollistavat eräkokojen pienentämisen, useampien valmistuserien ajamisen tuotantokoneiden kapasiteetin kasvun ja tuotannon tehollisen ajan parantumisen käyntiajan kasvun myötä. Nämä tekijät vaikuttavat muun muassa tuotannon joustavuuteen, reagointikykyyn ja ohjaustapoihin. Positiiviset vaikutukset näkyvät pienentyneinä varastotasoina, parempana toimitusvarmuutena ja tuotannon toiminta-asteen kasvuna kohdeyrityksessä.

Kehitystyön tuloksena asetusaika pieneni noin 80 %. Asetusprosessin virtaviivaistaminen ja standardointi lisää tuotannon suunnitelmallisuutta, jolloin tuotevaihtoissa voidaan ehkäistä turhia seisokkeja samalla maksimoiden tuotannon tehollinen aika. Asetusprosessin kehityksen vaikutuksen tehostamiseksi työssä suunniteltiin myös koko linjalle optimaalinen standardoitu työjärjestys, joka on erityisen tärkeä läpimenoajan kehityksen kannalta. Ilman linjan työjärjestyksen standardointia, valmistuksen läpimenoajan kehittyminen olisi jäänyt huomattavasti heikommaksi. Kehitysehdotuksen mukaisesti toteutettuna valmistuksen läpimenoaika pienenee noin 64 % alkuperäisestä läpimenoajasta.

Mittauksissa asetusaikojä kaikille useille eri tyyppisille asetuksille ei pystytty määrittämään käytettävän ajan puitteissa, mutta työssä kuitenkin onnistuttiin määrittämään yleisaika-arvo asetuksille, jota voidaan käyttää tulevaisuudessa suunnittelun tukena. Asetusprosessin kehityksen lopputulos on monistettavissa sellaisenaan muille kohdeyrityksen tuotantolinjoille, sillä ne ovat toimintaperiaatteeltaan ja asennusteknisesti samankaltaisia.

Työssä tarkasteltiin myös mitä mahdollisuuksia asetusajan lyhentäminen tuo tuotannonohjaukselle. SMEDin tuomat parannukset asetuksiin mahdollistavat kohdeyrityksen tuotannonohjaukseen muuttamista työntöohjautuvasta enemmän imuohjautuvaksi, eli tuotantoa ohjaisi pääsääntöisesti asiakkaiden kysyntä. JIT-tuotannon edellytykset ovat nopeat läpäisyajat ja lyhyet asetusajat. Tässä diplomityössä on luotu valmiudet juuri oikeaan aikaan tuottamiselle. Valmiuksilla tarkoitetaan kykyä tuottaa pienempiä eräkokoja ja suorittaa useampia tuotevaihtoja, kuitenkin säilyttäen toimitusvarmuus. Tämän vuoksi SMED on keskeinen edellytys JIT-tuotantofilosofialle.

Yhteenvetona voidaan todeta, että johdannossa määritetyt tavoitteet saavutettiin pääongelmalle sekä alaongelmille kokonaisuudessaan. Tämä työ on ollut aiheena erittäin mielenkiintoinen ja se on antanut kohdeyritykselle tärkeää tietoa asetusajoista ja erityisesti tiedon siitä, miten asetusaikaa voidaan lyhentää. SMEDin antamat mahdollisuudet tuotannolle ovat käytännössä ensisijainen edellytys kehityskulussa kohti kokonaisvaltaisempaa Lean-tuotantoa. Työn onnistunut implementoiminen tulee tuomaan kohdeyritykselle merkittäviä säästöjä pitkällä aikavälillä.

LÄHTEET

Argoneto, P., Perrone, G., Renna, P. Production Planning in Production Networks: Models for Medium and Short-term Planning. London. Springer. ISBN 978-1-84800-057-5

Arrow Engineering Oy. 2018. ”SMED-menetelmällä nopeammat tuotevaihdot”. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 20.3.2019] Saatavissa: <https://blogi.arroweng.fi/smed-menetelmalla-nopeammat-tuotevaihdot-opas>

Arrow Engineering Oy. 2016. ”Mitä on OEE/KNL?”. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 20.3.2019] Saatavissa: <https://blogi.arroweng.fi/mit%C3%A4-on-oee/-knl>

Bowersox, D.J., Closs, D.J., Cooper, M.B. & Bowersox, J.C. 2013. Supply Chain Logistics Management. New York, NY: McGraw-Hill. ISBN: 978-0078024054

Chapman, Christopher. 2005. ”Clean House With Lean 5S. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 22.3.2019] Saatavissa: https://leanconstruction.org.uk/wp-content/uploads/2018/09/Clean-House-with-5S-J-Rubio_0.pdf

Chiarini, Andrea. 2013. Lean Organization: from the Tools of the Toyota Production System to Lean Office. Italy: Springer ISBN 978-88-470-2509-7

Garcia-Alcaraz, J., Maldonado-Macias, A., Cortes-Robles, G. 2014. Lean Manufacturing in the Developing World. Switzerland: Springer ISBN 978-3-319-04951

Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I., Miettinen, A. 2005. Teollisuustalous. Tampere. Infacs Oy. ISBN 951-96765-5-4

Hokkanen, S., Karhunen, J. & Luukkainen, M. 2011. Johdatus logistiseen ajatteluun. 6. painos. Kangasniemi: Sho Business Development. ISBN 978-95-26674-018

Hopp, J. Wallace. 2003. Supply Chain Science. New York: Waveland Pr Inc ISBN 978-1577667384

Koski, H., Koskenvesa, A., Mäki, T., Kivimäki, C. 2010. Rakentamisen tuotantotekniikka. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Krajewski, L.J., Malhotra, M.K., Ritzman, L.P. 2013. Operations Management: Processes and Supply Chains. New York, NY: Pearson. ISBN 978-0-13-474106-2

Lang, Christian. 2009. Production and Inventory Management with Substitutions. Springer Heidelberg Dordrecht London New York. ISBN 978-3-642-04246-1

Lapinleimu, I., Kauppinen, V., Torvinen, S. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo. WSOY. ISBN 951-0-21436-1

Lapinleimu, Ilkka. 2000. Idealiitehdas: Tehtaan suunnittelun teorian kiteytys. Tampere. Tampereen teknillinen korkeakoulu. ISBN 952-15-0415-3

Liker, K. Jeffrey. 2004. The Toyota Way: 14 Management principles from the World's Greatest Manufacturer. McGraw-Hill ISBN 0071392319

Logistiikan Maailma. 2018. ”JIT (Just-in-time) ja imuohjaus”. [Verkkójulkaisu] [Viitattu 20.3.2019] Saatavissa: <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/tuotanto/prosessien-kehittaminen/jit-just-in-time-ja-imuohjaus/>

Lopresti, James. 2018. "Single Minute Exchange of Die (SMED) Definition and Example". [Verkkajulkaisu] [Viitattu 20.3.2019] Saatavissa: <https://www.sixsigmadaily.com/single-minute-exchange-of-die-smed-definition-example/>

Pinto, J., Matias, J., Pimentel, C., Azevedo, S., Govindan, K. 2018. Just in Time Factory: Implementatiuon Through Lean Manufacturing Tools. Switzerland; Springer ISBN 978-3-319-77015-4

Ritvanen, V., Inkiläinen, A., Bell, A., Santala, J. 2011. Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet. Saarijärvi: AT-Julkaisutoimisto Oy ISBN 978-952-67347-1-2

Seeck, Hannele. 2008. Johtamisopit Suomessa: taylorismista innovaatioteorioihin. Gaudeamus Helsinki University Press ISBN 978-952-495-066-4.

Shingo, S. 1985. A Revolution in Manufacturing: The SMED system. Tokyo. Japan Management Association. ISBN: 0-915299-03-8

Sisk, Annie. List of Objectives of Production Planning. 21.11.2018. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 6.3.2019] Saatavissa:

Spearman, L. Mark., Hopp, J. Wallace. 2008. Factory Physics: Third edition. Illinois, USA: Waveland Press, Inc. ISBN 1-57766-739-5

Sutherland, J., Canwell, S. 2004. Key Concepts in Operations Management. Hampshire: Palograve macmillan. ISBN 978-1-4039-1529-0

Teconomark Oy. 2019. "Lean ja logistiikka". [Verkkajulkaisu] [Viitattu 20.3.2019] Saatavissa: <http://www.teconomark.fi/index.php/lean-ja-logistiikka?start=5>

TopMBA.com. "What is Operations Management?". 2014. [Verkkajulkaisu] [viitattu 6.3.2019] Saatavissa: <https://www.topmba.com/mba-programs/what-operations-management>

Uitto, Jesse. 2019. Varmuusvaraston laskenta. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 29.4.2019] Saatavissa: <http://jesseuitto.fi/laskureita/varmuusvarasto/>

Uponor Investors. 2019. Vuosikertomus [Verkkajulkaisu] [Viitattu 24.3.2019] Saatavissa: <https://investors.uponor.com/fi/ir-aineisto-ja-uutiset/sijoittajauutiset/uponor-oyj-n-vuosikertomus-2018-julkaistu>

LIITE 1. Kehitysehdotus

Kehitysehdotus perustuu luvussa 5 perusteltuihin muutos- ja kehitystoimenpiteisiin aseteaikojen ja läpimenoajan lyhentämisestä. Työselostetta noudattamalla voidaan saavuttaa teoriassa laskettu lyhennetty asetusaika 80 prosenttia alkuperäisestä ja saavuttaa noin 64 prosentin parannus valmistuksen läpimenoajan lyhentämiseen.

Työjärjestyksen seloste:

Ennen tehtävän aloitusta varmistetaan, että linjalle on kerätty etukäteen putkityökalun asettamiseksi sekä linjan konvertoimiseksi tarvittavat linjakomponentit, osat ja työkalut.

Vaihtoprosessi alkaa (päättös tuotevaihdosta):

1. Työ aloitetaan aina tuotantosuunnitelman mukaisesta putkityökalun suunnittelusta. Tarvittavat osat kerätään ja niiden puhtaus varmistetaan.
2. Putkityökalun kasaaminen aloitetaan. Komponentit puhdistetaan, jos puhdistuksen laatu ei vastaa niille asetettuja laatustandardeja. Työkalun konfiguraatio suoritetaan tuotantosuunnitelman mukaisesti.
3. Valmis kokoonpano asetetaan nyt lämmitykseen kuudeksi tunniksi.

Päättölinjan sammuttamisesta:

4. Linja sammutetaan oikealla ajoituksella, eli noin 5 tunnin ja 30 minuutin jälkeen kokoonpanopaikalla olevan uuden putkityökalun lämmityksen aloittamisesta.
5. Linjan alkupään läpi ajetaan aloitusmassa ja tähän varataan noin 30 minuuttia aikaa.
6. Aloitusmassan onnistuneen ajon jälkeen, vanhan työkalun irrotustoimenpiteet linjasta aloitetaan.

- 6.1** Laitoshoitaja kiinnittää työkalun nosturiin, irrottaa putkityökalun kaulan ekstruuderista, irrottaa työkalun lämmityksestä.
- 6.2** Samanaikaisesti linjahoitaja 1 aloittaa ekstruuderin kaulan, suodattimien ja tyhjiön putsamisen ja linjahoitaja 2 aloittaa vaihtamaan alipainesäiliön seinämän tulkkia ja putsaa tämän. Tässä vaiheessa uusi työkalu on lämmennyt riittävästi.
- 7.** Vanhan työkalun siirto purkupaikalle aloitetaan ja kytketään välittömästi lämmitykseen saapuessa purkupaikalle. Nosturin leuka vaihdetaan uuteen työkaluun, jonka siirtäminen aloitetaan välittömästi sen lämmityksen lopettamisen jälkeen.
- 7.1** Linjahoitajien toimesta ekstruuderin on putsattu sekä uusi tulkki on kiinnitetty alipainesäiliön seinämään, jotta uuden työkalun siirtäminen linjalle on mahdollista
- 7.2** Molemmat linjahoitajat valmistelevat nyt yhteistyössä alipainesäiliötä.
- 8.** Uusi työkalu siirretään linjalle, kiristetään kaula ekstruuderin, kytketään lämmitys ja tehdään silmämääräinen kohdennus tulkkiin.
- 9.** Putkityökalun kiinnityksen jälkeen laitoshoitaja siirtyy linjan loppupäähän valmistelemaan muhvainta.
- 9.1** Alipainesäiliön valmistuttua toinen linjahoitaja voidaan tarvittaessa vapauttaa tehtävästään ja palauttaa henkilökohtaiseen tehtävään. Muutoin edetään linjalla eteenpäin yhdessä. Työ siirtyy alipainesäiliön jälkeen leikkurille, josta edetään vetimen kautta jäähdytysäiliölle.

9.2 Laitoshoitajan viimeistellessä muhvainta, linjahoitaja tuo linjalle vetoputken, joka työnnetään alipainesäiliölle.

9.3 Linjahoitajat ovat viimeistelleet linjan konvertoimisen.

Päätös linjan käynnistämisestä

10. Muhvaimen valmistuessa, laitoshoitaja käynnistää linjan ja aloittaa aloitusmassan ajamisen. Linjan täytyisi tällöin olla konvertoinnin osalta valmis.

11. Aloitusmassan jälkeen linjahoitajat voidaan vapauttaa kokonaan tehtävistään. Laitoshoitaja aloittaa linjan koeajot ja kalibroinnin.

12. Todetessa linjan tuottavan hyväksyttävän laatuista tuotetta, siirrytään kokoonpanopaikalle purkamaan ja puhdistaman vanha putkityökalu. Lämmityksen johdosta tämä on mahdollista jälkeenpäin linjan käydessä.

13. Puretut sekä puhdistetut osat siirretään varastoitaviksi niille kuuluville paikoille. Linja käydään siivoamassa ja varastoimassa linjasta irrotetut osat niille kuuluville paikoille.

Vaihtoprosessi päättyy

Linjan sammuttaminen ja käynnistäminen tulee dokumentoida. Asetuspöytäkirjaan tulee kirjata ylös tehtävän (Jobin) alkamisaika ja päättymisaika. Täytetyt tuotantopöytäkirjat toimitetaan työnjohtajille tai vaihtoehtoisesti suoraan taukotilassa sijaitsevaan postilaatikkoon (Liite 2.)

LIITE 2. Tuotantopöytäkirja

Tuotantopöytäkirja täytetään aina linjalla tapahtuvien asetus- ja muutostehtävien yhteydessä. Tämän pöytäkirjan tarkoituksena on tuottaa informaatiota vaihtojen viemästä ajasta ja hyödyntää tätä tietoa tuotannon suunnittelun tukena.

Tuotantopöytäkirja	
Vaihto-operaatio	
Linja tunnus:	_____
Työkalu:	_____
Dimension muutos:	_____
Tuote:	_____
Tehtävän suorittaminen	
Alkaa:	Pvm: _____ Klo: _____
Linjan pysäyttäminen:	Pvm: _____ Klo: _____
Linjan Käynnistäminen:	Pvm: _____ Klo: _____
Päättyy:	Pvm: _____ Klo: _____
Huomiot:	<div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div>
Tehtävän suorittajat:	_____

Esimerkki tuotantopöytäkirjasta:

Tuotantopöytäkirja		
Vaihto-operaatio		
Linja tunnus:	PVC 01	
Työkalu:	RKX	
Dimension muutos:	500mm/250mm	
Tuote:	Pressure/Sewer	
Tehtävän suorittaminen		
Alkaa:	Pvm:28.4.2019	Klo: 07:30
Linjan pysäyttäminen:	Pvm:29.4.2019	Klo: 10:00
Linjan käynnistäminen:	Pvm:29.4.2019	Klo: 15:00
Päättyy:	Pvm:29.4.2019	Klo: 16.00
Huomiot:	Ongelmat, puutteet, häiriöt, jne.	
Tehtävän suorittajat:		

LIITE 3. Mittauspöytäkirja

TYÖKALUN KOKOONPANO, Vaihto-operaatio PVC12

9:15 Tapin vastuksen irroittaminen
9:17 Tapin irroittaminen
(Työkalun etsiminen 2min)
9:23: puhdistetaan tappi
(Suojaöljyn etsiminen 2min)
9:34 tappi öljytty ja viedään säilöön
9:35 tapin vastapuolen putsaaminen
9:45 Suulakkeen irrottaminen
(17mm etsiminen 3min, järeämmän koneen etsiminen 8min)
10:01 Suulakkeen putsaus ja öljyäminen
10:14 Rungon puhdistaminen (Täsmällisesti)
10:29 (RUOKATAUKO, TYÖ JATKUU JÄLKEEN)
11:15 JATKUU
11:20 – 11:33 kierteiden avaamista EI NORMAALIA TOIMINTAA
11:34 – 11:44 ruuvien puhdistelua EI NORMAALIA TOIMINTAA
12:25 puhdistus suoritettu

12:25 Uuden Tapin asentaminen paikalleen
(Puhdistus jätetty tekemättä tai puhdistettu eri öljyllä puhdistetaan 12:29-12:36)
12:38 tappi paikoillaan

12:39 kärjen vaihtaminen, putsaaminen
12:57 kärki asennettu = tappi kokonaisuudessa vaihdettu

12:58 rungon putsaus jatkuu
13:26 KAHVITAUKO
13:49 Jatkuu
14:05 keskeytys
14:08 jatkuu
14:49 putsaus valmis

14: 50 suulakkeen kiinnittäminen
Aloitetaan puhdistamisella siirto mustekalan päälle
15:14 suulake valmis
15:14 työkalu laitetaan nippuun nyt: ”mustekala ja etumuksen yhdistäminen”
15:21 Peräpulttien kiinnitys
15:29 peräpultit kiinnitetty

SUULAKKEEN ASENNUS

vaihto-operaatio PVC02 100m 4,8mm -> 3,0mm seinämään

RK3 110mm -> 140mm (160mm max) -> 75mm
linjalla 50-140mm

Suulakkeenvaihdon simulointi. Pysäytys, jäädyttely (Suulake irti, vaihdetaan tappi, takaisin suulake kiinni = uudelleen käytettävissä.

- 7:32 Linjan pysäyttäminen
- 7:34 linja poikki, aloitetaan asettamaan aloitusmassaa
- 7:35 aloitusmassaa aloitetaan ajamaan
- 7:46 aloitusmassa vaihtanut
- 7:47 lämmöt sammutettu linjasta -> tiputetaan aloitusmassaa hitaalla niin kauan kuin linja on jäähtynyt
- 8:09 Suulakkeen irrottaminen
- 8:16 suulake on irti
- 8:17 suulake irti -> puhdistus kärki, tappi ja suulake
- 8:29 putsattu
- 8:29 tapin vaihto, kyseessä eri tappi.
- 8:34 tappi kiinni
- 8:35 suulakkeen iskeminen takaisin kiinni
- 8:41 suulake kiinni
- 8:42 suulakkeen ja kärjen kohdistaminen kohtisuoraan sekä työ on nyt lämmitystä vaille valmis.

Tarkoitus on hyödyntää edellisen työkalun suulakkeen tapin vaihtoaikoja, ja lisätä ne mittauksiin, jossa on linjan alasajo ja ylösajo toteutettu vaihto-operaatio PVC01 500mm -> 250mm. Koko putkityökalun vaihto ja linjan konvertointi

- 8:55 Puhdistusmassa työkalun läpi
- 9:17 Työkalu irrotettu lämmityksestä
- 9:21 työkalua aloitetaan irrottamaan kaulasta
- 9:24 Työkalu irti lattiasta
- 9:25 Työkalun siirto purkupaikalle
työkalu purkupaikalle 50m
- 9:33 Purkupaikalla
- 9:34 purku aloitettu
- 9:40 työkalu vertikaalisessa tasossa
- 9:43 pulttien irrotus alkaa
- 9:51 Pulttien irrotus päättyy
- 9:53 Työkalu avataan (nostetaan vastakappaleet irti toisistaan)
- 9:58 vastakappaleet laskettu maihin
- 10:07 perän irrotus
- 10:10 perä irrotettu
- 10:12 tapin karkea putsaus
- 10:17 työkalu purettu
- 10:18 muuta toimintaa (siivous)
- 10:26 tauko
- 10:36 työt jatkuu
ekstruuderin putsaus
- 10:44 ruokatauko
- 11:45 työt jatkuu
- 11:45 tappi ja perä lyödään nippuun, jotta saadaan pois jaloista
- 11:49 asetettu paikalleen

11:54 Suulake asennetaan työkaluun
 11:59 suulake yhdessä tapin ja perän kanssa. "työkalu kasassa"
 12:00 Vielä pulttien kiristäminen ja siivekkeiden asentaminen
 12:08 pultit kiristetty ja työkalu on valmiina varastoitavaksi
 12:19 Työkalu siirretty varastoitavaksi.
 Aloitetaan uuden työkalun kasaaminen
 12:21 kerätään tarvittavat komponentit
 12:28 tarvittavat komponentit noudettu varastosta
 Tauko
 13:08 uuden työkalun valmistelu alkaa
 valmistelu ja putsaus
 13:27 kerätään tarvittavat komponentit
 tapin vaihto (avain puuttuu)
 suulakkeen asennus
 Korvaavaa työkalu löydetty
 suulakkeen puhdistaminen
 kokoonpano/tapin asentaminen
 14:38 kokoonpano kesken vielä. noin 15min työ jäljellä
 jatkuu huomenna.
 7:25 suulakekokonaisuuden nostaminen tappiin
 7:29 työkalun kiristykset ja viimeistely ennen kuljetusta
 7:50 Siirretään kuljetukseen (Linja on noin 40 metriä pitkä)
 7:57 Työkalu paikallaan
 Tarvittavat kiinnitykset tehtynä
 7:59 Työkalun johdottaminen aloitettu
 8:15 Lämmöt päällä (Työkalua lämmitetään)
 tauko
 8:29 Tauko loppui
 8:33 Alipaine altaan työn aloittaminen
 Tiivisteiden vaihtaminen ja tulkin vaihtaminen, korkeustasaimen säätö
 8:49 Tauko
 Testitulokset on mitattu yhdellä laitosmiehellä
 9:00 Jatkuu
 9:30 Tauko
 9:54 Jatkuu tulkin vaihdolla
 10:34 Tauko
 11:35 jatkuu alipainesäiliön viimeistelyllä
 11:58 alipaine säiliä kunnossa
 11:58 jäädyttimen tiivisteidenvaihto
 12:00 kunnossa
 13:05 muhvain operaatio alkaa
 13:41 muhvaimen osat otettu irti (500 dimension
 seuraavaksi jatkuu sitten 250 dimension asennus)
 13:50 putkenohjaimien irrotus päättynyt
 Tauko
 14:11 muhvaimen osat laitetaan paikoilleen
 Valmis

Liite 4. Parametrien laskenta

Selitteet:

d = keskimääräinen kysyntä

l = täydennysviive

r = tilauspiste/tuotantoimpulssi

ss = varmuusvarasto

z = normaalijakauman mukainen varmuuskerroin

M = täydennysajan kulutus

σ = keskihajonta

Q = eräkkoko

SL = palveluaste

D = vuosikulutus

Työn kontekstin mukainen tuotantoimpulssi r lasketaan määrittämällä ensin haluttu palveluaste, jolloin määritetty hälytysraja riittää täydennysajan kulutukseen. Halutun palveluasteen määrittämisen jälkeen määritetään täydennysajan kulutus M , kun tiedetään tuotannon täydennysviive.

$$\text{Täydennysajan kulutus: } M = d \times l \quad (1)$$

Kysyntää simuloidessa tuotantoimpulssi/tilauspiste r määritetään laskemalla yhteen täydennysajan kulutus kerrottuna tuotannon täydennysviiveellä sekä tähän summattuna varmuusvarasto

$$\text{Tilauspiste: } r = d \times l + ss. \quad (2)$$

Laskettavien arvojen jakautuessa normaalisti, eli kysynnän olevan kohtalaisen tasaista voidaan varmuusvarasto lasketa seuraavalla kaavalla

$$\text{Varmuusvarasto: } ss = Z \times \sigma \times \sqrt{l} \quad (3)$$

Kaavan Z =varmuuskertoimen (palveluaste) arvo määritetään normitetun normaalijakauman kertymäfunktion mukaisesti seuraavasti:

Service level 85 %, $K = 1,036433$

Service level 90 %, $K = 1,281552$

Service level 93 %, $K = 1,475791$

Service level 95 %, $K = 1,644854$

Service level 97 %, $K = 1,880794$

Service level 99 %, $K = 2,326348$

Varaston kiertonopeuden lasketaan vuosikulutuksen D sekä keskivaraston I suhteenä.

$$\text{kiertonopeus: } D/I \quad (4)$$

Keskivarasto määritetään laskemalla yhteen varmuusvarasto sekä keskimääräinen kiertovarasto seuraavan kaavan mukaisesti:

$$I = ss + Q/2 \quad (5)$$

(Uitto, 2019)