



**KIERRESAUMAPUTKEN VALMISTUSLINJASTON TUOTANTOASTEEN
KEHITTÄMINEN LEAN SIX SIGMA MENETELMÄN AVULLA**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden diplomityö

2023

Tekijä: Tarmo Kola

Tarkastajat: Professori Timo Kärri

Yliopisto-opettaja Leena Tynninen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Tuotantotalous

Tarmo Kola

Kierresaumaputken valmistuslinjaston tuotantoasteen kehittäminen Lean Six Sigma menetelmän avulla

Tuotantotalouden diplomityö

2023

106 sivua, 37 kuvaa, 9 taulukkoa ja 4 liitettä

Tarkastajat: Professori Timo Kärri ja yliopisto-opettaja Leena Tynninen

Avainsanat: Lean, DMAIC, Six Sigma, tuotannonohjaus

Työ tehtiin yritykselle, joka valmistaa muovista erilaisia vesi-, viemäri- ja sadevesirakentamisen tuotteita. Työn tarkoituksena oli parantaa kierresaumaputkilinjaston toimintaa hyödyntämällä Lean Six Sigma menetelmää. Menetelmän avulla kierresaumaputkilinjastosta poistettiin hukkaa parantamalla linjaston teknistä kuntoa ja kehittämällä linjastolla tehtävää työtä tehokkaammaksi. Tavoitteena oli parantaa kierresaumaputkilinjaston tuotantoastetta.

Työn teoriaosuudessa käsitellään Leanin historiaa, keskeisiä käsitteitä ja Six Sigma menetelmää. Lisäksi teoria käsittelee teollisen prosessin ja varastonhallinnan ohjaukseen ja mitaamiseen liittyviä menetelmiä. Teoriaosuudessa käytetyt lähteet ovat pääosin tieteellisiä julkaisuja, aihepiirin kokoelmateoksia ja oppikirjallisuutta. Empiirinen aineisto kerättiin operaattoreille suunnatulla kyselyllä, havainnoimalla linjaston toimintaa, keräämällä kierresaumaputkilinjaston prosessidataa sekä analysoimalla ja tuottamalla uutta aineistoa Lean Six Sigma työpajassa.

Projektin aikana linjaston ajonopeutta saatiin kasvatettua keskimäärin 27 % ja eri putkiläätävien keskimääräinen metripaino pieneni 11 %. KNL mittarilla tarkasteltuna saatiin vertailujaksojen välillä noin 10 % kasvu kokonaistehokkuuteen. Yhtenä tavoitteena oli myös toteutumattomien konetuntien vähentäminen ja niiden osalta saavutettiin 46 % alenema, joka ylitti 20 % tavoitteen. Projektille asetetut tavoitteet saavutettiin kohdistamalla toimintaa parantavia toimia linjaston kunnossapitoon, tehokkaaseen operointiin ja raportointiin. Menetelmiä voidaan soveltaa kohdeyrityksen muihin tuotantolinjoihin ja se mahdollistaa tulosten vaikutusten skaalaamisen, joka voi tarjota lisää taloudellista hyötyä kohdeyritykselle.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Engineering Science

Industrial Engineering and Management

Tarmo Kola

Development of the production rate of the spiral seam pipe manufacturing line using the Lean Six Sigma method

Master's thesis

2023

106 pages, 37 figures, 9 tables, and 4 appendices

Examiners: Professor Timo Kärri and University Lecturer Leena Tynnenen

Keywords: Lean, DMAIC, Six Sigma, tuotannonohjaus

This study was implemented for a company that is the manufacturer of different kinds of plastic pipe products for land construction. The purpose was to improve the manufacturing line of the spiral seam pipe by utilizing the Lean Six Sigma method. Part of the waste was removed by improving the technical state of the manufacturing line and by improving the work methods how operating the line more efficiently. The main goal was to improve the production rate of the manufacturing line.

The theoretical part of this study presents the key concepts and minor history of the Lean principles. It also includes the Six Sigma method, operations management, warehouse management, and measurement of these management operations sections by necessary parts. The references used consist of academic publications and general literature on this topic. The empirical material was collected by observing the spiral seam pipe manufacturing line, collecting process data, and with the survey pointed to the line operators. The empirical material was analyzed in the Lean Six Sigma workshop, and it revealed new views of the collected material.

The manufacturing line's average speed increased by 27 % during the project. Also, the average meter weight of different pipe products was decreased by 11 %. Measured with the OEE meter there was an improvement of 10 %. One goal of this study was also the reduction of downtime hours. Achievement of this goal was 46 % when the target was set to 20 %. The targets set for the project were achieved with the actions implemented in the manufacturing line's maintenance, efficient operation, and reporting. The methods can be utilized and applied to the company's other manufacturing lines, and it enables the scaling of positive effects which has considerable economic benefits for the company.

ALKUSANAT

Tämän diplomityön myötä tulee päätökseen seitsemän vuoden jakso aikuisopiskelijana. Matka ammattikorkeakoulun kautta yliopistoon on ollut rankka, opettavainen ja ehdottomasti kulkemisen arvoinen. LUT yliopisto on hyvä ja korkeatasoinen paikka opiskella ja oppia uutta sellaisena kuin on. Skinnarilan henki on vahvasti läsnä koko yhteisössä ja apua saa, kun vain osaa pyytää.

Haluan kiittää Mika Tapaninahoja hyvästä ja vuorovaikutteisesta ohjauksesta sekä hienosta mahdollisuudesta tehdä diplomityö hänen edustamaansa yritykseen. Lisäksi haluan erityisesti kiittää työni ohjauksesta professori Timo Kärriä ja koko tuotantotalouden opettajajenkilöstöä laadukkaista kursseista, jotka ovat luoneet osaamisen tämän työn toteuttamiseen.

Lopuksi haluan kiittää vaimoani Johannaa suuresta roolista perhearjen hoitamisessa ja ymmärryksestä opiskeluitani kohtaan, joka on omalta osaltaan mahdollistanut minulle riittävän ajan opiskeluiden suorittamiseen näinä vuosina.

” There are no secrets to success. It is the preparation, hard work, and learning from failure”.

– Colin Powell –

Valkealassa, toukokuussa 2023

Tarmo Kola

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Kuvaluettelo

Taulukkoluetelo

Lyhenneluettelo

1	Johdanto	6
1.1	Tutkimuksen tausta.....	6
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus.....	7
1.3	Tutkimusmenetelmät ja aineisto.....	8
1.4	Raportin rakenne	9
2	Teollisen prosessin kehitys Lean Six Sigma-menetelmän avulla	12
2.1	Leanin historia ja keskeisimmät periaatteet	12
2.2	Hukka	20
2.3	Jatkuva virtaus.....	30
2.4	Littlen laki	34
2.5	Esteiden teoria.....	36
2.6	Vaihtelu ja jatkuva parantaminen.....	38
2.7	Six Sigma menetelmä	39
3	Teollisen prosessin ja varastonhallinnan ohjaus ja mittaaminen	41
3.1	Tuotannonohjausjärjestelmät.....	41
3.2	Prosessin tehokkuusmittarit ja kokonaistehokkuus	45
3.3	Prosessin laatumittarit	48
3.4	Varastonohjausjärjestelmät.....	51
3.5	Varaston kiertonopeus ja riitto.....	55
3.6	Toimitusaika ja toimitusvarmuus.....	57
3.7	ABC- ja XYZ-analyysi	59
4	Yritysesittely ja kierresaumaputken valmistusprosessi	63

4.1	Yritysesittely	63
4.2	Kierresaumaputken valmistusprosessi	64
4.3	Prosessin nykytila	72
5	Lean Six Sigma projektin aineiston kerääminen ja analysointi	75
5.1	Määrittelyvaihe	75
5.2	Mittaamisvaihe	77
5.3	Analysointivaihe	79
5.4	Parantamisvaihe	80
5.5	Kontrollointivaihe	80
5.6	Aineiston luotettavuuden arviointi	81
6	Projektin tulokset	82
6.1	Määrittelyvaihe	82
6.2	Mittaamisvaihe	82
6.3	Analysointivaihe	86
6.4	Parantamisvaihe	96
6.5	Kontrollointivaihe	102
7	Johtopäätökset ja yhteenveto	103
7.1	Tärkeimmät löydökset	103
7.2	Tulosten luotettavuuden arviointi	105
7.3	Jatkotutkimus- ja kehityksiä	106
	Lähteet	108

Liitteet

Liite 1. SIPOC-kaavio

Liite 2. Project Charter

Liite 3. Operaattorikysely

Liite 4. Tuotteiden kulutus ja varastotaso

Kuvaluettelo

Kuva 1. TPS ja Toyotan tapa (mukaiillen Rother 2011, 4)	15
Kuva 2. Lisäarvo ja hukka (mukaiillen Helmold 2020, 32)	20
Kuva 3. Tuotannon organisointi (Liker 2013, 97–98)	32
Kuva 4. Tangonvalmistus operaatio (Liker 2013, 101).....	34
Kuva 5. Tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen prosessi (Martinsuo et al. 2016, luku 10)..	42
Kuva 6. Tuotannon suunnittelu eri aikajänteillä. (Martinsuo et al. 2016, luku 10)	43
Kuva 7. Kokonaistehokkuuden laskeminen (Villanen 2013, 1)	46
Kuva 8. Työajan hävikki (Villanen 2013)	47
Kuva 9. Varastonohjauksen tuoman lisäarvon rakenne (Hokkanen et al. 2011, 201)	52
Kuva 10. Käyttövarasto ja varmuusvarasto (Sakki 1999, 88)	54
Kuva 11. Kiertonopeuden vaikutus varastointikustannuksiin (Lambert & Quinn 1981)....	56
Kuva 12. ABCD-luokitus	60
Kuva 13. XYZ-analyysi (Logistiikan maailma 2022).....	62
Kuva 14. Ekstruuderin rakenne ja toiminta (Kurri et. al. 2008, 101).....	65
Kuva 15. Ekstruusiolinjaston alkupää (mukaiillen Kurri et al. 2008, 117)	66
Kuva 16. Syöttölaite ja gravimetri	67
Kuva 17. Ekstruuderi.....	68
Kuva 18. Diagnostiikkanäyttö ja ohjainpaneeli	69
Kuva 19. Alipainekammio ja jäähdytyslinjasto	69
Kuva 20. Merkitsijä, telakuljetin ja kierresaumakone.....	70
Kuva 21. Kuljettimet ja sahauslaite.....	71
Kuva 22. Konetuntien vaihtelu ja hukka	73
Kuva 23. SIPOC-kaavio (Shankar 2009, 4).....	76
Kuva 24. Tuotannon pysähdys dimension vaihdossa.....	85
Kuva 25. Tuotanto OD560/522 SN2 1/2022–8/2022.....	87
Kuva 26. tuotettu määrä nimikkeittäin 1/2021–4/2022.....	88
Kuva 27. Toteutuneet konetunnit nimikkeittäin 1/2022–8/2022	89
Kuva 28. Tuotanto eri vuoroissa 1/2022–8/2022.....	90
Kuva 29. Hukan määrä eri vuoroissa 1/2022–8/ 2022	91
Kuva 30. OD560/522 SN2 metripainon muutos 1/2022–8/2022.....	92
Kuva 31. Kulutus eri tuotteille tammikuu 2022- Huhtikuu 2022	93
Kuva 32. Varaston arvo prosenttia tuotteittain 1.5.2022.....	94
Kuva 33. ABC- ja XYZ-analyysi.....	95

Kuva 34. Putkituotannon ajonopeuden muutos 8/2022.....	97
Kuva 35. OD560/522SN2 tuotanto 1/2022– 8 2022.....	99
Kuva 36. KNL OD560/522SN2 välillä 1/2022–8/2022.....	100
Kuva 37. Konetuntien vertailu 4/2022 ja 8/2022.....	101

Taulukkuuettelo

Taulukko 1. Raportin rakenne.....	10
Taulukko 2. Ylituotanto (Helmold 2020, 39).....	22
Taulukko 3. Odottaminen (Helmold 2020, 38).....	23
Taulukko 4. Ylimääräinen liike (Helmold 2020, 38).....	24
Taulukko 5. Tarpeeton kuljettaminen (Helmold 2020, 36).....	25
Taulukko 6. Ylikäsittely (Helmold 2020, 40).....	26
Taulukko 7. Liiallinen varasto (Helmold 2020, 37).....	28
Taulukko 8. Laatuhukka (Helmold 2020, 40).....	29
Taulukko 9. Kilopainojen muutos 8/2022.....	98

LYHENNELUETTELO

Lyhenteet:

ANOVA	Analysis of variance
CT	Cycle time
DMAIC	Define, measure, analyze, improve, control
EOQ	Economic Order Quantity
ERP	Enterprise resource planning
FMEA	Failure Mode and effects analysis
HPDE	High-Density Polyethylene
ID	Inner diameter
JIT	Just in time
KNL	Käytettävyys, nopeus, laatu
LCM	Life-cycle model
LSS	Lean Six Sigma
MES	Manufacturing execution systems
MRP	Materials Requirements Planning
OD	Outer diameter
OEE	Overall Equipment Effectiveness
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PE	Polyeteeni
PP	Polypropeeni
PVC	Polyvinylikloridi
RAY	Rahayksikkö
SIPOC	Supplier Input Process Output Customer
SMED	Single Minute Exchange of Die
TH	Throughput
TOC	Theory of Constraints
TPS	Toyota Production system
WIP	Work in process
rHPDE	Recycled High-Density Polyethylene

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Työn toimeksiantajana on muovialan yritys, joka valmistaa erilaisia muovituotteita rakennusteollisuuden tarpeisiin. Tässä työssä toimeksiantaja yrityksestä käytetään nimitystä yritys X. Yritys X:n yhtenä tuotteena ovat muovista valmistetut kierresaumaputket eri kokoluokissa. Tässä työssä tutkitaan kierresaumaputken valmistuslinjaston toimintaa ja kartoitetaan linjaston nykytila sekä pyritään löytämään kehityskohteita, joiden avulla kierresaumaputken valmistuslinjaston toimintaa ja tuotantoastetta kyettäisiin parantamaan.

Kierresaumaputken valmistuslinjastolla voidaan valmistaa kerrallaan yhtä kokoluokkaa ja putken kokoa muutettaessa valmistuslinjaston asetukset täytyy muuttaa ja kone säätää uudelleen. Tähän toimenpiteeseen kuluu aikaa ja asetusten vaihtamisen aikana tuotanto on pysähdyksissä. Lisäksi asetusten vaihtamisen ja uudelleen käynnistämisen jälkeen linjasto tarvitsee vielä säätämistä, jotta tuote saavuttaa sille asetetun laadun. Lopuksi putki leikataan sopivaan mittaan ja valmiit tuotteet siirretään varastoon. Sieltä ne lähtevät joko asiakkaalle tai yrityksen sisäiseen käyttöön erilaisten kaivojen valmistusmateriaaliksi.

Sisäisen käytön takia varastotasojen täytyy säilyä sellaisella tasolla, että tuotteet eivät pääse loppumaan varastosta, koska pahimmillaan se voi johtaa myös sisäisen kaivotuotannon keskeytymiseen. Tavoitteena on saada ajettua yhtä putkikokoa samoilla asetuksilla mahdollisimman pitkään kerrallaan, koska tarpeettomat asetusten vaihdot vievät aikaa ja linjasto ei sinä aikana tuota mitään. Rajoituksen linjaston ajoajoille asettaa vaatimus siitä, että valmiit tuotteet eivät saa päästä loppumaan varastosta. Yrityksen tavoitteena on parantaa kierresaumaputkiliinjaston tuotantoastetta vaarantamatta toimitusvarmuutta.

Tässä tutkimuksessa kierresaumaputken valmistusprosessia tarkastellaan ja kehitetään Lean Six Sigma DMAIC menetelmän ja kapasiteetin suunnittelun viitekehyksien avulla. Lisäksi varastotasojen hallintaa tutkitaan varastojen hallintaan liittyvien viitekehyksien valossa. Teoriaosa käsittelee syvällisemmin Lean periaatteita ja tuotannon ja varastojen hallintaa käsitellään suppeammin, koska työn pääpaino kohdistuu prosessin kehittämiseen Lean periaatteiden ja DMAIC menetelmän avulla. Työssä käytettävät teoreettiset viitekehykset esitellään työn teoreettisessa osassa. Työ linkittyy tutkimuksellisesti aikaisempaan tutkimukseen teollisen tuotantoprosessin kehittämisestä. Aikaisempaan tutkimukseen työ liittyy Operations Management ja Capacity Management tutkimuksen kautta. Lisäksi yrityksessä on käytössä Lean 6S-konsepti, joten Lean Six Sigma projekti soveltuu hyvin tämän tutkimuksen pohjaksi.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

Tutkimuksen tavoitteena on kierresaumaputkilinjan tuotantoasteen parantaminen vaarantamatta toimitusvarmuutta.

Työssä etsitään vastauksia seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mitkä tekijät rajoittavat putkilinjaston tehokkuutta?
- Millä toimilla putkilinjaston tuotantoastetta saadaan parannettua?
- Mitä rajoituksia tuotantoasteen parantamisella on?

Työstä saatujen tulosten perusteella kierresaumaputkilinjaston tehokkuutta voidaan parantaa. Kierresaumaputken valmistuslinjaston tuotantoaste kasvaa ja se tuo yritykselle taloudellista hyötyä, kun linjaston tuottavuus kasvaa ja tuotannon varastot on myös optimoitu huomioiden eri putkituotteet ja kysynnän vaihtelut. Tehokkuuden parantumista mitataan tuotantoasteella (m/h) ja (kg/h) sekä KNL-mittarilla. Eri mittareilla saatuja tuloksia ja niiden käytökelpoisuutta arvioidaan myös tulosten valossa.

Työ on rajattu käsittelemään kierresaumaputkilinjastoa ja valmiiden tuotteiden varastoa varastomäärien osalta. Kyseiseen rajaukseen on päädytty, koska kierresaumaputkilinjasto on yhtenäinen kokonaisuus ja tarkastelua linjastolle suoritetaan raaka-aineen syötöstä aina valmiiseen tuotteeseen saakka. Varastomäärien tarkastelu on sisällytetty rajaukseen, koska se vaikuttaa olennaisesti linjaston toimintaan ja eri putkikokojen ajoaikoihin. Lisäksi kyseessä oleva laitekokonaisuus soveltuu hyvin Lean Six Sigma Green Belt kokoluokan projektiksi.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja aineisto

Tutkimus toteutetaan laadullisena (kvalitatiivinen) tutkimuksena, koska laadullisen tutkimusotteen avulla on mahdollisuus ymmärtää tutkittavaa ilmiötä ja saada siitä syvälinen käsitys. Laadullisen tutkimusotteen avulla voidaan soveltaa *menetelmätriangulaatiota*, jonka avulla erilaisten prosessien ymmärtäminen on syvällisempää, koska sen avulla voidaan yhdistää laadullinen ja määrällinen tutkimus. Triangulaation avulla voidaan tutkia ongelmia, jotka ovat laajoja ja omaavat monia eri ulottuvuuksia. Triangulaatiossa voidaan käyttää monia eri aineiston hankintamenetelmiä sekä tulkita ja analysoida aineistoa monipuolisesti. Kattavuutensa vuoksi se lisää myös tutkimuksen luotettavuutta. Monimenetelmäisenä tutkimusmenetelmänä se soveltuu hyvin case-tutkimuksen tekemiseen. *Aineistotriangulaati*ossa voidaan yhdistellä erilaisia tutkimusaineistoja ja aineiston keräämistapoja keskenään. (Vilka 2015, 70–72; Kananen 2015, 358–360)

Tutkimusstrategiana käytetään tapaustutkimusta (case-tutkimus). Se on käyttökelpoinen tutkimusmenetelmä silloin, kun tutkittavasta ilmiöstä halutaan saada syvälinen ja monipuolinen kuva. Tyypillistä tapaustutkimukselle on se, että tutkimuksen kohteena on yksi tapaus ja aineiston keräämiseen käytetään useita eri menetelmiä. Tapaustutkimuksessa käytetään tiedon keräämiseen yleisesti laadullisen ja määrällisen tutkimuksen yhdistelmää. Tapaustutkimuksella on läheinen yhteys triangulaatioon. (Kananen 2015, 70–76)

Laadullisessa tutkimuksessa tutkimusaineiston keräämiseen käytetään yleisimmin erilaisia haastattelutyyppisiä, kyselyitä, havainnointia ja erilaisia dokumentteja. Tutkimukseen

liittyen eri tiedonkeruumenetelmiä voidaan käyttää erikseen tai yhdisteltynä riippuen tutkimuksen luonteesta. (Tuomi & Sarajärvi 2012, 71) Tässä tutkimuksessa tutkimusaineistoa hankittiin prosessin operaattoreille suunnatulla kyselyllä, havainnoimalla prosessia ja käyttämällä yrityksen dokumentteja ja prosessidataa. Lisäksi kirjallista aineistoa kertyi paljon työpajana toteutetusta Lean Six Sigma-projektista.

Työn teoreettisessa viitekehyksessä kuvataan tutkimuksen keskeiset käsitteet ja muodostetaan teoreettinen metodologia, jonka tarkoitus on ohjata tutkimusta. Lisäksi sen tehtävänä on luoda käsitys tutkittavaan ilmiöön liittyvästä aikaisemmasta tutkimuksesta ja tiedosta. Työn teoriaosuus koostuu kirjallisuuskatsauksesta, joka on koottu monipuolisesti alan kirjallisuudesta, oppikirjoista ja tieteellisistä artikkeleista. (Kananen 2015, 112–116)

Tutkimustuloksien analysointiin käytetään teorialähtöistä sisällönanalyysia (deduktiivinen analyysi), jossa aineistoa luokitellaan ja analysoidaan teoreettiseen viitekehykseen nojaten. Se perustuukin olemassa olevaan tietoon ja on perinteinen analyysimenetelmä luonnontieteissä. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006) Tyypillisiä laadullisen tutkimuksen analyysimenetelmiä ovat koodaaminen, jossa aineistoa jaotellaan ja luokitellaan jonkin yhteisen ominaisuuden mukaisesti. Koodaamisen avulla aineistoa voidaan esittää myös numeerisesti. Laadullisessa sisällönanalyysissa käytetään yhtenä analyysimenetelmänä myös teemoittelua, jossa aineistosta etsitään tutkimukseen liittyen tärkeitä ja keskeisiä asiakokonaisuuksia. (Juhila 2020) Tyypittelyn avulla tutkimusaineistoa voidaan luokitella erilaisiksi informatiivisiksi tyypeiksi, joiden avulla on mahdollisuus tehdä aineistosta havainnollisempaa ja tiiviimpää (Günther & Hasanen 2020). Tapaustutkimuksissa yleisesti käytetty menetelmä on tapahtumakulun kuvaus, jonka avulla tutkittava ilmiö tai prosessi voidaan kuvata tietystä näkökulmasta (Laine 2020)

1.4 Raportin rakenne

Raportin rakenne on taulukon 1 mukainen. Ensimmäisessä luvussa kuvataan työn toimeksianto, tavoitteet, rajaus, käytetyt tutkimusmenetelmät ja aineisto. Samalla luku johdattaa

lukijan sisälle tutkimukseen. Luvut kaksi ja kolme käsittelevät työn teoreettista viitekehystä ja muodostavat pohjan työn empiirisessä osassa käytetyille tutkimusmenetelmille. Työn teoreettinen viitekehys käsittelee luvussa kaksi Lean konseptin historiaa ja käsitteitä sekä Lean Six Sigma-menetelmää työn kannalta tarpeellisin osin. Luku kolme muodostaa työn teoriapohjan toisen osan ja käsittelee tuotannon-, ja varastonhallinnan ohjauksen yleisiä periaatteita, joiden avulla tehokas teollisen prosessin ohjaaminen on mahdollista toteuttaa. Luku käsittelee myös prosessinohjauksen mittaamisen periaatteita.

Taulukko 1. Raportin rakenne

Luku	Tyyppi	Input	Output
1. Johdanto	Yleinen	Työn toimeksianto, laajuus, rajaukset ja tutkimusmenetelmät	Johdatus työn taustaan ja käytettyihin tutkimusmenetelmiin
2. Teollisen prosessin kehitys Lean Six Sigma-menetelmän avulla	Teoria	Kirjallisuus	Viitekehys ja avainkäsitteet
3. Teollisen prosessin ja varastonhallinnan ohjaus ja mittaaminen	Teoria	Kirjallisuus	Viitekehys ja avainkäsitteet
4. Kohdeyritys ja kierresaumaputken valmistusprosessi	Teoria, sovellus	Yrityksen kirjallinen materiaali, havainnointiraportti ja kirjallisuus	Kohdeyrityksen ja kierresaumaputken valmistusprosessin esittely ja prosessin nykytila
5. Lean Six Sigma projektin aineiston kerääminen ja analysointi	Teoria, sovellus	DMAIC-prosessi, kysely operaattoreille, prosessin havainnointi, prosessidata	Kerätyn aineiston esittäminen ja analysointi
6. Projektin tulokset	Tulokset	Luvussa 5 analysoidut tulokset	Tulokset, löydökset ja kehitystoimenpiteet
7. Johtopäätökset ja yhteenvedo	Yleinen	Luvut 1-6	Projektin johtopäätökset, yhteenvedo ja jatkotutkimus-, ja kehitysaiheet

Luvussa neljä kuvataan kierresaumaputken valmistuksessa käytettävät menetelmät ja kierresaumaputken valmistusprosessi. Lisäksi luvussa neljä kartoitetaan tutkimuksen kohteena olevan kierresaumaputkiprosessin nykytila. Luvussa viisi kuvataan aineiston kerääminen kyselyn, havainnoinnin ja DMAIC-prosessin avulla sekä analysoidaan kerätty aineisto. Luvussa kuusi esitetään analysoidun aineiston perusteella tutkimuksen tulokset, löydökset ja esitetään prosessia parantavia kehitystoimenpiteitä. Luvussa seitsemän pohditaan työstä saatuja tuloksia, tutkimuksen luotettavuutta ja tehdään tutkimuksesta yhteenveto sekä esitetään jatkotutkimus- ja kehitysaiheita.

2 Teollisen prosessin kehitys Lean Six Sigma-menetelmän avulla

Tässä luvussa käsitellään teollisen prosessin kehittämistä Lean Six Sigma menetelmän avulla. Alaluvuissa 2.1–2.6 perehdytään Lean Six Sigma menetelmän kannalta oleellisempiin Leanin periaatteisiin ja Leanin historiaan. Alaluku 2.7 käsittelee Lean Six Sigma menetelmää pääpiirteittäin.

2.1 Leanin historia ja keskeisimmät periaatteet

Lean periaatteet ja työkalut ovat olleet käytössä jo useita vuosikymmeniä ja niitä on käytetty toiminnan sujuvoittamiseen ja tuottavuuden parantamiseen. Leanin lähestymistavan mukaisesti sen avulla on mahdollisuus saavuttaa toiminnallista hyötyä vakioimalla prosessit ja sitouttamalla toimintakulttuuri jatkuvaan parantamiseen sekä kannustamalla työntekijöitä tähän toimintaan. Lean on säilyttänyt asemansa ja on edelleen suosittu laajasti yksityisellä ja julkisella sektorilla. Käyttökelpoisuudestaan huolimatta yritykset ovat huomanneet, että toimintojen monimutkaistuessa Lean ei pelkästään pysty vastaamaan tänä päivänä esiintyviin haasteisiin. (Helmold 2020, 173; Liker 2013, 10)

Leanin juuret ulottuvat teollistumisen alkuvaiheisiin asti. Kasvaneiden asiakasvaatimusten takia yrittäjillä on aina ollut pyrkimyksenä löytää prosessit, joiden avulla tuotannon kasvattaminen ja nopeuttaminen ovat mahdollisia. Ensimmäisiä Leaniin liittyviä askelia otettiin vuonna 1799, kun Eli Whitney keksi valmistaa musketteja standardoimalla niiden valmistuksessa käytettävät osat, jolloin niitä pystyttiin valmistamaan hyvin edullisesti. Seuraavat isot askeleet kohti Leania otettiin 1890-luvun loppupuolella, kun Fredrik W. Taylor alkoi tutkimaan yksittäistä työntekijää ja työtapoja. Tuloksena syntyi ajanhallinnan, yhden syklin ja standardoitujen työtoimintojen tutkimukset. Taylor kutsui menetelmää tieteelliseksi johtamiseksi, mutta jätti huomioimatta kasvatustieteet omassa tutkimuksessaan. (Helmold 2020, 5)

Frank Gilbreth lisäsi liiketutkimuksen Taylorin ajatuksiin ja tämän tuloksena syntyi prosessaavio. Se kiinnitti huomion kaikkiin työn eri vaiheisiin mukaan lukien lisäarvoa tuottamattomat vaiheet, jotka esiintyvät eri vaiheiden rajapinnoissa. Lillian Gilbreth yhdisti psykologian tutkimalla työntekijöiden motivaatiota ja asenteiden vaikutusta prosessin lopputulokseen. Tämän työn tuloksena alkunsa sai ajatus hukan poistamisesta prosesseista, joka on yksi keskeisiä JIT ja Lean valmistuksen peruseriaatteita. (Helmold 2020, 6.)

Prosessiajattelua on esiintynyt koko teollistumisen historian ajan, mutta ensimmäinen henkilö, joka yhdisti palaset oli Henry Ford. Hän integroi tuotannon vuonna 1913 Highland Parkin autotehtaallaan, jossa hänen ajatuksenaan oli vaihdettavat osat, standardoitu työ ja liikkuva kokoonpanolinja. Hän itse kutsui sitä virtaavaksi tuotannoksi (flow production). Ford järjesti valmistusprosessin vaiheet kokoamisjärjestyksessä ja tarjolla oli vain muutama erilainen malli. Mahdollisuuksien mukaan erikoislaitteet ja komponentit sijoitettiin suoraan linjastolle kokoonpanolinjaston varteen. Sopivat osat, rajoitettu mallien määrä ja erikoislaitteiden käyttäminen nopeuttivat kokoonpanoa huomattavasti. Fordin kehittämä valmistusmenetelmä oli tehokas, mutta ongelmaksi muodostui erilaisten vaihtoehtojen puute, kun asiakkaat halusivat suuremman valikoiman erilaisia malleja. Useat autovalmistajat laajensivat mallistoaan, mutta se johti läpimenoaikojen pitenemiseen ja varastojen kasvuun, vaikka kustannukset saatiinkin pysymään alhaisena prosessivaihetta kohti. (Helmold 2020, 5–6)

Fordin periaatteiden pohjalle japanilaiset rakensivat 1930-luvulta alkaen oman mallinsa yhdistämällä Fordin tuotantomalliin ajatuksen työntekijöiden ajattelun ja osaamisen korostamisesta. He yhdistivät työn standardisoinnin ja tuotantolinjan sekä oivalsivat tiimityön merkityksen prosessissa. Työntekijöiden merkitys nähtiin myös paljon suurempana kuin helposti korvattavina tuotannontekijöinä tehokkaassa tuotantojärjestelmässä. Japanilaiset kouluttivat jokaisen työntekijän useaan eri tehtävään. Koulutukseen sisältyi tuotantoon liittyvien tehtävien lisäksi huoltoon, laadunvarmistukseen ja prosessidatan kirjaamiseen liittyvää koulutusta. Johto itse koulutti työntekijät tehtäviinsä ja antoi heille vastuun toiminnan jatkuvasta kehittämisestä. Työntekijät jaettiin myös tiimeihin, jotka koulutuksensa turvin kykenivät laajasti itsenäiseen toimintaan. Itsenäisten tiimien toiminta vähensi myös työnjohdon tarvetta. Näiden ajatusten taustalla olivat Kiichiro Toyoda ja Taiichi Ohno, jotka oivalsivat,

että näiden toimien pohjalle oli mahdollisuus yhdistää jatkuva prosessi ja laaja tuotevalikoima. Sen tuloksena he kehittivät Toyotan tuotantojärjestelmän (Toyota Production System, TPS). (Helmold 2020, 6; Krafcik 1988, 41)

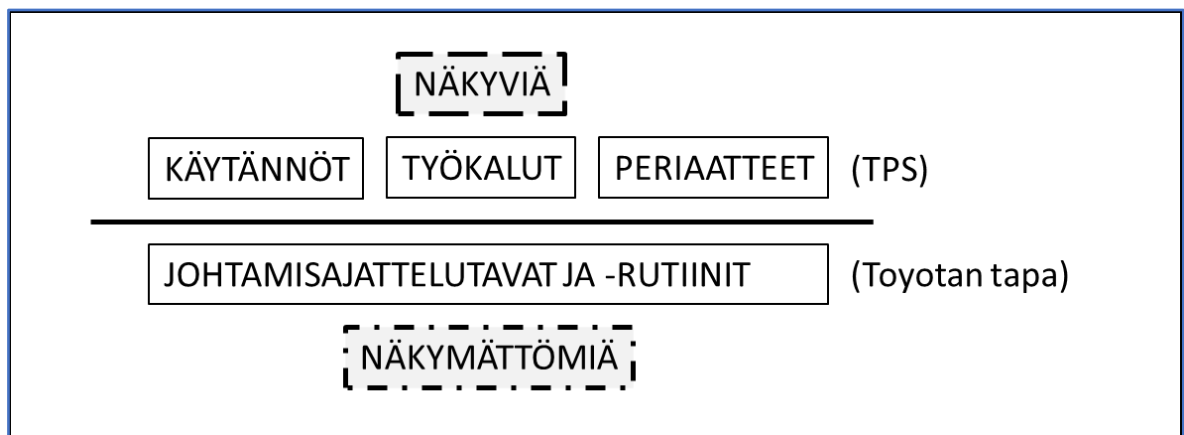
Toyotan tuotantojärjestelmän myötä painopiste yksittäisten koneiden tarkastelusta siirtyi tuotteen kulkeutumisen tarkasteluun prosessin läpi. Toyotan mukaan tuotantokoneiden oikeanlaisen mitoituksen ja automaattisen valvonnan avulla saadaan varmistettua haluttu laatu. Lisäksi tuotantokoneiden sijoittaminen prosessin mukaiseen järjestykseen ja toteuttamalla nopea asetusten vaihtaminen sekä ilmoitusmenettely, jossa edellinen vaihe ilmoittaa materiaaltarpeestaan voidaan valmistaa pieniä sarjoja useista eri osanumeroista. Tällä tavoin toimimalla on mahdollisuus tehdä useita erilaisia pieniä sarjoja alhaisilla kustannuksilla, korkealaatuisina ja nopealla läpimenoajalla. Lisäksi toimintamallin avulla voidaan vastata asiakkaiden muuttuviin vaatimuksiin. Toyotan tuotantojärjestelmä perustuu jatkuvan parantamisen periaatteeseen ja sen pohjana on japanilainen *kaizen* filosofia, jossa pienin askelin prosessia kehitetään yhdessä työntekijöiden ja johdon kanssa toistuvasti. Toyotan tuotantojärjestelmästä ensimmäisenä termiä Lean käytti John Krafcik artikkelissaan Triumph of the Lean Production System vuonna (1988), mutta suuren yleisön tietoisuutteen se nousi kirjassa *The Machine That Changed the World* (1990). Siinä kuvataan ajatus Lean prosessista ja sen kirjoittajina olivat James Womack, Daniel Jones ja Daniel Roos. Heidän mukaansa Lean periaatteet perustuvat viiteen eri elementtiin, jotka ovat:

1. Asiakasarvon määrittäminen
2. Kaikkien tuotteiden arvovirran ja hukan tunnistaminen ja vähentäminen eri vaiheista
3. Tuotteiden jatkuva virtaaminen arvoa tuottavien vaiheiden läpi
4. Imuohjauksen käyttöönottoaminen kaikissa vaiheissa, missä jatkuva virtaus on mahdollinen
5. Pyrkimys täydellisyyteen, jotta eri vaiheiden määrää ja aikaa saadaan vähennettyä asiakkaan palvelemiseksi. (Helmold 2020, 7)

Lean yhdistetään yleisesti Toyotan tuotantojärjestelmään, mutta Likerin (2013, 27) mukaan Toyotasta ei tee erinomaista sen tuotantojärjestelmä, vaan Toyotan tapa tehdä asioita. TPS on kehittynein esimerkki Toyotan periaatteiden pohjalle rakentuneesta tuotantosysteemistä,

joka sisältää myös ns. Lean työkalut. Toyotan tapaan taas sisältyy sen kulttuurin soveltaminen, joka tekee siitä erityisen tehokkaan.

Toyotan tuotantotapaa on yritetty kopioida ja sen avulla monissa yrityksissä onkin onnistuttu parantamaan tuottavuutta, mutta ei läheskään siinä määrin kuin Toyota. Tuotantotavan kopiointi on keskittynyt monesti siinä ilmeneviin sen näkyvissä oleviin osiin, mutta sen erikoisuus piilee siinä, että takaisinmallintamalla järjestelmää sen ulkopuolelle jäävät näkymättömät ajattelu- ja toimintamallit (kuva 1). Koko TPS on kehittynyt näiden ajattelu- ja toimintamallien päälle. (Rother 2011, 4–5)



Kuva 1. TPS ja Toyotan tapa (mukaillen Rother 2011, 4)

Johtamistavat eroavat suuresti länsimaisten yritysten johtamistavoista. Toyotan johtajia koulutetaan mentorin johdolla koko heidän työuransa ajan antamalla kyvykkäille ihmisille aina haastavampia tehtäviä. Yksi perusperiaate Toyotan johtamisessa on se, että johtajan on ymmärrettävä todellista tilannetta, jossa työ tapahtuu voidakseen johtaa sitä menestyksekkäästi. Yhtiön yhteinen toimintafilosofia kannustaa johtajia ryhmänvetäjästä aina pääjohtajaan asti kehittämään itseään koko uransa ajan ja ottamaan vastuu yhtiön jatkuvasta kehittämisestä omalta osaltaan. Toyotan filosofiassa on pyrkimys täydellisyyteen, vaikka tiedetään, että sen saavuttaminen on kuitenkin mahdotonta ja prosesseissa ilmenevät virheet ovat arvokkaita jatkuvan kehittämisen näkökulmasta katsottuna. Toyotan tuotantojärjestelmän salaisuus piilee sen tavassa kyetä mukautumaan jatkuvasti muuttuvaan tilanteeseen kehittämällä koko

ajan uusia ratkaisuja, jotka ovat tehokkaita vallitsevaan tilanteeseen nähden. (Liker & Convis 2012, 21–29; Rother 2011, 4–5)

Toyotan tavassa johtajat ovat erittäin sitoutuneita ydinarvojen ymmärtämiseen ja noudattamiseen. Ne ovat peräisin japanilaisesta kulttuurista, mutta sen lisäksi Toyota on kyennyt omaksumaan parhaita käytäntöjä ja opetuksia ympäri maailmaa ja liittämään ne omaan toimintakulttuuriinsa. Toyotan viisi perusarvoa ovat haasteisiin tarttumisen henki, kaizen-ajattelu, genchi genbutsu, tiimityö ja kunnioitus. Ne ovat perusta Toyotan tavan mukaiselle johtamiselle järjestelmällisen kehittämisen lisäksi. Johtajien odotetaan kehittävän itseään ja samalla kouluttavan alaisiaan ja he käyvät saman syklin aina uudestaan ja uudestaan edetessään urallaan. Johtajien ensisijainen tavoite liittyy enemmän parannuskykyjen kehittämiseen verrattuna kehitystyöhön yleensä (Spear & Bowen 1999, 104). Kaikkien organisaatioissa työskentelevien on saavutettava oppimisessa tietty taso, jonka jälkeen organisaatio on riittävän kypsä toimimaan yhtenäisellä kulttuurilla yhtenäisenä kokonaisuutena. (Liker & Convis 2012, 30–33)

Toyotan johtajien odotetaan ottavan haasteet vastaan innokkaasti ja ennakkoluulottomasti, jotta halutut tavoitteet saavutettaisiin. Sitä ohjaa kaizen-ajattelu, jossa mikään ei ole täydellistä ja aina prosesseista löytyy parannettavaa. Mikään prosessi ei voi koskaan saavuttaa täydellistä Lean-ratkaisua, vaan olosuhteiden muuttuessa hukkaa ilmenee aina uudestaan ja uudestaan. Se mikä toimii tänään ei ehkä toimi huomenna, joten hukkan eliminointi jatkuvalla prosessin arvioimisella ja parantamisella pitää hukkan kurissa. (Liker & Convis 2012, 30–31)

Yksi keskeinen Toyotan tavan perusarvo on (genchi genbutsu) mennä paikan päälle katsomaan, jotta päätöksen teon tueksi johtajalla on olemassa hyvä tietämys vallitsevasta tilanteesta. Ongelmien juurisyyn selvittäminen on mahdotonta ilman todellisen tilanteen ymmärtämistä. (Chiarini, Baccarani & Mascherpa 2018, 429) Se heijastaa myös yhtiön arvostusta lisäarvoa tuottavalle työlle. Tähän liittyy olennaisena osana myös tiimityö, jossa yksilöllisen menestyksen nähdään tapahtuvan tiimissä. Tiimit hyötyvät yksilöiden henkilökohtaisesta kasvusta ja niiden suorituskyky paranee. Tätä ilmentävät tiimipohjaisten kannustimien

hallitsevuus henkilökohtaisten kannustimien sijaan. Lisäksi kunnioitus ilmenee kaikkein perustavimpana ydinarvona, jossa yhteisön, asiakkaiden, työntekijöiden ja liikekumppanien kunnioittaminen näkyy vilpittömänä haluna hyödyttää yhteiskuntaa. Työntekijöiden osalta se näkyy huonoinakin aikoina olla irtisanomatta ketään viimeiseen asti, vaan panostamalla enemmän heidän koulutukseensa. (Liker & Convis 2012, 32–33) Bichenon & Holwegin (2016, 51) mukaan tuijottamalla Excel-taulukkoita voidaan johtaa vain katsoen taustapeiliin ja todellista parannusta voidaan saada aikaan vain menemällä paikan päälle ja opetella ratkomaan prosessissa esiintyviä ongelmia.

Liker (2013, 37–41) kiteyttää Toyotan tavan 14:ään eri periaatteeseen, joiden pohjalta Toyota kehittää omaa toimintatapaansa. Toyotan ajattelun keskiössä on pitkän tähtäimen filosofia, jonka avulla organisaatiota kasvatetaan ja ohjataan kohti haluttua tavoitetilaa. Se ohjaa kaikkea toimintaa ja tavoitteen saavuttamiseksi siihen pyritään tarvittaessa lyhyen tähtäimen taloudellisten tavoitteiden kustannuksella. Kaikki toimet tähtäävät vastuullisuuteen ja ajatukseen arvon luomisesta asiakkaalle, yhteiskunnalle ja taloudelle. Modigin ja Åhlsrömin (2015) mukaan ”Arvo määräytyy aina asiakkaan näkökulmasta”. Lean ajatuksessa ei ole kyse erilaisten työkalujen käyttämisestä, vaan organisaatioon sopivien periaatteiden kurinalaisesta noudattamisesta, jonka avulla voidaan tuottaa lisäarvoa asiakkaalle. Se tarkoittaa samalla kilpailukykyä ja tuottavuutta.

Toyotan näkökulmana on se, että oikeanlaisien prosessien ajatellaan tuottavan oikeanlaiset lopputulokset. Jatkuva parantaminen ja mukautuminen ovatkin tärkeitä tekijöitä ja tapahtuvat yleisesti prosessien sisällä (Rother 2011, 23). Heidän prosessinsa pohjautuvat Leanin periaatteisiin, joita vastuullisesti ja kurinalaisesti pyritään toteuttamaan. Prosessit suunnitellaan siten, että koko ajan pyrkimyksenä on luoda mahdollisimman tehokas lisäarvoa tuottava virtaus, jossa kaikki eri prosessit on kytketty toisiinsa parhaan mahdollisen materiaalin ja tiedon virtauksen saavuttamiseksi. Pyrkimyksenä on minimoida aika, jonka koneet seisovat tai odottavat jonkun työpanosta. Lisäksi tavoitteena on tila, jossa ongelmat tulevat välittömästi ilmi, jotta ne voidaan korjata. (Liker 2013, 37)

Imujärjestelmää käytetään, jotta vältetään ylituotanto ja asiakkaalle voidaan tarjota ne tuotteet, joita halutaan juuri oikeaan aikaan. Imuohjausjärjestelmän liian nopean käyttöönoton haittapuolena voi olla suuri määrä ongelmia, jos se otetaan käyttöön liian laajasti ja nopeasti. Käyttöönotto olisi hyvä tehdä pienin askelin, jotta muutoksen aiheuttamilta ongelmilta vältyttäisiin. Varastoinnin lähtökohtana on vastaavasti mahdollisimman pienet varastot, joita täydennetään kulutuksen mukaan. Toyota myös reagoi kysynnän päiväkohtaisiin muutoksiin, jotta he pysyvät perillä turhasta varastosta. Työmäärää ja tuotantoaikataulua prosessissa tasapainotetaan, jotta ihmisten ja koneiden ylikuormittumiselta vältyttäisiin. Ajatuksena ei ole turha kiirehtiminen vaan ajatus sisäänrakennetusta laadusta, jossa kaikki tehdään kerralla kuntoon, jolloin tuottavuus paranee pitkällä aikavälillä. Asiakkaan vaatima laatu ohjaa tekemistä ja laadun varmistamiseksi on olemassa nykyaikaisia laadunvalvontamenetelmiä, mutta perustana on prosessi, joka tarvittaessa pysäyttää itsensä ja kykenee nopeaan ongelmanratkaisuun vikojen ilmetessä. (Liker 2013, 38; Rother 2011, 90)

Työtehtävät standardoidaan, jotta niistä tulee kyvykkäitä, vakaita ja ennustettavia, jolloin ne palvelevat prosessia ja tuovat vakautta prosessiin (Bicheno & Holweg 2016, 142). Standardeja parannetaan jatkuvasti parhaiden käytäntöjen ja ideoiden avulla. Ohjaamiseen käytetään yksinkertaisia visuaalisia ilmaisimia ja tiiviitä raportteja, joiden avulla työpisteissä edistetään virtausta ja imua prosessissa. Teknologian, kuten tuotantokoneiden tulisi olla ihmisten tukena, eikä korvata työntekijöitä. Lisäksi uuden teknologian käyttöönotossa on noudatettava perusteellista harkintaa ja vältettävä uuden teknologian käyttöönottoa ilman kunnollista testaamista, jotta sen hyöty prosessin kulun parantamisessa on kiistattomasti havaittavissa. (Liker 2013, 38–39)

Toyotan tavassa annetaan paljon painoarvoa ihmisten ja yhteistyökumppaneiden kehittämiseksi ja kasvattamiselle. Se onkin Lai et al. (2022) mukaan olennainen osa Lean tuotannon onnistumiselle. Toyotan ajatuksena on kasvattaa johtajia yrityksen sisältä sen sijaan, että johtajia palkattaisiin yhtiön ulkopuolelta. Tällä tavoin yritys saa yritykseen sitoutuneita johtajia, jotka ovat omaksuneet yhtiön kulttuurin, arvot ja toimintatavat. Lisäksi he tuntevat päivittäisen työn yksityiskohtaisesti, jolloin he voivat olla roolimalleja ja opettaa yrityksen filosofiaa eteenpäin. Vakaan ja vahvan kulttuurin luominen johtajia ja työntekijöitä

kouluttamalla takaavat sen, että kaikki sitoutuvat työskentelemään yhtiön arvojen ja tapojen mukaisesti. Perustana on opettaa ihmisiä työskentelemään tiimeinä yhteisten tavoitteiden saavuttamiseksi. Toyotan tapana on myös arvostaa ja kehittää yrityksen ulkopuolisia yhteistyökumppaneita. Heitä haastetaan vaativilla tavoitteilla ja samalla heitä avustetaan saavuttamaan nämä asetetut tavoitteet. Ulkopuoliset kumppanit nähdäänkin Toyotan tavassa yrityksen jatkeena. (Liker 2013, 39–40)

Organisaation jatkuvan oppimisen edistämiseksi taustaongelmia ratkotaan koko ajan. Prosessien parantamisen ja ongelmanratkaisun perustana tulisi olla aina henkilökohtaisiin havaintoihin perustuvat päätökset ongelman alkulähteiltä. Se tarkoittaa hakeutumista paikan päälle, sinne missä ongelma ilmenee. Tällä tavoin toimimalla voidaan toimia henkilökohtaisesti saadun tiedon mukaan ja vältetään pintapuolinen päätöksenteko asioiden ratkaisemisessa. Ennen päätöksentekoa tulisi tutkia rauhassa useita eri ratkaisuvaihtoehtoja läpikotaisesti kaikkien niiden kanssa, joita asia koskettaa. Ideoiden kokoaminen ja yksimielisen päätöksen tekeminen on aikaa vievä prosessi, mutta sen avulla ratkaisuvaihtoehtoja laajenee ja päätöksen jälkeen sovittujen toimien toteuttaminen onnistuu nopeasti. (Liker 2013, 40)

Vakaan prosessin saavuttamisen jälkeen prosessia kehitetään jatkuvan parantamisen työkalujen avulla, jotta tehottomuuden ilmetessä voidaan tehdä tehokkaita ratkaisuja sen poistamiseksi prosessista. Prosessien suunnittelussa tulisi kiinnittää huomio siihen, että se ei vaadi isoa varastoa. Pienen varaston avulla resurssien ja ajan hukkaaminen tulee esille, jonka jälkeen se on mahdollista poistaa prosessista jatkuvan parantamisen periaatteen avulla. (Liker 2013, 40)

Kriittisen arvioinnin hyödyntäminen tärkeimpien projektien onnistumisen osalta auttaa tunnistamaan niissä ilmeneviä puutteita, joihin voidaan kehittää tulevaisuuden varalle toimenpiteitä, joiden avulla niiden toistuminen voidaan välttää. Parhaiden käytäntöjen standardointi auttaa välttämään kyseisiä puutteita, vaikka projekti ja siihen osallistuva henkilöstö vaihtuvat. Henkilöstön vaihtumista Toyota pyrkii estämään kehittämällä pysyvää ja sitoutunutta

henkilöstöä. Mahdollisimman hyvä pysyvyys suojelee samalla organisaation sisällä olevaa tietoa. (Liker 2013, 41)

2.2 Hukka

Hukka (waste) on yksi Leanin keskeinen käsite. Hukkaa on kaikki muu arvoa tuottamaton toiminta pois lukien välttämätön koneiden, materiaalin, osien, tilan ja työn määrä, joka luo arvoa tuotteen valmistuksessa. Lisäarvoa tuottavia toimia ovat kaikki sellaiset toimet, joista asiakas on valmis maksamaan. Tässä yhteydessä arvo ja hukka ovatkin toistensa vastakohtia. Hukan vähentäminen on jatkuvaa työtä ja hukan ehkäiseminen on yhtä tärkeässä roolissa kuin sen pyrkimys sen poistamiseen. Useimmat prosessit sisältävät 90 prosenttia hukkaa ja 10 prosenttia lisäarvoa tuottavaa työtä (Liker 2013, 88). Hukan poistaminen prosessista ei kuitenkaan tarkoita samaa kuin kulujen vähentäminen, koska epäsovivat syykeskeiset mittarit voivat johtaa odottamattomaan käytökseen ja kulujen lisääntymiseen. Hukka voidaan jaotella kahteen eri tyyppiin, joita ovat lisäarvoa tuottamaton työ ja työ, joka on välttämätöntä, mutta ei tuota lisäarvoa. (Helmold 2020, 32; Bicheno & Holweg 2016, 17)



Kuva 2. Lisäarvo ja hukka (mukaillen Helmold 2020, 32)

Kuvassa 2 on esitetty eri hukkatyypit ja toimet niiden vähentämiseksi. Lisäarvoa tuottavat toimet on pyrittävä kaikissa tilanteissa maksimoimaan ja näkyvä hukka vastaavasti minimoimaan. Jäljelle jäänyt näkymätön hukka on kaikkein haastavin, koska se on sitoutuneena prosessin eri vaiheisiin ja ei siten ole näkyvillä. Suurin osa siitä on sitoutuneena arvoa tuottamattomiin pakollisiin toimiin, jotka eivät tuota lisäarvoa asiakkaan näkökulmasta. Näkymättömän hukan vähentäminen on hyvä olla jatkuvaa, koska sen lisääntyminen voi tapahtua huomaamatta ja sen poistaminen on vaikeaa. Hukkaa voidaan tunnistaa ja poistaa erilaisten ongelmanratkaisutyökalujen avulla, kuten kalanruotokaavio, 5S-menetelmä ja erilaiset prosessikuvaukset. (Helmold 2020, 33–36; Bicheno & Holweg 2016, 17–18)

Perinteiset hukkatyypit

Lean tunnistaa perinteisesti seitsemän eri hukkaa, joita ovat ylituotanto, odottaminen, ylimääräinen liike, tarpeeton kuljettaminen, ylikäsittely, liiallinen varasto ja laatu hukka. Kahdeksantena hukkana alkuperäiseen listaan on määritelty käyttämättä jätetty työntekijän luovuus. Lisäksi uusia hukkia on kyetty tunnistamaan, jotka ovat relevantteja palvelu- ja valmistusaloilla. Näitä ovat esimerkiksi väärän tuotteen tekeminen tehokkaasti, liiallinen informaatiotulva, ajan hukkaaminen, vääränlaiset tietojärjestelmät ja laitteet, veden ja energian tuhlaaminen, luonnonvarojen tuhlaaminen, tietotaidon hukkaaminen sekä työajan käyttäminen työhön liittymättömiin toimiin. (Bicheno & Holweg 2016, 21–23) Tässä yhteydessä käsitellään perinteisiä hukkatyyppejä.

Ylituotanto aiheuttaa hukkaa, joka koostuu, kun tuotteita valmistetaan liikaa ja liian aikaisin. Sen seurauksena tuotantojärjestelmässä on paljon erilaista valmistusmateriaalia, vaikka sille ei kyseisellä hetkellä olisi tarvettakaan. Lopputuloksena varastot kasvavat rajusti, keskeneräisten töiden kustannukset nousevat ja yrityksen pääomaa sitoutuu turhaan ylimääräiseen materiaaliin ja sen hallintaan. (Helmold 2020, 39)

Taulukko 2. Ylituotanto (Helmold 2020, 39)

Määritelmä	Mahdolliset syyt
<ul style="list-style-type: none"> Tuotanto ylittää sisäisten ja ulkoisten asiakkaiden kysynnän 	<ul style="list-style-type: none"> Todellisen kysynnän riittämätön läpinäkyvyys Tuotanto noudattaa optimaalista eräkokoja Epävakaat prosessit Käytettävissä olevan kapasiteetin ennenaikainen käyttö
Seuraukset	Esimerkit
<ul style="list-style-type: none"> Varaston ja keskeneräisen työn kasvaminen Lisätilan tarve Tarve pysäyttää tuotanto Kaksinkertainen käsittely ja tuotteen laadun huononeminen 	<ul style="list-style-type: none"> Paljon materiaalia koneiden edessä ja kokonpanolinjoilla Täydet varastot

Taulukossa 2 on esitetty ylituotannosta aiheutuvia eri ulottuvuuksia ja kuten havaitaan, ylituotanto ilmenee täysinä varastoina ja materiaalin ruuhkautumisena tuotantolinjastolle. Varsinainen syy löytyy kuitenkin kysynnän vaihteluista ja sen läpinäkyvyyden puutteesta, joka vaikeuttaa sopivien eräkokojen määrittämistä vastaamaan kysyntää. Huonon läpinäkyvyyden puutteen takia kapasiteettia saatetaan ajaa myös liian suurella teholla. Epävakaan prosessin takia saatetaan myös valmistaa tuotetta turhaan varastoon, koska sen avulla voidaan ehkäistä tuotteen loppuminen häiriötilanteissa.

Odottaminen on ylituotannon jälkeen toiseksi pahin hukka. Se vaikuttaa suoraan tuotannon virtaukseen. Leanin näkökulma odottamiseen on se, että sen mukaan on syytä keskittyä tuotannon hyvään virtaukseen kuin pitämään kaikki työntekijät kiireisinä. Aina kun tuotantolaitoksella jokin odottaa tai ei luo arvoa, niin se on merkki kyseessä olevasta hukasta. Tavoite on poistaa kaikki odottaminen prosessista, mutta käytännössä se on mahdotonta. Silti se on hyvä tavoite, johon kannattaa pyrkiä. Taulukko 3 esittää odottamiseen liittyviä ulottuvuuksia. (Bicheno et al. 2016, 19)

Taulukko 3. Odottaminen (Helmold 2020, 38)

Määritelmä	Mahdolliset syyt
<ul style="list-style-type: none"> • Ajanjakso, jolloin ei toimintaa tapahdu • Työntekijän on pakko odottaa, eikä ole mahdollista samaan aikaan tehdä muuta lisäarvoa tuottavaa toimintaa. Sinä aikana tuote odottaa käsittelyä 	<ul style="list-style-type: none"> • Materiaali- ja informaatiovirta on heikosti synkronoitu • Tuotanto ei ole tasapainossa • Puuttuvat materiaalit ja työkalut • Dokumentaation puute • Laaduntarkastuksen viiveet
Seuraukset	Esimerkit
<ul style="list-style-type: none"> • Tuottavuus laskee • Tehokkuus huononee • Läpimenoaika kasvaa • Kapasiteetti lisääntyy • Työntekijöiden motivaatio heikkenee 	<ul style="list-style-type: none"> • Materiaalin tai työvälineiden esim. nosturin odottelu • Ammattitaitoisia työntekijöitä ei ole saatavilla • Prosessi joudutaan keskeyttämään puuttuvien resurssien takia esim. työntekijät, vialliset koneet tai laitteet

Työntekijöiden joutoaika, jolloin he odottavat työohjeita tai seuraavaa työtä on merkittävää tuhlausta. Odottamisella on negatiivinen vaikutus tehokkuuteen ja tuottavuuteen ja siksi turhia odotus- ja pysähdysaikoja tulee välttää ja pyrkiä tehokkaasti vähentämään. Odottelun seurauksena läpimenoajat kasvavat ja sillä on vaikutusta myös työntekijöiden motivaatioon. Taulukossa 3 on listattu odottelun syy- seuraussuhteita (Helmold 2020, 38)

Ylimääräinen liike liittyy sekä ihmisiin, että tuotannon layoutiin. Inhimillinen ulottuvuus, joka liittyy ergonomiaan vaikuttaa suoraan laatuun ja tuottavuuteen. Huonosti suunnitellun layoutin takia menetetään valtavasti aikaa ja esimerkiksi turha kurottelu, taivuttelu, nostelu tai liikkuminen paremman näkyvyyden vuoksi rasittavat työntekijöitä. Välitön vaikutus turhista liikkeistä kohdistuu työntekijään, mutta viime kädessä vaikutus kohdistuu laatuun ja asiakkaaseen. Huonosti suunniteltu tuotannon layout tai työn järjestely johtaa helposti turhiin pieniin liikkeisiin, joita toistetaan useasti ja niitä ei tunnisteta turhaksi liikkeeksi. Taulukossa 4 on esitetty ylimääräiseen liikkeeseen liittyviä ulottuvuuksia (Bicheno et al. 2016, 19)

Taulukko 4. Ylimääräinen liike (Helmold 2020, 38)

Määritelmä	Mahdolliset syyt
<ul style="list-style-type: none"> Kaiken tyyppinen liike, joka ei tuota lisäarvoa 	<ul style="list-style-type: none"> Sopimaton layout Epätarkka työn liikeanalyysi Puutteet materiaalin toimituksessa ja työkalujen järjestelyssä
Seuraukset	Esimerkit
<ul style="list-style-type: none"> Tuottavuus laskee Läpimenoaika kasvaa Puutteellinen työergonomia 	<ul style="list-style-type: none"> Pitkät etäisyydet työkalujen, materiaalin ja tuotteen tai koneen välillä Kadoksissa olevat materiaalit tai työkalut

Ihmisiin, materiaaliin tai koneisiin liittyvä turha liike työtilassa on liike hukkaa. Se johtaa korkeampiin kustannuksiin ja samalla alentaa tuottavuutta. Turha liike aiheuttaa myös tarpeen käyttää enemmän aikaa ja kapasiteettia kuin todellisuudessa olisi tarpeellista. Työn liikeanalyysi ja arvovirtakuvaus helpottavat tunnistamaan ja vähentämään tämän tyyppisen hukan muotoa. (Helmold 2020, 37–38)

Tarpeeton kuljettaminen on hukkatyyppi, joka esiintyy, jos keskeneräistä työtä kuljetellaan pitkiä matkoja tuotannossa, siirrellään materiaalia, osia tai valmiita tuotteita prosessissa tai varastosta toiseen. Tehoton kuljetuksen järjestäminen lukeutuu myös tähän kategoriaan. Kaikki kuljettaminen, josta asiakas ei ole valmis maksamaan on hukkaa. Sitä ei voida koskaan poistaa prosessista kokonaan, mutta sen vähentäminen tulisi olla jatkuvana tavoitteena. Taulukossa 5 on listattu tarpeettomaan kuljettamiseen liittyviä asioita (Bicheno et al. 2016, 19; Liker 2013, 29)

Taulukko 5. Tarpeeton kuljettaminen (Helmold 2020, 36)

Määritelmä	Mahdolliset syyt
<ul style="list-style-type: none"> • Tarpeeton materiaalin kuljettaminen • Kuljettaminen on välttämätön hukkatyyppi, mutta se tulisi vähentää minimiin 	<ul style="list-style-type: none"> • Tarvittavan materiaalin ja laitteiden sopimaton järjestely • Materiaalitoimituksen ja käyttökohteen välinen etäisyys • Materiaalin välivarastointi
Seuraukset	Esimerkit
<ul style="list-style-type: none"> • Tuottavuus laskee • Läpimenoaika kasvaa • Puutteellinen työergonomia 	<ul style="list-style-type: none"> • Pitkät tai lisäkuljetukset <ul style="list-style-type: none"> ○ Raaka-aineet ○ Valmiit tuotteet ○ Työkalut ja laitteet

Kuljetustarpeelle on taulukon 5 mukaisesti olemassa monia eri syitä, kuten pitkät etäisyydet tuotannossa, tuotannon koneet ovat väärässä järjestyksessä tai niiden välinen etäisyys on liian suuri. Materiaalia siirretään ensin hyllyille ja pois hyllyiltä. Tiellä olevaa materiaalia siirrellään edestä pois ja yritetään säilyttää järjestys. Materiaalin siirtoja joudutaan tekemään koneellisesti kuljettimien ollessa epäkunnossa jne. Kuljetus- ja materiaalin käsittelytoimenpiteet ovat verrannollisia materiaalin pilaantumiseen tai vaurioitumiseen, jolloin niillä on vaikutus myös tuottavuuteen ja laatuun. (Bicheno et al. 2016, 20; Tuominen 2010, 20)

Tarpeetonta kuljettamista voidaan vähentää järjestämällä koneet prosessien suuntaisiksi ja eri työvaiheet lähemmäs toisiaan. Silloin materiaali virtaa tuotannossa koko ajan eteenpäin ja se vähentää kuljetustarvetta. Muita keinoja kuljettamisen vähentämiseen on U-muotoinen valmistuslinja, työntekijöiden kouluttaminen selviytymään samassa työpisteessä useista työvaiheista, seisaallaan työskentely, joka lisää liikkuvuutta ja kuljetusyksiköiden standardisointi. Kaikki nämä edellä mainitut toimintamallit tarpeettoman kuljettamisen vähentämiseksi noudattavat Lean-periaatteita. (Bicheno et al. 2016, 20; Tuominen 2010, 21)

Ylikäsittely tarkoittaa valmistusprosessin osaa, joka on tarpeeton ja ylittää asiakkaan vaatimuksen tuotteen laadusta ja ominaisuuksista. Tällä tarkoitetaan sitä, että tuotteeseen uhrautaan resursseja enemmän kuin asiakas vaatii. Ylikäsittely aiheuttaa työvoiman, osien ja raaka-aineiden ylimääräistä kulutusta. Lisäksi se vie ylimääräistä aikaa ja energiaa, kun tuotetaan jotain, mikä on täysin tarpeetonta asiakkaan näkökulmasta katsottuna. Taulukossa 6 on listattu ylikäsittelyyn liittyviä asioita. (Bicheno et al. 2016, 20; Helmold 2020, 39)

Taulukko 6. Ylikäsittely (Helmold 2020, 40)

Määritelmä	Mahdolliset syyt
<ul style="list-style-type: none"> • Prosessin heikkous järjestyksen, sisällön, teknologioiden ja resurssien suhteen 	<ul style="list-style-type: none"> • Vaillinainen tekniikka • Prosessin suoritusjärjestys ei ole tehokain mahdollinen • Riittämätön prosessien analysointi ja suunnittelu • Prosessiongelmien takia tuotevaatimukset ovat tiukemmat kuin asiakas vaatii
Seuraukset	Esimerkit
<ul style="list-style-type: none"> • Suuret tuotantokustannukset • Raaka-ainetta kuluu tarpeettomasti • Alhainen tehokkuus • Ylimääräinen resurssitarve (työntekijät, laitteet, materiaali) 	<ul style="list-style-type: none"> • Suuret toleranssit • Väärät, vialliset ja tarpeettomat prosessivaiheet • Resurssien käyttö ei ole optimaalista • Päällekkäiset työtehtävät

Ylikäsittely liittyy valmistusprosessin kulkuun ja siinä oleviin eri vaiheisiin. Turhat tuoteosat ja ominaisuudet, valmistusprosessit ja työvaiheet sekä turhat tarkastukset synnyttävät prosessissa olevaa hukkaa. Taulukossa 6 esitetään yleisimpiä ylikäsittelyyn liittyviä ulottuvuuksia, joista yleisimpiä ovat turhat osat tai tuoteominaisuudet, samassa tuotantolinjassa tehdään liikaa erilaisia tuotteita, standardisointi on viety liian pitkälle, prosesseja ei suunnitella kunnolla ja suunnitelmia ei pidetä ajan tasalla. Lisäksi prosessien toimivuuden tutkimiseen ei käytetä tarpeeksi resursseja ja pidetään yllä vanhoja prosesseja tai niiden osia, vaikka siihen ei olisi mitään tarvetta. Yksi suuri puute on myös se, että prosessissa työskentelevä

henkilöstö ei osallistu prosessin suunnittelemiseen ja kehittämiseen, vaikka heillä on hyvä tietämys prosessin toiminnasta. (Liker 2013, 223–225; Tuominen 2010, 24–25)

Ylikäsittelyä on mahdollista pyrkiä välttämään henkilöstön perehdytyksellä, arvoanalyysikoulutuksella ja vanhojen käytäntöjen kyseenalaistamisella. Prosessin ja sen eri vaiheiden liittymistä toisiinsa ja niiden tarpeellisuutta kokonaisuuden kannalta voidaan myös analysoida ja selvittää sisäisiä asiakassuhteita. Tärkeää on myös moduloida ja standardisoida tehtäviä, sekä lisätä prosessihenkilöstön välistä yhteistyötä. (Tuominen 2010, 25)

Liiallinen varasto syntyy ylituotannon tai prosessissa ilmenevän vaihtelun aiheuttamana. Tavoite olisi pyrkiä pitämään mahdollisimman pientä varastoa, koska se sitoo yrityksen pääomaa ja on haitaksi laadulle ja tuottavuudelle. Se johtuu siitä, että varastojen ominaisuutena on pidentää läpimenoaikaa, joka peittää alleen prosessissa ja tiedonkulussa olevat ongelmat. Varastoja täytyy pitää riittävä määrä, jotta tuotannon vaihtelua kyetään hallitsemaan, mutta liian isot varastot aiheuttavat hukkaa. Tuotannon työntöohjaus johtaa usein myös liiallisiin varastoihin, mikäli kysyntää ei kyetä ennustamaan riittävän tarkasti (taulukko 7). (Bicheno et al. 2016, 20)

Taulukko 7. Liiallinen varasto (Helmold 2020, 37)

Määritelmä	Mahdolliset syyt
<ul style="list-style-type: none"> • Materiaalia on varastossa enemmän kuin tarvitaan <ul style="list-style-type: none"> ○ Raaka-aineet ○ Puolivalmisteet ○ Keskenäinen työ ○ Valmiit tuotteet 	<ul style="list-style-type: none"> • Ongelmia prosessien ja logistiikan suunnittelussa • Tavarantoimittajan heikko toimituskyky ja laatu • Laaja tuotevalikoima
Seuraukset	Esimerkit
<ul style="list-style-type: none"> • Suuret pääomakustannukset • Moninkertainen käsittely aiheuttaa mahdollisia vaurioita ja lisätyötä • Todellisia ongelmia ei havaita ja ne jäävät ratkaisematta • Etsintätyö • Romu 	<ul style="list-style-type: none"> • Ylitäytetyt varastot • Ylitäytetty tuotantoalue • Tuotannon puskurivarastot • Ahtaat kulkuväylät • Ahtaat työpisteet

Todelliseen tarpeeseen nähden liian suurista varastoista aiheutuu erilaisia ongelmia. Taulukossa 7 on esitetty liiallisiin varastoihin liittyviä asioita. Niitä ovat esimerkiksi ylimääräinen tilantarve, tuotteiden vanheneminen tai pilaantuminen, järjestyksen ja tuotannon kulun heikkeneminen ja ylimääräinen työ. Ylimääräisen varastoinnin takana voi olla ajatus, että ilman varastoja ei selvitä, valmistetaan yllättäviä tilanteita varten pitkien asetusajojen takia tai valmistetaan suurissa erissä, koska prosessin loppupäässä on pullonkaula, joka aiheuttaa varastoa. Tilanteen taustalla voi yksinkertaisesti olla myös se, että ostetaan edullisia eriä tai täytetään varastoa, kun tilaa varastossa riittää. (Tuominen 2010, 18)

Varastojen välttämiseksi on prosessista kyettävä tunnistamaan ne pisteet, joissa varastoja pääsee syntymään. Sen jälkeen on löydettävä syyt varastojen syntymiselle ja yritettävä löytää keinoja niiden syntymisen ehkäisemiseksi. Keinoja varastojen ehkäisyyn voi olla esimerkiksi asetusajojen lyhentäminen, imuohjauksen kehittäminen hyödyntämällä kanban-järjestelmää, tuotannon tasapainottaminen tai siirtyminen tuotanto-osastojen sijasta prosessiajatteluun. Varastojen osalta täytyy myös tunnistaa tarpeelliset ja tarpeettomat varastot sekä mitata niihin sitoutunutta pääomaa, jotta havaitaan niiden merkitys taloudellisessa mielessä. (Tuominen 2010, 19)

Laatuhukka aiheuttaa yritykselle kustannuksia lyhyellä-, ja pitkällä aikavälillä. Laatuhukka voidaan jaotella kahteen eri kategoriaan, jotka ovat sisäinen laatuhukka ja ulkoinen laatuhukka. Sisäinen laatuhukka tarkoittaa valmistuksessa syntyvää romua, jälkityöstöä tai viivästyksiä ja ulkoiseen laatuhukkaan sisältyvät takuukorjaukset, huoltopalvelu ja pahimmassa tapauksessa menetetty asiakas. Tuotteissa olevien vikojen osalta on muistettava, että mitä myöhemmin ne huomataan, niin sitä suuremmat kustannukset niistä aiheutuu. Esimerkiksi mikrosirun korjaaminen tehtaalla ei maksa paljon, mutta lopputuotteeseen päästyään se voi aiheuttaa paljon vahinkoa. Laatu syntyy vikojen ehkäisemisestä, ei niiden havaitsemisesta. Toyotan filosofian mukaan virheet tulisi nähdä haasteina ja mahdollisuutena parantaa, kuin ajatella, että se johtuu huonosta johtamisesta. (Bicheno et al. 2016, 20–21) Taulukossa 8 on listattu laatuhukasta johtuvia syy-seuraussuhteita.

Taulukko 8. Laatuhukka (Helmold 2020, 40)

Määritelmä	Mahdolliset syyt
<ul style="list-style-type: none"> Ensimmäisellä kerralla asia ei mene oikein 	<ul style="list-style-type: none"> Puutteet koneiden ja laitteiden huollossa Työntekijöiden riittämätön osaamistaso Tuote ei täytä asiakkaan vaatimuksia Epävakaat standardisoimattomat prosessit Ei olemassa olevaa ongelmanratkaisumallia
Seuraukset	Esimerkit
<ul style="list-style-type: none"> Kapasiteetin, materiaalin ja työkalujen lisätarve Lisätilan tarve jälkityöstöön Laadun tarkkailun lisätarve Läpimenoajan pidentyminen 	<ul style="list-style-type: none"> Poikkeamien lisääntyminen Viallisten osien jälkiasennus ja korjaus Lisääntynyt romun määrä Huonosta laadusta johtuvat toimitusongelmat

Kuten taulukosta 8 voidaan havaita niin laatupuutteiden ilmenemiseen voi olla monia syitä. Niitä voivat olla esimerkiksi puutteelliset laatu- ja tarkastusstandardit tai niistä poikkeaminen jostain syystä. Vauriot materiaalin käsittelyssä tai kuljetuksissa, tuotteiden

pilaantuminen tai työntekijöiden riittämätön osaaminen ja huonot työohjeet. Laatupuutteita voidaan ehkäistä laatimalla tarkastusstandardit ja noudattamalla niitä, koneiden ja laitteiden kalibroinnista laaditaan ohjeet ja tehdään kalibrointi niiden mukaisesti sekä valvotaan tehokkaasti koneiden ja prosessien toimintaa. Lisäksi laatupuutteita ehkäistään vähentämällä käsitteilyjen määrää ja kehittämällä työkaluja ja ohjaimia. Koneiden kunnosta huolehditaan ja laadun tarkkailu viedään työntekijätasolle, jossa jokainen tarkastaa oman työnsä laadun. Laatusuunnittelun ja ennakoivan laadunvalvonnan avulla voidaan määrittää laatustandardit, tunnistaa ongelman aiheuttavat syyt ja määrittää vastatoimet ongelmien ehkäisemiseksi. Tavoitteena on päästä tilanteeseen, jossa ei ilmaannu yhtään virhettä (Bicheno et al. 2016, 21; Tuominen 2010, 23)

Käyttämättä jätetty työntekijän luovuus on myös yksi hukan ilmenemismuoto. Työntekijöillä on arvokasta tietoa, osaamista ja ideoita omasta tehtävästään, joiden avulla työn tekeminen saadaan tehokkaammaksi. Toyotan tavoitteena on luoda ajattelevia työntekijöitä, jotka osaavat ratkaista tehokkaasti eteen tulevia ongelmia. Monissa tapauksissa työntekijöitä ei kuunnella ja sitouteta tarpeeksi, jolloin työntekijän vaihtaessa työpaikkaa menetetään samalla yritykselle arvokasta tietoa ja osaamista. Hyvistä ja osaavista työntekijöistä tulisi yrityksen pitää kiinni, koska työntekijöiden osaaminen on yrityksen tärkein resurssi. Johtamisessa olisi hyvä keskittyä hiljaisen tiedon ja osaamisen jakamiseen, jolloin on mahdollisuus luoda toimintatapoja ja malleja, joiden pohjalta voidaan luoda uutta tietoa ja innovaatioita. (Bicheno et al. 2016, 21; Liker 2013, 29; Pohjalainen 2012, 1)

2.3 Jatkuva virtaus

Jatkuva virtaus on perusta prosessien tehokkuudelle. Tuotantoprosessissa syntyvää arvoa tulisi lisätä tasaisesti keskeytyksettä tuotantoprosessin alusta loppuun asti. Sen vuoksi prosesseja tulisi aina määrittää virtausyksikön näkökulmasta. Virtaustehokkuudessa tarkastellaan virtausyksikköä ja sitä, miten se etenee prosessissa. Hyvässä virtaustehokkuudessa virtausyksikön arvon lisääntyminen on pitkä verrattuna tarkasteltuun ajanjaksoon. Yksinkertaisin esimerkki on yksiosainen virtaus, jossa tarkastellaan yhden virtausyksikön etenemistä

prosessissa. (Helmold 2020, 80–81; Bicheno & Holweg 2016, 33; Modig & Åhlström 2015, 17–20)

Lean periaatteen mukaan tavoitteena on luoda yksiosainen virtaus, jossa kaikki toiminnot ovat tasapainossa keskenään ajallisesti ja virtausyksikkö etenee prosessissa vaihe kerrallaan, jolloin virtausyksikön arvo lisääntyy vaihe vaiheelta. Samalla virtaustehokkuutta pyritään kasvattamaan poistamalla prosessista turhat ja tarpeettomat toiminnot. Virtauksen parantamiseen Lean tuotannossa käytetään neljää eri periaatetta, jotka *ovat imuohjaus, nollavika-periaate, tahtiaika-periaate ja virtausperiaate*. Jatkuvan virtauksen avulla prosessi vakautuu ja tasapainottuu sekä tehostuu, koska aikaa ei hukkaannu turhaan työhön ja odottamiseen eri vaiheiden välillä. Jatkuvaa virtausta on kuitenkin erittäin vaikea saavuttaa ja sitä tavoiteltaessa useat muut prosessiongelmat nousevat esiin. Sitä ei kuitenkaan kannata pitää huonona asiana, vaan kaikki näkyville tulevat ongelmat voidaan korjata. (Helmold 2020, 81; Liker 2013, 87–90; Modig & Åhlström 2015, 22–30)

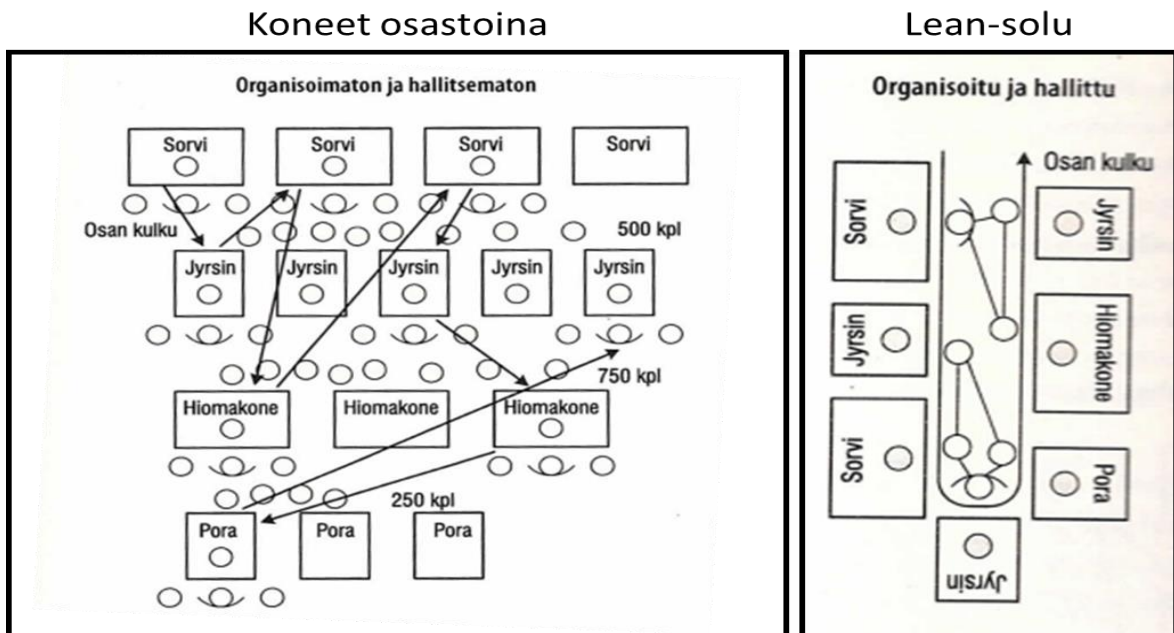
Yksiosaisen virtauksen perusta on ajan tahdistaminen eli *tahtiaika*. Tahtiaika tarkoittaa tuotteen valmistuksen ja kysynnän rytmiä. Virtauksen tahdistaminen toimii tuotantoprosessin sykkeenä ja tahtiajan avulla tuotannon säätely on helpompaa kysynnän laskiessa tai kasvaessa. Tahtiaika määritellään seuraavasti; *käytettävissä oleva aika jaettuna asiakkaan vaatimalla määrällä*. Esimerkiksi, jos asiakas haluaa 10 tuotetta ja käytettävissä oleva aika on 10 minuuttia sekä tuotanto virtaa tasaisesti on prosessin kyettävä tuottamaan tuote minuutin välein kohdatakse asiakkaan kysynnän. Jatkuvan virtauksen periaatteen soveltaminen on helppointa toistuvissa hallinto- ja valmistusprosesseissa. Periaate on kuitenkin luovuutta käyttäen sovellettavissa kaikkiin toistuviin prosesseihin, joissa eri vaiheiden ja hukan tunnistaminen on mahdollista, jotta parempi virtaus saadaan aikaiseksi. (Helmold 2020, 82; Liker 2013, 94–95)

Yksiosaisen virtauksen hyötyjä

Yksiosaisen virtauksen periaatteen soveltaminen käynnistää samalla useita toimintoja hukan vähentämiseksi. Se tuo ongelmat näkyviksi ja näyttää mihin huomiota täytyy kohdistaa

(Rother 2011, 76). Nollavika-periaatteen avulla tuotteen sisäänrakennettu laatu paranee, kun virheitä ei päästetä eteenpäin, vaan korjataan välittömästi niiden ilmaannuttua. Kaikki työntekijät toimivat tämän periaatteen mukaan tarkastajana omassa toimessaan ja ryhtyvät välittömästi toimenpiteisiin vikojen korjaamiseksi. Tällä tavoin toimimalla viat huomataan tehokkaammin ja se johtaa laadun paranemiseen. Läpimenoajan lyheneminen luo prosessiin joustavuutta, joka mahdollistaa nopeamman reagoinnin asiakkaan kysynnän muutoksille ja tuottavuuden paraneminen saadaan aikaan vähentämällä prosessista lisäarvoa tuottamatonta työtä, jolloin prosessi tehostuu. (Liker 2013, 95–96)

Perinteisessä prosessissa koneet on ryhmitelty omiksi osastoiksi erilaisten konetyyppien mukaan. Se aiheuttaa kuitenkin luontaista vaihtelua, jota on vaikea hallita, koska materiaalit liikkuvat eri suuntiin ja virtausyksikön eteneminen prosessissa hidastuu. Virtauksen kannalta tuotantolinja on tehokkaampi järjestää viivaksi, U, tai L-kirjaimen muotoon, jossa laitteiden järjestys noudattelee tuotteen valmistusprosessia. Kuvassa 3 on esitetty konetyyppin mukainen ja Lean-solun mukainen laitteiden asettelu. (Liker 2013, 97–98)

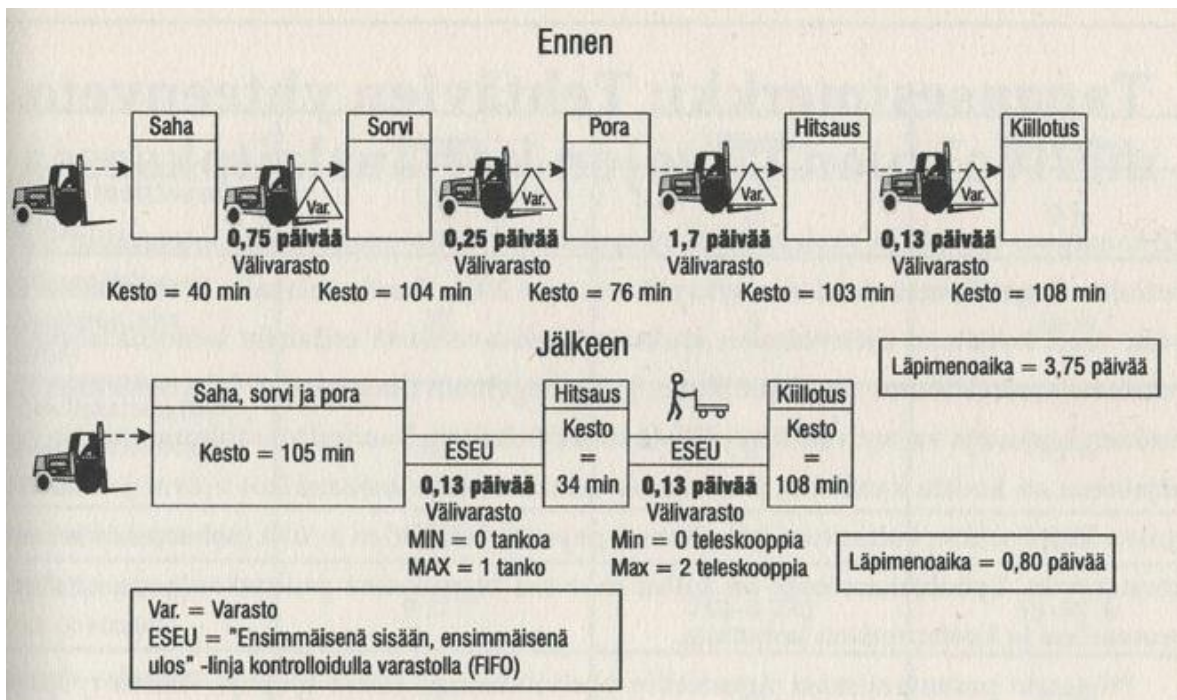


Kuva 3. Tuotannon organisointi (Liker 2013, 97–98)

Kuvasta 3 nähdään, että perinteisen jaottelun mukaisesti yksiosainen virtaus ei toteudu, koska osat liikkuvat edestakaisin eri osastojen välillä. Lisäksi osastojen välissä on isot välivarastot prosessissa olevia tuotteita, eli keskeneräistä tuotantoa. Turhaa liikettä ilmenee myös runsaasti, joka aiheuttaa hukkaa ja tehottomuutta prosessissa. Vastaavasti U-kirjaimen muotoon tehty jaottelu, joka noudattaa materiaalin kulkua mahdollistaen hyvän virtauksen prosessille, koska virtausyksikkö liikkuu prosessissa vaihteittain yhteen suuntaan ja prosessi toimii pienempien välivarastojen avulla. Tuotantotilojen lattiatilaa vapautuu myös, kun tuotantolaitteet järjestetään solurakenteen mukaisesti työjärjestykseen. Se johtaa myös välivarastojen tarpeen pienenemiseen, jolloin myös pääomaa vapautuu lattialla olevien välivarastojen pienemisen myötä. (Liker 2013, 96–98)

Jatkuvan virtauksen luominen on kuitenkin vaikeaa ja yksiosaisen virtauksen varjopuoli on se, että ongelmatapauksessa koko solun toiminta voi pysähtyä. Välivarastojen kasvattaminen saattaisi näyttää ilmeiseltä vaihtoehdolta, mutta se luo epätodellisen virtauksen ja itseasiassa heikentää prosessia. Tekaistu virtaus ja virtauksesta perääntyminen ongelmien ilmentyessä onkin Likerin (2013, 99) mukaan kaksi yleisintä virhettä jatkuvan virtauksen luomisessa. Välivarastojen kasvattaminen peittää myös prosessissa ilmenevät todelliset ongelmat. Yksiosainen virtaus, ongelmien kohtaaminen ja jatkuva parantaminen mahdollistavat todellisen virtauksen luomisen. (Liker 2013, 98–99)

Ymmärtääksemme paremmin yksiosaisen virtauksen todelliset vaikutukset prosessin tehokkuuteen, tarkastelemme teräksisiä teleskooppitankoja valmistavan yrityksen tuotantoa. Yritys oli omasta mielestään luonut hyvän virtauksen ja toteutti Lean tuotantoa. Todellisuudessa he olivat luoneet tekaistun virtauksen, ja tehtaalla tuotteiden läpimenoaika oli 3,75 päivää. Viikon mittaisessa työpajassa poistettiin hukkaa prosessista ja muutettiin tuotantokoneiden asettelua, jolloin läpimenoaika lyheni 0,8:aan päivään. Kuva 4 esittää tangonvalmistusoperaation ennen ja jälkeen todellisen Lean virtauksen muunnoksen. (Liker 2013, 99–101)



Kuva 4. Tangonvalmistus operaatio (Liker 2013, 101)

Kuvan 4 mukaisesti tehtaalla tuotantokoneiden sijoittelua muutettiin siten, että laitteet siirrettiin lähemmäs toisiaan, jolloin trukkien käytöstä ja suurista välivarastoista päästiin eroon ja suurien tankolavojen siirtelystä siirryttiin yhden tangon siirtämiseen kerrallaan. Tilauksen käsittelyssä luotiin yhden kappaleen tilaus useamman sijasta. Tilauksen käsittelyaikakin lyheni 207 minuutista 13 minuuttiin. (Liker 2013, 99–101) Kuvassa 4 on havainnollistettu jatkuvan virtauksen vaikutus yrityksen prosessin muutokseen. Läpimenoajan lyheneminen tuotantoa uudelleen organisoimalla ja turhia vaiheita poistamalla voi olla vaikutukseltaan hyvin merkittävä.

2.4 Littlen laki

Prosessit toimivat tiettyjen yleispätevien lakien mukaisesti ja ne voidaan todistaa matemaattisesti. Nämä lait pätevät riippumatta virtausyksikön tyypistä tai prosessin määrittelystä. Littlen laki perustuu kolmeen eri muuttujaan, joit ovat tuotannon määrä (Throughput), keskenkäinen työ (work in process) ja läpimenoaika (cycle time). Näiden muuttujien keskinäisen riippuvuuden ja matemaattisen paikkansapitävyyden todisti ensimmäisenä John Little, joka

oli professorina MIT:ssa (Massachusetts Institute of Technology). Laki pätee kaikissa tasaisesti toimivissa tuotantolinjoissa riippumatta siitä, onko niissä vaihtelua. Laki on yleispätevä ja pätee täydellisesti vain tilanteissa, joissa aika jatkuu äärettömyyteen. Tosielämässä tämä ei ole mahdollista. Yleisellä tasolla sen nähdään kuitenkin kuvaavan tuotantolinjojen luonnetta riittävän tarkasti. (Hopp & Spearman 2011, 239; Bicheno & Holweg 2016, 42)

Laki on laajasti sovellettavissa erityyppisiin tuotantolinjoihin. Sitä voidaan soveltaa yksittäisestä työasemasta ja tuotantolinjasta aina kokonaiseen tuotantolaitokseen. Laki pätee, jos läpimenoaika, keskeneräinen työ ja tuotannon määrä ovat mitattavissa johdonmukaisilla arvoilla. Littlen laki esitetään matemaattisesti seuraavalla tavalla. (Hopp & Spearman 2011, 239; Bicheno et al. 2016, 42)

$$WIP = TH * CT \quad (1)$$

Missä

WIP on keskeneräinen työ

TH on tuotannon määrä

CT on läpimenoaika

Käytännössä Littlen lakia on helppo soveltaa, koska tuotannon määrä ja keskeneräinen työ on yleensä helppo määrittää, jolloin kolmas tuntematon, eli läpimenoaika voidaan ratkaista yhtälöstä. Esimerkiksi, jos tuotannon määrä (TH) vuorokaudessa on 1000 yksikköä ja keskeneräinen tuotanto (WIP) on 4000 yksikköä, niin silloin läpimenoaika (CT) on $(4000/1000=4)$ neljä vuorokautta. Arvovirtakuvauksen määrittämiseen liittyen läpimenoajan laskeminen on tarkempi tapa verrattuna arvoa tuottavan ja tuottamattoman ajan yhteen laskemiseen. (Bicheno & Holweg 2016, 42–43)

2.5 Esteiden teoria

Esteiden teoria (Theory of Constraints, TOC), joka tunnetaan paremmin pullonkaulojen lakina, on moniulotteinen johtamisfilosofia. Sen kehitti israelilainen fyysikko Eli Goldratt 1980-luvun alkupuolella. Filosofian keskiössä on ajatus, että jokaisessa prosessissa on rajoitteita, jotka hallitsevat koko prosessia ja tehokkaan virtauksen aikaansaamiseksi näitä rajoitteita on kyettävä hallitsemaan. Prosessin parhaan suorituskyvyn varmistamiseksi prosessin pullonkaulat olisi saatava hallintaan tai tarvittaessa poistettava prosessista. Teoria esittää, että prosessi on määriteltävissä sarjaksi itsenäisiä prosesseja, jotka liittyvät kiinteästi toisiinsa ja toimivat yhdessä tavoitteen saavuttamiseksi. Prosessin suorituskyky muodostuu hitaimman osaprosessin mukaan, joka hidastaa siten kokonaisprosessin nopeutta ja läpivirtausta. (Mabin & Balderstone 2000, 1–2; Nave 2002, 75)

Käytännössä prosessin hitaimman vaiheen eteen muodostuu aina jono, ja sillä ei ole merkitystä virtaako prosessissa materiaalia, informaatiota vai ihmisiä. Materiaalin tai ihmisten virratessa prosessissa tulee pullonkaula selvästi näkyviin, mutta informaatiovirrasta sen havaitseminen on vaikeampaa. Toinen pullonkaulan ilmenemismuoto on se, että sen jälkeen olevat toiminnot joutuvat odottamaan ja toimimaan vajaateholla, jolloin prosessin nopeus on sama kuin hitaimmalla vaiheella, joka rajoittaa läpivirtausta ja läpimenoaikaa koko prosessissa. Kaikille prosesseille on ominaista se, että niissä ilmeneviä pullonkauloja ei voida kokonaan poistaa, koska yhden esteen poistamalla prosessiin ilmaantuu aina uusi pullonkaula jonnekin muualle. Se johtuu siitä, että prosesseissa on vaihtelua ja eri työvaiheilla on oma suorittamisjärjestys. (Modig & Åhlström 2015, 38–39)

Esteiden teoria esittää viisivaiheisen ajattelumallin (TOC Improvement Cycle), jolla on yhtäläisyyksiä PDCA mallin kanssa, mutta se on hieman fokuoituneempi. Mabinin ja Balderstonen (2000) tutkimuksen mukaan TOC-malli on toimiva ja tutkimukseen osallistuneissa yrityksissä varastoa saatiin pienennettyä 49 prosenttia, tuotantoaikoja lyhennettyä yli 60 prosenttia ja taloudellisia mittareita saatiin parannettua yli 60 prosenttia. TOC-malli jakautuu viiteen eri vaiheeseen:

1. **Tunnista prosessissa oleva rajoite tai rajoitteet.** Ne voivat olla virtaukseen, laatuongelmiin, kapasiteettiin tai toimintatapoihin liittyviä. Ominaista rajoitteelle kuitenkin on se, että ennen sitä prosessi on ruuhkautunut ja sen jälkeen toimii vajaateholla. Rajoitteen tunnistamiseen voi soveltaa esimerkiksi prosessi ja arvovirtakuvaus, prosessidatan visualisointia ja mittaamista.
2. **Päätä kuinka hyödynnät rajoitteita.** Kun rajoite on tunnistettu, niin prosessia parannetaan ja läpimeno maksimoidaan rajoitteen kohdalla. Rajoitteeseen ei kuitenkaan kohdisteta kalliita muutoksia. Toimenpiteitä voivat olla 5S, standardoitu työ, visuaalinen ohjaus, jaksoajan lyhentäminen ja vaihtelun vähentäminen ja tuotantokoneiden riittävä huolto.
3. **Alista kaikki muut resurssit rajoitteelle.** Rajoitteen toimiessa maksimi kapasiteetilla asettuvat muut prosessin osat samaan tahtiin rajoitteellisen osan kanssa. Jotkin prosessin osat joutuvat käymään vajaateholla, mutta se hyödyttää koko prosessia. Rajoitteen tulee ohjata koko prosessia ja siinä tulee olla aina työtä tehtäväksi, jotta paras läpivirtaus saavutetaan koko prosessissa.
4. **Poista rajoite tarvittaessa.** Rajoite voidaan poistaa tässä vaiheessa, mikäli asetettuja tavoitteita läpimenon lisääntymiselle ei saavuteta. Huomioitavaa on kuitenkin se, että rajoite voidaan poistaa vasta tässä vaiheessa. Poistaminen tarkoittaa resurssien lisäämistä työvoiman tai koneiden osalta. Tunnistettu rajoite on arvokasta tietoa ja joissain tapauksissa sitä ei kannata poistaa, vaan enemminkin pyrkiä avartamaan, koska on olemassa mahdollisuus, että se siirtyy paikkaan, josta sitä on vaikea havaita ja kontrolloida.
5. **Rajoitteen poistuttua, palaa vaiheeseen 1.**

Kaikissa vaiheissa Bichenon ja Holwegin (2016), mukaan Hutchin (2002) jakaa jokaisen vaiheen vielä viiteen eri vaiheeseen, jotka ovat konsensuksen saavuttaminen ongelmasta, halutun lopputuloksen suunnasta, lopputuloksen hyödyistä, ennakkoluulottomasta ajattelusta ja suunnitelman toteuttamisesta. (Mabin & Balderstone 2000, 12–13; Bicheno & Holweg 2016, 230; Liuksiala 2021; Nave 2002, 75–76)

2.6 Vaihtelu ja jatkuva parantaminen

Vaihtelua esiintyy kaikissa prosesseissa ja vaihtelun lisääntymisellä on aina prosessin suorituskykyä alentava vaikutus ja vastaavasti taas vaihtelun vähentämisen avulla prosessin suorituskykyä voidaan parantaa. Vaihtelun pienentämiseen voidaan käyttää prosessia vakauttavia menetelmiä, kuten 5S ja tilastollisia menetelmiä, joiden avulla prosessidatasta voidaan havaita prosessissa olevia poikkeavuuksia. Vaihtelun vaikutus virtaustehokkuuteen on ymmärrettävä, jotta voi ymmärtää virtaustehokkuutta, koska vaihtelu vaikuttaa suoraan tuotannon virtaustehokkuuteen. (Modig et al. 2015, 40–41; Six Sigma 2021)

Erilaisissa valmistussysteemeissä on erilaisia ominaisuuksia, jotka ovat kiinnostuksen kohteena. Niitä ovat esimerkiksi fyysiset mitat, prosessiajat, koneiden huoltoajat, vaihtoajat, laatumittarit sekä lämpötilat, jotka ovat alttiita muuttumaan prosessin edetessä. Vaihtelu liittyy läheisesti satunnaisuuteen, mutta ei ole sama asia. Vaihtelu voidaan jakaa kahteen eri luokkaan, joita ovat hallittavissa oleva ja satunnainen vaihtelu. Hallittavissa oleva vaihtelu esiintyy tuotantoon liittyvien päätösten seurauksena ja satunnainen vaihtelu taas erilaisten tuotannossa tapahtuvien asioiden seurauksena, jotka eivät ole välittömästi kontrolloitavissa. Esimerkiksi asiakastilausten väliset ajat eivät ole kontrolloitavissa ja tuotannon työkuorma voi vaihdella. Lisäksi kone voi äkillisesti rikkoutua ja tuotanto pysähtyä korjauksen ajaksi. Hallittavissa olevaa variaatiota voi olla esimerkiksi se, että kun materiaalia siirretään erissä vaiheesta toiseen, niin ensimmäinen osa joutuu odottamaan siirtymistä pidempään, kuin viimeinen. Se aiheuttaa odotusaikoihin enemmän vaihtelua, kuin siirrettäessä osat yksi kerrallaan. (Hopp et al. 2011, 267)

Jatkuvan parantamisen avulla voidaan parantaa prosessissa havaittuja epäkohtia kehittämällä toimintaa koko ajan. Toiminnan keskiössä on yrityksen koko henkilöstö, joka kehittää omaa toimintaansa pienin askelin liittyen omiin toimintoihinsa ja työtehtäviinsä pyrkien kohti täydellisyyttä. Jatkuvan parantamisen lisäksi kehityksen todentamiseksi ja toiminnan tukemiseksi voidaan käyttää tilastollisen laadunvalvonnan menetelmiä. Menetelmän tehokkuus piilee pienten kehitysaskelien kumuloitumisessa, jolloin isossa kuvassa tulokset ovat suuria. Kuitenkaan suuret yksittäiset kehitysprojektit eivät kuulu menetelmän piiriin. Jatkuvan

parantamisen piiriin toiminnan edistämiseksi kuuluu kiinteästi aloitetoiminta. Perinteinen kehitystoimintaa tukeva menetelmä on PDCA-sykli (Plan, Do, Check, Act), jonka avulla toimintaa kehitetään systemaattisesti. Havaintojen mukaan menetelmä on tehokas muutosten vakiinnuttamisen osalta. (Haverila et al. 2009, 380–382)

2.7 Six Sigma menetelmä

Six Sigma menetelmä on lähtöisin Yhdysvalloista ja se perustuu laatuajattelun pohjalle ja menetelmän tavoitteena on kilpailukyvyn ja kannattavuuden kehittäminen. Se on tehokas menetelmä liiketoiminnan kehittämiseen ja sen avulla on mahdollisuus saavuttaa taloudellista menestystä. Se perustuu ymmärrykseen asiakastarpeesta ja se hyödyntää kurinalaisesti prosessidataa, tilastollista analyysia ja jatkuvan parantamisen periaatetta. Keskeisenä lähtökohtana Six Sigmassa on tilastollinen laadunohjaus ja johtaminen varman tiedon pohjalta. Six Sigma termi tulee tilastollisesta laadunohjauksesta ja se tarkoittaa, että kuuden sigman tasolla prosessissa ilmenee 3,4 virheellistä tuotetta miljoonasta. (Haverila et al. 2009, 389–390; Hopp & Spearman 2011, 171–172)

Six Sigman tarkoituksena on tunnistaa ja vähentää prosessissa ilmenevää vaihtelua. Six Sigma menetelmä perustuu DMAIC-prosessiin, joka suoritetaan kurinalaisesti vaiheittain. DMAIC (define, measure, analyze, improve, control) prosessi alkaa ongelman määrittämisellä, tavoitteen asettamisella ja tiedon keräämisellä parannettavasta kohteesta. Tietoa kerätään ja analysoidaan rinnakkain iteratiivisena prosessina ja tiedon lisääntyessä pyritään löytämään ongelmien juurisyyt. Analyysivaiheessa tyypillisesti käytetään yhtenä työkaluna tilastollisia menetelmiä syy-seuraussuhteen määrittämiseksi. Parannusvaiheessa suunnitellaan ja toteutetaan analysoidun tiedon pohjalta korjaavat toimenpiteet. Kontrollivaiheessa toteutettujen toimien vaikuttavuutta seurataan ja onnistuneet toimet pyritään vakioimaan, jotta prosessi ei palaudu takaisin vanhaan tilaansa. (Hopp & Spearman 2011, 173, 189–190)

Lean ja Six Sigma ovat tehokkaita prosessien parannusmenetelmiä. Menetelmillä on yhteiset tavoitteet ja pyrkimys asiakastyytyväisyyden saavuttamiseen. Yhdistettynä nämä kaksi

metodia muodostavat erittäin tehokkaan tavan ratkaista ongelmia monipuolisesti. (Salah, Rahim & Carretero 2010, 271) Leanin ja Six Sigman toisiaan täydentävä suhde onkin nykyään laajalti hyväksytty. Näiden kahden menetelmän kyvykkyys on kyetty todistamaan isoissa yrityksissä esimerkiksi Toyotalla ja Boeingilla. Lean Six Sigmaa (LSS) voidaankin kuvailla menetelmäksi, joka keskittyy vaihtelun ja hävikin poistamiseen DMAIC- prosessia noudattamalla tavoitteena saavuttaa asiakastyytyväisyys laadun, toimitusten ja kustannusten suhteen. (Salah et al. 2010, 250)

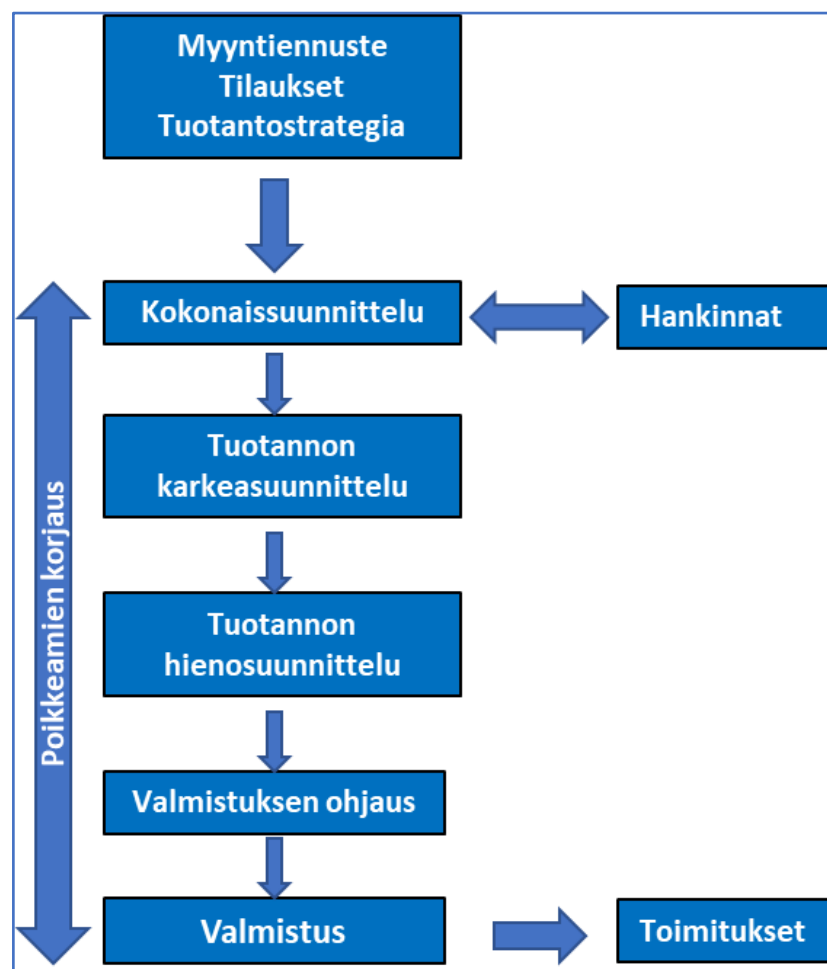
3 Teollisen prosessin ja varastonhallinnan ohjaus ja mittaaminen

Mittaaminen on yrityksille tärkeä osa eri toimintojen ohjaamista ja mittaamisen avulla saadaan tietoa eri toimintojen tilasta ja suorituskyvystä. Eri toiminnot vaativat ohjaamista ja siihen liittyvään päätöksentekoon tarvitaan hyvää ja luotettavaa tietoa, jonka avulla voidaan tehdä onnistuneita päätöksiä. Hyvä mittaamisjärjestelmä tulisi olla jatkuva prosessi, jossa ensin määritellään päätöksen tekemisen kannalta oleelliset asiat, joista tarvitaan tietoa. Mittarit olisikin valittava siten, että niillä on vaikutus päätöksen tekoon, mutta iso määrä erilaisia mittareita, joiden tuottamaa tietoa ei hyödynnetä, on hukkaa. Käyttöön valittuja mittareita on tarkasteltava kriittisesti niiden tuottaman tiedon kannalta ja mittaaminen luokin pohjan tehokkaaseen johtamiseen ja tuotannonohjaamiseen. Se onkin kaikkein perustavanlaatuisin järjestelmä ja sen mitatessa oikeita asioita päästään haluttuun lopputulokseen. (Ukko, Pekola, Saunila, & Rantala 2015, 222; Spitzer 2007, 13; Bicheno 2016, 300–301)

3.1 Tuotannonohjausjärjestelmät

Tuotannonohjaus on tärkeässä roolissa hallittaessa yrityksen läpi virtaavaa materiaalia. Se sisältää operatiivisia toimia aina niiden suunnittelusta toteutukseen ja valvontaan. Tuotannonohjauksen avulla hallitaan yrityksen resurssien käyttöä, jotta haluttuun lopputulokseen voidaan päästä. Sen eri osa-alueita ovat tuotesuunnittelu, tuotannon suunnittelu, materiaalinohjaus, valmistuksen ohjaus, tuotannon seuranta ja tuotannon kehittäminen. Tuotannonohjaus on tiukasti sidoksissa yrityksen muihin toimintoihin ja sen tarkoituksena on kyetä reagoimaan toimintaympäristössä tapahtuviin muutoksiin, jotta voidaan saavuttaa hyvä toimituskyky, kapasiteetin käyttöaste, lyhyt kokonaisläpäisy aika ja vähäinen vaihto-omaisuuteen sidottu pääoma. Tehokkaasti toteutettu tuotannonohjaus kykenee sopeuttamaan markkinoiden kysynnän ja tuotannon kapasiteetin asiakkaiden vaatimusten ja yrityksen tuotantostrategian mukaisesti. (Haverila et al. 2009, 402; Hokkanen et al. 2011, 208–209)

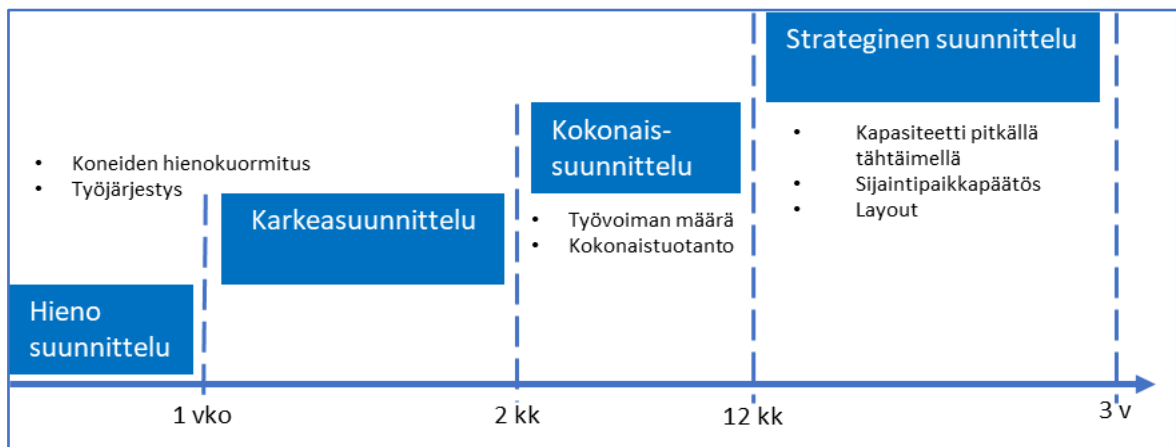
Operatiivisella tasolla tuotannonohjaus jakautuu prosessiin, joka etenee vaiheittain. Aikaisempaan todelliseen ja ennustettuun kysyntätietoon perustuvan informaation perusteella suunnitellaan tuotantostrategia, joka tarkentuu vähitellen tuotantosuunnitelmaksi. Tuotannosuunnittelun eri osa-alueita ovat kokonaissuunnittelu, aikataulusuunnittelu ja resurssisuunnittelu. Suunnitteluprosessi voi vaihdella riippuen toimialasta ja yleensä asioiden tarkentuessa vaaditaan uudelleensuunnittelua. Pää tavoitteena on tuotantojärjestelmän ohjattavuus ajantasaisen tilanne-, ja ennustetiedon avulla, jotta voimavarat saadaan kohdennettua kustannustehokkaasti. (Martinsuo, Lyly-Yrjänäinen, Mäkinen Suomala 2016, luku 10)



Kuva 5. Tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen prosessi (Martinsuo et al. 2016, luku 10)

Kuvassa 5 on esitetty tuotannosuunnittelun prosessi yleisellä tasolla. Tuotannon suunnittelun prosessi etenee tuotantostrategian mukaisesti aina valmistukseen ja toimitukseen asti vaihe vaiheelta. Operatiivisella tasolla suunnitelma tarkentuu koko ajan edetessään

prosessissa. Tarpeen mukaisesti suunnitelmaa korjataan tilanteen vaatimalla tavalla, koska erilaiset muutokset ja häiriötekijät edellyttävät asioiden uudelleenjärjestelyä. Toiminnanohjaus jakautuu organisaation eri tasoille ja yksiköille. Johdon tehtävänä on suunnitella tuotantorjestelmään, kapasiteettiin, ulkoistamiseen ja kokonaisresursseihin liittyvät asiat. Keski-johto keskittyy toimissaan kapasiteetin kohdentamiseen ja tuotannon karkeasuunnitteluun ja sen seurantaan. Työnjohto ja tuotantohenkilöstö keskittyy viikkotasolla tapahtuvaan hienosuunnitteluun, toteutukseen ja seurantaan. (Martinsuo et al. 2016, luku 10; Hokkanen et al. 2011, 212)



Kuva 6. Tuotannon suunnittelu eri aikajännteillä. (Martinsuo et al. 2016, luku 10)

Tuotannonohjauksen suunnittelu toteutetaan tyypillisesti rullaavan periaatteen mukaisesti eli suunnitelmat laaditaan lyhyelle, keskipitkälle ja pitkälle aikavälille, kuten kuvasta 6 voidaan havaita. Suunnitelmaa tarkennetaan toteutusajan lähestyessä ja samanaikaisesti uusia suunnitelmia laaditaan tuleville ajankohdille. Suunnittelun lähtökohtana toimivat kysyntäennusteet ja todellinen tilauskanta. Niiden avulla voidaan ennakoida tulevaa kysyntää ja sen myötä sopeuttamaan kapasiteettia ja varastoja tulevaisuutta ajatellen. (Martinsuo et al. 2016, luku 10)

Kokonaissuunnittelu sisältää tuotannon volyymin, resurssitarpeiden, varastojen ja hankintojen suunnittelun keskipitkällä aikavälillä. Se toimii myös lähtökohtana vuotuiselle budjetti-, karkea-, ja hienosuunnittelulle. Karkeasuunnittelun avulla kokonaissuunnitelmaa viedään

tarkemmalle ja yksityiskohtaisemmalle tasolle. Sen avulla aikataulutetaan toteutus tuotantojärjestelmässä ja tuotantoerissä. Karkeasuunnittelun päätehtävänä on tuotannon kokonaisaikataulun, resurssien käytön ja toimituskyvyn varmistaminen viikkojen aikavälillä. Hienosuunnittelua tehdään päivien tai viikkotason aikavälillä ja tässä vaiheessa suunnittelu muuttuu tuotantoerien, työvaiheiden ajoitukseen ja resurssien käytön osalta yksityiskohtaiseksi. Lähtökohtana suunnittelussa on ajantasainen tieto. Hienosuunnittelussa on koko prosessin tuntemus oltava hyvin hallinnassa. (Martinsuo et al. 2016, luku 10)

Nykyisin hienosuunnittelussa on vakiintuneita käytäntöjä, jotka ovat laajasti käytössä eri tuotantojärjestelmissä. Asetusaikojen ja -kustannusten minimoinnin avulla voidaan etsiä ihanteellista tuotantojärjestystä, jonka avulla saadaan asetusten vaihtokertojen määrää vähennettyä ja siihen kuluva aikaa siirrettyä lisäarvoa tuottavaan toimintaan. Toinen periaate on pullonkaulojen kuormituksen maksimointi, jotta sen läpi saadaan virtaamaan materiaalia mahdollisimman paljon. Se voi tarkoittaa myös puskurivarastoja ennen pullonkaulaa, vaikka tavoitteena olisikin minimivarastot ja lyhyet läpimenoajat. Kolmantena käytäntönä on tuotteen ajoittaminen eri työvaiheiden ja kokonaisläpäisyajan perusteella. Ajoittaminen toteutetaan yleisesti laskemalla valmistumisajankohdasta taaksepäin. (Martinsuo et al. 2016, luku 10; Hokkanen et al. 2011, 211)

Arvovirran suuntainen ohjaus eli JIT (Just in Time) tuotanto on yksi tunnetuimmista periaatteista, joita käytetään nykyaikaisessa tuotannon ohjauksessa. Siitä käytetään myös nimitystä imuohjaus. Sen ajatuksena on se, että tuotannossa virtaavat yksiköt siirtyvät seuraavaan vaiheeseen vasta, kun niitä tarvitaan. Siirtyminen tapahtuu imuohjauskortin (kanban) avulla. Lisäksi ajatuksena on mahdollisimman lyhyet läpimenoajat, pienet eräkoot, nopeat asetusajat, pienet varastot ja pieni sitoutunut pääoma. Toimintamalli vaatii toimiakseen selväpiirteisen tuotannon, jossa tuotannonohjaus, materiaalivirrat ja tuotannon layout on järjestetty tehokkaasti ja selkeästi. (Martinsuo et al. 2016, luku 10; Hokkanen et al. 2011, 212–214; Haverila, Uusi-Rauva, Kouri, Miettinen 2005, 428)

Käytännössä kuitenkin pieniä nopeasti kiertäviä välivarastoja tarvitaan häiriöttömän tuotannon ylläpitämiseksi. JIT ohjaus vaatii toimiakseen joustavaa toimintaa, tehokkaita informaatiovirtoja, lyhyitä läpimenoaikoja, selkeää tuotannon layoutia, osaavaa työvoimaa ja luopumisen perinteisestä ajatuksesta, että tuotteita valmistetaan varastoon. Vanha näkemys arvovirran ohjaamisesta on ollut ns. työntöohjaus, jossa edellinen työvaihe kuormittaa seuraavaa ja tuotteita valmistetaan aikataulun mukaisesti varastoon, vaikka kysyntä on tuotantoa pienempi. (Martinsuo et al. 2016, luku 10; Hokkanen et al. 2011, 212–214)

3.2 Prosessin tehokkuusmittarit ja kokonaistehokkuus

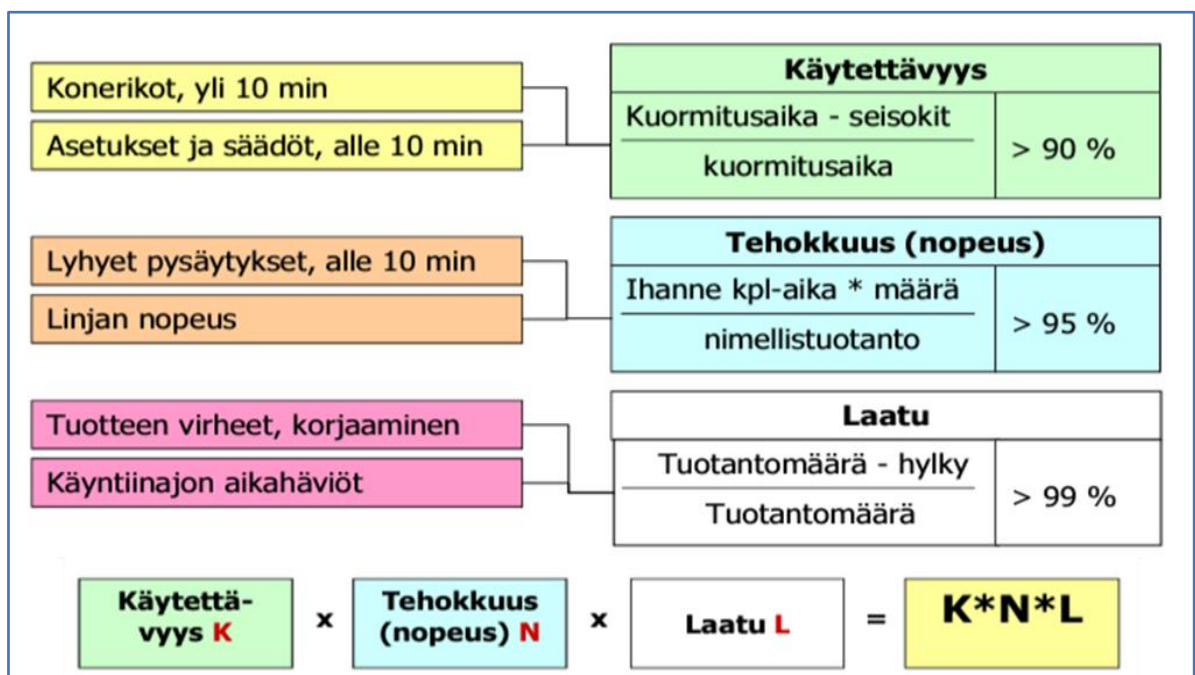
Kokonaistehokkuuden mittaaminen OEE (Overall Equipment Effectiveness) on tehokas työkalu, jonka avulla voidaan mitata suorituskykyä ja suorittaa diagnostiikkaa laitetasolla. Se on määrällinen mittari yksittäisten tuotantolaitteiden tuottavuuden mittaamiseksi tuotantolaitoksella. Sen vahvuutena on kyky yhdistää useita eri ulottuvuuksia yhteen mittariin. Mittarin juuret ovat 1980-luvulla ja sen avulla on mahdollisuus paljastaa laitteeseen liittyviä piilokustannuksia mittaamalla erityyppisiä tuotantohäviöitä ja löytämällä prosessin kehittämiskohteita. (Muchiri & Pintelon 2008, 3517; Muthiah & Huang 2007, 4753)

OEE mittaa laitteiden kokonaissuorituskykyä ja se on kolmiosainen analysointityökalu, jonka avulla voidaan mitata laitteen kokonaissuorituskykyä. Se on suunniteltu tunnistamaan hukkia, jotka vaikuttavat laitteen tehokkuuteen. Se toimii alhaalta ylös ja siinä työntekijät pyrkivät eliminoimaan kuutta isoa hukkaa, jotka voidaan erotella käytettävyyks, tehokkuus ja laatuhäviöihin. Muchirin ja Pintelonin (2008, 3520) mukaan kuusi isoa häviötä ovat:

1. **Vikahäviöt**, jotka aiheuttavat aikahäviötä ja määrähäviötä. Ne johtuvat laitehäiriöistä tai vioista, joiden takia koko tuotantolinjasto joudutaan pysäyttämään.
2. **Asetus- ja säätöhäviöt**, joita syntyy, kun tuotantolinjastolla vaihdetaan tuotetta ja asetusten vaihtamiseen, säätöön ja linjaston käynnistykseen kuluu aikaa.
3. **Joutokäynti ja pysähtely häviöitä** syntyy pienien väliaikaisten ja nopeasti korjattavien toimintahäiriöiden takia. Mikäli niitä ilmenee useasti, niin niiden takia menetetään paljon tuotantoa.

4. **Nopeushäviöt**, joita aiheutuu, kun laitteistoa ajetaan teknistä nopeutta pienemmällä käyttönopeudella. Prosessissa olevat esteet voivat johtaa nopeushäviöihin.
5. **Laatuhäviöt** aiheutuvat tuotantolaitteiden toimintahäiriöistä ja sen aiheuttamasta jälkityöstön tarpeesta, joiden takia prosessin läpivirtaus hidastuu.
6. **Tuottohäviötä** esiintyy laitteiston käynnistyksen yhteydessä ennen prosessin vakautumista. Huono valmistautuminen linjaston käynnistykseen liittyen voi pidentää prosessin vakautumisaikaa ja aiheuttaa tuottohäviötä.

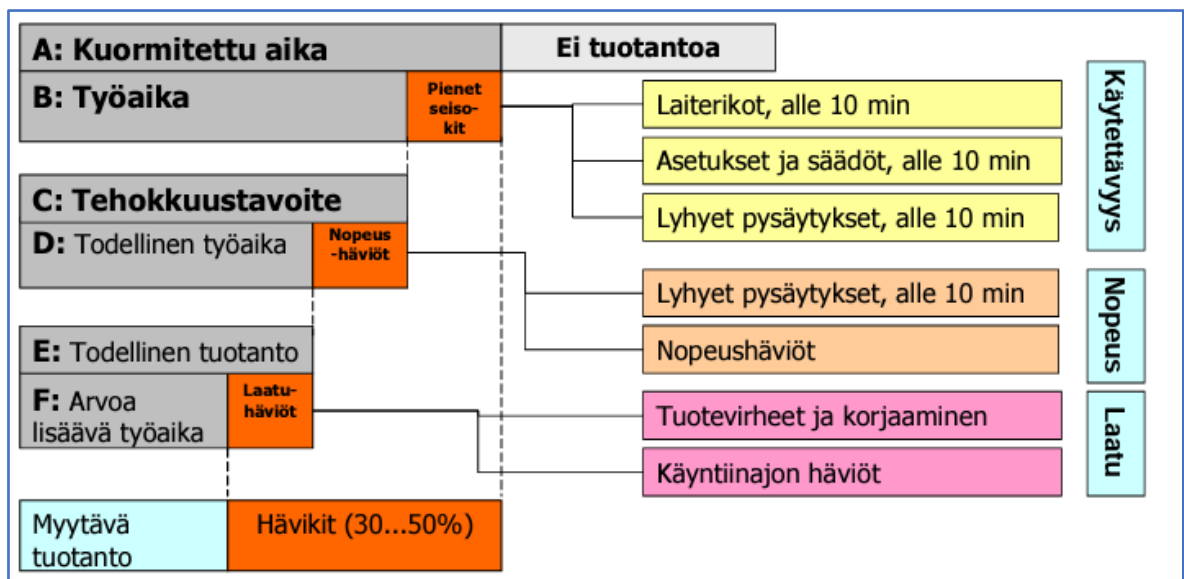
Suomessa tuotantokoneiden kokonaistehokkuudesta puhuttaessa käytetään lyhennettä KNL (käytettävyys, nopeus, laatu). Kokonaistehokkuuden laskennassa esiintyy Muchirin ja Pintelonin (2008) mukaan erilaisia variaatioita etenkin tuotannon menetyksien laskennan osalta. Yksi variaatio laskea KNL on yksinkertaisen kertolaskun avulla ja se yhdistää tuotannon eri osa-alueita yhdeksi mittausyökaluksi. Näkökulmia ovat kunnossapidon tehokkuus, tuotannon tehokkuus ja laatutehokkuus. Kokonaistehokkuuden laskennassa käytettävien mittarien mukaan se voidaan laskea hieman eri parametreillä. Villanen (2013) esittää seuraavan tavan (Kuva 7)



Kuva 7. Kokonaistehokkuuden laskeminen (Villanen 2013, 1)

KNL saadaan laskettua, kun ensin lasketaan käytettävyys, tehokkuus ja laatuparametrit. Käytettävyys lasketaan vähentämällä seisokit kuormitusajasta ja jakamalla se kuormitusajalla. Tehokkuus lasketaan kertomalla tuotettu määrä tuotteen valmistusajalla ja jakamalla saatu tulos nimellistuotantoon olevalla ajalla. Laatu lasketaan vähentämällä hylättyjen määrä tuotantomäärästä ja jakamalla tulos tuotantomäärällä. Lopuksi saadut tulokset kerrotaan keskenään, jolloin saadaan kokonaistehokkuudelle tulos prosentteina. (Santos et al. 2006, 14) Kuvan 7 esimerkin kokonaistehokkuus on 84,6 prosenttia. Villasen (2013) mukaan 80 prosentin kokonaistehokkuus ilmenee vain erittäin tehokkailla tuotantolinjoilla ja 50–70 prosentin KNL on monille yrityksille todellisempi tulos.

Tuotantolinjaston hävikki kertyy eri osa-alueilla ilmenevistä häviöistä. Isot tuotantohäiriöt ovat helposti havaittavia, koska ne johtavat usein koko tuotantolinjaston pysähtymiseen. Vaikeammin havaittavat ja piilevät ongelmat prosessin virtauksessa vaativat kuitenkin perusteellisen analyysin, jotta ongelman juurisyyhyn päästään käsiksi ja ongelman aiheuttaja voidaan poistaa. (Villanen 2013, 2) Kuva 8 esittää työajan hävikin kertymistä prosessin eri vaiheissa.



Kuva 8. Työajan hävikki (Villanen 2013)

Kuten kuvasta 8 voidaan havaita, niin pieniltä tuntuvat häviöt eri osa-alueissa voivat johtaa 30–50 prosentin hävikkiin myytävän tuotteen osalta. Mittarina KNL tarjoaa arvokasta tietoa ajanhukasta ja tuotannon menetyksestä. Yritystasolla KNL mittarin avulla voidaan optimoida kapasiteetin suorituskykyä. Sen avulla voidaan vähentää vaihtelua, lyhentää vaihtoaikoja ja parantaa prosessin suorituskykyä. ERP ja MES järjestelmissä voidaan kokonaistehokkuuden laskenta automatisoida niiden tuottaman tarkan tiedon avulla. (Muchiri et al. 2008, 3533–3534)

3.3 Prosessin laatumittarit

Organisaation tuottamien palveluiden ja tuotteiden laatu määrittyy sen mukaan, kuinka hyvin ne täyttävät asiakkaiden vaatimukset. Asiakkaan kokema arvo ja tuotteista tai palveluista saatava hyöty sekä niiden toimivuus sisältyy olennaisena osana laadun määritelmään. Laatuajatteluun liittyy myös organisaation sisäinen kulttuuri, jonka käytös, asenteet ja prosessit luovat asiakkaalle arvoa ja täyttävät heidän odotuksensa tarpeensa. Laadunhallinnan keskeisenä tavoitteena on kyetä täyttämään asiakkaiden vaatimukset ja ylittämään heidän odotuksensa. Laadunhallintajärjestelmä toimii tehokkaimmin, kun organisaatiossa työskentelevät ihmiset hyödyntävät osaamistaan, koulutustaan ja kokemustaan omien tehtäviensä hoitamiseen ja ylimmän johdon tehtävänä on mahdollistaa työssä tarvittavan osaamisen kehittäminen. Laadunhallinnan peruseriaatteita ovat: asiakaskeskeisyys, johtajuus, ihmisten täysipainoinen osallistuminen, prosessimainen toimintamalli, näyttöön perustuva päätöksenteko sekä suhteiden hallinta. (Haverila et al. 2009, 372–373; SFS-EN ISO 9000:2015, 6–8)

Keskittymällä asiakkaan ymmärtämiseen ja palvelemiseen voidaan saavuttaa parempi asiakastyytyväisyys. Hyvällä asiakastyytyväisyydellä on vaikutusta asiakasuskollisuuteen, asiakassuhteiden jatkumiseen ja yrityksen maineeseen. Hyvä maine ja asiakastyytyväisyys auttavat saavuttamaan isomman markkinaosuuden ja suuremmat tuotot. Hyvän johtajuuden avulla luodaan yhteinen tarkoitus ja suunta, jonka avulla voidaan yhdenmukaistaa strategiaa, prosesseja ja resursseja, jotta tavoitteiden saavuttaminen on mahdollista. Yhdenmukaisten toimintamallien avulla organisaation laatutavoitteiden saavuttaminen mahdollistuu helpommin, koska organisaation eri toimintoja koordinoidaan paremmin. Viestintä eri tasoilla

tehostuu ja hyvän johtamisen avulla luodaan organisaatioon luottamuksen ilmapiiri ja käyttäytymismallit, jolloin se kannustaa koko organisaatiota sitoutumaan laatuun. (SFS-EN ISO 9000:2015, 8–10)

Ihmisten täysipainoinen osallistuminen on tärkeä osa organisaation laatutavoitteiden saavuttamiseksi. Se tarkoittaa sitä, että kaikilla organisaation tasoilla toimivilla ihmisillä on omalta osaltaan mahdollisuus vaikuttaa päätöksentekoon, jolloin ihmiset ovat tyytyväisempiä ja osallistuvat aktiivisemmin parantamistoimiin. Se lisää työntekijöiden keskinäistä luottamusta ja saa ihmiset toimimaan aloitteellisemmin ja luovemmin. Henkilöstön rooli korostuu kokonaisvaltaisessa laatujohtamisessa. (Haverila et al. 2009, 378–380; SFS-EN ISO 9000:2015, 10–11)

Erialaisten toimintojen hallinta tehostuu, kun eri toimintoja käsitellään toisiinsa liittyvinä prosesseina. Laadunhallintajärjestelmä rakentuu näiden toisiinsa liittyneiden osaprosessien ympärille. Tulosten saavuttamisen kannalta on tärkeää, että organisaatiossa ymmärretään tuloksen teon kannalta keskeiset asiat, jolloin järjestelmää ja se suorituskykyä voidaan optimoida. Kokonaisprosessin toiminnan ymmärtäminen on tärkeää siksi, että voimavarat voidaan keskittää tuloksenteon kannalta keskeisiin prosesseihin ja kohdistaa parantamistoimenpiteitä eri toimintojen välisiin esteisiin. Laadun mittaamisen kannalta tärkeää on määrittellä tavoitteet ja toimet niihin pääsemiseksi. Lisäksi on tärkeää määrittellä prosessien hallintaan liittyvät valtuudet ja vastuut sekä ymmärtää lähtökohtatilanteen asettamat rajoitukset toimintaan. Kokonaisprosessin seurannan kannalta oleellista on, että saatavilla on olemassa riittävästi tietoa, jonka avulla prosessia ja sen suorituskykyä voidaan analysoida. Analyysin pohjalta voidaan tietoon perustuen suunnitella parannustoimenpiteitä. (SFS-EN ISO 9000:2015, 10–12)

Haluttuihin tuloksiin pääsemiseksi päätöksenteon tulisi perustua tosiasioihin, datan ja informaation analyysin perusteella. Faktoihin perustuva päätöksenteko johtaa objektiivisempaan päätöksentekoon ja helpottaa todellisten syy-seuraussuhteiden ymmärtämistä. Analyysin tueksi tarvitaan riittävästi tietoa ja siksi on tärkeää määrittää soveltuvat indikaattorit, joita seurataan toistuvasti mittaamalla. Mittaamisen avulla voidaan seurata prosessin suorituskykyä

ja sen muutosta. Mittaustuloksien tulisi olla prosessiin liittyvien työntekijöiden saatavilla, jotta kaikilla osallisilla on sama käsitys prosessin tilasta. Analysoidun tiedon perusteella on mahdollisuus osoittaa edellisten päätösten vaikutukset prosessin toimitaan. (SFS-EN ISO 9000:2015, 12–13)

Yleisiä laatuongelmia ovat esimerkiksi viat lopputuotteessa, budjetin ylittäminen, dokumentoinnin puutteet, erilaiset viivästymiset ja aikatauluongelmat, tarpeeton työ, palautettu tuote ja mainehaitta. Laadunhallintaa voidaan käytännössä parantaa esimerkiksi verifioinnin, validoinnin, testauksen, tarkastusten ja katselmointien avulla. Laatujärjestelmä itsessään sisältää kaikki edellä mainitut toimenpiteet. Laadun mittaamisen avulla voidaan paljastaa prosessissa ilmeneviä ongelmia, saavuttaa parempi ymmärrys prosessista, tunnistaa kehityskohteet ja ennakoida tulevia tapahtumia. Ongelmatonta mittaaminen ei kuitenkaan ole. Se aiheuttaa kustannuksia ja luotettavien yksittäisten mittareiden luotettavuuskin saattaa olla kyseenalainen. Mittaamisessa omat ongelmansa aiheuttavat myös työntekijöiden asenneongelmat ja toiminnan sopeuttaminen mittareihin, jolloin parannusta ei saada aikaan. (Heikkilä 2003, 4–10)

Auditoinnin avulla saadaan riippumatonta tietoa laatujärjestelmän tilasta. Auditointi voi olla yrityksen itsensä tekemä sisäinen tai ulkoinen riippumattoman tahon tekemä tarkastus, jossa laatujärjestelmää tarkastetaan vertaamalla sitä dokumentaatioon tai standardiin. Auditoinnin tarkoituksena on selvittää organisaation nykyhetken tilanne, kehityskohteet ja paljastaa toiminnassa ilmeneviä ongelmakohtia. Auditointi tehdään havainnoimalla dokumentaatiota, haastattelemalla henkilöitä, tarkastelemalla työvälineitä-, ja tapoja. Lopuksi auditoinnista laaditaan raportti, johon havainnot kirjataan. Sen perusteella voidaan ryhtyä suunnittelemaan korjaavia toimenpiteitä havaittuihin ongelmiin. Auditointi on laatujärjestelmän objektiivista tarkkailua. Siihen ei sisälly kritiikkiä työntekijöistä tai sen avulla ei myöskään arvioida alaisia. (Heikkilä 2003, 11–13; Haverila et al. 2009, 384–385)

Laadunhallintajärjestelmä auttaa löytämään keskeisimpien sidosryhmien odotukset ja tarpeet, asettaa rajat organisaation toiminnalle ja auttaa ymmärtämään kokonaisuutta ja

toimintaympäristöä. Se lisää asiakkaiden luottamusta ja parantaa toimeksiantojen hallintaa sekä saattaa hyvät käytännöt läpinäkyviksi ja auttaa niiden viemisessä käytäntöön. Parantuneen dokumentoinnin ansiosta ongelmakohtien tunnistaminen helpottuu. Eurooppalainen laadunhallintajärjestelmä EN ISO 9000:2015 on yksi kansainvälisesti käytössä oleva laatu-standardi. (Heikkilä 2003, 15–19)

3.4 Varastonohjausjärjestelmät

Erilaisia varastoja on joka puolella logistisessa järjestelmässä. Ne muodostuvat raaka-aineista, keskeneräisistä tuotteista, keskeneräisestä työstä ja valmiista tuotteista. Varastointi aiheuttaa kustannuksia ja se harvoin lisää tuotteen arvoa. Tarpeettomat varastot ovatkin hyödyttömiä ja varastonohjauksen tehtävänä on tasapainottaa kustannukset, toimituskyky ja laatu, jotta paras mahdollinen lisäarvo saadaan tuotettua asiakkaille sekä yrityksille. Varasto voidaan käsittää tilaksi, jossa materiaaleja säilytetään tai säilytettäväksi materiaaliksi siitä aiheutuvineen kustannuksineen. Varastonohjaus käsittää toimenpiteet, joiden avulla ohjataan materiaalivirroista koostuvaa kassavirtaa ja tehostetaan sijoitetun pääoman tuottoa. (Hokkanen, Karhunen & Luukkainen 2011, 200–202)

Hokkanen et al. (2011) mukaan Lambert ja Stock (1993) nimeävät viisi syytä varastojen pitämiseen:

1. *Taloudellisen edun saavuttaminen*
2. *Kysynnän ja tarjonnan tasapainottaminen*
3. *Tuotannon erilaistamisen mahdollistaminen*
4. *Epävarmuudelta suojautuminen*
5. *Jakelukanavan kriittisten rajapintojen puskurina toimiminen.*

Taloudellista etua voidaan varastoinnissa saavuttaa kasvattamalla volyymia tuotteiden suuremmilla osto- ja kuljetuserillä, joiden avulla materiaalin yksikkökustannukset saadaan pienemmiksi. Kysyntää voidaan tasapainottaa suurentamalla varastoja kysyntäpiikkien ajaksi ja tuotannossa voidaan tuotannon jatkuvuus turvata riittävien raaka-aine varastojen avulla.

Erilaistaminen eli massaräätälöinti, jossa tuotteen loppukokoonpano tehdään asiakkaan tilauksen mukaan ja varastossa säilytetään erilaisia osia, on yleinen toimintamalli esimerkiksi tietokoneiden toimittajilla. Varmuusvarastojen ja puskurivarastojen avulla voidaan ehkäistä varastojen loppumista poikkeavissa tilanteissa, kuten äkillisien kysyntäpiikkien tai toimitusongelmien sattuessa. (Hokkanen et al. 2011, 202; Shenoy & Rosas 2018, 5–6)

Varastonohjauksen tärkein tehtävä on mahdollisimman alhaisen kustannustason pitäminen sillä edellytyksellä, että tuotteiden toimitusvarmuus säilyy asiakkaiden vaatimalla tasolla. Lisäksi toiminnan tulee olla korkealaatuista. Näistä kolmesta asiasta koostuu kokonaisuus, joka tuottaa asiakkaalle lisäarvoa, jota kuva 9 esittää.

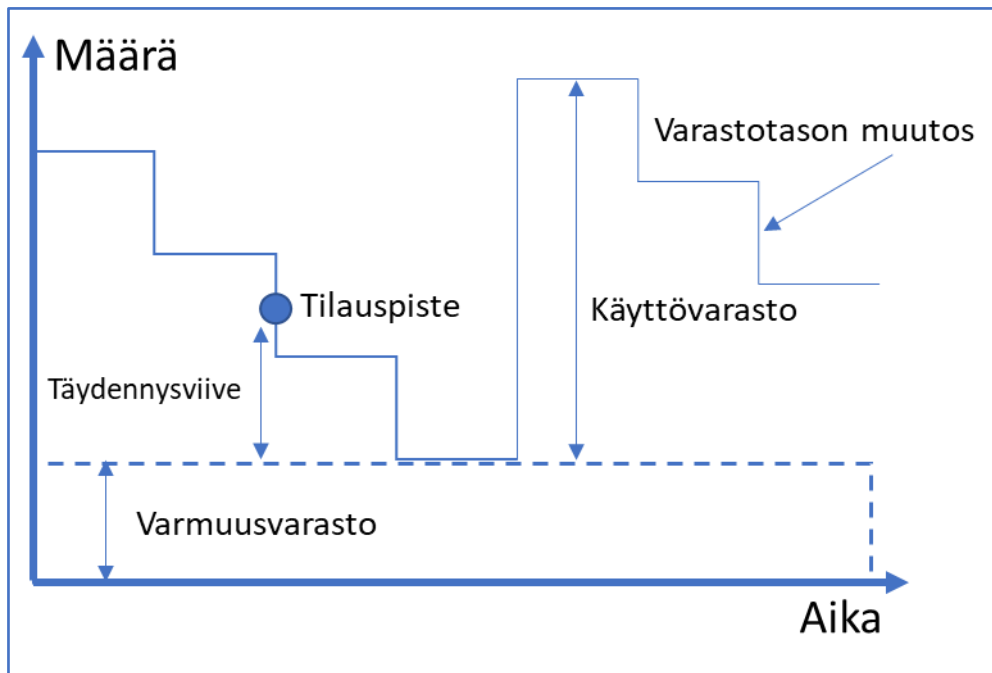


Kuva 9. Varastonohjauksen tuoman lisäarvon rakenne (Hokkanen et al. 2011, 201)

Tehokkaalla varastonohjauksella voidaan lisätä asiakastyytyväisyyttä ja yrityksen taloudellista asemaa, mutta usein se on yritykselle toisarvoista toimintaa, joka kuitenkin on tuottavuuden ja tuotannon kannalta välttämätöntä. Varastonohjaus on yksi tärkeimmistä osa-alueista yrityksen materiaalin ohjauksessa, koska hyvä tuotannon virtaus vaatii, että materiaalia on saatavilla oikea määrä, oikeassa paikassa ja oikeaan aikaan. (Hokkanen et al. 2011, 201–202; Shenoy et al. 2018, 7)

Varastojen kustannusohjaus on tärkeässä roolissa, jotta varastolle asetutut tavoitteet täyttyvät. Varastojen arvo voi olla 30–60 prosenttia kokonaisvarallisuuden mukaan, riippuen onko kyseessä tuotteiden valmistaja vai jälleenmyyjä (Lambert & Quinn 1981, 1). Tavoitteita kustannusohjaukseen voivat olla varastoon sitoutuneen pääoman ja logistiikkakustannusten pienentäminen ja varastotasojen säätely, joilla on positiivinen vaikutus yrityksen kannattavuuteen. Varastonohjauksen päätavoitteena tulisi olla varastotasojen sopeuttaminen vastaamaan asiakasodotuksia ja tavoitteen saavuttamiseksi täytyy tilausaika ja toimituserän suuruus olla määritetty. (Haverila et al. 2009, 443–445)

Varasto jaetaan yleisesti kahteen eri osaan, joita ovat käyttövarasto ja varmuusvarasto. Käyttövaraston taso vaihtelee asetettujen rajojen puitteissa ja sen saavutettua alarajan tilataan tuotteita lisää varastonohjauksen mukaisesti. Varmuusvaraston avulla voidaan vaikuttaa toimitusketjussa ilmenevään epävarmuuteen ja häiriötilanteisiin. Lisäksi käsite keskimääräinen varasto on tietyn ajanjakson varastotason keskiarvo. Tarkimmin keskivarasto saadaan määritettyä todellisiin arvoihin perustuvasta tarkastelusta. (Sakki 1999, 85–87; Logistiikan maailma 2022)



Kuva 10. Käyttövarasto ja varmuusvarasto (Sakki 1999, 88)

Kuvasta 10 havaitaan varmuusvaraston ja käyttövaraston ero. Varastotason laskiessa tulee vastaan tilauspiste, jossa varastoon tilataan täydennyserä. Tilauspiste on määritelty siten, että normaalitilanteessa varastoon saadaan täydennystä juuri ennen kuin varastotaso laskee varmuusrajan alapuolelle. Käyttövaraston suuruus riippuu toimituserän koosta ja varmuusvaraston osalta sen suuruuteen vaikuttaa haluttu palveluaste ja varaston valvonnan tarkkuus. Toimituserien kokoon ja varmuusvarastoon vaikuttavia tekijöitä ovat esim. toimitusajan pituus, äkillinen kysynnän vaihtelu, kuljetusetäisyys jne. Varastotasojen minimoitaessa kyseiset asiat tulisi huomioida, jotta minimoinnista aiheutuvat muut kustannukset eivät kasva kohtuuttomasti. (Sakki 1999, 88, 107)

Toimituserän kokoa arvioitaessa hyödyllinen työkalu on taloudellisen eräkoon kaava EOQ (Economic Order Quantity), joka tunnetaan myös Wilsonin tai optimieräkoon kaavana. Kaavan matemaattinen muoto on seuraava:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot C_o}{U \cdot C_i}} \quad (2)$$

Missä

D on arvio vuosimenekistä

C_o on toimituserän kustannus

U on tuotteen yksikköhinta

C_i on varastoinnin kustannus

Kaava on siinä mielessä ongelmallinen, että kaikki muuttujat ovat arvioita ja sen antama tulos riippuu lähtötietojen tarkkuudesta. Kaavassa D on arvio vuosimenekistä, C_o on toimituserän kustannus, U on tuotteen yksikköhinta ja C_i on varastoinnin kustannus. Tuloksena saadaan optimaalinen tilauserä koko. Kaavan antama tulos on tehokkuusnäkökulmasta katsottuna kahdesta neljään kertaa liian suuri ja se johtuu siitä, että se ei huomioi tilauskustannusten pienenemistä tai varastojen kasvun vaikutuksia laatuun ja läpäisy aikaan. (Sakki 1999, 107–110; Hopp & Spearman 2011, 85; Haverila et al. 2009, 456)

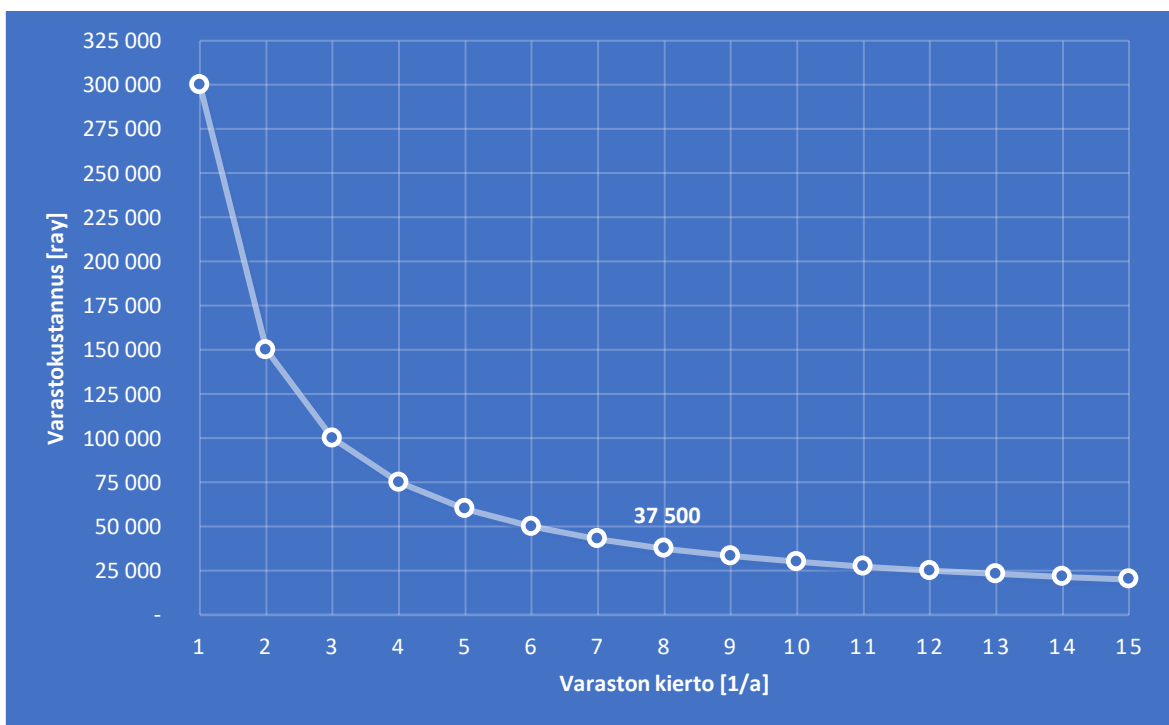
Tehokas varastonohjaus on tärkeässä roolissa tarkasteltaessa varastoihin liittyviä kustannuksia. Varastonohjauksen tehtävänä on varmistaa logistiikan toimivuus mahdollisimman alhaisilla kustannuksilla. Kustannukset syntyvät yleensä toissijaisista ja hukkaa aiheuttavista toimista. Abhishek ja Pratap (2012) tutkimuksessaan tunnistaneet seitsemän edellä esiteltyä Lean hukkatyyppiä ja esittävät vastatoimia niiden ehkäisemiseksi.

3.5 Varaston kiertonopeus ja riitto

Varaston kiertonopeudella tarkoitetaan sitä, kuinka usein varasto kiertää tietyssä ajanjaksoissa. Kiertonopeus on yksi varaston tehokkuutta kuvaavista mittareista. Varaston kiertonopeudella on vaikutus varastointikustannuksiin ja sen avulla on mahdollisuus selvittää eri varastonimikkeisiin sitoutunut pääoma. Varaston kiertonopeuden laskemiseen voidaan käyttää eri menetelmiä, mutta yleisesti se lasketaan tietyn ajanjakson kulutuksen, käytön tai

keskivarastonarvon suhteena. Laskennassa käytetään yleisesti vuoden ajanjaksoa ja kulutusmäärien otanta on hyvä suorittaa riittävän pitkältä aikaväliltä, jotta satunnaisvaihtelu ei vääristä otoksen tulosta. Kiertonopeuden määrittämisessä suosittu tapa on verrata rahalliseen muuttujaan, koska tällöin eri tekijöiden vertaaminen on helppoa. Massan, kappalemäärän tai tilavuuden avulla kiertonopeuden määrittäminen on myös mahdollista. (Hokkanen et al. 2011, 204–205; Logistiikan maailma 2022)

Kiertonopeus vaikuttaa varastointikustannuksiin siten, että mitä suurempi kiertonopeus on, niin sitä alhaisempi on varastoihin sitoutuva pääoma. Varaston kierto voidaan laskea seuraavilla tavoilla: vuosikysyntä jaettuna keskivarastolla tai vuosikysynnän arvo hankintahintaan jaettuna varaston keskiarvolla. Lambertin ja Quinin (1981) tutkimus osoitti miten varaston kiertonopeus vaikuttaa keskimääräiseen varastonarvoon ja varastokustannuksiin, kun varastokustannuksen osuus on 300 000 rahayksikköä (ray), joka on 40 prosenttia koko varaston arvosta (750 000 ray). Kuvassa 11 on graafinen esitys tutkimuksen tuloksista.



Kuva 11. Kiertonopeuden vaikutus varastointikustannuksiin (Lambert & Quinn 1981)

Kuvasta 11 nähdään, että varaston kiertonopeuden kasvattaminen yhdestä kahdeksaan asti vähentää kustannuksia merkittävästi ja yli kahdeksan kiertonopeudella ei juuri merkittävää säästöä enää saada aikaan. Varaston kiertonopeuden kasvattaminen tarkoittaa pienempiä eräkokoja, joka aiheuttaa lisääntyneitä kuljetus-, käsittely-, ja hallinnointikustannuksia. Näiden kustannusten kasvamisen ja saavutetun säästön välillä on yhteys ja jossain kohdassa tulee vastaan rajahyöty, jonka jälkeen varaston kiertonopeuden kasvattaminen ei enää ole taloudellisesti kannattavaa. Sen suuremmaksi kiertonopeutta ei kannata kasvattaa. (Hokkanen et al. 2011, 205; Lambert & Quinn 1981)

Varaston kiertonopeus voidaan ilmaista myös varaston riittona. Se voidaan laskea kiertonopeudesta ja se kertoo käytännönläheisesti, kuinka kauan varasto riittää normaalin kysynnän mukaisesti. Tyypillisesti varaston riiton kesto ilmaistaan päivinä. Varastonhallinnan näkökulmasta varaston riittävyys on käyttökelpoinen mittari, koska tarkasteluhetkellä kysyntä ja riitto on helppo suhteuttaa toisiinsa kysynnän ollessa kohtuullisen tasaista. Tarkastelun perusteella voidaan tehdä suhteellisen tarkkoja arvioita täydennystilausten ajankohdista. Varaston kierron ja riiton välinen yhteys on helposti havaittavissa sen laskentatavasta. Riitto voidaan laskea kahdella eri tavalla: 365 päivää jaettuna varaston kierrolla tai keskivarasto jaettuna vuoden kokonaiskysynnällä ja kerrottuna 365:llä. Tällöin kuvan 10. tapauksessa varaston riitto olisi 46 päivää, jos kierroksi oletetaan kahdeksan. (Hokkanen et al. 2011, 205; Logistiikan maailma 2022)

3.6 Toimitusaika ja toimitusvarmuus

Toimitusaika ja toimitusvarmuus liittyvät olennaisesti varaston palvelukykyyn ja tehokkuuteen. Varaston palvelukyky tarkoittaa varaston kykyä täyttää siltä vaaditut tehtävät ja palvelukyvyn mittaamiseen on olemassa useita eri mittareita. Mittarit voivat olla esimerkiksi aikaan, nopeuteen, toimitusten oikeellisuuteen tai varastoon sitoutuneeseen pääomaan liittyviä. Sopivat mittarit täytyy valita toiminnan luonteen mukaisesti ja valittavien mittareiden olisi oltava helpokäyttöisiä ja niiden tulisi mitata oikeita asioita. (Logistiikan maailma 2022)

Toimitusvarmuus ja varastointiin liittyvät kustannukset ovat sidoksissa toisiinsa. Varaston toiminnan tulisi täyttää asiakasvaatimukset toimitusvarmuuden ja toimitusajan osalta, mutta samalla kustannusten täytyisi pysyä hyväksyttävällä tasolla. Tätä suhdetta kuvataan varaston palveluasteella. Palveluaste kertoo, kuinka suuri osa tilauksista kyetään toimittamaan määräaikana varastosta. Palveluaste ilmoitetaan prosentteina ja varmuusvaraston laskennassa se perustuu normaalijakauman kertymäfunktion mukaiseen varmuuskertoimeen. Palveluasteen nostaminen kasvattaa varmuusvaraston kokoa ja siten se sitoo enemmän varastoon sitoutunutta pääomaa, varasto-, hävikkikustannuksia. Palveluaste lasketaan seuraavasti: palveluaste on yhtä kuin varastosta toimitetut tilaukset jaettuna kaikki tilaukset kerrottuna 100:lla prosentilla. (Hopp & Spearman 2011, 73–75; Sakki 1999, 127–128)

Palveluasteen määrittäminen riippuu toimitettavan nimikkeen tärkeydestä ja elintärkeillä tuotteilla palveluaste on oltava 100 prosenttia, jotta ne eivät pääse missään tilanteessa loppumaan ja aiheuttamaan ongelmia muualla tilaus-toimitusketjussa. Vähemmän tärkeille tuotteille voidaan asettaa alhaisempi palveluaste asiakasvaatimusten mukaisesti. Palveluaste voidaan määrittää kaikille artikkeleille samaksi tai vaihtelevasti nimikkeittäin tai tuoteryhmittäin. (Sakki 1999, 129–131; Logistiikan maailma 2022)

Toimitusvarmuuden yksi tärkeimmistä tekijöistä on varmuusvarasto. Sen avulla varaudutaan epävarmuuteen toimitusketjussa. Varmuusvarastoa saattaa kertyä huomaamatta toimitusketjussa ilmenevän vaihtelun takia, mutta *varmuusvaraston ainut tehtävä on äkilliseen kysynnän kasvuun varautuminen tai toimia puskurina tavaroiden toimitusongelmien ilmetessä*. Varmuusvaraston kokoon voidaan vaikuttaa vähentämällä toimitusketjussa ilmenevää vaihtelua. Yksi mahdollinen keino vaihtelun vähentämiseen on yhteistyö asiakkaan kanssa, jotta saadaan ajan tasainen kuva tulevasta menekistä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Täytyy muistaa, että ylimääräinen varasto sitoo yrityksen pääomaa. Toimituskykyä voidaan lisäksi parantaa myös tilaus- ja toimitusaikoja lyhentämällä. Varmuusvaraston lisääminen tehdään vasta, jos muilla keinoilla riittävään toimitusvarmuuteen ei päästä. (Sakki 1999, 87, 129)

Varmuusvaraston tasoa voidaan arvioida myös matemaattisesti. Matemaattiseen tarkasteluun tarvitaan tieto tuotteiden menekin hajonnasta. Sen mittayksikkönä on standardipoikkeama ja sen perusteella menekkiä on mahdollista tutkia graafisesti kellokäyrän avulla. Varmuusvarasto (B) voidaan Sakin (1999) mukaan määrittää seuraavasti.

$$B = ks\sqrt{L} \quad (3)$$

Missä

s	on standardipoikkeama
k	on varmuuskerroin
L	on toimitusaika

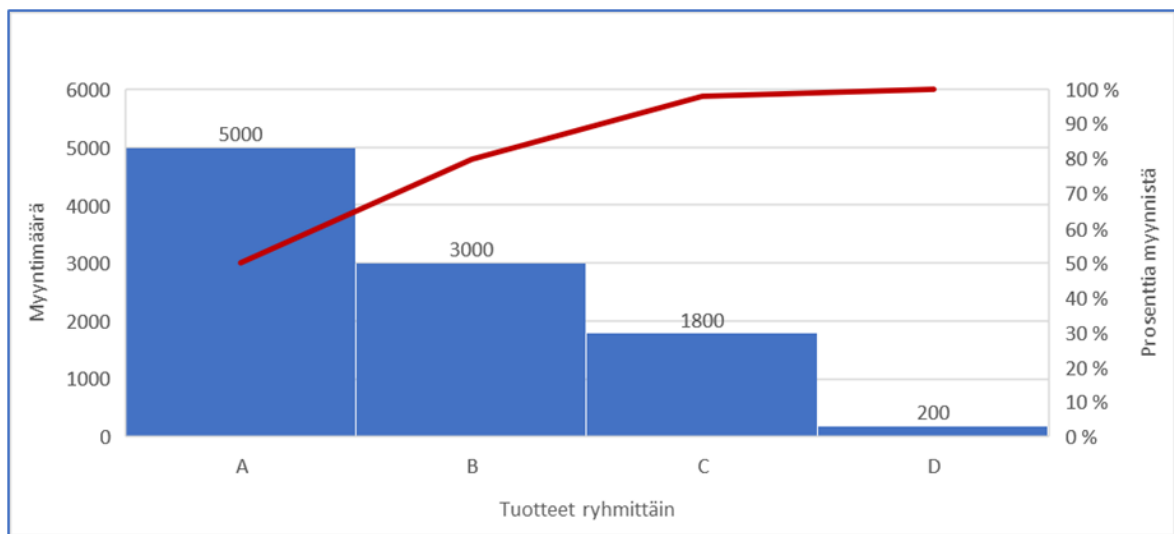
Varmuuskerroin määritetään halutun palveluasteosprosentin mukaisesti normaalijakauman kertymäfunktio taulukosta ja toimitusaika ilmaistaan yleensä päivinä, viikkoina tai kuukausina. Esimerkiksi, jos tietyn tuotteen menekin hajonta $s = 10$ kappaletta ja toimitusaika $L = 20$ päivää ja haluttu palveluaste on 85 prosenttia, niin kaavan mukaan varmuusvarastoksi saadaan ylöspäin pyöristettynä noin 47 kappaletta. Vastaavasti, jos palveluaste nostetaan 99 prosenttiin kasvaa varmuusvarasto pyöristettynä 105 kappaleeseen eli varmuusvarasto yli kaksinkertaistuu 14 prosentin palveluasteen nostamisella.

3.7 ABC- ja XYZ-analyysi

ABC-analyysi on laajasti käytössä oleva työkalu, jonka avulla voidaan varastossa olevia eri nimikkeitä luokitella omiin ryhmiinsä esim. kysynnän arvon tai kysynnän volyymin mukaisesti. Ryhmäkohtaisesti eri ryhmiin voidaan soveltaa eri varastonohjausmenetelmiä, jotta varaston suorituskykyä voidaan parantaa. (Babai, Ladharib & Lajili 2015, 279) ABC-analyysi perustuu tunnettuun 80/20 sääntöön, jonka mukaan A-luokkaan kuuluu 20 prosenttia

nimikkeistä ja ne muodostavat 80 prosenttia myyntivolyymista (Haverila et al. 2009, 458; Logistiikan maailma 2022).

Todellisuudessa kyseinen luokittelu on hieman suppea, jos nimikkeitä varastossa on paljon. Sakin (1999, 100) mukaan luokittelu voidaan tehdä neljään eri ryhmään, josta A ryhmän osuus on 50 prosenttia, B ryhmän 30 prosenttia, C ryhmän 18 prosenttia ja D ryhmän kaksi prosenttia. Luokittelussa voi tarpeen mukaan olla muitakin ryhmiä. Luokittelu olisi hyvä tehdä nimikkeiden menekin mukaisesti, jolloin luokittelun avulla saadaan lähtökohta nimikkeiden kierron suunnitteluun. Suuren myyntivolyymien tuotteiden kierron olisi oltava nopeaa ja perustua menekkiin, kun taas pienillä myyntivolyymeilla kierto voi olla hitaampaa. Tuotteisiin sitoutuneen pääoman määrää on kuitenkin hyvä tarkastella ajoittain, jotta se pysyy hyväksyttävällä tasolla. (Sakki 1999, 102–104; Logistiikan maailma 2022)



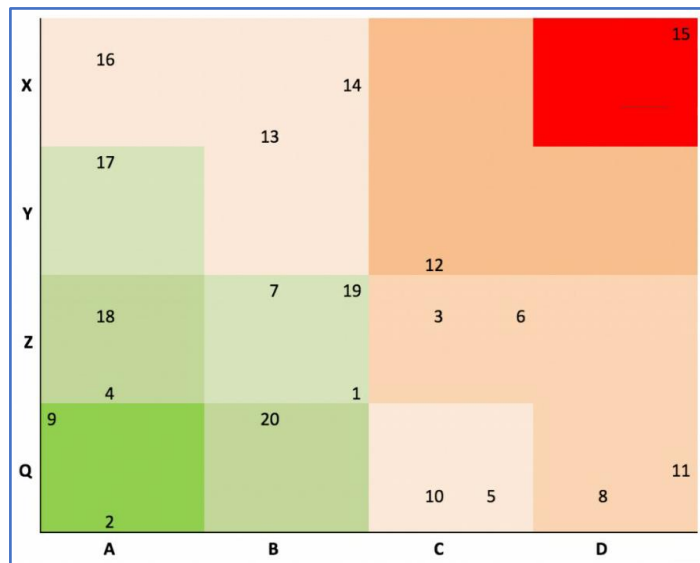
Kuva 12. ABCD-luokitus

Kuva 12 havainnollistaa yksinkertaistettuna graafisesti ABC-luokittelun ja sen sijoittumisen Pareto-diagrammille, jossa viiva kuvaa eri tuotteiden kumulatiivista kertymää. Kuvan tilanteessa A ryhmän tuotteet muodostavat 50 prosenttia, B ryhmän tuotteet 30 prosenttia, C ryhmän tuotteet 18 prosenttia ja D ryhmän tuotteet 2 prosenttia kokonaismyymintimäärästä.

Varaston täydennyksen osalta eri ryhmien nimikkeitä voidaan ohjata eri tavoin. A ryhmän tuotteiden tulisi olla jatkuvan tarkkailun alaisena ja tilauspistejärjestelmän piirissä. Muiden tuotteiden osalta voidaan käyttää periodiseurantaa, tasaisen tai vaihtelevan -tilausvälin ja eräkoon menetelmää. Nykyisin käytössä olevat toiminnanohjausjärjestelmät kykenevät hoitamaan kaikki täydennykset automaattisesti, kun oikeat parametrit on syötetty ohjelmaan. Lisäksi varastosaldot ovat nähtävissä ohjelmasta reaaliaikaisesti. Pienimmän D ryhmän tuotteiden osalta menekki on pientä ja niiden osalta olisi kyettävä arvioimaan mahdollisuutta poistaa ne valikoimasta, mikäli ne eivät pienestä menekistä huolimatta ole kriittistä materiaalia, jota on aina oltava saatavilla. (Sakki 1999, 104; Logistiikan maailma 2022)

Käyttökelpoisuudestaan huolimatta ABC-luokittelu on yksiulotteinen ja monissa tapauksissa joudutaan tarkastelemaan muitakin ulottuvuuksia esim. logistiikkakustannuksia tai tapahtumamääriä. Tällöin uusi ulottuvuus voidaan lisätä yhdistämällä XYZ-luokittelu ABC-luokitteluun. Luokittelun jaottelu voidaan suorittaa samalla tavoin kuin ABC-luokittelussa eli X ryhmään sisällytetään nimikkeet, jotka muodostavat 50 prosenttia logistiikkakustannuksista, Y ryhmään 30 prosenttia, Z ryhmään 18 prosenttia kustannuksista ja Q ryhmään kaksi prosenttia kustannuksista. Kustannukset voidaan selvittää esimerkiksi hyödyntämällä toimintolaskentaa tai muulla soveltuvalla tavalla. Mikäli XYZ-luokittelun lähtökohtana käytetään nimikkeen käsittelyyn liittyvien tapahtumien lukumäärää tai käsittelyyn kuluva aikaa, niin tarkempien kustannustietojen hankkiminen ei ole tarpeellista. (Sakki 1999, 105–106; Logistiikan maailma 2022)

XYZ ja ABC- analyysi voidaan yhdistää yhteen matriisiin, joka on kooltaan esimerkiksi 3x3 ruutua. Ruutujen määrä kasvaa, mikäli ulottuvuuksia tarkastelussa on enemmän kuin kolme. Yleisesti luokittelun vaaka-akselilla pohjana on ABC-luokitus ja XYZ-luokitus sijoittuu pystyakselille. Luokitusten mukaisesti nimikkeet sijoitetaan matriisiin. (Sakki 1999, 106; Logistiikan maailma 2022)



Kuva 13. XYZ-analyysi (Logistiikan maailma 2022)

Matriisiin alareunaan sijoittuu tuotteet joiden kustannukset ovat alhaisimmat, ja mitä ylempäs nimike sijoittuu sitä korkeammat ovat nimikkeen logistiikkakustannukset. Korkeiden logistiikkakustannusten nimikkeiden osalta mietittävä toimia, joiden avulla kustannuksia voidaan alentaa. Niitä voivat olla esimerkiksi pienempi täydennyserä, - tai tilauserä, pienempi varmuusvarasto, turhan siirtelyn karsiminen tai kuljetusten yhdistely tai jokin muu toimi, jonka avulla kustannuksia saadaan alennettua. (Logistiikan maailma 2022)

4 Yritysesittely ja kierresaumaputken valmistusprosessi

4.1 Yritysesittely

Yritys X on perustettu vuonna 1988 ja sen toimialana on muovituotteiden valmistus. Tuotevalikoimaan kuuluvat muoviset kaivot, erottimet, pumppaamot, putket, aluelämpöputket ja hulevesijärjestelmät. Yrityksen tarjoamiin palveluihin kuuluvat myös kohteiden suunnitteluun ja tuotteiden valintaan liittyvät palvelut. Lisäksi yritys tarjoaa valmistamiensa tuotteiden käyttöönottoon ja huoltoon liittyviä palveluita. Yrityksellä on kolme eri tehdasta ja se työllistää yhteensä noin 100 henkilöä (vuonna 2022 työntekijöitä oli 112). Yrityksen liikevaihto on noin 28 miljoonaa euroa ja se on osa isompaa konsernia. Visiona on vähähiilinen rakentaminen ja ympäristövaikutusten huomioon ottaminen. Yritys toimii SFS-EN ISO 9001:2015 ja ISO 14001:2015 laatu-, ja ympäristöstandardien mukaisesti. Tavoitteena on tuotteiden pitkä käyttöikä, kustannustehokkuus, energiatehokkuus ja kestävä tuotanto.

Tuotannon osalta yhtenä isona tavoitteena on jatkuva tuotanto-, ja raaka-ainetehokkuuden parantaminen. Yritys toimii Leanin periaatteiden mukaisesti ja pyrkii toteuttamaan prosessien tehostamista poistamalla niistä hukkaa, eli arvoa tuottamattomia toimintoja. Käytössä on myös 6S menetelmä, jonka avulla pyritään parantamaan työn tuottavuutta, laatua ja turvallisuutta ja standardisoimaan työtehtäviä. 6S:n tavoitteena on myös luoda tehokas ja visuaalisesti miellyttävä ja siisti työpaikka. Tämän lisäksi yrityksessä tuetaan toiminnan tehostamiseen ja jatkuvaan kehittymiseen liittyvää oivallustoimintaa.

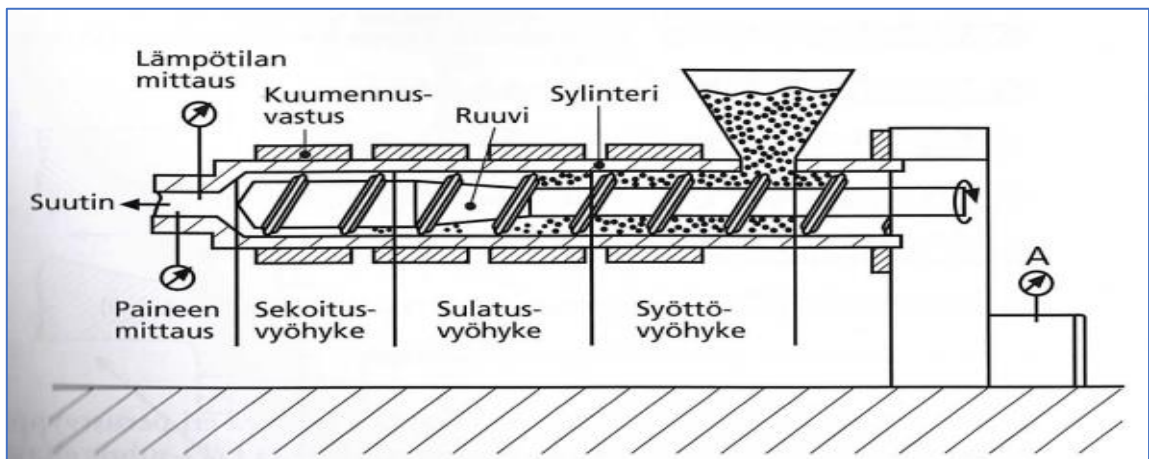
Tuotannon kestävyys on myös kiinnitetty huomiota puhtaan energian ja kestävä kehityksen mukaisesti. Yritys käyttää hiilivapaata sähköä ja suosii puhtaita energiaratkaisuja. Esimerkkinä tästä ovat energiatehokkaat prosessit ja prosesseissa syntyvän hukkalämmön talteen ottaminen, led valaistuksen käyttäminen ja nykyaikaiset tuotantokoneet. Prosesseissa tarvittava jäähdytysvesi toimii suljetulla kierrolla, jossa sama vesi kiertää järjestelmässä jäähdyttimen kautta. Hiilijalanjälkeä pyritään pienentämään myös kierrättämällä omassa

tuotannossa syntyvä muovijäte takaisin tuotantoon mahdollisimman tehokkaasti. Yritys pyrkii olemaan vastuullinen toimija ja tavoitteena on luoda työntekijöille hyvä ja turvallinen työpaikka. Lisäksi yritys tekee yhteistyötä eri oppilaitosten kanssa ja mahdollisuuksien mukaan tarjoaa opinnäyte- ja harjoitustöitä aitoihin kehityskohteisiin liittyen.

Yritys valmistaa muoviputkia polyeteenistä (PE), polypropeenista (PP) ja polyvinyylidikloridista (PVC) eri käyttötarkoituksiin. Tässä työssä tutkimuksen kohteena olevan kierresaumaputkilinjaston tuotteiden valmistusmateriaali on PE-muovi. Tarkastelun kohteena olevalla linjastolla valmistetaan eri kokoisia kierresaumaputkia kahtatoista eri kokoa ja kolmea eri kestävyysluokkaa ulkohalkaisijaltaan 400 millimetristä aina 2200 millimetriin asti. Kestävyysluokat ovat profiilin seinämäpaksuuden mukaan ohuimmasta vahvimpaan SN2, SN4 ja SN8.

4.2 Kierresaumaputken valmistusprosessi

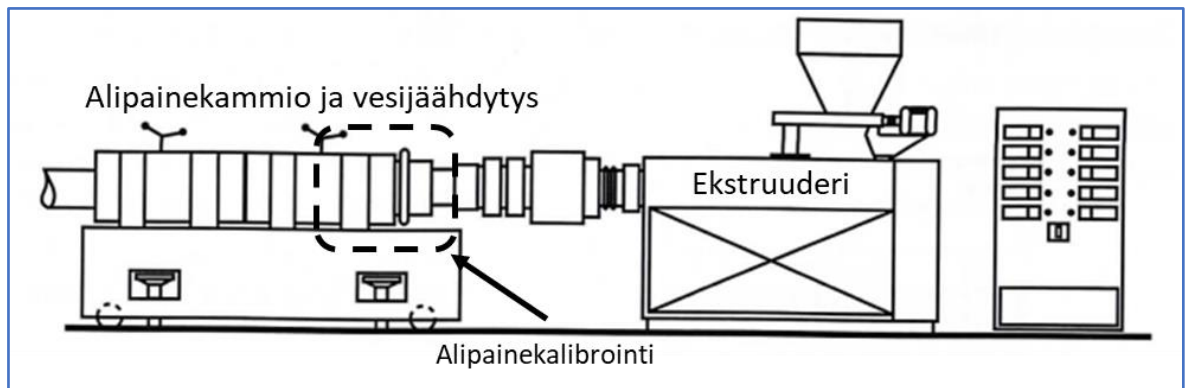
Kierresaumaputken valmistus perustuu suulakepuristukseen eli ekstruusioon. Ekstruusiassa raaka-aineena käytettyä termoplastista muoviraetta kuumennetaan ja sekoitetaan homogeeniseksi tiiviiksi massaksi ekstruuderissa, jossa ruuvikuljetin puristaa kuumaa muovimassaa muotoillun suuttimen läpi. Suutin tuottaa halutun profiilin ja muodon tuotteelle. Ekstruusio on jatkuva prosessi ja sen avulla valmistetaan esim. erilaisia putkia, profiileita, levyjä, tankoja ja köysiä. (Kurri, Malén, Sandell & Virtanen 2008, 100–101) Ekstruuderin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Ekstruuderin rakenne ja toiminta (Kurri et. al. 2008, 101)

Ekstruuderin pääosat ovat syöttösuppilo, sylinteri, kierukkaruuvi, kuumennusvastukset ja suutin. Prosessissa syöttösuppilosta syötetään kierukkaruuville muovigranulaattia, joka kuljettaa raaka-ainetta suutinta kohden. Muovigranulaatti lämpenee kitkan ja lämmitysvastusten avulla muovisulaksi ja sekoitusvyöhykkeellä muovisula homogenisoidaan ennen suuttimelle puristumista. Sylinterin ja suuttimen välillä muovisula puristetaan vielä sihtipakan läpi, joka seuloo muovisulasta pois mahdolliset epäpuhtaudet ja nostaa paineen sopivaksi ennen suutinta. (Kurri et al. 2008, 100–103)

Putkien ja profiilin valmistuksessa suuttimelta tuleva profiili on lähes lopullisessa muodossaan. Raakaprofiili johdetaan seuraavaksi kalibrointiin, jonka tarkoituksena on antaa muoviprofiilille lopullinen muoto ja mitoitus. Kalibrointi voidaan tehdä yli- tai alipaineella sekä vetämällä. Tutkimuksen kohteena olevassa laitteistossa kalibrointi suoritetaan alipainetta hyväksi käyttämällä (kuva 15).



Kuva 15. Ekstruusiolinjaston alkupää (mukaillen Kurri et al. 2008, 117)

Kuvan 15 mukaisesti ekstruuderin suulakkeelta tuleva raakaprofiili johdetaan alipainekammion läpi, jossa kuuma raakaprofiili imetään muottiin kiinni ja se saa lopullisen mitoituksensa. Tämän jälkeen profiilia aletaan jäähdyttämään vesijäähdytyksen avulla. Jäähdytykseen käytetään yleisesti vesialtaita tai vesisuihkuja ja paineistettuja vesikylpyjä. (Kurri et al. 2008, 115–117) Sen jälkeen profiili kulkeutuu vetolaitteen kautta putkikoneelle.

Kierresaumaputkilinjaston toimintaperiaate

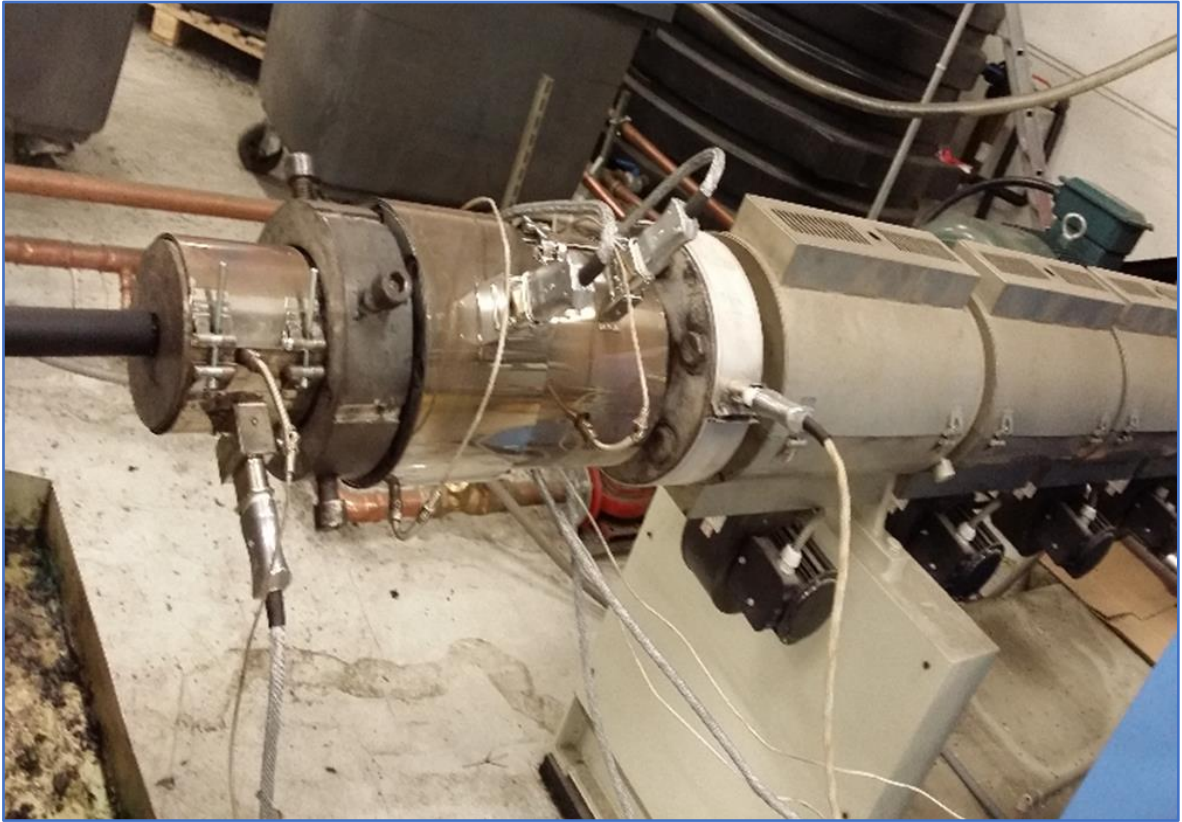
Ensimmäisessä vaiheessa putkenvalmistusprosessissa on raaka-aineen syöttölaite, johon imetään imurin avulla muovigranulaattia. Annostelijan säiliön alaosassa on gravimetrinen annostelija, joka annostelee tarkasti raaka-ainetta ekstruuderille kuvassa 16 on esitetty annostelija ja sen alaosassa oleva gravimetri.



Kuva 16. Syöttölaite ja gravimetri

Kuvan 16 vasemmanpuoleisessa kuvassa näkyy yleiskuva kierresaumaputkikoneen alkupäästä ja raaka-aineen syöttölaite. Kesimmäisessä ja oikeanpuoleisessa kuvassa näkyy itse syöttölaite ja suppilon alaosassa oleva gravimetri. Gravimetrin kansi on valmistettu läpinäkyvästä materiaalista, jonka läpi on helppo tarkastella sen toimintaa. Oikeanpuoleisen kuvan tarkastusluukusta on nähtävissä myös syötettävää muovigranulaattia, joista osa on valkoista ja osa mustaa. Väriero johtuu siitä, että valkoinen muovigranulaatti on uutta muovia ja musta muovigranulaatti (rHDPE) on lopputuotteen jalostusprosessista tulevaa hukka-muovia, jota jatkokäsittelyn jälkeen kierrätetään takaisin käyttöön. Prosessista tulevan kierrätysraaka-aineen lisäksi hankitaan markkinoilta HDPE-muovituotteiden kierrätysraaka-ainetta. Se antaa lopputuotteelle myös mustan värin.

Syöttölaitteen jälkeen raaka-aine kulkeutuu ekstruuderille, jossa ruuvi sekoittaa ja työntää raaka-ainetta eteenpäin suutinta kohti. Kulkeutuessaan ruuvissa raaka-ainetta kuumennetaan asteittain sähkövastuksien ja ruuvien aiheuttaman paineen avulla 180–250 °C lämpötilaan ja sekoitetaan sulaksi muovimassaksi. Sula muovimassa puristuu muotoillun suulakkeen lävitse ja sen lopputuloksena muodostuu profiilia.



Kuva 17. Ekstruuderi

Kuvassa 17 on esitetty näkymä ekstruuderilta. Kuvassa valmista profiilia työntyy ulos ekstruuderin suulakkeelta. Kuvan oikeassa reunassa näkyvät lämmitykseen käytettävät sähkövastukset ja vasemmassa reunassa näkyy itse suulake, johon tulevat ohuet johdot menevät lämpötila-antureille. Kuvassa näkyvät paksummat johdot ovat lämmitysvastuksien virtajohdot.

Valmistusprosessia ohjataan ekstruuderissa olevasta ohjainpaneelistä, josta ohjataan ja säädetään ekstruuderin, kierresaumakoneen ja telakuljettimen toimintoja. Säättöjen vaikutusta ja prosessidataa kerätään ekstruuderin diagnostiikan avulla. Koneen operaattori voi tarkastella koneen toimintaa näytöltä, joka on asetettu ohjainpaneelin läheisyyteen.



Kuva 18. Diagnostiikkänäyttö ja ohjainpaneeli

Kuvassa 18 näkyy vasemmalla diagnostiikkänäyttö, josta extruuderin toimintaa voidaan seurata. Näytöltä voidaan tarkastella muovin kulutusta (kg/h), profiilin ulostulonopeutta (m/min), profiilin painoa (kg/m) ja ruuvien kierrosnopeutta (1/min). Kuvan oikeassa reunassa näkyy ekstruuderin hallintapaneeli, josta prosessin eri toimintoja ohjataan.

Ekstruuderin jälkeen kuuma muoviprofiili johdetaan alipainekammioon, jossa se kulkeutuu muotin läpi alipaineistetussa kammiossa. Siellä profiili saa lopullisen muotonsa ja sen jälkeen profiilia aletaan jäähdyttämään vesisuihkujen avulla. Alipainekammioista profiili jatkaa matkaansa jäähdytyskammioon, jossa vesisuihkujäähdytys jäähdyttää edelleen profiilin noin 70 celsius asteeseen.



Kuva 19. Alipainekammio ja jäähdytyslinjasto

Kuvassa 19 on oikealla puolella alipainekammio ja alipainekammion ohjauspaneeli. Vasemmassa kuvassa on nähtävissä osa jäähdytyskammioista ja kammion tarkastusluukut, joista voi tarkkailla vesisuihkujen toimintaa. Kummassakin kuvassa on myös nähtävissä yrityksen käytössä olevan Lean 6S työkalun mukaista visuaalista ohjausta työkalujen järjestykseen liittyen. Linjastoon kiinnitetyissä kuvissa on linjaston asetusten vaihtotyöhön tarvittavien työkalujen kuvat määrättyillä paikoillaan.

Jäähdytyksen jälkeen profiili jatkaa matkaansa lasermerkitsijän ja telakuljettimen läpi kierresaumakoneelle, jossa profiilista muodostetaan hitsaamalla varsinainen kierresaumaputki. Profiili johdetaan kierresaumakoneen rullien päälle ja se alkaa kiertymään ohjaimien ansiosta spiraalille. Koneen yläosassa on pieni ekstruuderit eli ”tykki” joka hitsaa profiilit kiinni toisiinsa. Laadukkaan muovihitsin aikaansaamiseksi on tärkeää, että hitsaukseen tulevan profiilin lämpötila on oikea, jotta se sulaa perusaineeseen riittävästi, mutta ei liikaa. Hitsauksen jälkeen valmista kierresaumaputkea jäähdytetään vesisuihkujen avulla, jotta se saa jäähtyessään mahdollisimman nopeasti lujuuksensa takaisin ja muodonmuutoksia ei pääse syntymään.



Kuva 20. Merkitsijä, telakuljetin ja kierresaumakone

Kuvassa 20 oikeassa reunassa on nähtävissä lasermerkitsijä, joka tekee valmistajan tuotemerkinnän muoviprofiiliin. Keskellä on telakuljetin, jonka tehtävänä on tarvittaessa varmistaa muoviprofiilin tasainen liikkuminen prosessissa. Kuvassa telakuljetin ei ole käytössä, koska kyseisellä profiililla kierresaumakoneen vetoteho riittää varmistamaan profiilin

tasaisen liikkumisen. Vasemmanpuoleinen kuva on kierresaumakoneesta, joka pyöriessään vetää ja hitsaa profiilin kierresaumaputkeksi.

Valmis kierresaumaputki työntyy kierresaumakoneelta rullakuljettimille ja se sahataan määrälliseksi, jonka jälkeen valmis putki siirretään trukin avulla tehtaan pihalla olevaan varastoon. Luonteeltaan kierresaumaputken valmistusprosessi on sahaamiseen asti keskeytymättömän ja lähes kaikki häiriöt prosessin eri vaiheissa, joita ei säätötoimenpiteillä saada korjattua johtavat koko prosessin pysähtymiseen ja uudelleen käynnistämiseen. Linjaston ylösajaminen vaatii usean tunnin työn ennen kuin tuotanto on saatu täydellä teholla uudelleen käynnistettyä.



Kuva 21. Kuljettimet ja sahauslaite

Kuvassa 21 nähdään vasemmassa reunassa sahauslaite, joka sahaa putken halutun mittaiseksi linjaston pyöriessä. Sahan käynnistäminen on operaattorin tehtävä, jonka hän suorittaa manuaalisesti. Vasemmassa reunassa näkyvät rullakuljettimet, joiden varaan valmis kierresaumaputki työntyy kierresaumakoneelta.

4.3 Prosessin nykytila

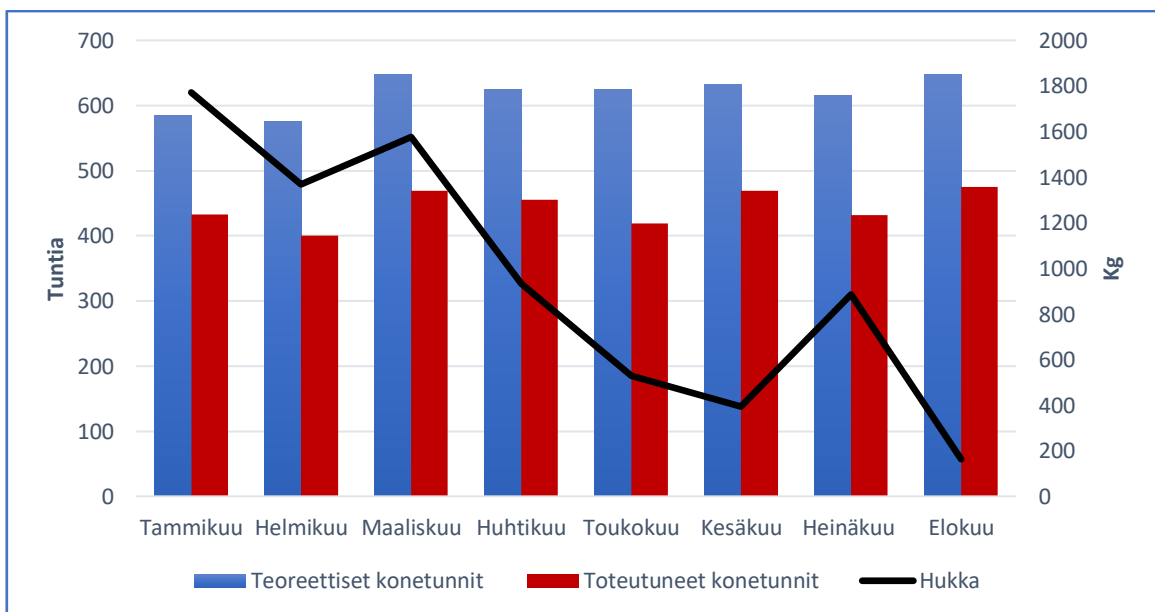
Tutkimustyön empiriavaihe aloitettiin tehtaalla tutustumalla kierresaumaputkilinjastoon ja sen toimintaan sekä kartoittamalla prosessin lähtötilanne. Se toteutettiin havainnoimalla linjaston toimintaa ja samalla keskustelemalla operaattoreiden kanssa linjaston toiminnasta ja siihen liittyvistä haasteista. Suurin yksittäinen asia, joka nousi keskusteluissa esille, oli suuri vaihtelu putkilinjaston asetusten vaihtotyön kestossa. Eri halkaisijaltaan ja seinämäpaksuudeltaan valmistettavat kierresaumaputket vaativat linjastoon asetusten vaihtoja, jotka ovat eri suuruisia riippuen tuotantoon tulevasta putkilaadusta. Pienempien putkilaatujen välillä riittää osittainen vaihto, jossa vaihdetaan vain kierresaumakoneen rullat ja säädetään asetukset kohdalleen. Pienemmästä halkaisijasta siirryttäessä isompiin putkikokoihin täytyy kaikki koneen asetukset ja työkalut vaihtaa koko linjastoon. Se on eniten aikaa vievä toimi. Kaikissa asetusten vaihtotöissä linjasto joudutaan pysäyttämään, koska kyseessä on keskeytymätön prosessi ja vaihtotyö prosessin käydessä ei ole mahdollista.

Linjastoa ajetaan vähintään viisi päivää viikossa kolmessa vuorossa ja sesonkiaikana neljässä vuorossa noin neljä kuukautta vuodessa. Tarkastelujaksolla asetusten vaihdot suunniteltiin pääosin siten, että yhtä tuotetta ajettiin viikon sykli ja asetusten vaihto toteutettiin perjantain viimeisen vuoron ja maanantain ensimmäisen vuoron välillä, kun linjasto pysäytettiin. Asetusten vaihtamiseen ja linjaston ylösajoon kului aikaa 4–16 tuntia, riippuen vaihdon suuruudesta ja vaihtotyötä tekevistä henkilöistä. Nykytilaa kartoitettiin lisäksi tammi-kuun ja toukokuun välisen ajan prosessidatan perusteella. Kirjaamisen epätarkkuuksien takia, jokseenkin luotettavaa tarkastelua voitiin suorittaa vain teoreettisten konetuntien ja toteutuneiden konetuntien perusteella. Havainto oli se, että toteutuneita konetunteja oli 71 prosenttia mahdollisista suunnitelluista tuotantoon käytettävistä tunneista. Toteutumattomiin konetunteihin sisältyivät dimension vaihdot, huollot, häiriöt ja niiden korjaaminen sekä muut mahdolliset syyt, joiden takia linjasto on ollut poissa tuotannosta.

Havainnoinnin perusteella linjastolla oli havaittavissa, että yrityksen käyttöön ottama 6S-työkalu oli otettu osittain käyttöön. Työkalut olivat pääosin järjestyksessä ja niille oli määritetty omat paikat. Lisäksi turhat työkalut oli poistettu linjastolta. Linjaston alue oli myös

kohtalaisen siisti ja linjastolla tarvittavat osat ja välineet olivat järjestyksessä. Varsinainen vaihtotyö suoritettiin operaattoreiden mieltymysten mukaisesti ja sen tehokkaassa ja järjestelmällisessä suorittamisessa oli havaittavissa parantamisen mahdollisuuksia. Operaattoreiden mukaan vaihtoprosessin työvaiheita ei tarkasteluhetkeen mennessä ollut standardisoitu ja vaihtotyö suoritettiin operaattoreiden näkemysten mukaisesti. Keskustelujen perusteella koneen operaattoreille ei myöskään ollut järjestetty koulutusta, vaan he olivat lähinnä itse opiskelemalla oppineet linjaston operoimisen. Henkilöstövaihdosten takia osaamistasot linjaston asetusten vaihtotyön ja säätämisen osalta olivat eri henkilöiden välillä huomattavia.

Linjaston toimintaa ja vaihtotyötä hidasti huomattavasti tuotantokoneiden liian vähäisestä huollosta johtuvat viat. Niistä aiheutuu laatuhahtaa ja ne hidastavat vaihtotyön suorittamista sekä lisäävät riskiä siihen, että linjasto pysähtyy suunnittelematta ja tuotantoaika menetetään. Havainnoinnin yhteydessä havaittiin, että linjaston vioilla oli hidastava vaikutus asetusten vaihtotyöhön ja linjaston säätämiseen. Muutamia työturvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä oli myös havaittavissa. Riittämättömien huolto-, korjaustoimenpiteiden vaikutuksena koneen säädöt vaihtelivat ja niillä oli vaikutusta kierresaumaputken laatuun ja asetusten vaihtoaikaan.



Kuva 22. Konetuntien vaihtelu ja hukka

Kuvasta 22 nähdään, että tarkastelujaksolla teoreettisten konetuntien suhde verrattuna toteutuneisiin konetunteihin pysyy suunnilleen samalla tasolla ja hukan määrässä esiintyy kuukausitasolla vaihtelua. Tästä voidaan päätellä, että oikeiden kohdennettujen kehitystoimenpiteiden avulla toteutuneiden konetuntien määrää ja on mahdollisuus kasvattaa ja hukan määrää vastaavasti vähentää prosessista ja sen eri työvaiheista, jolloin laatu paranee ja tuotanto tehostuu. Tavoitteena työssä on tehostaa linjaston toimintaa ja vähentää toteutumattomien tuntien määrää 20 prosenttia.

Tuotannosuunnitteluun liittyen yrityksellä on käytössä tuotannonohjausjärjestelmä, jonka avulla tuotantoa suunnitellaan. Tuotannon suunnittelun lähtökohta on se, että kierresaumaputkia on oltava saatavilla kaikissa tilanteissa, jotta tehtaan oma kaivotuotanto voi toimia keskeytyksettä. Materiaalin ja kapasiteetin suunnittelussa hyödynnetään karkean tason tuotantosuunnitelmaa, joka perustuu aikaisempaan kysyntään. Sen perusteella määritetään kapasiteetti-, ja materiaaliarve. Tuotannon suunnitteluun käytetään tällä hetkellä tarvelaskentaa MPR (Materials Requirements Planning) ja tulevaisuudessa tehtaalle on tulossa käyttöön MES-järjestelmä (Manufacturing Execution System).

Toimiakseen tehokkaasti tuotannonohjausjärjestelmät tarvitsevat varastasoihin liittyviä parametreja, joiden avulla ohjelmisto laskee optimaalisen tuotantosuunnitelman. Nykytilanteessa varastotasoihin liittyviä parametreja ei ole selvitetty riittävän tarkasti ja sen seurauksena näyttää siltä, että varastotasot eivät ole optimaalisella tasolla. Kierresaumaputkilinjaston toiminnan tehostamisen lisäksi toinen tavoite tässä tutkimuksessa on selvittää ja määrittää eri nimikkeille varastonohjauksen parametrit, joiden avulla automaattista materiaalinohjausta voidaan parantaa.

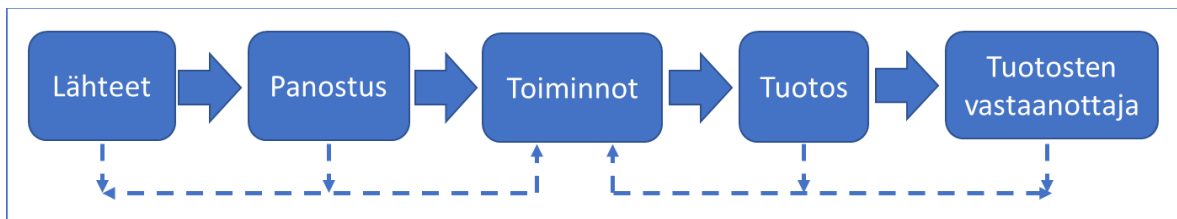
5 Lean Six Sigma projektin aineiston kerääminen ja analysointi

5.1 Määrittelyvaihe

Määrittelyvaiheen (define) tarkoitus on varmistaa, että DMAIC-prosessi ja ongelma, jota sen avulla ratkaistaan, liittyy organisaation prioriteetteihin ja, että sillä on johdon tuki. Määrittelyvaihe alkaa ongelman tunnistamisella ja päättyy ongelman laajuuden ymmärtämiseen. Lisäksi tässä vaiheessa johto sitoutetaan tukemaan projektia ja tarjoamaan riittävät resurssit hankkeen läpiviemiseksi. DMAIC-prosessin mukainen parannusprojekti voidaan toteuttaa, vaikka prosessissa ei olisikaan ilmennyt suurempia ongelmia. Se voidaan valita prosessin tehokkuuden ylläpitämiseksi ja tehostamiseksi jatkuvan parantamisen periaatteen mukaisesti. Mikäli ongelma ja toimet sen ratkaisemiseksi ovat jo tiedossa on kyseessä toteutusprojekti, joka voidaan toteuttaa suoraan suunniteltujen toimenpiteiden mukaisesti. Toteutusprojektit eivät noudata DMAIC-prosessia. (Shankar 2009, 1)

Määrittelyvaihe alkoi tutustumisella kierresaumaputkilinjastoon ja havainnoimalla sen toimintaa. Havainnointipäivä alkoi linjaston asetusten vaihtotyöllä ja linjaston tuotannon käynnistämällä. Havainnoinnin perusteella kierresaumaputkilinjastossa havaittiin kohteita, joilla oli suoraa vaikutusta linjaston häiriöttömään toimintaan. Kohteet olivat lähinnä tekniseen kuntoon liittyviä puutteita. Havainnoinnin perusteella laadittiin raportti, jossa havaitut kohteet oli listattu ja projektin johdon kanssa sovittiin korjaustoimenpiteistä, jotka olisi mahdollista korjata mahdollisimman nopealla aikataululla. DMAIC-prosessin avulla oli lisäksi tarkoitus tunnistaa prosessin toimintaa haittaavia tekijöitä, joilla on vaikutusta prosessin tehokkuuteen. Suurempia ongelmia prosessissa ei kuitenkaan ollut havaittavissa ja DMAIC-prosessin avulla olikin tarkoitus saada tunnistettua ongelmien juurisyytä ja tehostaa linjaston toimintaa.

Ratkaistavan ongelman perusteella täytyy määrittää ongelman laajuus ja se määritetään SIPOC-kaavion avulla. Sen perusteella on mahdollisuus saada ylätasoinen kuvaus ratkaistavasta ongelmasta. SIPOC-kaavion tekeminen aloitetaan prosessin ensimmäisestä aktiviteetistä ja se päättyy viimeiseen aktiviteettiin määritellyn laajuuden sisällä. Ratkaistavan ongelman määrittely SIPOC-kaavion avulla auttaa pitämään parannusprosessin huomion oikeassa kohdassa. (Shankar 2009, 3–5)



Kuva 23. SIPOC-kaavio (Shankar 2009, 4)

Kuvassa 23 on esitetty SIPOC-kaavion periaate. Oleellista kaaviossa on se, että sen tulee esittää riittävän laaja kuvaus ratkaistavasta ongelmasta. Tässä vaiheessa ei ongelmaa ei tarvitse vielä tutkia kovin yksityiskohtaisesti, koska kaavion on tarkoitus ohjata ongelman ratkaisun etenemistä. Prosessin alku-, ja loppupään lisäksi kaavioon sisällytetään prosessiin tarvittava syöte ja sen lisäksi prosessin tuottama lopputulos. Liitteessä 1 on esitetty projektin yhteydessä laadittu SIPOC-kaavio.

Prosessin SIPOC-kaavio tehtiin ensimmäisellä havainnointikerralla tehtaanjohtajan kanssa, jotta saimme rajattua ongelman ratkaisun ja tarkastelualueen myöhemmin järjestettävää työpajaa varten. Projektin varsinainen työvaihe järjestettiin kolmen päivän työpajana, jossa osallistujina olivat tehtaanjohtaja, tuotantopäällikkö, tekninen päällikkö, tuotannon osaaja ja projektin vetäjänä allekirjoittanut. Työpajaan osallistuneet henkilöt määritettiin tehtaanjohtajan ja projektin vetäjän näkemysten mukaisesti.

Projektiryhmässä tulisi olla edustettuna ihmisiä eri tuotannon tasoilta ja lisäksi ulkopuolinen jäsen, joka haastaa omilla kysymyksillään totutun mallin mukaisen toiminnan. Se antaa uusia

näkökulmia ratkaistavaan ongelmaan liittyen. (Shankar 2009, 6) Tässä tapauksessa projektin vetäjänä ja ulkopuolisena jäsenenä toimi allekirjoittanut. Parannustyöpajojen kesto on tavallisesti 1–5 ja niitä käytetään laajasti tämän tyyppisissä parannushankkeissa (Rother 2011, 23).

Varsinainen työpaja järjestettiin 15.-17.5.2022 ja se aloitettiin laatimalla parannustyöstä Project Charter dokumentti. Se toimii projektitiimin ja johdon välisenä sopimuksena projektin häiriöttömän etenemisen varmistamiseksi (Shankar 2009, 8). Dokumentti sisältää projektin tiedot, kuten projektitiimin, ratkaistavan ongelman kuvauksen, projektin suoritusajan, projektiin liittyvät kulut ja projektista saatavat arvioidut hyödyt. Työhön liittyvä Project Charter on esitetty liitteessä 2.

5.2 Mittaamisvaihe

Mittaamisvaiheen tarkoituksena on kerätä perustiedot parannettavan prosessin lähtötilanteesta. Se auttaa ymmärtämään mitä prosessissa tapahtuu ja missä prosessin ongelmat mahdollisesti syntyvät. Mittaamisvaiheessa prosessista kerätään historiatietoa, jonka pohjalta voidaan määrittää prosessin nykytila. Se toimii pohjana parannuksille. Mittausvaiheessa tehdään prosessikartta prosessin nykytilasta, vikatila, ja vaikutusanalyysi FMEA (a failure mode and effects analysis), tarkastellaan prosessin suorituskykyä ja asiakasvaatimuksia. Prosessista kerättävää prosessidataa on tarkasteltava kriittisesti ja varmistuttava, että datassa ei raportoinnin osalta esiinny suurta vaihtelua. Mittaamisvaiheessa kehitetään myös ymmärrystä prosessista laatimalla erilaisia virtauskaavioita tai arvovirtakuvauksia. Näitä laaditaan aivoriihessä työryhmän kesken ja tarkoituksena on päästä syvällisemmin käsiksi itse prosessiin ja siinä esiintyviin vaiheisiin, joita on mahdollisuus kontrolloida. Prosessikartan mallilla ei ole merkitystä, kunhan prosessista saadaan riittävä määrä informaatiota. (Shankar 2009, 12–13)

Mittaamisvaiheen aluksi työpajassa tarkasteltiin kierresaumaputkilinjastosta saatavaa prosessidataa ja havaittiin, että sitä ei ole tällä hetkellä kovin paljon saatavilla ja sen

raportoinnissa havaittiin puutteita. Suurimmat puutteet kirjaamisessa olivat koneen tuotantotuntien eri toimintojen kirjaamistavassa, joten kovin luotettavaa ja laaja-alaista tietoa prosessiin liittyvistä eri toiminnoista ei ollut saatavilla. Tietoja ei ollut kirjattu yrityksen sisäisen ohjeen mukaisesti. Oman ongelmansa aiheutti myös se, että raportointi tehdään pääosin työvuoron päätteeksi ja keskeytymättömän prosessin osa vaiheista ei ollut saatavilla prosessidataa.

Prosessidatan tutkiminen tapahtui työpajaan liittyen lähinnä Microsoft Excel taulukkolaskentaohjelman avulla, koska Minitab-ohjelmisto ei ollut siinä tilanteessa käytettävissä. Kattavampi prosessidatan tarkasteleminen suoritettiin tutkimusperiodin päätteeksi, jossa verrattiin prosessidataa ja siinä tapahtuneita muutoksia projektin ajalla. Päätimme myös valita yhdeksi prosessin toimintaa kuvaavaksi mittariksi tuotantolinjan toiminnan tehokkuutta kuvaavan KNL-mittarin, koska sen avulla on mahdollisuus tarkastella projektin alku- ja lopputilanteen tuloksia kvantitatiivisesti usean eri osa-alueen kautta.

Seuraavaksi laadimme prosessista uimaratakaavion, jonka tarkoituksena oli kuvata prosessin kulku vaiheittain ja samalla selvittää prosessissa olevat pisteet, joissa on mahdollisuus tehdä päätöksiä ja kontrolloida prosessia. Sen tekemiseen käytimme aivoriihimenetelmää, joka mahdollisti eri vaiheiden tarkastelun useasta eri näkökulmasta. Uimaratakaavio paljasti, että prosessia voidaan tarkkailla ja säätää useissa eri kohdissa, mutta muoviprofiilin käyttäytyminen prosessissa vaihtelee tuntemattomasta syystä ja pienikin säätö, joissain kontrollipisteissä voi aiheuttaa arvaamattomia seurauksia prosessissa.

Mittaamisvaiheen lopuksi työpajassa päätettiin, että linjastolla toteutetaan lisää työpajassa esiin tulleita kunnostustoimenpiteitä, raportointia kehitetään ja aloitetaan kokeilut linjaston säätöjen standardisoimiseksi ja linjaston ajonopeuden nostamiseksi. Johtamiseen ja työntekijöiden lisäkoulutukseen päätettiin myös panostaa. Sen tarkoituksena oli laajentaa henkilöstön osaamista linjaston asetusten vaihtotyön osalta, jotta vaihtotyöhön tarvittavaa aikaa voitaisiin lyhentää.

Sekundääristä aineistoa kerättiin linjaston työntekijöiden tuntemuksia ja Lean tuntemusta mittaavalla Webropol-kyselyllä (liite 3). Kyselyyn vastasi yhdeksän henkilöä ja kyselyn avulla oli tarkoitus saada työpajan osallistujien havaintojen lisäksi työntekijöiden näkemyksiä ongelmakohdista, joita linjastolla esiintyy. Lisäksi kyselyssä pyydettiin kertomaan mahdollisia parannustoimenpiteitä havaittuihin ongelmiin. Kysely sisälsi kuusi eri osa-aluetta ja 26 kysymystä. Eri osa-alueet olivat jo käytössä olevien Lean työkalujen tuntemus, johtaminen, työturvallisuus, laatu, koulutus ja prosessin toiminta. Kyselyyn vastasi yhdeksän linjastolla työskentelevää henkilöä.

5.3 Analysointivaihe

Analysointivaiheen tarkoituksena on saavuttaa parempi ymmärrys prosessin eri toimintojen syy-, - ja seuraussuhteista. Analyysivaihe aloitetaan toimeenpanemalla ne toimet, jotka mitausvaiheessa tunnistettiin merkittäviksi ja toteutettaviksi. Muutoksen jälkeen kerätystä tiedosta tehdään tilastollista tarkastelua testaamalla hypoteesia, korrelaation ja regression avulla tai tekemällä varianssianalyysi ANOVA (analysis of variance). Tarkastelua voidaan tehdä näistä yhdellä tai useammalla työkalulla. Tarkastelun avulla prosessin kannalta merkityksettömät asiat saadaan näkyviin ja ne voidaan hylätä ja keskittyä prosessin kannalta merkityksellisiin asioihin. (Shankar 2009, 41–42)

Mittaamisvaiheessa havaittujen puutteiden osalta kehitystoimenpiteenä päätettiin kehittää prosessidatan kirjaamisen tarkkuutta, jotta tuotannossa tapahtuviin poikkeamiin ja niiden juurisyihin on mahdollisuus päästä paremmin käsiksi. Lisäksi sovittiin linjaston vaihtotyön standardisoimisesta tekemällä linjastolle vaihtotyöohjeet, jotta vaihtotyössä vaihtelua saataisiin pienennettyä ja vaihtotyöhön kuluva aikaa lyhennettyä. Teknisesti linjastoa päätettiin kunnostaa raportissa havaittujen pienempien vikojen osalta. Kokeilut linjaston ajonopeuden kasvattamiseksi päätettiin myös aloittaa hallitusti. Yhtenä toimenpiteenä päätettiin tehdä standardisointia koneen asetusten vaihtotyön osalta merkitsemällä koneeseen karkeat asetussäädöt, jotta vaihtotyötä saataisiin nopeutettua.

5.4 Parantamisvaihe

Analyysivaiheen jälkeen prosessista ja siihen vaikuttavista tekijöistä on saatu muodostettua tarkempi kuva. Projektitiimin tehtävänä on määrittää kiinnostavat tekijät, joiden avulla prosessin suorituskykyä voidaan mitata, ennustaa ja optimoida. Parantamisvaiheessa kehitetään ja toteutetaan myös ratkaisuja analyysivaiheessa havaittuihin ongelmiin sekä arvioidaan niiden vaikutuksia prosessin toimintaan. Kehitettävien parannustoimenpiteiden tarkoituksena on, että ne ovat vaikutuksiltaan pysyviä. Optimaalisessa tilanteessa prosessista saadaan luotua matemaattinen malli, jonka avulla eri tekijöiden vaikutuksia prosessin toimintaan voidaan mallintaa. (Shankar 2009, 67–70; Six Sigma 2022)

Tämän tutkimuksen osalta parantamistoimenpiteet liittyvät kiinteästi mittaamisvaiheessa tehtyihin havaintoihin ja vastatoimiin ongelmien ratkaisemiseksi. Kaikki parantamistoimenpiteet päätettiin tehdä työpajan päätteeksi, jolloin se mahdollisti tutkimustyön kohtuullisen ajankäytön. Parantamistoimenpiteet päätettiin tehdä käytössä olevien resurssien puitteissa työpajan aikana esiin tulleiden ongelmakohtien korjaamiseksi. Kaikki prosessiin kohdistetut toimenpiteet olivat sellaisia, joilla arvioitiin olevan selvä vaikutus prosessin häiriöttömään toimintaan. Yksi tärkeä parantamiskeino oli kokeilutoiminta, jonka avulla lähdettiin kasvattamaan tuotannon nopeutta hallitusti kohti maksimiarvoa. Rotherin (2011, 218) mukaan paras väline prosessien parantamiseen on kokeilutapa ja sitä voi soveltaa lähes mihin tahansa prosessiin.

5.5 Kontrollointivaihe

Kontrollointivaihe on DMAIC-prosessin viimeinen vaihe, jossa parannettua prosessia ryhdytään ohjaamaan, jotta prosessi ei palaudu lähtötilanteeseen vaan kykenee säilyttämään vähintään parantuneen tason. Projekti dokumentoidaan ja jatkoa ajatellen luodaan ohjaussuunnitelma, jonka avulla saavutetuista tuloksista voidaan pitää kiinni. Prosessissa ilmenevien virheiden syntyminen pyritään estämään luomalla vika- ja vaikutusanalyysi FMEA (Failure Mode and Effect Analysis). Kontrollointivaiheessa laaditaan myös projektin loppuraportti ja

projektin tulokset muutetaan rahalliseen muotoon projektin tuomista säästöistä. (Shankar 2009, 94–104; Six Sigma 2022)

5.6 Aineiston luotettavuuden arviointi

Tutkimuksessa käytetty kvantitatiivinen aineisto on peräisin käsin kirjatusta prosessidatasta, prosessin säätämiseen liittyvistä muistiinpanoista ja toiminnanohjausjärjestelmästä. Prosessidatan luotettavuutta heikensi tutkimukseen liittyen kirjaamisessa olevat epätarkkuudet. Suurin osa näistä puutteista saatiin kuitenkin korjattua tutkimuksen aikana, mutta vertailtavuuden takia korjattua materiaalia jouduttiin yleistämään jonkin verran. Se vaikutti myös tutkimustulosten tarkkuuteen. Prosessin säätämiseen liittyvien muistiinpanojen arvot ovat kirjattu kokeilutoimintaan liittyen ja ovat paikkansa pitäviä. Toiminnanohjausjärjestelmän tuottamaa dataa voidaan pitää lähes täysin luotettavana.

Kvalitatiivinen primäärinen aineisto kerättiin pääosin kolme päivää kestäneessä työpajassa, jossa käsiteltiin prosessia ja siinä esiintyviä ongelmia DMAIC ongelmanratkaisumallin mukaisesti. Esille nousseet asiat kirjattiin muistiin. Sekundäärinen aineisto kerättiin havainnoimalla ja haastatteleamalla prosessia ja operaattoreita, sekä erillisellä kyselyllä, jonka tuottamat tiedot olivat hyvin saman suuntaisia verrattuna työpajassa esille tulleisiin asioihin. Tämän aineiston luotettavuus on hyvä, koska työpajan, kyselyn ja havainnoinnin tuottama tieto oli hyvin toisiaan tukevaa ja saman suuntaista.

6 Projektin tulokset

6.1 Määrittelyvaihe

Projektin määrittelyvaihe aloitettiin pitämällä aloituspalaveri, jossa sovittiin kaikki projektin läpivientiin liittyvät asiat. Aloituspalaveriin osallistui tehtaanjohtaja, tuotannosuunnittelija, tekninen päällikkö, prosessin asiantuntijajäsen ja allekirjoittanut. Palaverin tuloksena laadittiin projektikuvaus (Project Charter) asiakirja, johon kirjattiin projektin tarkoitus ja laajuus, tärkeät ajankohdat, saavutettavat tavoitteet, projektiin osallistuva henkilöstö ja arvioidut kustannukset ja mahdolliset saavutettavat hyödyt. Projektikuvauksen avulla osallistujat saatiin sitoutumaan projektiin ja samalla saatiin varmistettua johdon tuki projektin menestykselle.

6.2 Mittaamisvaihe

Webropol-kyselyn tulokset

Kyselyn kysymyksissä 1–3 kysyttiin työntekijöiden ymmärrystä käytössä olevaan 6S metodiin ja siihen liittyvään jatkuvan parantamisen periaatteeseen. Vastauksista oli havaittavissa, että käytössä olevan Lean työkalun idea ja toiminta oli hyvin tiedossa. Jatkuvan parantamisen idean tiesi kuusi vastaajaa yhdeksästä. Kaksi vastaajaa ei vastannut ja yksi ei osannut sanoa. Vastaajista 55 prosenttia oli sitä mieltä, että jatkuvan parantamisen periaate toteutuu nykyisin hyvin. Vastaavasti 22 prosenttia ei osannut sanoa ja 22 prosenttia oli kielteisellä kannalla. Kielteisistä vastauksista ilmeni, että työntekijöiden näkemyksen mukaan ideoita ei toteuteta tai ne toteutuvat liian hitaasti.

Esimiehen tukeen oli vastaajista 33 prosenttia tyytyväisiä, 45 prosenttia ei osannut sanoa ja 22 prosenttia oli tyytymättömiä saamaansa tukeen. Tyytymättömyyden syynä sanallisissa vastauksissa oli hidas reagointi tiedossa oleviin ongelmiin. Kehitysideoina vastaajat nimesivät mm. työilmapiirin ja tiedonkulun parantamisen, tuotekehitykseen liittyvän

kokeilutoiminnan ja koulutuksen prosessin ja sen säätämisen yksityiskohdista. Lisäksi ehdotettiin, että huollot tehdään ajallaan, jolloin tuotantoon ei tule odottamattomia pysähdyksiä. Kehitysideoiden tehokkaampaa käyttöönottoa toivottiin myös. Vastaajista 56 prosenttia oli kuitenkin sitä mieltä, että työssä tarvittavat välineet ovat hyvät ja asianmukaiset. Vastavasti 33 prosenttia katsoi, että yksittäisissä välineissä on puutteita ja 11 prosenttia ei osannut sanoa. Tyytyväisyyttä on mahdollisesti lisännyt juuri ennen kyselyä tehty käsityökalujen hankinta huonokuntoisten ja rikkoutuneiden tilalle. Havainnoinnin perusteella uusia työkaluja päätettiin hankkia, koska osa vanhoista oli huonokuntoisia.

Työturvallisuuden osalta 45 prosenttia oli tyytyväisiä nykyiseen työturvallisuustasoon, 22 prosenttia ei osannut vastata ja 33 prosenttia oli sitä mieltä, että työturvallisuudessa on puutteita. Vastaajat olivat huolissaan siitä, että turvallisuusriskit on tunnistettu, mutta niistä ei ole tiedotettu riittävästi työntekijöille. Lisäksi yksi vastaaja oli huolissaan muovipölyaltistuksen pitkäaikaisvaikutuksista. Työturvallisuuteen vaikuttavina yksityiskohtina mainittiin kierresaumakoneen rullien vaihtotyö ja purkutason aitojen epäkäytännöllisyys. Putken laadun vaikutuksesta muun tehtaan toimintaan oltiin hyvin tietoisia. Vastauksista ilmeni, että huonolaatuinen putki aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia. Esimerkiksi kaivotuotannossa se aiheuttaa paljon ylimääräistä työtä, koska epäkurantti sauma tarvitsee jälkityöstöä.

Laadun ja tehokkuuden mittaamiseen liittyen vastauksista ilmeni, että putken teknisiä vaatimuksia ja niiden täyttymistä tarkkaillaan tekemällä erilaisia lujuuden ja jäykkyyden mittauksia, jotta SN-luokituksen täyttymisestä voidaan olla varmoja. Lisäksi putken painoa, ulko- ja sisähalkaisijaa ja ulkonäköä tarkkaillaan visuaalisesti ja mittaamalla. Tuotannon tehokkuuden mittaamisesta ei vastauksissa ollut mainintaa. Dokumentoinnin osalta tuotannossa esiintyviä häiriöitä ei vastaajien mielestä dokumentoitu erikseen millekään lomakkeelle vaan niistä ilmoitetaan WhatsApp-ryhmään tai tehdään vikailmoituslomake sähköisesti. Paperiversiona tehdään prosessin ajopäiväkirjaa, johon merkitään vain laadunvalvonta, mutta vuorossa esiintyneitä häiriöitä siihen ei kirjata.

Vastauksissa vakioiduista ja dokumentoiduista toimintatavoista ja työssä tarvittavasta avainosaamisesta vastaajien vastauksissa ilmeni hajontaa. Kolme vastaajaa kertoi, että ohjeet ovat olemassa ja kolme vastaajaa ilmoitti ohjeiden olevan osittain olemassa. Kaksi vastaajaa vastasi, että ohjeita ei ole olemassa ja yksi ei tiennyt onko ohjeita olemassa. Sanallisissa vastauksissa ilmeni, että kirjalliset ohjeet prosessin käynnistämiseen ovat olemassa, mutta asetusten vaihtoon ja säätämiseen ei ole olemassa ohjeita. Avainosaamiseksi tunnistettiin prosessin käynnistäminen ja säätäminen linjaston ajon aikana. Riittävästi koulutusta kertoi saaneensa 45 prosenttia vastaajista ja 22 prosenttia oli sitä mieltä, että koulutusta ei ollut annettu riittävästi. Kolmasosa vastaajista ei osannut sanoa. Vastausten perusteella koulutus on saatu lähinnä kokeneemmilta työntekijöiltä ”kisällimeiningillä” ja työssä oppimalla. Lisäkoulutusta toivottiin asetusten vaihtotyöhön, käynnistykseen ja muovin ominaisuuksien tuntemukseen.

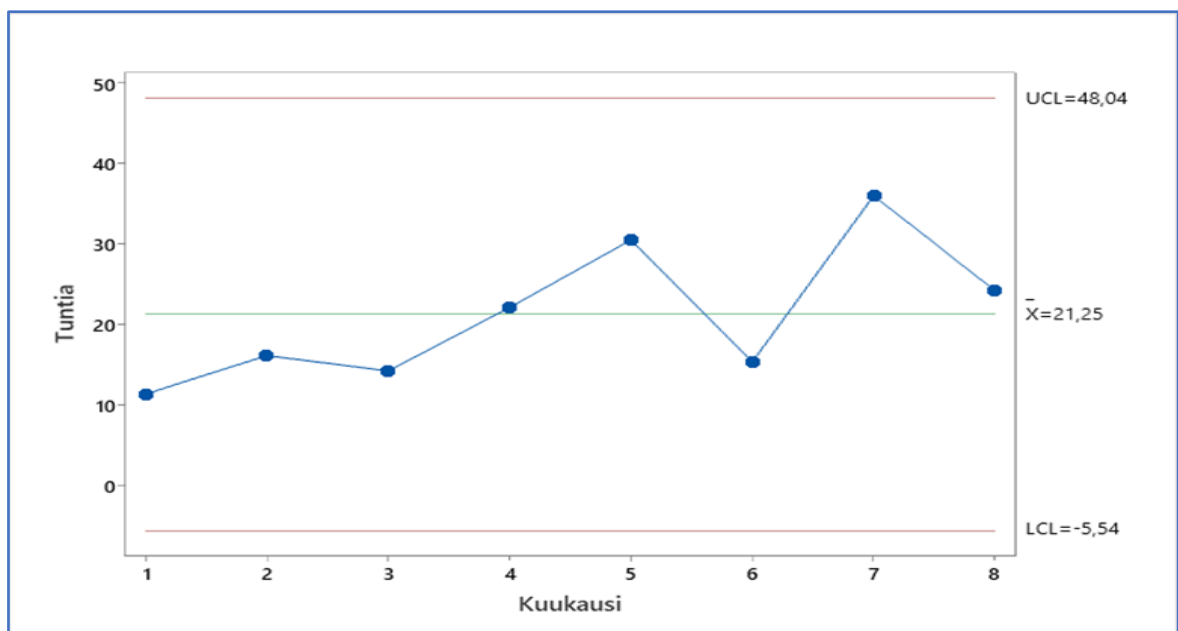
Kysyttäessä prosessissa ilmenevistä yleisimmistä häiriöistä vastaajat nimesivät putken hitsin laadun vaihtelun, profiilin jäähtymisen alitehoisuuden, taajuusmuuntajien ja kontaktorien viat ja häiriöt sekä alipainekammion tiivistysongelmat. Lisäksi ongelmana nähtiin dokumentoinnin puute säätöjen osalta, jotta linjaston vaihtotyössä asetusten karkeasäätö on mahdollista saada tarkemmaksi. Toimintahäiriöiden korjaamiseen ehdotettiin kohdennettuja kunnossapitotoimia ja parhaiden käytänteiden siirtämistä käyttöönottoa yrityksen toiselta toimipisteeltä ja prosessidatan dokumentoinnin parantamista.

Kysyttäessä linjastolle suoritetuista huolto- ja korjaustoimenpiteistä edellisen vuoden aikana vastaajat kertoivat, että korjauksia on tehty kuluneille kierteille, katkaisusahalle ja jäähtytysvesijärjestelmälle mm. vaihtamalla putkia uusiin. Lisäksi ekstruuderin lämpöantureita on korjattu, uusia työvälineitä hankittu ja 6S mukaista työpistettä kehitetty työvälineiden paikkojen osalta. Tulevaisuudessa tulevista huolto-, ja korjaustoimenpiteistä ei vastaajilla ollut tietoa ja tässäkin yhteydessä vastauksista ilmeni tiedonkulun ongelmat lattiatasolle asti.

Kyselyn viimeinen osa käsitteli asetusten vaihtotyötä ja sen kestoa. Kysyttäessä vaihtotyön keskimääräistä kestoa oli vastausten keskiarvo 3,7 tuntia. Pisimmillään vaihtotyöhön

käytettävän ajan keskiarvo oli 9,7 tuntia ja lyhimmillään 4,6 tuntia. Lyhimmän realistisen vaihtoajan keskiarvo oli 3,9 tuntia. Tältä osin vastaukset ovat hieman ristiriidassa keskimääräisen ja lyhimmän keston osalta. Tätä voi osaltaan selittää se, että 56 prosenttia ei osannut vastata siihen, onko asetusten vaihtotyö tehokasta tällä hetkellä. Vain 11 prosenttia vastaajista oli sitä mieltä, että vaihtotyö on tehokasta ja 33 prosenttia ilmoitti sen olevan tehotonta. Aiempaa tehokkaampaa sen ilmoitettiin kuitenkin olevan, koska nykyisin tavarat ovat paikoillaan ja niitä ei tarvitse etsiä. Kielteisen vastauksen antaneiden mielestä tehottomuus johtui kuluneista osista, kunnollisten nostoapuvälineiden ja säätöihin liittyvän dokumentoinnin ja merkintöjen puutteesta. Parannukseksi vastaajat esittivät selkeää dokumentointia, putki-kuljettimiin nostokorvakkeita ja lattiamerkintöjä kuljettimien paikalle.

Vaihtotyön osalta vastaajien mielikuva vaihtotyöstä ei näytä sisältävän tuotannon käynnistämiseen tarvittavaa aikaa. Prosessidataa tutkimalla asetusten vaihtoon liittyvä tuotannon seisokki oli huomattavasti pidempi kuin vastaajat olivat vastanneet. Kuvassa 24 on esitetty dimensionvaihtoon liittyvä aika, kun tuotanto on ollut pysähdyksissä. Datan vertailussa havaintopisteet ovat kuukausittaisia keskiarvoja dimensionvaihtojen yhteydessä olleista tuotannon pysähdyksistä.



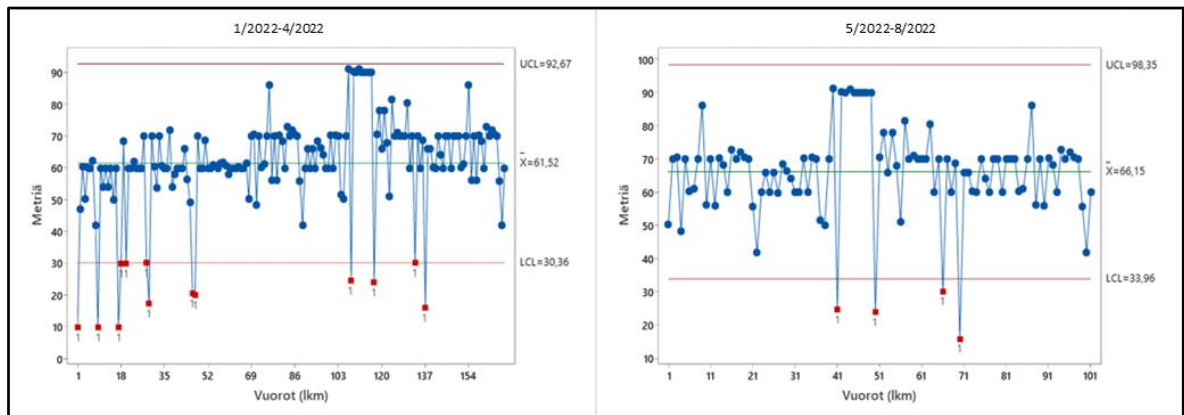
Kuva 24. Tuotannon pysähdys dimension vaihdossa

Kuvan 24 vaaka-akselilla yksikkönä on kuukaudet tammikuun ja elokuun 2022 välisenä aikana ja pystyakselilla yksikkönä on tunnit. Kuvasta havaitaan, että tuotannon todellisen keskeytyksen keskiarvo on 21,25 tuntia, joka on merkittävästi vastaajien näkemyksiä pidempi aika. Projektin vaikutus näkyy kuvassa touko- ja kesäkuun välillä lyhyempänä tuotannon pysähdyksenä. Heinäkuun osalta pidempiä vaihtoaikoja voi osaltaan selittää kesätyöntekijät, joiden osaaminen ei ole vakituisen operaattorihenkilöstön tasolla. Projektin ajalla ei kuitenkaan ole datan perusteella tuotannon pysähdysaikoja saatu lyhennettyä, vaan ne ovat jopa kasvaneet. Osan näistä tekijöistä voi selittää prosessidatan kirjaamisen tarkkuuden paraneminen ja sovittujen ja suunniteltujen korjaustöiden suorittaminen dimension vaihtojen yhteydessä.

6.3 Analysointivaihe

Analysointivaiheessa prosessidataa tutkittiin eri näkökulmista Minitab ja Excel ohjelmistojen avulla. Työpajavaiheessa dataa päästiin tutkimaan vain pintapuolisesti ja varsinaisen tarkastelu tehtiin syys- ja marraskuun 2022 aikana. Tarkastelukausi käsitti pääpiirteittäin tammikuun ja elokuun välisen ajanjakson, josta tammikuun ja huhtikuun välinen aika oli vertailukohtana, kun projekti suoritettiin toukokuun ja elokuun välisenä aikana. Analysointia pyrittiin suorittamaan useasta eri näkökulmasta, jotta prosessista saatiin mahdollisimman holhollinen näkemys.

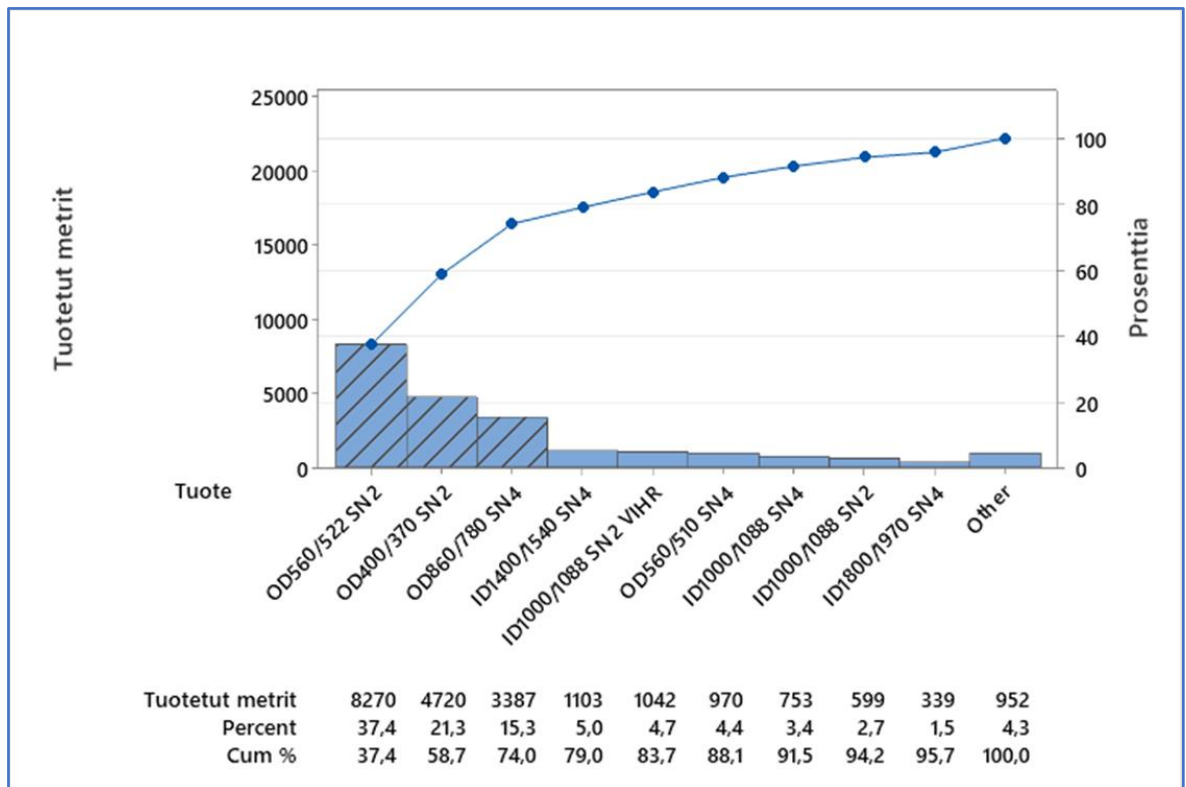
Tuotannon osalta prosessin toimintaa on tarkasteltu eniten tuotettavien tuotteiden kautta, koska niistä oli paremmin saatavilla vertailukelpoista dataa. Tuotannon määrän tarkastelussa on tehty yleistys siten, että tuotantoa alku- ja loppupään välillä on verrattu suodattamalla aineistosta vertailuun vain se osa tunneista, kun tuotanto on käynnissä, koska tarkoitus on ollut nähdä toteutettujen toimien vaikutus itse prosessin toimintaan. Kuvassa 25 on esitetty OD560/522SN2 putkilaadun prosessidataa tammikuun ja elokuun 2022 välillä ja siinä esiintyy vain vuorot, jolloin tuotanto on ollut käynnissä. Aineistosta on suodatettu pois vaihtajat ja muut linjaston pysähdykset.



Kuva 25. Tuotanto OD560/522 SN2 1/2022–8/2022

Kuvassa 25 on vaak-akselilla esitetty vuorojen lukumäärä ja pystyakselilla tuotanto metreinä. Kuvia vertailtaessa nähdään, että keskimääräinen tuotanto on ollut ennen projektia 61,52 metriä ja projektin jälkeen 66,15 metriä kyseisellä halkaisijaltaan 560 millimetriä olevalla putkilaadulla. Kyseisen putkilaadun osalta keskimääräinen tuotanto on kasvanut aineiston mukaan noin 7,5 prosenttia. Lisäksi tuotannon käynnissä ollessa prosessin vaihtelua on saatu vähennettyä, koska kuuden sigman kontrollirajojen ulkopuolelle on jäänyt vähemmän havaintopisteitä.

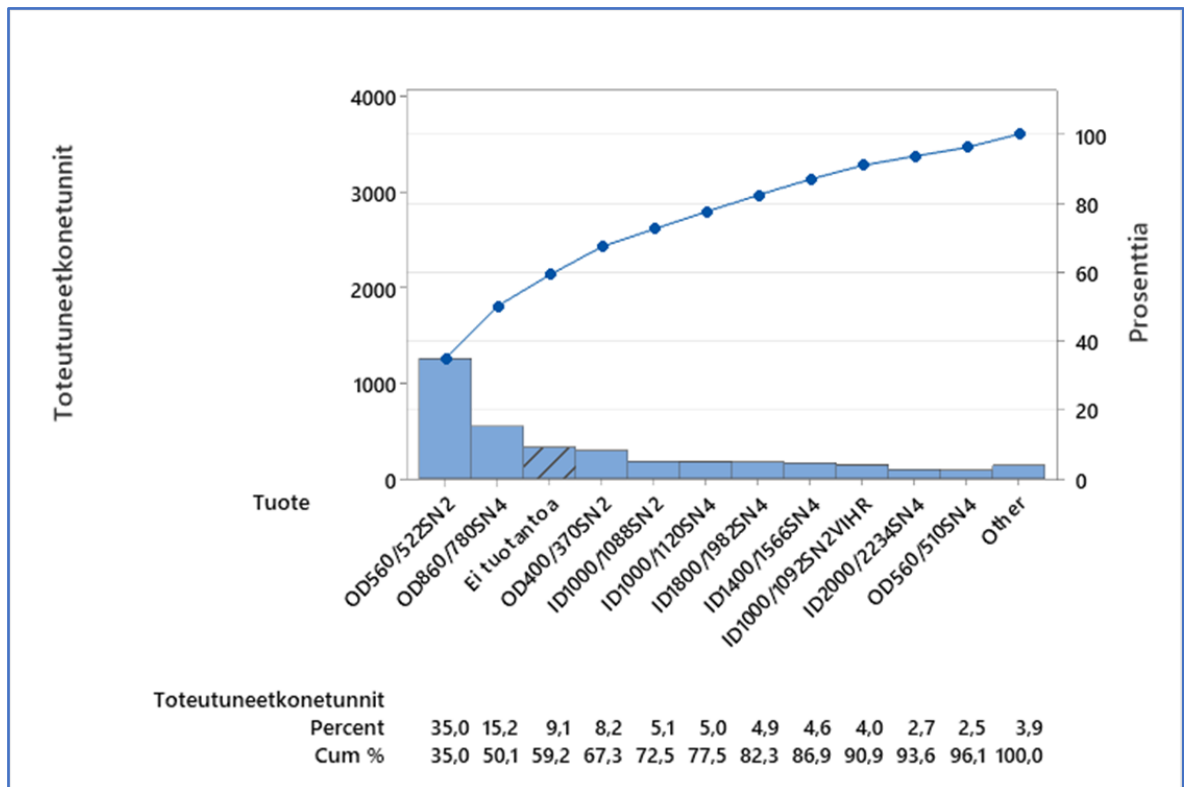
Tuotannon rakennetta tarkasteltaessa voidaan kuvasta 26 havaita, että lähes koko tuotanto koostuu yhdeksästä eri tuotteesta, joista OD560/522 SN2, OD400/370 SN2 ja OD860/780 SN4 muodostavat selkeästi tärkeimmän tuoteryhmän. Tässä yhteydessä tuotettuja metrejä tarkasteltiin tammikuun 2022 ja huhtikuun 2022 välillä, koska kyseiselle aikavälille ei sisälly pitkiä lomajaksoja.



Kuva 26. tuotettu määrä nimikkeittäin 1/2021–4/2022

Tuotettujen metrien osalta kuvasta 26 havaitaan, että tuotannosta 74 prosenttia muodostuu kolmesta eri nimikkeestä ja muiden nimikkeiden osuus tarkastelujakson tuotannosta jää varsin vähäiseksi. Tuotannosta 37,4 prosenttia muodostuu OD560/522 SN2 putkilaadusta, 21,3 prosenttia OD400/370 SN2 ja 15,3 prosenttia OD860/780 SN4 putkilaaduista. Muiden putkilaatujen yhteenlaskettu osuus kokonaistuotannosta on yhteensä vain 26 prosenttia.

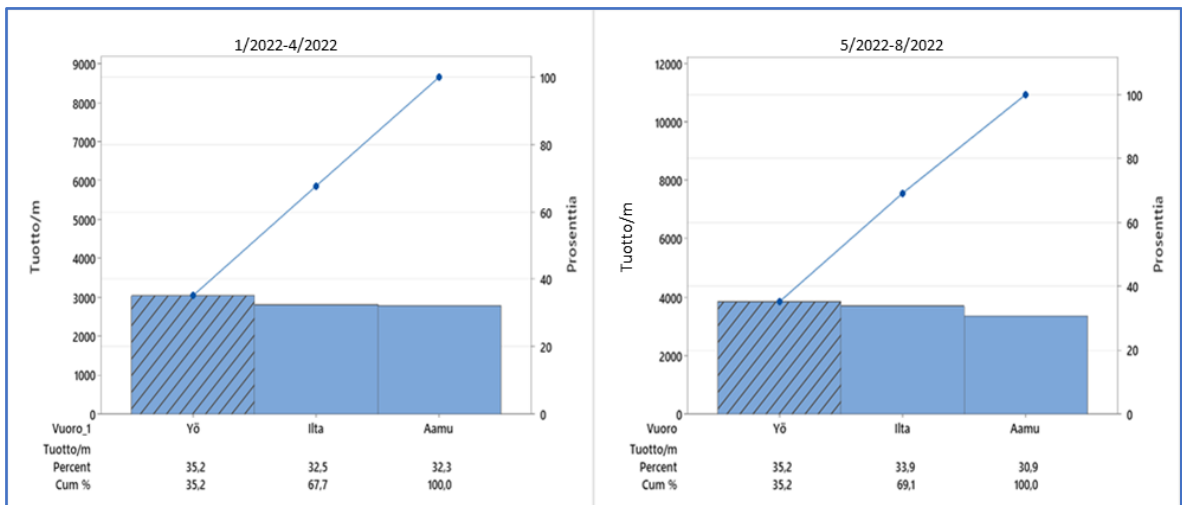
Toteutuneiden konetuntien tarkastelussa tunteja on tarkasteltu suunnitellun tuotannon näkökulmasta ja tarkasteluun on sisällytetty linjaston käyntituntien lisäksi tunnit, jolloin linjasto on ollut pysähdyksissä, mutta kyseiset tunnit on suunniteltu tuotantoon käytettäväksi (kuva 27).



Kuva 27. Toteutuneet konehunnit nimikkeittäin 1/2022–8/2022

Kuvasta 27 nähdään, että tammikuun 2022 ja elokuun 2022 välisenä aikana toteutuneita konehunteja on eniten halkaisijaltaan 560 millimetriä ja 860 millimetriä oleville nimikkeille. Huomioitavaa on kuitenkin kolmantena oleva toteutumattoman tuotannon osuus suunnitellusta tuotannosta, joka on 9,1 prosenttia kaikesta tuotantoon suunnitellusta ajasta. Sillä on merkittävä vaikutus tuotannon tehokkuuteen. Esimerkiksi, jos normaalituotanto on viisi päivää viikossa kolmessa vuorossa, niin vuotuisia tunteja tuotantoon on silloin käytössä 52 viikon periodilla 6240 tuntia ja 9,1 prosenttia tuotantotunneista on pyöristettynä 568 tuntia. Se vastaa vuositason noin 24 vuorokauden menetettyä tuotantoa.

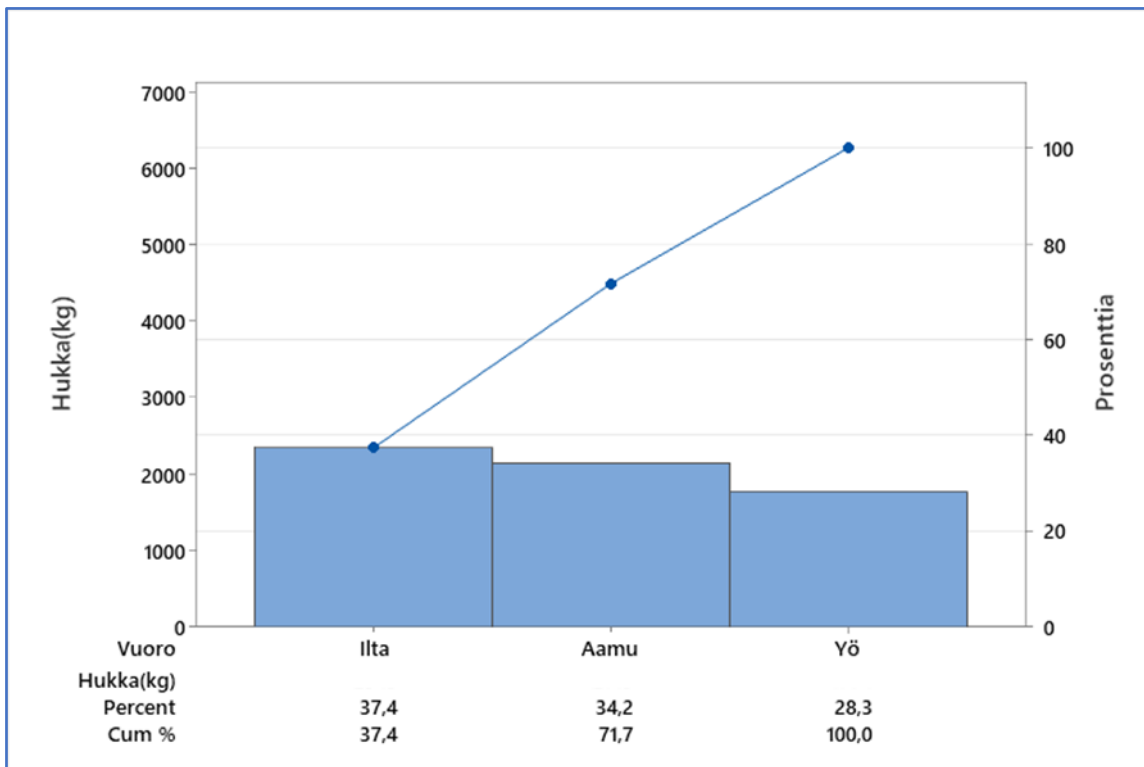
Tuotannon metrimääräistä suoritetta tarkasteltaessa suoritteita vertailtiin myös eri vuorojen välillä. Tuotantovuorojen välistä suoritetta vertailtiin, koska haluttiin saada käsitys eri vuorojen välisestä tehokkuudesta. Tarkastelu osoitti, että suuria eroja ei vuorojen välillä ollut havaittavissa (kuva 28).



Kuva 28. Tuotanto eri vuoroissa 1/2022–8/2022

Eri vuorojen tuotantomäärää vertailtaessa kuvasta 28 voidaan nähdä, että koko tarkasteluvälillä yövuoro on ollut kaikkein tuottavin 35,2 prosentin osuudella koko tuotannosta. Seuraavaksi tuottavin on ollut iltavuoro ja kaikkein vähiten tuotantoa on saatu aikaiseksi aamuvuoron aikana. Aamuvuoron heikompaa tuottoa voi selittää asetusten vaihtamisen aloittaminen pääosin juuri aamuvuoron aikaan. Yövuorossa tuotantoon aiheutuu myös todennäköisesti vähiten tuotantoa haittaavia ulkopuolisia tekijöitä, koska tuotantoa saadaan ajaa rauhassa.

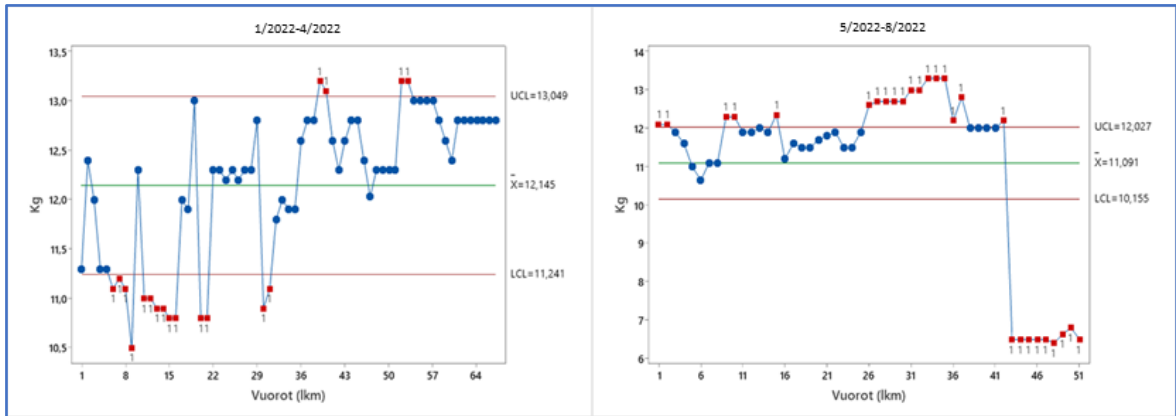
Eri vuorojen välillä ilmenevää hukkaa tarkasteltaessa tulokset ovat saman suuntaiset kaikkien vuorojen osalta. Kuvasta 29 voidaan nähdä, että pienin hukka on yövuorossa ja omalta osaltaan se kertoo, että yövuoro on kaikkein tuottavin, koska tuotantoa yövuorossa on eniten ja samalla hukkaa on vähiten. Iltavuoron muita suuremmalle hukalle ei löydetty erillistä selittävää tekijää.



Kuva 29. Hukan määrä eri vuoroissa 1/2022–8/2022

Laatunäkökulmasta eri vuoroja tarkasteltaessa kuvasta 29 nähdään, että hukkaa on syntynyt iltavuorossa 37,4 prosenttia, aamuvuorossa 34,2 prosenttia ja yövuorossa 28,3 prosenttia tammikuun ja elokuun välisenä aikana. Tälläkin mittarilla tarkasteltuna yövuoro on suoriutunut parhaiten. Yhteenvedona voidaan todeta, että molemmilla mittareilla mitattuna yövuoro on suoriutunut parhaiten vertailussa tarkastelujaksolla.

Prosessidatan epätarkkuuksien takia putkien metripainojen tarkempaa tarkastelua suoritettiin OD560/522 SN2 putkilaadulle, koska siihen käytettiin tarkastelujakson aikana eniten toteutuneita konetunteja ja kyseisestä putkilaadusta oli eniten prosessidataa saatavilla. Tarkastelua suoritettiin pääosin putken laatunäkökulmasta, tarkastelemalla putken metripainon muutosta ja prosessin virtauksen tasaisuutta (kuva 30). Metripainojen tarkastelu on tärkeässä roolissa, koska putken hinnasta 75 prosenttia muodostuu raaka-aineen hinnasta. Tästä syystä isojen putkikokojen hinta metriä kohden on huomattavasti suurempi pieniin putkikokoihin verrattuna, koska raaka-ainetta kuluu huomattavasti enemmän.

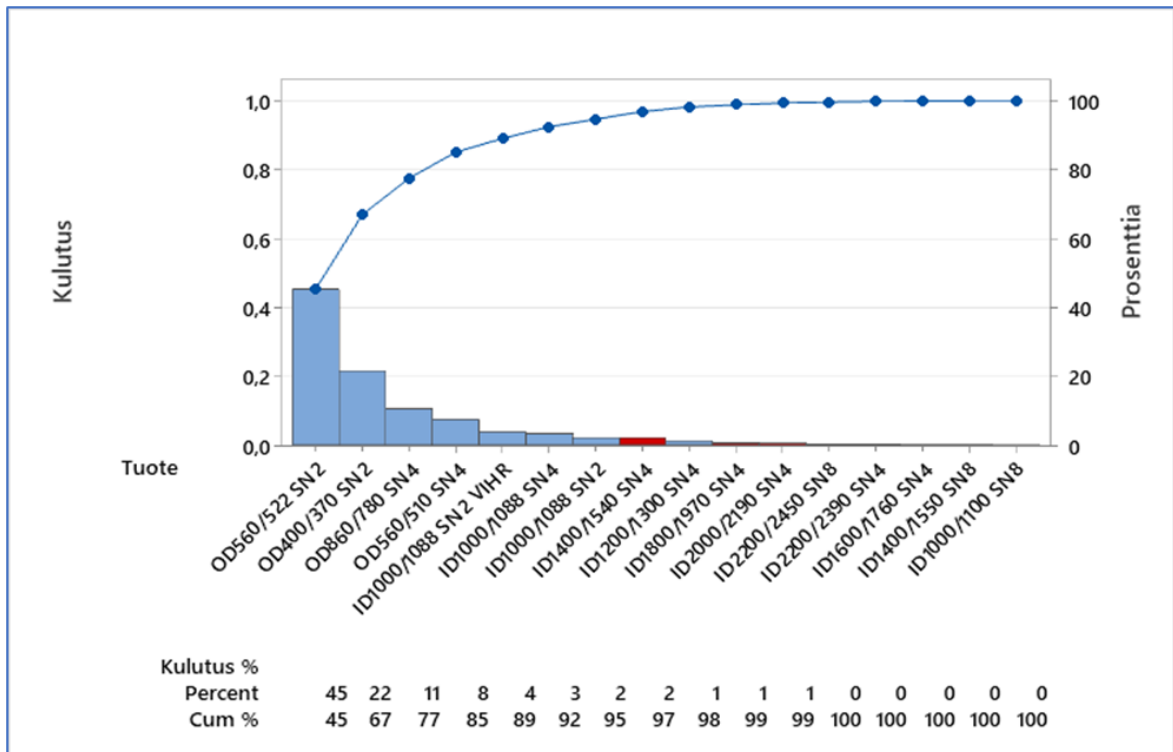


Kuva 30. OD560/522 SN2 metripainon muutos 1/2022–8/2022

Kuvasta 30 huomataan, että ennen projektia prosessissa on ollut paljon enemmän hajontaa molempiin suuntiin ja putken keskimääräinen metripaino on ollut 12,145 kilogrammaa. Projektin aikana suoritettujen kunnostustoimenpiteiden ja säätöjen standardisoinnin myötä prosessin hajonta on pienentynyt ja putken keskimääräinen metripaino on pudonnut 11,091 kilogrammaan putken keventyessä 1,054 kg metrille. Kyseisen SN2 luokituksen täyttävän putken metripaino on keventynyt 8,68 prosenttia. Kuvan 30 oikeassa reunassa on myös nähtävissä kesätyöntekijöiden vaikutus putken metripainoon heinäkuun aikana kasvaneina metripainoina. Työryhmän asiantuntijajäsenen mukaan kesätyöntekijöiden heikko prosessin osaamisen tuntemus prosessin säätämisen osalta aiheutti heinäkuussa suurempia putkien metripainoja. Siihen verraten todellinen putken painon keveneminen voi olla jonkin verran suurempi niiltä kuukausilta, kun kierresaumaputkilinjastolla työskentelee vakiohenkilöstö.

Varastotasot

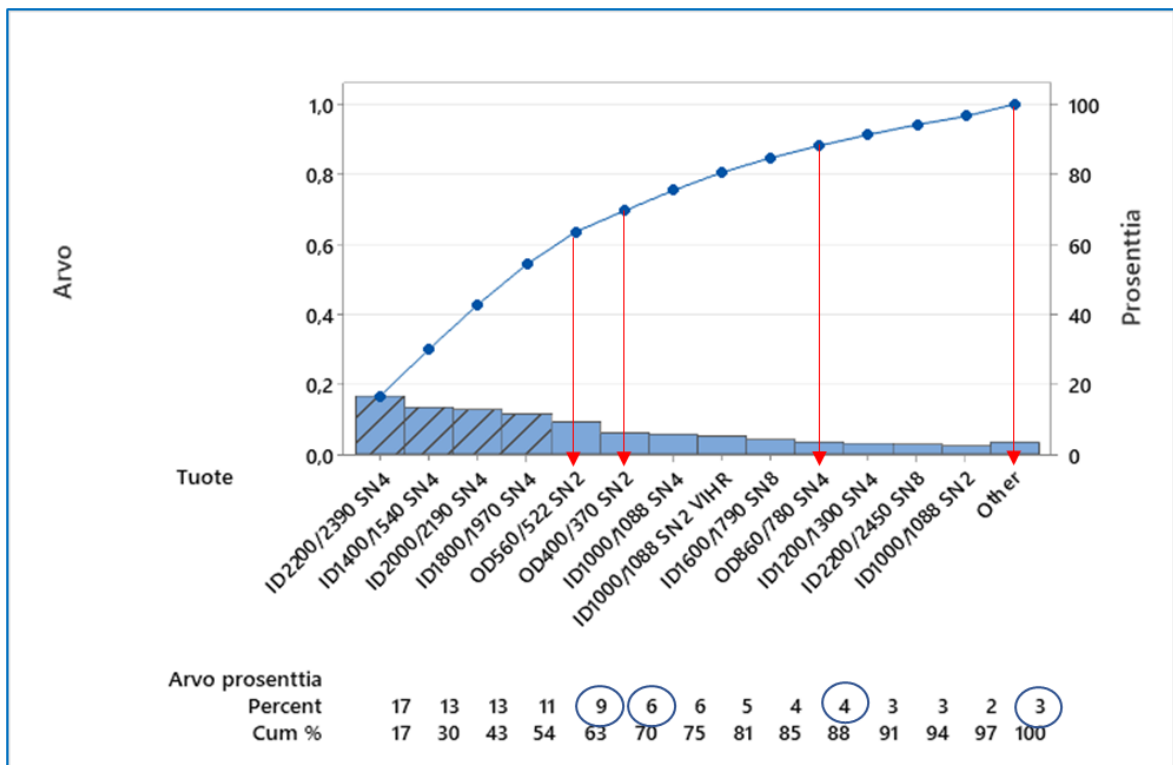
Varastotasojen tarkastelu oli yksi työn tavoitteista. Toimeksiantajan mielestä valmiiden tuotteiden varastotasot olivat joidenkin tuotteiden osalta liian suuret. Asiaa lähdettiin tutkimaan tekemällä aluksi eri tuotteiden kulutuksesta ABC-analyysi kevään 2022 kulutusdataan perustuen (kuva 31). ABC-analyysiin sisällytettiin kaikki tuotteet, joilla oli kulutusta tarkastelujakson aikana.



Kuva 31. Kulutus eri tuotteille tammikuu 2022–Huhtikuu 2022

Kuvasta 31 voidaan havaita, että kulutuksen perusteella päätuotteita on neljä. Näiden neljän päätuotteen kumulatiivinen osuus kulutuksesta on 85 prosenttia. Muiden tuotteiden osuus kokonaiskulutuksesta on vain 15 prosenttia. Kulutuksen perusteella varastotasojen optimoinnissa on hyvä keskittyä tarkemmin näiden neljän päätuotteen aktiiviseen (OD560/522SN2, OD400/370SN2, OD860/780SN4, OD560/510SN4) ohjaukseen. Muiden tuotteiden osalta voidaan varastotasoja seurata esimerkiksi tilauspistejärjestelmällä.

Seuraavassa vaiheessa tutkittiin varastotasoja tuotteittain (tilanne 1.5.2022). Varastotasojen tarkastelussa on syytä muistaa, että kyseessä on tarkastelupäivän tilanne ja se voi vaihdella suurestikin päivittäisten kulutustapahtumien osalta. Tavallisesti yrityksessä on tuotettu riittävä määrä valmiita tuotteita varastoon, jotta se kattaa kesän sesonkiajan kulutuksen. Varastotasojen optimointia on yrityksessä aikaisemmin toteutettu lyhyellä tähtämellä ja tuotteiden riittävyys on taattu riittävän isojen varastojen avulla (kuva 32).

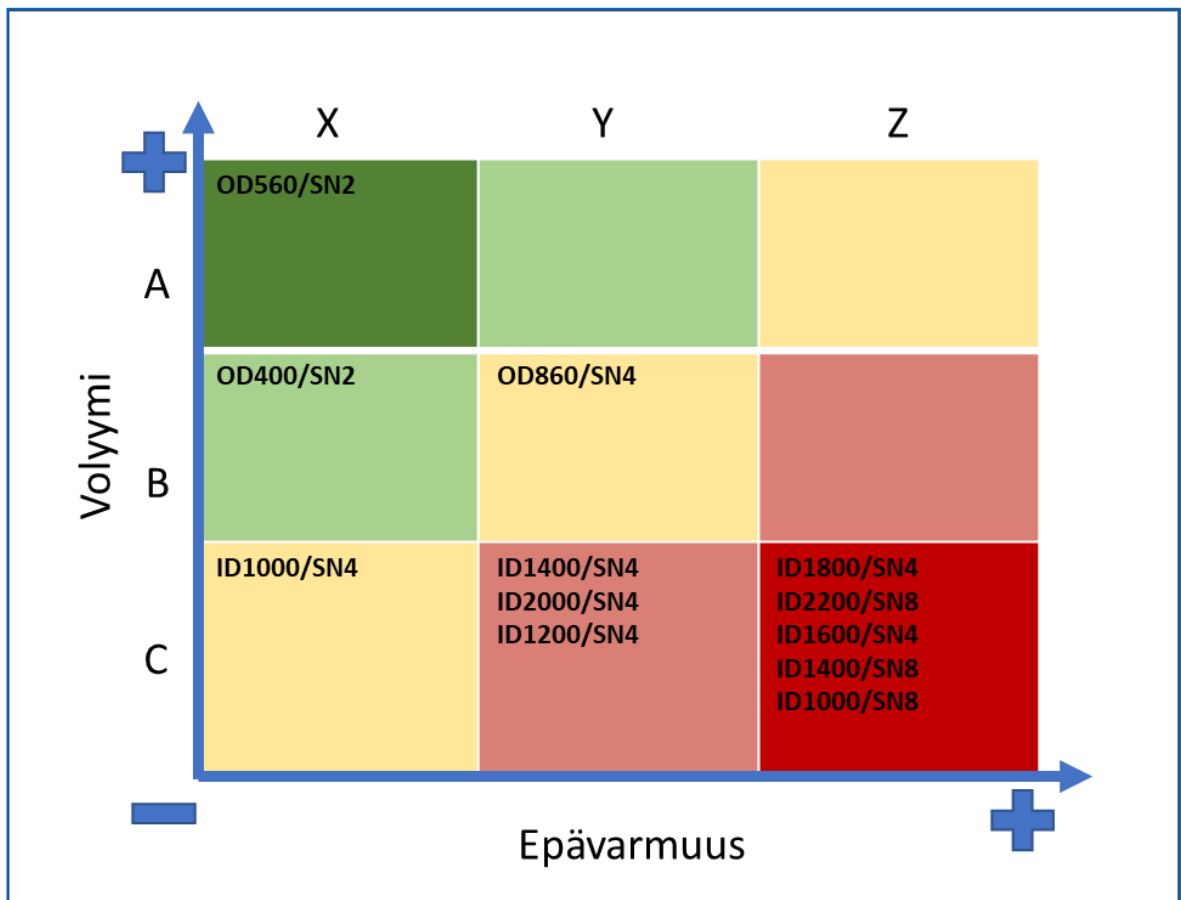


Kuva 32. Varaston arvo prosenttia tuotteittain 1.5.2022

Kuvasta 32 havaitaan, että päätuotteiden osuus varaston arvosta on suhteellisen pieni. Se on yhteensä vain noin 20 prosenttia kokonaisvarastosta. Sen perusteella voidaan todeta, että päätuotteiden varastonohjaus kohtalaisen toimii hyvin. Sakin (1999, 115) mukaan kulutukseltaan suurille nimikkeille varaston on oltava pieni ja toimituskyky hyvä, koska pyrkimyksenä on saada aikaan jatkuva tuotantoputki pienissä erissä. Tällä tavoin toimimalla on mahdollisuus kasvattaa varaston kiertonopeutta. Hyvä toimituskyky vaatii kuitenkin toimiakseen häiriöttömästi toimivan ja tehokkaan tuotantoprosessin.

Kulutusta ja varaston arvoa vertailtaessa (liite 4.) huomataan myös, että 54,2 prosenttia varaston arvosta muodostuu tuotteista, joiden kulutus on vain noin 5 prosenttia kokonaiskulutuksesta. Näiden tuotteiden osalta kyse saattaa olla siitä, että varmuusvarastot ovat huomaamatta kasvaneet aikojen saatossa tai tuotteita yksinkertaisesti tuotetaan liikaa kysyntään nähden. Suurin osa näistä tuotteista on halkaisijaltaan suuria putkikokoja, jotka ovat kalliita ja sitovat paljon käyttöpääomaa. Näiden tuotteiden osalta varastotasojen optimoimalla on mahdollisuus pienentää varastoihin sitoutunutta pääomaa.

Tammikuun ja elokuun 2022 välisenä aikana tuotannossa olleille putkilaaduille tehtiin myös ABC- ja XYZ-analyysi, jonka avulla oli tarkoitus selvittää yritykselle eri tuotteiden merkitystä varastonohjauksen kehittämisen tueksi. Matriisi rakennettiin suhteuttamalla tuotteiden päivittäinen kulutus kulutuksen vaihteluun (kuva 33).



Kuva 33. ABC- ja XYZ-analyysi

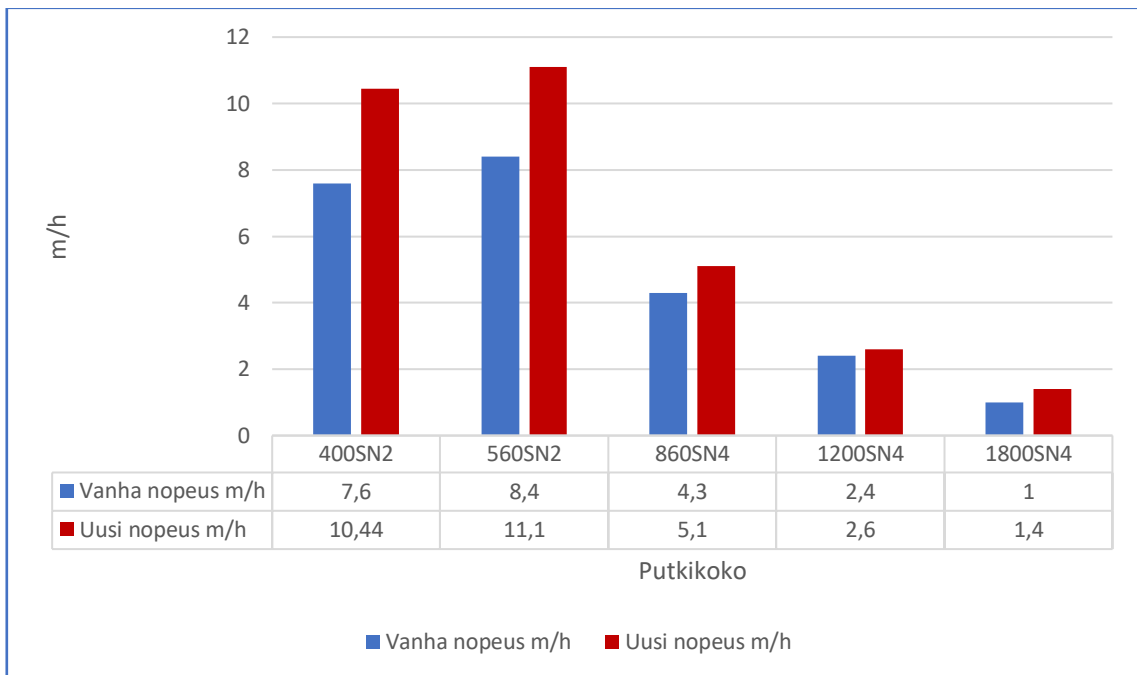
Vaaka-akselilla epävarmuuskerroin on saatu laskemalla variaatiokerroin päivittäisen kulutuksen vaihtelusta ja pystyakselilla volyyymi on tuotteen kokonaiskysyntä tarkastelujakson aikana. Näiden tietojen perusteella tuotteet sijoittuvat matriisissa tärkeysjärjestykseen. Tuotteet ryhmittyvät siten, että A-ryhmän tuotteiden volyyymi on 75 prosenttia, B ryhmän volyyymi 20 prosenttia ja C ryhmän viisi prosenttia kokonaisvolyymistä. Varianssin osalta X ryhmään kuuluvat maksimissaan arvon 0,3 saaneet tuotteet, Y ryhmään 0,4–0,6 ja Z

ryhmään yli 0,6 arvolla olevat tuotteet. Analyysin perusteella OD560/522SN2 sijoittuu matrisissa ryhmään AX, joka edustaa tasaisen kysynnän ja korkean volyymin tuotteita. Vastavasti ryhmään CZ kuuluvat tuotteet edustavat alhaisen volyymin ja suuren vaihtelun tuotteita. Analyysin tulosten mukaan AX ryhmän tuotteiden palveluaste on oltava korkea, kun taas CZ ryhmän tuotteille riittää alhaisempi palveluaste. Palveluaste on määritettävä tapauskohtaisesti tilaus-toimitusketjun vaatimukset huomioiden, jotta tuotetta on saatavissa määrättyssä ajassa ja varastaso pysyy hallinnassa.

6.4 Parantamisvaihe

Suurin osa kierresaumaputkilinjastoon kohdistuvista toimenpiteistä kohdistettiin työpajavaiheessa kyselyn ja havaintojen perusteella kunnossapidollisiin toimiin, jotta kunnossapitoon liittyvien asioiden merkitys prosessin toimintaa saatiin minimoitua. Linjaston tekniseen kuntoon kohdistuvat toimet käsittivät korjaustoimia, jotka olivat kohtalaisen pienin kustannuksin ja helposti toteutettavissa. Lisäksi työpajan päätteeksi sovittiin operaattorihenkilöstön lisäksi koulutuksesta ja linjaston ajonopeuden nostamiseen tähtäävästä kokeilutoiminnasta, jonka avulla oli tarkoitus selvittää linjaston maksimaalinen ajonopeus muuttuneessa tilanteessa.

Kokeilutoiminnan lopputuloksena linjaston nopeutta saatiin nostettua ja putken metripainojen vaihtelua pienennettyä niiden tuotteiden osalta, joita oli tuotannossa parantamisvaiheen aikana. Ajonopeuden ja putkien kilopainon osalta kokeilutoiminnalla saavutettiin hyviä tuloksia ja työpajassa tehty havainto siitä, että käytössä olevat ajoarvot ovat vanhalta tuotantolaitokselta peräisin osoittautui oikeansuuntaiseksi. Kuva 34 esittää kokeilutoiminnan vaikutuksia eri putkilaatujen ajonopeuksiin. Uusia arvoja haettiin niille tuotteille, joita oli tuotannossa projektin aikana.



Kuva 34. Putkituotannon ajonopeuden muutos 8/2022

Kuvasta 34 havaitaan, että ajonopeutta on saatu lisättyä varsinkin kolmen tärkeimmän putkilaadun osalta. OD400/370 SN2 putkilaadun ajonopeus on lisääntynyt 37 prosenttia, OD560/522 SN2 laadun 32 prosenttia ja OD860/780 SN4 laadun 19 prosenttia. Näiden kolmen päätuotteen merkitys tuotannossa on huomattava ja niillä on suuri vaikutus tuotannon määrään. Kaikkien tuotteiden osalta ajonopeuden kasvun keskiarvo oli 27 prosenttia. Linjaston ajonopeutta nostettiin asteittain siihen asti, kunnes suurin mahdollinen ajonopeus saavutettiin. Teknisesti ajonopeutta olisi ollut vielä mahdollisuus kasvattaa, mutta prosessissa alkoi ilmenemään asioita, joiden takia suurimmat ajonopeudet asettuivat tälle tasolle. Eri putkilaaduilla nopeuden kasvattamisen esteenä olivat esimerkiksi jäähdytysongelmat, hitaustykin massan riittämättömyys ja katkaisusahan sivuttaissiirron riittämätön nopeus. Linjastolla aluksi esiintynyt pullonkaula saatiin siirtymään kokeilun aikana, jolloin se viittaa prosessissa tapahtuneisiin muutoksiin.

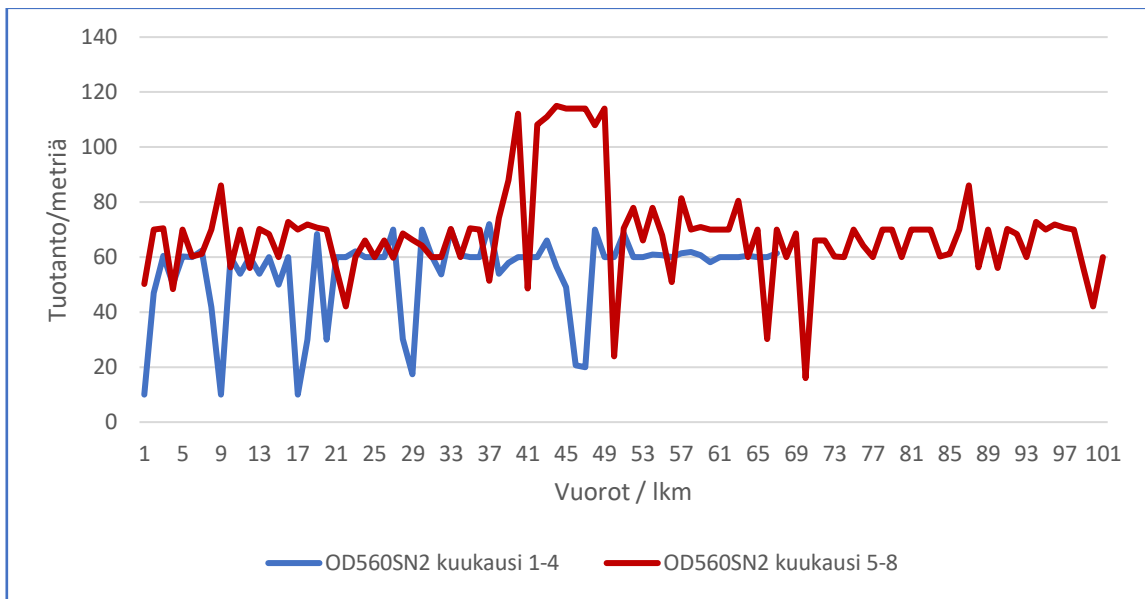
Ajonopeuden kasvattamisen lisäksi eri putkilaatujen metripainoja kyettiin keventämään ja samalla vakauttamaan prosessissa ilmenevää putken metripainon vaihtelua. Taulukossa 9 on esitetty eri putkilaatujen kilopainon muutokset kokeilujakson aikana.

Taulukko 9. Kilopainojen muutos 8/2022

KOKO	Kilopaino vanha	Kilopaino uusi	Ero %	SN-luokka vanha	SN-luokka uusi	HUOM
400SN2	8,2	6,4	-22 %	2,4	2,4	sahan vauhti ei riitä kovempaan vauhtiin
560SN2	12	11,4	-5 %	2	2,1	sahan vauhti ei riitä kovempaan vauhtiin
860SN4	39	32,5	-17 %	4,3	4,3	Jäähdytys ei riitä kovempaan vauhtiin
1000SN2	65	41,7	-36 %	3	3	Jäähdytys ei riitä kovempaan vauhtiin
1200SN4	82	75,2	-8 %	4,07	4,07	Tykin massa ei riitä kovempaan ajoon
1400SN4	130	114	-12 %	5,21	4,03	Tykin massa ei riitä kovempaan ajoon
1600SN4	147	147	0 %	5,7	4,24	Tykin massa ei riitä kovempaan ajoon
1800SN4	202	185	-8 %	5,07	5,07	Tykin massa ei riitä kovempaan ajoon
2000SN4	220	240	9 %	4,5	4,5	Tykin massa ei riitä kovempaan ajoon
2200SN4						Tykin massa ei riitä kovempaan ajoon, jäähdytys ei riitä
Kilopainon muutoksen keskiarvo			-11 %			

Kilopainojen muutoksista havaitaan, että lähes kaikkien putkilaatujen osalta kilopainoja on saatu pienennettyä lähemmäs SN-luokan vaatimaa minimitasoa. Keskiarvo kilopainojen vähentämiselle kokeilujakson aikana oli 11 prosenttia. Kolmen päätuotteen osalta kilopainojen muutoksien keskiarvo oli 15 prosenttia. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että raaka-ainetta tarvitaan vähemmän putkimetriä kohden, joten tuotanto tehostuu pienentyneen raaka-aineen kulutuksen osalta putkimetriä kohden. Kilopainojen pienenemisellä on suora vaikutus kannattavuuteen, koska kuten edellä mainittu, niin kaksi kolmasosaa putken hinnasta tulee raaka-ainekustannuksesta. Putkilaatujen optimaalinen paino olisi tuotantokustannusten osalta SN-luokan vaatima minimipaino ja kaikki sen ylittävä osa tarkoittaa ylimääräisiä tuotantokustannuksia. Asiakas ei yleisesti ole valmis maksamaan ylilaadusta.

Tehtyjen toimien vaikutusta tuotantomäärään sidottuna tarkasteltiin kahdessa periodissa. Ensimmäinen tarkastelujakso oli vuoden 2022 tammikuusta huhtikuun loppuun ja jälkimmäinen toukokuusta elokuun loppuun. Ongelmaksi tarkastelussa kuitenkin ilmeni se, että lopputuotetta mitataan metreinä ja tuotantonopeus vaihtelee voimakkaasti riippuen putkilaadusta, joten eri laadut eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Lisäksi oman haasteensa aiheutti projektin aikana tuotannossa olleet putkilaadut, joita valmistettiin koko tarkastelujakson aikana. Ainoa tuote, jota valmistettiin paljon molemmissa periodeissa, oli OD560/522SN2. Vahvistusta havainnoille haettiin myös tutkimalla tuotteita OD400/370SN2 ja ID1000/1088SN2. Näiden valmistusmäärissä oli kuitenkin eroja periodien välillä. Kuvassa 35 on esitetty OD560/522SN2 tuotanto kummassakin periodissa.



Kuva 35. OD560/522SN2 tuotanto 1/2022–8/2022

Kuvassa 35 vaak-akselilla on vuorot, jolloin tuotanto on ollut käynnissä ja pystyakselilla on tuotanto metreinä. Kuvasta havaitaan, että tuotanto on tehostunut ja vuoroissa tuotettujen metrimäärien keskiarvo on kasvanut verrattuna projektia edeltävään periodiin. Tammikuun ja huhtikuun välisenä aikana tuotannon keskiarvo vuoroa kohden oli noin 54,5 metriä ja vastaavasti toukokuun ja elokuun välisenä aikana se oli noin 69 metriä. Metrimääräinen tuotanto on siis kasvanut projektin aikana 26 prosenttia. OD400/370SN2 (+23 %) ja ID1000/1088SN2 (+25 %) putkilaatujen osalta muutos näyttää hyvin samansuuntaiselta ja se tukee näkemystä todellisesta muutoksesta prosessin tehokkuudessa.

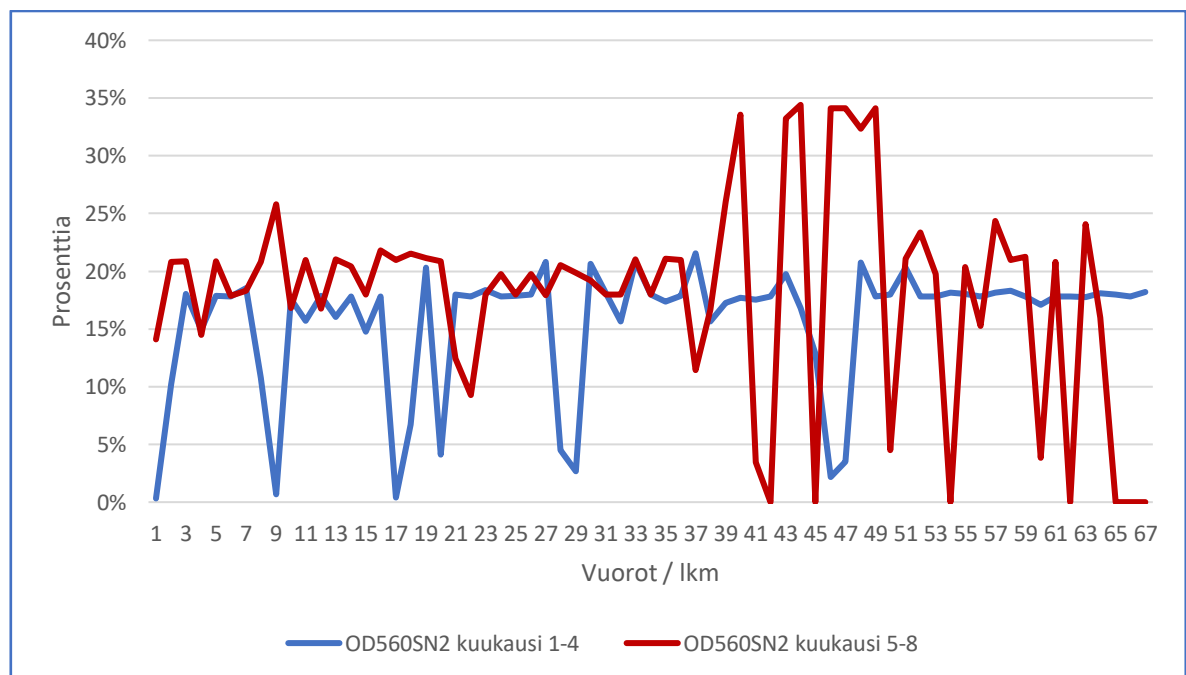
KLN mittarilla tarkasteltuna tulos prosessin tehokkuuden kasvamisesta oli päinvastainen. Mittarin rakentamisessa oli haasteena vertailukelvoton data eri putkilaatujen välillä. Tietojen yhteismitallismaiseksi käytettiin pohjana raaka-aineen kulutusta kiloina. KNL laskettiin seuraavasti:

$$\text{raavasti: } \left(\frac{\text{Toteutuneet konetunnit}}{\text{Teoreettiset konetunnit}} \right) * \left(\frac{\text{Tuotto } \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{\text{Tuotto ka.}} * 1,3 \right) * \left(\frac{\frac{\text{Tuotto} \cdot \text{Hukka}}{\text{kg}}}{\frac{\text{Tuotto}}{\text{kg}}} \right) = \text{KNL} \quad (4)$$

Oletuksena laskennassa prosessin suurimmalle nopeudelle oli 1,3 kertaa putkilaadun tuoton keskiarvo, koska prosessin maksimituotto ei ollut tiedossa. Kyseisen kertoimen avulla

laskenta antoi järkeviä tuloksia. Kulutettuun raaka-aineeseen perustuva kokonaistehokkuus oli pudonnut 23 prosenttia projektin aikana. Tutkittaessa asiaa tarkemmin havaittiin, että laskenta ei huomioi ajonopeuden muutosta, eikä putken metripainon pienenemistä. Raaka-aineen kulutus vaihtelee myös eri tuotteiden osalta riippuen tuotettavasta profiilista. Kyseinen mittari voi antaa luotettavampia tuloksia, kun putkien metripaino on saatu optimoitua ja metripainon vaihtelu ei vääristä tuloksia.

Indikaatiot tuotantolinjalta kuitenkin näyttivät tuotannon tehostumisesta, joten laskentaa muutettiin nopeuden osalta siten, että laskenta tehtiin vain tuotteelle OD560/522SN2 ja kilomääräinen suure (kg/h) muutettiin metrimääräiseksi (m/h), jotta nopeuden osalta saatiin mitattua ulostulevaa valmista tuotetta. Kuvassa 36 on esitetty KNL graafisesti koko tarkastelujaksolla.

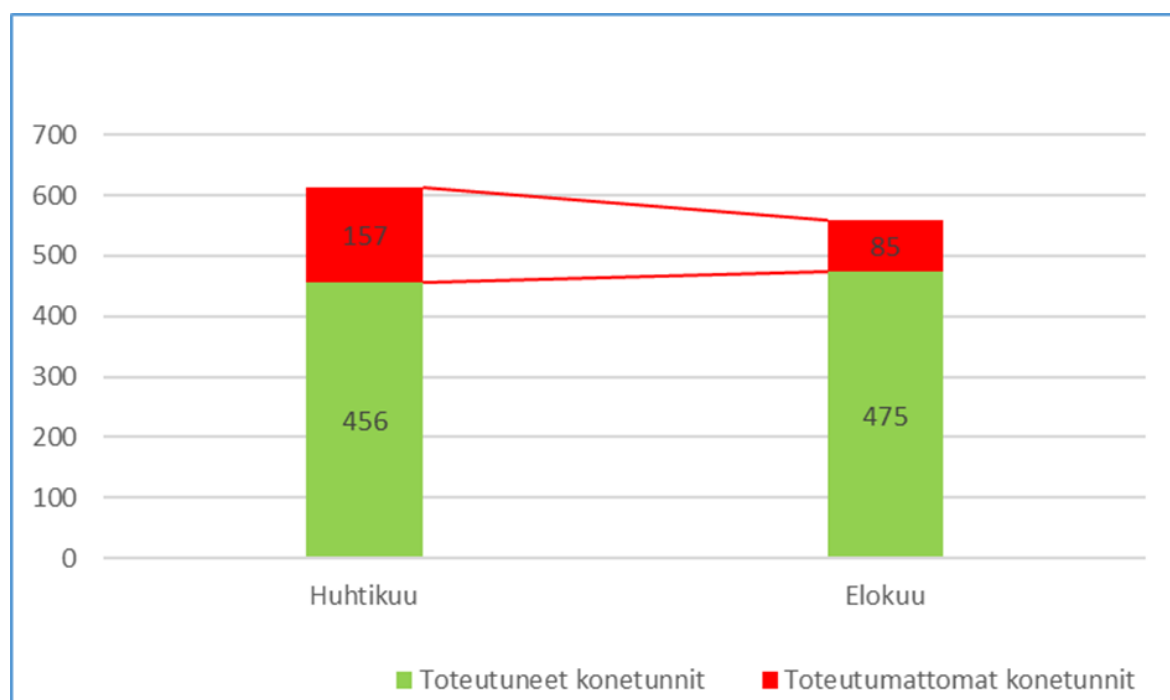


Kuva 36. KNL OD560/522SN2 välillä 1/2022–8/2022

Kuvasta 36 voidaan havaita, että työpajassa sovittujen toimenpiteiden vaikutus alkaa näky-mään toukokuun alusta lähtien parantuneena kokonaistehokkuutena. Kuvaajassa pystyakselilla näkyvä prosentuaalinen asteikko on suuntaa antava, koska nopeuden osalta

maksiminopeus on arvio, joka perustuu ensimmäisen periodin tuotannon nopeuden keskiarvoon kerrottuna 1,3. Laskentamalli antaa kuitenkin mahdollisuuden vertailla molempia tarkastelujaksoja. Ensimmäisellä tarkastelujaksolla kokonaistehokkuus oli 15,6 prosenttia ja jälkimmäisellä 17,2 prosenttia. Tuotettuihin metreihin perustuvan kokonaistehokkuuden kasvu oli 10,1 prosenttia tarkastelujaksojen välillä. Nopeuden osalta metriperusteisen laskennan tulos on saman suuntainen linjastolta saatujen havaintojen kanssa.

Yhtenä tavoitteena oli toteutumattomien konetuntien vähentäminen 20 prosentilla lähtötasosta. Käytännössä toteutumattomat konetunnit johtuvat asetusten vaihtoajasta, konerikosta tai operaattoreiden sairaspöissaoloista. Toteutumattomia konetunteja pyrittiin vähentämään linjastoon liittyvien korjaustoimenpiteiden avulla sekä asetusten vaihtotyön dokumentoimisella ja kehittämisellä tehokkaammaksi. Lisäksi operaattorihenkilöstöä koulutettiin uuden toimintamallin mukaiseen vaihtotyöhön. Näiden toimien vaikutusta on esitetty kuvassa 37



Kuva 37. Konetuntien vertailu 4/2022 ja 8/2022

Kuvasta 37 voidaan havaita, että toteutumattomien konetuntien muutos vertailtaessa huhtikuun ja elokuun toteumaa oli 46 prosenttia. Huhtikuu ja elokuu valikoituivat

vertailukohdiksi, koska huhtikuu edusti aikaa ennen projektia ja elokuu projektin viimeistä kuukautta. Molempien kuukausien tuotantorakenne oli myös suhteellisen samanlainen, joten vertailu näiden kuukausien välillä antoi kohtalaisen luotettavia tuloksia. Tuloksien perusteella 20 prosentin parannustavoite saavutettiin kirkkaasti, joten linjastoon kohdistuvilla toimilla on ollut selvä vaikutus toteutumattomiin konetunteihin.

6.5 Kontrollointivaihe

Kontrollointivaihe toteutettiin 30.9.2022 työpajana, jossa tarkasteltiin projektista saatuja havaintoja ja tuloksia. Projektista saatujen hyvien havaintojen perusteella sovittiin, että prosessin omistaja vastaa jatkossa prosessin nykytilan vakiinnuttamisesta ja jatkokehityksestä. Edelleen päätettiin jatkaa ajonopeuden nostoon liittyviä kokeiluja, raportoinnin tarkkuuden kehittämistä ja linjaston operaattorihenkilöstön kouluttamista, jotta osaamis pohjaa saadaan laajennettua. Näiden toimien uskottiin tuovan hyötyjä yritykselle myös pidemmällä aikavälillä, kun toimien vaikutus alkaa selvemmin näkymään linjaston toiminnassa.

Projektista laadittiin myös erillinen yrityksen sisäinen raportti, jossa projektista saatuja tuloksia tarkasteltiin analyyttisesti ja monipuolisesti. Raportin perusteella oli havaittavissa, että projektista saatu rahallinen hyöty oli tyypillinen Lean Six Sigma Green Belt projektille. Raportti vahvisti myös tehtyjen toimien vaikutuksen koko prosessiin ja sen toimintaan. Suurin osa raportin tuloksista on esitetty tässä työssä, mutta joitain asioita on tarkoituksella jätetty esittämättä niiden arkaluontoisuuden takia.

7 Johtopäätökset ja yhteenveto

Työn tavoitteena oli Kierresaumaputkilinjaston toiminnan kehittäminen parantamalla tuotantoastetta toimitusvarmuuden vaarantumatta. Kohdeyrityksen mielestä linjaston toiminta ei ollut halutulla tasolla ja sen toimintaa haluttiin tehostaa. Aikaisempaa tutkimusta linjaston toiminnasta ei ollut olemassa ja toiminnan tehostaminen päätettiin toteuttaa Lean Six Sigma Green Belt projektina. Projektissa käytettiin DMAIC mallin mukaista ongelmanratkaisumenetelmää ja varsinainen projekti toteutettiin kolmen päivän työpajassa, jossa pyrittiin löytämään toiminnan tehostamisen kannalta keskeiset rajoitteet, niiden juurisyyt ja juurisyihin projektin raameissa olevat vastatoimet. Lisäksi tietoa hankittiin havainnoimalla linjaston toimintaa ja järjestämällä kysely linjaston operaattoreille, jotta kohteena olevasta linjastosta ja sen toiminnasta saataisiin mahdollisimman monipuolinen ymmärrys kehitystoimien pohjaksi.

7.1 Tärkeimmät löydökset

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä etsittiin vastauksia putkilinjaston tehokkuutta rajoittaviin tekijöihin. Tutkimuksen tulosten perusteella suurin yksittäinen tehokkuutta rajoittava tekijä oli se, että putkilinjastossa oli vanhoissa toimitiloissa puutteellinen jäähdytys ja linjaston ajonopeus oli suhteutettu sen hetkisen tilanteen mukaisesti. Toimitilojen vaihtuessa uusiin, linjastoa ajettiin edelleen vanhoilla totutuilla nopeuksilla. Työpajan juurisyyanalyysissä pääsimme asiaan kiinni. Syy oli lopulta niin ilmeinen, että sitä ei muuton yhteydessä ollut huomattu ollenkaan.

Toinen putkilinjaston tehokkuutta rajoittava tekijä oli operaattorihenkilöstön koulutuksen puute. Linjastolla on ajan saatossa vaihtunut operaattoreita ja uudet henkilöt olivat lähinnä itseoppimalla opetelleet työtehtäviään. Erillistä koulutusta putkilinjaston tehokkaaseen opeoimiseen ei heille ollut järjestetty ja kirjalliset ohjeet olivat myös puutteelliset. Vaillinaisen osaamisen takia osa operaattoreista ei hallinnut linjastolle tehtäviä säätötoimenpiteitä ja

asetusten vaihtotyötä kunnolla. Sen seurauksena asetusten vaihtotyöhön käytettävä aika riippuen henkilöistä vaihteli hyvin voimakkaasti ja aiheutti tuotannon menetystä. Linjaston käynnissä ollessa siihen täytyy kohdistaa ajoittain säätötoimenpiteitä ja säätämättä jättäminen tai säätäminen väärin voi aiheuttaa linjaston laatuongelmia tai linjaston pysähtymisen kokonaan.

Muita esille nousseita tekijöitä olivat linjaston riittämättömästä huollosta aiheutuneet linjaston suunnittelemattomat pysähdykset, joista on aiheutunut myös tuotannon menetyksiä ja lopputuotteen laatuvirheitä. Puutteellinen raportointi ei ole mahdollistanut linjaston tehokkuuden objektiivista tarkastelua ja juurisyiden etsintää. Ongelmat ovat olleet tiedossa, mutta niiden suhdetta toisiinsa ei ole pystytty jäljittämään, koska raportoinnissa ei ole vian ilmenemishetkellä kirjattu vian aiheuttajaa.

Toisessa tutkimuskysymyksessä etsittiin vastauksia toimiin, joiden avulla putkilinjaston tuotantoastetta saadaan parannettua. Tuotantoastetta pyrittiin parantamaan etsimällä havaittuihin ongelmiin vastatoimia, joiden avulla linjastossa olevia ongelmia saataisiin eliminoidua. Suurin yksittäinen toimi oli kokeilutoiminta, jonka avulla linjaston ajonopeutta kasvatettiin mahdollisimman suureksi, jotta todelliset maksimiarvot saataisiin selvitettyä. Kokeilutoiminnalla oli suurin vaikutus linjaston tehokkuuden parantumiseen. Projektin aikana linjaston ajonopeutta saatiin kasvatettua vain niiden putkilaatujen osalta, joita oli tuotannossa.

Putkilinjastoon tehtiin myös korjaustoimia, joissa rikkoutuneita osia vaihdettiin uusiin ja vanhoja osia kunnostettiin. Korjaustoimien ansiosta linjaston vikaherkkyyttä saatiin parannettua, jolloin prosessin vakaus myös parani. Korjaustoimien lisäksi vaihtotyötä pyrittiin nopeuttamaan standardisoimalla sen eri vaiheita. Linjaston säätöjä nopeutettiin merkitsemällä laitteisiin kohdat, joiden avulla karkeasäätö on mahdollista tehdä nopeasti. Vaihtotyön osalta aloitettiin myös asennustyön vaiheistamisen dokumentointi, mutta sitä ei ehditty projektin aikana saamaan valmiiksi. Operaattoreiden kouluttaminen saatiin alkuun, mutta sitä ei myöskään saatu ehditty saada niin pitkälle, että se olisi ehtinyt vaikuttaa projektin aikana.

Projektin päätöspalaverissa sovittiin, että kesken jääneitä toimia jatketaan projektin jälkeen osana prosessin vakiinnuttamista saavutetulle tasolle.

Kolmannessa tutkimuskysymyksessä etsittiin vastauksia rajoituksiin, joita tuotantoasteen parantamisella on olemassa. Linjaston ajonopeuden nostamisen yhteydessä sahan sivuttaissiirron nopeus, spiraalikoneen ekstruuderin massan riittävyys ja jäähtymisen riittämättömyys muodostuivat selvimmiksi esteiksi ajonopeuden kasvattamiselle. Pienien putkilaatujen osalta saha muodostui suurimmaksi pullonkaulaksi. Oman rajoituksensa muodosti myös asetusten vaihtotyöhön käytetty aika, jolloin linjasto on pysähtyksissä. Vaihtotyön toteutustapaa saatiin parannettua projektin aikana ja sen avulla toteutumattomia konetunteja saatiin vähennettyä, mutta toteutumattomien konetuntien määrää on mahdollisuus pienentää lisää parantamalla vaihtotyöprosessia ja lisäkouluttamalla operaattorihenkilöstöä linjaston tehokkaaseen operointiin.

7.2 Tulosten luotettavuuden arviointi

Tutkimusmenetelmien osalta tutkimus on pyritty rakentamaan ja toteuttamaan siten, että tutkimuksen kohdetta on lähestytty useasta eri näkökulmasta ja tutkimuksessa käytetyt tutkimusmenetelmät ovat yleisesti käytössä tapaustutkimuksessa. Aineiston analyysissa on yritetty löytää tutkimusongelman kannalta oleellisia yhteyksiä ja merkityksiä. Näiltä osin tutkimuksen validiteetti on kohtalaisen hyvä. Tulosten luotettavuutta heikentää prosessidatan vähäinen määrä ja puutteellinen kirjaustapa tutkimuksen lähtötilanteen osalta. Työn edetessä prosessidatan kirjaamista kehitettiin ja tehostettiin. Tulosten vertailukelpoisuuden takia loppu-, ja alkutilanteen välillä vertailua tehtiin samoilla tiedoilla, joskin lopputilanteessa kirjaamisen tarkkuus oli parempi. Se aiheuttaa tuloksiin vähäisessä määrin epätarkkuutta.

Tutkimuksen mittaustulokset ovat luotettavasti toistettavissa, koska tutkimuksessa käytetty prosessidata on peräisin kierresaumalinjaston eri toiminnoista ja sen mittaamisen ja kirjaamisen on suorittanut linjaston operaattorihenkilöstö tehtaan ohjeistuksen mukaisesti.

Tutkimuksen reliabiliteetti on hyvällä tasolla ja tutkimus on toistettavissa samoja tutkimusmenetelmiä käyttäen.

7.3 Jatkotutkimus- ja kehitysaiheita

Tämän työn tuloksen saatiin luotua pohja prosessin tehokkuuden nostamiselle jatkuvan parantamisen periaatteen mukaisesti. Jatkotutkimuksena olisi hyvä keskittyä jatkamaan tämän työn aikana aloitettua asetusajkojen lyhentämiseen tähtäävää työtä. Asetusten vaihtoajoja on mahdollisuus lyhentää SMED-menetelmää hyödyntämällä (Single Minute Exchange of Die). Menetelmän avulla kaikki vaihtoprosessiin liittyvät tehtävät kartoitetaan. Sen jälkeen tunnistetaan ulkoiset tehtävät eli tehtävät, jotka ovat mahdollista suorittaa prosessin käynnissä ollessa ja sisäiset tehtävät, jotka vaativat linjaston pysäyttämisen. Tämän vaiheen jälkeen pyritään osa sisäisistä tehtävistä muuttamaan ulkoisiksi ja vakioimaan ja dokumentoimaan uudistettu asetusten vaihtotyö sekä kouluttamaan operaattorit uuteen vaihtotyöprosessiin. Menetelmän avulla voidaan saavuttaa uudenlainen yksinkertaistettu asetusten vaihtoprosessi, joka vaatii vähemmän erityistaitoja ja työntekijöiden kouluttamista. Lisäksi sen avulla voidaan saavuttaa joustavampi ja tehokkaampi tuotanto ja parempi työturvallisuus, joka tarkoittaa yritykselle myös taloudellista säästöä. (Santos et al. 2016, 122–145).

Toisena kehityskohteena olisi hyvä jatkaa kokeiluja linjaston nopeuden kasvattamiseksi, laadun parantamiseksi ja poistaa siirtyviä uudelleen ilmeneviä pullonkauloja, jotta tuotantoa saadaan tehostettua lisää. Tuotannon tehostumiseen liittyen tuotannonsuunnittelua tulisi myös muokata vastaamaan muuttunutta tilannetta. Nykytilanteessa linjastolla vaihdetaan asetukset noin kerran viikossa, mutta uudessa tilanteessa, jossa vaihtotyö on nopeaa, voidaan eri putkikokoja tuottaa lyhyemmällä toimitusajalla vain tarpeeseen JIT ajattelutavan mukaisesti. Samassa yhteydessä varastot olisi optimoitava palvelemaan tätä toimintamallia. Varastojen optimoinnin avulla olisi mahdollisuus pienentää niihin sitoutunutta pääomaa. Ihanetilanteessa yksiosainen virtaus olisi mahdollisuus ulottaa koko kaivotuotantoon, jossa valmiita putkia varastoidaan vain vähän ja ne menevät kaivotuotantoon nopealla tahdilla.

Jatkotutkimusaiheena tutkimuksen kohteena olevalle linjastolle tai toimeksiantajan muihin tuotantolinjastoihin voisi lisäksi tehdä kunnossapitoon liittyen tutkimusta koneiden suunnitelmallisesta ja ennakoivasta huollosta ja rakentaa elinkaarikustannuksia mallintava LCM (Life-cycle model) työkalu. Työkalun avulla voi analysoida menneisyyttä ja ennustaa tulevaa. Se sopii erinomaisesti päätöksen tekoon verkottuneessa ympäristössä. Jokainen osapuoli syöttää omat tietonsa malliin ja lopputuloksena malli laskee kaikkien osapuolten nettonykyarvot jokaisen osapuolen näkökulmasta. (Sinkkonen 2015)

Lähteet

Abhishek P.G., & Pratap, M. (2020). Achieving Lean Warehousing Through Value Stream Mapping. *South Asian Journal of Business and Management Cases*, 9(3), 387–401. [Verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://doi.org/10.1177/2277977920958551>. [Viitattu 5.4.2023].

Babai, M. Z. et al. (2015). On the inventory performance of multi-criteria classification methods: empirical investigation. *International journal of production research*, 53 (1), 279–290. [Verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.952791> .[Viitattu 20.3.2023].

Bicheno, J. & Holweg, M. (2016). *The Lean toolbox: a handbook for lean transformation*. Fifth edition. Buckingham: PICSIE Books.

Chiarini, A., Baccarani, C., Mascherpa, V. (2018). Lean production, Toyota Production System and Kaizen philosophy: A conceptual analysis from the perspective of Zen Buddhism. *TQM journal*. Vol. 30 No. 4, pp. 425-438. [Verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://doi.org.ezproxy.cc.lut.fi/10.1108/TQM-12-2017-0178> [Viitattu 6.4.2023].

Dean R. Spitzer. (2007). *Transforming Performance Measurement*. AMACOM Print.

Ettl, M. et al. (2000). A Supply Network Model with Base-Stock Control and Service Requirements. *Operations research*. [Verkkoaineisto] 48 (2), 216–232. Saatavissa: <https://doi.org/10.1287/opre.48.2.216.12376> . [Viitattu 20.3.2023].

Günther, K & Hasanen, K. (2020). Tyypittely. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) *Laadullisen tutkimuksen verkkökäsikirja*. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto [ylläpitäjä ja tuottaja]. [Verkkoaineisto] Saatavissa: <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/analyysitavan-valinta-ja-yleiset-analyysitavat/tyypittely/> . [Viitattu 30.05.2022.]

Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I., Miettinen, A. (2005). *Teollisuustalous*. Tampere. Infacs Oy.

Heikkilä, H. (2003). Laatu, laadun mittaaminen, auditointi, laatujärjestelmät. TietoEnator. Luentomateriaali. [verkkoaineisto]. Saatavissa: <http://www.mit.jyu.fi/opetus/kurs-sit/jot/2005/kalvot/qij.pdf> . [Viitattu 13.10.2022].

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (2009). Tutki ja kirjoita. 15. p. Helsinki: Tammi.

Hokkanen, S., Karhunen, J. & Luukkainen, M. (2011). Johdatus logistiseen ajatteluun. 6. painos. Kangasniemi: Sho Business Development Oy.

Hopp, W., Spearman, M. (2011). Factory Physics. Third Edition. Waveland. Waveland Press.

Juhila, K. (2020). Koodaaminen. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto [ylläpitäjä ja tuottaja]. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/analyysitavan-valinta-ja-yleiset-analyysitavat/koodaaminen/> . [Viitattu 30.05.2022].

Kiran, D. R. (2019). Production Planning and Control: A Comprehensive Approach. San Diego: Elsevier Science & Technology. [Verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/C2018-0-03856-6> . [Viitattu 20.3.2023].

Kurri, V., Malén, T., Sandell & Virtanen, M. (2008). Muovitekniikan perusteet. 4. tarkistettu painos. Edita Prima Oy: Opetushallitus.

Lai, Foo, W. C., Tan, C. S., Kang, M. S., Kang, H. S., Wong, K. H., Yu, L. J., Sun, X., & Tan, N. M. L. (2022). Understanding Learning Intention Complexities in Lean Manufacturing Training for Innovation on the Production Floor. *Journal of Open Innovation*, 8(3), 110–. [Verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/joitmc8030110> [Viitattu 5.4.2023].

Laine, M. (2020). Tapahtumakulun kuvaus. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) *Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja*. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto [ylläpitäjä ja tuottaja]. [Verkkoaineisto]. Saatavissa:

<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/analyysitavan-valinta-ja-yleiset-analyysitavat/tapahtumakulun-kuvaus/> . [Viitattu 30.05.2022].

Lambert, D., & Quinn, R. (1981). profit oriented inventory policies require a documented inventory carrying cost. *Business Quarterly (Pre-1986)*, 46(3), 63. [Verkkoaineisto] Saatavissa: <https://ezproxy.cc.lut.fi/trade-journals/profit-oriented-inventory-policies-require/docview/224662878/se-2>. [Viitattu 28.12.2022].

Liukisala, K. (2021). Pullonkaulat ja parantaminen. [Verkkosivu]. Saatavissa: <https://sixsigma.fi/pullonkaulat-ja-parantaminen/> . [Viitattu 1.8.2021].

Logistiikan maailma. (2022). Varaston toiminnan mittaaminen. Varaston palvelukyky ja tehokkuus. [Verkkosivu]. Saatavissa: <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/varastointi/varastonohjaus/varaston-toiminnan-mittaaminen/>. [Viitattu 20.10.2022].

Mabin, V.J., & Balderstone, S.J. (2000). The World of the Theory of Constraints: A Review of the International Literature (1st ed.). [Verkkoaineisto]. CRC Press. <https://doi.org/10.4324/9780429273056> .[Viitattu 18.3.2023].

Martinsuo, M., Lyly-Yrjänäinen, J. Mäkinen, S. & Suomala, P. (2016). *Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa*. Helsinki: Edita

Modig, N. & Åhlström, P. (2015). Tätä on lean. Ratkaisu tehokkuusparadoksiin. Halmstad: Bulls Graphics AB.

Muchiri, P. & Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE). Literature review and practical application discussion. *International journal of production research*. [Verkkoaineisto]. 46 (13), 3517–3535. Saatavissa: <https://doi.org/10.1080/00207540601142645> . [Viitattu 20.3.2023].

Muoviyhdistys ry. (2021). Osa 10 – Muovin työstö: Muottipuhallus, ekstruusio, kalvopuhallus. [Verkkosivu]. Saatavissa: <https://www.muoviyhdistys.fi/2016/07/19/osa-10-muovintyosto-muottipuhallus-ekstruusio-kalvopuhallus/> [Viitattu 19.2.2023].

Muthiah, K. M. N. & Huang, S. H. (2007). Overall throughput effectiveness (OTE) metric for factory-level performance monitoring and bottleneck detection. *International journal of production research*. [Verkkoaineisto]. 45 (20), 4753–4769. Saatavissa: <https://doi.org/10.1080/00207540600786731> . [Viitattu 20.3.2023].

Nave, D. (2002). How to compare six sigma, lean and the theory of constraints. *Quality progress*, 35(3), 73–80. [PDF-dokumentti].

Pohjalainen, M. (2012). Hiljaisen tiedon käsite ja hiljaisen tiedon tutkimus. Katsaus viimeaikaiseen kehitykseen. Artikkel. Informaatiotutkimus 31.3.2012. [Verkkoaineisto] Saatavissa: <https://journal.fi/inf/article/view/7079>. [Viitattu 11.8.2022].

Rantanen, Hannu & Holtari, Jami (1999). Yrityksen suorituskyvyn analysointi. Lappeenranta, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Tuotantotalouden osasto, Tutkimusraportti 112. ISBN 951-764-311-X. ISSN 0784-7688. 65 s.

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. (2006). KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto [verkkajulkaisu]. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto [ylläpitäjä ja tuottaja]. Saatavissa: <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/>. [Viitattu 30.05.2022].

Sakki, J. (1999). Logistinen prosessi. Tilaus-toimitusketjun hallinta. Neljäs uudistettu painos. Espoo: Jouni Sakki Oy.

Salah, S., Rahim, A., Carretero, J. A. (2010). The integration of Six Sigma and lean management. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(3), 249–274. [Verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://doi.org/10.1108/20401461011075035> . [Viitattu 4.4.2023].

Santos, J. Wysk, R., Torres, J. M. (2006). Improving production with lean thinking. 1st edition. Hoboken, New Jersey: Wiley.

SFS-EN ISO 9000. (2015). Laadunhallintajärjestelmät. Perusteet ja sanasto. SFS Online – Standardit ja julkaisut (LUT). [Verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://online-sfs->

fi.ezproxy.cc.lut.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/9/394307.html.stx. [Viitattu 25.10.2022].

Shankar, R. (2009). *Process Improvement Using Six Sigma: A DMAIC Guide*. Milwaukee: American Society for Quality (ASQ). [Verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/lut/detail.action?docID=3002635&pq-origsite=primo> . [viitattu 20.3.2023].

Shenoy, D. & Rosas, R. (2018). *Problems & Solutions in Inventory Management*. [Verkkoaineisto]. Cham: Springer International Publishing. Saatavissa: <https://link.springer-com.ezproxy.cc.lut.fi/book/10.1007/978-3-319-65696-0> . [Viitattu 20.3.2023].

Sinkkonen, T. (2015). Item-level life-cycle model for maintenance network – from cost to additional value. Lappeenranta University of Technology. [Verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/117811>. [Viitattu 3.1.2023].

Six Sigma. (2022). Vaihtelu ja PDCA. Quality Knowhow Karjalainen Oy. [Verkkosivu]. Saatavissa: <https://sixsigma.fi/vaihtelu-ja-pdca/>. [Viitattu 11.8.2022].

Spear, S. & Bowen, H, K. (1999). Decoding the DNA of the Toyota Production System. *Harvard Business Review*, vol. 77, no. 5, p. 96–106. [Verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://web-p-ebscobhost-com.ezproxy.cc.lut.fi/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=5cc90420-f92a-401a-a021-eb722a84b76a%40redis> . [Viitattu 25.3.2023].

Talokaivo Oy. (2022). Yrityksen sisäiset julkaisut. Saatavissa: Yrityksen intranet.

Talokaivo Oy. (2023). Tietoa meistä. [Verkkosivu]. Saatavissa: <https://www.talokaivo.fi/tietoa-meista.html> [Viitattu 18.3.2023].

Tuomi, J. Sarajärvi, A. (2012). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. 9. uudistettu laitos. Vantaa: Tammi.

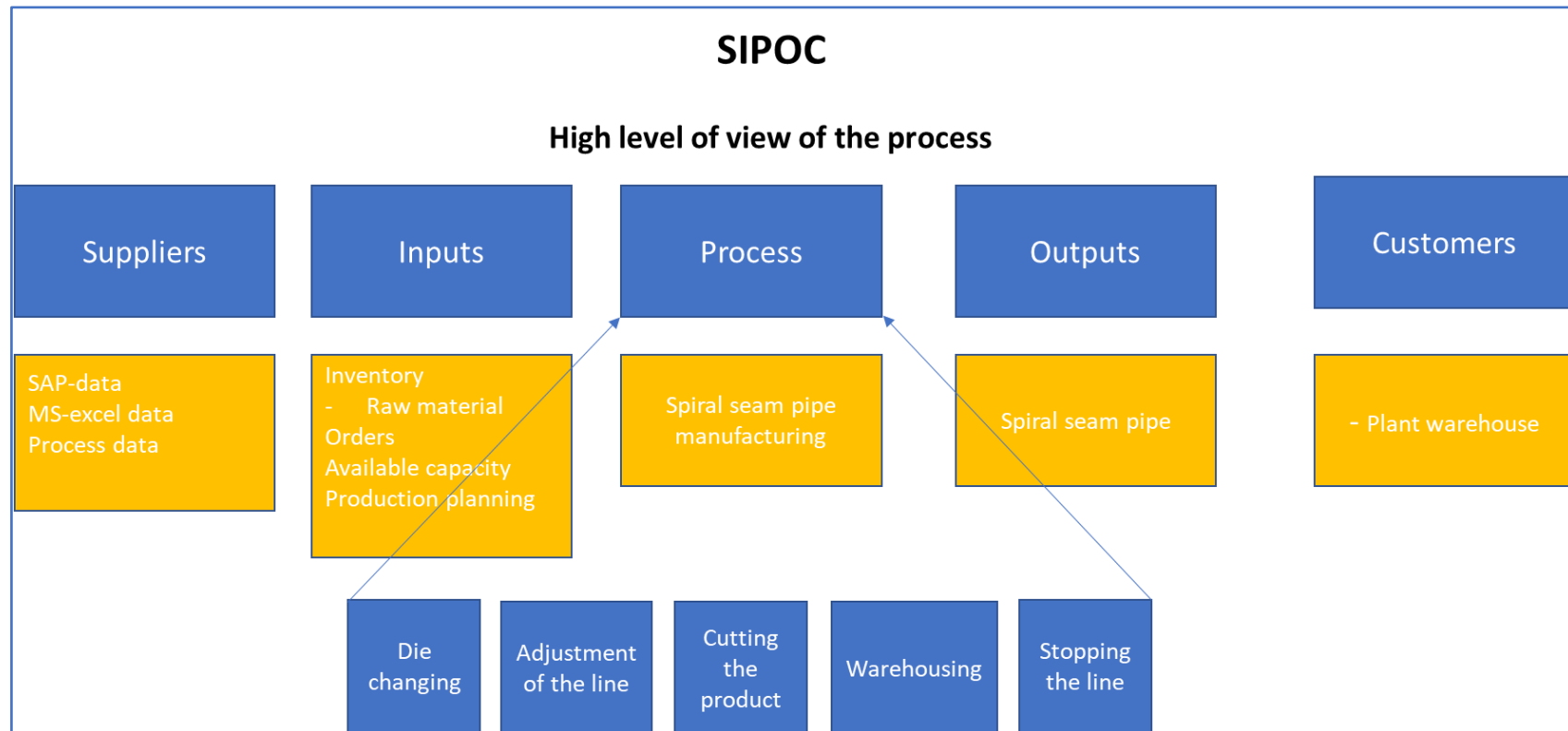
Tuominen, K. (2010). Tehoa ja laatua hukan vähentämiseen. 1. painos. Jyväskylä: WS Bookwell Oy.

Ukko, J., Pekkola, S., Saunila, M. & Rantala, T. (2015). Performance measurement approach to show the value for the customer in an industrial service network. *International Journal of Business Performance Management*, Vol. 16, Nos. 2/3, pp. 214-229. [PDF-dokumentti]. Saatavissa: <https://doi.org/10.1504/IJBPM.2015.068726> . [Viitattu 20.3.2023].

Villanen, H. (2013). Tuotantokoneiden kokonaistehokkuus, OEE (Overall Equipment Efficiency). *Prosessitaito*. [verkkosivu]. Saatavissa: http://www.prosessitaito.fi/Tuotantokoneiden_kokonaistehokkuus_OEE.pdf. [Viitattu 31.8.2022].

Liitteet:

Liite 1. SIPOC-kaavio



Liite 2. Project Charter

GENERAL PROJECT INFORMATION					
PROJECT NAME			PROJECT MANAGER		PROJECT SPONSOR
Kierresaumaputkilinjaston tuotantoasteen kehittäminen					
EMAIL		PHONE	ORGANIZATIONAL UNIT		
			Koneosasto		
GREEN BELTS ASSIGNED			EXPECTED START DATE		EXPECTED COMPLETION DATE
Tarmo Kola			16.5.2022		30.9.2022
BLACK BELTS ASSIGNED			EXPECTED SAVINGS		ESTIMATED COSTS
			20 000,00 €		3 600,00 €
PROJECT OVERVIEW					
PROBLEM OR ISSUE		Kierresaumaputken valmistuslinjaston tuotantoaste ei ole halutulla tasolla ja sitä halutaan parantaa.			

PURPOSE OF PROJECT	Kierresaumaputkilinjaston tuotantoasteen parantaminen siten, että toimitusvarmuus ei huonone				
BUSINESS CASE					
GOALS / METRICS	Kierresaumaputken tuotanto (m/h) kasvaa. "Tämä määritellään tarkemmin measure vaiheessa, kun Y on määritelty" Tähän kaikki KPI:t, Käytetään kg/h pääsääntöisesti. Nyt arvio 55 kg/h ja tavoite 70 kg/h				
EXPECTED DELIVERABLES	Tuotantoaste linjastolla kasvaa, prosessia ja toimintatapoja saadaan vakioitua, saadaan peukalovakioita, laatu paranee, rahallinen säästö				
PROJECT SCOPE					
WITHIN SCOPE	Kierresaumaputkilinjasto, varastotasot eri putkikoille, vaihtojen suunnittelu, kehitysehdotukset				
OUTSIDE OF SCOPE	Muuta tuotantoa ei huomioida, varastointi jää ulkopuolelle, isommat investoinnit linjastoon jää ulkopuolelle.				
TENTATIVE SCHEDULE					
KEY MILESTONE			START		FINISH

Form Project Team / Preliminary Review / Scope	16.5.2022	16.5.2022
Finalize Project Plan / Charter / Kick Off	16.5.2022	16.5.2022
Define Phase	16.5.2022	18.5.2022
Measurement Phase	17.5.2022	17.6.2022
Analysis Phase	17.5.2022	17.6.2022
Improvement Phase	1.4.2022	30.6.2022
Control Phase	16.5.2022	31.7.2022
Project Summary Report and Close Out	1.8.2022	30.9.2022
	00/00/0000	00/00/0000
	00/00/0000	00/00/0000
RESOURCES		

PROJECT TEAM					
SUPPORT RESOURCES					
SPECIAL NEEDS	Tilat, Minitab, Excel				
COSTS					
COST TYPE	VENDOR / LABOR NAMES	RATE	QTY	AMOUNT	
Labor		50,00 €	24	1 200,00 €	
Labor		50,00 €	24	1 200,00 €	
Labor		50,00 €	24	1 200,00 €	
Labor				- €	
Labor				- €	

Supplies					- €
Miscellaneous					- €
			TOTAL COSTS		3 600,00 €
BENEFITS AND CUSTOMERS					
PROCESS OWNER					
KEY STAKEHOLDERS	Koneosasto, kunnossapito				
FINAL CUSTOMER	Kaivo-, pumppaamo-osastot				
EXPECTED BENEFITS	Ennustettavuus paranee, laatu paranee, kustannussäästö				
TYPE OF BENEFIT	BASIS OF ESTIMATE				ESTIMATED BENEFIT AMOUNT

Specific Cost Savings				
Enhanced Revenues				
Higher Productivity (Soft)	Vaihtotuntien määrä suhteutettuna tuotantotuntien määrään vähenee.			10 000,00 €
Improved Compliance				
Better Decision Making				
Less Maintenance	Ennakoivaa kunnossapitoa enemmän, korjaava kunnossapito vähenee			10 000,00 €
Other Costs Avoided				
			TOTAL BENEFIT	20 000,00 €
RISKS, CONSTRAINTS, AND ASSUMPTIONS				
RISKS	Avainhenkilöiden osallistuminen vaikeutuu, vakava konerikko, kehitystoiminen aikataulu ei pidä,			

CONSTRAINTS	Aikataulu ei joustaa, henkilöstön vuosilomat, uuden linjaston asennustyö, varastotasojen laskenta eri putkille, viikko, kuukausi, vuosi tarkastelu			
ASSUMPTIONS	Näkyvät korjaukset on suoritettu, 5S-tarkastelu tehty, varastotasot saatu määritettyä,			
PREPARED BY	TITLE			DATE

4. Onko esimiehen tuki mielestäsi riittävä prosessin toiminnan kannalta? Perustele vastaustasi. *

Kyllä, koska

Ei, koska

En osaa sanoa

5. Mitä asioita kehittäisit työympäristössäsi, jotta se olisi toimivampi? *

6. Onko mielestäsi käytössäsi toimivat, ehjät ja riittävät työvälineet? Perustele vastaustasi. *

Kyllä, koska

Ei, koska

En osaa sanoa

7. Onko mielestäsi työturvallisuus riittävällä tasolla, jos ei niin mitä pitäisi parantaa? *

Kyllä

Ei

En osaa sanoa

8. Miten kierresaumaputken laatu vaikuttaa mielestäsi koko tehtaan toimintaan? *

9. Miten kierresaumaputken valmistusprosessin laatua ja tehokkuutta mitataan? *

10. Miten prosessissa tai asetusten vaihtotyössä olevat häiriöt dokumentoidaan? *

11. Onko linjastolla vakioidut työ- ja toimintatavat, jotka ovat myös dokumentoitu? *

Kyllä

Ei

En tiedä

Osittain

12. Mikä on kierresaumaputkiprosessissa tarvittava avainosaaminen? *

13. Oletko saanut avainosaamiseen riittävästi koulutusta? *

- Kyllä
 Ei
 En osaa sanoa

14. Mihin osa-alueeseen tarvitsisit lisäkoulutusta?

15. Mitkä ovat prosessin yleisimmät ongelmat, joista aiheutuu toimintahäiriötä 3–5 kpl? *

16. Miten korjaisit toimintahäiriöt, jotta ne eivät uusiudu jatkossa? *

17. Mitä muutos- tai korjaustoimenpiteitä linjastolle on tehty vuoden sisällä? *

18. Mitä kehitystoimenpiteitä on menossa tällä hetkellä tai tulossa vuoden sisällä? *

19. Onko linjaston asetusten vaihtamiseen ja säätämiseen olemassa ohjeet helposti saatavilla? *

- Ohjeistus on olemassa ja helposti saatavilla
- Ohjeistusta ei ole saatavilla
- Ohjeistus on olemassa, mutta ei helposti saatavilla
- En osaa sanoa

20. Kauanko mielestäsi nykyisellään menee keskimäärin asetusten vaihtamiseen 0,5 tunnin tarkkuudella? *



21. Kauanko aikaa menee pisimmillään vaihtoon? Vastaa 0,5 tunnin tarkkuudella. *



22. Kauanko aikaa menee lyhyimmillään vaihtoon? Vastaa 0,5 tunnin tarkkuudella. *



23. Onko linjaston asetusten vaihtaminen nykyisellään mielestäsi tehokasta ja järjestelmällistä? Perustele vastaustasi lyhyesti. *

Kyllä, koska

Ei, koska

En osaa sanoa

24. Miten mielestäsi asetusten vaihtoaikaa voisi lyhentää? *

25. Mikä on mielestäsi realistinen minimiaika asetusten vaihtoon liittyen 0,5 tunnin tarkkuudella? *



26. Avoin kysymys, tähän voit kertoa mielestäsi jostakin tärkeästä asiasta, jota ei kyselyssä osattu kysyä tai johonkin aiempaan kysymykseen tarvitsee lisävastauksen? Avoin palaute (esim. kehitysehdotuksia yms.)

Liite 4. Tuotteiden kulutus ja varastotaso

