

Erica Riento

TUOTANNON HÄIRIÖT JA JATKUVA VIRTAUS TILAUSOHJAUTUVASSA TUOTANTOYMPÄRISTÖSSÄ

Diplomityö
Johtamisen ja talouden tiedekunta
Tarkastajat: professori Miia Martinsuo ja professori Jussi Heikkilä
Helmikuu 2022

TIIVISTELMÄ

Erica Riento: Tuotannon häiriöt ja jatkuva virtaus tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Tuotantotalouden diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Helmikuu 2022

Sujuva tuotanto on jokaisen yrityksen tavoite, sillä tuotannossa esiintyvät häiriöt ovat usein aikaa vieviä sekä aiheuttavat erilaisia kustannuksia. Häiriöttömän tuotantojärjestelmän saavuttaminen on kuitenkin monimutkainen sekä pitkä prosessi, sillä vaihtelu ja epävarmuus ovat merkittävä osa kaikkien tuotantoympäristöjen, erityisesti tilausohjautuvan tuotantoympäristön toimintaa. Lisäksi kova kilpailu nykyisillä markkinoilla sekä globalisaatio pakottavat tilausohjautuvat yritykset kehittämään menetelmiä parantamaan jatkuvaa virtausta hyödyntäen muun muassa perinteisiä Lean-menetelmiä/-tekniikoita sekä tietojärjestelmiä. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tunnistaa sekä ymmärtää Kone Industrialin erään tehtaan häiriöitä ja häiriöiden syitä sekä löytää yksi konkreettinen menetelmä kyseisen tehtaan tuotannon häiriöiden ennaltaehkäisyyn sekä poistamiseen ja täten jatkuvan virtauksen parantamiseen tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä.

Tutkimustavoitteiden saavuttamiseksi tapaustutkimus suoritettiin hissejä valmistavan Kone Industrial Oy:n tehtaalla, jossa tuotteita valmistetaan tilausohjautuvasti asiakkaan tekemän tilauksen perusteella. Tutkimusaineisto kerättiin pääosin yrityksen laadunhallintaan liittyvistä seuranta-järjestelmistä, mutta lisäksi aineistoa kerättiin myös avoimien haastatteluiden sekä osallistuvan havainnoinnin avulla. Aineisto analysoitiin pääasiassa luokittelun avulla.

Häiriöilmoitusten sisältöön liittyvän luokittelun perusteella tekniset virheet muodostavat suurimman osan tarkastellun tehtaan tuotannon häiriöistä. Toiseksi eniten tutkimuksessa havaittiin materiaalin laatuun liittyviä virheitä ja kolmanneksi eniten inhimillisiä virheitä. Tutkimuksessa keskityttiin kuitenkin tarkastelemaan tuotannonsuunnitteluun liittyviä virheitä, joita havaittiin ilmenevän kohdeyrityksessä neljänneksi eniten. Tuotannonsuunnittelun ja ajoituksen kehittämisen tärkeyttä jatkuvan virtauksen parantamisen kannalta korostaa tutkimuksessa suoritettu tuotannon ajoituksen täsmällisyyden tarkastelu tehtaalla, jonka mukaan vain noin 20 prosenttia kaikista tilauksista on valmistettu täsmälleen suunniteltuna tuotannon lopetuspäivämääränä.

Tämän tutkimuksen tulokset antavat tarkastellulle tehtaalle yleiskuvan tehtaalla esiintyvistä häiriöistä sekä laadullisesti että määrällisesti. Lisäksi tutkimuksen tulokset ohjaavat yritystä parantamaan jatkuvaa virtausta ratkaisemalla tuotannonsuunnitteluun ja ajoitukseen liittyvät haasteet ottamalla Enterprise Resource Planning (ERP)-järjestelmän tueksi Advanced Planning and Scheduling (APS)-järjestelmän käyttöön. APS-järjestelmän avulla on mahdollista luoda toteuttamiskelpoisia suunnitelmia sekä lisäksi järjestelmä kykenee huomioimaan rajallisen kapasiteetin suunnittelussa. APS-järjestelmän avulla voidaan myös muun muassa parantaa Kone Industrialin tehtaan toimintojen läpinäkyvyyttä sekä eri osastojen välistä kommunikointia.

Tutkimuksen avulla onnistuttiin tunnistamaan uusia, tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä esiintyviä häiriöitä, joista aiemmissa tutkimuksissa ei ollut mainittu. Akateemisesta näkökulmasta tulevaisuudessa tutkimuksissa suositellaan tutkittavan kuitenkin vielä enemmän kyseisissä tuotantoympäristössä esiintyviä häiriöitä. Tuotannonsuunnitteluun ja ajoitukseen tarkoitettua APS-järjestelmää on suositeltu myös aiemmissa tutkimuksissa hyödynnettävän tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä parantamaan jatkuvaa virtausta, ja myös tämä tutkimus tukee näkemystä. APS-järjestelmän soveltuvuudesta tilausohjautuvaan tuotantoympäristöön tarvitaan kuitenkin vielä lisää tutkimuksia. Yrityksen näkökulmasta tarkasteltua tehdasta suositellaan tehostamaan häiriöiden juurisyiden etsimistä, ja tämän jälkeen tutkimaan juurisyiden mahdollisia vaikutuksia koko Kone Industrialin tehtaan jatkuvaan virtaukseen.

Avainsanat: Tuotannon häiriö, tilausohjautuva tuotantoympäristö, jatkuva virtaus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Erica Riento: Production disruptions and continuous flow in Make-to-Order production environment

Master of Science Thesis

Tampere University

Master's Degree Programme in Industrial Engineering and Management

February 2022

Smooth production is the goal of every company, as disruptions in production are often time-consuming and cause various costs. However, achieving a trouble-free production system is a complex and lengthy process, as variability and uncertainty are an important part of the operation of all production environments, especially the Make to Order production environment. In addition, fierce competition in current markets and globalization are forcing Make to Order companies to develop methods to improve continuous flow using, among other things, traditional Lean methods/technologies, and information systems. The aim of this study was to identify and understand Kone Industrial's factory disturbances and the causes of disturbances and to find one concrete method for preventing and eliminating production disturbances in a factory and thus improving the continuous flow in a Make to Order production environment.

To achieve the research objectives, the case study was carried out at the factory of Kone Industrial Oy, which manufactures elevators, where products are manufactured in a Make to Order manner based on the order of the customer. The research material was mainly collected from the quality management monitoring systems, but in addition the material was also collected through open interviews and participative observation. The research material was analyzed mainly by classification.

Based on the classification related to the content of error messages, technical faults make up most of factory faults. Material quality was the second highest reason of errors and human error third highest. However, the study focused on looking at production planning errors, which were found to be the fourth most common in the target company. The importance of developing production planning and scheduling to improve continuous flow is highlighted by the study's review of production scheduling accuracy at the factory, which found that only about 20 percent of all orders were manufactured on the exact Scheduled Finish Date.

The results of this study give Kone Industrial's factory an overview of the disturbances occurring at the factory, both qualitatively and quantitatively. In addition, the results of the study will guide the company to improve continuous flow by addressing production planning and scheduling challenges by implementing Advanced Planning and Scheduling (APS) in support of Enterprise Resource Planning (ERP). The APS system makes it possible to create feasible plans and, in addition, the system can take limited capacity into account when planning. The APS system can also be used, among other things, to improve the transparency of factory operations and communication between different departments.

The study was able to identify new disruptions in the Make to Order production environment that had not been mentioned in previous studies. However, from an academic point of view, future research is recommended to investigate even more disturbances in this production environment. The APS system for production planning and scheduling has also been recommended in previous studies to be utilized in a Make to Order production environment to improve continuous flow, and this study also supports this view. However, further research is needed on the suitability of the APS system for the Make to Order production environment. From the company's perspective, it is recommended that the factory intensify its search for the root causes of disturbances, and then investigate the potential effects of the root causes on the continuous flow of the entire plant.

Keywords: production disruption, Make-to-Order production environment, continuous flow

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

ALKUSANAT

Isoisääni lainaten: "Kaikella on huippunsa." Lainaus on monitulkintainen, mutta tulkittakoon se tässä vaiheessa siten, että huippu on viimein saavutettu sekä tämän diplomityöni että tutkintoni osalta.

Haluan esittää lämpimät kiitokset Kone Industrial Oy:lle tämän diplomityön mahdollistamisesta sekä erityiset kiitokset tuotantopäällikkö Joonalle Lehtorannalle diplomityöni ohjaamisesta sekä arvokkaista neuvoista. Lämpimät kiitokset myös kaikille tarkastellun tehtaan työntekijöille, sillä kaikki ovat olleet tavalla tai toisella tässä diplomityössä osana - joko konkreettisin haastatteluiden ja näkökulmien antajina tai häiriöilmoituksen kirjaajina. Lämpimät kiitokset myös diplomityöni pääohjaajalle professori Miia Martinsuolle työni ohjaamisesta kokonaisuudessaan sekä todella arvokkaista ideoista ja neuvoista työni aiheeseen liittyen. Lämpimät kiitokset myös professori Jussi Heikkilälle työni aivan ensimmäisistä askelmerkeistä sekä työni tarkastamisesta. Viimeisimpänä, mutta ei vähäisimpänä haluan kiittää myös perhettäni, läheisiäni ja ystäviäni kaikesta tuesta ja kannustuksesta tämän työn sekä koko tutkinnon suorittamiseen liittyen.

Nyt tulevat huiput siintävät horisontissa. Matka huipulle on kuitenkin aloitettava alusta, mutta tutkintoni ja diplomityöni aikana kertyneiden oppien ja kokemusten kautta matka-aika saattaa lyhentyä ja kivikoissakin eteneminen onnistua nopeammin.

Nurmijärvellä, 28.2.2022

Erica Riento

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO.....	1
1.1	Tutkimuksen tausta.....	1
1.2	Tutkimuskohde	2
1.3	Tutkimuksen tavoitteet, kysymykset ja rajaukset.....	3
1.4	Tutkimuksen rakenne	4
2.	KIRJALLISUUSKATSAUS.....	7
2.1	Tuotannon häiriöt ja niiden luokittelu	7
2.2	Tilausohjautuva tuotantoympäristö	9
2.3	Jatkuva virtaus tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä	11
2.4	Jatkuvan virtauksen kehittäminen tilausohjautuvassa tuotannossa	12
2.4.1	Tuotannon ajanhallinta.....	12
2.4.2	Tietojärjestelmät ja Excel-taulukkolaskenta.....	14
2.4.3	Lean menetelmät/-tekniikat.....	21
2.5	Synteesi.....	29
3.	TUTKIMUSMETODOLOGIA	32
3.1	Tutkimuksen suunnittelu ja tutkimusstrategia	32
3.2	Tutkimusympäristö.....	34
3.3	Tietojen kerääminen	34
3.4	Tietojen analysointi	38
3.5	Metodologian reliabiliteetti ja validiteetti	40
4.	TULOKSET.....	42
4.1	Tuotannon häiriöilmoitusten luokittelu tuotantolinjakohtaisesti häiriöilmoitusten lukumäärään ja prosentuaalisen osuuden perusteella.....	42
4.2	Tuotannon häiriöilmoitusten jaottelu sisällön perusteella	43
4.2.1	Tekninen virhe	45
4.2.2	Materiaalin laatu.....	48
4.2.3	Inhimillinen virhe	49
4.2.4	Tuotannonsuunnitteluvirhe.....	49
4.2.5	Saldovirhe	49
4.2.6	Muu häiriö	50
4.3	Tuotannon häiriöilmoitusten luokittelu häiriön aiheuttajan perusteella tuotantolinjakohtaisesti.....	50
4.4	Tuotannon häiriöiden juurisyyanalyysi.....	54
4.4.1	Tekninen virhe	55
4.4.2	Toimittajan virhe.....	56
4.4.3	Inhimillinen virhe	56
4.4.4	Tuotannonsuunnitteluvirhe.....	57
4.4.5	Saldo- tai inventointivirhe.....	57
4.4.6	Muu häiriö	57
4.5	Tuotannon ajoituksen täsmällisyyden tarkastelu	58

5.	TULOSTEN TARKASTELU.....	60
5.1	Tuotannon häiriöiden ja niiden luokittelun tarkastelu tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä.....	60
5.2	Jatkuvan virtauksen kehittämiseen liittyvien menetelmien tarkastelu tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä.....	62
5.3	Suositukset tehtaalle.....	65
6.	PÄÄTELMÄT.....	70
6.1	Tutkimuksen tavoitteiden saavuttaminen.....	70
6.2	Tutkimuksen käytännön vaikutukset.....	71
6.3	Tutkimukseen liittyvät rajoitukset ja tutkimuksen laadunarviointi.....	73
6.4	Ehdotuksia tulevia tutkimuksia varten.....	75
	LÄHTEET.....	77
	LIITE A.....	84

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Tutkimuksen rakenne.</i>	4
Kuva 2.	<i>Tuotannosuunnitteluun ja aikataulutukseen soveltuvat tietojärjestelmät (muokattu kuvasta Mauergauz 2016, s. 20).</i>	15
Kuva 3.	<i>Suunnittelujärjestelmien markkinoille tunkeutuminen (muokattu lähteestä Entrup 2005, s. 5, edelleen von Steinaecker & Kühner 2001; Ghobakhloo & Fathi 2020; Gallego-Garcia et al. 2021).</i>	16
Kuva 4.	<i>Systemaattisen menettelyn vaiheet tuotannon tasoittamiseen korkeavariointiasteisessa matalavolyymisessä tuotannossa (muokattu kuvasta Bohnen et al. 2011).</i>	24
Kuva 5.	<i>Yhteenvedo jatkuvan virtauksen kehittämisestä tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä. Jatkuvan virtauksen kehittäminen tulisi aloittaa pyramidin pohjalta ja tämän jälkeen edetä keskitason kautta huipulle.</i>	31
Kuva 6.	<i>Tuotannossa aikavälillä 09/2020–10/2021 esiintyneiden häiriöiden lukumäärät tuotantolinjakohtaisesti.</i>	42
Kuva 7.	<i>Häiriöiden prosentuaalinen osuus kaikista kyseisen tuotantolinjan tilauksista tuotantolinjakohtaisesti aikavälillä 09/2020–10/2021.</i>	43
Kuva 8.	<i>Tuotannossa esiintyneet häiriötyypit ja niiden lukumäärät vuoden 2020 syyskuusta vuoden 2021 lokakuuhun.</i>	45
Kuva 9.	<i>Teknisten virheiden jakautuminen. Tekniset virheet voidaan jakaa neljään alaluokkaan, jotka jakautuvat edelleen omiin alaluokkiin.</i>	46
Kuva 10.	<i>Tuotantolinjalla 1 esiintyneiden häiriöiden luokittelu häiriön aiheuttajan perusteella.</i>	50
Kuva 11.	<i>Tuotantolinjalla 2 esiintyneiden häiriöiden luokittelu häiriön aiheuttajan perusteella.</i>	51
Kuva 12.	<i>Tuotantolinjalla 3 esiintyneiden häiriöiden luokittelu häiriön aiheuttajan perusteella.</i>	52
Kuva 13.	<i>Tuotantolinjalla 4 esiintyneiden häiriöiden luokittelu häiriön aiheuttajan perusteella.</i>	52
Kuva 14.	<i>Tuotantolinjalla 5 esiintyneiden häiriöiden luokittelu häiriön aiheuttajan perusteella.</i>	53
Kuva 15.	<i>Tuotantolinjalla 7 esiintyneiden häiriöiden luokittelu häiriön aiheuttajan perusteella.</i>	54
Kuva 16.	<i>Pareto-kuvaaja tuotannossa esiintyneiden häiriöiden juurisyistä.</i>	55
Kuva 17.	<i>Tuotannon ajoituksen täsmällisyys SFD-päivään perustuen kuvaajan avulla esitettyinä. Kuvassa siniset palkit kuvaavat tilausten kokonaismäärää vuosikohtaisesti,</i>	

punainen viiva SFD-päivän jälkeen valmistettujen tilauksien prosentuaalista osuutta tilausten kokonaismäärästä, keltainen viiva ennen SFD-päivää valmistettujen tilauksien prosentuaalista osuutta tilausten kokonaismäärästä ja vihreä viiva SFD-päivänä valmistettujen tilauksien prosentuaalista osuutta tilausten kokonaismäärästä.....59

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Ruotsin tuotantoteollisuudessa tunnistetut 21 häiriötekijää (perustuen Bokrantz et al. 2016).	9
Taulukko 2. Tilausohjautuvan tuotantoympäristön avainominaisuudet (perustuen Saniuk & Waszkowski 2016).	10
Taulukko 3. Yhteenveto ERP- ja APS-järjestelmän sekä Excel-taulukkolaskennan käyttöönottoon liittyvistä eduista ja haasteista tuotannosuunnittelussa ja ajoituksessa jatkuvan virtauksen näkökulmasta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä.	21
Taulukko 4. Yhteenveto Lean-menetelmistä/tekniikoista jatkuvan virtauksen näkökulmasta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä.	28
Taulukko 5. Yhteenveto tässä tutkimuksessa käytetystä tutkimusfilosofiasta sekä metodologisista valinnoista.	32
Taulukko 6. Yhteenveto tutkimuksessa suoritetuista haastatteluista.	37
Taulukko 7. Tarkastellun tehtaan tuotannossa esiintyneet häiriötyypit häiriökuvauksineen.	44
Taulukko 8. Tuotannon ajoituksen täsmällisyys SFD-päivään perustuen vuodesta 2019 vuoteen 2021.	58

LYHENTEET JA MERKINNÄT

APS	Advanced Planning and Scheduling
CONWIP	Constant Work in Process
ERP	Enterprise Resource Planning
m-CONWIP	m-Constant Work in Process
MES	Manufacturing Execution System
MRP I	Material Requirements Planning
MRP II	Material Resource Planning
POLCA	Paired-Cell Overlapping Loops of Cards with Authorization
SCM	Supply Chain Management
SFD	Scheduled Finish Date

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Teollisuus on erittäin kilpailukykyistä (Choudhary et al. 2009; Chen 2013) ja siihen liittyvät tuotantoprosessit hyvin monimutkaisia (Oliveira et al. 2021). Tuotantoprosessit sisältävät usein monia eri vaiheita, jotka tuotteen on kuljettava päädyttyään osista valmiiksi tuotteeksi (Oliveira et al. 2021). Tuotanto ei kuitenkaan aina suju ennalta laadittujen suunnitelmien mukaisesti, sillä tuotantoprosesseihin liittyy merkittäviä epävarmuustekijöitä, joilla on vaikutusta myös lopputuotteen laatuun (mukailen Li & Zhou 2005). Epävarmuuden vähentäminen, toiminnan parantaminen sekä kilpailukyvyn säilyttäminen edellyttää tuotantoyritysten kykyä ratkaista toimintaansa liittyvät ongelmat tehokkaasti sekä pysyvästi (Oliveira et al. 2021).

Sujuva tuotanto on jokaisen yrityksen tavoite, sillä tuotannossa esiintyvät häiriöt ovat usein aikaa vieviä sekä aiheuttavat erilaisia kustannuksia (Bellgran & Aresu 2003), ja heikentävät jatkuvaa virtausta. Tuotannon häiriöiden tehokas ja järjestelmällinen seuranta tarjoaa tietoa jatkuvaan parantamiseen (Smet et al. 1997), mutta se edellyttää, että tuotannon häiriöt ovat tarkasti määritelty (Bokrantz et al. 2016) ja juurisyyt tunnistettu.

Häiriöttömän järjestelmän saavuttaminen on kuitenkin monimutkainen sekä pitkä prosessi (Soares Ito et al. 2021). Tuotantoyritysten kokonaislaitetehokkuutta kuvaava luku on vain noin 50 % (Ylipää et al. 2017), joten noin puolet tuotantokapasiteetista jää käyttämättä johtuen pääasiassa tuotannossa esiintyvistä häiriöistä (Soares Ito et al. 2021). Täten yritysten tulisi vähentää tuotannossa esiintyvien häiriöiden määrää parantaakseen tuotantojärjestelmiensä tehokkuutta, jotta ne voivat menestyä maailmanlaajuisessa kilpailussa (mukailen Ingemansson & Bolmsjö 2004).

Vaihtelu ja epävarmuus ovat kuitenkin merkittävä osa kaikkien tuotantoympäristöjen toimintaa, ja erityisesti tilausohjautuvan tuotantoympäristön, sillä kyseisessä tuotantoympäristössä tilaukset valmistetaan asiakkaan toiveiden mukaisesti, jolloin vaihtelu voi olla suurta (mukailen Stevenson et al. 2005). Tästä johtuen tilausohjautuvan yrityksen tulisi kehittää menetelmiä vaihtelun vähentämiseen ja poistamiseen, sillä nämä tekijät

vaikuttavat heikentävästi jatkuvaan virtaukseen. Näin ollen esimerkiksi erilaisten suoja-kapasiteettien käyttö kuuluu yrityksen strategiaan päätöksiin. Tyydyttävän kokonaissuo-rituksen varmistaminen siis edellyttää, että yrityksellä on riittävä suoja epävarmuutta vastaan. (Orue et al. 2021)

Tuotantojärjestelmien tehokkuuden parantamiseksi ja siten myös jatkuvan virtauksen lisäämiseksi useat yritykset ovat alkaneet hyödyntää toiminnassaan Lean-filosofiaa – myös tilausohjautuvissa yrityksissä. Leaniin pohjautuvan tuotantojärjestelmän on ha-vaittu lisäävän joustavuutta, parantavan laatua, vähentävän kustannuksia sekä edes-auttavan yritystä nopeampaan reagointiin (Mohan Sharma & Lata 2018). Leaniin perus-tuvan tuotannon tavoitteena on arvoa tuottamattomien toimintojen poistaminen (Nanda-kumar et al. 2020), joka vaikuttaa positiivisesti myös jatkuvaan virtaukseen.

1.2 Tutkimuskohde

Kone Oyj on vuonna 1910 perustettu hissejä, automaattiovia sekä liukuportaita valmis-tava suomalainen yritys, joka tarjoaa ratkaisuja myös laitteiden modernisointiin ja huol-toon. Koneen palveluksessa on yli 60 000 työntekijää ja yritys toimii globaalisti yli 60 maassa palvellen noin 550 000 asiakasta. Koneen liikevaihto vuonna 2020 oli 9,9 mil-jardia euroa. (Kone Oyj 2022)

Koneen pääkonttori sijaitsee Helsingissä, jonka lisäksi yrityksellä on 12 tuotantolaitosta sekä seitsemän maailmanlaajuisia tutkimus- ja tuotekehityskeskusta, jotka sijaitsevat kahdeksassa maassa (Kone Oyj 2022). Tässä diplomityössä keskitytään tarkastele-maan Koneen Hyvinkään tuotantolaitosta eli hissejä valmistavan Kone Industrial Oy:n erästä tehdasta, jossa tuotteet valmistetaan tilausohjautuvasti asiakkaiden vaatimusten perusteella. Kyseinen tehdas muodostuu viidestä tuotantolinjasta, ja tuotanto on järjes-tetty tuotekohtaisiin kokoonpanolinjoihin sekä soluihin, joilla työskentelee yhteensä noin 100 työntekijää. Tuotantolinjoista puhutaan siis kohdeyrityksessä yleisesti 'linja'-nimi-tyksellä, vaikka tuotantoprosessi olisi soluperusteista. Tuotantolinjoista yksi on suurivo-lyymista tuotantoa valmistava automaattilinja, jolla suoritetaan kuitenkin myös manuaa-lisia työvaiheita. Muilla matalampia volyymeja valmistavilla tuotantolinjoilla toiminta pe-rustuu manuaalisiin työvaiheisiin osittaista automatisointia hyödyntäen.

Kohdeyrityksen eräs peruseriaatteista on laadukkaiden tuotteiden valmistaminen.

Laadukkaiden tuotteiden valmistaminen edellyttää, että tuotantolinjat toimivat mahdolli-simman häiriöttömästi ja jatkuva virtaus on sujuvaa. Tällä hetkellä häiriöitä seurataan yrityksessä häiriöilmoitusjärjestelmän avulla, joka ilmentää samalla jatkuvan virtauksen

tehokkuutta. Yrityksen yleisinä tavoitteina ovat häiriöiden ennaltaehkäiseminen, läpime-
noaikojen lyhentäminen ja siten myös jatkuvan virtauksen kehittäminen.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet, kysymykset ja rajaukset

Tuotantoprosessin häiriöiden tunnistaminen ja niiden ennaltaehkäisy auttavat jatkuvan
virtauksen parantamisessa. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tunnistaa sekä ymmär-
tää Kone Industrialin tehtaan tuotannon häiriöitä ja häiriöiden syitä sekä löytää yksi
konkreettinen menetelmä tehtaan tuotannon häiriöiden ennaltaehkäisyyn sekä poista-
miseen ja täten jatkuvan virtauksen parantamiseen tilausohjautuvassa tuotantoympä-
ristössä. Tutkimuksen tavoitetta voidaan lähestyä kahden tutkimuskysymyksen avulla.
Ensimmäiseksi tutkimuksessa tarkastellaan, millaisia häiriöitä tuotantoprosessissa il-
menee tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä ja mitkä niistä vaikuttavat myös jatku-
van virtauksen heikkenemiseen. Ensimmäinen tutkimuskysymys voidaan siten muo-
toilla seuraavasti:

*Kysymys 1: Millaiset tuotantoprosessin häiriöt tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä
heikentävät jatkuvaa virtausta?*

Jatkuvaan virtaukseen vaikuttavien häiriöiden löytämisen jälkeen voidaan selvittää,
kuinka prosessin omistaja voisi ennaltaehkäistä tai estää näiden häiriöiden muodostu-
mista. Tästä muodostuu siten toinen tutkimuskysymys, joka on seuraava:

*Kysymys 2: Millaisella konkreettisella keinolla prosessin omistaja voi parantaa jatkuvaa
virtausta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä?*

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastatakseen tutkimuksessa analysoidaan yrityk-
sessä yhden vuoden ja yhden kuukauden ajalta kerätty tuotannonhäiriöilmoitusaineisto
sekä käytetään apuna myös kirjallisuuskatsausta, haastatteluja sekä osallistuvaa ha-
vainnointia. Toiseen tutkimuskysymykseen vastataan pääosin kirjallisuuskatsauksen
avulla hyödyntäen lisäksi haastatteluja.

Diplomityö sisältää kuitenkin joitakin rajauksia. Yrityksen osalta isoin raja-
us liittyy teh-
taan rajaamiseen, joka tässä tutkimuksessa on Koneen Hyvinkään yksikön eräs teh-
das. Tutkimuksessa tarkastelutaso tullaan kohdistamaan prosessiin ja sen häiriöihin,
joka toimii myös rajaavana tekijänä. Kohdeyrityksen toiveena on myös saada vain yksi
konkreettinen keino, jolla jatkuvaa virtausta voidaan parantaa. Edellä mainittujen lisäksi
tutkimus sisältää aikarajauksen, eli esimerkiksi häiriöilmoituksia tullaan tarkastelemaan
yhden vuoden ja yhden kuukauden ajalta.

1.4 Tutkimuksen rakenne

Tutkimuksen rakennetta on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 1. Tutkimuksen rakenne.

Kirjallisuuskatsaus alkaa tuotannon häiriöiden ja niiden luokittelun, tilausohjautuvan tuotantoympäristön sekä jatkuvan virtauksen määrittelyllä tilausohjautuvassa tuotantossa. Tutkimuksen ydinkäsitteistön määrittelyn jälkeen kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan jatkuvan virtauksen kehittämistä tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä tuotannon ajanhallinnan, tietojärjestelmien sekä Excel-taulukkolaskennan ja perinteisten Lean-menetelmien/-tekniikoiden avulla. Kirjallisuuskatsaus päättyy synteesiin, jossa tarkastellaan aiemmin luvussa esiteltyjen asioiden yhteyksiä toisiinsa yhdistäen samalla aiemmin tarkastellut asiat yhdeksi kokonaisuudeksi.

Tutkimuksen kolmannessa luvussa käsitellään tutkimukseen liittyvä tutkimusmetodologia. Pragmatismiin pohjautuva tutkimus suoritettiin tapaustutkimuksena Kone Industrial Oy:n eräällä tehtaalla, ja tutkimuksen tavoitteena oli tunnistaa sekä ymmärtää tehtaan tuotannon häiriöitä ja häiriöiden syitä sekä löytää yksi konkreettinen menetelmä tehtaan tuotannon häiriöiden ennaltaehkäisyyn sekä poistamiseen, ja täten jatkuvan virtauksen parantamiseen tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä. Tutkimuksessa tarkasteltavien häiriöiden tiedot kerättiin laadullisten tiedonkeruutekniikoiden, eli tässä tut-

kimuksessa avoimien haastatteluiden sekä osallistuvan havainnoinnin sekä määrällisten tiedonkeruutekniikoiden, eli tässä tutkimuksessa yrityksen laadunhallintaan liittyvien seurantajärjestelmien avulla. Poikittaistutkimuksena suoritettujen tutkimusten tiedot analysoitiin luokittelun avulla saadakseen tietoa häiriöiden tarkemmasta sisällöstä sekä sijainnista.

Neljännessä luvussa esitetään tämän tutkimuksen tulokset. Luvussa esitellään alkuun tuotannon häiriöilmoitusten lukumäärää ja prosentuaalisia osuuksia tuotantolinjakohtaisesti, jotta voidaan muodostaa tarkempi käsitys häiriöiden määrällisestä esiintyvyydestä sekä sijainnista. Näin voidaan myös havaita, millä tuotantolinjalla jatkuva virtaus on häiriöiden takia heikointa. Tämä jälkeen luvussa esitellään häiriöilmoitusten jaottelu häiriöiden sisältöön perustuen, häiriöiden sisällön tarkempi tarkastelu sekä häiriöilmoitusten luokittelu häiriön aiheuttajan perusteella tuotantolinjakohtaisesti. Täten saadaan tietoa, millaisia häiriöitä tarkastellulla tehtaalla esiintyy. Häiriöiden tarkemman tarkastelun jälkeen luvussa perehdytään häiriöiden todellisiin syihin juurisyysanalyysin avulla. Luku päättyy tuotannon ajoituksen täsmällisyyden tarkasteluun, jonka avulla saadaan tietoa tehtaan jatkuvan virtauksen toimivuudesta.

Tuloslukua seuraa tulosten tarkastelu, jossa yhdistyvät tutkimuksen teoreettinen tausta sekä tutkimuksessa saadut tulokset. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan häiriöt ovat tuotannon jokapäiväinen haaste, ja niiden ennaltaehkäisyn ja vähentämisen edellytyksenä on, että häiriöt ja niiden juurisyys ovat tunnistettu ja ymmärretty. Häiriöiden tunnistaminen ja siten yleistäminen koskemaan esimerkiksi tilausohjautuvaa tuotantoympäristöä ei kuitenkaan ole aivan yksinkertaista, sillä yritykset kokevat eri tekijöiden aiheuttavan häiriöitä. Häiriöiden hallinnan ja ennaltaehkäisyn sekä jatkuvan virtauksen parantamisen osalta tarkastellun tehtaan suositellaan määrittelemään tarkemmin ne tekijät, jotka yrityksessä tulisi luokitella häiriötekijöiksi. Häiriöilmoituksen kirjaamisen ja käsitteilyn osalta yrityksen suositellaan järjestävän koulutuksen sekä laativan kirjalliset ohjeet häiriöilmoitusten kirjaamiseen. Lisäksi erityisesti tuotannonsuunnitteluvirheiden osalta, yrityksen suositellaan palkkaavan ulkopuolisen tahon suorittamaan työntutkimuksia sekä integroimaan Advanced Planning and Scheduling (APS)-järjestelmä omaan Enterprise Resource Planning (ERP)-järjestelmäänsä tai hankkimaan APS-järjestelmän lisäosana ERP-järjestelmän tueksi.

Tutkimuksen viimeisessä luvussa esitetään tutkimuksen päätelmät. Tilausohjautuvan tuotantoympäristön häiriöistä sekä jatkuvan virtauksen parantamisesta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä löytyi rajallinen määrä tutkimuksia. Tutkimuksessa onnistuttiin kuitenkin tunnistamaan sekä ymmärtämään tilausohjautuvassa tuotantoympäris-

töissä esiintyviä häiriöitä ja niiden syitä sekä lisäämään yrityksen ymmärrystä tarkastellulla tehtaalla ilmenevistä häiriöistä ja löytämään keino parantamaan jatkuvaa virtausta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä, vaikka tutkimuksessa ilmeni joitakin tutkimusta rajoittavia ja tutkimuksen laatua heikentäviä tekijöitä. Tulevaisuudessa suositellaan jatkettavan tutkimuksia tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä esiintyvistä häiriöistä sekä jatkuvan virtauksen parantamisesta kyseisessä tuotantoympäristössä. Yrityksen näkökulmasta tulevissa tutkimuksissa suositellaan jatkettavan tutkimusta tarkastellun tehtaan häiriöiden juurisyistä sekä yhtenäistävän jatkuvaa virtausta parantavien menetelmien hyödyntämisestä kaikilla yksikön tehtailla harmonisoidakseen koko Kone Industrialin yksikön jatkuvaa virtausta.

2. KIRJALLISUUSKATSAUS

Kirjallisuuskatsaus alkaa tuotannon häiriöiden ja niiden luokittelun, tilausohjautuvan tuotantoympäristön sekä jatkuvan virtauksen määrittelyllä tilausohjautuvassa tuotannossa. Tätä seuraa jatkuvan virtauksen kehittämisen tarkastelu tilausohjautuvassa tuotannossa tuotannon ajanhallinnan, tietojärjestelmien ja Excel-taulukkolaskennan sekä Lean-menetelmien/-tekniikoiden avulla. Kirjallisuuskatsaus päättyy synteesiin, jossa tarkastellaan aiemmin luvussa esiteltyjen asioiden yhteyksiä toisiinsa yhdistäen samalla aiemmin tarkastellut asiat yhdeksi kokonaisuudeksi.

2.1 Tuotannon häiriöt ja niiden luokittelu

Tuotannossa esiintyvät häiriöt ovat merkittäviä jatkuvaa virtausta heikentäviä tekijöitä. Häiriöitä on mahdollista tarkastella eri näkökulmista sekä kuvailla eri sanoin, kuten esimerkiksi häiriöt, virheet tai hukat (Kaya & Bergsjö 2018). Tässä tutkimuksessa tuotantohäiriöiden määritellään olevan sekä odottamattomia että ei-toivottuja tapahtumia, joiden vuoksi tuotantojärjestelmä ei toimi odotetulla tavalla (Islam & Tedford 2012; Stricker & Lanza 2014). Tuotannon häiriöitä voi esiintyä eri osissa tuotantojärjestelmää (Ingemansson & Bolmsjö 2004), ja ne ovat yleisiä tuotantoyritysten jokapäiväisessä toiminnassa (Islam & Tedford 2012) heijastuen myös yritysten raportointiin alhaisiin kokonaislaitetehokkuutta kuvaaviin lukuihin (Ylipää et al. 2017). Tuotantohäiriöiden hallitseminen on kuitenkin hyvin tärkeää jatkuvan virtauksen kehittämisen kannalta.

Tuotannon häiriöitä aiheuttavina tekijöinä pidetään usein materiaalien odotusaikaa, ihmillisiä erehdyksiä, laite-/ohjelmistovikoja, henkilöstöpulaa, laatuongelmia, suunniteluvirheitä sekä erilaisia säätöjä (Bokrantz et al. 2016). Tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä tyypillisimpiä tuotannon häiriöitä aiheuttavia tekijöitä ovat muun muassa tilauksiin tulevat muutokset (määrän ja eräpäivän osalta) sekä kiiretilaukset (Frizelle et al. 1998).

Häiriöiden hallinta, kuten häiriöiden toistumisen estäminen on hyvin tärkeää muun muassa jatkuvan virtauksen kehittämisen kannalta. Häiriöiden toistumisen estäminen kuitenkin edellyttää, että häiriöiden juurisyyt ovat analysoitu. Tuotannon häiriöiden hallinta on monivaiheinen prosessi, jonka vaiheita ovat häiriöiden havaitseminen, lieventäminen/korjaaminen, juurisyyanalyysi sekä häiriöiden ennustaminen ja riskinarviointi. Häiriöiden monimuotoisuudesta sekä suuresta määrästä johtuen priorisointi on olennainen osa jokaista vaihetta tuotannon häiriöiden hallintaprosessissa. (Soares Ito et al. 2021)

Juurisyyvaiheessa yritykset hyödyntävät usein Pareto-analyysia saadakseen selville ne häiriöt, jotka edellyttävät tarkempia tutkimuksia (Knights 2001; Murugaiah et al. 2010).

Tarkemmin määriteltynä juurisyyanalyysilla viitataan jäsenneltyyn tutkimukseen, jonka tavoitteena on häiriöiden juurisyiden löytäminen (Mahto & Kumar 2008). Lisäksi juurisyyanalyysi auttaa tunnistamaan erilaisia vastatoimia häiriöiden vähentämiseksi (Andersen & Fagerhaug 2002). Häiriöiden toistuminen on mahdollista estää lopullisesti vain häiriöiden juurisyiden poistamisella (Mahto & Kumar 2008). Täten juurisyyanalyysi on merkittävä tekijä luodessa kestävämpää tuotantojärjestelmää (Soares Ito et al. 2021)

Tuotannon häiriöiden juurisyiden selvittämisen lisäksi häiriöiden tarkastelua edesauttaa häiriöiden luokittelu. Häiriöiden luokitteluun ei ole olemassa yhtä tiettyä mallia, sillä tuotannon häiriö ei ole käsitteenä yksiselitteinen. Täten tuotannon häiriöiden jaotteluun liittyvien luokkien tulisi olla selkeästi toisistaan eroavia, jotta väärinkäsityksiin liittyvät riskit voidaan minimoida. (Ingemansson & Bolmsjö 2004) Eräs vaihtoehto häiriöiden luokitteluun on käyttää toimialakohtaista luokitusta (Smet et al. 1997; Bellgran & Aresu 2003).

Tuotannon häiriöiden luokittelussa on lisäksi myös huomioitava, millaisten tekijöiden nähdään aiheuttavan häiriöitä tuotannossa. Tämä vaikuttaa siihen, millaisia häiriöitä yrityksessä yleisesti mitataan. (Bokrantz et al. 2016) Ljungbergin (1998) mukaan esimerkiksi paljon aikaa vievät säädöt ja asetukset voidaan kokea yrityksessä tuottavana aikana sen sijaan, että ne luokiteltaisiin tuotannon häiriöiksi. Täten siis tuotannon häiriöiden minimointi edellyttää ensin yrityksessä yhteistä näkemystä siitä, minkä tekijöiden yritys kokee aiheuttavan häiriöitä (Bokrantz et al. 2016).

Esimerkki tuotannon häiriöiden luokittelusta liittyy Bokrantz et al. (2016) suorittamaan kyselytutkimukseen, jonka avulla selvitettiin, miten Ruotsin tuotantoteollisuudessa tuotannon sekä kunnossapidon johtotehtävissä työskentelevät työntekijät luokittelevat erilaisia häiriötekijöitä sekä millaisia tekijöitä mitataan sekä rekisteröidään häiriötekijöiksi yritysten häiriöiden valvontajärjestelmissä. Tutkimus suoritettiin pitkästä lähestymistapaa hyödyntäen, jonka aikana käytettiin toistuvaa poikittaistutkimusta. Tutkimuksessa tarvittavat empiiriset tiedot kerättiin 80 yritykseltä vuonna 2001 hyödyntäen paperista kyselylomaketta ja 71 yritykseltä vuonna 2014 verkossa suoritettavan kyselyn avulla. (Bokrantz et al. 2016) Tutkimuksessa yksilöt tunnistivat yhteensä 21 häiriötekijää (Bokrantz et al. 2016), jotka ovat lueteltu alapuolella olevassa taulukossa 1.

Taulukko 1. Ruotsin tuotantoteollisuudessa tunnistetut 21 häiriötekijää (perustuen Bokrantz et al. 2016).

Laitevika	Inhimillinen virhe
Oheislaitteen vika	Ohjelmistovika tuotantolaitteessa
Uudelleenohjelmointi	Suunnitteluvirhe
Työkalun vaihto	Ajan muuttaminen/materiaalin täyttö
Asennus tai nollaus	Säätö
Ennakkohuolto	Puhtaanapito
Palaveri	Keskeytys tai tauko
Saapuvan tuotteen/materiaalin odotus	Työaseman/-koneen sammutus
Henkilöstöpula	Mediavirhe
Nopeuden laskeminen	Tuotteen romutus tai laatuongelma
Läheltä piti-tilanne	Muu

Tutkimuksen tulosten mukaan ennalta suunniteltuja tapahtumia, kuten esimerkiksi taukoja ja palavereja luokitellaan sekä rekisteröidään vähiten tuotannon häiriöiksi ja vastaavasti seisokitappioita, joihin kuuluvat muun muassa laiteviat, luokitellaan ja rekisteröidään tuotannon häiriöiksi eniten. Tutkimukseen osallistuvien vastaajien sekä olemassa olevan kirjallisuuden näkemykset ovat kuitenkin ristiriidassa erityisesti suunniteltujen tapahtumien osalta. Esimerkiksi 'työkalun vaihto' sekä 'ennaltaehkäisevä huolto' ovat sisällyneet kokonaislaitetehokkuutta kuvaavan luvun määritelmään käsitteen alusta lähtien, mutta vain noin puolet tai vähemmän tutkimukseen vastaajista pitivät näitä tekijöitä tuotannon häiriöinä. Kyseiset näkemyserot estävät yrityksiä kehittämästä tehokkaita sekä systemaattisia strategioita tuotannon häiriöiden käsittelyyn. (Bokrantz et al. 2016)

2.2 Tilausohjautuva tuotantoympäristö

Tilausohjautuvien yritysten ominaispiirre on, että ne valmistavat räätälöityjä tuotteita asiakkaiden tarpeisiin tiettyjen vaatimusten mukaisesti, mutta tuotteita ei toisteta säännöllisesti tai ennustettavalla tavalla. Tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä tuotanto tapahtuu joko kokonaan tai osittain sen jälkeen, kun yritys on vastaanottanut asiakastilauksen, eli tuotanto tapahtuu tilausohjautuvasti asiakkaan tekemän tilauksen perusteella. (Saniuk & Waszkowski 2016; Arsene & Constantin 2019) Siten tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä asiakkaalla on usein suurempi vaikutus tuotteeseen kuin esimerkiksi varasto-ohjautuvassa tuotantoympäristössä, jolloin myös tuotevalikoima on usein laaja (Aslan et al. 2012; Arsene & Constantin 2019). Lisäksi tilausohjautuvassa

tuotantoympäristössä yrityksillä on vain vähän vakiotuotteita ja kysyntä on epävakaata sekä vaikeasti ennustettavaa (Saniuk & Waszkowski 2016).

Tilausohjautuvan tuotantoympäristön vahvuuksia ovat joustavuus sekä nopea päätöksenteko ja vastaavasti heikkoutena taas teknisen paremmuuden puute. Tilausohjautuvat yritykset kilpailevat muiden yritysten kanssa usein toimitusajan, hinnan, eräpäivän sekä teknisen asiantuntemuksen suhteen. Ratkaisevia tekijöitä tilauksien voittamisessa ovat pääasiassa kilpailukykyiset ja realistiset hinnat sekä toimitusajat, mutta lisäksi myös esimerkiksi laadulla on merkitystä tilausten voittamisen kannalta. (Saniuk & Waszkowski 2016) Saniuk & Waszkowski (2016) ovat listanneet tilausohjautuvan tuotantoympäristön avainominaisuuksia pienten ja keskisuurten yritysten kohdalla perustuen (Kingsman et al. 1996; Grando & Belvedere 2006; Land & Gaalman 2009; Stevenson et al. 2011), joista alapuolella olevaan taulukkoon 2 ovat koottu ominaisuudet, jotka ovat sovellettavissa myös suuriin, tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä toimiviin yrityksiin.

Taulukko 2. *Tilausohjautuvan tuotantoympäristön avainominaisuudet (perustuen Saniuk & Waszkowski 2016).*

Kriteeri	Tilausohjautuvan tuotantoympäristön ominaisuudet
Tuotetyppi	Laaja valikoima, valmistus mittatilaustyönä, räätälöinti asiakkaiden toiveiden mukaisesti
Tuotanto	Vain muutamia vakiotuotteita, tuotteita ei toisteta säännöllisesti
Vahvuudet	Joustavuus, nopea päätöksenteko,
Heikkoudet	Teknisen paremmuuden puute
Kilpailutekijät	Hinta, toimitusaika, tekninen asiantuntemus, eräpäivä
Ratkaiseva tekijä tilauksen voittamisessa	Kilpailukykyiset hinnat ja toimitusajat, laatu

Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi on huomioitava, että työn tuotanto- ja materiaali-vaatimukset saattavat poiketa merkittävästi muiden tehtaalla suoritettavien töiden vaatimuksista. Täten vaihtelevat työreitit tuotannossa sekä yksittäisten osien yhtenäisyyden puuttuminen saattavat lisätä esimerkiksi suunnitteluun käytettävää aikaa. (Stevenson et al. 2005)

2.3 Jatkuva virtaus tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä

Jatkuvalla virtauksella viitataan yleisesti sellaisen ajan poistamiseen, jonka työprojekti odottaa koskemattomana ilman, että työntekijä työskentelee sen parissa (Liker & Meier 2013). Jatkuva virtaus on suunniteltu kaikkiin toimintoihin liittyvän hukan, eli asiakkaalle arvoa tuottamattomien toimintojen vähentämiseen, sillä jatkuvan virtauksen luominen edellyttää olemassa olevien ongelmien korjaamista (Petersen & Wohlin 2011; Liker & Meier 2013). Jatkuvan virtauksen luomisen tavoitteena on tiedon sekä materiaalin, eli virtausyksiköiden nopea liikkuminen prosessin vaiheiden läpi sekä ihmisten että prosessien linkittäminen yhteen siten, että ongelmat saadaan näkyviksi. Virtaustehokkuutta tarkastellessa arvo määräytyy sen ajan perusteella, jolloin virtausyksikön katsotaan saavan arvoa. (mukaillen Modig & Åhlström 2013, s. 46; 55)

Jatkuvan virtauksen saavuttaminen tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä ei ole yksinkertaista, sillä kyseiseen ympäristöön liittyy erilaisia epävarmuutta aiheuttavia tekijöitä, kuten kysynnän epävarmuus sekä räätälöityjen tuotteiden valmistus, jolloin tuotteiden valmistus ei usein sisällä täysin toistuvia vaiheita. Esimerkiksi kaikkia tuotteita ei voida välttämättä valmistaa samalla koneella ja tuotteiden valmistus ei usein ole täysin virtaavaa tuotannon läpi, vaan tuotteilla voi olla erilaisia reitityksiä tuotannossa. Lisäksi tuotantoympäristössä tai tuotteissa voi tapahtua yleisesti suuriakin muutoksia, jotka luovat epävakautta, kuten uusien prosessien ja tuotteiden käyttöönotto (Liker & Meier 2013). Täten jatkuva virtaus on harvoin täysin jatkuvaa koko tuotantojärjestelmän läpi (Bellgran & Säfsten 2010, s. 197) tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä.

Erilaiset epävarmuustekijät tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä korostavat jatkuvan virtauksen luomisen tärkeyttä, sillä pahimmassa tapauksessa arvoa tuottamattomien toimintojen, kuten vikojen odotuksen määrä kasvaa, ja virtaus alkaa heiketä. Tilausohjautuvan tuotantoympäristön sijaan esimerkiksi varasto-ohjautuvassa tuotantoympäristössä jatkuva virtaus on luontaisempaa, koska toiminta on toistuvampaa, ja siten esimerkiksi erilaisia epävarmuustekijöitä on usein vähemmän (mukaillen Mudgal et al. 2020). Tästä johtuen jatkuvan virtauksen kehittämiseen erityisesti tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä tulee kiinnittää enemmän huomiota.

Viime vuosina tilausohjautuvaan tuotantoympäristöön liittyvissä tutkimuksissa on alettu kiinnittää huomiota perinteisten työpajojen sijaan virtauspajoihin (mukaillen Kundu et al. (2021). Kundu et al. (2021) suorittaman virtaustyöpajoja koskevan tutkimuksen tulosten mukaan virtausta voidaan parantaa suorittamalla työntutkimuksia, tasapainottamalla työkuormaa sekä vähentämällä tuotteiden käsittelyaikaa.

Työntutkimukset saattavat kuitenkin olla arka aihe yrityksissä, sillä työntekijät saattavat kokea mittaukset työnantajan kontrolloinnin voimistumisena, ja vastaavasti työntekijät eivät rohkene välttämättä suorittaa mittauksia, jotta työntekijät eivät koe töiden kontrolloinnin lisääntymistä. Työntutkimusten suorittamatta jättäminen saattaa kuitenkin heikentää merkittävästi jatkuvaa virtausta, sillä työmäärä ei välttämättä kohtaa resurssien kanssa (mukaillen Ahokas et al. 2011). Täten arvoa tuottamaton aika saattaa lisääntyä esimerkiksi ylimääräisen odottamisen kautta tai vastaavasti työntekijöitä saatetaan kuormittaa liikaa, joka saattaa johtaa esimerkiksi työn tehokkuuden laskuun.

2.4 Jatkuvan virtauksen kehittäminen tilausohjautuvassa tuotannossa

Jatkuvaa virtausta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä on mahdollista kehittää esimerkiksi tuotannon ajanhallinnan avulla sekä erilaisten tietojärjestelmien ja Excel- taulukkolaskennan avulla sekä perinteisten Lean-menetelmien/-tekniikoiden avulla. Tuotannon ajanhallinnan menetelmät sekä tietojärjestelmät ja Excel-taulukkolaskenta hyödyntävät myös Lean-filosofian periaatteita, sillä kyseisiä menetelmiä hyödynnetään tuotannonsuunnittelussa ja ajoituksessa vähentämään prosessihävikkiä sekä lisäarvoa tuottamattomia toimintoja (mukaillen Kang et al. 2014), ja täten parantamaan jatkuvaa virtausta. Tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä toimivilla yrityksillä on usein haasteita hallita tuotantolaitoksiaan johtuen markkinoiden epävarmuudesta, jolloin yrityksillä on siis haasteita muun muassa ennakoida kysyntää tarkasti (Orue et al. 2021). Täten tuotannonsuunnittelusta ja ohjaamisesta on tullut merkittävä tekijä hallitessa jatkuvaa virtausta (Jaegler et al. 2018).

2.4.1 Tuotannon ajanhallinta

Tuotantotilausten valmistuksen keston määrittäminen saattaa olla ajoittain hankalaa – etenkin, jos kyseessä on uusi tuote. Tuotteita pyritään saamaan valmiiksi yhä nopeammin sekä pienemmillä kustannuksilla, mutta kaikki vaiheet eivät kuitenkaan aina suju suunnitelmien mukaan. Joidenkin tuotteiden valmistus saattaa esimerkiksi kestää suunniteltua kauemmin tai tuotteen vaatimat resurssit eivät ole saatavilla riittävän ajoissa. (mukaillen Izmailov et al. 2016) Näillä epävarmuustekijöillä on usein vaikutus myös jatkuvaan virtaukseen.

Vaihtelu kuuluu kuitenkin olennaisena osana jokaiseen prosessiin, ja erityisesti tilausohjautuvaan tuotantoympäristöön. Esimerkiksi tietyn tuotteen valmistus voi kestää haasteiden ilmetessä toisella ihmisellä 3 päivää, mutta toisella vain 2 päivää, mikäli

haasteita ei ilmene. Epävarmuus sisältyy jokaiseen prosessiin, vaikka sitä on mahdollista vähentää jonkin verran. Epävarmuuden täydellinen poistaminen on kuitenkin mahdotonta, jonka vuoksi prosessien kestoja arvioitaessa tulisi huomioida riittävä turvamarginaali. (mukaillen Izmailov et al. 2016) Täten siis myös jatkuvaa virtausta heikentäviä tekijöitä on aina olemassa.

Vuonna 1984 Eliyahu Goldratt sekä Jeff Cox kehittivät esteiden teorian epävarmuuden hallintaan, josta vuonna 1997 Goldratt ehdotti esteiden teorian soveltamista projektinhallintaan. Näin muodostui kriittisen ketjun projektinhallinta, jonka tavoitteena on käsitellä projektin keston liittyviä riskejä sekä minimoida projektin kokonaiskesto-aika. (Roghanian et al. 2017) Kriittisen ketjun projektinhallinta on sovellettavissa tilausohjautuvaan tuotantoympäristöön, jossa tuotteen valmistus voidaan nähdä pienimuotoisena projektina, vaikka kyse ei varsinaisesti ole projektituotannosta.

Tuotannon aikataulutukseen liittyviä haasteita, jotka ovat yleisiä projektien osalta, aiheuttavat kaksi erilaista ilmiötä, jotka ovat heikko multitasking sekä Parkinsonin laki. Heikolla multitaskingilla viitataan prosessiin, jossa työ keskeytetään ennen sen valmistumista, jotta voidaan priorisoida kiireellisempiä tai tärkeämpiä työtehtäviä edelle (Izmailov et al. 2016). Tämä voi ilmetä tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä esimerkiksi siten, että kiireellisiä tilauksia ohjataan jo aikataulutettujen tilausten edelle. Tällä on usein kuitenkin negatiivinen vaikutus jatkuvaan virtaukseen, sillä kiiretilaus ikään kuin pysäyttää virtauksen hetkeksi, koska aiemmat ja suunnitellut työtehtävät usein keskeytyvät kiiretilauksen ajaksi.

Parkinsonin lailla viitataan havaintoon, jonka mukaan työ täyttää kaiken jäljellä olevan ajan ennen valmistumistaan (Izmailov et al. 2016). Lailla siis tarkoitetaan, että aika, joka kuluu sekä tehtävän suorittamiseen että sen valmistumisesta raportoimiseen, ei ole lyhyempi aika kuin sille on etukäteen varattu (Gutierrez & Kouvelis 1991). Tämä näkyy tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä siten, että tuotteen valmistukseen käytetään usein sille ennalta varattu aika, ja tuotetta ei yritetä valmistaa nopeammin. Tämä ei siten suoranaisesti ole jatkuvaa virtausta heikentävä tekijä, sillä tuotteet valmistetaan suunnitellussa ajassa. Yritysten tulisi kuitenkin olla selvillä, että mikä on tuotteiden valmistukseen kuluva todellinen aika, sillä aika saattaa vähentyä esimerkiksi automatisoinnin myötä.

Parkinsonin lain mukaan myöskään työn ylisuorittaminen ei motivoi ihmistä, sillä tehtävän suorittaminen suunniteltua nopeammin osoittaa johdolle, että tehtävä olisi ollut mahdollista suorittaa nopeammalla aikataululla (Izmailov et al. 2016). Tämä saattaa si-

ten johtaa muun muassa resurssien vähentämiseen (Chen & Hall 2021). Täten yrityksen tulisi olla tietoinen tuotteiden valmistukseen kuluva todellisesta ajasta, jotta tuotteita voidaan valmistaa päivittäin mahdollisimman optimaalinen määrä riittävin resurssein, ja näin varmistaa mahdollisimman tehokas virtaus.

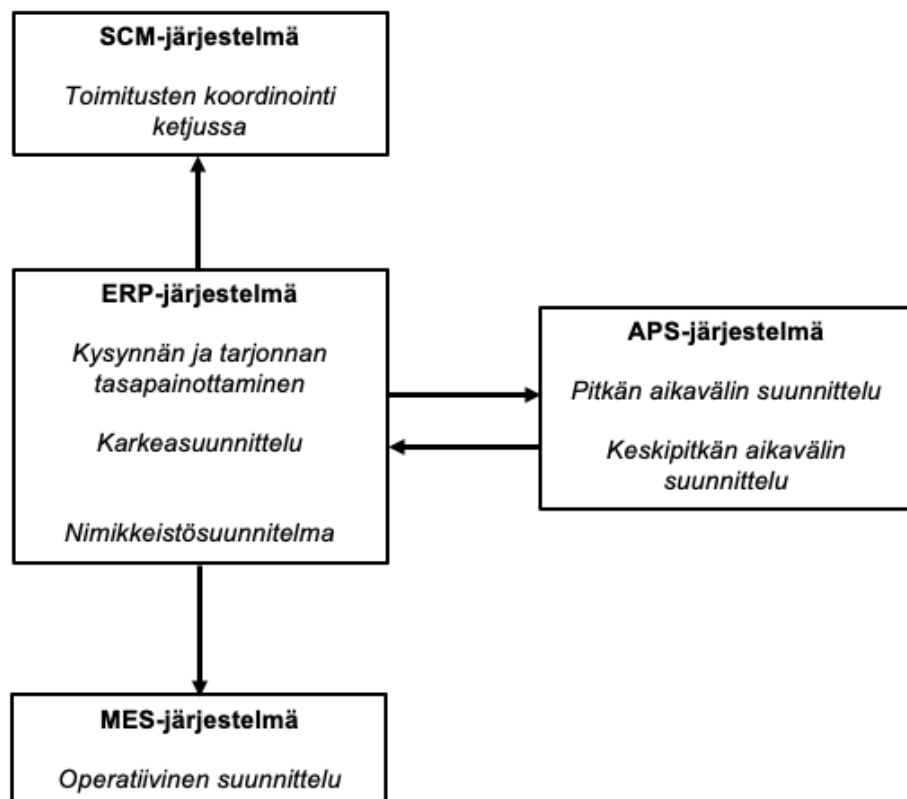
Kriittisen ketjun menetelmä mahdollistaa heikon multitaskingin ja Parkinsonin lain seurausten minimoinnin edistämällä esimerkiksi aktiivisten tehtävien määrän vähentämistä. Ensimmäinen merkittävä osa kriittistä ketjua on vakaan toimintatilan saavuttaminen varmistamalla, että aktiivisten tehtävien määrä pysyy suhteellisen alhaisena. Esteiden teorian mukaan kaikki tuotantolinjat voivat tuottaa työtä rajoitetusti. Rajoituksia suuremman työkuorman suorittaminen johtaa usein töiden kertymiseen rajoittavan kohdan edelle, ja täten vaikuttaa heikentävästi jatkuvaan virtaukseen. Tästä johtuen kriittinen ketju edellyttää, että uudet työprosessit käynnistetään sekä koordinoidaan huomioiden kuormitetuimman resurssin kapasiteetti. (mukaillen Izmailov et al. 2016)

Toinen merkittävä osa kriittistä ketjua on turva-aikasuunnittelu, jotta tuotteen valmistukseen käytettävä aika olisi mahdollisimman optimaalinen – ei liian lyhyt eikä liian pitkä (mukaillen Izmailov et al. 2016), jotta virtaus säilyisi mahdollisimman jatkuvana. Kriittisen ketjun menetelmässä hyödynnetään erilaisia ajallisia puskureita, joiden käytön tarkoituksena on hallita vaihtelua sekä suojata epävarmuustekijöiden aiheuttamilta vaikutuksilta (Kulkarni et al. 2017). Puskureilla on tärkeä merkitys erityisesti tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä, jossa vaihtelu on suurta. Liiallinen puskureiden käyttö johtaa kuitenkin usein odotusajan lisääntymiseen tuotantolinjalla, joka taas heikentää jatkuvaa virtausta.

2.4.2 Tietojärjestelmät ja Excel-taulukkolaskenta

Jatkuvaa virtausta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä on mahdollista kehittää myös tietojärjestelmien ja Excel-taulukkolaskennan avulla, jotka liittyvät myös osaltaan tuotannon ajanhallintaan. Menetelmien käytön tavoitteena on luoda mahdollisimman optimaalisen tuotantosunnitelman kautta virtaava tuotanto, jossa odottamista olisi tuotantolinjoilla mahdollisimman vähän. Tietojärjestelmien käytön merkittävimpiä hyötyjä ovat tuotannon tehostuminen sekä tuotannon joustavuuden lisääntyminen, mikä antaa paremman mahdollisuuden vastata kysynnän muutoksiin. Tällä hetkellä tuotannonsuunnitteluun ja ajoitukseen on olemassa neljänlaisia järjestelmiä, jotka ovat Supply Chain Management (SCM)-, ERP-, Manufacturing Execution System (MES)- sekä APS-järjestelmä. (Mauergauz 2016, s. 15–16) Lisäksi tuotannonsuunnitteluun ja ajoitukseen voidaan käyttää myös Excel-taulukkolaskentaa.

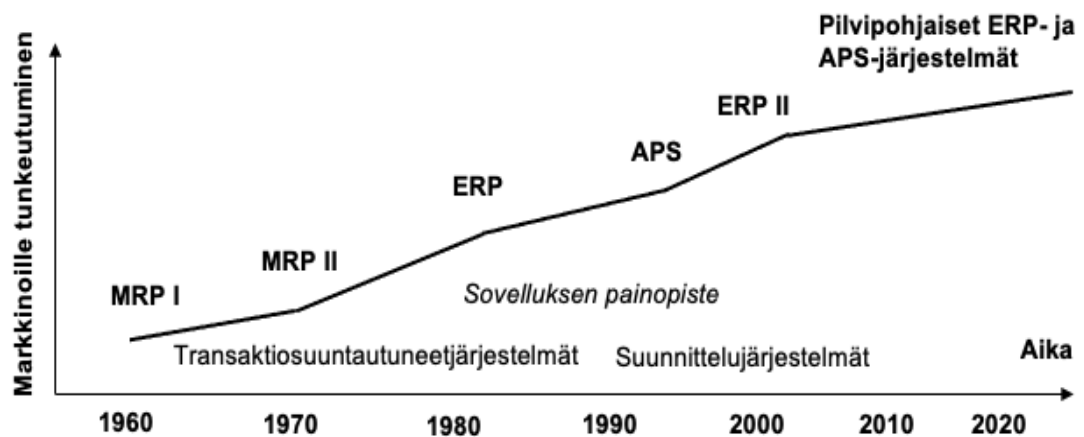
SCM-järjestelmä on yleisesti tarkoitettu muun muassa hallitsemaan toimitusketjun kokonaisuuksia sekä ohjaamaan toimitusketjun nykyisiä liiketoimintaprosesseja (Mauergauz 2016, s. 18). SCM-järjestelmän toiminta perustuu laajempien kokonaisuuksien hallintaan toimitusketjussa, jonka vuoksi sitä ei esitellä tässä työssä vaihtoehtona yksityiskohtaisempaan ja tarkempaan tuotannosuunnitteluun ja ajoitukseen. Myös MES-järjestelmä jätetään tässä työssä tarkempien tarkasteluiden ulkopuolelle, sillä kyseisen järjestelmän katsotaan soveltuvan paremmin erityisesti tuotannon hallintaan ja ohjaukseen operatiivisella tasolla (mukaillen Kletti 2007, s. 91). Alapuolella olevassa kuvassa 2 on kuitenkin havainnollistettu kaikkien neljän eri tietojärjestelmän linkittymistä toisiinsa. Kuvan tarkoituksena on luoda kokonaiskuva tuotannosuunnitteluun ja ajoitukseen liittyvien järjestelmien yhteyksistä toisiinsa.



Kuva 2. Tuotannosuunnitteluun ja aikataulutukseen soveltuvat tietojärjestelmät (muokattu kuvasta Mauergauz 2016, s. 20).

Tuotannosuunnittelu sekä aikataulutukset ovat tuotannon hallinnan merkittäviä avaintoimintoja (Tang et al. 2001), joilla on vaikutus myös jatkuvan virtauksen edistämiseen. Useiden yritysten tuotannon tuotannosuunnittelu sekä tuotannon aikatauluprosessit ovat pohjautuneet 1980-luvulta 2000-luvulle materiaaliarvesuunnittelun (Material Requirements Planning eli MRP I) sekä tuotantoresurssien suunnittelun (Material Re-

source Planning eli MRP II) logiikkaan (Entrup 2005, s. 5). Alapuolella olevassa kuvassa 3 mallinnetaan eri sovellusten sekä niihin liittyvien järjestelmäkokonaisuuksien muodostumisesta 1960-luvulta 2020-luvulle.



Kuva 3. Suunnittelujärjestelmien markkinoille tunkeutuminen (muokattu lähteestä Entrup 2005, s. 5, edelleen von Steinaecker & Kühner 2001; Ghobakhloo & Fathi 2020; Gallego-Garcia et al. 2021).

MRP I:lla tarkoitetaan peräkkäisen suunnittelun periaatteeseen perustuvaa matemaattista mallinnustyökalua, jonka avulla on mahdollista määrittää riippuvien komponenttien, kuten esimerkiksi osakokoonpanojen tarvetta tuotantoympäristössä (Entrup 2005, s. 5). MRP I-mallinnustyökalun käyttö johti kuitenkin usein mahdottomiin suunnitelmiin, sillä menetelmä olettaa kapasiteetin olevan rajaton (Voss & Woodruff 2000). Kaikki kuvassa 3 MRP I:tä seuraavat tuotannonsuunnittelu- ja ajoitusmenetelmät pohjautuvat MRP I:een, kuten myös MRP II-konsepti, joka kehitettiin korjaamaan MRP I:n puutteita, mutta MRP II sisältää kuitenkin usein MRP I:n yhtenä komponenttina (Entrup 2005, s. 6). IT-laitteistojen suorituskyvyn kehittyminen johti MRP II:n käytön merkittävään lisääntymiseen. Kehitys sai aikaan samalla aiemmin erillisten tietojärjestelmien integroimiseen modulaarisiin ja MRP-logiikkaa hyödyntäviin ERP-järjestelmiin (Steven & Krüger 2002; Entrup 2005, s. 7) sekä APS-järjestelmiin. Näiden pohjalta muodostui ERP II sekä tänä päivänä käytössä olevat pilvipohjaiset ERP- ja APS-järjestelmät (Ghobakhloo & Fathi 2020; Gallego-Garcia et al. 2021).

ERP-järjestelmä

ERP-järjestelmät ovat eräs tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä hyödynnetty tuotannonsuunnittelu- ja ajoitusjärjestelmä, jonka avulla yritykset voivat saavuttaa useita liiketoimintaan liittyviä etuja, kuten lisääntyneen tehtävien automatisoinnin, paremman näkyvyyden sekä reaaliaikaisen tietojen saatavuuden (Davenport 1998; Gupta & Kohli 2006; Koh et al. 2008). Esimerkiksi automatisoinnin avulla voidaan tehostaa jatkuvaa virtausta, sillä manuaalinen työ on usein hitaampaa ja siihen liittyy suurempi häiriöiden

mahdollisuus. Myös paremman näkyvyyden ja reaaliaikaisten tietojen saatavuuden saavuttamisen avulla voidaan vaikuttaa positiivisesti jatkuvaan virtaukseen, sillä ne auttavat muun muassa ennakoimaan asioita, kuten mahdollisia häiriöitä.

ERP-järjestelmien toimittajien mukaan ERP-ohjelmistot ovat sovellettavissa kaikkiin yrityksiin, mutta kirjallisuudessa kyseisten ohjelmistojen soveltuvuutta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä on kyseenalaistettu johtuen erityisesti järjestelmien tarjoamista suunnittelu- ja päätöksenteko-ominaisuuksista (Aslan et al. 2012; Aslan et al. 2015). Aslan et al. (2015) selvittivät tutkimuksessaan tilausohjautuvan tuotantostrategian vaikutusta ERP-järjestelmien soveltuvuuteen. Tutkimus suoritettiin pääosin tilausohjautuvissa yrityksissä, mutta vertailun vuoksi tietoja kerättiin myös varasto-ohjautuvista yrityksistä. Tutkimuksen tulosten mukaan tuotantostrategialla ei ole vaikutusta ERP-järjestelmän käyttöönottopäätökseen. Tilausohjautuvat yritykset kokivat tutkimuksessa järjestelmän käyttöönottopäätöksen varasto-ohjautuvia yrityksiä haastavammaksi. Merkittävin syy, miksi tilausohjautuvat yritykset eivät ottaneet ERP-järjestelmää käyttöön liittyy siihen, että kyseiset yritykset pitivät järjestelmää yksinkertaisesti sopimattomana yrityksensä tarpeisiin. Tutkimuksen mukaan kaksi kolmesta pk-yrityksestä oli ottanut ERP-järjestelmän käyttöön, mutta järjestelmää ei hyödynnetty yksityiskohtaiseen suunnitteluun, vaan muodostamaan yleiskuva yrityksen prosessien sekä resurssien tilasta.

ERP-järjestelmän avulla suoritettavan tuotannon ajoituksen haasteena on, että järjestelmä ei tue rajallisen kapasiteetin suunnittelua eikä sen avulla voida luoda yksityiskohdista suunnitelmaa, vaan järjestelmä on tarkoitettu karkeaan tuotannosuunnitteluun (Entrup 2005, s. 8; Kletti 2007, s. 83). Tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä tuotannosuunnittelulla ja ajoituksella on kuitenkin iso merkitys johtuen kyseiseen tuotantoympäristöön liittyvistä epävarmuustekijöistä, kuten kysynnän vaihtelusta, joten tästä näkökulmasta kyseinen järjestelmä ei ole optimaalisin tilausohjautuvaan tuotantoympäristöön. Jatkuvan virtauksen kehittämisen kannalta on myös tärkeää, että järjestelmä kykenee huomioimaan rajallisen kapasiteetin, jotta voidaan välttää esimerkiksi jonojen muodostuminen.

APS-järjestelmä

ERP-järjestelmät muodostavat perustan kaikille liiketoimintasovelluksille, kuten myös APS-järjestelmille. APS-järjestelmät ovat joko ERP-järjestelmän lisäosia tai suoraan ERP-järjestelmään integroitavia osia, ja niiden ensisijainen tavoite on tukea päätöksentekoa, eli niiden ei ole tarkoitus korvata ERP-järjestelmää, vaan tukea ERP:n ohella päätöksentekoa kaikilla tasoilla. (Entrup 2005, s. 9–10) APS-järjestelmää tarkastellaan

tässä tutkimuksessa kuitenkin osittain omana kokonaisuutena johtuen sille ominaisista tuotannosuunnittelu- ja ajoituspiirteistä.

APS-järjestelmä on tarkoitettu tuotannon suunnitteluun sekä yksityiskohtaiseen aikataulutukseen ennen operatiivista toimintaa. Kyseiset järjestelmät ovat myös suunnattu 'veto'-tyyppiseen tuotantomalliin, jota sovelletaan tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä. (Entrup 2005, s. 11) APS-järjestelmillä on ERP-järjestelmiä suurempi pyrkimys löytää optimaalisia sekä toteuttamiskelpoisia suunnitelmia pullonkaulat huomioiden (Stadtler & Kilger 2005, s. 3). Tähän liittyy muun muassa se, että APS-järjestelmät kykenevät huomioimaan rajallisen kapasiteetin (David et al. 2006), kuten materiaalien saatavuuden sekä muut tuotannon resurssit suunnitteluvaiheessa (Hvolby & Steger-Jensen 2010). Realistiset suunnitelmat auttavat myös jatkuvan virtauksen luomisessa, sillä tällöin virtaus ei todennäköisesti katkea tuotantolinjoilla esimerkiksi materiaali puutteista johtuen, vaan tuotanto on asetettu täsmäämään esimerkiksi juuri materiaalisaatavuuteen. Tämä on erittäin olennaista räätälöityjä tuotteita valmistavassa tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä.

Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi APS-järjestelmät kykenevät ratkaisemaan monimutkaisiakin suunnitteluongelmia muun muassa heuristiikan sekä lineaarisen ohjelmoinnin avulla (Entrup 2005, s. 10) sekä järjestelmillä on myös erinomainen kyky erilaisten suunnitteluskenaarioiden simulointiin ennen suunnitelmien julkaisua (Hvolby & Steger-Jensen 2010). Nämä ovat suunnittelun kannalta tärkeitä ja suunnittelua tehostavia tekijöitä erityisesti suunnittelun kannalta vaativassa tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä, ja siten myös merkittävä tekijä jatkuvan virtauksen tehostamisen kannalta.

Giacon & De Mesquita (2011) suorittaman tutkimuksen tavoitteena oli muun muassa tunnistaa yksityiskohtaiseen tuotannon aikataulutukseen liittyviä tarpeita ja vaikeuksia sekä APS-järjestelmien käyttöönottoon liittyviä etuja. Tulosten mukaan tärkeimmät tavoitteet yksityiskohtaiselle tuotannon aikataulutukselle ovat toimituspäivä sekä asiakkaan prioriteettiaste, ja ne ovat mahdollista saavuttaa helpoimmin rajallisen kapasiteetin huomioivan aikataulutustyökalun avulla. Yksityiskohtainen tuotannon aikataulutus on kuitenkin haasteellista monille yrityksille – erityisesti tilausohjautuville yrityksille.

Suurin osa tutkimukseen osallistuneista yrityksistä sovelsi MRP-suunnittelumallia toiminnassaan, mutta tutkimuksen mukaan tilausohjautuvan tuotantostrategian omaavat yritykset tarvitsevat toiminnassaan yksityiskohtaista aikataulutustyökalua. Tutkimuksessa suoritetun kyselyn mukaan 50 % kyselyyn vastanneista ilmoitti ottavansa APS-järjestelmän käyttöön, ja jo järjestelmää hyödyntävät yritykset eivät olleet raportoineet tyytymättömyydestä järjestelmän käyttöönottoon liittyen. (Giacon & De Mesquita 2011)

Tutkimuksen mukaan APS-järjestelmien käyttöönottoa yrityksissä rajoittavat tietueiden päivitystarve, järjestelmän mukauttaminen yrityksen toimintaan, järjestelmien välinen integrointi sekä koulutuksen puute (Giacon & De Mesquita 2011). Kyseiset tekijät aiheuttavat haasteita järjestelmän soveltamiselle kaikissa tuotantoympäristössä, mutta eivät erityisesti estä järjestelmän käyttöä esimerkiksi tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä. Tekijät saattavat kuitenkin vaikuttaa heikentävästi jatkuvaan virtaukseen, mikäli esimerkiksi järjestelmien välinen integrointi ei onnistu, ja työ joudutaan korvaamaan manuaalisesti.

Excel-tilukkolaskenta

Tuotannosuunnittelua ja ajoitusta voidaan tehdä myös ilman merkittäviä investointeja suuriin järjestelmiin. Eräs tällainen vaihtoehto on hoitaa tuotannosuunnittelua ja ajoitusta taulukkolaskennan avulla, joka tuodaan esiin yhtenä vaihtoehtona tarkastellun tehtaan toiveesta. Perrin & Maier-Speredelozzi (2008) selvittivät tutkimuksessaan, kuinka Excel-tilukkolaskentaa voidaan hyödyntää tuotantotoimintojen seurannassa ja ajoituksessa ensisijaisesti tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä toimivalle metalliosia valmistavalle yritykselle.

Perrin & Maier-Speredelozzi (2008) kehittivät tutkimuksessaan taulukkolaskentaohjelmointiin liittyvällä Visual Basic for Applications-sovelluksella mallin, jonka avulla on mahdollista vertailla keskeneräisen tuotannon varastotasojen tavoitetasoihin jokaisessa työvaiheessa saavuttaakseen asiakkaille luvatut toimituspäivämäärät. Malli pohjautuu MRP/ERP-perusteisiin. Tutkimuksen alustavien tulosten perusteella malli on toiminut tuotannon ajoituksessa sekä sen sisältämät graafiset työkalut ovat auttaneet tuotantoprosessin nykytilan hahmottamisessa, mutta mallin laajempi hyödyntäminen vaatii kuitenkin lisää tutkimuksia.

Tuotannosuunnittelu ja ajoitus on siten mahdollista myös Excel-tilukkolaskennan avulla, kuten Perrin & Maier-Speredelozzi havaitsivat tutkimuksessaan. Tuotantotoimintojen seuranta ja ajoitus Excelin avulla tarjoaa erilaisia hyötyjä yrityksille, mutta hyödyt koskevat usein vain pieniä ja keskisuuria yrityksiä. Excelin avulla on kuitenkin mahdollisuus luoda juuri yrityksen tarpeisiin sopiva räätälöity ratkaisu edullisesti verrattuna kaupallisiin sovelluksiin, jolloin yritysten ei tarvitse mukauttaa omia prosessejaan esimerkiksi ennalta määritettyihin raporttityyleihin, algoritmeihin tai tietomuotoihin. (Perrin & Maier-Speredelozzi 2008) Tämä on merkittävä etu erityisesti tilausohjautuvissa tuotantoympäristöissä, joissa itse tuotteiden valmistuskin perustuu räätälöintiin. Taulukkolaskennan avulla luotu, yrityksen tarpeisiin mukautettu suunnittelu- ja ajoitusjärjestelmä

voi mahdollisesti parantaa myös jatkuvaa virtausta, mikäli menetelmä toimii ongelmitta yrityksen toiminnassa sekä suunnittelu ja ajoitukset ovat tehty tarkasti.

Excel-mallin käyttöön tuotantotoimintojen seurannassa ja ajoituksessa liittyy myös joitakin haasteita ja rajoituksia. Esimerkiksi Excelin integroiminen muihin ohjelmistoihin saattaa olla haastavaa ja joissakin tapauksissa myös mahdotonta (Perrin & Maier-Sperdelozzi 2008). Täten siis muun muassa yhdessä järjestelmässä tehdyt muutokset eivät usein päivity muihin järjestelmiin, vaan muutokset ovat tehtävä manuaalisesti (Järvenpää et al. 2015). Nämä aiheuttavat merkittäviä haasteita tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä, jossa etenkin hyvä näkyvyys ja reaaliaikainen tietojen saatavuus ovat olennaisia tekijöitä. Manuaalisen työn lisääntyminen altistaa myös erilaisille häiriöille ja siten jatkuvan virtauksen katkeamiselle.

Lisäksi yksityiskohtaisempaan tuotannon ajoitukseen käytetyt Excel-taulukot ovat yrityksissä usein vain muutaman henkilön hallinnassa, ja tämä aiheuttaa usein ylimääräistä kommunikointia eri osastojen välillä sekä sen, että eri osastot saattavat toimia eri tiedon varassa. Lisäksi toisiinsa integroimattomat Excel-taulukot hankaloittavat usein kokonaiskuvan muodostamista. (Järvenpää et al. 2015) Ylimääräinen ja väärää tietoa sisältävä kommunikointi voi johtaa tuotantolinjalla odotusaikojen pidentymiseen, mikäli esimerkiksi jonkin materiaalin saatavuutta aletaan tarkastamaan kesken tuotteen valmistuksen. Väärä tieto saattaa johtaa virheelliseen tuotteen valmistukseen. Näillä tekijöillä saattaa olla siis merkittäviä ja jopa pitkäaikaisia negatiivisia vaikutuksia jatkuvaan virtaukseen.

Vertailu

Edellä mainittujen tietojen perusteella ERP- ja APS-järjestelmän sekä Excel-taulukkolaskennan käyttöönottoon tuotannosuunnittelussa ja ajoituksessa jatkuvan virtauksen näkökulmasta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä liittyy erilaisia etuja sekä haasteita. Kyseisistä eduista ja haasteista on esitetty yhteenveto alapuolella olevassa taulukossa 3.

Taulukko 3. Yhteenveto ERP- ja APS-järjestelmän sekä Excel-tilukkolaskennan käyttöönottoon liittyvistä eduista ja haasteista tuotannosuunnittelussa ja ajoituksessa jatkuvan virtauksen näkökulmasta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä.

ERP-järjestelmä	APS-järjestelmä	Excel-tilukkolaskenta
+ Lisääntynyt tehtävien automatisointi	+ Toteuttamiskelpoiset suunnitelmat	+ Mukautettavissa yrityksen tarpeisiin
+ Parempi näkyvyys	+ Monimutkaisten suunnitteluongelmien ratkaisu	– Aiheuttaa ylimääräistä kommunikointia
+ Reaaliaikainen tietojen saatavuus	+ Materiaalien saatavuuden sekä muiden tuotannon resurssien huomiointi	– Henkilösidonnaisuus
– Haasteita hyödyntää tilausohjautuvissa yrityksissä	+ Erinomainen kyky erilaisten suunnitteluskenaarioiden simulointiin	– Vaikeus muodostaa kokonaiskuvaa
– Ei tue rajallisen kapasiteetin suunnittelua	– APS-järjestelmän käyttöön liittyvä koulutus	– Ohjelmistoversioiden väliset ristiriidat
– Ei kykene luomaan yksityiskohtaista suunnitelmaa	– APS-järjestelmän integroiminen muihin järjestelmiin	– Manuaalisen työn lisääntyminen
	– APS-järjestelmän mukauttaminen yrityksen toimintaan	
	– Järjestelmään liittyvien tietueiden päivitystarve	

2.4.3 Lean menetelmät/-tekniikat

Lean-filosofian yksi peruseriaatteista on jatkuvan virtauksen kehittäminen, ja tämä voidaan saavuttaa hukun, kuten odotuksen ja erilaisten vikojen poistamisella sekä keskittymällä arvoa tuottaviin toimintoihin (Kang et al. 2014) myös tilausohjautuvissa tuotantoympäristöissä. Lean-filosofiaan perustuvia menetelmiä/tekniikoita, joilla jatkuvaa virtausta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä voidaan parantaa, ovat muun muassa Jidoka, Heijunka, vetojärjestelmät sekä tahtiajan ohjaus.

Jidoka

Toyota on kehittänyt vikojen havaitsemiseen erityisen 'havaintopysäytys'-hälytysjärjestelmän, jota kutsutaan nimellä Jidoka. Jidokan perusvaiheita ovat ongelman havaitseminen, prosessin pysäyttäminen, prosessin palauttaminen oikeaan toimintaan sekä ongelman perimmäisen syyn ja vastatoimien etsiminen. (Maralcan & Ilhan 2017) Jidokan avulla voidaan siis tehostaa tuotantoprosessia (Rewers et al. 2016) ja parantaa jatkuvaa virtausta esimerkiksi tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä, kun häiriöön reagoidaan nopeasti ja minimoidaan häiriön negatiiviset vaikutukset tuotantoon mahdollisimman pian.

Karkeasti käännettynä Jidokalla tarkoitetaan "älykkäitä koneita", ja käsitteellä viitataan erityisesti koneen itsenäiseen kykyyn havaita jokin ongelma ja pysäyttää itsensä (Liker & Meier 2013). Jidokalla voidaan viitata myös työntekijän kykyyn pysäyttää yksittäinen kone tai tuotantolinja kokonaisuudessaan (Rewers et al. 2016). Itsestään pysähtyvät koneet ovat kuitenkin tehokkaampi ratkaisu, sillä ne vapauttavat työntekijän koneen valvonnasta, jolloin työntekijän kykyjä voidaan hyödyntää tärkeämpiin työtehtäviin (Liker & Meier 2013). Näin voidaan vähentää myös arvoa tuottamatonta toimintaa ja siten tehostaa jatkuvaa virtausta.

Jidokan periaatteita on hyödynnetty Toyotan tehtailla maailmanlaajuisesti Andon-järjestelmän kautta. Järjestelmä toimii siten, että vian havaitessaan työntekijä vetää narusta pysäyttääkseen ja varoittaakseen koko yksikköä, ja tämän jälkeen koko yksikön toiminta pysähtyy. Seuraavaksi työntekijät ja esimiehet tulevat tarkastamaan prosessin paikan päälle niin sanotulla 'Gemba'-kävelyllä. Yksikkö jatkaa toimintaansa vasta sen jälkeen, kun ongelma on ratkaistu sekä juurisyyn tunnistettu ja poistettu, jotta vika ei ilmene uudestaan. (Maralcan & Ilhan 2017) Juurisyiden tunnistaminen ja poistaminen on merkittävää myös jatkuvan virtauksen kannalta.

Lopez-Leyva et al. (2020) kehittivät tutkimuksessaan räätälöidyn ja älykkään Andon-järjestelmän, jonka avulla tuotantolinjoilta voidaan lähettää ongelmiin liittyviä tukipyynnöitä yksityiskohtaisine tilastotietoineen tietyille yksiköille tai henkilöille. Tietokantaan yhdistetty järjestelmä mahdollistaa muun muassa pyyntöihin ja esimerkiksi puheluihin liittyvien tietojen tallentamisen, joka auttaa päätöksenteossa liittyen muun muassa kustannusten ja ajan säästämiseen, tuotantolinjojen kehittämiseen ja ongelmallisten paikkojen jäljitettävyyteen.

Andon-järjestelmän räätälöinnillä viitataan siihen, että järjestelmä voidaan sovittaa vastaamaan tuotantolinjojen erityisiä vaatimuksia, joka on merkittävä ero verrattuna perinteisiin Andon-järjestelmiin. Lisäksi yksityiskohtainen tilastollinen analyysi mahdollistaa

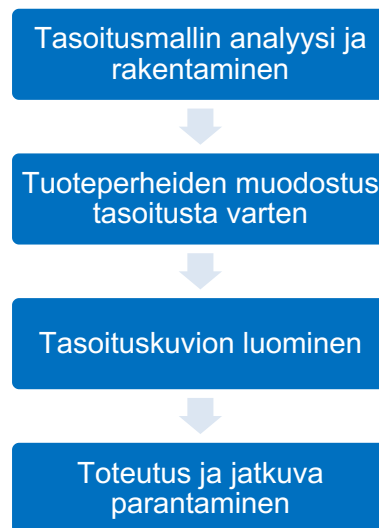
tuotteiden laadun ja tuotannon tehokkuuden parantamisen. Kyseinen Andon-järjestelmä tukee myös Lean-tuotantokulttuuria ja soveltuu käytettäväksi kaikkiin yrityksiin. (Lopez-Leyva et al. 2020)

Lopez-Leyva et al. (2020) tutkimuksessa kehitettyä räätälöityä ja älykästä Andon-järjestelmää on mahdollista hyödyntää myös tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä jatkuvan virtauksen kehittämiseen. Kyseisen järjestelmän avulla saadaan erittäin tarkkoja ja yksityiskohtaisia tietoja tuotannossa esiintyvistä häiriöistä, ja näiden tietojen avulla on mahdollista kehittää tehokkaita menetelmiä häiriöiden ennaltaehkäisyyn ja poistamiseen, ja siten parantaa jatkuvaa virtausta. Lisäksi järjestelmän on kerrottu lisäävän muun muassa tuotannon tehokkuutta, jolloin järjestelmä auttaa myös arvoa tuottamattomien vaiheiden vähentämisessä tuotannossa, ja vaikuttaa näin positiivisesti myös jatkuvaan virtaukseen.

Heijunka

Heijunka-menetelmä on tärkeä tekijä jatkuvan virtauksen kehittämisen kannalta (Slomp et al. 2009). Heijungalla tarkoitetaan tuotannon tasoittamista, eli korkeiden "tuotanto-peakkien" poistamista (Rewers et al. 2016). Heijungan tavoitteena on lisätä tuotannon joustavuutta sekä tuottavuutta minimoimalla kuormituseroja työpisteillä ja poistamalla hukkaa (Hüttmeir et al. 2009). Hukan poistaminen on tärkeä jatkuvaa virtausta parantava tekijä. Heijungan tavoitteena on myös parantaa reagointikykyä asiakkaiden muuttuviin tarpeisiin. Muuttuva kysyntä aiheuttaa useita ongelmia arvovirrassa, sillä resurssit tulisi saada jatkuvasti kohdennettua muuttuviin tarpeisiin. (Liker & Meier 2013)

Perinteisiä tuotannontasoisuusmenetelmiä on mahdollista hyödyntää kuitenkin vain tois-
tuivissa tuotantoympäristöissä, joissa tuotevalikoima on rajoitettu. Näille tuotantoympäristöille ominaista on ennustettava ja vakaa kysyntä (Deuse et al. 2007; Hüttmeir et al. 2009; Slomp et al. 2009). Bohnen et al. (2011) esittelevät artikkelissaan kehittämänsä mukautetun lähestymistavan, jota on mahdollista hyödyntää myös korkeavariointiasteisen matalavolyymisen tuotannon tasoittamisessa. Tämä systemaattinen menetelmä perustuu ryhmittelyteknologiaan ja koostuu neljästä eri perusvaiheesta (kuva 4) (Shunk 1985; Bohnen et al. 2011).



Kuva 4. Systemaattisen menettelyn vaiheet tuotannon tasoittamiseen korkeavariointiasteisessa matalavolyymisessä tuotannossa (muokattu kuvasta Bohnen et al. 2011).

Menetelmä on mukautettu suuren volyymin tuotannossa käytetystä perinteisestä tasoitusmenetelmästä, ja se alkaa tasoitusmallin analyysistä ja rakentamisesta. Vaihe aloitetaan yksityiskohtaisella analyysillä hyödyntäen arvovirtakartoitusta, ja tätä analyysia on mahdollista täydentää tarvittaessa asiakkaiden kysyntäanalyysillä. Näin voidaan visualisoida tiedon ja materiaalin kulku, jotta pullonkaulat on mahdollista tunnistaa. Edellä mainittujen vaiheiden perusteella voidaan muodostaa niin sanottu tasoitusmalli. (Bohnen et al. 2011)

Tasoitusmallianalyysia ja rakentamista seuraa tuoteperheiden muodostus tasoitusta varten. Tässä vaiheessa tuotetyypit ryhmitellään perheiksi perustuen niiden tuotannon samankaltaisuuteen. Usein ei ole kuitenkaan olemassa ennalta luokiteltuja objekteja tai ennalta määritettyjä perheitä, jolloin tuoteperheen muodostus voidaan abstraktimmalla tasolla luokitella koneoppimistehtäväksi. Tässä tapauksessa oppimistehtävässä hyödynnetään erilaisia klusterointialgoritmeja, jolloin saadaan suuri määrä erilaisia ryhmitelytuloksia. Tuloksia vertaillaan niin sanotun toivottavuusindeksin avulla. (Bohnen et al. 2011)

Edellisessä vaiheessa luotuja perheitä taas hyödynnetään perhekeskeisten tasoituskuvioiden muodostuksessa ja toteutuksessa. Tasoituskuvion luominen edellyttää tuoteperheiden segmentoimista 'juoksijoiksi' sekä 'tuntemattomiksi' hyödyntäen ABC/XYZ-analyysia (Wuthnow & Deuse 2009). 'Juoksijaperheille' ominaisia piirteitä ovat vähäinen kysynnän vaihtelu, suuri tilaustiheys sekä suuri volyymi kuin taas 'tuntemattomilla'

nämä ominaisuudet ovat vastakkaiset. Tämän jaottelun perusteella valitaan tuoteperheet (usein 'juoksijaperheet'), jotka voidaan ajoittaa syklisesti tasoitusmallissa. (Bohnen et al. 2011)

Vaikka Bohnen et al. (2011) artikkelissa ei ole mainintaa kehitetyn menetelmän toimivuudesta, voidaan tuotannon tasoittamisen avulla yleisesti vähentää hukkaa sekä ennaltaehkäistä ylikuormitusta sekä laatuongelmia ja tuotannon häiriöitä (mukaillen Liker 2020). Lisäksi tasoituksen avulla voidaan lyhentää läpimenoaikoja sekä saada aikaan vakaus tuotantoprosessissa (Coleman & Vaghefi 1994; Schürle 2009; Rother 2010). Nämä edellä mainitut tekijät ovat myös erittäin tärkeitä jatkuvan virtauksen parantamisessa tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä, sillä erityisesti vakauden lisääminen on tärkeää johtuen kyseisessä tuotantoympäristössä esiintyvistä vaihtelevista kysynnästä.

Vetojärjestelmät

Vetojärjestelmillä viitataan erityisiin materiaalinohjausjärjestelmiin, joiden tavoitteena on kontrolloida tilausten läpimenoaikoja työkuorman rajoittamisen avulla tuotannossa (Hopp & Spearman 2004), ja siten parantaa jatkuvaa virtausta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä. Stevenson et al. (2005) mukaan on olemassa kolme tilausten määrää tuotannossa rajoittavaa yksikköpohjaista vetojärjestelmää, jotka sopivat tilausohjautuvaan tuotantoympäristöön, ja ne ovat Constant Work in Process (CONWIP), m-Constant Work in Process (m-CONWIP) sekä Paired-Cell Overlapping Loops of Cards with Authorization (POLCA).

CONWIP:lla viitataan järjestelmään, joka rajoittaa keskeneräistä työtä Kanbanin kaltaisten korttien avulla (Hopp & Spearman 2004). CONWIP-järjestelmässä oleellista on sen sisältämä yksi ohjaussilmukka, joka kuvaa sitä tuotantojärjestelmän osaa, jossa työmäärä on rajoitettu korttien avulla kattaen kaikki tuotannon työpisteet. Tämä tapahtuu siten, että tilauksen tullessa järjestelmään, siihen liitetään kortti, ja tilauksen valmistuessa kortti palautuu takaisin ensimmäiseen työpisteeseen. Tämä toimii signaalina uudelle tilaukselle, ja täten myös kortit rajoittavat uusien tilausten määrää tuotannossa. Ohjaussilmukka toimii siten vain työmäärää rajoittavana tekijä, mutta ei tasapainota työkuormaa työpisteiden välillä. CONWIP:n sijaan voidaan myös hyödyntää m-CONWIP-järjestelmää, jossa m-kirjaimella viitataan useiden CONWIP-silmukoiden hyödyntämiseen. m-CONWIP-järjestelmä hyödyntää siis useita CONWIP-silmukoita (yksi silmukka per tuotantojärjestelmän reititys) tasapainottaakseen työmäärän eri reititysten välillä tuotantojärjestelmässä. (Germs & Riezebos 2010)

POLCA-järjestelmä perustuu Kanbanin tavoin korttijärjestelmään, mutta tässä kortit ovat kohdistettu työsolupareihin eikä tiettyihin solun osiin (Hopp & Spearman 2004). POLCA-järjestelmän avulla voidaan siis tasapainottaa työmäärää vapauttamalla tilaus seuraavaan työpisteeseen käytettävissä olevan kapasiteetin perusteella (Germs & Riezebos 2010). POLCA-kortit toimivat signaalina työn aloittamiselle, mutta eivät sisällä osa- tai tuotenumeroita (Hopp & Spearman 2004; Germs & Riezebos 2010).

Germs & Riezebos (2010) mukaan keskimääräinen kokonaisläpimenoaika on strategisesti merkittävä tilausten voittamiselle tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä. Germs & Riezebos tutkivat simulaatiotutkimuksessaan kolmen yksikköpohjaisen vetojärjestelmän, CONWIP, m-CONWIP sekä POLCA, työkuorman tasapainotuskykyä, joita pidetään soveltuvina tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, pystyvätkö kyseiset vetojärjestelmät kehittämään työkuorman tasapainotuskykyä siten, että keskimääräinen läpimenoaika sekä tilausten keskimääräinen aika tuotannossa vähenevät.

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että yksikköpohjaisten vetojärjestelmien avulla on mahdollista vähentää keskimääräistä läpimenoaikaa sekä tilausten keskimääräistä aikaa tuotannossa, vaikka tuotanto-olosuhteiden muuttuessa tilausten keskimääräinen aika tilauspoolissa saattaa kasvaa tilausten keskimääräisen ajan laskiessa tuotannossa. Tutkimuksessa havaittiin myös, että vetojärjestelmistä paras työkuorman tasapainotuskyky on m-CONWIP-järjestelmällä, ja vastaavasti CONWIP-vetojärjestelmä ei kyennyt tasapainottamaan työkuormaa. Täten siis vain POLCA- ja m-CONWIP-järjestelmät sisältävät työkuorman tasapainotusominaisuuden. (Germs & Riezebos 2010)

Germs & Riezebos (2010) suorittaman tutkimuksen tulosten perusteella voidaan päätellä, että POLCA- ja m-CONWIP-järjestelmät voisivat siten olla potentiaalisia vaihtoehtoja myös jatkuvan virtauksen kehittämisessä. Menetelmien luoman 'veto'-ilmiön avulla saadaan aika tehokas virtaus läpi tuotannon, jolloin arvoa tuottamattomien vaiheiden määrä, kuten odottaminen vähenee.

Tahtiajan ohjaus

Tahtiajan ohjaus on tärkeää jatkuvan virtauksen kehittämisen kannalta, sillä kyseisen ohjauksen avulla voidaan vähentää esimerkiksi odottamiseen kuluvaa aikaa. Tahtiajalla tarkoitetaan niin sanotusti "täydellistä tahtia", jolla tuotannon on tapahduttava vastatakseen keskimääräistä kysyntää. Tilausohjautuvassa tuotannossa vaihtelu on kuitenkin suurta ja volyymit matalia, jolla on vaikutus myös tahtiaikaan. Tahtiajan ohjauksella on kuitenkin mahdollista soveltaa tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä luokittele-

malla tuotteet ensin riittävän läheisten sykliakojen ja ominaisuuksien perusteella "perheisiin". Luokittelu on välttämätön, jotta tahtiajan ohjausta voidaan soveltaa onnistuneesti tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä. (Oluyisola et al. 2016)

Oluyisola et al. (2016) tutkivat tahtiajan ohjauksen soveltamista maailmanlaajuisia raskaiden työntöpotkurijärjestelmien valmistavan yrityksen koneistusosastolla, joka valmistaa tuotteitaan tilausohjautuvasti. Tutkimusryhmä kehitti teoriasta johdettujen oletusten sekä rajoitusten perusteella visuaalisen työkalun pullonkaulaksi tunnistetun koneistusosaston työpisteen suunnitteluun sekä ohjaukseen tapausyrityksessä. Taulukkolaskentasovelluksen avulla kehitetyn työkalun keskeinen vaatimus oli valittuun tahtiasetukseen perustuva jaksollinen jakelujärjestys, joka varmistaa tahdistetun virtauksen.

Lopputuloksena saatu työkalu antaa viitteen siitä, milloin työ tulisi vapauttaa tehtaalle, ja samalla työkalu toimii seuranta-alustana tehtaan hallinnassa. Tutkimuksessa kehitetty menetelmä on kuitenkin vielä kehityksen alkuvaiheessa, mutta menetelmän käytön avulla on kuitenkin havaittu jo järjestelmien vakauden lisääntymistä tutkitulla pilottilinjalalla tapausyrityksessä mahdollistaen korkeavariointiasteisten matalavolyymisten tuotteiden tahtipohjaisen valmistuksen. Lisäksi ohjauksen avulla voidaan saavuttaa pienempi sykli aika sekä tehostaa tuotteiden valmistusta. (Oluyisola et al. 2016)

Oluyisola et al. (2016) tutkimuksessa saavuttamat tulokset, kuten vakauden lisääntyminen, lyhyemmän sykliajan saavuttaminen sekä tuotteiden valmistuksen tehostuminen ovat tärkeitä tekijöitä jatkuvan parantamisen kannalta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä, jossa kysyntä vaihtelee. Tutkimuksessa kehitetyn menetelmän avulla voidaan todennäköisesti ennaltaehkäistä myös tulevia haasteita tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä, sillä tahdistettu virtaus antaa yritykselle realistisemmän näkemyksen siitä, kuinka kauan tuotteen todellinen valmistus kestää. Näin työntekijöitä ei tulla kuormittaneeksi liikaa, mutta toisaalta menetelmä poistaa myös turhan odottamisen tuotantolinjalalla, sillä molemmat tekijät vaikuttavat negatiivisesti jatkuvaan virtaukseen.

Yhteenveto

Edellä mainittujen tietojen perusteella Jidokaa, Heijunkaa, vetojärjestelmiä sekä tahtiajan ohjausta on mahdollista hyödyntää jatkuvan virtauksen kehittämisessä tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä. Kyseisistä menetelmistä on esitetty yhteenveto alapuolella olevassa taulukossa 4.

Taulukko 4. Yhteenveto Lean-menetelmistä/-tekniikoista jatkuvan virtauksen näkökulmasta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä.

Menetelmä/ tekniikka	Menetelmän/ tekniikan perusta	Menetelmän käyttöön liitty- vät edut jatku- van virtauksen näkökulmasta	Sovellus- kohde
Andon-järjestelmä	Vian havaitessa koko yksikön toiminnan pysäyttäminen, 'Gemba'-kävely ja juurisyiden tunnistus sekä poisto	Tarkat ja yksityiskohtaiset tiedot tuotannossa esiintyvistä häiriöistä sekä tuotannon tehokkuuden lisääntyminen	Tilausohjautuva tuotantoympäristö (kaikki yritykset)
Heijunka	Tuotannon tasoittaminen minimoimalla kuormituseroja työpisteillä sekä poistamalla hukkaa	Hukan määrän väheneminen sekä ylikuormituksen, laatuongelmien ja tuotannon häiriöiden ennaltaehkäisy, läpimenoaikojen lyheneminen sekä vakauden lisääntyminen tuotantoprosessissa	Perinteisiä tuotantotoimitusmenetelmiä on mahdollista hyödyntää vain toistuvissa tuotantoympäristöissä, joissa tuotevalikoima on rajoitettu
Vetojärjestelmä	Materiaalinohjausjärjestelmiä, joiden tavoitteena on kontrolloida tilausten läpimenoaikoja työkuorman rajoittamisen avulla tuotannossa	Keskimääräisen läpimenoajan lyheneminen sekä tilausten keskimääräisen ajan vähentyminen tuotannossa	Tilausohjautuvat tuotantoympäristö kolmen yksiköpohjaisen vetojärjestelmän, CON-WIP, m-CON-WIP sekä POLCA, osalta
Tahtiajan ohjaus	Määrittää tahdin, jolla tuotannon on tapahduttava vastatakseen keskimääräistä kysyntää	Odotusajan väheneminen, järjestelmän vakauden lisääntyminen, lyhyempi sykli aika, tuotteiden valmistuksen tehostumien	Menetelmän hyödyntäminen tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä edellyttää tuotteiden luokittelua sykli aikojen ja ominaisuuksien perusteella "perheisiin"

2.5 Synteesi

Tuotannossa esiintyvät häiriöt ovat merkittäviä jatkuvaa virtausta heikentäviä tekijöitä. Erityisesti tilausohjautuvaan tuotantoympäristöön liittyy monia epävarmuustekijöitä, kuten kiiretilaukset, jotka ovat uhka jatkuvalla virtaukselle. Täten tuotannon häiriöiden hallitseminen erityisesti tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä on hyvin tärkeää. Häiriöiden hallinta kuitenkin edellyttää yrityksen sisällä yhtenäistä käsitystä häiriöiksi luokiteltavista tekijöistä sekä häiriöiden juurisyiden tunnistusta ja niiden poistamista.

Jatkuvaa virtausta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä on mahdollista kehittää esimerkiksi tuotannon ajanhallinnan avulla sekä perinteisten Lean-menetelmien/-tekniikoiden ja erilaisten tietojärjestelmien sekä Excel-tilukkolaskennan avulla. Tuotannon ajanhallinnan huomioiminen on hyvin tärkeää niin tuotannon ajoituksiin liittyvien häiriöiden välttämisen kuin jatkuvan virtauksen näkökulmasta, ja se voidaan nähdä tietynlaisena perustana muille jatkuvan virtauksen parantamisen menetelmille. Esimerkiksi Parkinsonin laki on hyvin yleinen muun muassa tilausohjautuvassa tuotannossa esiintyvä ilmiö, jonka poistaminen on mahdotonta, mutta sen huomioiminen on sitäkin tärkeämpää. Yritysten tulisi siis olla tietoisia, kuinka kauan tuotteiden valmistus todellisuudessa kestää, jotta tuotanto olisi mahdollisimman tehokasta. Ennen tarkkaa tietoa tuotteiden valmistuksen todellisesta kestästä voi olla jopa haitallista tai hyödyttömiä soveltaa tietojärjestelmiä ja Excel-tilukkolaskentaa sekä Lean-menetelmiä/-tekniikoita jatkuvan virtauksen parantamiseen tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä

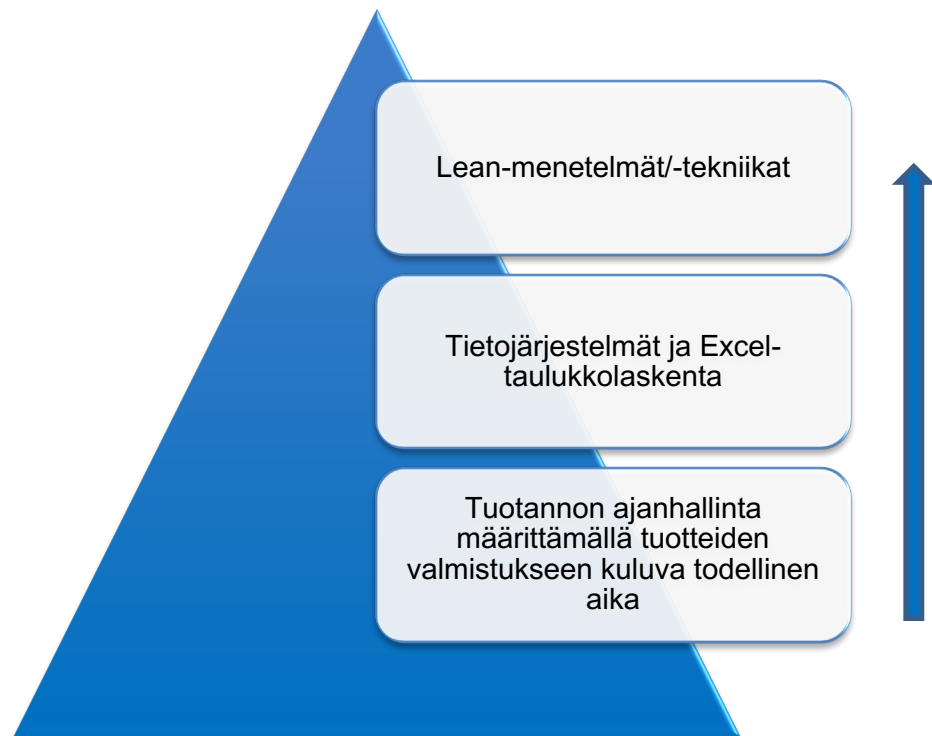
Tuotannon ajanhallintaan liittyvät myös erilaiset tietojärjestelmät, kuten ERP- ja APS-järjestelmät sekä Excel-tilukkolaskenta. Menetelmien käytön tavoitteena luoda mahdollisimman virtaava tuotanto, jossa esimerkiksi odottamista olisi tuotantolinjoilla mahdollisimman vähän. ERP-järjestelmien avulla voidaan parantaa esimerkiksi näkyvyyttä tuotannossa, ja lisäksi järjestelmä mahdollistaa reaaliaikaisen tietojen saatavuuden. ERP-järjestelmä ei kuitenkaan tue rajallisen kapasiteetin suunnittelua ja sen avulla ei ole mahdollista luoda yksityiskohtaista suunnitelmaa. ERP-järjestelmän tukena tuotannosuunnittelussa ja ajoituksessa voidaan kuitenkin hyödyntää ERP-järjestelmään integroitavaa APS-järjestelmää, jonka avulla on mahdollista ennaltaehkäistä sekä vähentää edellä mainittuja ERP-järjestelmään avulla tehtävään tuotannosuunnitteluun ja ajoitukseen liittyviä haasteita. APS-järjestelmät kykenevät huomioimaan myös materiaalien saatavuuden sekä muut tuotannon resurssit suunnitteluvaiheessa.

Excel-tilukkolaskenta voidaan nähdä myös yhtenä vaihtoehtona tuotannosuunnittelun sekä ajoituksen, ja siten jatkuvan parantamisen osalta. Excel-tilukkolaskenta on edullinen vaihtoehto korvaamaan ERP-järjestelmään liittyvät kapasiteettiongelmia,

mutta taulukkolaskennan käyttämisestä tuotannosuunnittelussa ja ajoituksessa sekä jatkuvan virtauksen osalta muodostuu kuitenkin uusia haasteita. Ylimääräisten ja muihin järjestelmään integroimattomien taulukoiden hyödyntäminen aiheuttaa usein osastojen välille ylimääräistä kommunikointia ja lisäksi erilliset taulukot hankaloittavat kokonaiskuvan muodostamista.

Lean-menetelmät/-tekniikat ovat myös yksi kokonaisuus jatkuvan virtauksen parantamiseen tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä edellyttäen, että tuotannon ajanhallinta on kunnossa. Lean-menetelmistä/-tekniikoista Andon-järjestelmä keskittyy parantamaan jatkuvaa virtausta häiriöiden juurisyiden selvittämisen ja sitä kautta häiriöiden vähentämisen avulla. Heijungan avulla taas voidaan tasoittaa tuotantoa minimoimalla kuormituseroja työpisteillä ja näin vähentää hukan määrää tuotannossa. Vetojärjestelmien tavoitteena on kontrolloida tilausten läpimenoaikoja työkuorman rajoittamisen avulla tuotannossa, jolloin voidaan lyhentää esimerkiksi keskimääräisiä läpimenoaikoja. Tahtiajan ohjausmenetelmän tavoitteena on määrittää tahti, jolla tuotannon on tapahduttava vastatakseen keskimääräistä kysyntää, ja menetelmää hyödyntämällä voidaan vähentää esimerkiksi odotusaikaa tuotannossa. Andon-järjestelmä, Heijunka, vetojärjestelmät sekä tahtiajan ohjaus ovat kuitenkin enemmän niin sanotusti tuotannon "hie-nosäätöä", eli tuotannon ajanhallinnan pitäisi olla ensin kunnossa, jotta kyseisten menetelmien avulla edistetään eikä vaaranneta jatkuvaa virtausta.

Välipäätelmänä voidaan siis todeta, että kehittääkseen jatkuvaa virtausta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä tulisi ensin kiinnittää huomiota tuotannon ajanhallintaan määrittämällä tuotteiden valmistukseen kuluva todellinen aika. Tuotteiden valmistukseen kuluvien todellisten aikojen määrittäminen on välttämätöntä, jotta tuotteiden optimaalinen ajoittaminen tietojärjestelmien avulla on mahdollista. Tämä luo siten perustan jatkuvan virtauksen kehittämiseksi tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä, ja se on esitetty kuvassa 5 pyramidin alimpana tasona.



Kuva 5. Yhteenveto jatkuvan virtauksen kehittämisestä tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä. Jatkuvan virtauksen kehittäminen tulisi aloittaa pyramidin pohjalta ja tämän jälkeen edetä keskitason kautta huipulle.

Tuotteiden valmistukseen kuluvien todellisten aikojen määrittämisen jälkeen jatkuvaa virtausta on mahdollista kehittää tietojärjestelmien sekä Excel-taulukkolaskennan avulla, eli siirtyä kuvan 5 pyramidissa keskitasolle. Tietojärjestelmien sekä Excel-taulukkolaskennan avulla tuotanto voidaan ajoittaa mahdollisimman optimaalisesti esimerkiksi odottaminen minimoiden, ja täten parantaa jatkuvaa virtausta. Tämä voidaan tehdä integroimalla muun muassa APS-järjestelmä ERP-järjestelmään, jotta tuotannon suunnittelun avulla luotu suunnitelma olisi mahdollisimman realistinen ja toteutettavissa oleva. Myöhemmin jatkuvaa virtausta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä voisi tehostaa erilaisten Lean-menetelmien/-tekniikoiden avulla, jotka ovat esitetty kuvassa 5 pyramidin huipulla. Lean-menetelmien/-tekniikoiden, kuten esimerkiksi Heijungan avulla voidaan keskittyä niin sanotusti "hienosäätöön", kuten tuotannon tasoittamiseen, mutta tämä edellyttää, että tiedetään tuotteiden valmistukseen kuluva todellinen aika. Lisäksi Lean-menetelmien/-tekniikoiden hyödyntäminen edellyttää sekä toimivaa että reaaliaikaista tietojärjestelmää tai Excel-taulukkolaskentapohjaa, jossa tuotannon ajoituksia voidaan tehdä.

3. TUTKIMUSMETODOLOGIA

Tässä luvussa tarkastellaan tutkimuksessa käytettyä tutkimusmetodologiaa. Ensimmäisessä alaluvussa esitellään tutkimuksessa käytetty tutkimusfilosofia sekä metodologiset valinnat. Tätä seuraa tutkimusympäristön tarkastelu, eli millaiseen kontekstiin tutkimus asettuu tutkimuksen kohdeyhteyden osalta. Tutkimusympäristön tarkastelun jälkeen luvussa esitellään tutkimuksen tiedonkeruumenetelmät sekä se, kuinka kyseisillä menetelmillä saadut tiedot ovat analysoitu. Luku päättyy tutkimuksen metodologian reliabiliteetin sekä validiteetin tarkasteluun.

3.1 Tutkimuksen suunnittelu ja tutkimusstrategia

Tämän tutkimuksen tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi on tehtävä tiettyjä tutkimukseen liittyviä päätöksiä. Päätöksenteon tukemiseen on hyödynnetty Saunders et al. (2019, s. 130) luomaa 'tutkimussipulia', joka koostuu kuudesta eri kerroksesta kuvaten analyysimenetelmien ja tiedonkeruutekniikoiden valinnan taustalla olevia kysymyksiä. Kerrokset uloimmasta sisimpään ovat tutkimusfilosofia, lähestymistapa teorian kehittämiseen, metodologinen valinta, tutkimusstrategia, aikahorisontti sekä tiedonkeruu- ja analysointitekniikka. Alapuolella olevaan taulukkoon 5 ovat koottu tässä tutkimuksessa käytetty tutkimusfilosofia sekä metodologiset valinnat.

Taulukko 5. Yhteenveto tässä tutkimuksessa käytetystä tutkimusfilosofiasta sekä metodologisista valinnoista.

Tutkimusfilosofia	Pragmatismi
Lähestymistapa teorian kehittämiseen	Deduktiivinen
Metodologinen valinta	Monimenetelmätutkimus
Tutkimusstrategia	Tapaustutkimus
Aikahorisontti	Poikittaistutkimus
Tiedonkeruutekniikka	Avoimet haastattelut, osallistuva havainnointi, yrityksen laadunhallintaan liittyvät seurantajärjestelmät
Tiedon analysointitekniikka	Luokittelu

Tutkimusfilosofian osalta tämä tutkimus pohjautuu pragmatismiin, sillä tämän tutkimuksen tavoitteena on löytää konkreettinen ratkaisu jatkuvan virtauksen parantamiseen tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä vähentäen samalla tuotannossa esiintyviä häiriöitä. Tämä on tyypillistä pragmatismille, sillä pragmaatikko määrittelee tutkimuksen alkavan ongelmasta ja pyrkii tämän jälkeen tarjoamaan käytännön ratkaisuja menetelmien kehittämiseen tulevaisuudessa (Saunders et al. 2019, s. 151).

Tämän tutkimuksen tutkimuskysymyksiä lähestytään teorialähtöisesti deduktiivisen lähestymistavan avulla. Teorialähtöinen lähestymistapa näkyy tässä tutkimuksessa muun muassa tuotannossa esiintyvien häiriöiden luokittelussa, sillä yrityksessä esiintyvien häiriöiden luokittelu perustuu tieteellisessä kirjallisuudessa esitettyihin teorioihin. Deduktiivisessa lähestymistavassa lait muodostavat tutkimusaineistolle perustaa sekä mahdollistavat ilmiöiden ennustamisen ja siten myös niiden hallinnan (Saunders et al. 2019, s. 153).

Tässä tutkimuksessa esitettyihin tutkimuskysymyksiin pyritään vastaamaan monimenetelmätutkimuksella kerättyjen tietojen avulla. Monimenetelmätutkimuksessa yhdistyvät sekä määrälliset että laadulliset tiedonkeruutekniikat (Saunders et al. 2019, s. 181). Laadullisina tiedonkeruutekniikoina tässä tutkimuksessa käytetään avoimia haastatteluja sekä osallistuvaa havainnointia ja määrällisinä tiedonkeruutekniikoina yrityksen laadunhallintaan liittyviä seurantajärjestelmiä.

Avoimia haastatteluja sekä osallistuvaa havainnointia hyödynnetään tässä tutkimuksessa saadakseen tarkempaa tietoa esimerkiksi tietyistä häiriötyypeistä sekä tutkimusympäristöstä eli Kone Industrialin eräästä tehtaasta. Tutkimus pohjautuu kuitenkin tehtaalla hieman yli vuoden aikana kerättyyn häiriöilmoitusaineistoon. Lisäksi tiedon analysointitekniikoiden osalta työssä käytetään luokittelua, jota hyödynnetään muun muassa häiriöiden laadulliseen ja määrälliseen luokitteluun.

Tutkimusstrategian osalta tämä tutkimus perustuu tapaustutkimukseen, jossa tapauksena tarkastellaan Kone Industrialin tehtaan tuotantoprosessia tuotannon häiriöiden osalta aikavälillä 09/2020–10/2021. Tapaustutkimuksen tavoitteena on ymmärtää tutkitavan aiheen dynamiikkaa sen ympäristössä tai kontekstissa, eli toisin sanoen tutkia tapauksen kohteen ja sen kontekstin välistä vuorovaikutusta (Eisenhardt 1989; Eisenhardt & Graebner 2007; Saunders et al. 2019, s. 196).

Ajallisesti tarkasteluna tässä tutkimuksessa on kyseessä poikittaistutkimus, sillä tämän tutkimuksen osalta tuotannossa ilmeneviä häiriöitä tarkastellaan hieman reilun vuoden ajalta eli vuoden 2020 syyskuusta vuoden 2021 lokakuuhun. Poikittaistutkimukselle tyypillistä on tutkia ilmiötä tietynä ajanjaksona (Saunders et al. 2019, s. 212).

3.2 Tutkimusympäristö

Tässä diplomityössä keskitytään tarkastelemaan hissejä valmistavan Kone Industrial Oy:n erästä tehdasta, jossa tuotteet valmistetaan tilausohjautuvasti asiakkaiden vaatimusten perusteella. Tarkasteltava tehdas muodostuu viidestä tuotantolinjasta, joista tuotantolinjan 1 toiminta on lähes täysin automatisoitu. Kyseisellä suurivolyymisella tuotantolinjalla valmistetaan yrityksen kolmea pienentä tuotetyppiä, ja linjalla tuotteen kokoonpanon päävaiheet sekä laadunvalvonta ovat automatisoitu. (Kone Industrial Oy 2020)

Tuotantolinjan 7 valmistus on keskittynyt tuotteiden turvakomponenttien valmistukseen ja tuotantolinjalla 3 taas valmistetaan yrityksen suurimmat tuotetyypit solupohjaisen tuotantoprosessin avulla. Tuotantolinjoilla 2 ja 4 tapahtuu keskisuurten tuotetyyppien valmistus, ja kyseiset tuotantolinjat noudattavat lähes samanlaista tuotantoprosessia, mutta linjat eroavat toisistaan automatisoinnin osalta. Osa tuotantolinjan 4 tuotantoprosessin vaiheista on automatisoitu, mutta tuotantolinjalla 2 tuotanto on manuaalista. Tämä johtuu tuotantolinjalla 2 valmistettävien tuoteversioiden suuresta määrästä. (Kone Industrial Oy 2020)

3.3 Tietojen kerääminen

Tutkimuksen tiedonkeruumenetelminä käytettiin tarkastellun tehtaan laadunhallintaan liittyviä seurantajärjestelmiä, avoimia haastatteluja sekä osallistuvaa havainnointia. Eräs tutkimuksessa hyödynnetty tehtaan laadunhallintaan liittyvä seurantajärjestelmä on häiriöiden seurantajärjestelmä, jota ylläpidetään MES-järjestelmässä, ja johon tuotantolinjoilla ilmenevät häiriöt kirjataan häiriötilanteessa. Kyseisestä järjestelmästä tiedot siirtyvät tehtaan omalle SharePoint-sivustolle, josta myös tässä tutkimuksessa oleva häiriöihin liittyvä aineisto on ladattu.

MES-järjestelmään tuotantolinjalla esiintyvistä häiriöistä kirjataan seuraavat tiedot: työasema, myyntitilauksen numero, häiriön kirjaamisaika, häiriöilmoituksen tekijä, häiriökategoria ja häiriökuvaus. Häiriö tulee kirjata oikeaan häiriökategoriaan, koska häiriöilmoituksen laatimisen jälkeen häiriöstä lähtee ilmoitus kyseistä kategoriaa hoitaville työntekijöille. Täten on siis tärkeää, että häiriöilmoitus kohdistetaan oikein, jotta häiriöilmoitus saavuttaa häiriötilanteen ratkaisun kannalta keskeiset henkilöt mahdollisimman nopeasti. Häiriöiden luokittelun avuksi jokaisen tuotantolinjan työpisteeltä löytyvät ohjeet siihen, kuinka häiriöt kuuluvat MES-järjestelmässä luokitella.

Kun häiriöilmoitus on tehty, häiriöilmoitukseen osoitetusta ryhmästä työntekijä käy kuitaamassa häiriöilmoituksen rekisteröidyksi. Tämän jälkeen kyseinen henkilö kehittää

itse tai muiden avustuksella pikaratkaisun, merkitsee häiriön juurisyyn sekä korjaavat toimenpiteet, mikäli juurisyyn on heti selvillä. Muussa tapauksessa häiriön selvittämistä jatketaan. Edellä mainittujen lisäksi järjestelmään päivitetään myös häiriöilmoituksen status, eli onko häiriöilmoitus esimerkiksi jo käsitelty vai odottaako häiriö vielä jonkinlaisia toimenpiteitä. Tehtaalla ei siis varsinaisesti ole käytössä Lean-filosofian Jidoka-menetelmään perustuvaa Andon-järjestelmää, vaikka yrityksessä häiriöilmoituksia nimitetään 'andoneiksi'. Siten esimerkiksi häiriöiden ilmetessä tuotantolinjaa ei pysäytetä eikä tuotantolinja pysähdy itsenäisesti, mikäli häiriö ei itsessään johda linjan pysähtymiseen. Täten siis tässä tutkimuksessa häiriöilmoituksista ei käytetä termiä 'andon'.

Tarkastellun tehtaan laadunhallintaan liittyvän häiriöiden seurantajärjestelmän avulla tässä tutkimuksessa saatiin tarkempaa tietoa häiriöiden sisällöstä sekä sijainnista. Aineiston käsittely aloitettiin aineiston puhdistamisella, jolloin 1163 häiriöilmoituksesta poistettiin testiksi luodut häiriöilmoitukset, päätuotantolinjoihin kuulumattomat häiriöilmoitukset sekä puutteellisesti luodut häiriöilmoitukset, joiden tulkitseminen oli mahdollonta. Lisäksi häiriöilmoitusaineistosta poistettiin erilaiset kehitysehdotukset, jotka eivät liittyneet tuotannon häiriöihin. Aineiston puhdistuksen jälkeen analysoitavia häiriöilmoituksia jäi jäljelle 1134 kappaletta. Aineistosta poistettiin myös tutkimuksen kannalta merkityksettömiä tietoja, kuten esimerkiksi nimitiedot sekä myyntitilausnumerot. Häiriöilmoitusaineistoon jätettiin yleiskuvan muodostamiseksi tuotantolinjalla 5 ilmenneet häiriöt, vaikka tuotanto lopetettiin kyseisellä tuotantolinjalla kesällä 2021, ja linja ei siten ole enää käytössä.

Toinen tarkastellun tehtaan laadunhallintaan liittyvä seurantajärjestelmä, jota tutkimuksessa hyödynnettiin, oli tuotantotilausten toimituksiin liittyvät seurantataulukot, joiden tiedot ovat ajettu tehtaan SAP-järjestelmästä. Kyseisistä seurantataulukoista on mahdollista havaita muun muassa tilauksien suunnitellut tuotannon lopetuspäivämäärät eli Scheduled Finish Date (SFD)-päivät sekä tilauksien todellinen valmistumispäivä. Tuotannon ajoitusten täsmällisyyden tarkastelua pidettiin tämän tutkimuksen kannalta tärkeänä, sillä kyseisen tarkastelun avulla saatiin tietoa tehtaan jatkuvan virtauksen toimivuudesta.

Toinen tämän tutkimuksen tiedonkeruumenetelmistä olivat avoimet haastattelut, joita tässä tutkimuksessa käytettiin apuna saamaan lisätietoa tietyistä ennalta pohdituista häiriöihin liittyvistä aihealueista. Haastatteluissa keskusteltiin muun muassa tuotannossa esiintyvistä häiriöistä, ja haastateltavaa pyydettiin esimerkiksi kertomaan haastattelijalle tuotantolinjoilla laajasti esiintyneestä QR-koodiongelmasta, joka oli haastattelijalle jonkin verran entuudestaan tuttu, mutta haastattelu auttoi haastattelijaa kyseisen häiriön kokonais kuvan luomisessa.

Muita teemoja haastatteluissa olivat muun muassa tehtaalla esiintyneet materiaalin laatuun ja tuotannosuunnitteluun liittyvät haasteet. Materiaalin laatuun liittyvän haastattelun osalta haastateltava kertoi haastattelussa muun muassa tehtaalla tämänhetkisestä häiriötilanteesta materiaalin laadun osalta. Haastateltavan mukaan häiriöitä aiheuttaa muun muassa tiettyjen toimittajien tekemät toistuvat virheet. Haastateltavan mukaan materiaalin laatuun liittyviä häiriöitä pyritään kuitenkin jatkuvasti ennaltaehkäisemään, ja eräs haastateltavan mainitsemista menetelmistä on koko tehtaalla laadunhallinnan yhtenäistäminen.

Tuotannosuunnittelun ja ajoitusten haasteisiin liittyvien haastattelujen osalta haastateltavaa pyydettiin kertomaan nykytilanteesta sekä haasteista, joita tuotannosuunnittelun osalta on koettu. Haastateltavat kertoivat myös omia ajatuksiaan ja toiveitaan kyseisten haasteiden ratkaisemiseksi. Haastateltavien mukaan häiriöitä aiheuttavat muun muassa heikko näkyvyys ja kommunikointi osastojen välillä sekä yhtenäisen kommunikointivälineen puuttuminen. Erään haastateltavan mukaan yksi potentiaalinen ratkaisu voisi APS-järjestelmän käyttöönotto.

Haastattelut suoritettiin yksilöhaastatteluina joko kasvotusten tehtaalla tai Microsoft Teamsin välityksellä aikavälillä 27.10.2021–25.01.2022, ja haastatteluista tehtiin yhteensä 8 kappaletta. Haastattelija laati haastatteluista muistiinpanot joko haastattelun aikana tai sen jälkeen haastattelun pituudesta riippuen. Kaikki tutkimuksessa suoritettut haastattelut ovat koottu alapuolella olevaan taulukkoon 6.

Taulukko 6. Yhteenveto tutkimuksessa suoritetuista haastatteluista.

Aihe	Haastattelu- tapa	Haastateltava	Haastatte- lun kesto
Tuotannon häiriöt	Kasvotusten	Production Manager	27 min
Tuotannosuunnittelu ja ajoitukset	Kasvotusten	Production Schedu- ler	18 min
Materiaalin laatu	Microsoft Teams	Material Manage- ment Manager	29 min
Tuotannosuunnittelun ke- hittäminen	Kasvotusten	Production Manager	30 min
Häiriöilmoitusten läpikäynti	Microsoft Teams	Test Engineer	12 min
Tuotannon häiriöilmoitukset	Kasvotusten	Production Team Leader	18 min
Tuotantoympäristö	Microsoft Teams	Production Supervi- sor	26 min
Tuotantoympäristö	Kasvotusten	Production Manager	30 min

Avoimien haastatteluiden lisäksi tutkija suoritti tutkimuksessa osallistuvaa havainnointia sekä tehtaan aamu- että tuotantopalavereissa. Havainnointia suoritettiin aikavälillä 24.05.2021–31.01.2022. Tehtaan aamupalavereja kertyi havainnointiaikavälillä 136 kappaletta ja tuotantopalavereja 35 kappaletta. Tehtaan aamupalavereissa käsiteltiin muun muassa edellisen päivän tuotantolinjojen toteumat, tuotantolinjoilla esiintyneet häiriöt sekä mahdolliset muut akuutit asiat. Tuotantolinjoilla esiintyviä häiriöitä tarkasteltiin aamupalavereissa karkealla tasolla, eli palaverissa pyrittiin tunnistamaan esiintynyt häiriö ja löytämään häiriön poistamiseen tai ennaltaehkäisyyn soveltuvat toimenpiteet. Palavereissa siis käsiteltiin samaa häiriöilmoitusaineistoa, joka toimi myös tämän tutkimuksen pohja-aineistona.

Aamupalavereissa tutkija havainnoi tuotannon häiriöihin liittyviä keskusteluja, eli millaisia häiriöitä tuotannossa oli havaittu ja millaisilla menetelmillä häiriötilanteet olivat mahdollisesti ratkaistu. Havainnoinnin tarkoituksena oli muodostaa kokonaiskuva häiriöiden esiintymisestä ja niiden käsittelystä sekä saada mahdollisesti lisätietoa häiriöistä.

Tehtaan tuotantopalavereissa käsiteltiin muun muassa tehtaan edellisen viikon tapahtumat, kuten suorituskykymittarien tulokset esimerkiksi toimitustäsmällisyyden ja tuottavuuden osalta sekä tuotantolinjojen tavoitteet, toteumat, kapasiteetti ja häiriöilmoitukset. Tuotantopalaveri muistutti siten hyvin paljon aamupalaveria, mutta tuotantopalavereissa tarkasteltiin koko edeltävän viikon tapahtumia sekä kerran kuukaudessa myös edellisen kuukauden tapahtumia.

Tuotantopalavereissa havainnointikohteet ja havainnoinnin tarkoitus olivat hyvin samanlaisia kuin aamupalavereissa, eli tuotannon häiriöt ja häiriötilanteiden ratkaisumenetelmät olivat keskiössä. Lisäksi tuotantopalavereissa tutkija havainnoi myös tuotannon ajoituksen täsmällisyyteen liittyvää keskustelua, jonka tarkoituksena selventää tutkijalle, miksi tiettyjä tilauksia ei ollut valmistettu suunniteltuun SFD-päivään mennessä.

3.4 Tietojen analysointi

Kone Industrialin tehtaan häiriöilmoitusaineiston analysointi aloitettiin tarkastelemalla häiriöilmoituksia tuotantolinjakohtaisesti häiriöilmoitusten lukumäärän sekä prosentuaalisen osuuden perusteella. Häiriöt siis jaoteltiin ensin tuotantolinjoittain ja tämän jälkeen laskettiin tuotantolinjakohtaisesti häiriöiden määrät. Häiriöiden tuotantolinjakohtaisen jaottelun ja lukumäärän laskemisen tarkoituksena oli saada yleiskuva häiriöiden lukumäärällisestä jakautumisesta.

Lisäksi tutkimuksessa laskettiin myös tuotantolinjakohtaisesti häiriöiden prosentuaalinen osuus kaikista kyseisellä tuotantolinjalla tuotetuista tuotteista. Laskennan ensimmäisenä tavoitteena oli saada tarkempi kuvaus siitä, esiintykö häiriöitä kaikilla tuotantolinjoilla. Tämän tuloksen avulla voitiin tehdä päätös siitä, onko tutkimuksessa kehitetyn ratkaisun minimoitava häiriöitä vain yksittäisellä/yksittäisillä tuotantolinjoilla vai esiintykö häiriöitä merkittäviä määriä kaikilla tuotantolinjoilla. Laskennan toisena tavoitteena oli saada tarkempi kuvaus siitä, millä tuotantolinjalla häiriöitä havaitaan eniten, eli millä tuotantolinjalla jatkuva virtaus on mahdollisesti heikointa. Tämä tieto auttaa myös jatkuvan virtauksen kehitysmenetelmien implementointivaiheessa kohdistamaan huomio ensin tuotantolinjaan, jossa havaitaan eniten häiriöitä.

Häiriöilmoitusten lukumäärällisen sekä prosentuaalisen tarkastelun jälkeen jokainen häiriöilmoitus käytiin läpi yksitellen luokittelemalla häiriöilmoitus häiriökuvauksen perusteella ennalta pohdittuihin häiriöluokkiin, jotka muodostettiin käyttämällä apuna alaluokussa 2.1 esitellyn Bokrantz et al. (2016) suorittamaa häiriöluokittelua. Tämän avulla häiriöt jaettiin kuuteen eri häiriötyyppiin, joista tekniset häiriöt edelleen neljään alaluokkaan ja alaluokan häiriöt vielä kahdeksaan alaluokkaan. Lopulliset häiriöluokkien nimet

tarkentuivat kuitenkin tässä tutkimuksessa analysoitujen häiriöiden perusteella. Luokittelun tarkoituksena oli muodostaa yleiskuva siitä, millaisia häiriöitä tuotantolinjoilla esiintyy, eli millaiset tekijät vaikuttavat heikentävästi tarkastellun tehtaan jatkuvaan virtaukseen sekä kuinka paljon häiriöitä esiintyy häiriöluokkakohtaisesti. Häiriöistä suoritettiin myös tarkempi sisällöllinen tarkastelu esimerkkien avulla, jotta häiriöistä saatiin vielä syvällisempää tietoa.

Edellä mainittujen luokitteluiden lisäksi häiriöilmoitukset luokiteltiin myös häiriön aiheuttajan perusteella tuotantolinjakohtaisesti, eli millaisia häiriöitä kyseisillä tuotantolinjoilla oli esiintynyt ja kuinka paljon. Jaottelun tarkoituksena oli saada selville, mitkä häiriötekijät vaikuttavat heikentävästi eniten kullakin tuotantolinjoilla jatkuvaan virtaukseen, ja esiintyykö kaikkia määriteltyjä häiriöluokkia kaikilla tuotantolinjoilla.

Tutkimuksessa esitetyn tuotannon häiriöiden juurisyysanalyysi suoritettiin mukailien tuotannon häiriöanalyysia. Juurisyys käytiin läpi yksitellen, ja luokittelu tehtiin kirjattuja juurisyitä hyödyntäen. Näin muodostettiin kuusi eri juurisyysluokkaa, joiden määrät laskettiin, ja tuloksista laadittiin Pareto-kuvaaja. Pareto-kuvaajan luomisen tarkoituksena oli havaita, mitkä ovat yleisimmät juurisyys jatkuvaa virtausta heikentäviin häiriöihin.

Toinen tarkastellun tehtaan laadunhallintaan liittyvä seurantajärjestelmä, jota tutkimuksessa analysoitiin häiriöilmoitusaineiston lisäksi, oli tuotantotilausten toimituksiin liittyvät seurantataulukot, joiden avulla voitiin analysoida tuotannon ajoituksen täsmällisyyttä. Tuotannon ajoituksen täsmällisyyden osalta tutkimuksessa analysoitiin tilauksien valmistumisen osumista SFD-päivään nähden, jolloin tilauksen on suunniteltu olevan valmis. SFD-päivä muodostuu tilaukselle automaattisesti SAP-järjestelmässä tietyn logiikan mukaisesti, mutta toisinaan tilauksien SFD-päivää joudutaan siirtämään eli tilausta ajoittamaan uudelleen yhden tai useamman kerran esimerkiksi tuotannon tasapainotuksesta tai materiaalin saatavuushaasteista johtuen. Tutkimuksessa tuotannon ajoituksen täsmällisyyttä tarkasteltiin vuodesta 2019 vuoteen 2021.

Tutkimuksen toisen tiedonkeruumenetelmän, eli avoimien haastatteluiden avulla tutkija pystyi täsmentämään omaa tietämystään häiriöihin liittyen sekä muodostamaan paremman kokonaiskuvan jatkuvaa virtausta heikentävistä tekijöistä. Haastatteluiden analysointivaiheessa haastatteluissa tai niiden jälkeen kirjoitetut muistiinpanot analysoitiin luokittelemalla haastatteluissa esille tulleet aiheet kuuteen eri häiriöluokkaan: materiaalin laatu, tekniset virheet, tuotannonsuunnitteluvirheet, saldivirheet, inhimilliset virheet sekä muut häiriöt. Haastatteluaineistoista etsittiin häiriöihin liittyviä lisätietoja sekä täsmennyksiä, jotka auttoivat hahmottamaan häiriöitä paremmin.

Tutkimuksen kolmannen tiedonkeruumenetelmän, eli osallistuvan havainnoin aikana kerätyt muistiinpanot analysoitiin haastattelumuistiinpanojen tavoin, eli osallistuvassa havainnoinnissa esille tulleet aiheet luokiteltiin kuuteen eri häiriöluokkaan. Osallistuvaan havainnointiin liittyvästä aineistosta etsittiin tekijöitä, jotka tukivat esimerkiksi haastatteluissa esitettyä näkemyksiä sekä tekijöitä, jotka toivat tutkimukseen uutta tietoa. Esimerkiksi siis haastatteluissa esille tulleet tuotannon ajoitukseen liittyvät ongelmat saivat vahvistusta, kun tutkija pystyi itse havaitsemaan samaan aiheeseen liittyviä keskusteluja myös muun muassa aamupalavereissa. Toisaalta aamupalavereissa esitettiin tuotannon ajoituksen osalta myös toisenlaisia näkökulmia esimerkiksi siitä, miksi ajoitukset eivät olleet onnistuneet, jolloin osallistuvan havainnoinnin avulla kerätyssä aineistossa oli myös uudenlaisia näkemyksiä tuotannon häiriöihin liittyen.

3.5 Metodologian reliabiliteetti ja validiteetti

Tämän tutkimuksen tutkimusmenetelmien laadun osalta on tärkeää tunnistaa mahdolliset metodologian reliabiliteettia sekä validiteettia heikentävät tekijät. Reliabiliteetilla eli luotettavuudella viitataan tutkimusmenetelmän sekä käytettyjen mittareiden kykyyn antaa tarkoituksenmukaisia tuloksia (Anttila 2021), eli tavoitteena on, että myös tämän tutkimuksen tulokset olisi mahdollista saavuttaa tutkimussuunnitelman avulla tutkijasta riippumatta erityisesti häiriötarkastelun osalta. Validiteetilla taas viitataan tutkimuksen tulosten yleistettävyyteen, tulosten analyysin tarkkuuteen sekä tutkimuksessa käytettyjen mittareiden tarkoituksenmukaisuuteen (Saunders et al. 2019, s. 214), eli toisin sanoen kuinka pätevä tämä tutkimus on.

Tutkimuksen luotettavuutta uhkaavia tekijöitä ovat esimerkiksi tutkijan tekemät virheet ja ennakkoluulot sekä tutkimukseen osallistuvan tekemät virheet ja ennakkoluulot (Saunders et al. 2019, s. 214). Tutkijan ennakkoluuloilla ja virheillä ei uskota olevan suurta vaikutusta tämän tutkimuksen tuloksiin, sillä tutkimus suunniteltiin ja toteutettiin huolellisesti. Tutkimus on perustunut kuitenkin ihmisen tekemiin havaintoihin ja näkemyksiin koneiden sijaan, jolloin virheet ovat silti mahdollisia.

Tutkimukseen osallistuvien eli haastateltavien virheet ja ennakkoluulot tutkimuksessa ovat mahdollisia. Esimerkiksi tutkimukseen osallistuvilla haastateltavilla on saattanut olla haastatteluiden aikana kiire muihin työtehtäviin, jolloin haastattelun aihetta ei ole ehditty pohtimaan kunnolla ja siten kaikkia näkökulmia huomioida. Myös haastateltavien ennakkoluulot ovat saattaneet vaikuttaa tutkimuksen luotettavuuteen heikentävästi, sillä haastattelut ovat suoritettu ei-anonyymisti, jolloin haastateltavat ovat saattaneet jättää joitakin tietoja kertomatta joko tahallisesti tai tahattomasti.

Tutkimuksen validiteettia uhkaavia tekijöitä ovat muun muassa testaus eli kuinka testaaminen muuttaa esimerkiksi osallistujien toimintaa tutkimuksen aikana, menneet tai viimeaikaiset tapahtumat eli tapahtumat, jotka muuttavat osallistujien käsityksiä sekä kypsyminen, jolla viitataan tutkimuksen ulkopuolella ilmeneviin tekijöihin, jotka vaikuttavat osallistujien käyttäytymiseen tai asenteisiin (Saunders et al. 2019, s. 215). Kyseisten uhkien toteutumisen mahdollisuutta on kuitenkin haastavaa arvioida tämän tutkimuksen osalta, sillä ne vaatisivat huomattavasti syvällisempää tietoa esimerkiksi työn-tekijöistä. Ainoastaan testaus voidaan kokea tässä tutkimuksessa edes jonkinlaisena potentiaalisena uhkana, vaikka sen mahdollisuutta voidaan pitää silti lähes olemattomana. Tämä johtuu siitä, että tutkimuksen pohjana toimiva häiriöilmoitusaineisto on kerätty ennen tutkimusaineistoon liittyviä tarkentavia haastatteluja, jolloin haastatteluiden suorittaminen ei ole muuttanut laadullisesti tai määrällisesti työntekijöiden tapaa esimerkiksi kirjata häiriöilmoituksia.

Tämän tutkimuksen validiteettiin liittyviä uhkia pyrittiin ennaltaehkäisemään hyödyntämällä tutkimuksessa triangulaatiota eli kolmiomittausta. Triangulaatiossa tutkimuksessa hyödynnetään kahta tai useampaa riippumatonta tiedonkeruumenetelmää ja tietolähdetä tutkimusaineiston, analyysin sekä tulokinnan reliabiliteetin sekä validiteetin vahvistamiseksi (Saunders et al. 2019, s. 218). Triangulaatiosta voidaan tunnistaa neljä eri päätyyppiä: tutkijaan liittyvä, tutkimusaineistoon liittyvä, teoriaan liittyvä sekä metodinen triangulaatio (Tuomi & Sarajärvi 2018). Tässä tutkimuksessa triangulaation päätyypeistä on sovellettu tutkimusaineistoon liittyvää, teoriaan liittyvää sekä metodista triangulaatiota.

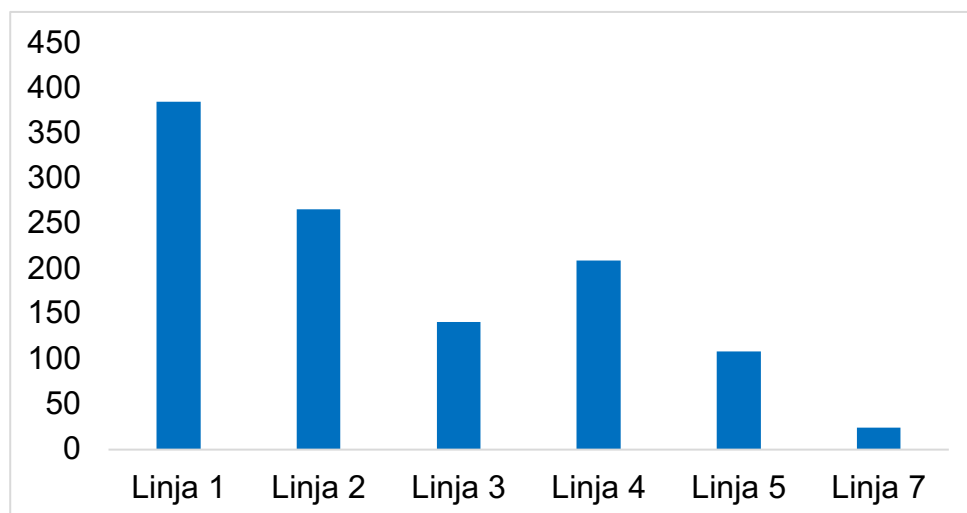
Tutkimusaineistoon liittyvä triangulaatiota on sovellettu tässä tutkimuksessa siten, että tietoja on kerätty tarkastellulla tehtaalla muun muassa operaattoritasolta sekä johtotasolta. Aineiston osalta tutkimuksessa on hyödynnetty esimerkiksi haastatteluja sekä tehtaan laadunhallintaan liittyviä seurantajärjestelmiä. Teoriaan liittyvää triangulaatiota tutkimuksessa on sovellettu tarkastelemalla erityyppisiä, eri vuosilta ja kirjoittajilta olevia tieteellisiä artikkeleita, jotka ovat tarkastelleet samaa asiaa eri näkökulmista. Metodista triangulaatiota taas on sovellettu esimerkiksi keräämällä tehtaan tuotannon häiriöistä tietoa eri tavoin, kuten tehtaan häiriöilmoitusaineiston sekä haastatteluiden avulla.

4. TULOKSET

Tässä luvussa esitellään tutkimuksessa saadut tulokset. Ensimmäinen alaluku käsittelee tuotannossa esiintyneiden häiriöiden sijaintia, eli kuinka häiriöt ovat lukumäärällisesti jakautuneet eri tuotantolinjoilla. Toinen alaluku syventyy tuotannon häiriöilmoitusten jaotteluun, ja kolmannessa alaluvussa tarkastellaan häiriöilmoitusten luokittelua häiriön aiheuttajan perusteella tuotantolinjakohtaisesti. Neljännessä alaluvussa esitellään tuotannon häiriöiden juurisyyanalyysi, ja luku päättyy tuotannon ajoituksen täsmällisyyden tarkasteluun.

4.1 Tuotannon häiriöilmoitusten luokittelu tuotantolinjakohtaisesti häiriöilmoitusten lukumäärään ja prosentuaalisen osuuden perusteella

Tarkastellun tehtaan tuotannossa esiintyneet 1134 häiriötä luokiteltiin ensin tuotantolinjakohtaisesti. Luokittelun tarkoituksena oli selvittää, esiintyykö häiriötä jokaisella tuotantolinjalla, ja jos esiintyy, onko tuotantolinjojen häiriömäärissä merkittäviä eroja. Alapuolella olevassa kuvassa 6 tuotannon häiriöiden lukumäärät aikavälillä 09/2020–10/2021 on esitetty tuotantolinjakohtaisesti. Luokittelussa on myös huomioitu kesällä 2021 käytöstä poistuneen tuotantolinjan 5 häiriöt yleiskuvan hahmottamiseksi.

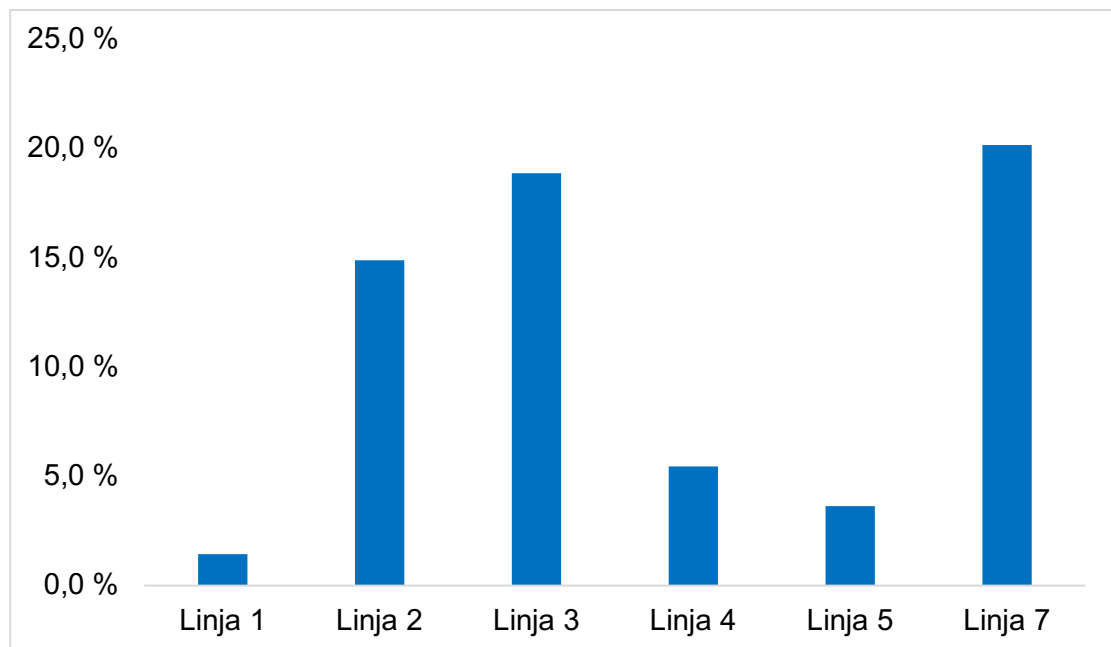


Kuva 6. Tuotannossa aikavälillä 09/2020–10/2021 esiintyneiden häiriöiden lukumäärät tuotantolinjakohtaisesti.

Kuvan perusteella voidaan havaita, että häiriöiden määrä on suurin automaattilinjalla eli tuotantolinjalla 1, jossa häiriöitä havaittiin 385 kappaletta. Toiseksi eniten häiriöitä ha-

vaiettiin tuotantolinjalla 2, jossa häiriöiden määrä oli 266, ja kolmanneksi eniten tuotantolinjalla 4, jossa havaittuja häiriöitä oli 209. Merkittävästi vähiten häiriöitä havaittiin linjalla 7

Häiriöiden linjakohtaisessa lukumäärätarkastelussa on kuitenkin huomioitava, että linjojen tuotantovolyyymeissa esiintyy jonkin verran vaihteluita. Esimerkiksi tuotantolinja 1 on suuren volyymin tuotantolinja, jolloin suuresta tuotantomäärästä johtuen voidaan olettaa, että myös häiriöitä esiintyy kyseisellä linjalla enemmän kuin esimerkiksi pienivolyyymisellä tuotantolinjalla 7. Tästä johtuen alapuolella olevassa kuvassa 7 luokittelu on tehty huomioiden häiriöiden prosentuaalinen määrä kaikista kyseisen linjan tuotantotilauksista samalla aikavälillä, jotta tuotantolinjojen keskinäinen vertailu olisi luotettavampaa.



Kuva 7. Häiriöiden prosentuaalinen osuus kaikista kyseisen tuotantolinjan tilauksista tuotantolinjakohtaisesti aikavälillä 09/2020–10/2021.

Tuotannon häiriöiden linjakohtainen prosentuaalinen tarkastelu osoittaa, että häiriöiden määrä on suurin tuotantolinjalla 7 suhteutettuna linjan tuotantomäärään. Toiseksi eniten häiriöitä esiintyi tuotantolinjalla 3 ja kolmanneksi eniten tuotantolinjalla 2. Vähiten häiriöitä suhteessa tuotantotilausten määrään havaittiin tuotantolinjalla 1, jossa häiriöiden prosentuaalinen osuus oli 1,4 %.

4.2 Tuotannon häiriöilmoitusten jaottelu sisällön perusteella

Tuotannon häiriöiden sijaintiin perustuvan luokittelun lisäksi tarkastellulla aikavälillä 09/2020–10/2021 esiintyneet häiriöt jaoteltiin kuuteen eri luokkaan häiriön havaittajan

kirjoittaman häiriökuvauksen perusteella. Häiriötyypit häiriökuvauksineen löytyvät alapuolella olevasta taulukosta 7. Myös tässä luokittelussa huomioitiin käytöstä poistuneen tuotantolinjan 5 häiriöt.

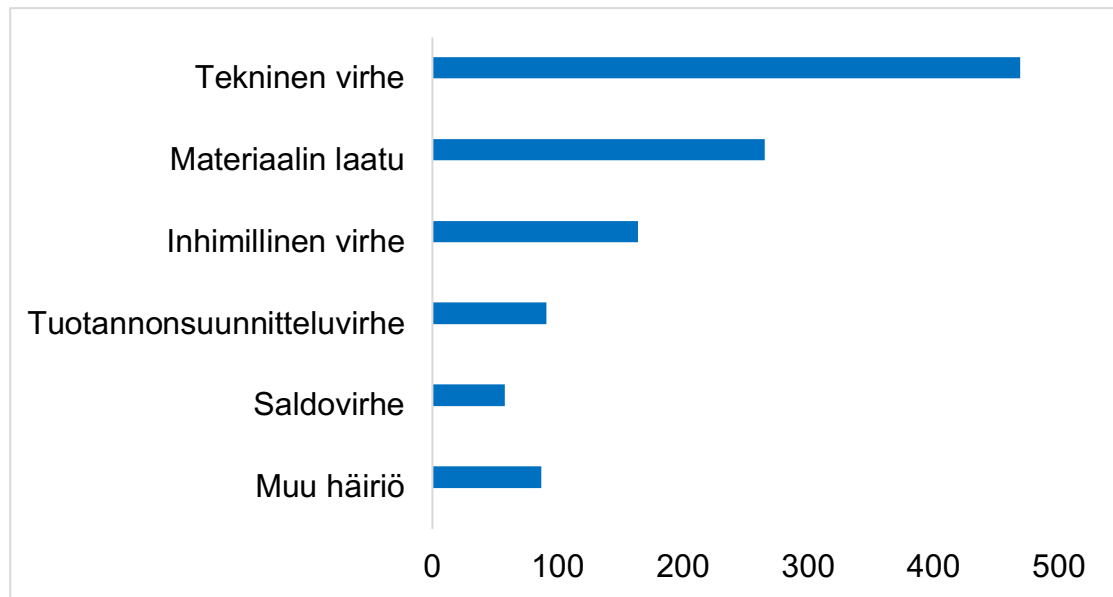
Taulukko 7. *Tarkastellun tehtaan tuotannossa esiintyneet häiriötyypit häiriökuvauksineen.*

Häiriötyyppi	Häiriökuvaus
Materiaalin laatu	Materiaalin heikosta laadusta aiheutuvat häiriöt
Tekninen virhe	Tilaus-, laite- tai ohjelmistotekninen virhe
Tuotannosuunnitteluvirhe	Kaikki tuotannosuunnittelun eri vaiheisiin liittyvät virheet
Saldovirhe	Saldovirheiden aiheuttamat häiriöt
Inhimillinen virhe	Ihmisen suorasta toiminnasta aiheutuva inhimillinen häiriö
Muu häiriö	Luokittelemattomat yksittäiset häiriöt

Materiaalin laatuun liittyviksi häiriöksi luokiteltiin tapaukset, joissa häiriö syntyi selkeästi heikon materiaalin laadun vuoksi. Tekniseksi virheeksi luokiteltiin tilaus-, laite- sekä ohjelmistotekniset häiriöt. Tällaisiin häiriöihin kuuluivat esimerkiksi SAP-järjestelmässä oleviin tilauksiin liittyvät häiriöt, kiinteisiin tai irrallisiin tuotantolaitteisiin liittyvät häiriöt sekä eri ohjelmistoihin, kuten SAP-järjestelmään itsessään liittyvät häiriöt. Kolmanteen häiriötyyppiin eli tuotannosuunnitteluvirheisiin luokiteltiin häiriöt, joita olisi voinut selkeästi estää paremman tuotannosuunnittelun avulla. Tällaisia häiriöitä olivat esimerkiksi tuotannon ajoitukseen liittyvät häiriöt.

Neljänteen häiriötyyppiin eli saldivirheeseen luokiteltiin häiriöt, jotka aiheutuivat SAP:ssa ja MES:ssä olevista saldivirheistä. Inhimilliseksi virheeksi taas luokiteltiin sellaiset häiriöt, jotka johtuivat työntekijän epähuomiosta. Kuudennen eli muiden häiriöiden alle luokiteltiin yksittäiset ja tuntemattomat häiriöt.

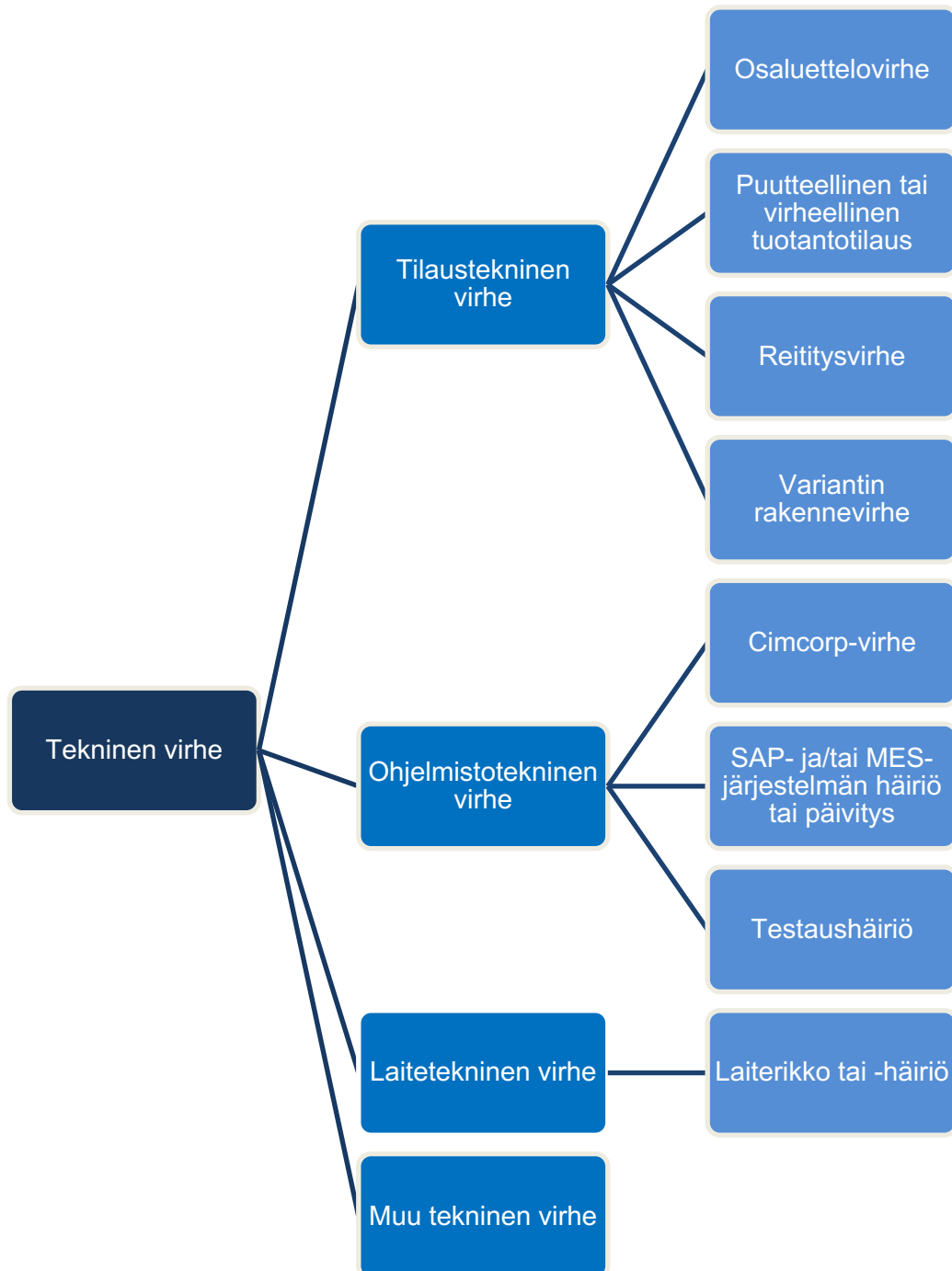
Alapuolella olevaan kuvaan 8 ovat koottu häiriötyyppi sekä aikavälillä 09/2020–10/2021 esiintyvien häiriöiden määrä. Kuvan perusteella voidaan havaita, että teknisten virheiden määrä oli suurin, ja niitä havaittiin yhteensä 469 kappaletta. Toiseksi havaittiin materiaalin laatuun liittyviä häiriöitä, joita havaittiin 265 kappaletta. Kolmanneksi eniten häiriöt liittyivät inhimillisiin virheisiin, joita oli yhteensä 164. Kolmea yleisintä häiriötyyppiä seurasivat tuotannosuunnitteluvirheet 91 kappaletta, saldivirheet 58 kappaletta ja muut häiriöt 87 kappaletta.



Kuva 8. Tuotannossa esiintyneet häiriötyypit ja niiden lukumäärät vuoden 2020 syyskuusta vuoden 2021 lokakuuhun.

4.2.1 Tekninen virhe

Tekniset virheet muodostavat suurimman osan tarkastellun tehtaan tuotannossa esiintyvistä häiriöistä, ja ne ovat mahdollista jakaa neljään alaluokkaan: tilaustekninen, ohjelmistotekninen, laitetekninen sekä muu tekninen virhe (kuva 9). Nämä neljä alaluokkaa jakautuvat edelleen yhteensä kahdeksaan eri alaluokkaan. Alimmissa alaluokissa testaushäiriöt ovat luokiteltu sekä ohjelmisto- että laiteteknisten virheiden alle, sillä testaushäiriöt voivat johtua sekä laitteesta että ohjelmistosta.



Kuva 9. Teknisten virheiden jakautuminen. Tekniset virheet voidaan jakaa neljään alaluokkaan, jotka jakautuvat edelleen omiin alaluokkiin.

Teknisten virheiden ensimmäinen alaluokka on tilaustekniset virheet, jotka jakautuvat edelleen osaluettelovirheisiin, puutteellisiin tai virheellisiin tuotantotilauksiin, reititysvirheisiin sekä variantin rakennevirheisiin. Esimerkki osaluettelovirheestä eli tuoterakenteen virheestä on tapaus, jossa tuotantotilauskortista on puuttunut tuotteen valmistukseen tarvittava materiaali, ja tämä on johtanut häiriötilanteeseen tuotantolinjalla tuotetta valmistettaessa.

Esimerkki puutteellisesta tai virheellisestä tuotantotilauksesta ovat tapaukset, joissa tilauksen rahtiin liittyvät tiedot ovat olleet puutteelliset tai virheelliset. Rahtityyppi on siis oltava tuotantotilauksessa merkittynä oikein, jotta tuote voidaan pakata oikeaa pakkausmateriaalia käyttäen sekä tehdä muut tarvittavat pakkaukseen liittyvät toiminnot oikein. Häiriöilmoitukset ovat siis johtuneet tilanteesta, jossa tuotantotilauksessa ei ole ollut mainintaa lentorahdista, jolloin tuotteet ovat huonoimmassa tapauksessa ehditty pakkaamaan merirahdin mukaisesti, jos virhettä ei ole huomattu ennen pakkaamista.

Reititysvirheet liittyvät tuotteen reitityksessä tapahtuneisiin virheisiin raaka-aineista lopputuotteiksi tuotantoprosessissa. Esimerkki tällaisesta virheestä on tapaus, jossa eräs tuotteen valmistukseen käytettävä materiaali on tullut luettavaksi tuotantosoluun, vaikka materiaali tulisi lukea pakkaussolussa.

Neljäs ja viimeinen tilaustekninen virhe on variantin rakennevirhe, jossa tuotteen spesifikaatioiden kohdalla on tapahtunut jokin virhe. Esimerkkinä tästä on tapaus, jossa tuotantolinjalle saapuneessa tuotantotilaukskortissa on ollut kaksi eri pakkausvaihtoehtoa yhden sijaan. Tämä on siten aiheuttanut tuotantolinjalla häiriön, sillä linjalla ei ole ollut selvyyttä siitä, kumpaa pakkaustapaa tuotteen pakkaukseen tulisi käyttää. Tiedot tuotantotilaukskorttiin tulevat SAP-järjestelmän variantin rakenteen perusteella.

Toinen suuri alaluokka teknisten virheiden kohdalla ovat ohjelmistotekniset virheet, jotka jakautuvat edelleen Cimcorp-virheisiin, SAP- ja/tai MES-järjestelmän häiriöön tai päivitykseen sekä ohjelmistoperäisiin testaushäiriöihin. Cimcorp-virheillä tarkoitetaan automaattituotantolinjan automaatiojärjestelmässä tapahtuvia virheitä. Esimerkki tällaisesta on tapaukset, jossa vahvistusviestit ovat siirtyneet myöhässä Cimcorp-järjestelmästä MES-järjestelmään.

Ohjelmistoteknisten virheiden alaluokkaan kuuluvat SAP- ja/tai MES-järjestelmän häiriöt tai päivitykset ovat aiheutuneet nimensä mukaisesti juuri SAP- tai MES-järjestelmässä esiintyvistä häiriöistä tai päivityksistä. Tässä alaluokassa suurin osa häiriöistä on aiheutunut tuotekilvistä puuttuvista QR-koodeista. QR-koodit ovat Kiinan hallinnon vaatimia tuotteen jäljityksen apuvälineitä, jotka pitäisi muodostua automaattisesti tallentaessa tilausta. SAP-järjestelmässä on ilmennyt kuitenkin virhe, jolloin QR-koodit eivät ole tallentuneet tilaukselle automaattisesti, vaan QR-koodit ovat täytyneet luoda tilaukselle manuaalisesti. Tämä on johtanut useisiin häiriötilanteisiin tuotantolinjalla, kun tuotetta ei ole päästy lähettämään ennen QR-koodin luomista.

Viimeinen ohjelmistoteknisiin virheisiin kuuluva alaluokka ovat testaushäiriöt, jotka liittyvät tuotteen testaamisen suorittavan testerin ohjelmistoperäisiin häiriöihin. Esimerkkinä

tästä on tapaus, jossa tuote ei ole mennyt testistä läpi testiohjelmassa tapahtuneen virheen takia, ja aiheuttanut näin häiriön tuotantolinjalla.

Kolmas teknisten virheiden alaluokka ovat laitetekniset virheet, joihin kuuluvat sekä laiterikot tai -häiriöt. Laiterikoiksi tai -häiriöiksi luokitellaan tapaukset, jotka johtuvat joko kiinteiden tuotantolaitteiden, kuten esimerkiksi tuotantolinjalla olevan maalausunin tai irrallisten laitteiden, kuten esimerkiksi tulostimien rikkoutumisesta tai häiriöistä. Edellä mainittujen lisäksi laiteteknisiin virheisiin on luokiteltu myös tuotteiden testaamiseen käytettyjen testereiden laitetekniset häiriöt.

Neljäs ja viimeinen teknisten virheiden alaluokka ovat muut tekniset virheet, joihin on luokiteltu yksittäisiä teknisiä virheitä, joita ei voida luokitella tilausteknisiksi, ohjelmistoteknisiksi tai laiteteknisiksi virheiksi. Esimerkkinä tästä on tapaus, jossa erään tuotantolinjan pakkauspään tietokone ei ole muodostanut verkkoyhteyttä, jolloin pääsy esimerkiksi MES-järjestelmään on estynyt. Tämä on siten johtanut häiriötilanteeseen tuotantolinjalla.

Toinen esimerkki muista teknisistä virheistä on tapaus, jossa tuotantolinjan sähköpostitilin aktivointi on vanhentunut. Tämä johtanut tilanteeseen, että tuotantolinjan on ollut mahdollista vastaanottaa sähköposteja, mutta ei ole ollut mahdollista lähettää niitä itse. Tämä on siten johtanut häiriötilanteeseen, jossa tiedon kulku on heikentynyt tuotantolinjan ja muiden tehtaan yksiköiden välillä.

4.2.2 Materiaalin laatu

Materiaalin laatuvirheiksi on luokiteltu kaikki heikosta materiaalin laadusta aiheutuvat häiriöt, joista useat häiriöt ovat aiheutuneet toimittajan virheestä. Yksi esimerkki toimittajan virheestä on tapaus, jossa erään tuotteen sähköistyksessä on havaittu väärä priikka. Priikka on siis täytynyt vaihtaa tuotantolinjalla tuotteen sähköistykseen sopivaksi, ja tästä on siten aiheutunut häiriötilanne linjalla.

Materiaalin laatuvirheisiin liittyvät myös tapaukset, joissa materiaali on vahingoittunut vasta tehtaalla. Tästä esimerkkinä on tapaus, jossa tuotteen pakkaamiseen tarkoitettu laatikko on homehtunut, sillä pakkauslaatikko on ollut ulkona säilytyksessä ilman tarvittavia suojauksia. Tämä on johtanut häiriötilanteeseen tuotantolinjalla tuotetta pakattaessa, sillä pakkausmateriaali on ollut käyttökelvoton, ja näin pakkaus on viivästynyt ettsittäessä uutta materiaalia pilaantuneen tilalle.

4.2.3 Inhimillinen virhe

Inhimillisiksi virheiksi ovat luokiteltu tapaukset, jotka ovat yhdistettävissä suoraan työntekijän toimintaan. Esimerkiksi eräässä tapauksessa tuotannossa ei ollut vahvistettu pakkausoperaatiota loppuun asti MES-järjestelmässä, joka siten johti lastaamisen pysähtymiseen logistiikkaosaston puolella.

4.2.4 Tuotannonsuunnitteluvirhe

Tuotannonsuunnitteluvirheiksi ovat luokiteltu tapaukset, jotka ovat johtuneet materiaalin odottamisesta linjalla. Tuotannon ajoitukset eivät siis ole kohdanneet materiaalien saapumisen kanssa tuotantolinjalla. Esimerkiksi eräässä häiriöilmoituksessa on mainittu, että kolmesta tuotteesta ovat puuttuneet sähköistyksen tuotannossa. Sähköistyksen ei siis ole saapuneet toimittajalta alkuperäiseen ja SAP:n automaattisesti ajoittamaan tuotantopäivään mennessä. Tehtaan materiaaliimi on ilmoittanut sähköpostilla tuotannonsuunnittelijalle uuden mahdollisen sähköistyksen toimituspäivän toimittajan vahvistuksen mukaisesti, mutta tuotannonsuunnittelija ei ole muuttanut SAP- ja MES-järjestelmissä tuotannon alkuperäistä valmistuspäivää uuden vahvistuksen mukaisesti. Täten siis MES-järjestelmää seuraavalla tuotantolinjalla ei ole ollut tietoa siitä, että kyseisiä tuotteita ei ole ollut mahdollista vielä valmistaa sähköistyksen puuttumisesta johtuen.

Toinen esimerkki tuotannonsuunnitteluvirheistä liittyy jarrujen puuttumiseen tuotteesta tuotantolinjalta. Tässä tapauksessa jarrut on tilattu toimittajalta SAP-järjestelmän luoman automaattisen tuotantopäivän mukaisesti. Automaattiajoituksen jälkeen tuotannonsuunnittelija on kuitenkin joutunut muuttamaan SAP- ja MES-järjestelmässä alkuperäistä tuotantopäivää aikaisemmaksi tasoittaakseen tuotantoa, jolloin materiaalin toimittusaika on lyhentynyt sellaiseksi, johon toimittaja ei ole pystynyt vastaamaan. Näin ollen tuotantolinjalla on seurattu uudelleenajoitettua tuotantopäivää, mutta linjalla ei ole ollut tietoa, että kaikki tuotteen materiaalit eivät ehdi toimittajalta kyseiseen päivämäärään mennessä, joka on siten aiheuttanut tuotantolinjalla häiriön.

4.2.5 Saldovirhe

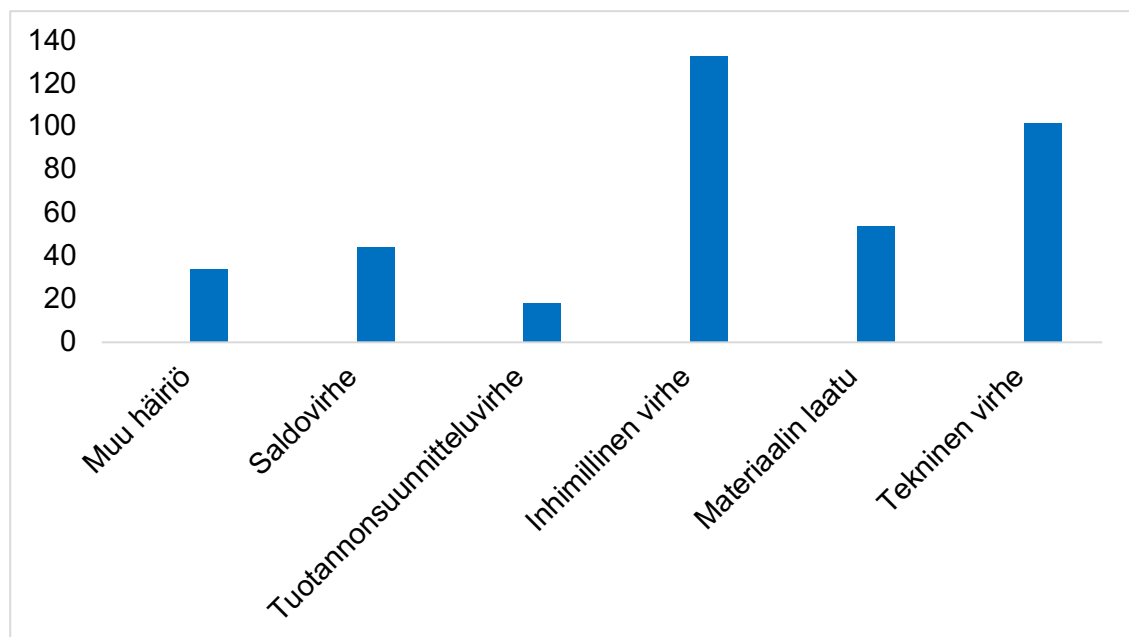
Saldovirheiksi ovat luokiteltu tapaukset, jotka ovat johtuneet saldoissa olevista virheistä MES- ja/tai SAP-järjestelmissä. Eräässä häiriöilmoituksessa sähköistyksen ovat merkitty puuttuvaksi SAP-järjestelmän saldovirheen takia. Tehtaan varastossa olevasta sähköistyksestä on siis irrotettu osia toiseen tuotantotilaukseen, mutta varastoon jäänyttä sähköistystä ei ole kuitenkaan poistettu SAP-järjestelmän saldoista, joka on johtanut kyseiseen häiriöilmoitukseen.

4.2.6 Muu häiriö

Muu häiriöluokkaan ovat koottu yksittäiset virheet, joita ei ole voitu luokitella viiteen edellä mainittuun luokkaan. Yksi esimerkki tästä on tapaus, jossa erään tuotantolinjan pakkauspää on ollut tukittuna alihankkijoiden tavaroilla. Tämä on hidastanut tuotteen pakkaamista, ja siten aiheuttanut häiriötilanteen tuotantolinjalla. Toinen esimerkki liittyy erään tuotantolinjan tuotantolaitteen huoltoon, joka on ollut ennalta sovittu, mutta aiheuttanut kuitenkin häiriötilanteen linjalla, koska linjan työskentely on osittain keskeytynyt huollosta johtuen.

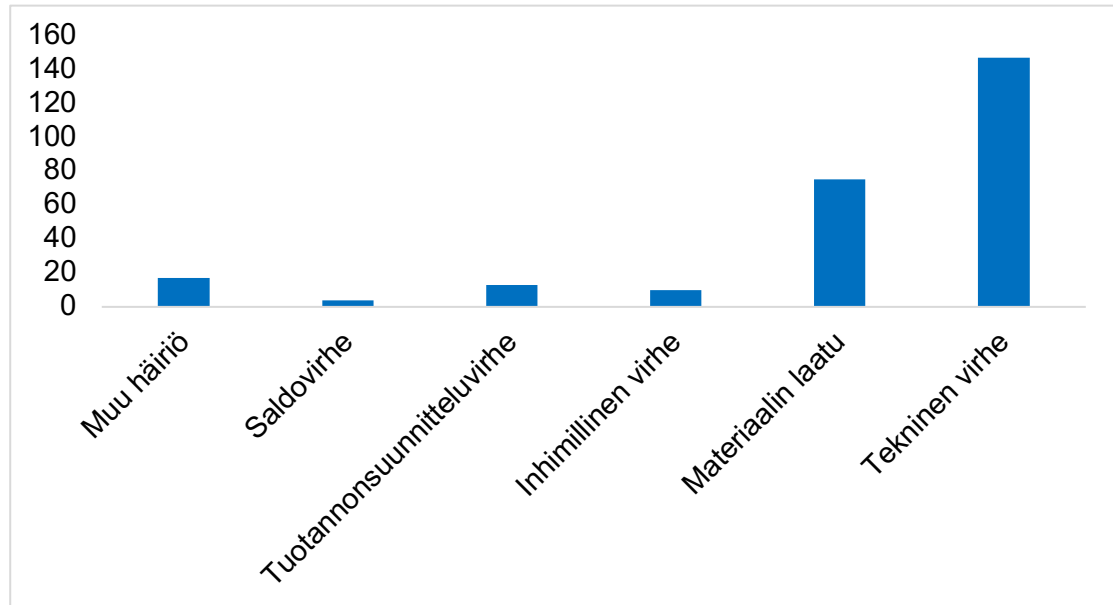
4.3 Tuotannon häiriöilmoitusten luokittelu häiriön aiheuttajan perusteella tuotantolinjakohtaisesti

Tuotannon häiriöilmoitukset luokiteltiin myös häiriön aiheuttajan perusteella tuotantolinjakohtaisesti. Kuvan 10 perusteella tuotantolinjalla 1 merkittävintä häiriötä aiheuttava tekijä oli inhimilliset virheet, joita havaittiin 133 kappaletta. Toiseksi yleisin häiriötä aiheuttava tekijä kyseisellä tuotantolinjalla olivat tekniset virheet (102 kappaletta) ja kolmanneksi yleisin oli materiaalin laatuun liittyvät virheet (44 kappaletta).



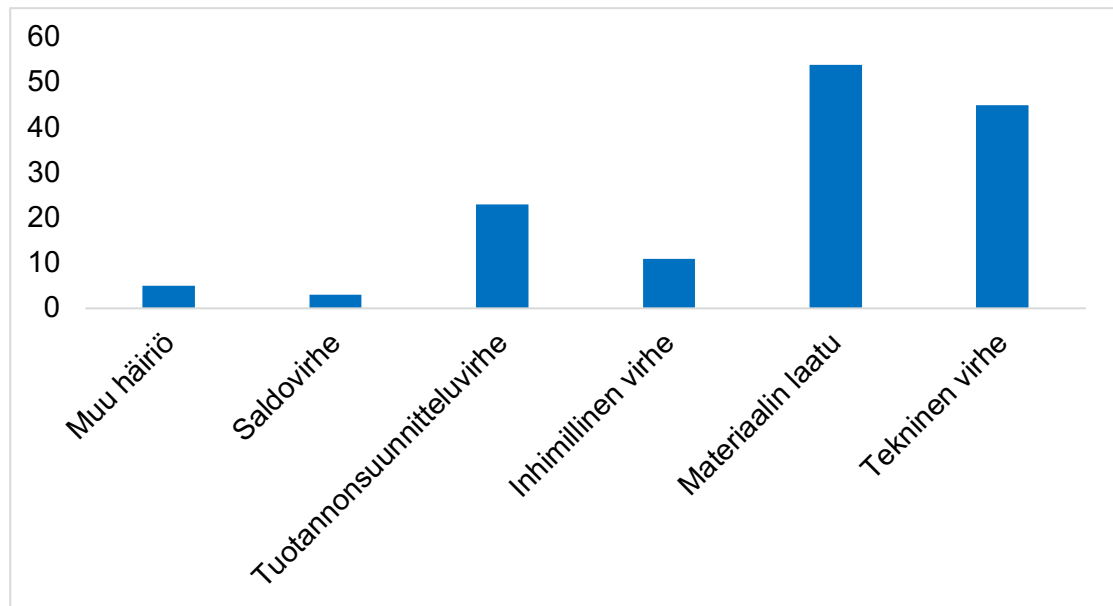
Kuva 10. Tuotantolinjalla 1 esiintyneiden häiriöiden luokittelu häiriön aiheuttajan perusteella.

Tuotantolinjalla 2 merkittävin häiriötä aiheuttava tekijä kuvan 11 perusteella oli tekniset virheet, joita havaittiin 147 kappaletta. Toiseksi yleisin häiriötä aiheuttava tekijä kyseisellä tuotantolinjalla oli materiaalin laatu (75 kappaletta) ja kolmanneksi yleisin muut häiriöt (17 kappaletta).



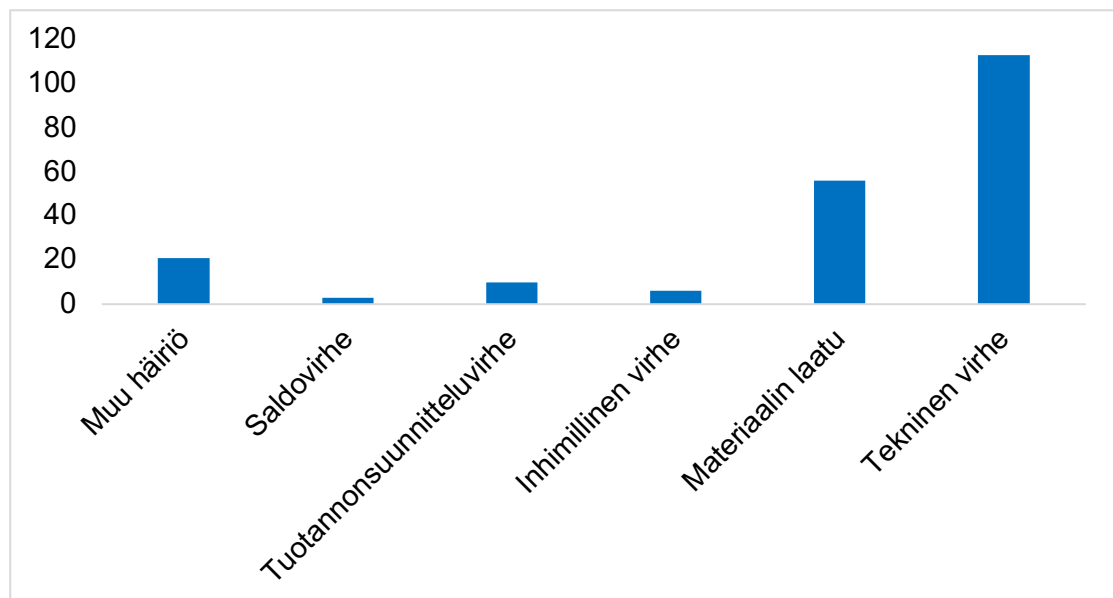
Kuva 11. Tuotantolinjalla 2 esiintyneiden häiriöiden luokittelu häiriön aiheuttajan perusteella.

Tuotantolinjalla 3 merkittävin häiriötä aiheuttava tekijä kuvan 12 perusteella oli materiaalin laatu, joihin liittyviä häiriötä havaittiin kyseisellä tuotantolinjalla 54 kappaletta. Toiseksi yleisin häiriötä aiheuttava tekijä kyseisellä tuotantolinjalla olivat tekniset virheet (45 kappaletta) ja kolmanneksi yleisin tuotannosuunnitteluvirheet (23 kappaletta).



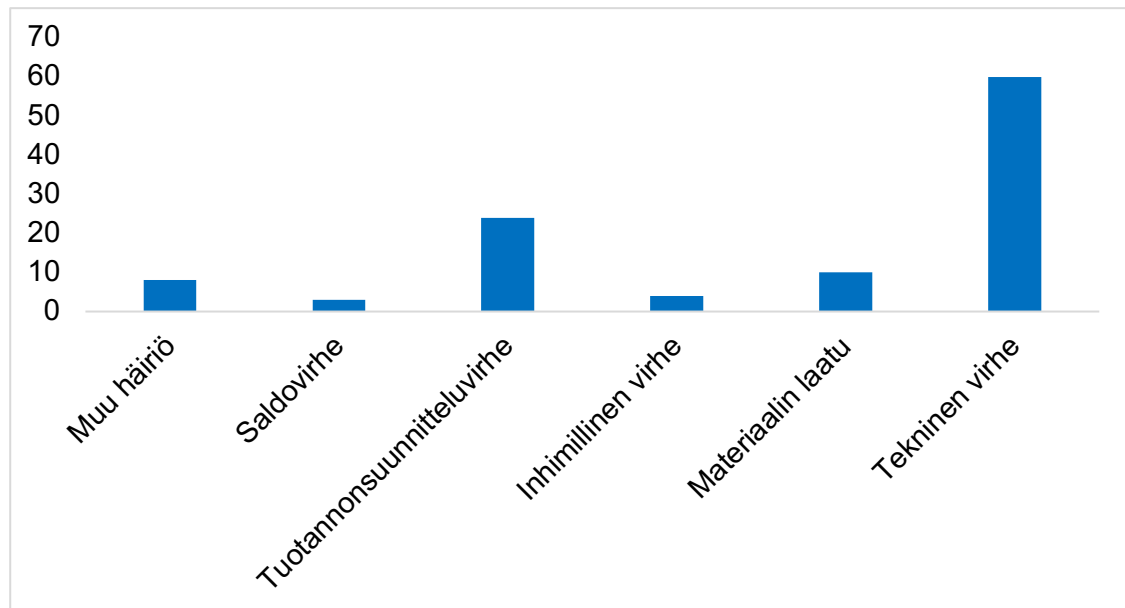
Kuva 12. Tuotantolinjalla 3 esiintyneiden häiriöiden luokittelu häiriön aiheuttajan perusteella.

Tuotantolinjalla 4 merkittävin häiriöitä aiheuttava tekijä kuvan 13 perusteella oli tekniset virheet, joihin liittyviä häiriöitä havaittiin kyseisellä tuotantolinjalla 113 kappaletta. Toiseksi yleisin häiriöitä aiheuttava tekijä kyseisellä tuotantolinjalla oli materiaalin laatu (56 kappaletta) ja kolmanneksi yleisin muut häiriöt (21 kappaletta).



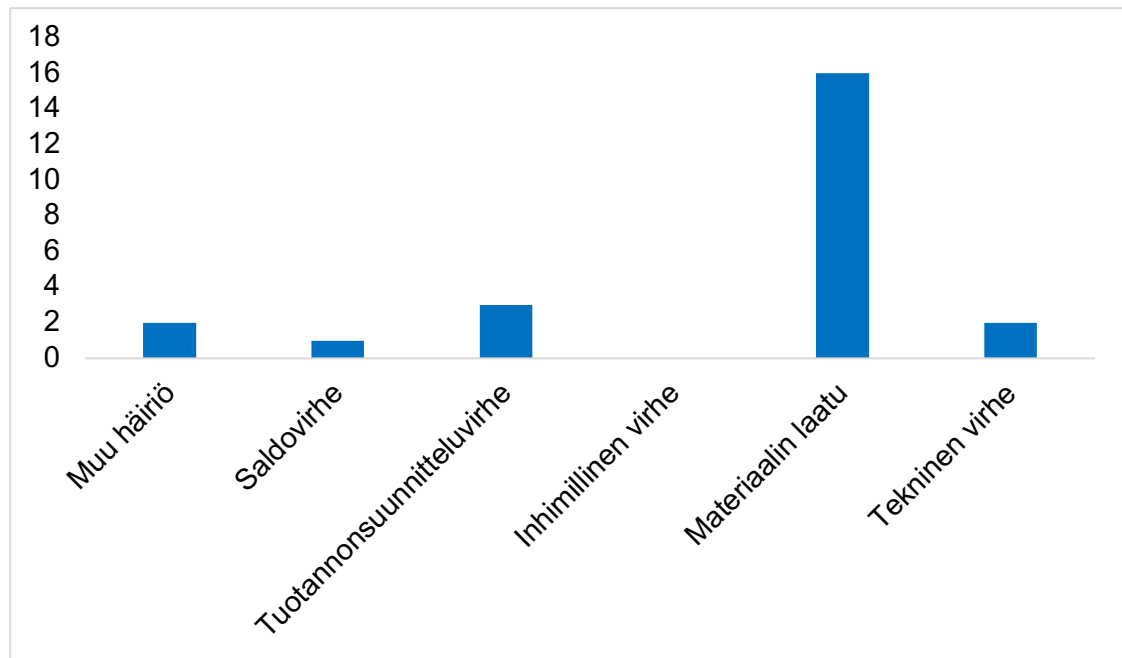
Kuva 13. Tuotantolinjalla 4 esiintyneiden häiriöiden luokittelu häiriön aiheuttajan perusteella.

Tuotantolinjalla 5 merkittävin häiriöitä aiheuttava tekijä kuvan 14 perusteella olivat tekniset virheet, joihin liittyviä häiriöitä havaittiin kyseisellä tuotantolinjalla 60 kappaletta. Toiseksi yleisin häiriöitä aiheuttava tekijä kyseisellä tuotantolinjalla oli tuotannosuunnitteluvirheet (24 kappaletta) ja kolmanneksi yleisin materiaalin laatu (10 kappaletta).



Kuva 14. Tuotantolinjalla 5 esiintyneiden häiriöiden luokittelu häiriön aiheuttajan perusteella.

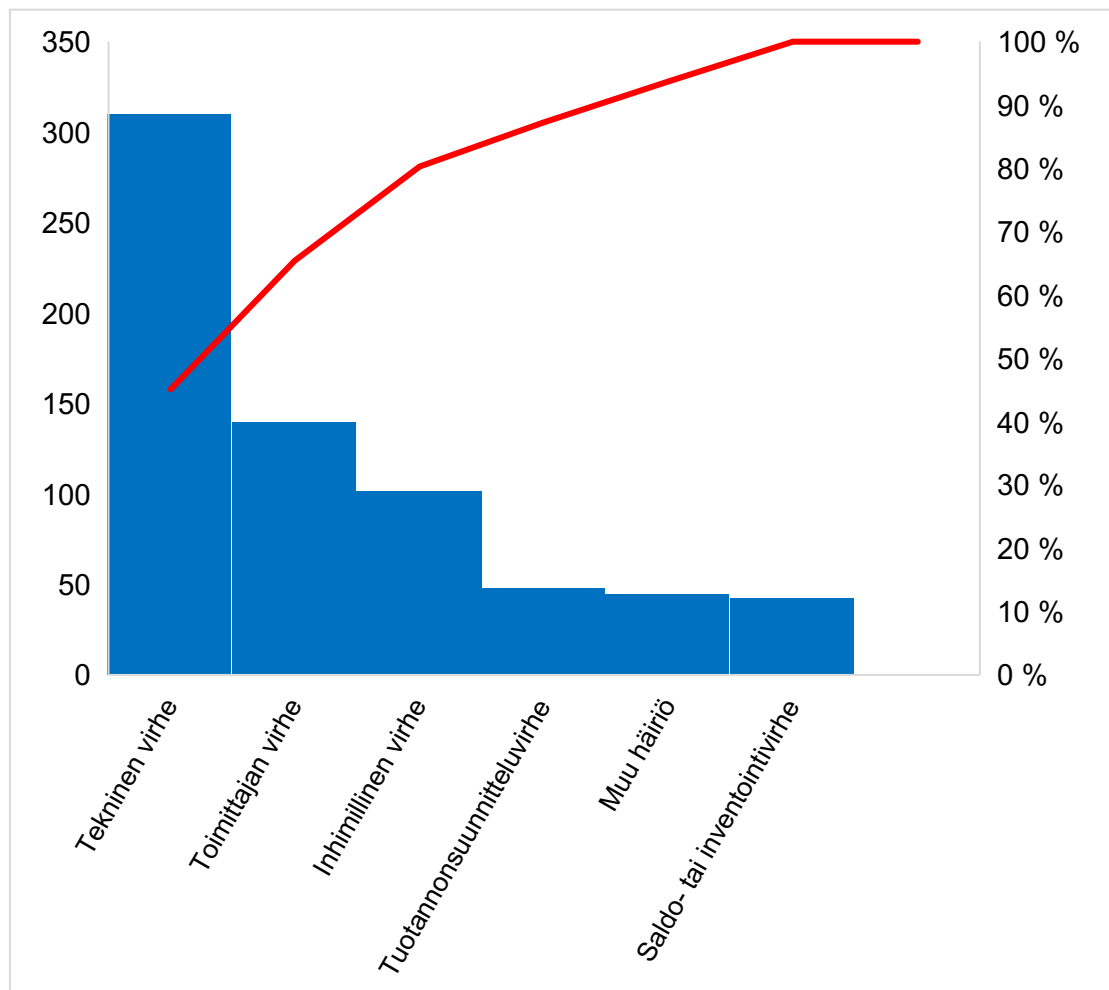
Tuotantolinjalla 7 merkittävin häiriötä aiheuttava tekijä kuvan 15 perusteella oli materiaalin laatu, johon liittyviä häiriötä havaittiin kyseisellä tuotantolinjalla 16 kappaletta. Toiseksi yleisin häiriötä aiheuttava tekijä kyseisellä tuotantolinjalla oli tuotannosuunnitteluvirheet (3 kappaletta) ja kolmanneksi yleisin muut häiriöt sekä tekniset virheet, joita molempia havaittiin 2 kappaletta.



Kuva 15. Tuotantolinjalla 7 esiintyneiden häiriöiden luokittelu häiriön aiheuttajan perusteella.

4.4 Tuotannon häiriöiden juurisyyanalyysi

Tuotannon häiriöilmoituksiin kirjatusta juurisyyistä tehtiin juurisyyanalyysi Pareto-kuvaa käyttäen, jossa häiriöilmoitusten juurisyyt luokiteltiin viiteen eri luokkaan sekä yksittäiset häiriöt 'muu häiriö'-luokkaan (kuva 16). Juurisyyt olivat määritelty 1134 häiriöilmoituksesta 688 ilmoitukselle.



Kuva 16. Pareto-kuvaaja tuotannossa esiintyneiden häiriöiden juurisyistä.

Pareto-kuvaajan perusteella voidaan havaita, että suurin osa eli 310 häiriötä aiheutui teknisistä virheistä, toiseksi suurin osa eli 140 häiriötä toimittajan virheistä ja kolmanneksi suurin osa eli 102 häiriötä inhimillisistä virheistä. Pareto-viivan mukaan tekniset virheet aiheuttavat kaikista häiriöistä noin 45 % ja tekniset virheet, toimittajan virheet sekä inhimilliset virheet yhteensä noin 80 % kaikista häiriöistä.

4.4.1 Tekninen virhe

Juurisyyanalysissa teknisiksi virheiksi ovat luokiteltu tapaukset, joissa juurisyy on liittynyt laite-, ohjelmisto- tai tilausteknisiin häiriöihin. Eräs laitetekninen tuotannon häiriö on ollut magneetin syöttölaitteen rikkoutuminen. Tässä tapauksessa juurisyyksi on mainittu laitteen syöttökaapelin rikkoutuminen, eli juurisyy on aiheutunut suoraan laitteeseen liittyvästä ongelmasta.

Eräs tuotantolinjalla esiintynyt ohjelmistotekninen häiriö on liittynyt tapaukseen, jossa sähköistyksen viivakoodia ei ole pystynyt lukemaan linjalla. Viivakoodia luettaessa tie-

tokoneen näytölle on siis ilmestynyt virheilmoitus. Juurisyynä tähän on ollut MES-järjestelmässä esiintynyt häiriö, joka aiheuttanut häiriön viivakoodin luentaan. Täten siis häiriön juurisyys on ollut ohjelmistoperäinen.

Tuotantolinjalla esiintyneestä tilausteknisestä häiriöstä esimerkkinä on tapaus, jossa johtokourun on ilmoitettu puuttuvan tuotteen alustasta tuotantolinjalla. Juurisyynä tähän on ollut SAP-järjestelmän variantin rakenteessa esiintynyt virhe, sillä alustan kuvan mukaan johtokourua ei tarvita. Tästä johtuen myöskään tilauksen osaluettelo ei ole varannut kyseistä materiaalia. Täten juurisyys voidaan siten yhdistää tilaustekniseksi häiriöksi.

4.4.2 Toimittajan virhe

Toimittajan virheiksi juurisyysanalyysissä ovat luokiteltu tapaukset, joissa juurisyyn on mainittu olevan toimittajan virhe. Toimittajan virheiksi luokitelluista 140 tapauksesta 67 häiriön juurisyys on kirjattu vain sanat 'toimittajan virhe'. Eräässä tapauksessa esimerkiksi jarrujen kitkapinnan on mainittu lohkeilevan palasina, ja tämän juurisyys on mainittu vain toimittajan virhe. Toisessa vastaavanlaisessa tapauksessa tuotteeseen kuuluva staattori on ollut viallinen, ja myös tässä juurisyys on mainittu toimittajan virhe. Muissa tapauksissa juurisyynä on ollut esimerkiksi toimittajalla ilmenneet laatuongelmat, joista johtuen toimittaja ei ole kyennyt toimittamaan tuotetta sovitussa aikataulussa sekä toimittajalla ilmenneet materiaalihaasteet.

4.4.3 Inhimillinen virhe

Inhimillisiksi virheiksi on luokiteltu tapaukset, joissa juurisyys on ollut yhdistettävissä suoraan ihmisen toimintaan. Esimerkiksi eräässä tapauksessa tuotantolinjalla on aiheutunut häiriö sähköistyksen puuttumisesta. Juurisyys sähköistyksen puuttumiseen on ollut se, että materiaali on tilattu toimittajalta väärällä pyyntipäivämäärällä. Sähköistyksen tarve on siis ollut lokakuussa, mutta materiaali on tilattu samalle päivälle marraskuussa, eli tässä tapauksessa kuukaudet ovat siis menneet sekaisin materiaalitilausta tehdessä.

Toisessa tapauksessa tuotantolinjalla on aiheutunut häiriö staattorin vaiheiden mittaustilanteessa, jossa mittaustulokseksi on saatu noin 0,6 ohmia, joka ei ole ollut hyväksyttävien rajojen sisällä. Tarkemman analyysin jälkeen mittaustulos on kuitenkin ollut 0,06 ohmia, joka taas on ollut hyväksyttävien rajojen sisäpuolella. Mittauksessa on siis tapahtunut inhimillinen mittaustuloksen luentavirhe.

4.4.4 Tuotannosuunnitteluvirhe

Tuotannosuunnitteluvirheiksi on luokiteltu tapaukset, joissa juurisyy on ollut selkeästi yhdistettävissä tuotannosuunnitteluun. Eräässä tapauksessa tuotantolinjalla on ilmenyt häiriö sähköistyksen puuttumisesta tuotetta valmistettaessa. Juurisyy tähän on ollut se, että tuotantotilausta on aikaistettu SAP-järjestelmässä varmistamatta materiaalien saatavuutta. Materiaalit eivät siis ole kerenneet uuteen, aikaisempaan tuotteen valmistuspäivään, vaan saapuneet alkuperäisen toimitusaikataulun mukaisesti.

Toisessa tapauksessa tuotantolinjan toimintaan on aiheutunut häiriö johtuen tuotteen rungon puuttumisesta. Juurisyy häiriöön on ollut se, että tuotantoa on tehty etupeltoon. Runko ei siis varsinaisesti ole ollut myöhässä, vaan se on saapunut alkuperäisen toimitusaikataulun mukaisesti.

4.4.5 Saldo- tai inventointivirhe

Saldo- tai inventointivirheiksi ovat luokiteltu tapaukset, joiden juurisyy on selkeästi mainittu liittyvän saldo- tai inventointivirheisiin. Esimerkiksi erään tapauksen mukaan sähköistys on mainittu puuttuvan tuotantolinjalla, ja tämän on aiheuttanut se, että tehtaan varastossa olevasta sähköistyksestä on irrotettu osia toiseen tuotantotilaukseen, ja tätä sähköistystä ei ole poistettu saldosta. Täten siis seuraavaa tilausta tehdessä on ajateltu, että varastossa on jäljellä vielä yksi kokonainen sähköistys, vaikka näin ei ole ollut, sillä puutteellista sähköistystä ei ole voinut käyttää seuraavan tuotteen valmistukseen.

Toisessa esimerkissä tuotantolinjalla on aiheutunut häiriö puuttuneesta tuotteen pakkausmateriaalista. Juurisyyksi tähän on mainittu saldovirhe, joka on aiheutunut siitä, että tuotantolinjalla on aiemmin pakattu tuotteita käyttäen juuri kyseisestä puuttunutta pakkausmateriaalia, vaikka tuotteet olisi tullut tuolloin pakata toisenlaista pakkausmateriaalia hyödyntäen. Täten siis saldot eivät ole kuluneet oikein.

4.4.6 Muu häiriö

Juurisyyanalyysissa 'muu häiriö'-luokkaan on kirjattu tapaukset, joissa juurisyyt ovat olleet yksittäisiä, ja niitä ei ole ollut mahdollista luokitella mihinkään viidestä edellä mainitusta kategoriasta. Yksittäisiä ja lyhyesti kuvattuja tuotannon häiriöiden juurisyyt ovat olleet muun muassa 'roolipäivitys' sekä 'tilausmuutos'. Roolipäivitys liittyi tilanteeseen, jossa tilauksia ei ollut vapautettu tuotantoon, ja työntekijä ei myöskään pystynyt itse vapauttamaan tilauksia, vaikka tämä oli ollut ennen mahdollista. Tilausmuutos taas oli kirjattu juurisyyinä tapaukseen, jossa vetopyörässä oli havaittu väärä alileikkuukulma.

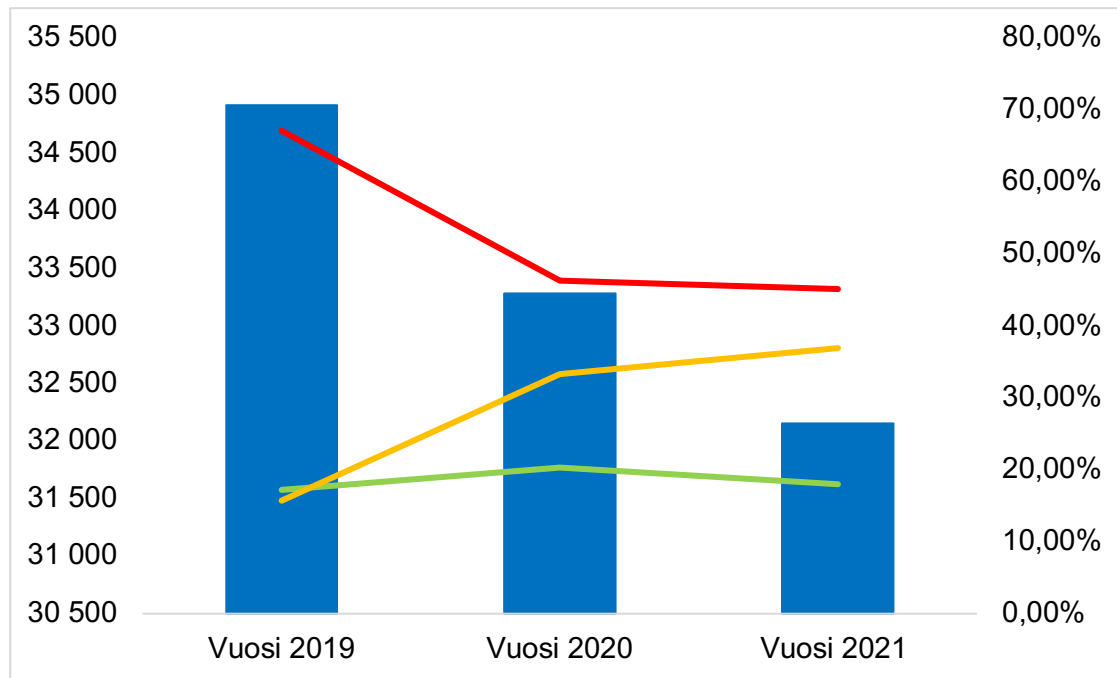
4.5 Tuotannon ajoituksen täsmällisyyden tarkastelu

Tuotannon ajoituksen täsmällisyyttä tutkittiin tarkastelemalla tehtaan kaikkien tuotantolinjojen tilauksien osumista suunniteltuun tuotannon SFD-päivään nähden, jolloin tilauksen on suunniteltu olevan valmis. Tutkimuksessa tuotannon ajoituksen täsmällisyyttä tarkasteltiin vuodesta 2019 vuoteen 2021. Tilauksien määrät ovat suodatettu SAP-järjestelmästä toimituspäivämäärän mukaisesti, eli toimituspäivämäärä on tällöin osunut aikavälille 01.01.20XX–31.12.20XX. Tulokset tuotannon ajoituksen täsmällisyydestä ovat koottu alapuolella olevaan taulukkoon 8.

Taulukko 8. Tuotannon ajoituksen täsmällisyys SFD-päivään perustuen vuodesta 2019 vuoteen 2021.

	Vuosi 2019	Vuosi 2020	Vuosi 2021
Tilauksia yhteensä	34 918	33 282	32 151
Valmistettu SFD-päivän jälkeen	23 440	15 423	14 495
Valmistettu SFD-päivänä	5 997	6 760	5 779
Valmistettu ennen SFD-päivää	5 481	11 099	11 877
Valmistettu SFD-päivän jälkeen kaikista tilauksista	67,1 %	46,3 %	45,1 %
Valmistettu SFD-päivänä kaikista tilauksista	17,2 %	20,3 %	18,0 %
Valmistettu ennen SFD-päivää kaikista tilauksista	15,7 %	33,3 %	36,9 %

Taulukon tietojen perusteella tehtaan SFD-päivän jälkeen valmistuneiden eli toisin sanoen suunniteltuun tuotannon lopetuspäivämäärään nähden myöhässä olevien tilausten määrä on laskenut vuoden 2019 67,1 %:sta vuoden 2021 45,1 %:iin. Tarkalleen SFD-päivänä valmistettujen tilausten määrä taas on noussut vuodesta 2019 vuoteen 2020 noin kolme prosenttia, mutta tämän jälkeen laskenut vuoteen 2021 noin kaksi prosenttia. Ennen SFD-päivää valmistettujen tilausten määrä on kasvanut vuodesta 2019 vuoteen 2020 21,2 %. Tuloksia on havainnollistettu myös alapuolella olevassa kuvassa 17.



Kuva 17. Tuotannon ajoituksen täsmällisyys SFD-päivään perustuen kuvaajan avulla esitettynä. Kuvassa siniset palkit kuvaavat tilausten kokonaismäärää vuosikohtaisesti, punainen viiva SFD-päivän jälkeen valmistettujen tilausten prosentuaalista osuutta tilausten kokonaismäärästä, keltainen viiva ennen SFD-päivää valmistettujen tilausten prosentuaalista osuutta tilausten kokonaismäärästä ja vihreä viiva SFD-päivänä valmistettujen tilausten prosentuaalista osuutta tilausten kokonaismäärästä.

Kuvassa 17 siniset palkit kuvaavat tilausten kokonaismäärää vuosikohtaisesti, punainen viiva SFD-päivän jälkeen valmistettujen tilausten prosentuaalista osuutta tilausten kokonaismäärästä, keltainen viiva ennen SFD-päivää valmistettujen tilausten prosentuaalista osuutta tilausten kokonaismäärästä ja vihreä viiva SFD-päivänä valmistettujen tilausten prosentuaalista osuutta tilausten kokonaismäärästä. Optimaalisin tilanne olisi valmistaa tilaukset juuri suunniteltuna SFD-päivänä, jotta jatkuva virtaus olisi kaikkien tehokkainta.

5. TULOSTEN TARKASTELU

Tässä luvussa tarkastellaan tämän tutkimuksen tuloksia vertaillen tutkimuksessa saatuja tuloksia teoreettiseen tietoon. Ensimmäisessä alaluvussa tulosten ja teorian tarkastelua tehdään tuotannon häiriöiden osalta ja toisessa alaluvussa jatkuvan virtauksen kehittämiseen liittyvien menetelmien osalta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä. Luku päättyy tarkastellulle tehtaalle esitettäviin suosituksiin.

5.1 Tuotannon häiriöiden ja niiden luokittelun tarkastelu tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä

Tuotannossa esiintyvät häiriöt ovat merkittäviä, jatkuvaan virtaukseen negatiivisesti vaikuttavia tekijöitä, jotka ovat osa myös tilausohjautuvan tuotantoympäristön arkea. Tämän tutkimuksen tulokset osoittavat tarkastelulla tehtaalla esiintyneen yli tuhat kappaletta häiriöitä vuoden ja yhden kuukauden aikana. Karkeasti jaettuna tehtaalla on siten ilmennyt useampi häiriö yhden päivän aikana, vaikka häiriöttömätkin päivät voivat olla mahdollisia. Täten häiriöiden ennaltaehkäisyyn ja vähentämiseen on kiinnitettävä paljon huomiota, mikäli arvoa tuottamattomia vaiheita tehtaalla halutaan vähentää ja siten jatkuvaa virtausta kehittää.

Tuotannon häiriöiden ennaltaehkäisyyn ja vähentämisen edellytyksenä on, että häiriöt ovat tunnistettu ja ymmärretty. Häiriöiden tunnistaminen ja siten yleistäminen koskemaan esimerkiksi tilausohjautuvaa tuotantoympäristöä ei kuitenkaan ole aivan yksinkertaista, sillä yritykset kokevan eri tekijöiden aiheuttavan häiriöitä. Tarkastellun tehtaalla häiriöilmoitusaineiston perusteella yrityksessä ei koeta, että esimerkiksi palaverit, henkilöstöressurssien puute tai tauot aiheuttaisivat häiriötilannetta. Tämä näkemys eroaa Bokrantz et al. (2016) suorittamasta kyselytutkimuksesta Ruotsin tuotantoteollisuudessa, jossa kyseiset tekijät luokiteltiin tuotannon häiriöiksi. Tarkastellulla tehtaalla taas vastaavasti saldovirheet luokiteltiin tuotannon häiriötekijöiksi, mutta Bokrantz et al. (2016) suorittamassa tutkimuksessa saldovirheitä ei ole luokiteltu häiriöitä aiheuttaviksi tekijöiksi. On kuitenkin huomioitava, että Ruotsin tuotantoteollisuudessa suoritettussa tutkimuksessa saldovirheet ovat saatettu luokitella toisen luokan alle, kuten inhimilliseksi virheeksi, joten päätelmä ei ole täysin luotettava.

Edellä mainitun perusteella voidaan siis todeta, että yritysten välillä saattaa olla merkittäviäkin eroja siinä, mitkä tekijät luokitellaan häiriötekijöiksi. Tämän lisäksi myös yrityk-

sen sisällä saattaa olla erilaisia näkemyksiä siitä, mitkä tekijät yrityksessä koetaan häiriötekijöinä. Eriävät näkemykset erilaisten tekijöiden luokittelusta häiriötekijöiksi oli havaittavissa myös tarkastellulla tehtaalla, jossa tuotannontekijöiden ja esihenkilöstön välillä oli eriäviä mielipiteitä tekijöistä, jotka aiheuttavat häiriöitä tuotantolinjoilla.

Tuotannon häiriöitä tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä tarkasteltaessa on myös huomattava se, mitkä häiriöistä vaikuttavat negatiivisimmin jatkuvaan virtaukseen. Tässä tutkimuksessa tarkastellulla tehtaalla eniten häiriöitä aiheuttivat tekniset virheet, joiden voidaan uskoa vaikuttavan negatiivisimmin jatkuvaan virtaukseen. On kuitenkin huomattava, että eniten häiriöitä tuotannossa aiheuttava tekijä ei kuitenkaan välttämättä aina ole se, joka vaikuttaa merkittävimmin jatkuvaan virtaukseen. Esimerkiksi jos saldovirheet olisivat olleet tässä tutkimuksessa suurin tuotannon häiriöitä aiheuttava tekijä, niin todennäköisesti niiden vaikutus jatkuvaan virtaukseen ei kuitenkaan välttämättä olisi ollut merkittävin, sillä ne eivät olisi pysäyttäneet tuotantoa samalla tavalla kuin esimerkiksi jonkin laitteen rikkoutuminen. Täten siis häiriöiden määrä ei ole jatkuvaan virtaukseen negatiivisimmin vaikuttava tekijä, vaan häiriöiden laatu. Näin ollen kaksi teknistä virhettä voi olla jatkuvan virtauksen kannalta huomattavasti huonompi kuin kahdeksan saldovirhettä.

Häiriöiden määrästä ja laadusta huolimatta häiriöiden ennaltaehkäisy ja vähentämien on kuitenkin hyvin tärkeää jatkuvan virtauksen parantamisen kannalta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä. Tuotannossa esiintyviä häiriöitä, ja erityisesti niiden toistumista tuotannossa, on mahdollista ennaltaehkäistä, mikäli häiriöiden juurisyyt ovat tunnistettu. Tässä tutkimuksessa suoritetun juurisyyanalyysin tulosten perusteella juurisyyt olivat tunnistettu tehtaalla 1134 häiriöstä vain 688 häiriölle. Lisäksi osa järjestelmään merkityistä juurisyyistä ei varsinaisesti ollut häiriön juurisyy, vaan esimerkiksi tarkempi kuvaus esiintyneestä häiriöstä.

Tarkastellulla tehtaalla esiintyneiden häiriöiden juurisyyden puuttuminen ei näy ainoastaan tilastoissa, vaan myös siinä, että tietyt häiriöt ovat toistuneet jo pidemmän aikaa. Häiriöiden toistumista on siis saatettu yrittää estää erilaisten pikaratkaisujen avulla, mutta niiden vaikutus on ollut usein lyhytaikainen. Häiriöiden korjaaminen erilaisten pikaratkaisujen avulla on siis usein hyvin tehotonta vaikuttaen negatiivisesti jatkuvaan virtaukseen, sillä jatkuva toistuvien häiriöiden korjaaminen on usein arvoa tuottamattomaa toimintaa.

Juurisyyden puuttumisen lisäksi häiriöjärjestelmä sisälsi myös puutteellisesti kirjattuja juurisyyitä. Puutteelliset kirjaukset voidaan luokitella myös arvoa tuottamattomaksi toi-

minnaksi, sillä kirjaamiseen käytetään työaikaa, ja mikäli kyseinen aika ei edistä jatkuvaa virtausta, se ei tuota arvoa. Puutteelliset tai harhaanjohtavat kirjaukset voivat myös vaikeuttaa todellisten juurisyiden etsimistä.

5.2 Jatkuvan virtauksen kehittämiseen liittyvien menetelmien tarkastelu tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä

Tässä tutkimuksessa tarkastellun tehtaan jatkuvaa virtausta päädyttiin kehittämään etsimällä yhtä konkreettista ratkaisua tuotannosuunnitteluvirheiden ennaltaehkäisyyn ja minimointiin. Yrityksen ja tutkijan yhteisen näkemyksen pohjalta tutkimuksessa päädyttiin valitsemaan tutkimuksen kehityskohteeksi vain yksi häiriöluokka ja ratkaisumenetelmä, jotta tutkimuksessa voitaisiin kehittää mahdollisimman konkreettinen ja yrityksen haasteisiin parhaiten soveltuva ratkaisu. Tutkimuksen tulosten mukaan tekniset virheet muodostavat suurimman osan tehtaan tuotannon häiriöilmoituksista, mutta niiden ennaltaehkäisy ja/tai poistaminen vaatisi merkittävää laite- ja ohjelmistospesifistä asiantuntemusta, jolloin niiden kehittämisen ei katsottu olevan kannattavaa tämän tutkimuksen näkökulmasta.

Materiaalin laatuun liittyvät häiriöt muodostavat toiseksi suurimman osan kaikista tuotannon häiriöistä tehtaalla, mutta myös tämän osa-alueen kehittäminen jätettiin tämän tutkimuksen kehitystoimenpiteiden ulkopuolelle johtuen jo kehitteillä olevista laatu-toimenpiteistä. Vastaavasti myös kolmanneksi eniten häiriöitä aiheuttanut inhimillisten häiriöiden luokka jätettiin tämän tutkimuksen kehitystoimenpiteiden ulkopuolelle, sillä suurin osa häiriöistä on aiheutunut yhdestä tietyntyyppisestä automaattilinjan virheestä, jonka korjaamista ei myöskään katsottu järkeväksi tämän tutkimuksen osalta.

Saldovirheet aiheuttivat tuotantolinjalla vähemmän häiriöitä kuin tuotannosuunnitteluvirheet, jolloin tuotannosuunnitteluvirheiden ennaltaehkäisyn ja korjaamisen katsottiin olevan saldovirheiden ennaltaehkäisyä ja korjaamista merkittävämpää. Tuotannosuunnitteluvirheissä on myös kyse laajemmasta kokonaisuudesta kuin saldovirheet, joten myös siksi tuotannosuunnitteluvirheet priorisoitiin tärkeämmäksi kokonaisuudeksi. Toisaalta tuotannosuunnittelun ja ajoituksen parantamiseen kehitetyllä ratkaisulla on todennäköisesti kuitenkin mahdollista vähentää myös muiden häiriöiden, kuten muun muassa saldovirheiden määrää.

Saldovirheiden tavoin myös 'muu häiriö'-luokka jätettiin tämän tutkimuksen kehitystoimenpiteiden ulkopuolelle. Kyseinen häiriöluokka koostuu yksittäisistä häiriöistä, jolloin niiden ennaltaehkäisyä ja korjaavia toimenpiteitä ei katsottu merkittäväksi tämän tutkimuksen kannalta, sillä tässä tutkimuksessa luodun ratkaisun toivotaan vähentävän merkittävämmiin häiriöiden määrää yksittäisten häiriöiden minimoinnin sijaan.

Tuotannon häiriöiden linjakohtainen prosentuaalinen tarkastelu osoittaa, että häiriöitä esiintyy jokaisella tuotantolinjalla. Häiriöiden esiintyvyys ei ole olevan aivan tasaista, mutta häiriöt ovat kuitenkin yleinen ongelma jokaisella tuotantolinjalla. Täten voidaan siis todeta, että häiriöiden vähentämiseen on kannattavaa kehittää ratkaisu, joka tukee häiriöiden vähentämistä jokaisella tuotantolinjalla eikä esimerkiksi vain yksittäisellä tuotantolinjalla.

Edellä mainittujen luokitteluiden lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin myös tuotannon ajoituksen täsmällisyyttä. Tulosten perusteella tarkastellun tehtaan tilauksista valmistetaan karkeasti noin 20 % SFD-päivänä, eli vain noin viidesosa tuotteista valmistetaan täsmälleen alkuperäisen suunnitelman mukaan. Merkittävää on myös se, että tuotteista yli 40 % valmistetaan SFD-päivän jälkeen, eli tuotteiden valmistus on myöhästynyt alkuperäisestä suunnitellusta aikataulusta. Myöhästymiset suunnitellusta valmistuspäivästä vaikuttavat negatiivisesti jatkuvaan virtaukseen sekä vaarantavat myös tehtaan toimintätäsmällisyyttä. Nämä tulokset tukevat osaltaan näkemystä, että tutkimuksessa tulee löytää ratkaisu tuotannosuunnittelun ja ajoituksen kehittämiseen vähentääkseen tuotannossa esiintyviä, erityisesti tuotannosuunnitteluun ja ajoitukseen liittyviä häiriöitä ja täten lisäämään jatkuvaa virtausta.

Tutkimuksen teoriaosuudessa esiteltiin kolme erilaista laajempaa kategoriaa, joiden avulla jatkuvaa virtausta voidaan yleisesti parantaa: tuotannon ajanhallinta, tietojärjestelmät sekä Excel-tilukkolaskenta ja Lean-menetelmät/tekniikat. Kyseiset kategoriat voisivat kaikki toimia käytännössä osaltaan myös tarkastellun tehtaan jatkuvan virtauksen parantamisessa, sillä menetelmien avulla voidaan vähentää lisäarvoa tuottamattomia vaiheita sekä vähentää prosesseissa tapahtuvaa hävikkiä (mukaillen Kang et al. 2014). Erona aikaisempiin tutkimuksiin tämä tutkimus huomioi myös Excel-tilukkolaskennan osana jatkuvan virtauksen parantamista. Excel-tilukkolaskentaa on hyödynnetty myös tuotannosuunnittelussa ja ajoituksessa, kuten Perrin & Maier-Speredelozzi (2008) havaitsivat tutkimuksessaan, mutta tilukkolaskentaa ei ole aiemmissä tutkimuksissa nähty varsinaisena jatkuvan virtauksen parantamisen menetelmänä.

Tuotannon ajanhallinnan huomioiminen on hyvin tärkeää niin tuotannosuunnitteluvirheiden välttämisen kuin jatkuvan virtauksen näkökulmasta. Esimerkiksi Parkinsonin laki on hyvin yleinen muun muassa tilausohjautuvassa tuotannossa esiintyvä ilmiö, jonka poistaminen on mahdotonta, mutta sen huomioiminen on sitäkin tärkeämpää. Tarkastellulla tehtaalla tulee siis olla tietoisia, kuinka kauan tuotteiden valmistus todellisuudessa kestää, jotta tuotanto olisi mahdollisimman tehokasta. Parkinsonin lain vaikutukseen on mahdollista vaikuttaa esimerkiksi työntutkimusten avulla. Työntutkimusten

avulla on tarkoitus saada selville, kuinka kauan jokaisen tuotetyypin valmistaminen tarkalleen kestää. Tämänhetkiset tiedot tuotteiden valmistuksen kestosta ovat vanhentuneita ja perustuvat arvioihin.

Yksi tuotannosuunnittelun ja ajoituksen perusteista ja jatkuvaa virtausta edistävästä tekijöistä on myös toimivan tietojärjestelmän huomioiminen. Tarkastellulla tehtaalla on käytössä tällä hetkellä ERP-järjestelmiin kuuluva SAP-järjestelmä. Kyseinen SAP-järjestelmä ei kuitenkaan ole pystynyt huomioimaan rajallisen kapasiteetin suunnittelua tai sen avulla ei ole voitu luoda yksityiskohtaista suunnitelmaa, joka on johtanut tuotannosuunnitteluvirheiden syntymiseen ja siten heikentänyt jatkuvaa virtausta. Täten siis ERP-järjestelmä ei ole kyennyt vastaamaan yrityksen haasteisiin, jolloin sitä ei suositella käytettävän yksinään tehtaan tuotannosuunnitteluun ja ajoitukseen.

ERP-järjestelmän tukena tuotannosuunnittelussa ja ajoituksessa voidaan kuitenkin hyödyntää ERP-järjestelmään integroitavaa APS-järjestelmää, jonka avulla on mahdollista ennaltaehkäistä sekä vähentää edellä mainittuja ERP-järjestelmän avulla tehtävään tuotannosuunnitteluun ja ajoitukseen liittyviä haasteita. Hvolby & Steger-Jensen (2010) totesi, että APS-järjestelmät kykenevät huomioimaan myös materiaalien saatavuuden sekä muut tuotannon resurssit suunnitteluvaiheessa. Tehtaan yksi merkittävimmistä haasteista on ollut juuri materiaalin saatavuuden huomioiminen. Tutkimuksen tulosten mukaan kyseisestä aiheesta on aiheutunut jonkin verran häiriöitä tuotantolinjoilla, ja aihe on hyvin yleinen myös yrityksen aamupalavereissa. Tällä hetkellä materiaalilanteesta viestiminen on painottunut yrityksessä enimmäkseen sähköpostiviestintään sekä aamupalavereihin. APS-järjestelmän avulla suoritettussa tuotannosuunnittelussa ja ajoituksessa olisi kuitenkin mahdollista huomioida myös materiaalien saatavuustilanne, jolloin yritys voisi vähentää ylimääräistä kommunikointia osastojen välillä ja materiaalien reaaliaikainen saatavuustilanne olisi esillä yhdessä järjestelmässä.

Tutkimuksen aikana tarkastellulla tehtaalla esitettiin toive, että Excel-tilukkolaskentaa tarkasteltaisiin myös yhtenä vaihtoehtona tehtaan tuotannosuunnittelun ja ajoituksen osalta. Excel-tilukkolaskenta on edullinen vaihtoehto korvaamaan ERP-järjestelmään liittyvät kapasiteettiongelmat ja lisäksi tilukkolaskenta on mukautettavissa yrityksen tarpeisiin sopivaksi. Tilukkolaskennan käyttäminen tuotannosuunnittelussa ja ajoituksessa sekä jatkuvan virtauksen parantamisessa ei kuitenkaan välttämättä onnistu ongelmitta, vaan saattaa johtaa jopa uusiin haasteisiin. Järvenpää et al. (2015) totesi, että ylimääräisten ja muihin järjestelmään integroimattomien tilukoiden hyödyntäminen aiheuttaa usein osastojen välille ylimääräistä kommunikointia ja lisäksi erilliset tilukot hankaloittavat kokonaiskuvan muodostamista. Kommunikointihaasteet ovat kuitenkin olleet jo nyt merkittävä tehtaan tuotannosuunnittelua ja ajoitusta sekä jatkuvaa

virtausta haittaava tekijä, jonka vuoksi Excel-taulukkolaskentaa ei voida toistaiseksi suositella käytettäväksi tuotannonsuunnittelussa ja ajoituksessa tarkastellulla tehtaalla. Lisäksi Perrin & Maier-Speredelozzi (2008) mukaan tuotantotoimintojen seuranta ja ajoitus Excelin avulla tarjoaa erilaisia hyötyjä erityisesti vain pienille ja keskisuurille yrityksille.

Tuotannon ajanhallintaan perustuvien menetelmien lisäksi Lean-menetelmät ja -tekniikat, kuten Andon-järjestelmä, Heijunka, vetojärjestelmät sekä tahtiajan ohjaus ovat myös potentiaalisia vaihtoehtoja tuotannon virtauksen parantamiseen tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä, mutta kyseiset menetelmät ovat kuitenkin enemmän niin sanotusti tuotannon "hienosäätöä", eli tuotannonsuunnittelun ja ajoituksen perusteiden pitäisi olla ensin kunnossa, jotta kyseisten menetelmien avulla edistetään eikä vaaranneta jatkuvaa virtausta. Menetelmien hyödyntäminen tehtaalla olisi tällä hetkellä myös hyödytöntä, sillä tehtaalla ei ole tarkkaa tietoa siitä, kuinka kauan tuotteiden valmistus todellisuudessa kestää. Täten ei siis voida tietää, kuinka paljon kyseisten menetelmien käyttö tarjoaa todellisuudessa hyötyä yritykselle, sillä todellista aikoihin perustuvaa vertailupohjaa ei ole saatavilla.

5.3 Suositukset tehtaalle

Tarkastellulle tehtaalle muodostetut suositukset ovat esitetty aikataulutetussa muodossa liitteessä A. Häiriöiden hallinnan ja ennaltaehkäisyn osalta tehtaallaan aloittavan ensin määrittelemään tarkemmin ne tekijät, jotka tehtaalla tulisi luokitella häiriötekijöiksi ja jotka täten tulisi kirjata häiriöjärjestelmään, sillä Bokrantz et al. (2016) mukaan tuotannon häiriöiden minimointi edellyttää yrityksessä yhteistä näkemystä siitä, minkä tekijöiden yritys kokee aiheuttavan häiriöitä. Tutkimuksessa suoritettavat haastattelut kuitenkin osoittavat, että tehtaalla tuotannon työntekijöiden sekä johtohenkilöiden näkemykset häiriökäsitteestä eivät täysin kohtaa.

Häiriötekijöiden tarkemman määrittelyn avulla tarkastellun tehtaalla työntekijät tulevat entistä tietoisemmaksi jatkuvaa virtausta haittaavista tekijöistä tehtaalla, jolloin virtausta on mahdollista tehostaa. Tässä tutkimuksessa esimerkiksi taukoja, palaveria sekä henkilöstöpulaa ei määritetty häiriötekijöiksi, jotka taas Bokrantz et al. (2016) suorittamassa tutkimuksessa koettiin aiheuttavan häiriötä. Kyseiset tekijät eivät suoranaisesti aiheuta tuotantolinjalla erityistä 'virhettä' tai 'vikaa', jolloin tekijöitä ei todennäköisesti usein koeta häiriötekijöiksi. Lisäksi esimerkiksi tauot saatetaan kokea tehtaalla jopa tuottavana aikana, jolloin niitäkään ei merkitä häiriötekijöiksi (mukaillen Ljungberg 1998).

Tarkastellun tehtaan tulee kuitenkin huomioida, että esimerkiksi juuri tauot, palaverit sekä henkilöstöpula vaikuttavat kuitenkin vähintään osittain haitallisesti jatkuvaan virtaukseen virtauksen keskeytyessä. Tästä johtuen yritystä suositellaan tarkastelemaan esimerkiksi Bokrantz et al. (2016) tutkimuksessa havaittuja häiriötekijöitä ja pohtimaan, aiheuttavatko kyseiset tekijät häiriön ja jatkuvan virtauksen katkeamisen myös tarkastellulla tehtaalla. Häiriölistaa tulisi myös päivittää säännöllisesti, sillä häiriötekijöitä saattaa tulla ajan myötä lisää tai ne saattavat muuttua. Tällöin yritys voisi varmistua siitä, että kaikki häiriöt tulisivat kirjattua yrityksen häiriöjärjestelmään, ja tehtaalla olisi ajantasainen tieto kaikista tuotantolinjoilla ilmenevistä häiriöistä. Tämä edesauttaisi huomattavasti häiriöiden ennaltaehkäisyssä ja poistamisessa, ja siten myös jatkuvan virtauksen parantamisessa. Tämä tehtävä on katsottu suoritettavaksi tehtaan laatuosaston toimesta.

Tarkastellun tehtaan työntekijät ovat kokeneet tuotannon häiriöjärjestelmän olevan helppo ja yksinkertainen käyttää, joten sen vaihtoa toiseen järjestelmään ei suositella, mutta häiriöilmoituksen kirjaamiseen ja käsittelyyn suositellaan kuitenkin pienimuotoista koulutusta sekä kirjallisia ohjeita. Nämä olisivat laatuosaston seuraavat vaiheet häiriöiden hallinnan ja ennaltaehkäisyn osalta. Koulutuksessa tulisi erityisesti painottaa häiriön juurisyyn etsimisen tärkeyttä, jotta häiriöt voitaisiin ennaltaehkäistä mahdollisimman hyvin tulevaisuudessa ja estää siten häiriöiden toistuminen. Nämä vaiheet ovat suunniteltu toteutettavan vuoden 2022 aikana. Edellä mainittujen vaiheiden jälkeen häiriöiden seuranta ja tarvittavia toimenpiteitä häiriöiden ennaltaehkäisyyn ja poistamiseen tulisi jatkaa, ja lisäksi häiriöiden juurisyiden löytämiseen ehdotetaan erityisesti laatuosaston tukea. Tämä vaihe on suunniteltu alkavan vuoden 2022 toisella vuosineljänneksellä ja jatkuvan toistaiseksi.

Tuotannon häiriöiden ennaltaehkäisyn ja poistamisen osalta tehdasta suositellaan luomaan alkuun tehtaan työntekijöistä tuotannosuunnittelun kehitystiimi, joka vastaisi kehitysprojektin etenemisestä. Kehitystiimin uskotaan myös pienentävän mahdollista muutosvastarintaa mahdollisen uuden järjestelmän implementointivaiheessa. Varsinainen kehitysprojekti alkaisi kuitenkin tehtaan tuotannosuunnittelun nykytilan tarkalla määrittelyllä. Tässä vaiheessa suositellaan, että näkemyksiä nykytilasta kerätään mahdollisimman laajasti tehtaan työntekijöiltä, jotta nykytilasta saadaan mahdollisimman tarkka ja todenmukainen kuva.

Nykytilan määrittelyn jälkeen tuotannon häiriöiden ennaltaehkäisyyn ja poistamiseen, erityisesti tuotannosuunnitteluvirheiden osalta, tehdasta suositellaan suorittamaan työntutkimuksia sekä kehittämään tuotannosuunnittelu- ja ajoitusjärjestelmänsä. Tarkasteltaessa tehtaan tuotannon ajoituksen täsmällisyyttä voidaan havaita, että tehtaan

SFD-päivät eivät usein vastaa todellisuutta. Tulosten perusteella tuotanto on usein myöhässä, joka ilmentää sitä, että aika tilauksen vastaanottamisesta sen valmistukseen on arvioitu liian lyhyeksi. Arvioidussa ajassa ei siten ole huomioitu ajallisia pusku-reita, jotka Kulkarnin et al. (2017) mukaan suojaisi epävarmuustekijöiden aiheuttamilta vaikutuksilta. Siten tähän suositellaan kiinnitettävän huomiota tehtaalla myös jatkossa.

Tuotannon täsmällisyyden parantamiseksi tarkasteltua tehdasta suositellaan myös hankkimaan ulkopuolinen taho suorittamaan työntutkimuksia tuotantolinjoilla vähentääkseen Parkinsonin lain vaikutusta sekä toisaalta välttämään myös työntekijöiden yli-kuormitusta. Tämä auttaa sekä työntekijöitä että työntajia luomaan mahdollisimman tehokkaan ja turvallisen työympäristön. Tutkimuksen tulosten perusteella noin 30 % tuotteista valmistetaan myös ennen SFD-päivää, joka osoittaa, että osa tuotteista on mahdollista valmistaa myös suunniteltua aikataulua nopeammin. Luku saattaisi myös todellisuudessa olla suurempi, mutta Parkinsonin lain mukaan työn ylisuorittaminen ei motivoi ihmistä, sillä tehtävän suorittaminen suunniteltua nopeammin osoittaa johdolle, että tehtävä olisi ollut mahdollista suorittaa nopeammalla aikataululla (Izmailov et al. 2016), ja tämä saattaa siten johtaa muun muassa resurssien vähentämiseen (Chen & Hall 2021). Täten tarkastellun tehtaan tulisi olla tietoinen tuotteiden valmistukseen kuluvista todellisista ajoista tehostaakseen tuotantoa, ja parantaakseen näin jatkuvaa virtausta.

Tuotteiden valmistukseen kuluviin todellisten aikojen määrittäminen voidaan tehdä työntutkimusten avulla. Työntutkimuksia suorittamaan suositellaan palkattavan yrityksen ulkopuolinen henkilö, jotta tulokset olisivat mahdollisimman todenmukaisia, ja vältyttäisiin mahdollisilta työntutkimuksen aiheuttamilta ristiriitaisuuksilta yrityksen sisällä. Lisäksi työntutkimusten suorittamisen jälkeen on mahdollista havaita paremmin myös erilaisten kehitystoimenpiteiden todelliset vaikutukset tuotantoajoissa.

Toinen hyvin potentiaalinen vaihtoehto jatkuvan virtauksen kehittämisen kannalta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä toimivalle tehtaalle olisi integroida APS-järjestelmä omaan ERP-järjestelmäänsä tai hankkia APS-järjestelmä lisäosana ERP-järjestelmän tueksi, jotta yrityksen tärkeimmät tiedot (tässä tapauksessa erityisesti tuotannon suunnittelun ja ajoituksen osalta) olisivat yhdessä paikassa ja kaikkien tietoja tarvittavien saatavilla. APS-järjestelmä mahdollistaa tarkemman ja tehokkaamman tuotannon suunnittelun ja ajoituksen, jolloin uudelleenajoitusten tarve, joka toisaalta voidaan luokitella myös hukaksi, vähenee. Näin yrityksen olisi mahdollista välttää useita häiriötilanteita ja näin parantaa myös jatkuvaa virtausta.

Tehtaan hyväksyessä sisäisesti APS-järjestelmän käyttöönoton, on APS-järjestelmän hankinta esiteltävä ja hyväksyttävä yrityksen johdolla. Kun APS-järjestelmän hankinnalle ei ole todettu esteitä, suositellaan tuotannonsuunnittelun kehitystiimiä etsimään potentiaalisia APS-järjestelmän palveluntarjoajia ja esittävän palveluntarjoajille tarjouspyyntöjä. Tämän jälkeen kehitystiimin tulisi ehdottaa potentiaalisinta ratkaisua yrityksen johdolle, joka lopulta hyväksyy ratkaisun. Tähänastiset kehitysprojektin vaiheet ovat suunniteltu toteutettavan vuonna 2022.

Tarkasteltavaa tehdasta suositellaan jatkavan vuonna 2023 APS-järjestelmän käyttöönottoa kehittämällä APS-järjestelmää tehtaan tarpeisiin sopivaksi (mukaillen Entrup 2005, s. 31). Näin APS-järjestelmän avulla pystytään vastaamaan juuri tehtaan haasteisiin, sillä järjestelmä on tehtaalle uusi. Giacom & De Mesquita (2011) tutkimuksessa suoritetun kyselyn perusteella 50 % kyselyyn vastanneista ilmoitti ottavansa APS-järjestelmän käyttöön, ja jo järjestelmää hyödyntävät yritykset eivät olleet raportoineet tyytymättömyydestä järjestelmän käyttöönottoon liittyen. Tämän perusteella voidaan varovasti olettaa, APS-järjestelmä olisi toimiva ratkaisu tuotannonsuunnittelu- ja ajoitushaasteisiin myös tarkastellulla tehtaalla. Giacom & De Mesquita mukaan APS-järjestelmän käyttöönottoa yrityksissä rajoittavat kuitenkin muun muassa järjestelmän mukauttaminen yrityksen toimintaan, järjestelmien välinen integrointi sekä koulutuksen puute, joihin tehdasta suositellaan varautumaan ennalta.

APS-järjestelmän mukauttamiseen tehtaan toimintaan auttaa tiivis yhteistyö palveluntarjoajan ja tarkastellun tehtaan välillä. Järjestelmän aktiivinen testaaminen tehtaalla sekä mahdollisista ongelmakohtista raportointi palveluntarjoajalle auttavat kehittämään parhaiten soveltuvan version APS-järjestelmästä juuri tarkastellulle tehtaalle. (mukaillen Entrup 2005, s. 32) APS-järjestelmien integrointia muihin järjestelmiin voidaan edesauttaa osaavalla teknisellä tuella. Koulutuksen osalta tehdasta suositellaan perehdyttämään tulevia järjestelmän käyttäjiä jo järjestelmän ensimmäisistä käyttöönottoeroista lähtien, jotta kynnys järjestelmän käytölle myöhemmässä vaiheessa madaltuisi. Koulutus tulee hoitaa organisoidusti ja järjestelmän käyttäjille tulee tarjota tukea myös koulutusten jälkeen.

APS-järjestelmän testaaminen yhdessä palveluntarjoajan kanssa on suunniteltu tapahtuvan noin toisen vuosineljänneksen puolivälissä. Tuotannonsuunnittelun liittyvän kehitysprojektin olisi tarkoitus tulla päätökseen APS-järjestelmän osalta vuoden 2023 loppupuolella, jolloin APS-järjestelmä olisi tarkoitus saada lopullisesti yrityksen käyttöön parantamaan sekä helpottamaan tuotannonsuunnittelua sekä osaltaan parantamaan jatkuvaa virtausta. Tuotannonsuunnittelun kehittämistä suositellaan kuitenkin jatkettavan vielä APS-järjestelmän käyttöönoton jälkeen, ja myöhemmin tehtaalla voidaan

mieltä esimerkiksi tässä tutkimuksessa esiteltyjen Lean-menetelmien/-tekniikoiden hyödyntämistä tuotannosuunnittelun ja ajoituksen kehittämisessä.

6. PÄÄTELMÄT

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen loppupäätelmät. Ensimmäisessä alaluvussa tarkastellaan tutkimuksen tavoitteiden saavuttamista, ja tämän jälkeen pohditaan tutkimuksen käytännön vaikutuksia sekä yrityksen toiminnan kannalta että yleisesti akateemisella tasolla. Tämän jälkeen luvussa käsitellään tutkimukseen liittyviä rajoittavia tekijöitä sekä arvioidaan suoritettun tutkimuksen laatua. Viimeinen alaluku käsittelee aiheeseen liittyviä tulevaisuuden tutkimuksia.

6.1 Tutkimuksen tavoitteiden saavuttaminen

Tämän tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena oli tunnistaa sekä ymmärtää tilausohjautuvan tuotantoympäristön häiriöitä ja häiriöiden syitä. Akateemisesta näkökulmasta aiheesta löytyi vain vähän tutkimuksia ja erityisesti uusimpien tutkimuksien määrä oli erittäin vähäinen. Täten oli siis haastavaa muodostaa esimerkiksi vertailuja eri tutkimusten havaitsemista häiriöistä tai niiden syistä tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä.

Tässä tutkimuksessa onnistuttiin erityisesti tunnistamaan sekä ymmärtämään tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä esiintyviä häiriöitä tarkastelemalla tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä toimivan Kone Industrialin tehtaan hieman yli vuoden aikana ilmenneitä häiriöitä. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan tekniset virheet muodostavat suurimman osan tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä toimivan tehtaan häiriöistä ja ne ovat mahdollista jakaa vielä eri alaluokkiin, kuten tilaus-, ohjelmisto- ja laiteteknisiin häiriöihin sekä muihin teknisiin häiriöihin. Tulosta ei kuitenkaan voida yleistää koskemaan kaikkia tilausohjautuvia tuotantoympäristöjä, koska häiriöitä tarkasteltiin vain yhdessä tilausohjautuvassa yrityksessä. Lisäksi tutkimuksessa onnistuttiin tunnistamaan häiriöiden syitä tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä, mutta niiden syvällisempi ymmärtäminen olisi vaatinut kattavammat tiedot häiriöilmoitusaineistossa. Häiriöilmoitusaineistossa oli kirjaamatta 40 % häiriöiden juurisyyistä.

Tarkastellun tehtaan näkökulmasta ensimmäisen tavoitteen osalta tämän tutkimuksen avulla onnistuttiin erityisesti lisäämään yrityksen ymmärrystä tehtaalla ilmenevistä häiriöistä. Yrityksessä on siis aiemmin jo onnistuttu tunnistamaan tehtaalla ilmeneviä häiriöitä häiriöilmoitusaineiston avulla, mutta tämän tutkimuksen avulla onnistuttiin ilmentä-

mään yritykselle erityisesti häiriöiden tarkempaa sisältöä sekä niiden tuotantolinjajepusteista sijaintia. Lisäksi juurisyysanalyysin avulla onnistuttiin luomaan yritykselle karkea käsitys häiriöiden juurisyistä.

Tutkimuksen toisena tavoitteena oli löytää yksi konkreettinen menetelmä tehtaan tuotannon häiriöiden ennaltaehkäisyyn sekä poistamiseen ja täten jatkuvan virtauksen parantamiseen tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä. Akateemisesta näkökulmasta myös tämän tavoitteen osalta teoreettisen tiedon määrä oli rajallinen, eli häiriöiden ennaltaehkäisyyn ja poistoon liittyvistä menetelmistä tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä löytyi vain vähän tutkimuksia ja erityisesti viimeaikaisia tutkimuksia löytyi hyvin vähän.

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella eräs keino ennaltaehkäistä ja vähentää häiriöitä ja näin parantaa jatkuvaa virtausta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä on hyödyntää APS-järjestelmää ERP-järjestelmän tukena tuotannonsuunnittelussa ja ajoituksessa. Näin voidaan siis vähentää ja ennaltaehkäistä erityisesti tuotannonsuunnitteluun ja ajoitukseen liittyviä häiriöitä muun muassa järjestelmän luoman paremman näkyvyyden sekä resurssit huomioivien suunnitelmien avulla. APS-järjestelmän hyödyntämisestä tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä ei löydy suoria kokeellisia tutkimuksia, mutta yleisesti APS-järjestelmään liittyvissä tutkimuksissa on mainittu sen soveltuvuudesta ja eduista tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä.

Yrityksen näkökulmasta tarkastellulla tehtaalla yritetään jatkuvasti kehittää erilaisia menetelmiä häiriöiden ennaltaehkäisyyn sekä vähentämiseen, mutta erityisesti tuotannonsuunnitteluun ja ajoitukseen liittyvien häiriöiden vähentämiseen olevia menetelmiä on vähän. APS-järjestelmää ei ole ennen kokeiltu tehtaan tuotannonsuunnittelussa ja ajoituksessa, joten teorian perusteella järjestelmä voisi olla erittäin potentiaalinen keino tuotannonsuunnitteluun ja ajoitukseen liittyvien häiriöiden ennaltaehkäisyssä ja poistamisessa.

6.2 Tutkimuksen käytännön vaikutukset

Tutkimuksella voidaan havaita olevan erilaisia käytännön vaikutuksia erityisesti tarkastellun tehtaan toiminnan kannalta, mutta myös yleisemmin muiden yritysten kannalta. Kone Industrialin näkökulmasta tutkimus auttaa tehdasta ymmärtämään, kuinka paljon häiriöitä tehtaalla esiintyy, minkä verran eri tuotantolinjoilla häiriöitä esiintyy ja millaisia häiriöt ovat. Lisäksi tutkimus auttaa myös pienellä varauksella juurisyysanalyysia tulkiten ymmärtämään, miksi häiriöitä esiintyy. Näiden tietojen avulla yrityksellä on mahdolli-

suus kehittää itsenäisesti erilaisia toimenpiteitä häiriöiden ennaltaehkäisyyn ja poistamiseen sekä priorisoida häiriöiden hallintaa siten, että mahdolliset kehystoimenpiteet kohdistetaan ensin esimerkiksi siihen tuotantolinjaan, jos häiriöiden osuus on merkittävien. Kokonaisuudessaan häiriöiden ennaltaehkäisy ja poistaminen johtavat myös jatkuvan virtauksen paranemiseen.

Yleisellä tasolla tutkimus auttaa myös muita yrityksiä ymmärtämään, millaisia häiriöitä tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä esiintyy sekä hieman myös häiriöiden juurisyitä. Näin muun muassa aloittavat yritykset tai muusta tuotantoympäristöstä tilausohjautuvaan tuotantoympäristöön siirtyvät yritykset voivat varautua jo ennalta siihen, millaisia häiriöitä juuri tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä saattaa mahdollisesti myöhemmin esiintyä. Täten yritykset voivat siis mahdollisesti estää joidenkin häiriöiden muodostumisen täysin jo ennalta, joka on voi olla hyvinkin merkittävä asia aloittelevalle tai muutoksia kokevalle yritykselle. Myös muiden yritysten osalta häiriöiden ennaltaehkäisy ja poistaminen johtavat jatkuvan virtauksen paranemiseen.

Tutkimuksessa tehdasta suositellaan myös ottavan käyttöön APS-järjestelmän tuotannosuunnitteluun liittyvien häiriöiden vähentämiseksi. Tehtaan osalta ensimmäinen käytännön vaikutus, jonka APS-järjestelmän käyttöönotto voisi tehtaalle luoda, olisi kommunikoinnin parantuminen. Yrityksellä on käytössään tällä hetkellä paljon erilaista aineistoa toiminnastaan, mutta tiedot ovat hajautuneet esimerkiksi työntekijöiden omiin sähköposteihin sekä yksittäisiin Excel-tiedostoihin. APS-järjestelmän avulla yrityksellä olisi mahdollisuus koota tiedot yhteen järjestelmään, jossa tiedot ovat kaikkien työntekijöiden saatavilla ja ne päivittyvät reaaliaikaisesti. Näin tehdas kykenisi reagoimaan nopeammin ja joustavammin erilaisiin muutoksiin. Lisäksi tietojen yhdistäminen yhteen järjestelmään parantaisi myös työn tehokkuutta, kun asiat tehtäisiin kerralla oikein reaaliaikaisen tiedon avulla.

Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi tietojen yhdistäminen poistaisi myös henkilösidonaisuutta, kun tiedot ovat kaikkien saatavilla, ja näin esimerkiksi tuotannosuunnittelua voisi tehdä useampi henkilö. APS-järjestelmän käyttöönoton avulla myös esimerkiksi sairaspöissaolot sekä lomat eivät aiheuttaisi merkittävää haittaa tuotannosuunnitteluun ja ajoitukseen. Lisäksi useat APS-järjestelmät kykenevät ajoittamaan tuotantotilaukset automaattisesti, jolloin henkilöresursseja olisi mahdollista vapauttaa muihin työtehtäviin.

Toinen merkittävä positiivinen käytännön vaikutus APS-järjestelmän käyttöönotolla olisi todellisten resurssien huomioiminen tuotannosuunnittelussa, jolloin suunnitelmia olisi mahdollista muokata joustavammin käytettävissä olevien resurssien perusteella. Näin

esimerkiksi asiakkaille olisi mahdollista luvata realistisempia toimituspäiviä mahdollisten materiaalihaasteiden ilmetessä sekä työntekijäresurssien muuttuessa. Täten järjestelmän avulla on myös mahdollisuus kehittää toimitusvarmuutta.

Teknisempien käytännön vaikutusten lisäksi APS-järjestelmän käyttöönotolla olisi mahdollista vaikuttaa positiivisesti työntekijöiden hyvinvointiin. APS-järjestelmän avulla merkittävimmät tiedot olisivat jokaisen työntekijän saatavilla, joka lisäisi prosessien läpinäkyvyyttä, parantaisi tiedon kulkua ja siten myös tehostaisi kommunikointia. Täten järjestelmän avulla olisi siis mahdollista minimoida kommunikointihaasteet, jotka aiheuttavat usein turhia ristiriitoja työntekijöiden välille.

Edellä mainitut asiat APS-järjestelmän käyttöönottoon liittyen pätevät myös yleisellä tasolla, ja ovat sovellettavissa myös muihin, erityisesti tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä toimiviin yrityksiin. Tutkimuksen teoreettisen taustan avulla yrityksillä on mahdollisuus tutustua myös muihin vaihtoehtoihin, joilla jatkuvaa virtausta on mahdollista kehittää. Täten yritykset voivat löytää juuri omaa tilannettaan parhaiten tukevan ratkaisun.

6.3 Tutkimukseen liittyvät rajoitukset ja tutkimuksen laadunarviointi

Tutkimukseen liittyy joitakin rajoituksia. Esimerkiksi tutkimukseen käytetty tuotannon häiriöilmoituksiin liittyvä aineisto on kerätty hieman yli vuoden ajalta, jolloin se ei mahdollista eri vuosien välistä häiriöiden vertailua. Toisaalta aineistosta ilmenee kuitenkin hyvin viimeisen vuoden aikana esiintyneet haasteet, jolloin ratkaisun kehittäminen perustuu niin sanotusti ”pinnalla” olleisiin haasteisiin.

Toinen tutkimukseen liittyvä rajoite on tutkijan syvällisen tiedon puute tuotantolinjojen toiminnoista sekä tuotteiden valmistuksesta. Tällä on siis saattanut olla vaikutusta häiriöilmoitusten syvällisempään sekä kriittiseen tulkintaan. Tutkija ei siis välttämättä ole pystynyt tunnistamaan muun muassa virheellistä tai ristiriitaista tietoa sisältäviä häiriöilmoituksia, vaan luokitellut nämä häiriöilmoitukset muiden ilmoitusten tavoin.

Kolmas ja viimeinen tutkimukseen liittyvä rajoite liittyy kyvyttömyyteen testata APS-järjestelmän toimivuutta tehtaalla. APS-järjestelmän käyttöönotto on pitkä ja kallis prosessi, jolloin sen lyhytaikainen testaaminen yrityksen toimintaympäristössä ei ole ollut mahdollista. Täten ei siis voida olla täysin varmoja, kuinka järjestelmä tulisi toimimaan tarkastellulla tehtaalla sekä auttamaan yrityksen haasteiden ratkomisessa.

Tutkimukseen liittyvien rajoitusten lisäksi voidaan tunnistaa joitakin tutkimuksen laatuun liittyviä heikkouksia. Esimerkiksi tutkimuksessa tehdyssä tuotannon häiriöiden luokittelussa on huomioitava subjektiivisuus, eli häiriöiden luokittelijalla on saattanut olla jonkin verran vaikutusta lopputulokseen. Häiriön syy on mahdollista käsittää joidenkin häiriökuvausten perusteella eri tavoin. Esimerkiksi häiriön luokittelu inhimilliseksi virheeksi ei ole suoraviivaista, sillä lähes kaikissa häiriöissä ihminen on jollakin tavalla osallisena. Tässä tutkimuksessa inhimilliseksi virheeksi on luokiteltu tapaus, joka on ollut suora seuraus ihmisen toiminnasta.

Tämän lisäksi on myös huomioitava, että häiriöilmoituksen tehnyt henkilö ei välttämättä ole osannut analysoida häiriötä oikein kokemuksen tai tietämyksen puutteesta johtuen, jolloin häiriö on saattanut johtua jostakin muusta tekijästä kuin häiriöilmoituksessa on mainittu. Häiriöilmoitus on myös saatettu luoda kiireessä, jolloin häiriötä ei ole ehditty kuvailemaan ilmoitukseen tarkemmin, jolloin häiriö voidaan tulkita eri tavoin.

Toinen tutkimuksessa havaittava heikkous liittyy häiriöilmoitusten juurisyyanalyysiin. Tutkimuksessa suoritettujen juurisyyanalyysien tuloksiin tulee suhtautua varauksella johtuen aineiston luotettavuudesta. Analyysiin käytettävässä aineistossa juurisyyt olivat esitetty 1134 häiriöilmoituksesta vain 688 ilmoitukselle, jolloin kyseisten häiriöilmoitusten perusteella tehty Pareto-kuvaaja saattaa antaa vääristynyttä tietoa häiriöiden juurisyyden esiintyvyydestä. Tekniset virheet ovat todennäköisesti kuitenkin tästä huolimatta merkittävin juurisyy tuotannossa esiintyviin häiriöihin, sillä niiden määrä on erittäin suuri.

Lisäksi juurisyyanalyysin luotettavuutta heikentää juurisyyyn määrittämiseen liittyvät haasteet. Häiriöilmoitusaineistosta on havaittavissa, että juurisyyyn kirjoittaja ei välttämättä ole tarkalleen tiennyt, mitä juurisyyllä tarkoitetaan tai sen etsimiseen ei ole ollut tarpeeksi aikaa tai halua. Esimerkiksi häiriöilmoitusaineistosta löytyy useita esimerkkejä tapauksista, jossa materiaalin laatuun liittyvän häiriön kohdalla juurisyyksi on kirjattu vain 'toimittajan virhe'. Juurisyy saattaa siis johtua toimittajan tekemästä virheestä, mutta juurisyytä kuvaillessa tulisi mainita tarkemmin, että mikä häiriön on aiheuttanut – esimerkiksi toimittajan nimi. Tämä auttaisi häiriöiden ennaltaehkäisyssä sekä mahdollistaisi häiriöiden paremman seurattavuuden. Puutteellisten juurisyykuvailujen lisäksi juurisyyksi oli saatettu kirjoittaa myös esimerkiksi häiriön korjaavia toimenpiteitä.

Heikkouksien ohella tutkimuksessa ilmeni myös tutkimuksen laatua parantavia tekijöitä. Esimerkiksi erään tuotannon tiiminvetäjän mukaan tuotannon häiriöistä tehdään aina häiriöilmoitus, jolloin siis voidaan olettaa, että kaikki tuotannossa esiintyneet häiriöt

ovat kirjattu järjestelmään. Täten siis tutkimuksessa esitettyjen häiriöiden määrää voidaan pitää melko luotettavana, vaikka yksittäisiä häiriöitä olisikin joutunut hieman tulkitsemaan häiriöiden luokitteluvaiheessa.

Tuotannon tiiminvetäjän mukaan häiriöiden ilmoitusjärjestelmä koetaan työntekijöiden mukaan myös selkeäksi, yksinkertaiseksi sekä nopeakäyttöiseksi. Tämä vahvistaa näkemystä, että jokaisesta tuotantolinjalla esiintyneestä häiriöstä on tehty häiriöilmoitus, sillä työntekijät eivät ole tunnistanee järjestelmään liittyviä haasteita. Täten esimerkiksi myös kiiretilanteissa on pystytty luomaan häiriöilmoitus, koska ilmoituksen tekeminen on onnistunut nopeasti.

Kolmas tämän tutkimuksen luotettavuutta lisäävä tekijä on triangulaation hyödyntäminen tutkimuksessa. Tutkimusaineistoon ja teoriaan liittyvän sekä metodisen triangulaation hyödyntämisellä voidaan siis varmistaa, että tässä tutkimuksessa on huomioitu erilaisia näkökulmia, jolloin tutkimuksen havainnot ovat perustuneet mahdollisimman vähän vain tutkijan omiin näkökulmiin.

6.4 Ehdotuksia tulevia tutkimuksia varten

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, millaiset tuotantoprosessin häiriöt heikentävät jatkuvaa virtausta sekä millaisella konkreettisella keinolla prosessin omistaja voi parantaa jatkuvaa virtausta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä. Akateemisesta näkökulmasta tulevissa tutkimuksissa suositellaan jatkettavan vielä tutkimusta tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä esiintyvistä häiriöistä, sillä kyseiseen aiheeseen liittyvää viimeaikaista tietoa on vähän. Asiakkaiden vaatimusten kasvaessa tilausohjautuvista tuotantoympäristöistä on tulossa yhä suositumpia, joten on tärkeää tietää tarkemmin, millaisia häiriöitä kyseisessä tuotantoympäristössä nykyään esiintyy, jotta häiriöiden ennaltaehkäisyyn sekä poistamiseen voitaisiin kehittää mahdollisimman tehokkaita menetelmiä.

Eräs mahdollinen menetelmä erityisesti tuotannonsuunnitteluun ja ajoitukseen liittyvien häiriöiden ennaltaehkäisyyn ja vähentämiseen sekä jatkuvan virtauksen parantamiseen tilausohjautuvassa tuotantoympäristössä on hyödyntää APS-järjestelmää ERP-järjestelmän tukena. Vielä tarvitaan kuitenkin lisää tutkimuksia siitä, kuinka hyvin APS-järjestelmä pystyy vastaamaan juuri tilausohjautuvan tuotantoympäristön tuotannonsuunnitteluun ja ajoitukseen liittyviin haasteisiin sekä jatkuvan virtauksen parantamiseen kyseisessä tuotantoympäristössä. Laajempien tutkimusten tekeminen auttaisi lisäksi APS-järjestelmän kehittämisessä vastaamaan vieläkin paremmin tilausohjautuvan tuotantoympäristön vaatimuksia.

Tarkastellun tehtaan näkökulmasta tulevissa tutkimuksissa suositellaan jatkettavan tutkimusta tehtaan häiriöiden juurisyistä. Tämä edellyttää, että häiriöiden juurisyitä aletaan etsiä ja kirjaamaan yrityksessä aktiivisemmin, jotta tutkimus olisi mahdollista suorittaa. Ajallisesti tällainen tutkimus olisi mahdollista hieman yli vuoden päästä, jolloin juurisyitä olisi kertynyt riittävä määrä tarkempia analysointeja varten. Tutkimus olisi hyvin tärkeää, jotta tulevia häiriöitä voitaisiin ennaltaehkäistä mahdollisimman tehokkaasti. Juurisyiden tehokkaampi analysointi auttaisi myös tehdasta luomaan itse erilaisia häiriöiden poistomenetelmiä, jotka soveltuvat juuri yrityksen omaan tarpeeseen.

Lisäksi yrityksen näkökulmasta tulisi jatkaa tutkimuksia siitä, kuinka esimerkiksi tässä työssä esitetyt muut jatkuvan parantamisen menetelmät toimisivat tarkastellulla tehtaalla ja voisiko jokin menetelmistä olla hyödynnettävissä kaikilla Kone Industrialin Hyvinkään yksikön tehtailla. Yhtenäisten menetelmien hyödyntäminen kaikilla yksikön tehtailla auttaisi harmonisoimaan koko yksikön jatkuvaa virtausta.

LÄHTEET

- Ahokas, P., Tiihonen, J., Neuvonen, J. & Suikki, M. (2011). Työntutkimuksen käsitteitä, menettelytapoja ja käyttökohteita. Teknologiateollisuus. Saatavissa: https://teknologia-teollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/tyomarkkinat_kannustava_palkkaus_palkkaustapoja_tyontutkimuksen_menettelytavat.pdf
- Andersen, B. & Fagerhaug, T. (2002). Root cause analysis: simplified tools and techniques. *Journal for Healthcare Quality*. Vol. 24(3), pp. 46-47.
- Anttila, P. (2021) Tutkimisen taito ja tiedon hankinta. Verkkosivu. Saatavilla (viitattu 29.11.2021): <https://metodix.fi/2014/05/17/anttila-pirkko-tutkimisen-taito-ja-tiedon-hankinta/>
- Arsene, C. G. & Constantin, G. (2019). Industry 4.0: Key questions in manufacturing. MATEC web of conferences. Vol. 290. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201929002003>
- Aslan, B., Stevenson, M. & Hendry, L. C. (2012). Enterprise resource planning systems: an assessment of applicability to make-to-order companies. *Computers in Industry*. Vol. 63(7), pp. 692–705.
- Aslan, B., Stevenson, M. & Hendry, L. C. (2015). The applicability and impact of Enterprise Resource Planning (ERP) systems: results from a mixed method study on make-to-order (MTO) companies. *Computers in Industry*. Vol. 70, pp. 127–143.
- Bellgran, M. & Aresu, E. (2003). Handling disturbances in small volume production. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. Vol. 19(1-2), pp. 123–134.
- Bellgran, M. & Säfsten, K. (2010). *Production development*. London: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-495-9>
- Bohnen, F., Maschek, T. & Deuse, J. (2011). Leveling of low volume and high mix production based on a group technology approach. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. Vol. 4(3), pp. 247–251.
- Bokrantz, J., Skoogh, A., Ylipää, T. & Stahre, J. (2016). Handling of production disturbances in the manufacturing industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*. Vol. 27(8), pp. 1054–1075.
- Chen, B. & Hall, N. G. (2021). Incentive schemes for resolving Parkinson's Law in project management. *European Journal of Operational Research*. Vol. 288(2), pp. 666–681.
- Chen, C. (2013). A developed autonomous preventive maintenance programme using RCA and FMEA. *International Journal of Production Research*. Vol. 51(18), pp. 5404–5412.

- Choudhary, A. K., Harding, J. A & Tiwari, M. K. (2009). Data mining in manufacturing: a review based on the kind of knowledge. *Journal of Intelligent Manufacturing*. Vol. 20(5), pp. 501–521.
- Coleman, J. B. & Vaghefi, M. R. (1994). Heijunka: a key to the Toyota Production System. *Production and Inventory Management Journal*. Vol. 35(4), pp. 31–35.
- Davenport, T. H. (1998). Putting the enterprise into the enterprise system. *Harvard Business Review*. Vol. 76(4), pp. 121–131.
- David, F., Pierreval, H. & Caux, C. (2006). Advanced planning and scheduling systems in aluminium conversion industry. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. Vol. 19(7), pp. 705–715.
- Deuse, J., Birkmann, S. & Harms, T. (2007). Einsatz der gruppentechnologie zur nivellierung in der variantenreichen kleinserie. *Industrie Management*. Vol. 23, pp. 45–48.
- Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of Management Review*. Vol. 14(4), pp. 532– 550.
- Eisenhardt, K. M. & Graebner, M. E. (2007). Theory building from cases: opportunities and challenges. *Academy of Management Journal*. Vol. 50(1), pp. 25– 32.
- Entrup, M. L. (2005). *Advanced planning in fresh food industries*. Heidelberg: Publisher Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. <https://doi.org/10.1007/3-7908-1646-9>
- Frizelle, G., McFarlane, D. & Bongaerts, L. (1998). Disturbance measurement in manufacturing production systems. In *Proceedings of ASI '98, Germany: Bremen*.
- Gallego-García, D., Gallego-García, S. & García-García, M. (2021). An optimized system to reduce procurement risks and stock-outs: a simulation case study for a component manufacturer. *Applied sciences*. Vol.11(21). <https://doi.org/10.3390/app112110374>
- Germes, R. & Riezebos, J. (2010). Workload balancing capability of pull systems in MTO production. *International Journal of Production Research*. Vol. 48(8), pp. 2345–2360.
- Ghobakhloo, M. & Fathi, M. (2020). Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of lean-digitized manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*. Vol. 31(1), pp. 1 —30.
- Giacon, E. & De Mesquita, M. A. (2011). A survey on detailed production scheduling in manufacturing plants in São Paulo, Brazil. *Gestão & Produção*. Vol. 18(3), pp. 487–498.
- Grando, A. & Belvedere, V. (2006). District's manufacturing performances: a comparison among large, small-to-medium-sized and district enterprises. *International Journal of Production Economics*. Vol. 104(1), pp. 85–99.
- Gupta, M. & Kohli, A. (2006). Enterprise resource planning systems and its implications for operations function. *Technovation*. Vol. 26(5), pp. 687–696.

- Gutierrez, G. J. & Kouvelis, P. (1991). Parkinson's law and its implications for project management. *Management Science*. Vol. 37, pp. 990–1001.
- Hopp, W. J. & Spearman, M. L. (2004). To pull or not to pull: what is the question? *Manufacturing & Service Operations Management*. Vol. 6(2), pp. 133–148.
- Hüttmeir, A., de Treville, S., van Ackere, A., Monnier, L. & Prenninger, J. (2009). Trading off between heijunka and just-in-sequence. *International Journal of Production Economics*. Vol. 118(2), pp. 501–507.
- Hvolby, H. H. & Steger-Jensen, K. (2010). Technical and industrial issues of Advanced Planning and Scheduling (APS) systems. *Computers in Industry*. Vol. 61(9), pp. 845–851.
- Ingemansson, A. & Bolmsjö, G. S. (2004). Improved efficiency with production disturbance reduction in manufacturing systems based on discrete-event simulation. *Journal of Manufacturing Technology Management*. Vol. 15(3), pp. 267–279.
- Islam, A. & Tedford, D. (2012). Risk determinants of small and medium-sized manufacturing enterprises (SMEs) - an exploratory study in New Zealand. *Journal of Industrial Engineering International*. Vol. 8(1), pp. 1–13.
- Izmailov, A., Korneva, D. & Kozhemiakin, A. (2016). Effective project management with theory of constraints. *Procedia, Social and Behavioral Sciences*. Vol. 229, pp. 96–103.
- Jaegler, Y., Jaegler, A., Burlat, P., Lamouri, S. & Trentesaux, D. (2018). The ConWip production control system: A systematic review and classification. *International Journal of Production Research*. Vol. 56(17), pp. 5736–5756.
- Järvenpää, E., Lanz, M., Tokola, H., Salonen, T. & Koho, M. (2015). Production planning and control in Finnish manufacturing companies – Current state and challenges. *Proceedings of the 25th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, Tampere University.
- Kang, P. S., Duffy, A., Shires, N., Smith, T. & Novels, M. (2014). Lean cables – a step towards competitive, sustainable and profitable processes. *Proceedings of the 63rd IWCS Conference*. pp. 310–317.
- Kaya, O. & Bergsjö, D. (2018). Learning from digital disturbance management in an integrated product development and production flow. *International Journal of Product Lifecycle Management*. Vol. 11(4), pp. 295–325.
- Kingsman, B., Hendry, L., Mercer, A. & de Souza, A. (1996). Responding to customer enquiries in make-to-order companies problems and solutions. *International Journal of Production Economics*. Vol. 46(1), pp. 219–231.
- Kletti, J. (2007). *Manufacturing Execution Systems – MES*. Berlin: Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-540-49744-8>
- Knights, P. F. (2001). Rethinking Pareto analysis: maintenance applications of logarithmic scatterplots. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 7(4), pp. 252–263.

Koh, S. C. L., Gunasekaran, A. & Rajkumar, D. (2008). ERP II: The involvement, benefits and impediments of collaborative information sharing. *International Journal of Production Economics*. Vol. 113(1), pp. 245–268.

Kone Industrial Oy. (2020). Hyvinkää factory tour manuscript, Hyvinkää, julkaisematon materiaali, 24 s.

Kone Oyj. (2022). Verkkosivu. Saatavilla (viitattu 26.01.2022): <https://www.kone.com/fi/tyhtio/>.

Kulkarni, A., Yadav, D. K. & Nikraz, H. (2017). Aircraft maintenance checks using critical chain project path. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. Vol. 89(6), pp. 879–892.

Kundu, K., Land, M. J., Portioli-Staudacher, A. & Bokhorst, J. A. C. (2021). Order review and release in make-to-order flow shops: analysis and design of new methods. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. Vol. 33(3), pp. 750–782.

Land, M. J. & Gaalman, G. J. C. (2009). Production planning and control in SMEs: time for change. *Production Planning & Control*. Vol. 20(7), pp. 548–558.

Li, Z. & Zhou, S. (2005). Robust method of multiple variation sources identification in manufacturing processes for quality improvement. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. Vol. 128(1), pp. 326–336.

Liker, J. K. & Meier, D. (2013). *Toyota way fieldbook: a practical guide for implementing Toyota's 4Ps*. New York: McGraw-Hill. Viitattu 30.11.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www-accessengineeringlibrary-com.libproxy.tuni.fi/content/book/9780071448932>

Liker, J. K. (2020). *The Toyota way*. New York: McGraw-Hill. Viitattu 04.03.2022. Vaatii käyttöoikeuden. https://learning.oreilly.com/library/view/the-toyota-way/9781260468526/?sso_link=yes&sso_link_from=tampere-university

Ljungberg, Ö. (1998). Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 18(5), pp. 495–507.

Lopez-Leyva, J. A., Molina-Inzunza, A., Navarro-Paz, P., Verduzco-Unzón, S. & Perez-Carlos Yáñez, M. J. (2020). Customized smart andon system to improve the efficiency of industrial departments. *Journal of Scientific & Industrial Research*. Vol. 79(1), pp. 35–37.

Mahto, D. & Kumar, A. (2008). Application of root cause analysis in improvement of product quality and productivity. *Journal of Industrial Engineering and Management*. Vol. 1(2), pp. 16–53.

Maralcan, A. & Ilhan, I. (2017). Operations management tools to be applied for textile. IOP conference series. *Materials Science and Engineering*. Vol. 254(20). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/254/20/202005>

Mauergauz, Y. (2016). *Advanced planning and scheduling in manufacturing and supply chains*. Switzerland: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-27523-9>

- Modig, N. & Åhlström, P. (2013). *Tätä on Lean*. Tukholma: Rheologica Publishing.
- Mohan Sharma, K. & Lata, S. (2018). Effectuation of Lean tool “5S” on materials and work space efficiency in a copper wire drawing micro-scale industry in India. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 5(2), pp. 4678–4683.
- Mudgal, D., Pagone, E. & Salonitis, K. (2020). Approach to Value Stream Mapping for make-to-order manufacturing. *Procedia CIRP*. Vol. 93, pp. 826–831.
- Murugaiah, U., Benjamin, S. J., Marathamuthu, M. S. & Muthaiyah, S. (2010). Scrap loss reduction using the 5-whys analysis. *International Journal of Quality and Reliability Management*. Vol. 27(5), pp. 527–540.
- Nandakumar, N., Saleeshya, P. G. & Harikumar, P. (2020). Bottleneck identification and process improvement by Lean Six Sigma DMAIC methodology. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 24, pp. 1217–1224.
- Oliveira, E., Miguéis, V. L. & Borges, J. L. (2021). On the influence of overlap in automatic root cause analysis in manufacturing. *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1992680>
- Oluyisola, O. E., Alfnes, E., Gran, E., Kollberg Thomassen, M. & Yu, Q. (2016). Takt-time control in high-variety/low-volume production. Conference: 23rd EUROMA Conference: Interactions, Norway: Trondheim.
- Orue, A., Lizarralde, A., Amorrotu, I. & Apaolaza, U. (2021). Theory of constraints case study in the make-to-order environment. *Journal of Industrial Engineering and Management*. Vol. 14(1), pp. 72–85.
- Perrin, B. S & Maier-Sperdelozzi, V. (2008). A case study for spreadsheet based production scheduling. IIE Annual Conference. Proceedings; Norcross: pp. 1742–1747.
- Petersen, K. & Wohlin, C. (2011). Measuring the flow in lean software development. *Software, Practice & Experience*. Vol. 41(9), pp. 975–996.
- Rewers, P., Trojanowska, J. & Chabowski, P. (2016). Tools and methods of Lean Manufacturing - a literature review. Proceedings of 7th International Technical Conference Technological forum, Czech Republic, pp.135–139.
- Roghanian, E., Alipour, M. & Rezaei, M. (2017). An improved fuzzy critical chain approach in order to face uncertainty in project scheduling. *International Journal of Construction Management*. Vol. 18(1), pp. 1–13.
- Rother, M. (2010). *Toyota Kata: Managing people for improvement, adaptiveness, and superior results*. 1. painos. New York: McGraw-Hill. Viitattu 05.12.2021. Vaatii käyttöi-keuden. https://learning.oreilly.com/library/view/toyota-kata-managing/9780071639859/?sso_link=yes&sso_link_from=tampere-university
- Saniuk, A. & Waszkowski, R. (2016). Make-to-order manufacturing - new approach to management of manufacturing processes. IOP conference series. *Materials Science and Engineering*. Vol. 145(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/145/2/022005>
- Saunders, M., Lewis, P. & Thornhill, A. (2019). *Research methods for business students*. 8th edition. Harlow: Pearson.

- Schürle, P. (2009). Kanban – der weg ist das ziel. Teoksessa Dickmann, P. (toim.) Schlanker materialfluss. Berlin: Springer, pp. 227–303.
- Shunk, D. L. (1985). Group technology provides organized approach to realizing benefits of CIMS. *Industrial Engineering*. Vol. 17(4), pp. 74–80.
- Slomp, J., Bokhorst, J. A. C. & Germs, R. (2009). A lean production control system for high-variety/low-volume environments: a case study implementation. *Production Planning & Control*. Vol. 20(7), pp. 586–595.
- Smet, R., Gelders, L. & Pintelon, L. (1997). Case studies on disturbance registration for continuous improvement. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 3(2), pp. 91–108.
- Soares Ito, A., Ylipää, T., Gullander, P., Bokrantz, J. & Skoogh, A. (2021). Prioritisation of root cause analysis in production disturbance management. *International Journal of Quality & Reliability Management*. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-12-2020-0402>
- Stadtler, H. & Kilger, C. (2005). *Supply chain management and advanced planning – concepts, models software and case studies*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/b106298>
- Steven, M. & Krüger, R. (2002). *Advanced Planning Systems – Grundlagen, funktionalitäten, anwendungen*. Teoksessa Busch, A. & Dangelmaier, W. (toim.) *Integriertes supply chain management*. Gabler Verlag, pp. 169-186.
- Stevenson, M., Hendry, L. C. & Kingsman, B. G. (2005). A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. *International Journal of Production Research*. Vol. 43(5), pp. 869–898.
- Stevenson, M., Huang, Y., Hendry, L. C. & Soepenber, E. (2011). The theory and practice of workload control: a research agenda and implementation strategy. *International Journal of Production Economics*. Vol. 131(2), pp. 689–700.
- Stricker, N. & Lanza, G. (2014). The concept of robustness in production systems and its correlation to disturbances. *Procedia CIRP*. Vol. 19, pp. 87–92.
- Tang, L., Liu, J., Rong, A. & Yang, Z. (2001). A review of planning and scheduling systems and methods for integrated steel production. *European Journal of Operational Research*. Vol. 133(1), pp. 1–20.
- Tuomi, J. & Sarajärvi, A. (2018). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. Helsinki: Tammi. Viitattu: 18.01.2022. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.ellibslibrary.com/reader/9789520400118>
- von Steinaecker, J. & Kühner, M. (2001). *Supply chain management - revolution oder Modewort?* Teoksessa Lawrenz, O., Hildebrand, K. & Nenninger, M. (toim.) *Supply chain management*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, pp. 33-63.
- Voss, S. & Woodruff, D. L. (2000). Supply chain planning: Is mrp a good starting point? Teoksessa Wildemann, H. (toim.) *Supply chain management*. München: TCW, pp. 177-203.
- Wuthnow, A. & Deuse, J. (2009). Systematische nivellierung von wertströmen. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*. Vol. 104(4), pp. 229–234.

Ylipää, T., Skoogh, A., Bokrantz, J. & Gopalakrishnan, M. (2017). Identification of maintenance improvement potential using OEE assessment. *International Journal of Productivity and Performance Management*. Vol. 66(1), pp. 126–143.

LIITE A

	2. vuosineljännes	3. vuosineljännes	4. vuosineljännes
Yrityksen johto	Työntutkimusten suorittajan etsiminen	APS-järjestelmään tutustuminen	APS-palveluntarjoajan hyväksyminen
Tehdas	Tuotannonsuunnittelun nykytilan tarkka määrittäminen Tuotannonsuunnittelun kehityksiin luominen		
Tuotannonsuunnittelun kehitystiimi		APS-palveluntarjoajien vertailu ja tarjouspyynnöt	
Laatutiimi	Häiriöilmoitusten kirjaamiseen ja käsittelyyn liittyvän koulutuksen järjestäminen		Häiriöiden seuranta ja toimenpiteet sekä tuki häiriöiden juurisyiden selvittämiseen
	Tuotannon häiriötekijöiden määrittäminen	Häiriöilmoitusten laatimisen kirjalliset ohjeet	
Ulkopuolinen toimija		Työntutkimukset	

Vuonna 2022 yritykselle suositeltavat kehitystoimenpiteet vuosineljänneksittäin.

	1. vuosineljännes	2. vuosineljännes	3. vuosineljännes	4. vuosineljännes
Yrityksen johto				
Tehdas				APS-järjestelmän lopullinen käyttöönotto
Tuotannosuunnittelun kehitystiimi	APS-järjestelmän kehittäminen yrityksen tarpeisiin palveluntarjoajan kanssa		APS-järjestelmän testaaminen ja kehittäminen palveluntarjoajan kanssa	
Laatutiimi	Häiriöiden seuranta ja toimenpiteet sekä tuki häiriöiden juurisyiden selvittämiseen			

Vuonna 2023 yritykselle suositeltavat kehitystoimenpiteet vuosineljänneksittäin.