



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mika Paaso

TUOTANTOLINJAN OPTIMOINTI

Danfoss Drives

Tekniikka

2025

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Mika Paaso
Opinnäytetyön nimi	Tuotantolinjan optimointi: Danfoss Drives
Vuosi	2025
Kieli	suomi
Sivumäärä	74 + 16 liitettä
Ohjaaja	Petri Saari

Opinnäytetyön tarkoituksena on dokumentoida ja esitellä Danfoss Drives -tuotantolinjalla toteutettu jatkuvan parantamisen Kaizen-projekti, joka keskittyi tuotantolinjan optimointiin ja tehokkuuden parantamiseen. Projektin tavoitteena oli vähentää hukkaa, tehostaa taajuusmuuttajien tuotantosykliä sekä luoda standardoidut toimintamallit linjan ylläpitoa ja kehittämistä varten.

Danfoss Drives -tuotantolinjaa tutkitaan tapaustutkimuksena, jossa lähtötilan analysointi toteutettiin hyödyntäen useita työkaluja arvoa tuottamattomien toimintojen tunnistamiseen. Analyysin avulla havaittiin kehityskohteet, kuten materiaalivirtojen hallinta, työpisteiden järjestelmällisyys sekä laadunhallinnan parantaminen. Lisäksi arvioitiin tuotantolinjan ergonomiaa ja työntekijöiden osaamistasoa. Osana kehitystyötä prosessista poistettiin hukkaa, mikä tehosti tuotantoa. Tuotantolinjan lähtötilan arvioinnissa opinnäytetyön teoriaosuus avaa käsityksen periaatteiden ymmärtämiselle.

Projektin tuloksena tuotantolinjan tehokkuus parani ja sen toiminta saatiin standardoitua aiempaa järjestelmällisemmäksi. Samalla luotiin pohja jatkuvalle parantamiselle, jonka avulla linjan suorituskykyä voidaan ylläpitää ja kehittää tulevaisuudessa.

Avainsanat	Kaizen-projekti, tuotantolinja, kehitys, Lean, jatkuva parantaminen
------------	---

ABSTRACT

Author	Mika Paaso
Title	Production Line Optimization: Danfoss Drives
Year	2025
Language	Finnish
Pages	74 + 16 Appendices
Name of Supervisor	Petri Saari

The purpose of this thesis was to document and present the Kaizen project implemented on the Danfoss Drives production line. The project focused on optimizing the production line and enhancing efficiency. The objective of the project was to reduce waste, improve the efficiency of the AC drives production cycle and create standardized procedures for line maintenance and improvement.

The Danfoss Drives production line was examined using a case study approach. The analysis of the current state was carried out using several tools to identify non-value adding activities. The analysis identified areas for improvement, such as material flow management, workstation systematization and quality management. In addition, the ergonomics of the production line and the employees' competencies were assessed. As part of the development work, waste was eliminated from the process, which improved production. The theoretical section provides a foundation for understanding the principles applied in the assessment of the production line's current state.

As a result of the project, the efficiency of the production line improved, and its operations were standardized in a more systematic manner. Additionally, a foundation for continuous improvement was established, ensuring that the performance of the production line can be maintained and enhanced in the future.

Keywords	Kaizen project, production line, development, Lean, continuous improvement
----------	--

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO	10
2 KIRJALLISUUSKATSAUS	12
2.1 LEAN	13
2.2 Just In Time (JIT): juuri oikeaan aikaan.....	18
2.2.1 Virtaustehokkuus.....	20
2.2.2 Jatkuva virtaus.....	24
2.2.3 Imuohjaus.....	26
2.2.4 Tahtiaika: tuotannon rytmin määrittäminen	26
2.2.5 Heijunka: tuotannon tasapainotus	27
2.3 JIDOKA: sisäänrakennettu laatu	28
2.3.1 Poka Yoke: virheiden ehkäisy	29
2.3.2 Standardoitu työ ja toimintatapa	31
2.4 KAIZEN: jatkuva parantaminen	33
2.4.1 Kahdeksan hukkaa: arvottoman työn eliminointi.....	34
2.4.2 Prosessin arvovirta	36
2.4.3 Gemba-kävelyt: arvoa lisäävän työn tarkkailu	37
2.4.4 5S-menetelmä	38
3 TUTKIMUSTYÖ JA -TOTEUTUS	40
3.1 Kohteen erityispiirteet	40
3.1.1 Yritysesittely	41
3.1.2 Tuotantolinja X.....	42
3.2 Lähtötila.....	44
3.2.1 Tuote.....	45
3.2.2 Kysyntä: laitevarianttien tilauskertymä	45
3.2.3 Tuotantolinjan tehokkuus.....	46
3.2.4 Työntekijät ja organisaatio	47
3.2.4.1 Kompetenssimatriisi	47
3.2.4.2 Poikkeamaraportti.....	47

3.2.4.3 Ergonomia.....	48
3.2.4.4 REBA-menetelmä.....	48
3.2.5 Prosessi ja virtaus.....	50
3.2.5.1 Työaikatutkimus	51
3.2.5.2 Arvovirtakartta.....	52
3.2.5.3 DILO-analyysi	53
3.2.6 Laatu.....	54
3.2.7 Lähtötilan yhteenveto.....	54
3.3 Tavoitetila	55
3.3.1 5S-menetelmän käyttöönotto	56
3.3.2 Tuotantolinjan materiaalivirtojen hallinta	57
3.4 Työn tulokset	59
3.4.1 Materiaalivirta ja tasapainotus	59
3.4.2 Tuottavuus ja laatu.....	61
3.4.3 Siisti ja järjestelmällinen työympäristö	62
3.4.4 Henkilöstön koulutus.....	62
4 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOKEHITYSEHDOTUKSET.....	64
4.1 Tuotantoon tehtävät muutokset	64
4.2 Standardointi, dokumentointi ja kehitystyö tuotannossa.....	65
4.3 Jatkuva parantaminen	66
4.4 Jatkokehitysehdotukset.....	67
LÄHTEET.....	69
LIITTEET.....	75
LIITE 1. Tilauskertymä (liite ei julkinen).....	75
LIITE 2. Tehokkuusmittari (liite ei julkinen)	76
LIITE 3. Osaamismatriisi (liite ei julkinen)	77
LIITE 4. Poikkeamaraportti (liite ei julkinen)	78
LIITE 5. Ergonomiaraportti (liite ei julkinen)	79
LIITE 6. Tuotantolinjan pohjapiirros (liite ei julkinen)	80
LIITE 7. Työaikatutkimus (liite ei julkinen).....	81
LIITE 8. MIFA (liite ei julkinen)	82
LIITE 9. DILO-analyysi (liite ei julkinen)	83
LIITE 10. Tuotantovirheraportti (liite ei julkinen)	84

LIITE 11. Työvaiheen kuvaus ja kesto (liite ei julkinen)	85
LIITE 12. Kondensaattoripaketin asennus (liite ei julkinen).....	86
LIITE 13. Poka Yoke -ratkaisut ja jigit (liite ei julkinen).....	87
LIITE 14. Työpistekuvat (liite ei julkinen)	88
LIITE 15. Tasapainotetut työvaiheet (liite ei julkinen).....	89
LIITE 16. Työpisteen siivous-SOP (liite ei julkinen)	90

KUVAT

Kuva 1. VACON® NXP -sarjan taajuusmuuttajia (Danfoss, 2025).....	45
Kuva 2. REBA-arviointilomake (Madani & Dababneh, 2016).....	49
Kuva 3. Ongelmanratkaisutaulu.....	63

KUVIOT

Kuvio 1. Lean-talo (Jokinen, 2020a).....	13
Kuvio 2. Neljän periaateluokan malli (Jokinen, 2020b).	15
Kuvio 3. Virtauskuvassa yhtälöiden tilanteet (Tehdasfysiikka, n.d). ..	23
Kuvio 4. VUT-yhtälö kuvaa käyttösuhteen, jaksoajan ja vaihtelun välistä suhdetta (Tehdasfysiikka, n.d).	24
Kuvio 5. Työpistealueet.....	58

TAULUKOT

Taulukko 1. Littlen lain laajennetut kaavat ja kuvaukset (Tehdasfysiikka, n.d).	22
Taulukko 2. Shingon esittämät järjestelmäkategoriat (Kilponen, 2020b). (Muokattu).....	30
Taulukko 3. Tuotantoprosessin vaiheet.....	51
Taulukko 4. Tactical Implementation Plan, TIP.	56
Taulukko 5. Työvaiheiden parannus %.....	60

LYHENTEET

BOM	engl. <i>Bill Of Material</i> , tuotteen materiaaliluettelo.
CT	engl. <i>Cycle Time</i> , tuotteen valmistamiseen kuluva jaksoaika.
DILO	engl. <i>Day In the Life Of</i> , menetelmä, jossa havainnoidaan ja dokumentoidaan työntekijän työpäivän kulku, tehtävät ja ajankäyttö.
FIFO	engl. <i>First In, First Out</i> , materiaalivirran hallintamenetelmä, jossa vanhimmat tuotteet käytetään ensin.
GEMBA	Tuotannon tai työskentelyn fyysiseen sijainti.
HEIJUNKA	Tuotannon tasausmenetelmä.
JIDOKA	<i>Autonomaatio</i> eli "älykäs automaatio", jossa laitteet ja prosessit tunnistavat virheet itsenäisesti ja pysäyttävät tuotannon tarvittaessa.
JIGI	Työkalu tai apuväline, jota käytetään ohjaamaan, tukemaan tai paikallistamaan kappaleita tarkasti.
JIT	engl. <i>Just in Time</i> , juuri oikeaan aikaan.
KAIZEN	Jatkuvan parantamisen filosofia.
KANBAN	Visuaalinen järjestelmä, joka auttaa hallitsemaan työnkulkuja ja rajoittamaan keskeneräistä työtä.
MIFA	engl. <i>Material Information and Flow Analysis</i> , materiaalin ja informaation kulun analyysi tuotantoprosessissa.
MTM	engl. <i>Methods-Time Measurement</i> , työmenetelmien ja niiden ajankäytön mittaustekniikka.
MUDA	Toiminta, joka kuluttaa resursseja ilman, että se tuottaa arvoa asiakkaalle.
MURA	Prosessien epätasaisuus tai vaihtelu.
MURI	Ylikuormitus työntekijöille, koneille tai prosesseille.
OIT	engl. <i>Order In Take</i> , saapuvien tilausten määrää tietyllä ajanjaksolla.

PDCA	engl. <i>Plan-Do-Check-Act</i> , jatkuvan parantamisen sykli: suunnittele, toteuta, tarkista ja toimi sen mukaisesti.
PFEP	engl. <i>Plan for Every Part</i> , jokaisen osan hallintasuunnitelma.
POKA YOKE	Poka Yoke tarkoittaa tahattomien virheiden (Poka) ehkäisyä (Yoke).
REBA	engl. <i>Rapid Entire Body Assessment</i> , ergonomian arviointimenetelmä, jolla analysoidaan työasentojen kuormittavuutta.
SDCA	engl. <i>Standardize-Do-Check-Act</i> , keskittyy standardoituihin prosesseihin. Standardoi, toteuta, tarkista ja toimi.
SOP	engl. <i>Standard Operating Procedure</i> , standardoitu työohje.
TH	engl. <i>Throughput</i> , tuotantolinjan tai järjestelmän kyky tuottaa valmiita tuotteita tietyn ajan sisällä.
TIP	engl. <i>Tactical Implementation Plan</i> , suunnitelma, joka kuvaa taktiset toimenpiteet projektin tai kehityshankkeen toteuttamiseksi.
VARIANTTI	Vaihtoehtoinen versio tai muunnelma tuotteesta.
VSM	engl. <i>Value Stream Map</i> , arvovirtakartta, joka visualisoi materiaalin ja informaation kulun prosessissa tunnistuen kehityskohteita.
VUT	engl. <i>Variability Utilization Time formula</i> , kaava, jota käytetään odotusaikojen ja kapasiteetin arviointiin tuotannossa.
WIP	engl. <i>Work in Progress</i> , keskeneräiset työt.
YTD	engl. <i>Year to Date</i> , vuoden alusta tähän päivään kertyneet luvut, esimerkiksi tuotantomäärät tai säästöt.
5S	engl. <i>Sort, Set in order, Shine, Standardize, Sustain</i> . Lajittele, Järjestä, Siivoa, Standardoi, Ylläpito.

1 JOHDANTO

Organisaatioiden kehittämisessä jatkuva parantaminen on olennainen osa toimintaa ja prosesseja. Jatkuva parantaminen perustuu ajatukseen, että pienetkin muutokset voivat tuoda merkittävää tulosta pidemmällä aika välillä.

Työn ensimmäinen osa sisältää teoriaosuuden, jossa läpikäydään JIT (Just-In-Time) -, Jidoka- ja Kaizen-periaatteet. Teorian avulla pyrin tarjoamaan vertailukohdan, miten esitetyt periaatteet tukevat tuotantolinjalle suoritettua jatkuvan parantamisen projektia ja miten ne näkyvät käytännön toteutuksessa. Opinnäytetyön toisessa osassa käydään läpi Kaizen-projektin avulla toteutettua jatkuvan parantamisen prosessia, joka keskittyi Danfoss Drives -tuotantolinjan optimointiin. Ennen projektin alkua suoritettiin arvovirta- ja DILO (Day in the Life Of) -analyysit. Tutkimusten perusteella saatiin tarkempi kuva työnkulusta ja tunnistettiin tuotantolinjan virtaus- sekä kehityskohteet. Yhdistämällä teoria ja käytännön toteutus saadaan parempi ymmärrys projektin vaikutuksista tuotantolinjaan.

Jatkuva parantaminen edellyttää päätöksentekoa faktoihin perustuen, tiedon jakamista ryhmässä ja lähtötilan kehittämistä. Kerättyjen tietojen pohjalta luotiin taktinen toteutussuunnitelma (Tactical Implementation Plan, TIP).

Projektin tarkoituksena on parantaa tuotantolinjan tuottavuutta optimoimalla prosesseja ja työpisteitä. Opinnäytetyön tavoite on varmistaa, että kaikki optimointiin ja kehittämiseen liittyvät toimenpiteet on dokumentoitu selkeästi, mahdollistaen muiden Danfoss Drives -tuotantolinjojen hyödyntää dokumentaatiota ja soveltaa parhaiksi havaittuja käytäntöjä omassa toiminnassaan.

Päätavoitteena on tuotantolinjan tasapainotus ja materiaalivirtojen kehittäminen, jotta resurssit käytetään tehokkaasti. Tueksi laaditaan sel-

keät ja yhtenäiset käytännöt. Lisäksi tavoitteena on kehittää projekti-ryhmän ja tuotantolinjan henkilöstön kompetenssia, jotta jatkuva parantaminen ja ongelmanratkaisu vakiintuisivat osaksi päivittäistä toimintaa.

Opinnäytetyön rajauksiin kuuluu, että työssä ei käsitellä taajuusmuuttajien tarkkoja teknisiä arvoja tai ominaisuuksia. Projekti keskittyy osaksi tuotantolinjan sisäisten materiaalivirtojen kehittämiseen, näin ollen työssä ei käsitellä ulkoisten logistiikkaprosessien tai hankintaketjujen muutoksia. Työ myös rajautuu nykyisten resurssien ja laitteiden tehokkaampaan hyödyntämiseen, eikä se sisällä merkittäviä investointeja uusiin laitteisiin tai infrastruktuuriin.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

Tuotantolinjan optimoinnin tutkimuskirjallisuus nojaa vahvasti Lean-ajatteluun, joka korostaa arvon lisäämistä ja hukan eliminointia. Leanin keskeiset periaatteet – jatkuva parantaminen (Kaizen), Just-in-Time (JIT) -tuotanto ja virheettömyyteen tähtäävä Jidoka luovat viitekehyksen, jonka avulla tuotantoprosesseja voidaan uudistaa järjestelmällisesti. Näiden teorioiden soveltaminen edellyttää kuitenkin syvällisempää ymmärrystä siitä, miten ne vaikuttavat kokonaisvaltaisesti tuotannon tehokkuuteen, laatuun ja työympäristöön.

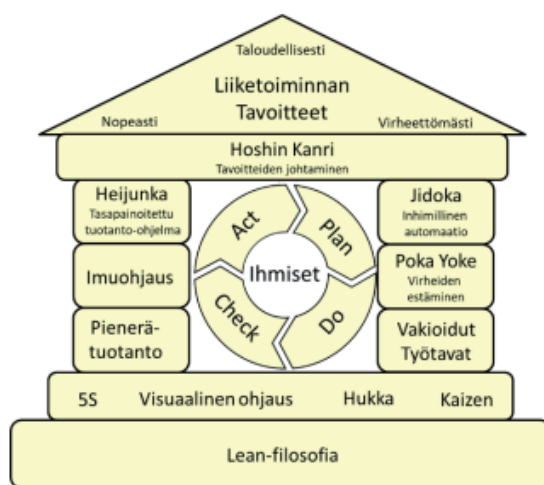
Empiiriset tutkimustulokset korostavat, että hukan poistaminen edellyttää sekä prosessin ymmärtämistä että organisaatiokulttuurin muutosta. Teoreettisella tasolla Liker (2004) sekä Hopp ja Spearman (2011) tarjoavat viitekehyksen prosessien dynamiikan ja tehdasfysiikan periaatteisiin.

Tämän työn tutkimuskysymykset ovat:

- Miten tuotantolinjan tehokkuutta voidaan parantaa Lean-, Kaizen- ja JIT-periaatteiden avulla?
- Mitkä ovat keskeisimmät hukkaa aiheuttavat tekijät tuotantolinjalla ja miten ne voidaan tunnistaa ja poistaa?
- Miten tuotantoprosessin standardointi ja jatkuva parantaminen vaikuttavat laatuun, työympäristöön ja tuottavuuteen?
- Millä konkreettisilla toimenpiteillä voidaan tasapainottaa työkuormaa ja kehittää materiaalivirtoja tuotantolinjalla?

2.1 LEAN

Leanin kehittäjänä tunnetaan Taiichi Ohno, joka aloitti uransa Toyotan kehruu- ja kutomakonetehtaassa vuonna 1932. Vuonna 1943 Ohno siirtyi työskentelemään Toyotan autotehtaalle, jossa hänen päätehtävänsä oli Toyotan tuotantojärjestelmän (Toyota Production System, TPS) kehittäminen. Lean-ajattelu pohjautuu tähän järjestelmään, ja TPS-termiä käytetäänkin yleisesti tieteellisessä kirjallisuudessa kuvaamaan Leania. (Jokinen, 2020a.)



Lean-talosta on useita versioita. Tässä versiossa painottuu liiketoiminnan tavoitteet Leanin johtavana päämääränä, Lean-filosofia Leanin perustana ja ihmiset Leanin keskiössä.

Kuvio 1. Lean-talo (Jokinen, 2020a).

Lean-ajattelu havainnollistetaan usein talomallilla (Kuvio 1), josta on useita eri versioita. Perusperiaate on seuraava: Talon perusta muodostuu Lean-filosofiasta, joka korostaa pitkäjänteistä ajattelua ja jatkuvaa parantamista. Pohjarakenne edellyttää seuraavia tekijöitä Leanin käyttöönotolle. (Jokinen, 2020a.):

- Lean-ajattelun mukainen organisaatiokulttuuri.
- Toiminnan visualisointi.
- Hukan tunnistaminen sen eri muodoissa.
- Jatkuva parantaminen kaikilla organisaation tasoilla. (Jokinen, 2020a.)

Kaksi tukipilaria kannattelee Lean-talon kattoa. Ensimmäinen pilari keskittyy toimintanopeuteen kilpailukyvyn elementtinä. Toimintanopeuden parantamiseksi Lean-ajattelussa hyödynnetään useita käytännön menetelmiä, jotka tukevat virtaavaa ja asiakaslähtöistä tuotantoa sekä auttavat lyhentämään läpimenoaikoja ilman, että laatu tai joustavuus kärsii. Näistä keskeisimpiä ovat:

- Tuotanto-ohjelman tasapainottaminen (Heijunka).
- Imuohjaus.
- Pienerätuotanto, joka ideaalitapauksessa tarkoittaa yhden kappaleen sarjakokoa. (Jokinen, 2020a.)

Lean-talon toinen tukipilari painottaa virheettömyyttä ja keskittyy siihen, että laatu rakennetaan osaksi prosessia jo tuotannon aikana. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi käytetään menetelmiä, jotka ehkäisevät virheiden syntymistä, mahdollistavat nopean reagoinnin poikkeamiin ja varmistavat prosessien yhdenmukaisuuden. Menetelmiin kuuluvat muun muassa:

- Ihmisen hallitsema automaatio (Jidoka).
- Virheen estävä toimintatapa tuotannossa ja tuotesuunnittelussa (Poka Yoke).
- Vakioitu työtapa, joita kehitetään jatkuvasti. (Jokinen, 2020a.)

Lean-ajattelun päämääränä on saavuttaa kustannussäästöjä, jotka syntyvät nopeuden ja virheettömyyden yhdistelmästä. Toimintaa ohjaa Hoshin Kanri -suunnitelma, joka on esitetty osana talon kattoa. (Jokinen, 2020a.)

Leania pidetään usein joukkona tekniikoita, joilla voidaan vähentää tarpeettomia toimintoja, jotka eivät tuota lisäarvoa asiakkaille. Käytännön kokemukset ovat kuitenkin osoittaneet, että pelkästään työkaluihin perustuva Leanin soveltaminen ilman pitkäaikaista kulttuurin kehittämistä ei yleensä tuota toivottuja lopputuloksia (Jokinen, 2020b).

Toyota-yhtiön sisäisen dokumentin perusteella Jeffrey K. Liker on luonut neljä korkean tason periaatetta (Kuvio 2), jotka ovat "Toyotan tavan" perusta ja suhteuttanut ne eri luokkiin (Liker, 2004, s. 6).

1. Filosofia, pitkän tähtäimen ajattelu.
2. Prosessi, hukan eliminointi.
3. Ihmiset ja yhteistyökumppanit.
4. Ongelmanratkaisu.



Lean-periaatteiden pyramidi

Kuvio 2. Neljän periaateluokan malli (Jokinen, 2020b).

Laatuasiantuntija W. Edwards Demingin 14 teesin ensimmäinen periaate korostaa pysyvän päämäärän muodostamista tuotteen ja palvelun jatkuvalle parantamiselle. Tavoitteena on tulla kilpailukykyiseksi, pysyä kilpailussa mukana ja tarjota työpaikkoja. Ajatus näkyy neljän periaateluokan mallin ylimmäisenä päämääränä: jatkuvan oppimisen edistäminen organisaatiossa etsimällä ongelmien juurisyyt ja poistamalla ne. (Jokinen, 2020b.)

Lean-ajattelu havainnollistaa suuntaviivat prosessien kehittämiseksi. Yksi tärkeimmistä periaatteista on tuotannon tehostaminen imuohjauksella, joka edellyttää esimerkiksi eräkokojen pienentämistä. Nopeampi tuotantovirta pienentää varastojen määrää ja parantaa tehokkuutta. Toinen tärkeä periaate on virheiden ehkäisy, koska virheet ja häiriöt hidastavat tuotantoprosessia. (Jokinen, 2020b.)

Leanin tarkoituksena on ihmisten osaamisen jatkuva kehittäminen kaikilla organisaatiotasolla, mukaan lukien yrityksen johto. Johtajien on tunnettava Lean-ajattelutapa ja sitouduttava sen toteuttamiseen koko organisaatiossa. (Jokinen, 2020b.)

Lopullisena tavoitteena on itseohjautuva, oppiva organisaatio, jossa jatkuvan parantamisen ajatus on sisäänrakennettu yrityskulttuuriin. Tällaisen organisaation johtaminen edellyttää strategista suunnannäyttöä, jossa liiketoiminnan lyhyen ja pitkän aikavälin tavoitteet on jalkautettu koko organisaatioon. Lisäksi avoin vuoropuhelu toiminnan kehittämistä eri organisaatiotasojen kesken on välttämätöntä. Jokaiseen ongelmaan on puututtava, eikä niitä saa peitellä. (Jokinen, 2020b.)

Toyotalla operaatiotieteet, joihin kuuluu myös tehdasfysiikka, ovat olleet käytössä jo kauan ennen Leanin syntyä. Tehdasfysiikka on tapa kuvata tuotantoympäristöä ja sen käyttäytymistä. Se tutkii niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat lopputulokseen, sekä tekijöiden keskinäisiä riippuvuussuhteita. Tätä analysoidaan ja havainnollistetaan erilaisilla matemaattisilla yhtälöillä. (Piirainen, 2022.)

Tehdasfysiikan avulla pyritään ratkaisemaan tuotantoympäristön ongelmia. Yksi suurimmista haasteista on se, että tuotantojärjestelmät ovat usein luonnostaan epävakaita. Tehdasfysiikan tavoitteena on luoda järjestelmälle ennustettava ja vakaa tila. Ennustettavuus tarkoittaa esimerkiksi sitä, että tiedetään tarkasti, kuinka kauan jonkin tuotteen valmistaminen kestää ja kuinka paljon resursseja ja materiaaleja tarvitaan. Kun järjestelmä saadaan vakautettua, siitä tulee tehokkaampi ja helpommin hallittava. Ilman vakautta järjestelmät ajautuvat helposti epästabiliin tilaan, erityisesti silloin kun yritetään optimoida yksittäisiä osa-alueita, joka voi johtaa usein maksimoimiseen tai minimoimiseen kokonaisuuden kustannuksella. (Piirainen, 2022.)

Tehdasfysiikan viisi konseptia, jotka auttavat ymmärtämään Lean-ajattelun soveltamista paremmin:

1. **Kingmanin yhtälö** selittää kolmen tekijän – vaihtelun, työpisteiden/aseman kuormituksen ja siihen kertyvän jonon väliset riippuvuudet. Yhtälö auttaa ymmärtämään, miten vaihtelu vaikuttaa tuotannon tehokkuuteen ja jonojen muodostumiseen. Kingmanin yhtälö käsitellään luvussa 2.2.1.
2. **Littlen laki** yhdistää kolme komponenttia: valmistusnopeuden (läpimeno), keskeneräisen työn määrän ja jaksoajan. Laki osoittaa elementtien väliset yhteydet ja auttaa optimoimaan tuotannon virtausta. Littlen laki käsitellään luvussa 2.2.1.
3. Kaikilla tuotantojärjestelmillä on ideaalitila, jossa ei ole vaihtelua eikä ylimääräistä työtä tai varastoja. Tätä kutsutaan **kriittiseksi WIP:ksi** (Work In Progress). Ideaalitilan pohjalta voidaan määrittää **Lean Zone** eli optimaalinen toiminta-alue, johon pyritään. Tämä toiminta-alue auttaa arvioimaan nykyisen toiminnan tasoa suhteessa ideaalitilaan.
4. **Bufferit** kuvaavat kolmen vaihtelua tasaavan elementin – aika-, varasto- ja kapasiteettibufferin välistä suhdetta. Tuotantojärjestelmissä käydään aina kauppaa näiden kolmen elementin välillä riippuen siitä, millaista epätarkkuutta prosessissa esiintyy.
5. **Varaston trade-off-käyrät**. Käyrät auttavat ymmärtämään varastojen tarpeellisuutta sekä sitä, mihin varastoja tarvitaan ja miten muutokset vaikuttavat varastojen käyttöön eri osapuolten näkökulmasta. (Piirainen, 2022.)

Leanin soveltaminen tuotantoympäristössä helpottuu, kun ensin ymmärretään tehdasfysiikan perusajatus. Tehdasfysiikan mallien ja kuvausten avulla voidaan selittää Lean-ilmiöitä sekä käyttää Lean-työkaluja entistä paremmin. (Piirainen, 2022.)

2.2 Just In Time (JIT): juuri oikeaan aikaan

Just in Time (JIT) -tuotantomalli on kehitetty vähentämään varastotasojen epätasapainoa, ylimääräisiä laitteita ja tarpeettomia työntekijäresursseja. JITin tavoitteena on mukautua joustavasti tuotantoprosessin häiriöihin ja kysynnän vaihteluihin. Mukautuminen edellyttää tuotantojärjestelmän, joka minimoi materiaalien läpimenoajan raaka-aineiden saapumisesta valmiin tuotteen valmistumiseen. JIT-menetelmän ajatuksena on, että jokainen tuotantovaihe valmistaa vain tarvittavan määrän osia juuri oikeaan aikaan, pitäen varastotason mahdollisimman pienenä, mutta kuitenkin riittävänä, että prosessit voivat jatkua sujuvasti ilman keskeytyksiä. (Sugimori ja muut, 1977.) Lisäksi tuotantomäärien ja varastotasojen seuranta auttaa resurssien, kuten laitteiden ja työntekijöiden, tarpeettoman käytön tunnistamisessa.

JIT-tuotantomallin ensimmäinen perusvaatimus on, että kaikki tuotantoprosessin vaiheet pystyvät nopeasti ja tarkasti määrittämään tarvittavan määrän ja ajankohdan osien tuotannolle. Perinteisessä tuotantojärjestelmässä tämä toteutetaan laatimalla tuotantoaikataulu lopputuotteelle, esimerkiksi autolle, ja jakamalla se osavalmistuvaiheiden tuotantoaikatauluihin. Osavalmistus tapahtuu etukäteen laaditun suunnitelman mukaisesti, jolloin edeltävä prosessi toimittaa osat seuraavalle prosessille. Menettely kuitenkin vaikeuttaa joustavan tuotannon toteuttamista ja sopeutumista muutoksiin. Toyota on ratkaissut tämän haasteen käänteisellä toimintamallilla, jossa edeltävä tuotantoprosessi ei toimita osia etukäteen, vaan seuraava prosessi noutaa tarvitsemansa osat edeltävästä vaiheesta. Idea perustuu siihen, että lopullinen kokoonpanolinja on ainoa tuotantovaihe, joka voi tarkasti määrittää tarvittavien osien määrän ja ajankohdan. Näin ollen kokoonpanolinja noutaa osat edeltävästä prosessista juuri silloin, kun niitä tarvitaan. Toimintatapa jatkuu ketjumaisesti taaksepäin läpi koko tuotantoprosessin, jolloin jokainen vaihe valmistaa vain tarvittavan määrän osia juuri oikeaan aikaan. (Sugimori ja muut, 1977.)

J.N. Edwards vei vuonna 1983 absoluuttisten ihanteiden käytön äärimmilleen kuvaamalla JITin tavoitteet seitsemän nollan muodossa, jotka ovat tarpeen nollavarastojen saavuttamiseksi. Vaikka seitsemää nollaa ei pidä ottaa kirjaimellisesti, ne antavat yleiskuvan siitä, miltä JIT-tuotantoprosessi näyttää. (Hopp & Spearman, 2011, s. 157.)

1. **Nolla virhettä.** JIT-ympäristössä osien on oltava virheettömiä, sillä varastoja viallisten osien korvaamiseen ei ole. Yksikin virhe voi aiheuttaa viivästyksiä, joten laatu on varmistettava jo läheteellä.
2. **Nolla eräkoko.** JIT-järjestelmässä varastoja täydennetään käytön mukaan. Joustavuus on paras silloin, kun työasemat tuottavat osia yksitellen. Jos tuotanto vaatii suuria eriä, nopea täydentäminen vaikeutuu, mikä taas aiheuttaa viivästyksiä. Tavoite ilmaistaan muodossa eräkoko yksi.
3. **Nolla asetus aika.** Suurten eräkokojen yleisin syy tuotantojärjestelmissä on asetus aikakustannukset. Mikäli valmistetaan eri osia, koneen asetusten vaihtaminen voi viedä useita tunteja ja heikentää kapasiteettia. Pienten eräkokojen edellytys on asetus aikojen poistaminen.
4. **Nolla laiterikko.** Ilman ylimääräistä keskeneräistä työtä laiterikot pysäyttävät nopeasti koko tuotantolinjan. Siksi JIT-ympäristössä ei voida sallia suunnittelemattomia laiterikkoja. (Hopp & Spearman, 2011, s. 157.)
5. **Nolla käsittelyä.** JIT-järjestelmässä osia valmistetaan vain tarvittu määrä oikeaan aikaan, joten turhaa käsittelyä tulee välttää. Varastoon siirtäminen ja noutaminen eivät ole hyväksyttäviä. Ihanteena on, että materiaalit siirtyvät suoraan työasemalta toiselle ilman välivaiheita. Kaikki ylimääräinen käsittely vie järjestelmää kauemmas JIT-periaatteesta, sillä se vaatii osien ennakkoivaa valmistusta ja lisää käsittelyaika.
6. **Nolla läpimenoaika.** Kun alavirran työasema pyytää osia ja ne toimitetaan heti, on se täydellinen JIT-virtaus. Edellyttää siis nolla

läpimenoaikaa edeltävältä työasemalta. Pienet eräkoot ja lyhyt käsittelyaika per osa sekä lyhyt odotusaika, auttavat saavuttamaan nollaläpimenoajan ja nollavarastotavoitteen.

7. **Nolla vaihtelua.** JIT-ympäristössä materiaalivirta on sujuvaa, kun tuotantosuunnitelma on tasainen. Äkilliset muutokset määrissä tai tuotevalikoimassa voivat aiheuttaa häiriöitä, koska ylimääräistä WIP:iä ei ole tasaamaan vaihtelua. (Hopp & Spearman, 2011, s. 158.)

Edellä mainitut seitsemän tavoitetta on käytännössä mahdoton saavuttaa, erityisesti nollavarasto. Tavoitteiden tarkoitus on kuitenkin inspiroida jatkuvaa parantamista, sillä aina on tilaa kehittää tuotantojärjestelmää. (Hopp & Spearman, 2011, s. 158.)

2.2.1 Virtaustehokkuus

Virtaustehokkuudessa huomio kääntyy pois perinteisestä keskittymisestä resurssien hyödyntämiseen. Kun tarkastellaan virtaustehokkuutta, huomio kohdistuu organisaatiossa jalostettavaan yksikköön. Teollisuudessa yksikköinä ovat tuotteet, joita jalostetaan käyttämällä erilaisia materiaaleja. Tehokkuuden lajia sanotaan virtaustehokkuudeksi, koska päähuomio on yksikössä, joka "virtaa" organisaation läpi. Virtaustehokkuus mittaa sitä, kuinka paljon virtausyksikkö jalostuu tietyssä ajanjaksona. Ajanjakso alkaa tarpeen tunnistamisesta ja päättyy siihen, kun tarve on tyydytetty. Virtaustehokkuustarkastelussa arvo määräytyy virtausyksikön näkökulmasta eli sen ajan mukaan, jona virtausyksikkö saa arvoa. Arvo muodostuu aina asiakkaan näkökulmasta. (Modig & Åhlström, 2013, s. 13–14.)

Littlen lakia ja Kingmanin yhtälöä voidaan käyttää virtaustehokkuuden optimoinnissa. Littlen laki kuvaa järjestelmän keskimääräisen virtausyksiköiden määrän, läpimenoajan ja saapumisnopeuden välisen suhteen. Sen mukaan läpimenoajan lyhentäminen edellyttää joko keskeneräisen työn vähentämistä tai saapumisnopeuden lisäämistä. (Tehdasfysiikka, n.d.)

Littlen laki on tehdasfysiikan vastine Newtonin liikelaille $F=ma$, sillä se yhdistää kolme elementtiä yksinkertaiseen yhtälöön. Alun perin Philip Morris esitteli ajatuksen vuonna 1956, mutta Sir John Little muotoili sen tunnetuksi kaavaksi, josta laki on saanut nimensä. Littlen laki pätee keskimäärin pitkällä aikavälillä ja on erittäin hyödyllinen työkalu tuotannon analysointiin. Laki esitetään kaavalla (Tehdasfysiikka, n.d)

$$\frac{WIP}{TH} = CT \quad (1)$$

Missä

WIP (Work in Process) tarkoittaa keskeneräistä työtä, joka voi olla esimerkiksi kappaleita, henkilöitä tai kiloja

TH (Throughput) tarkoittaa läpimenoa eli tuotannon nopeutta, kuten kappaleita tunnissa tai kiloja päivässä

CT (Cycle Time) tarkoittaa jaksoaikaa eli aikaa, joka kuluu yhden yksikön valmistumiseen, ja se voidaan ilmaista esimerkiksi sekunteina, minuutteina tai tunteina (Tehdasfysiikka, n.d)

Littlen lain kaava ei huomioi muuttujien välisiä keskinäisiä riippuvuussuhteita. Siksi kaavasta on kehitetty kolme erilaista tilannetta, joissa kaksi keskeistä suorituskykyparametria esitetään kolmannen funktiona. Näissä tapauksissa tarkastellaan erityisesti jaksoajan (Cycle Time, CT) ja keskeneräisen työn määrän (Work in Process, WIP) sekä läpimenon (Throughput, TH) ja keskeneräisen työn määrän välistä suhdetta. Muuttujista WIP valitaan usein säädettäväksi tekijäksi, koska käytännössä sitä on helpointa hallita ja ohjata (Tehdasfysiikka, n.d). Littlen lain laajennetut kaavat ja niiden kuvaukset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Littlen lain laajennetut kaavat ja kuvaukset (Tehdasfyysiikka, n.d).

Kaava	Kuvaus
$CT_{\text{best}} = T_0$, jos $w \leq W_0$, muuten w / r_b	Paras mahdollinen jaksoaika riippuen WIP:stä ja pullonkaulan kapasiteetista
$CT_{\text{worst}} = w * T_0$	Huonoin mahdollinen jaksoaika, kun kaikki yksiköt odottavat vuoroaan
$CT_{\text{PWC}} = T_0 + (w - 1) / r_b$	Jaksoaika käytännön pahimmassa tapauksessa
$TH_{\text{best}} = w / T_0$, jos $w \leq W_0$, muuten r_b	Paras mahdollinen läpimeno saavutettuna optimaalisella WIP:llä
$TH_{\text{worst}} = 1 / T_0$	Huonoin mahdollinen läpimeno, yksi yksikkö käsitellään per T_0
$TH_{\text{PWC}} = w / (W_0 + w - 1 / r_b)$	Läpimeno käytännön pahimmassa tapauksessa

Taulukkoon 1 liittyvät kaavojen muuttujat

T_0 on yhden yksikön peruskäsittelyaika

r_b on pullonkaulan nopeus, eli suurin mahdollinen läpäisykyky

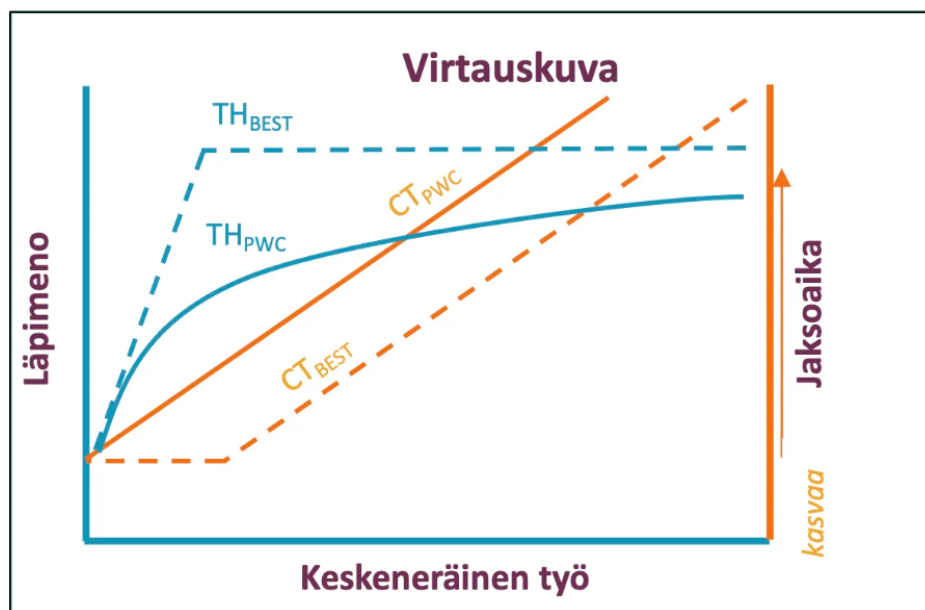
w on järjestelmässä oleva keskeneräisen työn määrä (WIP)

W_0 on kriittinen WIP-taso, joka on pienin WIP-määrä maksimaalisen läpäisykyvyn saavuttamiseksi

Paras tapaus (Best case): Edustaa ideaalitulannetta ilman vaihtelua (CT_{Best} ja TH_{Best}). Läpimenoaika on minimissä, ja läpäisykyky on maksimaalinen suhteessa WIP-tasoon.

Huonoin tapaus (Worst case): Tilanne, jossa järjestelmässä ilmenee merkittäviä ongelmia (CT_{worst} ja TH_{worst}). Läpäisykyky on alhaisimmillaan.

Käytännön huonoin tapaus (Practical worst case): Todelliset olosuhteet, joissa vaihtelu vaikuttaa järjestelmään (CT_{PWC} ja TH_{PWC}) (Tehdasfyysiikka, 2021).



Kuvio 3. Virtauskuvassa yhtälöiden tilanteet (Tehdasfysiikka, n.d).

Kuviosta 3 voidaan päätellä, että keskeneräisen työn määrän kasvaessa tuotannon läpimeno (TH_{PWC}) lähestyy kapasiteettia (TH_{BEST}) ja samalla jaksoaika (CT_{PWC}) kasvaa. Jaksoajan lyhentämiseen on kaksi keinoa: joko tuotannon vaihtelua vähennetään, jolloin päästään lähemmäs ideaalia jaksoaikaa, tai kapasiteettia lisätään, jolloin tuotanto pystyy käsittelemään suuremman työkuorman tehokkaammin. (Tehdasfysiikka, n.d.)

VUT-yhtälö eli Kingmanin yhtälö puolestaan selittää läpimenoajan muodostumista huomioiden prosessin vaihtelun (V), käyttöasteen (U) ja palveluajan (T) vaikutukset. Yhtälö osoittaa, että korkea käyttöaste yhdistettynä vaihteluun voi johtaa pidempiin odotusaikoihin ja heikentyneeseen virtaustehokkuuteen, joten vaihtelun vähentäminen on tärkeää sekä virtaus- että resurssitehokkuuden parantamisessa. Kun vaihtelua pienennetään, prosessit muuttuvat tasaisemmiksi ja ennustettavammiksi. Samalla myös resurssien käyttö tasaantuu. Kingmanin yhtälö esitetään kaavalla. (Tehdasfysiikka, n.d.)

$$\text{Jonotusaika} = \left(\frac{C_a^2 + C_e^2}{2} \right) \left(\frac{u}{1-u} \right) t_e \quad (2)$$

Missä

C_a^2 = Saapuvan ajan neliöllinen vaihtelukerroin

C_e^2 = Tehokkaan ajan neliöllinen vaihtelukerroin

u = Käyttösuhte

t_e = Tehollinen aika

VUT-yhtälö havainnollistaa, miten keskimääräinen jaksoaika muuttuu kuormituksen kasvaessa. Kuvio 4 havainnollistaa, miten suurempi vaihtelu johtaa siihen, että jonotusaika alkaa kasvaa epälineaarisesti jo alhaisemilla kuormitusasteilla. (Tehdasfysiikka, n.d.)



Kuvio 4. VUT-yhtälö kuvaa käyttösuhteen, jaksoajan ja vaihtelun välistä suhdetta (Tehdasfysiikka, n.d).

2.2.2 Jatkuva virtaus

Lean-ajattelussa käytetään usein vertausta, jossa varaston tasoa kuvaillaan vedenpintana: kun vedenpinta laskee, pinnan alla piilevät ongelmat tulevat näkyviin. Kun materiaalivirtaa tai tiedonkulkua tehostetaan, prosessin heikkoudet paljastuvat ja ne on ratkaistava viipymättä, jotta toiminta ei häiriinny. (Liker, 2004, s. 88.)

Virtaus tarkoittaa sitä, että asiakkaan tilaus käynnistää prosessin, jossa hankitaan tarkasti tarvittava määrä raaka-aineita. Materiaalit etenevät suoraan tuotantoon, jossa työntekijät kokoavat tilauksen heti. Valmis tuote toimitetaan asiakkaalle viiveettä, jolloin koko prosessi, joka perinteisesti saattaisi kestää viikkoja tai kuukausia, voidaan toteuttaa tunneissa tai päivissä. (Liker, 2004, s. 90.)

Virtauksen tavoitetila ohjaa toimintaa selkeästi. Toyotalla se tarkoittaa pienten tuotantoerien käyttöä, työvaiheiden sijoittamista lähelle toisiaan ja materiaalien jatkuvaa liikkumista ilman tarpeettomia keskeytyksiä, mikä on paljon tehokkaampi tapa kuin suurten erien valmistaminen ja niiden varastoiminen odottamaan seuraavaa työvaihetta. (Liker, 2004, s. 89–90.) Yksiosaisen virtauksen luominen käynnistää samalla useita toimenpiteitä hukan poistamiseksi:

1. Sisäänrakennettu laatu.
2. Luo todellista joustavuutta.
3. Parantaa tuottavuutta.
4. Vapauttaa lattiatilaa.
5. Parantaa turvallisuutta.
6. Parantaa työntekijöiden moraalialia.
7. Pienentää varastokustannuksia (Liker, 2004, s. 95–96).

Liker (2004, s. 101) tiivistää yksiosaisen virtauksen periaatteen seuraavasti: "luo jatkuva prosessin virtaus tuodaksesi ongelmat esille."

Ihanteellisessa tilanteessa jokainen tuote valmistetaan vasta, kun asiakas tekee tilauksen. Yksiosaisen virtauksen periaatteella toimiva järjestelmä on kevyin mahdollinen, sillä se on täysin kysyntälähtöinen eikä edellytä varastoja. Käytännössä tuotannossa kuitenkin syntyy viiveitä, kun raaka-aineista valmistetaan valmiita tuotteita ja toimitetaan ne asiakkaille. Näiden luonnollisten katkosten vuoksi on välttämätöntä pitää jonkin verran varastoa, jotta tuotanto ja toimitukset voivat edetä ilman merkittäviä häiriöitä. (Liker, 2004, s. 105.) Tavoitteena on siis löytää

tasapaino, jossa pieni varasto tukee virtausta, mutta ei peitä alleen prosessin ongelmia.

2.2.3 Imuohjaus

”Mitä enemmän varastoa yrityksellä on... sitä epätodennäköisemmin sillä on sitä, mitä se tarvitsee”, on todennut Taiichi Ohno, Toyotan tuotantojärjestelmän kehittäjä (Liker, 2004, s. 104).

Taiichi Ohno sai inspiraation imuohjaukseen amerikkalaisista supermarketeista. Supermarketeissa hyllyjä täydennetään sitä mukaa kun tuotteet vähenevät, eli kulutus ohjaa täydennystä. Periaate siirrettiin tehtaan lattialle: edellinen tuotantovaihe ei valmista uusia osia ennen kuin seuraava vaihe on käyttänyt aiemmin toimitetut osat lähes loppuun. (Liker, 2004, s. 106.)

Imuohjaus toimii kuin auton polttoainetankki. Kun mittari näyttää tankin olevan lähes tyhjä, se lähettää signaalin tarpeesta täyttää tankki. Samoin Toyotan tehtaalla jokainen tuotantovaihe sisältää "mittarin" (Kanban), joka ilmoittaa edelliselle vaiheelle, milloin osia tarvitaan lisää. Menetelmä luo taaksepäin kulkevan imuketjun, joka ulottuu tuotantoketjun alkuun. (Liker, 2004, s. 23.) Järjestelmä on vastakohta perinteiselle massatuotannolle, jossa osia valmistetaan suurissa erissä riippumatta seuraavan vaiheen todellisesta tarpeesta. Imuohjaus mahdollistaa tuotannon pienissä erissä, lyhyillä läpimenoajoilla ja juuri asiakkaan tarpeiden mukaisesti (Liker, 2004, s. 106–107).

2.2.4 Tahtiaika: tuotannon rytmin määrittäminen

Tahtiaika määrittelee tuotannon tahdin asiakaskysynnän mukaan. Se lasketaan jakamalla käytettävissä oleva tuotantoaika asiakaskysynnällä. Esimerkiksi jos tehtaalla on 480 minuuttia (8 tuntia) tuotantoaikaa päivässä ja asiakaskysyntä on 240 tuotetta, tahtiaika olisi:

$$480 \text{ minuuttia} / 240 \text{ tuotetta} = 2 \text{ minuuttia/tuote}$$

Asiakaskysynnän täyttämiseksi yhden tuotteen tulisi valmistua joka toinen minuutti. Tahtiaika toimii tuotannon "sydämenlyöntinä" ja ohjaa koko valmistusprosessin tahtia (Haghsheno ja muut, 2016; Lean Enterprise Institute, n.d.).

Tahtiajan käytöllä on useita hyötyjä tuotannonhallinnassa. Yksi tärkeimmistä on tuotannon synkronointi asiakaskysynnän kanssa, jolloin valmistuskapasiteetti vastaa tarkasti todellista tarvetta. Tämä parantaa asiakastyytyväisyyttä ja vähentää turhan tuotannon ja resurssien käytön riskiä. Toinen etu on ylituotannon ja siihen liittyvän hukkan vähentäminen. Tahtiajan avulla tuotanto saadaan rytmitettyä siten, että valmistetaan vain tarvittava määrä tuotteita, mikä vähentää varastojen kokoa ja parantaa tuotannon tehokkuutta.

Tahtiaika auttaa myös tunnistamaan pullonkauloja ja tehottomuuksia tuotantolinjalla. Kun tuotantoa mitataan ja säädellään tahtiajan mukaan, on helpompi havaita kehitystoimia vaativat työvaiheet, jotka eivät pysy aikarajassa. Lisäksi tahtiaika edistää jatkuvan virtauksen periaatteen toteutumista tuotantoprosessissa. Tuotteiden tasainen liikkuminen ilman turhia viiveitä parantaa tuotannon nopeutta ja lyhentää läpimenoaikoja.

Läpimenoaika on aika, joka kuluu yhden tuotteen valmistamiseen alusta loppuun, sisältäen kaikki tuotantoprosessin vaiheet. Ihannetilanteessa tahtiaika ja läpimenoaika ovat yhtä suuret. Tällöin tuotanto vastaa täsmälleen asiakaskysyntää.

2.2.5 Heijunka: tuotannon tasapainotus

Heijunka on tuotannon tasaamisen menetelmä, joka pyrkii pitämään tuotantovirran vakaana tasaamalla kysynnän vaihtelua tuotannonohjauksen keinoin. Heijunkan käyttöönotto vaatii, että Lean-tuotannon perusperiaatteet ovat vakiintuneet. Työvaiheiden ja -aikojen tulee olla määriteltyjä ja selkeät ongelmat, jotka häiritsevät tuotannon virtausta

on poistettava. Tuotannossa esiintyvä vaihtelu voi johtua useista tekijöistä, kuten markkinoiden muutoksista, tavarantoimittajien ongelmista tai sisäisistä tuotanto-ongelmista. Vaihtelu yhdessä tuotantoketjun pisiteessä heijastuu aikaisempiin ja tuleviin tuotantovaiheisiin. (Kilponen & Jokinen, 2020a.)

Heijunka sisältää kaksi päävaihetta: ensimmäisessä vaiheessa tasataan kapasiteetti eli tuotantomäärä kiinteällä ajanjaksolla. Toisessa vaiheessa otetaan käyttöön toistuva sekamallituotanto. Toyota esimerkiksi laatii ennusteen asiakaskysynnän volyymille tuotteittain ja ennusteen perusteella laatii tasoitetun tuotantosuunnitelman päivätasolle. (Liker, 2004, s. 116–119.)

Heijunka eroaa muista suosituista tuotannon aikataulutuksen menetelmistä, kuten Just-In-Time (JIT) -valmistuksesta ja erätuotannosta. Näiden erojen ymmärtäminen auttaa valmistajia valitsemaan tarpeisiinsa sopivan menetelmän. JIT-tuotantojärjestelmässä ohjataan varastoa todellisen kysynnän perusteella sen sijaan, että tarpeetonta varastoa työnnettäisiin tuotantoon. Heijunka- ja JIT-järjestelmillä on yhtäläisyyksiä, sillä molemmat pyrkivät sujuvoittamaan tuotantovirtaa ja vähentämään hukkaa varastoja pienentämällä. JIT-järjestelmillä on kuitenkin usein vaikeuksia kysynnän vaihtelun ja piikkien kanssa, kun taas Heijunkatuotannon tasaaminen on tehokkaampi näissä tilanteissa. Tuotantomääristä ja -yhdistelmistä tulee ennustettavampia huolimatta muutoksista tai vaihteluista asiakastilauksissa. Huippujen ja laaksojen tasoittaminen helpottaa erilaisten tuotteiden valmistamista ja työnkulkujen standardointia. (Six Sigma, 2024.)

2.3 JIDOKA: sisäänrakennettu laatu

Jidoka-konseptin kehitti Toyota konsernin perustaja Sakichi Toyoda 1900-luvun alussa. Jidoka on tiivistetysti määriteltynä järjestelmä, joka pysäyttää tuotantoprosessin automaattisesti häiriön ilmetessä. Laajemmin ajatellen Jidoka viittaa tuotantojärjestelmien automatisointiin,

jonka tavoitteena on helpottaa ihmisten työtä. Lisäksi siihen sisältyy pyrkimys kehittää ergonomisesti toimivia ja hyvin suunniteltuja työympäristöjä. (Kilponen, 2020a.)

Jidoka on teollisuudessa pitkään käytetty käsite, jolla on ajan myötä kehittynyt useita eri merkityksiä riippuen kontekstista ja tulkitsijasta. Toivotan näkökulmasta Jidoka tarkoittaa ensisijaisesti järjestelmää, joka pysäyttää laitteen tai prosessin heti, kun havaitaan ongelma – oli kyseessä manuaalinen tai automatisoitu työvaihe. Ongelmia voivat olla esimerkiksi laitteiden viat tai laatuun liittyvät poikkeamat. Toisessa tulokinnassa Jidoka viittaa puoliautomaattisiin laitteisiin, joissa työntekijä voi valvoa ja käyttää useita koneita samanaikaisesti. Lisäksi joidenkin näkemysten mukaan Jidokaa voidaan pitää tuotantojärjestelmän kehittämisenä vaiheittaisen automaation kautta. (Kilponen, 2020a.)

Jidokan tarkoitus laadun näkökulmasta on tuotantolaitteiden häiriötön toiminta ja ihmisen roolin huomioiminen tuotantojärjestelmässä. Laitteiden tulee olla helppokäyttöisiä ja helposti huollettavia. Pää tarkoitus kuitenkin on, että virheen sattuessa tuotanto keskeytetään välittömästi, virhe korjataan ja juurisyy selvitetään. Virheellisen tuotteen jatkojalostaminen aiheuttaa hukkaa, ja viive virheen syntymisen ja sen havaitsemisen välillä voi johtaa suureen määrään viallisia tuotteita. Jos prosessissa tapahtuu virhe, kaikki sen läpi kulkenneet tuotteet voivat olla virheellisiä. Pitkät viiveet vaikeuttavat myös juurisyyn tunnistamista. Jidokan ohella Sakichi Toyoda kehitti myös juurisyiden etsintään perustuvan ongelmanratkaisumenetelmän, joka tunnetaan viiden miksi -kysymyksen menetelmänä. (Kilponen, 2020a.)

2.3.1 Poka Yoke: virheiden ehkäisy

Poka Yoke on Shigeo Shingon 1960-luvulla kehittämä menetelmä, joka keskittyy virheiden ennaltaehkäisyyn tuotantoprosesseissa. Käyttöön oton ideana on suunnitella järjestelmät siten, että virheiden tekeminen on mahdotonta tai erittäin epätodennäköistä. (Six Sigma Daily, 2022.)

Kilponen (2020b) toteaa, että ”Kirjaimellisesti Poka Yoke tarkoittaa tahattomien virheiden (Poka) ehkäisyä (Yoke)”.

Poka Yoke -järjestelmät voivat perustua joko ihmisten tai koneiden toimintaan ja niiden tavoitteena on havaita poikkeamat mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jotta korjaavat toimenpiteet voidaan toteuttaa ajoissa. Shingo erottaa vahingot ja virheet toisistaan – vahingot ovat väistämättömiä, mutta virheet tarkoittavat vahinkoja, jotka päätyvät asiakkaalle (Kilponen, 2020b).

Poka Yoke -menetelmät jaetaan kahteen päätyyppiin: varoittaviin ja estäviin järjestelmiin (Taulukko 2). Varoittavat järjestelmät ilmoittavat poikkeamista esimerkiksi valo- tai äänimerkein, kun taas estävät järjestelmät pysäyttävät prosessin virheen sattuessa, jotta se voidaan korjata välittömästi. (Kilponen, 2020b.)

Taulukko 2. Shingon esittämät järjestelmäkategorioiden (Kilponen, 2020b). (Muokattu)

Menetelmä	Estävä	Varoittava
Kosketusmenetelmä	Tuotteen osia ei voi liittää väärään paikkaan, koska liitännät ovat eri muotoisia.	Tietokone ilmoittaa varoitusviestin, jos käyttäjä yrittää asentaa väärän tyyppisen laitteen virtalähteeseen.
Vakioarvomenetelmä	Ruuvien kiristys onnistuu vain, ennalta määrättyyn momenttiin.	Väännin antaa hälytyksen, jos ruuvien määrä ei vastaa vaadittua.
Työvaihemenetelmä	Tuotetta ei voi siirtää seuraavaan työvaiheeseen ennen kuin kaikki osat on asennettu.	Tuotannonohjausjärjestelmä ilmoittaa, mikäli kaikkia komponentteja ei ole asennettu työvaiheen aikana.

Kosketusmenetelmä perustuu tuotteen fyysisiin ominaisuuksiin, kuten väriin, kokoon, painoon tai muotoon. Kosketusmenetelmässä joko tuote itse tai sen käsittelyprosessi estää virheiden syntymisen. Myös kokoonpanojigrit, jotka on suunniteltu niin, että vain oikeanlaiset ja oikein

asennetut osat sopivat paikalleen, on Poka Yoke -ratkaisu. (Kilponen, 2020b.)

Vakioarvomenetelmässä seurataan, onko kaikki työvaiheet suoritettu oikein. Esimerkiksi, että kokoonpanossa on käytetty oikea määrä ruuveja toimittamalla ne työpisteeseen laatikossa, johon mahtuu vain tarvittava määrä. (Kilponen, 2020b.)

Työvaihemenetelmässä työvaiheet suoritetaan oikeassa järjestyksessä ennen tuotteen siirtämistä eteenpäin. Se on hyödyllinen monivaiheisissa tehtävissä, joissa samalla työntekijällä on useita peräkkäisiä työvaiheita. Työvaiheiden etenemistä voidaan seurata tarkistuslistoilla tai antureilla, esimerkiksi sytyttämällä vihreä valo, kun oikea osa on otettu käyttöön. (Kilponen, 2020b.)

2.3.2 Standardoitu työ ja toimintatapa

Standardoitu työ Lean-valmistuksessa ja jatkuvan parantamisen menetelmissä tarkoittaa prosessia, jossa dokumentoidaan paras ja tehokkain tapa suorittaa tehtävä tai tehtäväsarja. Dokumentoinnin jälkeen työntekijät koulutetaan noudattamaan ohjetta. (6Sigma, 2024.)

Lean-johtamisessa työn standardointi tehdään tiiviissä yhteistyössä työntekijöiden kanssa. Näin vastuu ei jää vain muutamille toimihenkilöille, vaan koko tuotantohenkilöstö osallistuu prosessiin. Työntekijöiden mukanaolo lisää myös sitoutumista luotuihin työhjeisiin. Työntekijät tuntevat parhaiten työnsä ja sen haasteet, joten heidän näkemyksensä auttavat kehittämään toimivia ja käytännöllisiä standardeja (Kilponen & Jokinen, 2020b). Standardoinnin prosessi etenee kolmessa selkeässä vaiheessa:

1. **Vakauta** – Ennen standardointia työympäristön tulee olla selkeä ja järjestetty, esimerkiksi 5S-menetelmällä. Uuden tuotantolinjan alustava versio luodaan, jotta työajat voidaan määrittää. Työaikojen mittaaminen onnistuu vasta, kun työntekijät ovat tottuneet uusiin työmenetelmiin ja tuotantolinjan ongelmat on tunnistettu.

2. **Standardoi** – Työntekijät laativat ensimmäisen version työohjeista, sillä he tuntevat työnsä parhaiten. Toimihenkilöt täydentävät ohjeita palautteen ja kysymysten avulla. Lopulliset työohjeet tarkastetaan yhdessä työntekijöiden kanssa ja korjataan tarvittaessa.
3. **Ylläpidä** – Standardoitu työ on jatkuvan parantamisen perusta. Esimiesten tehtävänä on pitää huoli, että työ tehdään oikein ja työtapoja kehitetään yhdessä työntekijöiden kanssa. Perehdyttäminen standardoinnin avulla tukee uusien työntekijöiden koulutusta. (Kilponen & Jokinen, 2020b.)

Imai (1986) korosti kirjassaan Kaizen, että prosessin kehittäminen on mahdotonta ilman standardointia. Jos prosessi on epävakaa ja vaihtelee jatkuvasti, parannukset jäävät vain uusiksi muunnelmiksi, joita ei välttämättä sovelleta johdonmukaisesti. Siksi prosessi on ensin vakautettava ja standardoitava, jotta parannuksilla olisi pysyvä vaikutus. (Liker, 2004, s. 142.)

Standard Operating Procedures (SOP) eli standardoitu toimintatapa tai ohjeistus, on osa organisaatioiden toiminnan tehostamista ja laadun varmistamista. SOP on yksityiskohtainen kirjallinen ohjeistus, jonka tarkoituksena on taata toimintojen yhdenmukaisuus (NSKT Global, 2021). Standardoidut toimintatavat tuovat etuja yrityksille, erityisesti johdonmukaisuuden ja laadunhallinnan näkökulmasta. Kun työntekijöille annetaan vaiheittaiset ohjeet, vähentävät ne inhimillisten virheiden todennäköisyyttä (MaintainX, 2022).

Toisaalta Liker (2024, s. 135) korostaa, että monissa yrityksissä laadunhallinnan todellinen tarkoitus on vaarassa hukkuu byrokratian ja teknisten yksityiskohtien alle. Esimerkiksi ISO 9000 -standardin kaltaiset järjestelmät, jotka edellyttävät yksityiskohtaisten SOPien laatimista, voivat johtaa siihen, että yritykset keskittyvät liikaa sääntökirjojen luomiseen ja luulevan niiden itsessään takaavan laadun. Toimintatapa voi kuitenkin

hämärtää todellisen laadun kehittämisen tavoitteet ja jättää huomiotta operatiivisten prosessien jatkuvan parantamisen.

Mielestäni SOPien käyttöönotossa on huolehdittava, että ne eivät jää pelkiksi paperille kirjatuiksi ohjeiksi, vaan ovat elävä dokumentti, joka kehittyy yhdessä työntekijöiden kanssa. Keskittyminen pelkkään dokumentointiin ilman todellista käytännön kehittämistä, ei koskaan saavuta parasta mahdollista sujuvuutta toiminnassa.

2.4 KAIZEN: jatkuva parantaminen

Kaizen on japanilainen termi, joka tarkoittaa jatkuvaa parantamista. Se keskittyy pieniin, jatkuvasti tapahtuviin parannuksiin työprosesseissa, tuotteissa tai palveluissa. Kaizenin ajatuksena on, että suuret tulokset voidaan saavuttaa pienillä ja jatkuvilla muutoksilla ajan myötä (Flovio, 2025). Kaizen voidaan jakaa seuraaviin periaatteisiin:

- Asiakasarvon lisääminen.
- Jatkuvan parantamisen kulttuuri.
- Standardointi.
- Prosessien parantaminen.
- Hukan poisto.
- Pienet hallittavat parannukset. (Flovio, 2025.)

Kaizen mielletään usein jonkin tuotteen tai prosessin parantamiseen. Nakamuro (2019) kuitenkin toteaa, että Kaizen ei tarkoita yksinkertaisesti jatkuvaa parantamista, kuten usein länsimaissa ymmärretään. Sen sijaan Kaizen voidaan kääntää paremmin jatkuvaksi itsensä kehittämiseksi. Eroa käsitteestä Kairyo, joka viittaa ulkoisiin parannuksiin, kuten teknologisiin tai materiaalisiin investointeihin. Kaizenissa olennainen osa on hansei eli itsekritiikki. Hansei tarkoittaa jatkuvaa kykyä arvioida omaa toimintaa kriittisesti myös silloin, kun asiat näyttävät sujuvan hyvin (Nakamuro, 2019).

Jatkuvan parantamisen toteuttamisessa hyödynnetään PDCA-sykliä (Plan-Do-Check-Act) ja SDCA-sykliä (Standardize-Do-Check-Act). Molemmat ovat tehokkaita työkaluja, mutta niiden painopisteet eroavat toisistaan. PDCA keskittyy prosessien kehittämiseen ja innovointiin, kun taas SDCA pyrkii ensisijaisesti vakauttamaan ja ylläpitämään olemassa olevia prosesseja ennen niiden kehittämistä. Yhdessä syklejä käyttämällä luodaan tasapaino prosessien vakauttamisen ja jatkuvan kehittämisen välillä (Singh & Singh, 2015).

Monet organisaatiot sekoittavat korjaamisen ja parantamisen käsitteet. ISO 9001 -standardin osio 10 korostaa poikkeamien hallintaa ja korjauksia toimenpiteitä, mutta nämä eivät ole sama asia kuin parannukset. Korjaaminen palauttaa tuotteen tai prosessin aiemmalle tasolle käsittelemällä menneitä virheitä ja estämällä niiden toistumisen. Parannus puolestaan tarkoittaa muutosta, joka nostaa prosessin uudelle tasolle. Muutos on oltava todistettavissa paremmaksi historialliseen tasoon nähden eikä saa aiheuttaa enemmän haittoja kuin hyötyjä (Piirainen, 2021).

2.4.1 Kahdeksan hukkaa: arvottoman työn eliminointi

Hukka kuvaa toimintaa, joka ei lisää arvoa. Se jaetaan kolmeen pääluokkaan: Muda, Mura ja Muri. Muda tarkoittaa hukkaa, joka ilmenee ylimääräisenä työnä tai resurssien tuhlauksena. Se jaetaan seitsemään kategoriaan: ylituotanto, varasto, kuljetus, liike, yliprosessointi, odotus ja laatuongelmat. Myöhemmin on lisätty myös työntekijän osaamisen vajaa käyttö kahdeksantena hukan muotona. Mura viittaa epätasapainoon toiminnassa, joka voi liittyä esimerkiksi työvaiheiden epätasaiseen etenemiseen tai vaihtelevaan työkuormaan. Se paljastaa myös tuotannon pullonkaulat ja ongelmakohtat. Muri tarkoittaa ylikuormitusta, joka voi kohdistua koneisiin, työntekijöihin tai prosesseihin. Liiallisesta kuormituksesta voi seurata väsymystä, laatuongelmia ja tehottomuutta. (Piirainen, 2014.)

Usein keskitytään vain Mudaan, koska sen havaitseminen on helpompaa, mutta myös Mura ja Muri ovat olennaisia tuotannon sujuvuuden ja

tehokkuuden kannalta (Piirainen, 2021). Perusajatus on kuitenkin poistaa kaikki se toiminta, mikä ei tuota asiakkaalle lisäarvoa.

Muda voidaan jakaa kahteen tyyppiin: Ensimmäinen tyyppi sisältää toiminnot, jotka eivät suoraan lisää arvoa, mutta ovat välttämättömiä. Esimerkiksi tuotekehitys, tilausten tai tuotantojärjestelmien vaatimukset ovat tarpeellisia, joten niitä ei voida poistaa välittömästi. Toinen tyyppi taas koostuu toiminnoista, jotka eivät tuota asiakkaalle arvoa ja on mahdollista poistaa välittömästi ilman, että se vaikuttaa tuotteen tai palvelun laatuun. (Womack & Jones, 1996.)

Liker (2004, s. 28–29) listaa Toyotan määrittelemät kahdeksan hukun muotoa, jotka ovat universaaleja kaikille toimialoille:

1. **Ylituotanto:** Tuotanto ennen tarpeen syntymistä on hukkaa sillä se synnyttää ketjureaktion muita hukkia.
2. **Odottelu:** Aika, jonka työntekijät, materiaalit tai laitteet viettävät toimeettomina. Liker (2004, s. 30) kuvaa, kuinka yksiosaisen virtauksen luominen poistaa hukkaa, kuten odottelua ja viivettä.
3. **Tarpeeton kuljetus:** Keskeneräisen työn ja materiaalin liikuttaminen turhaan varastosta toiseen kasvattaa riskejä ja kustannuksia.
4. **Ylikäsittely:** Tarpeettomat työvaiheet osien käsittelyssä aiheuttavat ylimääräistä työtä. Tehottomuus voi johtua esimerkiksi huonosta työkalusta tai epäoptimaalisesta tuotesuunnittelusta. Hukkaa syntyy myös silloin, kun tuotteista tehdään laadukkaampia kuin on tarpeen.
5. **Liikavarastointi:** Ylimääräisten raaka-aineiden, keskeneräisten tuotteiden tai valmiiden tuotteiden varastointi. Varastointi peittää ongelmia, kuten laadun puutteita ja hidastaa reagointia asiakkaan tarpeisiin.
6. **Tarpeeton liike:** Viittaa työntekijöiden tehottomiin liikkeisiin, kuten työkalujen etsimiseen tai turhaan kävelyyn.

7. **Viat ja virheet:** Tarkoittavat tuotteita tai palveluja, jotka eivät täytä laatuvaatimuksia. Johtaa resurssien hukkaamiseen korjauksen tai uusintatuotannon muodossa.
8. **Käyttämätön työntekijän luovuus:** Liker (2004, s. 36) painottaa, että Toyotan menestys perustuu siihen, että jokainen työntekijä osallistuu parannusideoihin.

2.4.2 Prosessin arvovirta

Arvovirta tarkoittaa kaikkia niitä toimenpiteitä ja vaiheita, jotka tarvitaan tuotteen tai palvelun toimittamiseksi asiakkaalle. Se sisältää sekä arvoa lisäävät että arvoa lisäämättömät aktiviteetit. Arvovirran tavoitteena on tuottaa asiakkaalle lisäarvoa ilman turhaa hukkaa prosessissa. (QKK, 2008.) Arvovirtakartoituksella (Value Stream Map, VSM) kaavioidaan jokainen vaihe, joka liittyy materiaalien ja tietovirtojen kulkuun tuotteen saattamiseksi tilauksesta toimitukseen. Työkalua käytetään avuksi prosessin hukkan tunnistamisessa. Toyota kehitti työkalun osana Toyota Production System -järjestelmää ja kutsuu sitä nimellä Material and Information Flow Analysis, MIFA (Lean Enterprise Institute, 2024).

VSM:n avulla voidaan kartoittaa lähtötilan arvovirta ja tunnistaa arvoa tuottamattomat vaiheet, kuten ylimääräiset varastot tai tarpeettomat siirrot. Lähtötilan analysoinnin jälkeen luodaan tavoitetilan arvovirtakartta, joka kuvaa ihannetilaa, jossa hukka on minimoitu. Visuaalinen tapa helpottaa suunnittelemaan konkreettisia parannustoimenpiteitä prosessien virtaviivaistamiseksi (Lean Enterprise Institute, 2024). MIFA puolestaan kuvaa yksityiskohtaisemman näkymän materiaalien ja informaation liikkeistä mikä helpottaa näkemään esimerkiksi tuotantolinjojen pullonkaulat ja viiveet. MIFAn tavoitteena on yksinkertaistaa materiaali- ja tietovirtoja ja optimoida resurssien käyttöä. (Farinia Group, 2021; Pozyx, 2024.)

2.4.3 Gemba-kävelyt: arvoa lisäävän työn tarkkailu

Gemba-kävelyn konsepti on peräisin Toyotan perustajalta Taiichi Ohnolta, joka uskoi, että todelliset ongelmat ja parannusideat paljastuvat vain suoraan työpisteellä tapahtuvalla havainnoinnilla (Gemba-Walk, 2021). Gemba-kävelyt ovat osa Toyotan johtamisfilosofiaa, jossa ongelmien ratkaisu ja prosessien ymmärtäminen aloitetaan fyysisellä läsnäololla. Gemba (jap. "todellinen paikka") viittaa siihen fyysiseen tilaan, jossa arvoa luodaan (Liker, 2004, s. 224). Liker (2004, s. 225) korostaa, että Gemba-kävelyjen tavoite ei ole passiivinen tarkkailu, vaan aktiivinen oppiminen ja vuoropuhelu työntekijöiden kanssa.

Gemba-kävelyn suorittamisen vaiheet ovat:

1. **Valmistautuminen:** Ennen Gemba-kävelyä on tärkeää määrittellä selkeä tavoite. Esimerkiksi tavoitteena voi olla ymmärtää, miksi tietty prosessi ei toimi odotetulla tavalla tai miksi tietyssä vaiheessa esiintyy viivästyksiä. Selkeän tavoitteen myötä keskitytään vain olennaisiin asioihin, joka tekee kävelystä tuottavamman.
2. **Havainnointi:** Gemba-kävelyn aikana tarkkaillaan prosesseja ja työnkulkuja reaaliajassa ilman, että keskeytetään työntekijöitä. Havainnointiin voidaan käyttää erilaisia työkaluja, kuten aikamittauksia, virtauskaavioita tai spagettidiagrammeja, jotka auttavat visualisoimaan työntekijöiden liikkeitä ja materiaalivirtoja.
3. **Keskustelu:** Havainnoinnin jälkeen keskustellaan työntekijöiden kanssa avoimilla kysymyksillä, kuten "Miksi tämä vaihe tehdään näin?" tai "Mikä estää tämän prosessin tehostamista?". Keskustelujen tarkoituksena on ymmärtää työntekijöiden näkemyksiä ja tunnistaa ongelmien juurisyyt yhteistyössä heidän kanssaan. (TWI Institute, n.d.)

Toyotan menetelmä työntekijän työprosessin tehostamiseen perustuu yksityiskohtaiseen havainnointiin ja dokumentointiin, jossa jokainen

toiminto arvioidaan arvonlisäyksen ja hukan näkökulmasta. Lähestymistapa heijastaa Toyotan filosofiaa genchi genbutsu ("mene paikan päälle, katso itse"), jossa ongelmien juurisyyt selvitetään suoraan lähteessä (Liker, 2004, s. 224–225).

2.4.4 5S-menetelmä

5S-menetelmä on Leanin työkalu, joka auttaa luomaan järjestystä ja tehokkuutta työympäristöön. 5S toimii usein lähtökohtana Lean-projektien ja jatkuvan parantamisen (Kaizen) toteuttamiselle. Vaikka 5S mielletään usein pelkäksi siivoamiseksi, sen todellinen tarkoitus on opettaa kurinalaista ja järjestelmällistä toimintatapaa, joka mahdollistaa prosessien kehittämisen ja ylläpitämisen (Liker 2004, s. 151).

Seiri – Lajittele: Ensimmäisessä vaiheessa poistetaan kaikki tarpeettomat esineet ja materiaalit työalueelta. Tavoitteena on vähentää hukan aiheuttajia, kuten tarpeettomia työkaluja, varastoja tai roskia. Työalueesta tulee selkeämpi ja turvallisempi, nopeuttaen työntekijöiden pääsyn tarvittaviin työkaluihin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että arvioidaan kaikkien työvälineiden ja materiaalien käyttöaste, ja säilytetään vain ne esineet, jotka ovat tarpeellisia päivittäisessä työssä. (EPA, n.d.)

Seiton – Järjestä: Toisessa vaiheessa jäljelle jääneet työvälineet ja materiaalit järjestetään loogisesti ja helposti saataville. Järjestämisen avulla työntekijät voivat keskittyä olennaiseen työhön ilman aikaa vievää etsimistä. Tämä toteutetaan määrittämällä jokaiselle esineelle oma kiinteä paikka, käyttämällä visuaalisia merkintöjä kuten etikettejä tai värikoodeja. Nopean tunnistamisen helpottamiseksi sijoitetaan usein käytettävät työkalut käden ulottuville. (EPA, n.d.)

Seiso – Puhdista: Kolmannessa vaiheessa työalue siivotaan perusteellisesti ja siisteys ylläpidetään jatkuvana rutiinina. Ylläpidon avulla löydetään nopeasti poikkeamat, kuten työkalujen kulumat tai rikkoutumiset. Siisti ympäristö lisää turvallisuutta ja parantaa työkalujen toiminta-

varmuutta. Vaiheeseen sisältyy muun muassa päivittäisten puhdistusrutiinien käyttöönotto osaksi työntekijöiden tehtäviä sekä havaittujen ongelmien, kuten koneiden rikkoutumisten tai epänormaalien olosuhteiden järjestelmällinen dokumentointi. (EPA, n.d.)

Seiketsu – Standardointi: Tässä vaiheessa aiemmin luodut käytännöt vakioidaan selkeiksi säännöiksi ja ohjeiksi. 5S-menetelmästä tehdään pysyvä osa päivittäistä toimintaa. Standardointi takaa johdonmukaisuuden ja tehokkuuden pitkällä aikavälillä. Tämä saavutetaan laatimalla visuaalisia ohjeita ja tarkistuslistoja rutiinien tukemiseksi, vakioimalla puhdistus- ja järjestelyrutiinit kaikille työntekijöille sekä yhtenäistämällä toimintatavat koko organisaation tasolla. (EPA, n.d.)

Shitsuke – Ylläpito: Viimeisessä vaiheessa keskitytään tekemään 5S-ajattelusta jatkuva käytäntö ja osa organisaation kulttuuria. Tämä edellyttää säännöllistä koulutusta, auditointeja sekä yrityksen johdon sitoutumista. Ylläpidon varmistamiseksi toteutetaan säännölliset tarkastukset ja 5S-tason seuranta, ja työntekijöitä kannustetaan antamaan palautetta sekä esittämään kehitysehdotuksia. (EPA, n.d.)

3 TUTKIMUSTYÖ JA -TOTEUTUS

Tutkimuksen käytännön osuus suoritettiin Danfoss Drivesin tuotantolinjalla X, jonka tila arvioitiin Lean-periaatteiden mukaisesti. Tavoitteena oli tunnistaa kehityskohteet, jotka liittyvät tuotannon tehokkuuteen, virtaustehokkuuteen sekä työympäristön toimivuuteen. Lähtötilanteen kartoittamiseen hyödynnettiin useita tuotannon kehittämiseen soveltuvia työkaluja, kuten työaikatutkimusta, arvovirtakartoitusta, työntutkimusta sekä ergonomia- ja osaamiskartoituksia.

Kehitystyö eteni vaiheittain: ensin määriteltiin lähtötilanne, jonka pohjalta asetettiin selkeästi suunnattu tavoitetila. Tavoitetilaa kohti edettiin suunnittelemalla ja toteuttamalla konkreettisia parannustoimenpiteitä. Kehittämistyö painottui erityisesti materiaalivirran tehostamiseen, 5S-menetelmän käyttöönottoon sekä työntekijöiden osallistamiseen osana jatkuvaa parantamista.

Aluksi esittelen kohdeyrityksen ja tuotantolinjan toimintaympäristön sekä sen erityispiirteet. Tämän jälkeen tarkastellaan lähtötilannetta muun muassa tuotannon tehokkuuden, työnkulun, ergonomian ja laadun näkökulmista. Näiden analyysien pohjalta muodostui kokonaiskuva kehittämistarpeista. Tavoitetilan määrittelyn yhteydessä valittiin soveltuvat Lean-työkalut tukemaan tuotannon kehitystä. Lopuksi kuvataan toteutetut parannustoimet sekä niiden vaikutukset tuotantolinjan suorituskykyyn.

3.1 Kohteen erityispiirteet

Tutkimuksen kohteena oleva tuotantolinja X toimii osana kansainvälisen yrityksen laajempaa tuotantoverkostoa. Linjalla valmistetaan taajuusmuuttajia, joiden tuotanto edellyttää sekä teknistä tarkkuutta että joustavuutta vastata asiakaskohtaisiin tarpeisiin. Tuotevalikoiman laajuus,

vaihtuvat tilausmäärät ja laitevarianttien määrä muodostavat tuotannolle vaativan toimintaympäristön, jossa tuotantosuunnittelun, materiaalivirtojen ja henkilöstöressurssien hallinta korostuvat.

Tuotantolinjan toiminta perustuu pääosin manuaaliseen kokoonpanoon, jota tukevat erilaiset testaus- ja tarkastusvaiheet. Työtehtävien suorittaminen vaatii ammattitaitoista henkilöstöä ja selkeitä toimintamalleja, jotta tuotteen laatu säilyy tasaisena. Laadun varmistamiseksi on tärkeää, että työvaiheet on standardoitu ja että henkilöstö saa säännöllistä koulutusta menetelmien ja työvälineiden oikeaan käyttöön.

3.1.1 Yritysesittely

Danfoss on vuonna 1933 perustettu tanskalainen monikansallinen yritys, joka on erikoistunut energiatehokkaiden ja innovatiivisten teknologioiden kehittämiseen. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Nordborgissa, Tanskassa ja se toimii yli 100 maassa työllistäen yli 40 000 henkilöä maailmanlaajuisesti. Vuonna 2020 asetettu tavoite on saavuttaa hiili-neutraalisuus kaikessa yhtiön globaalissa toiminnassa vuoteen 2030 mennessä. (Danfoss, n.d.)

Danfossin tuotevalikoima kattaa ratkaisuja jäähdytykseen, lämmitykseen, ilmastointiin, sähkömoottorien ohjaukseen sekä uusiutuvan energian hyödyntämiseen. Yrityksen kolme segmenttiä Danfoss Power Solutions, Danfoss Climate Solutions ja Danfoss Power Electronics and Drivesin painopiste on innovaatioiden ja kestävän kehityksen toteuttaminen. (Danfoss, 2024.)

Vaasan tehdas on Danfoss Drives liiketoiminta-alueen yksi tärkeimmistä tuotanto- ja kehityskeskuksista. Tehdas valmistaa taajuusmuuttajia, joiden tarkoitus on energiatehokkuuden parantamisessa ja päästöjen vähentämisessä. Vaasan tehtaalla valmistetaan sekä VACON®- että VLT®-sarjan taajuusmuuttajia (Danfoss, 2022).

Danfoss Drives panostaa vahvasti henkilöstönsä koulutukseen ja urakehitykseen. Saatavilla on monipuolisia mahdollisuuksia osaamisen kehittämiseen ja urapolun rakentamiseen, kuten esimerkiksi opiskelu töiden ohella. Urakehityksen osalta organisaatiossa käydään yksilöllisiä kehityssuunnitelmia ja säännöllisiä palautekeskusteluja, joissa kartoitetaan työntekijän pitkän aikavälin tavoitteita ja mahdollisuuksia lisäkoulutukseen.

3.1.2 Tuotantolinja X

Ennen projektin käynnistämistä tuotantolinjalla toteutettiin arvovirta-analyysi sekä DILO (Day In the Life Of) -tutkimus, joiden avulla tunnistettiin virtauksen haasteet ja kehityskohteet sekä saatiin tarkempi käsitys työnkulusta. Kaizen-projekti noudatti tarkasti määriteltyjä vaiheita. Projekti koostui kolmesta päävaiheesta: valmistelu, työpaja ja jatkuva parantaminen.

Vaihe 1: Valmistautuminen Kaizen-työpajaan. Projektin onnistuminen alkaa huolellisesta valmistautumisesta. Liker (2004, s. 278) esittelee keskeiset valmistelutoimenpiteet ennen työpajan aloitusta:

1. Määrittele prosessin laajuus ja tavoitteet.
 - Prosessin aloitus- ja lopetusasteet sekä asiakkaalle toimitettava lopputuote tulee selkeästi määritellä. Tavoitteiden tulee olla mitattavia ja linjassa organisaation strategisten päämäärien kanssa.
2. Lähtötilan kartoitus.
 - Ennen työpajaa ryhmä kartoittaa nykyisen prosessin vaiheet, tehtäväajat ja odotusajat. Kartoitus säästää työpaja-aikaa ja luo pohjan myöhemmälle analyysille.
3. Dokumenttien kerääminen.
 - Kaikki prosessiin liittyvät dokumentit, standardoidut ohjeet ja muut asiakirjat kerätään etukäteen helpottamaan analyysiä.

4. Lähtötilakartan julkaisu.

- Kartta visualisoidaan, jotta osallistujat voivat tehdä muistiinpanoja ja ehdottaa muutoksia.

Vaihe 2: Kaizen-työpaja. Työpaja on Kaizen-projektin vaihe, jossa ryhmä analysoi lähtötilan, kehittää tavoitetilan vision sekä aloittaa muutosten toteutuksen.

1. Lähtötilan analyysissa osallistujat suorittavat Gemba-kävelyn, keskustelevat työntekijöiden kanssa ja tunnistavat arvonlisäyksen sekä hukat (Liker, 2004, s. 279). Kolme keskeistä kategoriaa ovat:

- Arvoa lisäävä: Toiminnot, jotka tuottavat asiakkaalle arvoa.
- Arvoa lisäämätön: Hukka, kuten odotusajat tai uudelleentyöt.
- Arvoa lisäämätön, mutta välttämätön: Esimerkiksi tarkastukset tai dokumentointi (Liker, 2004, s. 279).

2. Tavoitetilan suunnittelu.

- Tiimi ideoi parannusehdotuksia ja luo tavoitetilan kartan hyödyntäen Lean-periaatteita, kuten yhden kappaleen virtausta, prosessin sisään rakennettua laatua ja visuaalista hallintaa (Liker, 2004, s. 281).

3. Muutosten toteutus.

- Työpajan aikana tiimi jakautuu pienryhmiin toteuttamaan muutoksia, kuten työalueiden uudelleenjärjestelyjä tai luomaan uusia standardoituja ohjeita (Liker, 2004, s. 282).

Vaihe 3: Jatkuva parantaminen. Työpajan jälkeen Kaizen-projekti siirtyy ylläpito- ja kehitysvaiheeseen.

1. Seuranta ja mittarit.

- Projektin edistymistä seurataan mittareilla, kuten läpimenoajalla tai tuottavuudella. Tulokset visualisoidaan (Liker, 2004, s. 283).

2. Jatkuva kehitys.

- Tiimi kokoontuu viikoittain seuraamaan avoimia tehtäviä ja ideoimaan uusia parannuksia. Johdon kuukausikatsaukset pitävät huolen, että resurssit ovat riittävät (Liker, 2004, s. 283–284).

3.2 Lähtötila

Lähtötilan arvioinnin tarkoituksena on muodostaa kattava ja objektiivinen kokonaiskuva tuotantolinjan tämänhetkisestä toiminnasta ja suorituskyvystä. Arvioinnissa tarkastellaan sekä prosessien että organisaation vahvuuksia ja kehityskohteita. Lähtötila-analyysi toimii perustana jatkokehitykselle ja tavoitteiden asettamiselle, sillä sen avulla voidaan priorisoida kehittämistoimenpiteet ja varmistaa, että muutokset kohdistuvat oikeisiin osa-alueisiin. Lisäksi lähtötilan kuvaus auttaa ymmärtämään prosessien ja toimintatapojen kokonaisuuden.

Lähtötilan arvioinnissa hyödynnetään erilaisia menetelmiä, kuten havainnointia, työntekijöiden haastatteluja ja työntutkimusanalyysiä, jotta saadaan mahdollisimman tarkka kuva nykytilasta. Monipuolinen lähestymistapa mahdollistaa perusteellisen ymmärryksen tuotannon pullonkauloista, resurssien käytöstä sekä ajankäytön tehokkuudesta. Tarkasti toteutettu lähtötilan analyysi luo pohjan jatkuvalla parantamiselle ja Lean-periaatteiden toteuttamiselle.

3.2.1 Tuote

Danfoss Drivesilla valmistettavia taajuusmuuttajia käytetään moottorihjauksessa ja energiatehokkuuden parantamisessa. Taajuusmuuttajien (Kuva 1) avulla voidaan säätää moottorin nopeutta ja vääntömomenttia tarkasti muuttamalla syötettävän vaihtovirran taajuutta ja jännitettä.



Kuva 1. VACON® NXP -sarjan taajuusmuuttajia (Danfoss, 2025).

Tuotantolinjalla X valmistettavien taajuusmuuttajien tuotanto jakautuu viiteen eri perusvarianttiin, jotka eroavat toisistaan jännite- ja virta-arvojen sekä muiden teknisten ominaisuuksien osalta. Nämä 5 eri laitemallia on nimetty työssä A, B, C, D ja E. Jokainen laitemalli on mahdollista räätälöidä asiakkaan tarpeiden mukaan.

3.2.2 Kysyntä: laitevarianttien tilauskertymä

Tilaukertymä (Order Intake) viittaa yrityksen vastaanottamiin asiakas-tilauksiin tietyn ajanjakson aikana. Se on liiketoiminnan suorituskyky-mittari, joka antaa kuvan kysynnän tasosta ja tulevasta työkuormasta.

Tilaukertymän seuraaminen auttaa yritystä ennakoimaan tuotantotarpeita ja resurssien käyttöä. Year-To-Date (YTD) termi viittaa tietyn aikajakson kumulatiiviseen arvoon kalenterivuoden alusta nykyhetkeen. Tarkasteltava ajanjakso sisältää viikot 1–40 vuonna 2024 (Liite 1). Laitemalli A on asiakaskysynnältään suurin. Tuotantolinjan työpisteen suunnittelussa laitemallin A materiaalit on syytä sijoittaa optimaalisesti.

Tilaukertymän analysointi paljastaa myös kausivaihteluita ja mahdollisia trendejä, joiden perusteella voidaan tehdä paremmin perusteltuja päätöksiä tuotannon suunnittelussa. Suurivolyymisten laitemallien kohdalla tilaukertymän tarkka seuranta auttaa ennakoimaan tuotannon kuormitusta ja optimoimaan työvaiheiden järjestystä. Suunnittelu luo edellytykset tehokkaalle tuotantoprosessille, jossa resurssit hyödynnetään paremmin ilman tarpeettomia viiveitä. Tuloksena on luotettavampi toimituskyky ja asiakastarpeisiin vastaaminen ajallaan.

3.2.3 Tuotantolinjan tehokkuus

Suora tehokkuus on tuotantoprosessin mittari, joka kuvaa, kuinka tehokkaasti käytetty työaika on hyödynnetty suhteessa ansaittuihin tunteihin. Tehokkuus lasketaan kaavalla:

$$\text{Tehokkuus (\%)} = \frac{\text{Ansaitut tunnit}}{\text{Käytetyt tunnit yhteensä}} \times 100 \quad (3)$$

Kaava määrittää, kuinka tehokkaasti tuotantolinja toimii suhteessa sen optimaaliseen kapasiteettiin (Output Industries, 2024).

Liite 2 sisältää vuoden 2024 viikkojen 1–40 mittaustulokset ja paljastaa vaihteluita tuotantolinjan suorassa tehokkuudessa vuoden aikana. Kaavio ei arvioi valmistettujen tuotteiden määrää, vaan näyttää, kuinka hyvin käytetty aika vastaa työn standardien mukaista suorituskykyä. Viikoittaiset vaihtelevat arvot ja epävakaas vaihteluun voi johtua esimerkiksi materiaalien saatavuudella tai puutteella. Alhaisimmat tehokkuuslukemat voivat olla myös seurausta tuotannonhäiriöistä tai ongelmista,

joten mahdolliset toistuvat laatuongelmat on selvitettävä. Yksittäiset viikot ovat erottuneet erityisen hyvillä tehokkuustuloksilla. Viikkojen tarkempi tarkastelu voi auttaa löytämään tuotantolinjan parhaimmat käytännöt, joita voisi soveltaa laajemmin. Kaavioon sisällytetty lineaarinen trendiviiva osoittaa lievää nousua tehokkuudessa vuoden edetessä.

3.2.4 Työntekijät ja organisaatio

3.2.4.1 Kompetenssimatriisi

Kompetenssimatriisi on visuaalinen työkalu, jolla kuvataan organisaation tai tiimin jäsenten osaamista suhteessa työtehtäviin. Matriisilla voidaan kartoittaa työntekijöiden tekniset taidot ja tiedot sekä arvioida yksilöiden tai tiimien osaamistasoa suhteessa näihin vaatimuksiin. (Think Eleven, 2025). Työntekijöillä on oltava oikeat taidot oikeisiin tehtäviin.

Kompetenssimatriisi tukee työkiertoa ja urakehitystä tunnistamalla moniosaajia ja ohjaamalla koulutusta. Sen avulla voidaan myös seurata kehitystoimien vaikutuksia työntekijöiden taitotasoon. Matriisissa (Liite 3) esitetty järjestelmäosaaminen, joka kattaa muun muassa ongelmanratkaisutaulun (ks. luku 3.4.4) ja jatkuvan parantamisen, on merkittävä kaikilta linjan työntekijöiltä. Tämä viittaa koulutuksen puutteeseen.

3.2.4.2 Poikkeamaraportti

Vuonna 2024 Danfoss Drives Vaasan tehtaalla otettiin käyttöön QR-koodipohjainen järjestelmä turvallisuuspoikkeamien raportointiin. Järjestelmän avulla henkilöstöllä on nopea ja helppo tapa ilmoittaa havaituista turvallisuusriskeistä ja -poikkeamista. Raportointikauden aikana tuotantolinjalla kirjattiin yhteensä 10 turvallisuuteen liittyvää poikkeamailmoitusta (Liite 4), joista yksi oli läheltä piti -tilanne (Near Miss Incident, NMI) ja yhdeksän potentiaalista turvallisuusriskiä (Potential Hazard, PH).

Poikkeamaraportoinnin avulla saadaan arvokasta tietoa tuotannon turvallisuusriskeistä, joka mahdollistaa ennakoivan toiminnan riskien vähentämiseksi. Järjestelmä on osoittautunut tehokkaaksi työkaluksi, joka parantaa turvallisuuskulttuuria ja lisää henkilöstön osallistumista työpaikan turvallisuuden kehittämiseen. Nopea reagointi havaittuihin riskeihin vähentää onnettomuuksien ja läheltä piti -tilanteiden esiintymistä.

3.2.4.3 Ergonomia

Yritysten toimintaedellytysten parantamiseksi on kehitettävä työtä, työympäristöä, teknologioita ja tuotteita. Työn kehittäminen vaikuttaa työelämän laatuun, joka on yksi työhyvinvoinnin edellytyksistä. Ergonomian tavoitteena on järjestää työ ja työympäristö, niin että työntekijöiden fyysinen kuormitus, vammat ja tapaturmat vähenevät. Näin muutokset hyödyttävät sekä yritystä ja henkilöstöä. Siksi ergonomian kehittämistä työssä ja työympäristössä tulisi tarkastella yhtäaikaisesti tuottavuuden ja työhyvinvoinnin näkökulmasta. (Suokko & Reiman, n.d.)

Mikäli ergonomiaa kehitetään vain yksittäisen työntekijän tai työpisteen perusteella, parannusideat voi kohdistua vain yhden henkilön työolosuhteisiin, mutta heikentävät samalla muiden. Esimerkiksi työpisteen parantaminen siirtämällä tarvittavat materiaalit lähemmäksi tai lisäämällä apuvälineitä voi helpottaa yhden työntekijän työtä, mutta samalla vaikeuttaa seuraavan työntekijän tehtäviä. Ergonomiaa tulisi tarkastella laajemmasta näkökulmasta, ottaen huomioon koko järjestelmä ja työnkulku yksittäisten työpisteiden sijaan. (Suokko & Reiman, n.d.)

3.2.4.4 REBA-menetelmä

REBA-menetelmän (Rapid Entire Body Assessment) kehittivät Hignett ja McAtamney vuonna 2000, kun havaittiin tarve arvioida työntekijöiden vaihtelevia työasentoja erityisesti terveydenhuolto- ja palvelualoilla. REBA on nopea ja helppokäyttöinen menetelmä, jonka avulla arvioidaan

erilaisia työasentoja ja niiden yhteyttä tuki- ja liikuntaelimestön rasitukseen. Menetelmä jakaa kehon eri osiin, jotka luokitellaan liikesuuntien mukaan. Pisteytysjärjestelmällä arvioidaan lihasaktiivisuus eri tilanteissa, kuten staattisessa, dynaamisessa, nopeasti muuttuvassa tai epävakaaassa työasennossa. Lisäksi käsittelypisteitä käytetään silloin, kun työ sisältää manuaalista käsittelyä tai kuormien kantamista. (Madani & Dababneh, 2016.)

REBA-menetelmässä kehon asennon nivelkulmia analysoidaan tarkastelemalla voiman käyttöä, liikkeiden toistuvuutta ja asennon vaihtamisen tiheyttä. Niska, vartalo, ylä- ja alaraajat, jalat sekä ranteet jaetaan tiettyille arvoalueille. Kullekin arvioitavalle alueelle annettava pistearvo kasvaa sitä mukaa, kun kehon osa siirtyy kauemmaksi neutraalista asennosta. REBA-menetelmä ottaa huomioon arvioinnissa myös yhteisvaikutukset eri kehon osien välillä, jotka voivat lisätä riskiä (Kuva 2). Esimerkiksi jos työntekijä työskentelee epäsuorassa asennossa, joka vaikuttaa useisiin kehon osiin samanaikaisesti. (Madani & Dababneh, 2016.)

REBA Employee Assessment Worksheet

Based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, McAtamney, Applied Ergonomics 31 (2000) 201-207

A. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 1: Locate Neck Position

 Step 1a: Adjust...
 If neck is twisted: +1
 If neck is side heading: +1
 Neck Score:

Step 2: Locate Trunk Position

 Step 2a: Adjust...
 If trunk is twisted: +1
 If trunk is side heading: +1
 Trunk Score:

Step 3: Legs

 Adjust: 30-60°
 Add +1
 Add +2
 Leg Score:

Step 4: Look-up Posture Score in Table A
 Using values from steps 1-3 above, locate score in Table A.

Step 5: Add Force/Load Score
 If load < 11 lbs: +0
 If load 11-22 lbs: +1
 If load > 22 lbs: +2
 Adjust: If lock or rapid build up of force: add +1
 Force/Load Score:

Step 6: Score A, Find Row in Table C
 Add values from steps 4 & 5 to obtain Score A. Find Row in Table C.

Scoring:
 1 = negligible risk
 2 or 3 = low risk, change may be needed
 4 to 7 = medium risk, further investigation, change soon
 8 to 10 = high risk, investigate and implement change
 11+ = very high risk, implement change

SCORES

Table A

	Neck		
	1	2	3
Neck	1	2	3
Trunk	1	2	3
Posture	1	2	3
Score	1	2	3

Table B

	Lower Arm	
	1	2
Upper Arm	1	2
Lower Arm	1	2
Score	1	2

Table C

Score A (score from Table A, including force)	Score B (rate it value coupling score)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

B. Arm and Wrist Analysis

Step 7: Locate Upper Arm Position:

 Step 7a: Adjust...
 If shoulder is raised: +1
 If upper arm is abducted: +1
 If arm is supported or person is leaning: -1
 Upper Arm Score:

Step 8: Locate Lower Arm Position:

 Lower Arm Score:

Step 9: Locate Wrist Position:

 Step 9a: Adjust...
 If wrist is bent from midline or twisted: Add +1
 Wrist Score:

Step 10: Look-up Posture Score in Table B
 Using values from steps 7-9 above, locate score in Table B.

Step 11: Add Coupling Score
 Wall fitting handle and good grip: good: +0
 Acceptable but not ideal hand hold or coupling acceptable with another body part: fair: +1
 Hand hold not acceptable but possible: poor: +2
 No handles, awkward, unsafe with any body part: Enacceptably: +3
 Coupling Score:

Step 12: Score B, Find Column in Table C
 Add values from steps 10 & 11 to obtain Score B. Find column in Table C and match with Score A in row from step 6 to obtain Table C Score.

Step 13: Activity Score
 +1 or more body parts are held for longer than 1 minute (static)
 +1 Repeated small range actions (more than 40 per minute)
 +1 Action causes rapid large range changes in postures or unstable base
 Activity Score:

Final REBA Score

Table C Score + Activity Score = Final REBA Score

Task name: _____ Reviewer: _____ Date: _____

This tool is provided without warranty. The author has provided this tool as a simple means for applying the concepts provided in REBA. © 2000, 2001, 2002 provided by Practical Ergonomics r.hignett@ergonomics.com (016) 444-2667

Kuva 2. REBA-arviointilomake (Madani & Dababneh, 2016).

Jokaisen kehon osan pisteet summataan, jolloin saadaan REBA-riskipisteasteikolla 1–15. Mitä korkeampi pistemäärä, sitä suurempi on riski ja tarve ergonomisille toimenpiteille. Riskit pisteytetään seuraavasti:

- Pieni riski (REBA 1-3): Jotkin ergonomiset muutokset voivat parantaa mukavuutta.
- Keskitasoinen riski (REBA 4-7): Muutoksia tehtävä muutamien kuukausien sisällä.
- Korkea riski (REBA 8-10): Syvälinen analyysi ja nopeat ergonomiset muutokset välttämättömiä.
- Erittäin korkea riski (REBA 11+): Tarve välittömille toimenpiteille. (Neuronflo, n.d.)

Tuotantolinjalle X ergonomiamittaukset (Liite 5) suoritettiin osana työaikatutkimusta, joka esitellään luvussa 3.2.5.1. REBA-analyysin perusteella kokoonpanoprosessin tietyt kiinnitysvaiheet ja laitteen suojaamiseen liittyvät tehtävät sisältävät keskitason ergonomiariskin. Lisäksi materiaalien käsittely ja poiminta edellyttävät kehitystoimia kuormituksen vähentämiseksi.

3.2.5 Prosessi ja virtaus

Tuotantolinja on suunniteltu toimimaan yhtenä virtaviivaisena "putkenä", jossa laitteiden eri variaatiot valmistetaan samassa prosessissa. Linjan rakenne perustuu viiteen vaiheeseen. Pohjapiirros on esitelty Liitteessä 6. Taulukko 3 kuvaa tuotantoprosessin päävaiheet järjestyksessä kokoonpanosta pakkaukseen. Taulukossa esitetään jokaisen vaiheen keskeinen sisältö ja huomioon otavat erityispiirteet.

Taulukko 3. Tuotantoprosessin vaiheet.

Vaihe	Kuvaus	Huomioita
Kokoonpanovaihe 1	Valitaan työlistalta tuotantotilaus ja suoritetaan laitteen kokoonpano materiaaliluettelon (BOM) perusteella. Luettelo vaihtelee tuotteen mukaan.	Tuotevariantit vaikuttavat BOMiin.
Kokoonpanovaihe 2	Materiaaliluettelo täydennetään komponenteilla, joita vaiheessa käytetään. Vaihe sisältää kymmeniä materiaaleja, jotka jaotellaan laitevariantin mukaan.	Materiaalien suuri määrä.
Kokoonpanovaihe 3	Kokoonpano viimeistellään testausvalmiiksi tarvittavilla asennuksilla laitekohdaisen kokoonpanon mukaisesti.	Valmistelu testaukseen.
Testausvaihe	Suoritetaan funktionaalinen testi ja vanhennusajo. Mikäli laite toimii suunnitellusti, se siirretään pakkausvaiheeseen. Virheelliset tuotteet ohjataan korjauspisteelle.	Korjauspiste virheellisille tuotteille.
Pakkausvaihe	Tuote esivalmistellaan ja pakataan huolellisesti asiakkaalle lähetettäväksi. Pakkaus sisältää testiraportin, ohjeet ja tarvikkeet.	Testiraportti ja ohjeet mukaan pakkaukseen.

3.2.5.1 Työaikatutkimus

Tutkimus alkaa työn havainnoinnilla ja kuvaamisella, minkä jälkeen työmenetelmät kartoitetaan ja vakiinnutetaan. Samalla arvioidaan myös työvaiheiden ergonomia ja työturvallisuus sekä selvitetään ajankäytön tehokkuus. Työtä tarkastellaan taloudellisesta, teknologisesta ja työntekijän näkökulmasta. Työntutkimusta hyödynnetään myös tavoitteiden asettamisessa. (Ahokas ja muut, 2011.)

Tuotannon tehokkuuden mittaamisessa ja työajan suunnittelussa käytetään kahta aikakäsitettä: normaaliaikaa ja standardiaikaa. Normaaliaika kuvaa varsinaista kokoonpanoaikaa. Standardiaika on taas ennalta määritetty aika, joka tarvitaan laitteen valmistukseen. Se sisältää perusajan, lisäajat kuten tauot ja muut työn suoritukseen vaikuttavat tekijät. Näiden kahden ajan välinen ero muodostaa apuaikalisän (Liite 7).

Tuotannon tehokkuuden arvioinnissa mittarina toimii Cycle Time (CT), eli jaksoaika. On kuitenkin huomioitava, että alinta mitattua CT:tä ei ole määritelty, eikä tietoa nopeimmista tai hitaimmista operaattoreista ole

saatavilla. Työntutkimukset normalisoidaan 100 % työskentelynopeuteen, koska niissä käytetään standardoitua tahtia ja työskentelynopeutta.

Tuotannon suunnittelussa ja työntutkimuksissa on otettu huomioon työaikoihin vaikuttavat tekijät. Jotta työvaiheiden kestot voidaan arvioida realistisesti, jokainen kokoonpanovaihe sisältää yleisimmät ajat eri tuoteversioille. Havainnollistavana esimerkkinä voidaan käyttää laitemallin B kokoonpanoa, jos esimerkiksi laitemallin B osuus on 40 % kaikista toimituksista. Tiedon perusteella mallista A poikkeavat kokoonpanoajat on sisällytetty työntutkimukseen siten, että ne edustavat 40 % kyseisen vaihtoehdon kokonaistyöajasta. Esimerkiksi jos mallista A poikkeava kokoonpano kestäisi kokonaisuudessaan 10 minuuttia, työntutkimukseen on allokoitu tästä 4 minuuttia.

3.2.5.2 Arvovirtakartta

Lähtötilaa arvioidessa arvovirtakartta (Liite 8) helpottaa hahmottamaan koko prosessin alusta loppuun. Kartan yläosassa on toimitusketjun alku, jossa raaka-aineet saapuvat toimittajilta. Logistiikan osiossa kuvataan materiaalien siirrot tuotantolinjalle ja niiden jakelu eri työvaiheisiin. Kaavion keskiosassa esitetään eri roolit ja vastuut tuotantoprosessissa. Tuotantoalue esitetään kaavion alareunassa, jossa näkyvät yksittäiset tuotantovaiheet. Jokaiselle vaiheelle on merkattu suorituskykymittareita kuten sykli aika. Nuolilla havainnollistetaan materiaalin ja tiedon kulkua.

Linjan lähtötilan arvovirtakartasta selviää, miten työvaihe 1,2 ja 3 eivät ole täysin tasapainossa. Esimerkiksi työvaihe 1:n ja 2:n ero voi aiheuttaa odottelua työvaiheessa 2. Keskenäistä työtä kertyy työpisteiden välille ja se hidastaa prosessia. Testiin kytkentää sekä laitteen testausta ei pidetä pullonkaulana, koska käytössä on kaksi testiuunია ja mahdollisuus kolmanteen. Arvovirtakartan työajat ovat peräisin työaikatutkimuksesta (Liite 7).

Kolmen työvuoron tahtiaika on pidempi kuin yksittäisten vaiheiden jaksoaika. Linjalla on kuitenkin riittävästi resursseja ja se pystyy täyttämään nykyisen asiakaskysynnän. Vaikka kapasiteetti on riittävä, niin työvaiheiden tasapainotus toisi paremman virtauksen linjalle.

3.2.5.3 DILO-analyysi

Day In the Life Of, DILO-analyysi (Liite 9) suoritettiin työpisteille, tavoitteena kartoittaa työvaiheiden aikajakaumaa ja tunnistaa hukat sekä muut kehityskohteet. DILO-analyysi antoi kokonaiskuvan ajankäytöstä: kuinka paljon aikaa kului arvoa tuottavaan työhön, pakollisiin ei-arvoa tuottaviin toimintoihin ja hukkaan.

Tulosten perusteella arvoa tuottavan työn osuus on merkittävä, mutta tuotannossa esiintyy myös pakollisia, mutta ei lisäarvoa tuottavia toimintoja. Suurin osa liittyy materiaalien käsittelyyn ja työkalujen käyttöön. Lisäksi havaittiin puhdasta hukkaa, joka koostui esimerkiksi etsimisestä ja ylimääräisestä siirtelystä. Materiaalinhallintaan ja työpistejärjestelyihin liittyvät kehityskohteet nostettiin esiin, sillä materiaalien optimaalinen sijoittelu voisi poistaa ei-arvoa tuottavaa työaikaa. Myös oikean komponentin tunnistaminen ja saatavuus työpisteellä on olennaista hukan vähentämiseksi ja tehokkaamman työskentelyn varmistamiseksi. Pakkaus- ja testausvaiheelle ei tehty erillistä DILO-analyysiä, koska niissä ei havaittu selkeitä viivästyksiä tai pidetty prosessin pullonkaulana.

Mahdolliset kehityskohteet ovat:

- Materiaalinhallinnan ja -sijoittelun tehostaminen.
- Työpisteiden järjestelmällisyys ja komponenttien saatavuuden varmistaminen.
- Hukan tunnistaminen ja vähentäminen erityisesti materiaalien etsimisen osalta.

3.2.6 Laatu

Tuotteen vikaantuessa tuotantovirhe johtaa ylimääräisiin korjauksiin. Asiakkaalle päätyvä virheellinen tuote voi johtaa mainehaittoihin ja taloudellisiin menetyksiin mm. takaisinkutsujen kautta. Tuotantokatkokset puolestaan vaikuttavat suoraan tuottavuuteen ja liikevaihtoon. Jälkityöt ja mahdollinen syntyvä romu lisäävät kustannuksia. Pahimmillaan viat voivat vaarantaa sekä asiakkaiden, että työntekijöiden turvallisuuden. Tuotantovirheraportin (Liite 10) pohjalta pyritään tunnistamaan virheiden taustalla olevat juurisyyt ja laatimaan ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä tuotantoprosessin kehittämiseksi.

Laadunhallinnan näkökulmasta on tärkeää, että poikkeamat käsitellään systemaattisesti ja että niistä opitaan. Virheiden dokumentointi ja analysointi tukevat jatkuvaa parantamista ja auttavat kehittämään toimintamalleja, jotka vähentävät virhemahdollisuuksia. Ennakoiva laadunvarmistus tuo säästöjä pitkällä aikavälillä ja parantaa asiakastyytyvyyttä.

3.2.7 Lähtötilan yhteenveto

Tuotantolinjan arviointi paljasti kehityskohteita ja haasteita, jotka vaikuttavat linjan tehokkuuteen, työntekijöiden ergonomiaan ja kokonaisprosessiin. Lähtötilan perusteella tunnistettuja kehityskohteita ovat:

- Kokoonpanovaiheiden läpimenoajoissa esiintyy vaihtelua.
- Tuotantovirheiden ehkäisy.
- Materiaalivirtoihin liittyvä hukka.
- Tavoitetilaa suunniteltaessa keskitytään tehostamaan materiaalien hallintaa laitemallille, jolla on suurin osuus asiakastilauksista.
- Ergonomia.
- PFEP-jokaiselle osalle on tehtävä suunnitelma.
- Työpisteiden järjestelmällisyys.
- Ongelmanratkaisun tehostaminen.

Nämä havainnot muodostavat perustan kehitystyölle, jonka tavoitteena on vahvistaa tuotantolinjan suorituskykyä ja laatutasoa. Jatkuvan parantamisen näkökulmasta on tärkeää, että jokainen kehityskohde käsitellään järjestelmällisesti ja että niihin laaditaan konkreettiset toimenpiteet. Tavoitteena on kehittää tuotantoprosessi, joka toimii kokonaisuutena hallitusti, tukee tuottavuutta ja varmistaa työntekijöiden turvallisuuden.

3.3 Tavoitetila

Tavoitetilan määrittely aloitettiin jakamalla projektialueet taktiseen implementointisuunnitelmaan (Taulukko 4), joka toimi selkeänä rakenteena ja ohjasi koko Kaizen-projektin etenemistä. Suunnitelmassa määriteltiin tarkasti, mitkä alueet ja toiminnot saavat erityistä huomiota ja millä tavalla ne liitetään osaksi laajempaa parannusprosessia. Jokaiselle projektin tiimin jäsenelle valikoitui ennalta määrätty alue, johon keskittyä tarkemmin. Näin ollen projekti saatiin käsiteltyä yksityiskohtaisemmin, ja kullekin jäsenelle voitiin asettaa selkeämpiä tavoitteita.

Syvällisempää analyysiä vaativien muutosten vuoksi projektiin sisällytetään myös TIP-taso 2-suunnitelma, jolla varmistetaan, että pidemmän aikavälin suunnitelmat eivät unohdu. TIP-taso 2 toimii varmistuksena, että kaikki osat toteutetaan johdonmukaisesti, mikä edesauttaa tavoitetilan saavuttamista ja ylläpitämistä myös projektin päätyttyä.

Taulukko 4. Tactical Implementation Plan, TIP.

TIP-taso 1	Tavoite	Toimenpiteet
5S	Parantaa työpisteiden järjestelmällisyyttä ja visuaalista hallintaa, sisältäen järjestelyn, siivouksen ja standardoinnin.	<ul style="list-style-type: none"> - Työpisteiden siivoaminen ja järjestäminen. - Tarpeettomien työkalujen ja materiaalien poisto. - Visuaalisten merkintöjen ja standardoidun ohjeen (SOP) käyttöönotto.
Linjan tasapainotus	Tasapainottaa työnkuormitus kokoonpanolinjalla, jotta virtaus hyödynnetään optimaalisesti.	<ul style="list-style-type: none"> - Työaikojen analysointi. - Työvaiheiden uudelleenjärjestely. - Ongelmien tunnistaminen ja ratkaisujen implementointi.
Linjan sisäiset materiaalit	Varmistaa, että kaikki tuotantolinjalla tarvittavat materiaalit ovat saatavilla oikeaan aikaan ja oikeassa paikassa.	<ul style="list-style-type: none"> - Materiaalien sijoittelun optimointi työpisteillä. - Värikoodien ja visuaalisten työkalujen käyttöönotto. - Imuohjauksen vahvistaminen. - FIFO-periaatteen vahvistaminen.
Linjan ulkoiset materiaalit	Hallita linjan ulkopuolisia materiaaleja, kuten varastointia ja täydennystä.	<ul style="list-style-type: none"> - Materiaalivirtojen suunnittelu. - Selkeiden varastointisääntöjen käyttöönotto. - Täydennysaikataulut.
Laatu	Parantaa tuotantolinjan laatua ja vähentää tuotantovirheitä.	<ul style="list-style-type: none"> - Poka Yoke -ratkaisut. - Muutokset tuotteeseen. - Standardoitujen työohjeiden päivittäminen. - Henkilöstön koulutus laadunvalvontaan ja ongelmien esiin tuominen.
Työskentelytapa	Yhtenäistää työskentelytapoja ja linjan toimintaa.	<ul style="list-style-type: none"> - Selkeiden prosessikuvausten ja ohjeiden käyttöönotto. - Säännölliset tiimikokoukset ja viestinnän parantaminen. - Henkilöstön sitouttaminen jatkuvaan parantamiseen.

3.3.1 5S-menetelmän käyttöönotto

5S-menetelmän tavoitteena on luoda siisti, järjestelmällinen ja turvallinen työympäristö. Tuotantolinjan tehokkuuden ja työturvallisuuden parantamiseksi toteutettiin kattava 5S-menetelmän implementointi, joka sisälsi tilojen siivouksen, tarpeettomien materiaalien poistamisen, visuaalisen ohjeistusten ja merkkauksien toteuttamisen.

Ensimmäinen vaihe oli perusteellinen siivous, jossa tuotantolinja puhdistettiin kokonaisuudessaan. Kaikki turhat materiaalit ja työkalut poistettiin, jotta työskentelytilasta saatiin selkeä. Ylimääräisten esineiden poistamisen ansiosta turha hukka vähenee, koska työntekijöiden ei tarvitse käyttää aikaa etsimiseen tai siirtelyyn. Vain välttämättömät tavarat säilytettiin ja sijoitettiin järjestelmällisesti. Kaikki työkalut merkattiin 5S-periaatteiden mukaisesti ja jokaiselle työkalulle määritettiin oma säilytyspaikka, joka on helposti tunnistettavissa. Etsintäaika vähenee ja työkalut pysyvät aina oikeilla paikoillaan.

Siivouksen jälkeen toteutettiin lattiamerkkaukset. Merkkaukset osoittavat selkeästi esimerkiksi käytäväalueet, materiaalien säilytyspaikat ja turvavyöhykkeet. Lisäksi työpisteiden johdotukset asennettiin uudelleen, sillä irtonaiset johdot aiheuttavat kompastumisvaaran. Johdot kiinnitettiin ja suojattiin asianmukaisesti. Lopuksi tarkastettiin yleiset alueet koko tuotantoympäristöstä, että se täyttää kaikki 5S-standardin vaatimukset.

3.3.2 Tuotantolinjan materiaalivirtojen hallinta

Materiaalien oikealla sijoittelulla pyritään vähentämään operaattorin turhaa liikkumista ja minimoimaan haku-aikaa. Suurivolyymisimmät materiaalit sijoitetaan optimaalisesti niin, että ovat mahdollisimman lähellä kokoonpanijaa. Työpiste rajataan kolmeen eri alueeseen: Vyöhyke 1–3 (Kuvio 5), jonka mukaan materiaalit sijoitetaan käytettävyyden ja tarpeen mukaan seuraavasti:

1. Vyöhyke – Pääkäyttöalue

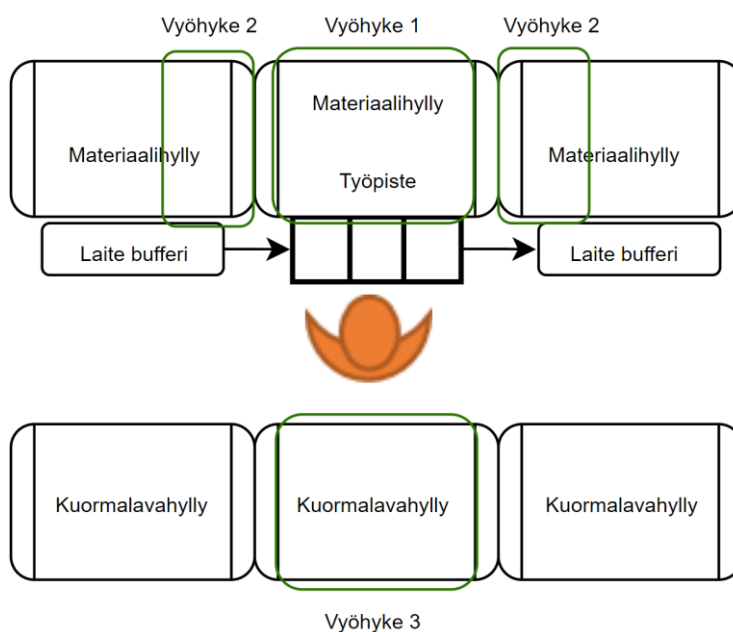
- Suurivolyymiset materiaalit sijoitetaan suoraan kokoonpanijan eteen - Poiminta-aika on pienin ja käytetyt osat ovat välittömästi käden ulottuvilla.
- Ruuvit ja muut pientarvikkeet sijoitetaan helposti saataville.
- Ylimmälle hyllytasolle varastoidaan osia pienissä laatikoissa, huomioiden ergonomia.

2. Vyöhyke – Puskurivaiheen FIFO-varasto

- Materiaalit, jotka eivät mahdu vyöhykkeelle 1, sijoitetaan FIFO-periaatteella puskurivarastoon.
- Esimerkiksi johdot, jotka eivät vaadi erillisiä työkaluja.
- Puskurialueen optimoitu leveys on noin 500 mm, jotta se on helposti käytettävissä.

3. Vyöhyke – Lavavarasto selän takana

- Suuremmat lavatavarat sijoitetaan kokoonpanijan selän taakse ergonomisesti.
- Selän taakse sijoitettavat varastopaikat on suunniteltava niin, että työntekijä voi samalla hakukerralla kerätä useamman.



Kuvio 5. Työpistealueet.

Plan For Every Part (PFEP) -dokumentti luodaan materiaalien käyttötarpeiden analysoimiseksi ja usein samanaikaisesti tarvittavien osien tunnistamiseksi. PFEP selkeyttää materiaalivirtojen hallintaa ja ohjaa osien sijoittelua oikeille paikoille.

Osana MTM (Methods-Time Measurement) -menetelmää suoritettiin tarkka videoanalyysi tuotantolinjan jokaisesta kokoonpanovaiheesta.

Koko prosessi videoitiin ja työvaiheet jaettiin selkeisiin tehtäväkuvauksiin, joista jokaisen aika merkittiin (Liite 11). Aikamerkinnot visualisoitiin värikoodaamalla, mikä helpotti analysointia ja keskittymistä ajallisesti merkittäviin osioihin. Kokonaiskuva ajankäytöstä auttoi tunnistamaan aikaa vievät tai hukkaa sisältävät tehtävät.

3.4 Työn tulokset

3.4.1 Materiaalivirta ja tasapainotus

Työpisteiden tehokkuuden parantamiseksi tehtiin useita muutoksia (Liite 14), jotka keskittyvät erityisesti materiaalien sijoitteluun, työkuorman tasoittamiseen, työympäristön ergonomiaan ja hukan vähentämiseen. Työpisteiden materiaalien sijoittelua on optimoitu lisäämällä säilytysyksiköitä, jotka mahdollistavat materiaalien saattamisen lähemmäksi työntekijää parantaen samalla FIFO-periaatteen toteutumista. Muutos on vähentänyt tarpeetonta liikkumista ja parantanut työn sujuvuutta. Myös kokoonpanovaiheissa suoritettavia osatehtäviä on jaettu tasaisemmin prosessin eri vaiheisiin, mikä on tasoittanut työkuormaa ja jakanut työvaiheiden keston tasaisemmin.

Ergonomian parantamiseksi on tehty muutoksia työpisteiden laitejärjestelyihin. Laitteita on siirretty ja uudelleenjärjestetty lähemmäksi työpistettä, mikä on vähentänyt työntekijöiden tarpeettomia askelia. Työpisteiden tilankäyttöä on myös parannettu asettamalla työkalut ja materiaalit selkeästi merkattuihin paikkoihin sekä hyödynnetty kääntyviä säilytysjärjestelmiä. Toimenpiteet on helpottanut työkalujen ja materiaalien löytämistä sekä vähentänyt turhaa etsintää.

Älyteknologian hyödyntämisen ansiosta esimerkiksi momenttien tarkastus on automatisoitu, mikä on mahdollistanut, että aiemmin käytetyt manuaaliset tarkastustoimenpiteet on voitu poistaa. Hyvänä kehitystoimenpiteenä voidaan pitää myös materiaalivirtojen hallinnan sekä varas-

toinnin ja työpisteiden välisten materiaalitoimitusten tehostamista. Tuotantolinjalla varastoitavien materiaalien hallintaa on kehitetty vastaamaan paremmin tuotannon tarpeita, ja materiaalien toimitus työpisteille on toteutettu Kanban-tyyppisen toimintamallin mukaisesti. Tämä on selkeyttänyt materiaalivirtoja ja ehkäissyt turhien varastojen muodostumista.

Materiaalien uudelleen sijoittelun ja turhien työvaiheiden poistamisen jälkeen työvaiheiden ajat mitattiin uudelleen. Liite 15 sisältää tulokset, jossa on huomioitu suurivolyymisin malli A, sen muunnosversio sekä malli B. Muutosten avulla tuotantolinjan työkuorma on tasaisemmin jakautunut.

Taulukko 5 esittää, kuinka paljon jokainen työvaihe on parantunut prosentuaalisesti verrattuna normaaliin työaikaan eri varianttien osalta. Lisäksi on laskettu jokaisen variantin keskimääräinen parannus.

Taulukko 5. Työvaiheiden parannus %.

Työvaihe	Malli A (%)	Malli A muunnosversio (%)	Malli B (%)	Keskiarvo (%)
Työvaihe 1	24,54	18,05	9,83	17,49
Työvaihe 2	19,91	19,91	-12,74	9
Työvaihe 3	5,03	5,03	5,03	5,03
Variantin keskiarvo parannus (%)	16,49	14,33	0,71	10,51

Taulukosta 5 ilmenee, että toteutetut muutokset olivat tarpeellisia ja tehokkuuden parantamisen kannalta onnistuneita. Kokonaisuudessaan työvaiheiden keskimääräinen parannus oli 10,51 %, mikä on kohtalainen parannus työvaiheiden keston. Materiaalien sijoittelussa suurim-

man tarkastelun kohteena olevan malli A:n keskimääräinen työajan parannus oli 16,49 %. Tulosten perusteella materiaalien uudelleensijoittelu ja turhien työvaiheiden poistaminen olivat onnistuneita toimenpiteitä.

3.4.2 Tuottavuus ja laatu

Robert D. Pritchard ja muut (1989) määrittelevät tuottavuuden tehokkuuden ja vaikuttavuuden yhdistelmänä. Tehokkuus tarkoittaa tuotoksen ja panoksen suhdetta, kun taas vaikuttavuus mittaa, kuinka hyvin tuotokset vastaavat asetettuja tavoitteita tai vaatimuksia. Toisin sanoen tehokkuus kertoo, kuinka resurssit hyödynnetään tuotteiden tai palveluiden tuottamiseen. (de Boer, 2007.)

Projektin alkuperäisenä tavoitteena oli saavuttaa 20 %:n tuottavuuden kasvu, mikä perustuu tehokkuuden mittaamiseen työaikojen, kuten ansaittujen tuntien ja käytettyjen tuntien kautta. Toteutettujen muutosten myötä työvaiheiden aikoja on onnistuttu pienentämään, mikä vaikuttaa tehokkuuteen ja siten tuottavuuteen. Koska tuottavuus on suoraan verrannollinen työvaiheiden suorittamiseen käytettyyn aikaan, pienentyneet työajat ovat parantaneet tehokkuutta ja siten mahdollistaneet merkittävän osan tavoitellusta 20 %:n kasvusta. Mikäli kaikki suunnitellut toimenpiteet saadaan implementoitua, on realistista odottaa, että projekti saavuttaa tai jopa ylittää alkuperäisen tuottavuustavoitteen. Tavoitteen saavuttaminen vaatii vielä lisätoimia, vaikka projekti etenee suunnitellusti.

Lähtötilan kartoituksen yhteydessä tunnistettiin yleisimmät tuotantovirheet (Liite 10) ja tietojen perusteella suunniteltiin vaihtoehtoja virheiden poistamiseen. Virheiden ehkäisemiseksi kehitysideana on Poka Yoke -periaatteella toteutettu jigi (Liite 13), joka estää johtojen virheellisen kytkennän. Jigi varmistaa, että asennus voidaan suorittaa vain oikealla tavalla, jolloin virheiden mahdollisuus poistuu. Lisäksi kehitteillä on konenäköjärjestelmä (Liite 13), joka havaitsee, mikäli jigi ja johdot ovat jääneet asentamatta. Toinen tuotannossa havaittu virhe liittyi tuotteen kaapelointiin testausvaiheessa. Ratkaisuksi suunniteltiin Poka Yoke -jigi

(Liite 13), joka ohjaa kytkennät oikeaan järjestykseen ja estää virheen toistumisen rakenteensa avulla. Poka Yoke -jigien käyttöönoton jälkeen aikaisemmin havaittuja tuotantovirheitä ei ole ilmennyt.

3.4.3 Siisti ja järjestelmällinen työympäristö

Tuotantolinjan tehokkuuden ja työturvallisuuden parantamiseksi määriteltiin kolme päätavoitetta, jotka keskittyvät työympäristöön ja työntekijöiden osallistamiseen:

1. Säilytetään puhtas, hyvin järjestetty työpiste.
2. Määritellään ja ylläpidetään selkeät työasemastandardit.
3. Edistetään 5S-käytäntöjen omistajuutta kaikkien työntekijöiden keskuudessa.

Yhdessä operaattoreiden kanssa suoritettiin koulutus 5S-periaatteista ja käytännöistä. Koulutuksen jälkeen kompetenssimatriisi päivitettiin vastaamaan työntekijöiden koulutuksen suorittamista. Liite 16 sisältää tuotantolinjan henkilöstön kanssa yhdessä laaditun siivous-SOPin. SOP sisältää ohjeet siivoustoiminnasta ja määritetyistä vastuista. Siivous suoritetaan jokaisen työvuoron lopuksi, jonka jälkeen operaattorit kuittaa- vat työn tehdyksi. Työhön kuuluu myös tyhjien tai vajaiden materiaali- laatikoiden palautus sekä täyttö. Seuraava työvuoro täytyy alkaa ilman keskeytyksiä.

3.4.4 Henkilöstön koulutus

Kokoonpanijoiden koulutuksen kehitystarpeita ilmeni tuotantolinjaa arvioitaessa ja haastateltaessa. Linjan työntekijöille järjestettiin kohden- nettu koulutus, jossa tuotiin esille erityisesti 5S-periaatteet, ongelman- ratkaisutaulun käyttö ja jatkuvan parantamisen merkitys. Käytännönlä- heinen lähestymistapa auttoi työntekijöitä ymmärtämään oman roolinsa tuotantolinjan kehittämässä ja antoi heille konkreettisia työkaluja päi- vittäiseen ongelmien esiintuomiseen. Tavoitteena oli henkilöstön akti- vointi ja osallistaminen. Työntekijöitä kannustettiin ja rohkaistiin tunnis-

4 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOKEHITYSEHDOTUKSET

Työn toteuttaminen Danfoss Drivesin tuotantolinjan optimoinnista tarjosi hyötyjä sekä organisaatiolle että omalle ammatilliselle kehitymiselleni. Projektin aikana saavutettiin konkreettisia parannuksia tuotantolinjan tehokkuudessa, laadussa ja työympäristössä. Optimointitoimenpiteet johtivat tuotantoprosessin hukan vähentymiseen, mikä näkyi suoraan tehokkuuden kasvuna ja työkuorman tasaisempuna jakautumisena.

4.1 Tuotantoon tehtävät muutokset

Tuotantolinjan optimointiprojekti on tuottanut parannuksia tuotannon tehokkuuteen, laatuun ja työympäristöön. Projektin aikana toteutetut toimenpiteet ovat osoittautuneet pääosin onnistuneiksi, mutta myös jatkokehityskohteita havaittiin. Kehitysprojektin aikana tuotantolinjan toimintaa tarkasteltiin laajasti, ja sen pohjalta tunnistettiin jatkokehitystä vaativia osa-alueita. Tuotannon ja tuotekehityksen välisten prosessien sujuvuuteen on tarpeen kiinnittää huomiota, jotta tuotemuutokset saadaan käsiteltyä entistä nopeammin ja niiden vaikutukset vietyä hallitusti tuotantoon. Myös tuotantolinjan työvaiheiden tasapainottamista tulisi jatkossa kehittää. Suosituksena on, että tuotannon työkuormaa tasapainotetaan edelleen ja resurssien käyttöä tehostetaan eri työpisteiden välillä. Samalla on tarpeen päivittää tuotannon ohjeistuksia ja työnjakoa tukevia dokumentteja, jotta muutokset vakiintuvat pysyviksi käytännöiksi.

Tuotannon materiaalien varastointi- ja toimituskäytännöt työpisteille täytyy optimoida tehokkaasti. Materiaalien säilytyksen ja logistiikan kehittämisen tuotantoalueella sekä varastoratkaisujen yhtenäistäminen parantaisi materiaalien saatavuutta entisestään. Hyvä kehityskohde olisi

selvittää mahdollisuuksia materiaalien pakkaus- ja laatikkokokojen yhdenmukaistamiseen, sillä se helpottaisi varastointia, tehostaisi tilankäyttöä. Samalla se tukisi tuotantoprosessia sekä materiaalivirtojen hallintaa.

Kokonaisuudessa havaittiin tarve henkilöstön osaamisen jatkuvalle kehittämiselle. Olisi perusteltua ottaa käyttöön toimintamalli, jossa osaamista kartoitetaan ja päivitetään säännöllisesti, ja jossa kehittäminen sidotaan tiiviisti tuotannon muuttuviin tarpeisiin. Näin varmistetaan, että henkilöstön taidot tukevat tehokkaasti tuotannon tavoitteita. Tämä tukisi samalla tuotannon laatua ja jatkuvaa parantamista.

Lisäksi järjestelmien käytettävyyteen ja tiedonsiirron suoraviivaisuuteen tulisi panostamaan. Manuaalisia työvaiheita tulisi pyrkiä vähentämään ja järjestelmien viiveitä minimoimaan, jotta tuotannonohjaus ja materiaalihallinta toimisivat tehokkaammin. Projektin aikana toteutettiin myös kokeiluja, joilla testattiin kehitysideoiden toimivuutta. Vaikka lopputulosta ei tiedetty etukäteen, kokeilut tarjosivat parhaan näkemyksen ideoiden käytännön toimivuudesta. Kokeiluja on hyvä hyödyntää jatkossakin kehitysprosessin tukena.

Kun tuotantoon tehtävät muutokset on otettu käyttöön ja toiminta vakiinnutettua, on tärkeää varmistaa, että työohjeet, dokumentaatio ja työaikamittaukset vastaavat päivitettyä tilannetta. Tällä varmistetaan tuotannon jatkuva hallittavuus ja mahdollisuus seurata kehitystoimenpiteiden vaikutuksia.

4.2 Standardointi, dokumentointi ja kehitystyö tuotannossa

Projektin aikana korostui myös standardoitujen toimintatapojen ja selkeän dokumentaation merkitys. Standardoidut työohjeet ja selkeät vastuunjaot helpottavat myös uusien työntekijöiden perehdytystä ja varmistavat laadunhallinnan. Dokumentaation tulee olla elävä osa arkea, ei

pelkkä byrokraattinen velvoite. Työprosessien jatkuva arviointi ja kehittäminen edellyttää avoimuutta, palautteen keräämistä ja säännöllistä mittaamista, jotta kehitystoimenpiteiden vaikutukset voidaan todentaa ja ylläpitää.

Työn konkreettisten hyötyjen lisäksi kehitysprojektin haasteet, kuten muutosten läpivienti vaatii sitkeyttä, johdon tukea ja kykyä perustella muutosten tarpeellisuus henkilöstölle. Kaikki kehitysideat eivät välttämättä tuota toivottua tulosta, mutta kokeilujen ja palautteen avulla voidaan löytää parhaat ratkaisut. Epäonnistumiset ovat osa oppimisprosessia ja antavat arvokasta tietoa tulevien kehitystoimien suunnitteluun.

4.3 Jatkuva parantaminen

Lean- ja Kaizen-periaatteita voidaan soveltaa käytännössä tuotantoympäristössä. Teorian ja käytännön yhdistäminen auttaa ymmärtämään, että jatkuva parantaminen ei ole yksittäinen projekti, vaan prosessi, joka vaatii systemaattista kehitystyötä ja koko henkilöstön osallistamista. Työntekijöiden aktiivinen osallistuminen ja koulutuksen merkitys muutosten vakiinnuttamisessa ja jatkuvan kehityksen ylläpitämisessä ovat olennaisia, sillä ne lisäävät sitoutumista ja parantavat prosessien ymmärrystä. Osallistava toimintatapa auttaa myös tunnistamaan käytännön haasteet ajoissa sekä kehittämään ratkaisuja, jotka ovat aidosti toimivia ja henkilöstön hyväksymiä.

Projekti osoitti, että järjestelmällisellä toimintatavalla ja henkilöstön osallistamisella voidaan saavuttaa hyviä parannuksia tuotantolinjan toiminnassa. Jatkossa on tärkeä ylläpitää saavutettuja parannuksia ja jatkaa kehitystyötä tunnistettujen kohteiden osalta niin, että tuotantolinja pysyy tehokkaana ja kilpailukykyisenä myös tulevaisuudessa.

4.4 Jatkokehitysehdotukset

Tuotannon laadun parantamiseksi ja kokoonpanoprosessin tehostamiseksi tunnistettiin seuraavia tuotesuunnittelun jatkokehityskohteita:

1. Materiaalien yhdistäminen.
 - Onko mahdollista yhdistää saman toimittajan materiaaleja yhdeksi komponentiksi? Yksinkertaistaa kokoonpanoa ja vähentää erillisten osien määrää (Liite 12)
2. Kiinnitysratkaisujen optimointi.
 - Voidaanko korvata mutterit ja aluslevy mutterilla, jossa on integroitu jousiprikka? Sama ratkaisu on jo käytössä eri tuotteessa, ja sen soveltuvuutta nykyiseen tulisi tutkia.
 - Lisätään ruuvikaulukset runkoon, mikä estäisi ruuvien luistamisen. Samankaltainen muutos on suunnitteilla malliin X.
3. Ruuvien standardointi.
 - Työvaiheessa käytettävien ruuvien mitat ovat samat, mutta pinnitteessa on ero. Olisi perusteltua selvittää, voidaanko käyttää vain toista ruuvityyppiä. Näin voidaan vähentää varastoitavien nimikkeiden määrää ja selkeyttää työpistettä.
4. Prosessin yksinkertaistaminen.
 - Onko tuotteessa käytettävän eristeen taivutusvaihe tarpeellinen? Onko se mahdollista poistaa prosessista?
 - Poistetaan kokoonpanoprosessista tuotteen sisältämän materiaalin resistanssimittausvaihe, jos testausvaihe kattaa tämän tarkistuksen luotettavasti?
5. Kiinnitysmenetelmät ja merkkkaus.
 - Voidaanko vähentää johtojen kiinnitysten käyttöä kokoonpanovaiheissa?

- Onko mahdollista poistaa muttereiden kiristysmomenttien merkinnät, jos ne eivät ole välttämättömiä laadun kannalta?

Kaikki edellä esitetyt tuotesuunnittelun jatkokehitysehdotukset tähtäävät tuotannon laadun parantamiseen, kokoonpanoprosessin tehostamiseen ja hukan vähentämiseen Lean-ajattelun mukaisesti. Yhteistä näille ehdotuksille on, että ne perustuvat prosessin havainnointiin, lähtötilan analyysiin sekä työntekijöiltä kerättyyn palautteeseen. Ehdotukset tukevat myös jatkuvan parantamisen periaatetta, jossa pienilläkin muutoksilla voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä ajan mittaan.

LÄHTEET

- Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 223-236. Noudettu 8.2.2025 osoitteesta <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527306002258>
- Ahokas, P., Tiihonen, J., Neuvonen, J., & Suikki, M. (2011). Työntutkimuksen käsitteitä, menettelytapoja ja käyttökohteita. Noudettu 16.2.2025 osoitteesta https://www.teollisuusliitto.fi/wp-content/uploads/2020/05/200507_Tyotutkimus.pdf
- Al Madani, D., & Dababneh, A. (2016). Rapid entire body assessment: a literature review. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(1), 107-118. Noudettu 16.2.2025 osoitteesta <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1086085>
- Danfoss. (2022, 20. toukokuuta) Danfossin Vaasan-tehtaassa avattiin uusi tuotantolinja, jossa tullaan valmistamaan isotehoisia (90-250 kW) taajuusmuuttajia. Noudettu 25.2.2025 osoitteesta <https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/news/dds/danfoss-vaasa-factory-opening-of-the-new-production-line-90-250-kw-ac-drives/>
- Danfoss. (2024). First half 2024 Interim announcement. Noudettu 3.2.2025 osoitteesta <https://assets.danfoss.com/documents/latest/431420/AC500850859773en-000101.pdf>
- Danfoss. (2025). VACON® NXP DCGuard™. Noudettu 17.4.2025 osoitteesta <https://www.danfoss.com/fi-fi/products/dds/system-modules/vacon-nxp-modules/vacon-nxp-dcguard/>

- Danfoss. (n.d.). Danfoss - Matka huomisen suunnitteluun. Noudettu 3.2.2025 osoitteesta <https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/company/history/>
- de Boer, T. (2007). Measuring and improving productivity in a job shop environment: The applicability of the ProMES methodology. Eindhoven University of Technology. Noudettu 25.2.2025 osoitteesta <https://research.tue.nl/files/47040649/631046-1.pdf>
- Farinia Group. (2021, 1. elokuuta). PJT Is Launching a MIFA Project. Noudettu 13.2.2025 osoitteesta <https://www.farinia.com/news/pjt-launching-mifa-project>
- Gemba-Walk. (2021). What is a Gemba walk? Noudettu 28.2.2025 osoitteesta <https://gemba-walk.com/en/blog/article/what-is-a-gemba-walk/>
- Haghsheno, S., Binninger, M., Dlouhy, J. and Sterlike, S. (2016). History and Theoretical Foundations of Takt Planning and Takt Control. In: Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, sect.1 pp. 53–62. Noudettu 1.2.2025 osoitteesta <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-6aa12588-08a1-4f6b-8f82-4f51a463df98.pdf>
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2011). Factory Physics (3rd ed.). Waveland Press. Noudettu 25.2.2025.
- Jokinen, T. (2020a). Lean. Oamk_kone with passion: vuodesta 1894. Noudettu 14. 2.2025 osoitteesta https://vanha.oamk.fi/images/Oamk_kone/2-2.pdf
- Jokinen, T. (2020b). Lean-periaatteet. Oamk_kone with passion: vuodesta 1894. Noudettu 14.2.2025 osoitteesta https://vanha.oamk.fi/images/Oamk_kone/2-2.pdf

- Kilponen, T. (2020a). Jidoka-Inhimillinen automaatio. Oamk_kone with passion: vuodesta 1894. Noudettu 16.2.2025 osoitteesta https://vanha.oamk.fi/images/Oamk_kone/2-2.pdf
- Kilponen, T. (2020b). Poka-Yoke – Virheen estävä. Oamk_kone with passion: vuodesta 1894. Noudettu 16.2.2025 osoitteesta https://vanha.oamk.fi/images/Oamk_kone/2-2.pdf
- Kilponen, T., & Jokinen, T. (2020a). Heijunka. Oamk_kone with passion: vuodesta 1894. Noudettu 8.2.2025 osoitteesta https://vanha.oamk.fi/images/Oamk_kone/2-2.pdf
- Kilponen, T. & Jokinen, T. (2020b). Standardoitu työ. Oamk_kone with passion: vuodesta 1894. Noudettu 16.2.2025 osoitteesta https://vanha.oamk.fi/images/Oamk_kone/2-2.pdf
- Lean Enterprise Institute. (n.d.). Takt time. Noudettu 28.1.2025 osoitteesta <https://www.lean.org/lexicon-terms/takt-time/>
- Lean Enterprise Institute. (2024). Value Stream Mapping Overview. Noudettu 13.2.2025 osoitteesta <https://www.lean.org/lexicon-terms/value-stream-mapping/>
- Liker, J. K. (2024). Työtan tapaan: 14 Johtamisen periaatetta. McGraw Hill. Noudettu 7.2.2025.
- MaintainX. (2022, 2. elokuuta). What Are the Advantages of Using Standard Operating Procedures? Noudettu 7.2.2025 osoitteesta <https://www.getmaintainx.com/blog/what-are-the-advantages-of-using-standard-operating-procedures>
- Modig, N., & Åhlström, P. (2013). Tätä on lean: Ratkaisu tehokkuuspäradoksiin. Rheologica Publishing. Noudettu 23.1.2025.
- Nakamuro, J. (2019, 20. marraskuuta). Kaizen: Lost in Translation. BusinessMap.io. Noudettu 15.2.2025 osoitteesta <https://businessmap.io/blog/kaizen-continuous-improvement>

- Neuronflo. (n.d.). The complete guide to REBA assessment. Neuronflo. Noudettu 18.2.2025 osoitteesta <https://neuronflo.com/blog/reba-assessment>
- NSKT Global. (2021, 22. lokakuuta). What is SOP in Business? Importance of SOP? Noudettu 7.2.2025 osoitteesta <https://www.nsktglobal.com/usa/blog/what-is-sop-in-business-importance-of-sop>
- Output Industries. (2024, 15. elokuuta). How to Calculate Production Line Efficiency. Noudettu 5.2.2025 osoitteesta <https://www.output.industries/insights/calculate-production-line-efficiency>
- Piirainen, A. (2014, 19. helmikuuta). Lean ja hukka – Muda, Mura ja Muri. Quality Knowhow Karjalainen Oy. Noudettu 17.2.2025 osoitteesta <https://qkk.fi/lean-ja-hukka/>
- Piirainen, A. (2021). Jatkuva parantaminen. Lean Podi -podcast. Noudettu 13.2.2025 osoitteesta <https://www.leanpodifi.fi/jaksot>
- Piirainen, A. (2022, 19. syyskuuta). Jakso 15 – Lean ja Tehdasfysiikka. Noudettu 13.2.2025 osoitteesta <https://www.leanpodifi.fi/2022/09/19/elementor-2007/>
- Pozyx. (n.d.). Material and Information Flow Analysis (MIFA) Case. Noudettu 13.2.2025 osoitteesta <https://www.pozyx.io/case-studies/material-and-information-flow-analysis-mifa-case>
- QKK. (2008, 18. kesäkuuta). Konkretisoi Lean arvovirtakuvauksen avulla – Value Stream Mapping, VSM. Quality Knowhow Karjalainen Oy. Noudettu 13.2.2025 osoitteesta <https://qkk.fi/konkretisoi-lean/>
- Singh, J., & Singh, H. (2015). Continuous improvement philosophy – literature review and directions. Benchmarking: An International

- Journal, 22(1), 75–119. Noudettu 5.2.2025 osoitteesta <https://www.proquest.com/docview/1761645997>
- Six Sigma Daily. (2022, 5. tammikuuta). Poka-Yoke. Noudettu 16.2.2025 osoitteesta <https://www.sixsigmadaily.com/poka-yoke/>
- Six Sigma. (2024, 12. maaliskuuta). Drive Production with Heijunka. Lean Manufacturing with Lean Six Sigma. Noudettu 8.2.2025 osoitteesta <https://www.6sigma.us/manufacturing/heijunka-lean-manufacturing-lean-six-sigma/>
- Spear, S., & Bowen, H. K. (1999). Decoding the DNA of the Toyota Production System. *Harvard Business Review*, 77(5), 96–106. Noudettu 8.2.2025 osoitteesta <https://hbr.org/1999/09/decoding-the-dna-of-the-toyota-production-system>
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Oho, F., & Uohikawa, S. (1977). Toyota production system and Kanban system: Materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6), 553-564. Noudettu 7.2.2025 osoitteesta <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/00207547708943149?needAccess=true>
- Suokko, T., & Reiman, A. (n.d.). Ergonomics is profitable. OuluREPO. Noudettu 10.2.2025 osoitteesta <https://oulu-repo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/31728/nbnfi-fe2021102051830.pdf?sequence=1>
- Tehdasfysiikka. (n.d). Tehdasfysiikan keskeiset mallit. Noudettu 14.2.2025 osoitteesta <https://tehdasfysiikka.fi/tehdasfysiikka/keskeiset-mallit/>
- Think Eleven. (2025, 24. tammikuuta). The Competency Matrix: The Ultimate Guide to Maximising Workforce Performance. Noudettu

7.2.2025 osoitteesta <https://www.thinkeleven.co.uk/Blog/Post/the-competency-matrix-the-ultimate-guide-to-maximising-workforce-performance>

TWI Institute. (n.d.). Gemba Walk: Meaning, Process and How to Implement. Noudettu 16.2.2025 osoitteesta <https://www.twi-institute.com/gemba-walk/>

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (n.d.). Lean Thinking and Methods: 5S. Noudettu 16.2.2025 osoitteesta <https://www.epa.gov/sustainability/lean-thinking-and-methods-5s>

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation. Simon & Schuster. Noudettu 24.2.2025.

6Sigma. (2024, 27. maaliskuuta). Standardized work in Lean manufacturing. Noudettu 16.2.2025 osoitteesta <https://www.6sigma.us/manufacturing/standardized-work-in-lean-manufacturing/>

LIITTEET

LIITE 1. Tilauskertymä (liite ei julkinen)

LIITE 2. Tehokkuusmittari (liite ei julkinen)

LIITE 3. Osaamismatriisi (liite ei julkinen)

LIITE 4. Poikkeamaraportti (liite ei julkinen)

LIITE 5. Ergonomiaraportti (liite ei julkinen)

LIITE 6. Tuotantolinjan pohjapiirros (liite ei julkinen)

LIITE 7. Työaikatutkimus (liite ei julkinen)

LIITE 8. MIFA (liite ei julkinen)

LIITE 9. DILO-analyysi (liite ei julkinen)

LIITE 10. Tuotantovirheraportti (liite ei julkinen)

LIITE 11. Työvaiheen kuvaus ja kesto (liite ei julkinen)

LIITE 12. Kondensaattoripaketin asennus (liite ei julkinen)

LIITE 13. Poka Yoke -ratkaisut ja jigit (liite ei julkinen)

LIITE 14. Työpistekuvat (liite ei julkinen)

LIITE 15. Tasapainotetut työvaiheet (liite ei julkinen)

LIITE 16. Työpisteen siivous-SOP (liite ei julkinen)