



Jani Mäkinen

Koneistamon valmistusprosessien kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (ylempi AMK)

Älykäs teollisuus

Insinöörityö

5.5.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Jani Mäkinen
Otsikko:	Koneistamon valmistusprosessien kehittäminen
Sivumäärä:	30 sivua
Aika:	5.5.2023
Tutkinto:	Insinööri (ylempi AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Älykäs teollisuus
Ammatillinen pääaine:	Tekniikan alat
Ohjaajat:	Global Manufacturing Engineering Manager Timo Haili Yliopettaja Jarno Varteva

Insinööriyön tavoitteena oli tutkia venttiileihin koneistettuja suljin- ja tiiviste-elementtien yhteensopimattomuudessa aiheutuvaa häiriötä tuotannolle, joka esiintyy tilauksesta suunniteltujen (ETO) -venttiilien koeponnistuksessa Valmet Flow Control Oy:llä Hakkilassa. Ongelman on merkittävä, koska yleistyvät 0-vuotovaatimukset neljänneskiertoventtiileillä asiakkailta vaativat prosessien kehittämistä tuotannossa niin, että jo ennestään pitkät läpimenoajat eivät kasva ETO-tuotannossa.

Ongelmaa lähdettiin selvittämään nykytila analyysillä, johon kuului haastattelu ja datan keräämistä edelliseltä vuodelta ERP- ja MES-järjestelmistä. Tuotantodatan data-analyysien kautta saatiin selvitettyä häiriöiden laajuutta tuotannon virtauksen näkökulmasta koneistamon tiivistehionnassa ja venttiilien koeponnistuksessa.

Suoritettujen analyysien pohjalta saatiin määritettyä tuotannon suurimmat ongelmatkohdat, joiden ratkaisemiseksi lähdettiin selvittämään nykyisen ERP-järjestelmän kyvykkyyttä ohjata tuotantoa paremmin, välttääksemme häiriöitä tuotannon eri vaiheissa.

Insinööriyön tuloksena syntyi kehitysehdotuksia, joiden käyttöönoton myötä saimme parannettua sulkimien ja tiivisteiden laatua ilman läpimenoajan tai kustannuksien kasvua. Näiden parannuksien myötä pystymme vähentämään kokoonpanossa koneistettujen komponenttien yhteensopimattomuudesta esiintyvää häiriötä, joka auttaa pysymään paremmin ennalta suunnitellussa tuotantoaikataulussa, jolloin venttiilien läpimenoaikoja ja tuotantokuluja saadaan vähennettyä. Lisäksi saimme dataa häiriöiden vaikutuksesta tuotannon virtaukseen tehtaassa ETO-tuotannossa.

Avainsanat: ETO-tuotanto, tuotantovirta, hukka Lean tuotannossa

Abstract

Author: Jani Mäkinen
Title: Development of machine shop manufacturing processes
Number of Pages: 30 pages
Date: 5 May 2023

Degree: Master of Engineering
Degree Programme: Intelligent Industrial Solutions
Professional Major: Engineering and Technology
Supervisors: Timo Haili, Global Manufacturing Engineering Manager
Jarno Varteva, Principal Lecturer

This Master's thesis analyzes the incompatibility of valves machined shutter and seal elements, which occurs during the pressure test of engineer-to-order (ETO) valves at Valmet Flow Control Oy in Vantaa. Customer requirements for zero-leakage in rotary valves are increasing, which also causes lead-times to increase in production phase. For this reason, process development in production is needed.

The problem was investigated by analyzing the current state, which included an interview and the data collection of the previous year from the ERP and MES systems. Through the analyses of the production data, it was possible to determine the extent of disturbances from the production flow perspective in the machining shop and in the pressure test of the valves.

The primary purpose of the analyses conducted was to identify possible main problem areas in the production and solve them. The investigation was started by analyzing the current ERP system and its ability to control production better, which would avoid disruptions in various stages of the production.

As a result of this thesis, root cause of the incompatibility of the machined elements was identified and development proposals were generated and applied to the ETO production. With these developments, the number of disturbances detected in the production can be significantly reduced, which leads to reduction of lead times and costs in production.

Keywords: Engineer to Order (ETO), Production flow, Waste in Lean manufacturing

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Yritysesittely	1
1.2	Työn taustat	1
1.3	Tutkimuksen tavoitteet	3
1.4	Työn rajaus	3
2	Lean	4
2.1	Leanin 8 hukkaa	6
2.2	Lean ETO-tuotannossa	9
2.3	Leanin hyödyt ETO-tuotannossa	10
3	Engineer to order (ETO)	10
3.1	ETO-tuotantoprosessi	10
3.2	ETO-tuotannon etuja	11
3.3	ETO-tuotannon haittoja	12
4	Order penetration point (OPP)	13
5	Nykytila-analyysi	17
5.1	Tiivistehionta	17
5.2	Kokoonpano	21
6	Ongelmanratkaisua	23
7	Kehitysehdotukset	25
8	Tulokset	26
9	Yhteenveto	28
	Lähteet	29

Lyhenteet

- APS: *Advanced planning and scheduling*. APS-järjestelmällä tarkoitetaan kehittynyttä suunnittelu- ja ajoitusjärjestelmää.
- ERP: *Enterprise Resource Planning*. ERP-järjestelmä on suomennettuna toiminnanohjausjärjestelmä, jota yritykset käyttävät päivittäisessä toiminnassaan esim. kirjanpidon, laskutuksen, varaston ja prosessien hallintaan.
- ETO: *Engineer to order*. Tilauksesta suunnittelu.
- JIT: *Just in time*. Oikea-aikainen ajoitus.
- Lean: Liiketoiminnan kehittämisen työkalu, joka perustuu toiminnan järkevöittämiseen. Leanin ytimessä on turhan tekemisen eli hukkan poistaminen, vakioidut toimintamallit ja jatkuva parantaminen.
- LM: *Lean Manufacturing*. Lean tuotanto eli valmistus ilman hukkaa.
- LT: *Lead time*. Läpimenoaika.
- MES: *Manufacturing Execution System*. Tuotannon operatiivisten toimintojen ohjaamiseen ja jäljittämiseen tarkoitettu järjestelmä.
- MTO: *Make to order*. Tilauksesta valmistettu.
- MTS: *Make to Stock*. Varasto-ohjautuva tuotanto.
- OPP: *Order Penetration Point*. Tilauksen kohdennuspiste.

1 Johdanto

1.1 Yritysesittely

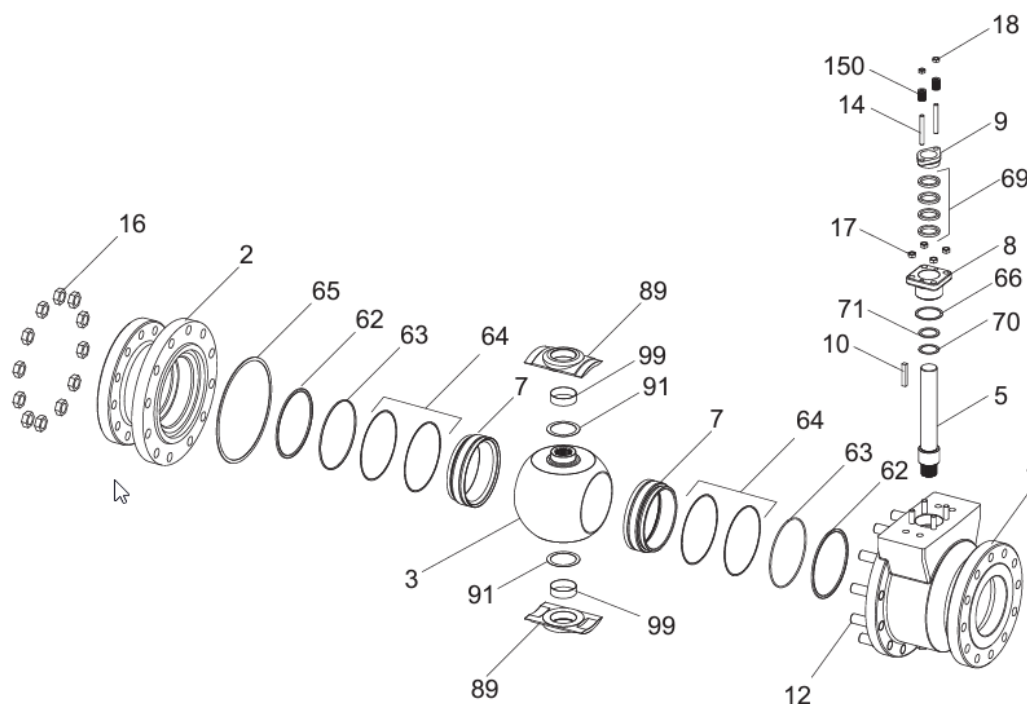
Valmet Flow Control Oy on Vantaan Hakkilassa toimiva Valmet-konserniin kuuluva yritys, joka valmistaa ja suunnittelee virtauksensääätöratkaisuja prosessiteollisuuden tarpeisiin. Yritys on aiemmin toiminut nimellä Neles, ennen sulautumista osaksi Valmet-konsernia (Summary of the merger 2022). Valmet Flow Control (kuva 1) toimii n. 40 maassa ja työllistää työntekijöitä maailman laajuisesti n. 2 950 henkilöä (Key facts 2023).



Kuva 1. Valmetin virtauksensäättötuotteisiin keskittyneet yksiköt maailmalla (Key facts 2023).

1.2 Työn taustat

Hakkilan tehdas on erikoistunut tilauksesta suunniteltujen (ETO) venttiilien valmistukseen. Tehtaan koneistamossa näihin venttiileihin (kuva 2) valmistetaan 1–88” olevia metallisia suljinelementtejä ja tiivisteitä.



Kuva 2. Räjätyskuvassa X-sarjan palloventtiili, jossa suljinelementti nrossa 3 ja tiivisteet nrossa 7 (Neles™ trunnion mounted full bore ball valves, Series X 2022).

Nykyisten valmistusprosessien mukaisesti näiden sulkimien ja tiivisteiden koneistukset suoritetaan eri osastoilla myös viimeistelyhionnan osalta, jolloin valmistetut osat kohtaavat vasta venttiilikokoonpanossa. Vaikka nämä suljinelementit ja tiivisteet viimeistellään hiomalla lähtökohtaisesti toleranssin keskelle tuhannesosamillin tarkkuudella, ympyrämaisyyden ollessa tuhannesosamillilleen toleranssissa, on venttiilien kokoonpanossa toisinaan haasteita tiiveysvaatimusten toteutumisessa koeponnistusvaiheessa. Tästä esimerkkinä neljänneskiertoventtiileillä on erittäin haastavaa saavuttaa 0-vuotovaatimus, johon suuntaan asiakastarpeet kasvavat koko ajan. Ongelmia tiukemman vuotovaatimuksen saavuttamiseksi tuo toisinaan koneistettavien sulkimien ja tiivisteiden suunnitteludesign, jonka takia valmistettavat venttiilit vaativat toisinaan enemmän työtä asiakasvaatimusten täyttämiseksi. Nämä haasteet aiheuttavat häiriötunteja kokoonpanossa, koska kokoonpantuja venttiileitä joudutaan purkamaan sekä suorittamaan erikseen tiivisteiden läppäystä suljinelementille. Nämä ongelmat häiritsevät tuotannon virtausta niin koneistamossa kuin

kokoonpanoissa, pidentäen jo ennestään ETO-tuotannon pitkää läpimenoaikaa, mikä kasvattaa kustannuksia.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet

Kvantitatiivisen tutkimuksen tavoitteena on selvittää kokoonpanon koeponnistusvaiheessa tunnistettujen häiriöiden ja koneistamossa tilauksesta koneistettavien (MTO) sekä ETO-nimikkeiden tuotantoprosessin muutoksen vaikutusta tuotannon virtaukseen. Uuden prosessin mukaisesti näille koneistettaville nimikkeille määriteltäisiin normaalista poikkeava vaihtoehtoinen reititys tuotannossa, joka ohjaa sulkimen ja tiivisteet ns. setiksi ennen tiivisteiden viimeistelyhiontaa, jolloin tiivisteiden hionta saadaan suoritettua täsmälleen suljinelementin säteelle sekä varastointi suoritettua yhtenä settinä tulevan keräilyn tehostamiseksi, mikä tulisi parantamaan tuotannon virtausta. Näillä Leanin mukaisilla valmistusprosessien muutoksilla, pyritään tuottamaan korkeampaa laatua ilman kustannuksien ja läpimenoajan (LT) kasvua.

Referenssi nimikkeinä tutkimuksessa tullaan käyttämään uuden tuotesarjan 0-sarjan nimikkeitä, joiden koneistuksen ja kokoonpanon pohjalta saadaan dataa säästöpotentiaalin laskemiseksi sekä havaintoja Leanin mukaisten toimintamenetelmien tuottamiseksi tuotantoon virtauksen parantamiseksi. Lisäksi pyritään luomaan määrityksiä nykyisten ja tulevien tuotannonohjausjärjestelmien toiminnallisuuden parantamiseksi tuotannon virtauksen näkökulmasta.

1.4 Työn rajaus

Tutkimustyö rajattiin koskemaan uuden tuotesarjan 0-sarjaa, jonka tuotannosta saadun datan avulla saadaan luotua kehitysehdotuksia ja järjestelmämäärityksiä. Rajatut nimikkeet ovat palloventtiilin sulkimia eli tässä tapauksessa palloja ja tiivisteitä. Jättäen pois muiden venttiilisarjojen suljinelementit ja tiivisteet, vaikka tehtyjä määrityksiä ja kehitysehdotuksia voidaankin soveltaa myös näissä tuoteryhmissä tarvittaessa.

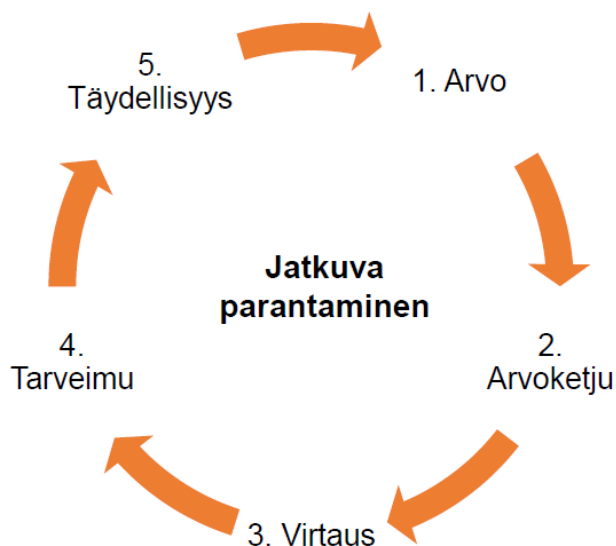
Työn tarkoituksena ei ole ratkaista järjestelmätasolla tarvittavia muutoksia vaan luoda tarvittavat määritykset muutoksille, jotta tuotannon virtauksen ohjausta saadaan automatisoitua tulevaisuudessa tuotannonohjausjärjestelmien avulla. Lisäksi työssä ei ole tarkoitus muokata prosessin vaiheiden työmenetelmiä vaan parantaa virtausta näiden vaiheiden välillä hukkaa karsimalla.

2 Lean

Yritykset maailman laajuisesti yrittävät parantaa voittojaan lisäämättä tuotteidensa myyntihintaa. Tämä voidaan tehdä minimoimalla valmistuskustannuksia, parantamalla tuottavuutta ja vähentämällä hukkaa tuotantoprosessista. Filosofia, joka auttaa tämän saavuttamiseen on Lean Manufacturing (LM) eli Lean tuotanto, laajennus Just-in-time (JIT) tai Toyota Production System (TPS) -tuotantojärjestelmästä, jota pidetään ensisijaisena kattavana liiketoimintastrategiana suorituskyvyn parantamiseksi. LM on vallankumouksellinen valmistusfilosofia verrattuna perinteiseen tavanomaiseen massatuotantoon, jota on käytetty lähes vuosisadan ajan. LM-käytännöt mahdollistavat laajemman tuotevalikoiman tuottamisen pienemmillä kustannuksilla ja laadukkaammin samalla kun käytetään vähemmän resursseja, kuin perinteiset massatuotantomenetelmät. (Díaz-Reza ym. 2022: 1)

LM:n päätavoitteena on muuttaa yritys kilpailukykyiseksi ja vastaamaan asiakkaiden kysyntään hukkaa poistamalla. LM:ää käyttävät yritykset tehostavat toimintaansa, lisäämällä tuotteiden laatua ja arvoa asiakkaan näkökulmasta kuvan 3 askeleiden mukaisesti, joita ovat:

- Asiakkaalle arvoa tuottavan toiminnan määrittäminen.
- Arvoketjun määrittäminen ja kuvaaminen.
- Prosessivirtauksen luominen, hukkien poiston kautta.
- Toiminta oikea-aikaisesti perustuen asiakastarpeeseen.
- Jatkuvan parantamisen periaatteella kohti täydellisyyttä. (Díaz-Reza ym. 2022: 1–2; Torkkeli, Matti 2023)



Kuva 3. Leanin askeleet (Torkkeli, Matti 2023).

Leanin avulla yrityksistä tulee tehokkaita, koska sisäinen ja ulkoinen vaihtelu saadaan minimoitua sekä hukkaa vähennettyä tieto- ja tuotantovirroista. LM on siis järjestelmällinen lähestymistapa, joka tunnistaa ja poistaa hukan toiminnasta jatkuvan parantamisen avulla. Hukka on mitä tahansa muuta, kuin tuotannolle välttämättömien laitteiden, materiaalien, osien ja työajan vähimmäismäärä. Hukkaa on kahdeksaa tyyppiä:

- odotus
- ylituotanto
- korjaus
- liike
- yliprosessointi
- varasto
- kuljetus
- käyttämätön potentiaali. (Díaz-Reza ym. 2022: 1–2; Lean perusteet 8 hukkaa 2022)

Lean on sarja toimintoja ja ratkaisuja hukan poistamiseksi, vähentäen arvo tuottamatonta ja lisäämällä arvoa tuottavaa toimintaa tuotannossa sekä toimitusketjuissa. Arvoa tuottava toimenpide on mikä tahansa toimenpide, jonka asiakas on valmis maksamaan. LM siis omaksuu kokonaisvaltaisen, moniulotteisen ja

järjestelmällisen lähestymistavan ymmärtääkseen sekä tarjotakseen ratkaisuja hukan vähentämiseen. Kehittäen siten läheistä yhteyttä laadun, kustannusten, toimituksen, asiakastyytyvyyden ja jatkuvan parantamisen välillä. LM on myös lähestymistapa, jonka päätavoitteena on kehittää tietoa ja luoda jatkuvan parantamisen työkalutuuri kestävän kehityksen edistämiseksi prosessin aikana ja liiketoiminnan johtamisessa. LM on lisäksi integroitu valmistusjärjestelmä, joka maksimoi kapasiteetin, toistettavuuden ja varmuusvarastot minimoimalla prosessin vaihtelua. LM korostaa materiaalivirtaa tuotteen valmistuksen aloittamisesta sen valmistumiseen asti. (Díaz-Reza ym. 2022: 2)

2.1 Leanin 8 hukkaa

Leanin kahdeksan hukka (taulukko 1) ovat toimintaa, jotka eivät anna mitään lisäarvoa asiakkaalle, tuotteelle tai palvelulle. (Lean perusteet 8 hukkaa 2022).

Taulukko 1. Leanin kahdeksan hukkaa ja oireita sekä niiden tunnistettuja aiheuttajia (Lean perusteet 8 hukkaa 2022; Torkkeli, Matti 2023).

Hukka	Oireet	Aiheuttajat
Odotus. Kaikki toimeton aika, odottaminen.	Epäsopivat työmenetelmät Pitkä laitteen vaihto-aika Huono laitteen/ihmisen tehokkuus Sopivan koneen tai työkalun puuttuminen Huono ennakoivan huollon ohjelma	Ihminen odottaa konetta tai kone ihmistä Ihminen odottaa toista ihmistä Välinpitämättömyys laiterikoista Suunnittelematon koneen käytöstä poissaoloaika
Ylituotanto. Tehdään enemmän tai aikaisemmin kuin asiakas/prosessi tarvitsee.	Kaaos Tuotteet tehty etukäteen valmiiksi Epätasapainoinen materiaalivirta Ylimääräiset lavat Ylimääräiset resurssit	Epäsopivat prosessit Kommunikoinnin puute Matala koneaika/epäsopiva ennakoivan huollon ohjelma Aikataulukojen puute Tekeminen ennusteen mukaan

	<p>Kompleksinen varaston hallinta</p> <p>Suuria eriä uudelleentöystettävänä/korjattavana</p>	
<p>Virheet. Tuote/palvelu, joka ei täytä asiakkaan laatuvaatimuksia.</p>	<p>Ylimääräiset tarkastukset, korjaukset tai uudelleentöystöt</p> <p>Myöhästyneet lähetykset</p> <p>Huonot suhteet asiakkaisiin/toimittajiin</p> <p>Matala tuotto uudelleentöystöstä ja romutuksista johtuen</p> <p>Organisaatio on reaktiivinen</p>	<p>Epäsopivat prosessit</p> <p>Operaattorin kontrollointivirhe</p> <p>Epäsopiva koulutus/pe-rehdytys</p> <p>Epäsopivat työkalut/laitteet</p> <p>Korkea varastoarvo</p>
<p>Liike. Kaikki liike, joka ei lisää lopputuotteen/palvelun arvoa.</p>	<p>Työkalun etsintä</p> <p>Ylikurkottaminen/taipuminen</p> <p>Koneet/materiaalit liian kaukana toisistaan</p> <p>Kuljetuskärryjen käyttö osien kuljettamiseen laitteiden välillä</p> <p>Työn tekemisessä käytetään ylimääräistä liikettä</p>	<p>Laitteiden, toimiston ja tehtaan layout</p> <p>Työpaikan organisaation puute</p> <p>Huono koneiden ja ihmisten tehokkuus</p> <p>Epäsopivat työmenetelmät</p>
<p>Prosessointi. Toiminta, joka ei luo lisäarvoa asiakkaan näkökulmasta.</p>	<p>Pullonkaulat</p> <p>Selkeiden asiakasvaatimusten puuttuminen</p> <p>Loputon uudelleenkäsittely</p> <p>Ylimääräiset hyväksyn- nät</p> <p>Koneiden hylkäämät hyvät osat</p>	<p>Asiakasvaatimusten puuttuminen</p> <p>Päätöstenteko epäsovittavalla tasolla.</p> <p>Tehottomat toimintatavat ja politiikat</p> <p>Uuden teknologian käyttäminen epäsovittavalla tavalla</p>
<p>Varastointi. Kaikki ylimääräinen, jota ei tarvita juuri nyt.</p>	<p>Matala varastokierto</p> <p>Isot varastoalueet</p> <p>Hidas vaste muutoksiin</p>	<p>Epäsopivat prosessit</p> <p>Kontrolloimattomat pullonkaulat</p>

	FILO FIFO:n sijasta Läpimenoajan kasvu Suuret korjaustoimenpiteet ongelman ilmetessä Vanhentunutta materiaalia	Pitkät kiertoajat Epäsopivat toimittajat Johtajien päätökset Paikallinen optimointi Liian suuret varmuusvarastot Epäsopivat ennustemethodit
Kuljetus. Materiaalien, puolivalmisteiden ja tiedon siirtely paikasta toiseen.	Lavojen ylimääräinen siirtely Useampi varastosijainti Väärä varaston inventointilaskenta Vahingon/vioittumisen mahdollisuus Kalliit ja ei-muunneltavat trukit ja nostolaitteet Yhden kappaleen prosessi ei toimi	Suuret erät prosessoinnissa Epäsopivat aikataulut Epäsopiva tilan layout Tilausperusteisen tuotantosysteemin puute Pitkä vaihto aika
Osaamisen alihyödyntäminen. Henkilöstön osaamista ja ammattitaitoa ei hyödynnetä kokonaisvaltaisesti.	Vain muutamia parannuksia Ihmisten osallistamisen puute Tiimityöskentelyn puute Huono moraalitila "Teen vain työni" ajattelu	Syytetään henkilöä, ei prosessia Piilotetaan ongelmia Nykyistä tilaa ei haasteta Huono kehitystoiminnan prosessi Vastuunkannon puutos

Hukkaa tunnistettaessa tuotannosta on huomattava, että hukka voi kuulua useampaan kategoriaan kahdeksasta hukasta. Poistamalla hukkaa voidaan lyhentää prosessin läpimenoaikaa ja kustannuksia. Lisäksi hukkien poisto parantaa laatua, tehokkuutta, joustavuutta ja työntekijöiden tyytyväisyyttä (Torkkeli, Matti 2023).

2.2 Lean ETO-tuotannossa

Lean-ajattelua on perinteisesti hyödynnetty suurten valmistusmäärien ja vähäisten variaatioiden tuotannoissa, jonka takia Lean-ajattelua ei pystytä tehokkaasti suoraan hyödyntämään ETO-tuotannon kehittämiseen. Tosin sopivia osia hyödyntäen ja muokaten, Lean-ajattelu voi olla ETO-tuotannossa tehokas keino tuotannon kehittämisessä. ETO-tuotantoa tekevillä yrityksillä on monia haasteita, joiden ratkaisemiseen Lean-ajattelua voidaankin hyödyntää. Näitä haasteita ovat mm. erityisvaatimukset asiakkailta lyhyellä LT:llä, tuotannon aikaiset muutokset jne. Lisäksi tiukassa taloudellisessa tilanteessa kustannustehokkuuden parantaminen on erittäin tärkeää. Lean-ajattelun sopii näiden haasteiden voittamiseen erinomaisesti. (Hujanen 2018: 20)

Lean-ajattelun tarkoitus ETO-tuotannossa on hukan vähentäminen minimoimalla asiakkaiden, toimittajien ja sisäisten toimintojen vaihtelua. Lean-ajattelu sopiikin tämän määritelmän mukaan ETO-tuotantoon, koska ETO-tuotannon suurimpana ongelmana on yleensä jatkuva vaihtelu, mikä johtuu siitä, että lähes jokainen tilaus on erilainen. (Hujanen 2018: 20)

Leanissa on määritelty kahdeksan hukkaa, joista ylituotanto ja varastointi eivät ETO-tuotantoon liity. ETO-tuotanto perustuu asiakkaan tilauksiin, jolloin liika tuotantoa ei synny. Varastoitavat määrät materiaaleja ym. komponentteja pidetään minimissä, jolloin hukkaa voi syntyä, mutta ei olennaisesti kokonaisuuden näkökulmasta. Odottelusta eri vaiheissa pyritään eroon virtauksen avulla, joka ETO-tuotannossa luodaan tuotteiden näkökulmasta. Oleellisinta on odottamisen poistaminen eri prosessien väliltä, jolloin tuottamattomuus saadaan minimoitua prosessin eri vaiheista. (Hujanen 2018: 26)

Liiallista prosessoimista aiheutuu, kun ei tunnisteta oikein mitkä asiat luovat arvoa asiakkaalle. Ihmisten ja datan ylimääräinen liikkuminen voidaan poistaa kehittämällä datan hallinta työkaluja sekä prosesseja. Hukka eli virheet saadaan minimoitua työtapojen ja koneiden standardoinnilla sekä 5S työkalujen avulla, joilla työtilasta tulee mahdollisimman tehokas. (Hujanen 2018: 26)

2.3 Leanin hyödyt ETO-tuotannossa

Yleisenä piirteenä ETO-tuotannossa on kompleksisuus ja dynaamisuus. Asioita on siis paljon, jotka vaikuttavat päätöksentekoon ja näkyvät ennustettavuuden heikkoutena sekä toistuvuuden puutteena. On myös todettu, että Leanilla on vähäisemmät vaikutukset suurten vaihteluiden tuotantoon, ottamatta huomioon kuinka ympäristön epävarmuus vaikuttaa Leanin hyödyntämiseen. ETO-tuotannossa Leanin hyödyt voivat siis olla suuremmat, kuin perinteisessä massatuotannossa, vaikka Leanin käyttö onkin vaikeampaa monimutkaisissa ympäristöissä. (Hujanen 2018: 26–27)

Olemassa olevan tutkimuksen ja kirjallisuuden perusteella, Leanin hyödyt ETO-tuotannon kehittämiseen ovat kiistattomat. Hyötyjen ollen jopa suuremmat kuin massatuotannossa, johon Leania on hyödynnetty perinteisesti. ETO-tuotannossa joustavuuden parantuminen on muita tuotantomuotoja tärkeämpää, koska asiakkaiden muutokset tilauksiin usein aiheuttavat ongelmia sekä lisäku-luja. Mutta joustavuuden lisääntymisen ansiosta voidaan ne ottaa paremmin huomioon ja niiden haitat ovat pienemmät. (Hujanen 2018: 29)

3 Engineer to order (ETO)

Engineer to order eli tilauksesta suunnittelu (ETO) -tuotanto on räätälöityjen tuotteiden tuotantoa, jossa suunniteltu ja valmistus toteutetaan asiakkaan erityisvaatimusten mukaisesti täysin tilausohjautuvasti.

3.1 ETO-tuotantoprosessi

ETO-tuotantoprosessi sisältää tyypillisesti seuraavat vaiheet:

- Asiakas tilaa tuotteen antaen yksityiskohtaiset tekniset tiedot tuotteelle, ml. räätälöidyt ominaisuudet ja/tai vaatimukset, jotka hän haluaa valmistettavalle tuotteelle.
- Valmistaja suunnittelee tuotteen asiakkaan määrittelemien ominaisuuksien ja vaatimusten pohjalta. Tämä voi edellyttää

yksityiskohtaisten piirustusten, 3D-mallien ja muun suunnitteludokumentointin tuottamista.

- Valmistaja hankkii kaikki tuotteen valmistamiseen tarvittavat materiaalit, komponentit sekä räätälöidyt osat.
- Valmistaja valmistaa tuotteen suunnitelmien ja teknisten vaatimusten mukaisesti. Tämä voi sisältää koneistusta, kokoonpanoa ja ym. valmistusprosesseja.
- Valmistaja testaa ja varmistaa, että tuote täyttää asiakkaan määrittämät tekniset vaatimukset ja ominaisuudet. Tämä voi edellyttää erityyppisten testien suorittamista, kuten toiminnallisten-, suorituskyvyllisten ja laadunvarmistuksen testausta.
- Valmistaja toimittaa lopputuotteen asiakkaalle ja tarvittavat asiakirjat, kuten käyttöohjeet ja huolto-ohjeet. (Engineer-To-Order (ETO) Manufacturing - A Complete Guide 2023)

ETO-tuotantoprosessi voi olla monimutkainen ja aikaa vievä, varsinkin jos valmistettava tuote on erittäin räätälöity ja vaatii haastavaa suunnittelutyötä. On tärkeää, että valmistajalla on selkeä käsitys asiakkaan vaatimuksista ja hän hallitsee kaikki valmistusprosessien näkökohdat varmistuksesta, jotta lopullinen tuote täyttää asiakkaan odotukset. (Engineer-To-Order (ETO) Manufacturing - A Complete Guide 2023)

3.2 ETO-tuotannon etuja

ETO-tuotantoprosessin käytöllä on useita etuja:

- Mahdollistaa asiakkaan erityistarpeisiin räätälöityjen tuotteiden valmistuksen. Ollen erityisen hyödyllistä yrityksille, jotka tarvitsevat erikoisia ja/tai uniikkeja tuotteita, joita ei ole saatavana ns. suoraan hyllystä.
- Parantaa tuotantoprosessin tehokkuutta vähentämällä muokkauksen tarvetta ja/tai hukkaa. Koska tuotteet on suunniteltu ja valmistettu alusta alkaen täyttämään asiakkaan erityisvaatimukset, jolloin virheiden ja/tai vikojen riski on pienempi.
- Antaa kilpailuetua, antamalla yrityksille mahdollisuuden tarjota uniikkeja ja räätälöityjä tuotteita vastaamaan asiakkaidensa erityistarpeita. Auttaen yritystä erottumaan kilpailijoista ja houkuttelemaan mahdollisesti uutta liiketoimintaa.
- Johtaa todennäköisesti parempaan asiakastyytyväisyyteen, koska tuotteet on suunniteltu ja valmistettu vastaamaan asiakkaan

erityistarpeita ja vaatimuksia. Auttaen rakentamaan vahvoja suhteita asiakkaisiin ja parantamaan asiakasuskollisuutta.

- Johtaa todennäköisesti suurempiin voittoihin, koska valmistetut tuotteet ovat usein monimutkaisempia ja erikoisempia, jolloin niillä voidaan pitää korkeampaa hintaa. Pienempi virheiden ja/tai vikojen riski auttaa myös alentamaan tuotantokustannuksia ja lisäämään kannattavuutta. (Engineer-To-Order (ETO) Manufacturing - A Complete Guide 2023)

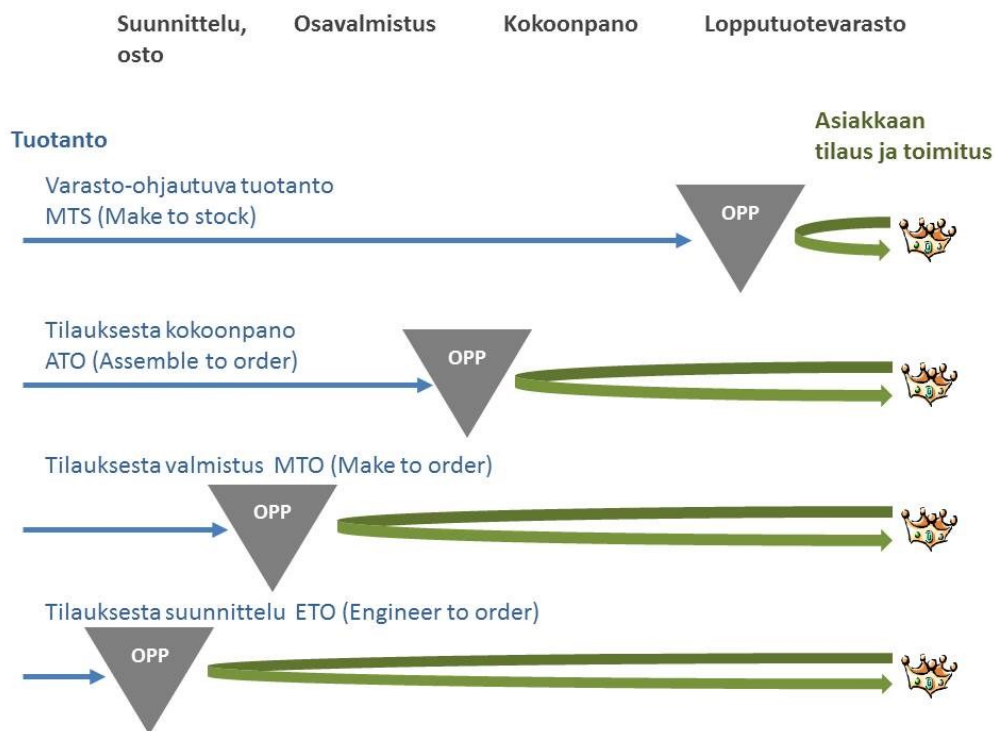
3.3 ETO-tuotannon haittoja

ETO-tuotannolla on useita etuja, mutta myös joitain haittoja, jotka on otettava huomioon:

- Tuotanto on usein aikaa vievää, koska siihen liittyy räätälöityjen tuotteiden suunnittelua ja valmistamista ns. tyhjästä. Johtaen usein pitkiin toimitusaikoihin, mikä taas ei välttämättä sovi yrityksille, jotka tarvitsevat tuotteita nopeasti.
- Valmistus on usein kalliimpaa, koska räätälöintiaste on korkeampi, kuin esim. MTS-tuotannossa. Vaatien usein uusien komponenttien ja/tai järjestelmien kehittämistä, jolloin tuotteet ovat kalliimpia verrattaessa standardituotteisiin.
- Tuotantoon liittyy suurempi riskitaso, koska valmistettavat tuotteet ovat usein erittäin räätälöityjä, jolloin niiden toimivuudesta ei välttämättä ole todistettua kokemusta. Ollen erityisen riskialtista yrityksille, jotka valmistavat tuotteita ensimmäistä kertaa ja/tai käyttävät uusia testaamattomia tekniikoita.
- Tuotteiden valmistus voi olla monimutkaista, koska siihen kuuluu räätälöityjen tuotteiden suunnittelun ja tuotannon koordinointia. Vaatii usein korkeatasoista asiantuntemusta ja resursseja, jolloin se ei välttämättä sovellu yrityksille, joiden kokemus ja/tai valmiudet ovat rajalliset.
- ETO-tuotanto ei sovellu hyvin massatuotantoon, koska siihen kuuluu räätälöityjen tuotteiden valmistamista kertaluonteisesti, joka vaikeuttaa usein tuotannon laajentamista tai synergiaetujen hyödyntämistä. (Engineer-To-Order (ETO) Manufacturing - A Complete Guide 2023)

4 Order penetration point (OPP)

Order penetration point eli tilauksen kohdennuspiste (OPP) on kohta materiaali-
virrassa, jossa tuote kiinnittyy asiakkaan tilaukselle. Kuvassa 4 keskeisimmät
OPP:t ja niitä vastaavat tuotantotyytit, joita ovat varasto-ohjautuva tuotanto, ti-
lauksesta kokoonpano, tilauksesta valmistus sekä tilauksesta suunniteltu. (Tuo-
tantomuodot: Tilauksen kohdennuspiste (OPP) 2023)



Kuva 4. Tilauksen kohdennuspisteet eli OPP:t (Tuotantomuodot: Tilauksen kohdennuspiste (OPP) 2023).

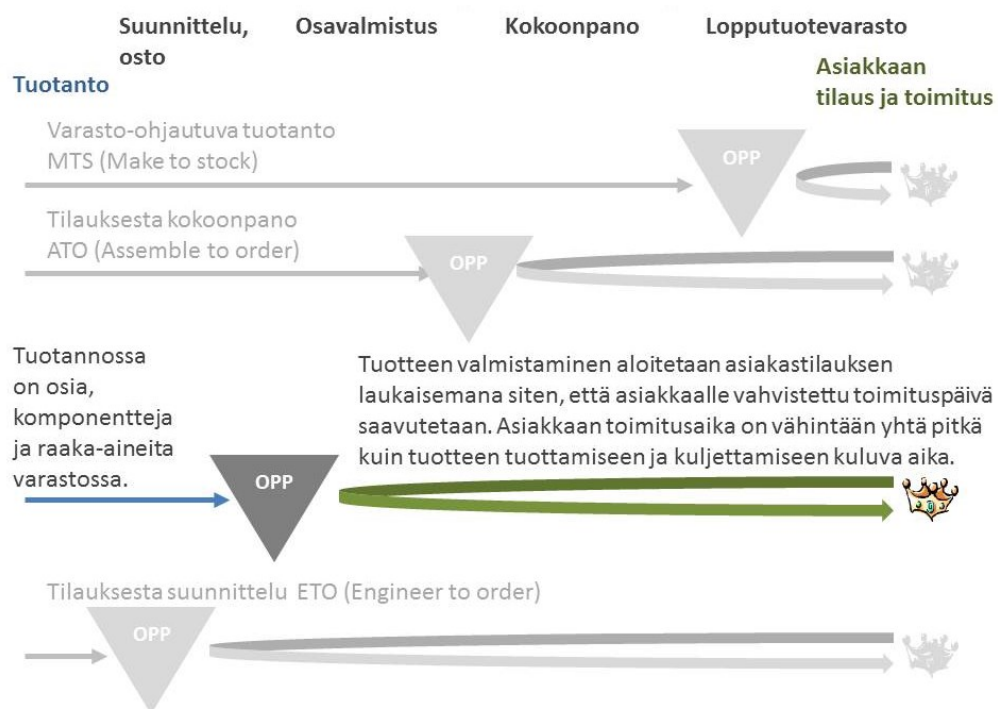
OPP määrittää asiakastilauksen LT:n. Eli varastotuotteen asiakas saa nopeammin toimitukseen kuin tilauksesta valmistettavan. Tuotanto ennen asiakastilausta tapahtuu ennakkosuunnitelmien ja ennusteiden perusteella, jolloin tuotantoon liittyy tietynlaista epävarmuutta. Tosin tuotantoa on tällöin mahdollista tasoittaa tehokkaammaksi. OPP:n mukaan voidaan kuvata muitakin tuotantotyyppisiä, kun on määritelty tarkemmin, että mitä tapahtuu asiakastilauksen laukaisemana sekä ennen tilausta. (Tuotantomuodot: Tilauksen kohdennuspiste (OPP) 2023)

Lyhyt toimitusaikavaatimus johtaa lähemmäksi asiakasta sijaitsevaan OPP:ta, jolloin kyseessä on MTS- tai ATO-tuote. Variaatioita suuri määrä ja huono ennustettavuus vievät OPP:ta kauemmaksi loppuasiakkaasta, koska lopputuotevaraston pitäminen on usein mahdotonta taloudellisesti kannattavasti. Tällöin kyseessä MTO- tai ETO-tuote. Eli käytettävä OPP riippuu tuotteen:

- kysynnästä
- varioituvuudesta
- varastointimahdollisuudesta
- toimitusajan kriittisyydestä.

Jolloin eri OPP:t näkyvät asiakkaalle ja myynnille erilaisina toimitusluokkina. (Tuotantomuodot: Tilauksen kohdennuspiste (OPP) 2023)

Tilauksesta valmistettaessa (MTO) tilauksen OPP sijaitsee syvällä tuotannossa kuvan 5 mukaisesti, josta nimike valmistetaan alusta valmiiksi tuotteeksi asti asiakastilauksen pohjalta.



Kuva 5. MTO-nimikkeen OPP (Tilauksesta valmistus (MTO) 2023).

MTO-nimikkeitä pidetään imuohjautuvina, koska tuotannon käynnistävä tapahtuma on asiakkaan tilaus. Toisin sanoen kysyntä vetää tuotantoa. Tuotannon varastot ovat keskeneräistä tuotantoa, materiaaleja, komponentteja sekä osia, eikä erillistä lopputuotevarastoa ole. MTO-tuotanto on pieniä erinä tai eräkokoja, jotka valmistetaan massatuotannon tehokkuudella. Imuohjautuvana MTO-nimike sisältää räätälöityjä ominaisuuksia tuotannosta. MTO-tuotanto auttaa minimoimaan ylimääräisen varaston, joka johtaa usein hukkaan. MTO-tuotanto on usein osa Leanin mukaista valmistusta ja JIT-aikataulutusta. (Make-to-order 2023)

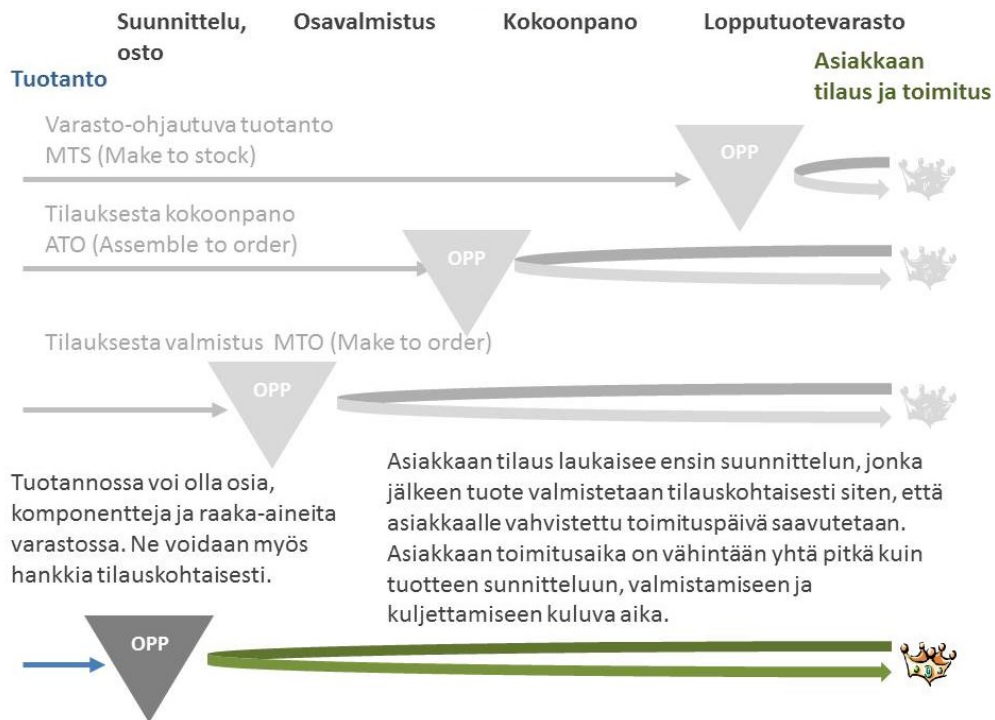
Suurena haasteena MTO-tuotannon tuotannosuunnittelussa on minimoida LT, koska tuotanto alkaa vasta tilauksen vastaanottamisesta. Modernien APS-ohjelmistojen ominaisuudet on suunniteltu optimoimaan MTO-tuotannon tuotannosuunnittelua. APS-ohjelmiston avulla tuotannosuunnittelijat voivat nopeasti arvioida muutoksia tilaus- tai toimituspäivämäärässä sekä muutoksia tuotantokapasiteetissa ja muokata MTO-tuotannon tuotantosuunnitelmaa vastaamaan uusia vaatimuksia. MTO-tuotanto soveltuukin paremmin tuotteisiin, joiden tuotantokykli ovat suhteellisen lyhyitä. LT:n lyhentämiseksi valmistajat voivat käyttää MTS-menetelmää puolivalmisteille, jotka edellyttävät merkittävää omaa LT:tä, jotta tällaisia puolivalmisteita käyttävät tuotantovaiheet pääsevät alkamaan nopeammin tilauksen vastaanottamisen jälkeen. (Make-to-order 2023)

MTO-nimikkeen tuotanto alkaa asiakastilauksesta, jolloin tuotantotyötilaus luodaan myyntitilauksesta. Valmistusprosessi etenee sitten materiaali- (BOM) ja prosessiluettelon (BOP) mukaisesti. MTO-nimikkeen tuotannosuunnittelussa valmiiden tuotteiden ja puolivalmisteiden varastotasot, eivät ole keskeisiä prosessiparametreja. Yksi MTO-nimikkeen tuotannosuunnittelun painopisteistä on raaka-aineiden ja ulkoisten toimittajien toimittamien komponenttivarastojen täydentäminen tuotantovalmiuden sekä virtauksen ylläpitämiseksi. Tämä tarkoittaa, että keskeinen osa MTO-nimikkeen tuotannosuunnittelua on koko toimitusketjun tiivis koordinaatio. Edellyttäen jatkuvaa arviointia tulevista kysynnän muutoksista ja niiden vaikutuksista valmistusprosessiin. Tämä jatkuva arviointi ja siihen

liittyvät hienosäädöt tuotantosuunnitelmassa voidaan suorittaa APS-ohjelmistoa hyödyntäen. MTO-nimikkeiden etuja ovat:

- varastoihin ja varastointiin liittyvien kustannusten aleneminen
- yhteensopivuus Leanin ja JIT:n kanssa
- vähentynyt hukka
- räätälöitävien tuotteiden tuoma kilpailuetu
- parempi asiakastyytyväisyys. (Make-to-order 2023)

ETO-tuotanto eli räätälöityjen tuotteiden tuotanto, jossa suunniteltu ja valmistettu on toteutettu asiakkaan erityisvaatimuksien mukaisesti. ETO-tuotannossa asiakas siis määrittelee tuotteelle vaatimukset ja valmistaja suunnittelee sekä valmistaa tuotteen vastaamaan näitä vaatimuksia. Tämän tyyppiseen valmistukseen liittyy usein korkea räätälöintiaste. Edellyttäen valmistajaa suunnittelemaan ja valmistamaan räätälöityjä komponentteja ja/tai järjestelmiä. ETO-tuotantoa voidaan käyttää monenlaisten tuotteiden valmistamiseen, joita ovat mm. koneet, varusteet ja muut monimutkaiset järjestelmät. Sitä käytetään usein ilmailu-, puolustus- ja raskaiden laitteiden valmistusteollisuudessa, jossa valmistettavat tuotteet ovat erittäin erikoisia ja vaativat suurta räätälöintiä. ETO-tuotannossa OPP on syvimmällä tuotannossa eli kauimpana asiakkaasta, verrattessa muihin tuotantotyyppeihin kuvan 6 mukaisesti. (Engineer-To-Order (ETO) Manufacturing - A Complete Guide 2023; Tilauksesta suunnittelu (ETO) 2023)



Kuva 6. ETO-nimikkeen OPP (Tilauksesta suunnittelu (ETO) 2023).

Tämäntyyppinen tuotanto eroaa massatuotannosta, jossa tuotteita valmistetaan suurina määrinä käyttäen standardoituja prosesseja ja komponentteja (Tilauksesta suunnittelu (ETO) 2023).

5 Nykytila-analyysi

5.1 Tiivistehionta

Tiivisteiden hionta suljinelementin säteelle tuhannesosamillin tarkkuudella on yksi Hakkilan koneistamon kyvykkyyksistä, jonka vuoksi hionnan virtausta estävät häiriöt tulisi saada minimoitua. Nykytilaa tiivistehionnassa lähdettiin kartoittamaan tiivistekoneistuksen työnjohtajan kanssa. Kartoitus aloitettiin palaverilla (Korhonen 2023), jossa tunnistettiin ja listatiin mahdolliset hukkaa sekä virtausta häiritsevät tilanteet tiivisteiden hionnassa. Palaverin pohjalta voidaan todeta, että suurinta häiriötä virtaukselle aiheuttaa mittapallon tai tuotantopallon ns. suljinelementin puute hiomakoneelta, etenkin uusilta tuoteryhmiltä hiontavaihetta aloitettaessa. Tämä puute aiheuttaa epä tietoisuutta ja tarvetta ylimääräisille

mittauksille mittakoneella, jotta tiivistepinnan oikea säde saadaan varmistettua, koska hiomakoneen toistotarkkuus ei suoraan riitä tarvittavalle tuhannesosamilin tarkkuudelle. Nykyisen hiontamenetelmän, jossa hiontasäteen oikeellisuuden todentamiseen käytetään väritarkastusta ja mittapalloa tai tuotantopalloa, etuna on menetelmän helppous, nopeus sekä tarkkuus. Lisäksi ERP:n tarjoama työjononäkymä ei nykyisellään kerro, että mille sulkimelle hiottavana oleva tiiviste on menossa. Aiheuttaen näin häiriötä virtaukselle ja hämmennystä hiojille, joka korostuu etenkin kiireellisissä töissä ja vaati työnjohtajan tai tuotannonsuunnittelijan apua tilanteen ratkaisemiseksi.

Selvittääksemme näiden virtausta häiritsevien häiriöiden vaikutusta LT:n näkökulmasta. Nämä häiriöt listattiin ja mitattiin puolen minuutin tarkkuudella taulukkoon 2, jonka pohjalta voidaan laskea hukattua aikaa eri skenaarioissa.

Taulukko 2. Tiivistehionnan keskimääräiset mitatut häiriöajat.

Häiriön kuvaus	Keskimääräinen häiriöaika (min)
Hämmennys puuttuvista tiedoista	5
Ylimääräinen mittaus mittakoneella	7
Mittaukseen tarvittavan tuotantopallon selvittäminen työnjohdolta tai tuotannonsuunnittelulta	4
Tuotantopallon tilaaminen keräilyltä	2
Tuotantopallon nouto osastokeräilijän toimesta:	
- varastosta 1	2,5
- varastosta 2	5
- varastosta 3 pikatoimituksella	30
- varastosta 3 varastosiirrolla	120–360*
*Siirtoon kuluva aika on riippuvainen varastosiirron ajankohdasta.	

Edellä mitattujen häiriöaikojen perusteella, emme vielä pysty päättämään tai laskemaan häiriöiden aiheuttamaa menetettyä kapasiteettia. Joten taulukkoon 3

analysoitiin ERP:stä tuotantodataa vuoden 2022 aikana valmistetuista kappalemääristä ja tuotantoeristä uuden 0-sarjan tuotteita vastaavien kokoluokkien nimikkeistä. Tämän datan perusteella voimme selvittää vuosivolyymien vaikutuksen mitattuihin yksittäisiin häiriöihin.

Taulukko 3. Tiivistehionnassa valmistettujen 0-sarjaa vastaavien kokoluokkien ja tyyppien vuosivolyymit sekä tuotantoerät vuoden 2022 tuotantodatasta analysoituna.

Kokoluokka (in)	Vuosivolyymi (kpl)	Tuotantoeriä (kpl)
14	81	22
16	81	34
18	31	10
20	26	11
24	2	2

Taulukkoon 2 mitattujen ja taulukkoon 3 analysoidun tuotantodatan pohjalta, pystymme nyt arvioimaan kokonaissäätöpotentiaalia ja häiriöiden aiheuttamaa kapasiteetin menetystä tiivistehiomakoneella taulukon 4 eri skenaarioissa.

Taulukko 4. Esimerkkejä tilanteista, joissa tiivistehiomakoneelle tulee uusi nimike hiottavaksi.

Tilanne	Toimenpiteet	Hukka (min)
Kiireellinen, mutta tuotantopallo on lähtenyt kiireen vuoksi jo aiemmassa kuormassa toiselle tehtaalle.	Hioja hämmentyy tilanteesta, koska kiire.	5
	Hämmennyksen jälkeen hän suuntaa tiedustelemaan oikeaa nimikettä tuotantopallolle työnjohdolta, jotta hionta saadaan suoritettua mahdollisimman tarkasti.	4
	Saatuaan tiedon, että tarvittava tuotantopallo on jo toimitettu toiselle	14

	tehtaalle hän aloittaa tiivisteeseen hionnan, tehden tiivisteelle 2 ylimääräistä mittausta hionnan aikana varmistuakseen hiontasäteen olevan keskellä toleranssia.	
Edellä olevassa esimerkissä hukataan aikaa kokonaisuudessa 23 min.		
Tuotantopallo varastossa 2 eikä kiirettä.	Hioja suuntaa tiedustelemaan oikeaa nimikettä pallolle tuotannonsuunnittelusta, jotta hionta saadaan suoritettua mahdollisimman tarkasti.	4
	Saatuaan tiedon, että mikä pallo tarvitaan hiontaan hän suuntaa keräilyyn tiedustelemaan palloa.	2
	Keräilijä varmistaa tarvittavan pallon sijainnin varastossa, noutaa pallon ja toimittaa sen hiomakoneelle.	5
Edellä olevassa esimerkissä hukataan aikaa kokonaisuudessa 11 min.		
Pallo vielä keskeneräisenä tuotannossa eli ei kiirettä.	Hioja suuntaa tiedustelemaan oikeaa nimikettä tuotantopallolle tuotannonsuunnittelusta, jotta hionta saadaan suoritettua mahdollisimman tarkasti.	2
	Saatuaan tiedon, että tarvittava pallo on vielä keskeneräisenä tuotannossa ja nyt työjonossa ensimmäisenä olevalla tiivisteellä ei ole tarvetta vielä, hän suuntaa takaisin hiomakoneelle aloittamaan seuraavaa työtä.	2

Kokonaisuudessa edellä olevassa esimerkissä hukattiin 4 min.

Nykytila-analyysin tuloksena saadun datan perusteella kokonaishukka tiivistehionnassa laskettuna taulukkoon 5. Laskenta tehtiin kertomalla tuotantoerien määrä vuodessa (taulukko 3) häiriöminuuttien määrällä (taulukko 2). Niin että minimi on ainoastaan työnjohdolta selvittelystä syntyvää häiriöaikaa ja maksimissa toimittu ns. kiireessä tuotantopallon ollessa varastossa 2.

Taulukko 5. Tiivistehionnassa keskimäärin vuodessa hukattu aika eri skenaarioissa tarkasteltavissa tiivistekokoluokissa.

	14”	16”	18”	20”	24”
Hukattu aika (min)	88–352	136–544	40–160	44–176	8–32

Taulukkoon 5 lasketun mukaisesti hukkaamme tiivistehionnasta kapasiteettia vuodessa n. 5–20 h mittapallon tai tuotantopallon puuttumisen takia. Kokonaisuuden kannalta tällä hukalla ei ole suurta merkitystä.

5.2 Kokoonpano

Kokoonpanon nykytilaa lähdimme tarkastelemaan aiemmin tunnistetun tiiveysvaatimuksen näkökulmasta koeponnistusvaiheessa, jossa ongelmia toisinaan aiheuttaa sulkimen ja tiivisteiden yhteensopimattomuus. Ongelmia tiukemman vuotovaatimuksen saavuttamiseksi tuo toisinaan koneistettavien sulkimien ja tiivisteiden suunnitteludesign, jonka takia valmistettavat venttiilit vaativat toisinaan enemmän työtä asiakasvaatimusten täyttämiseksi.

Tarkasteluun otimme raskaassa kokoonpanossa raportoidut häiriöt koeponnistusvaiheessa. Häiriödata tuotannosta otettiin tuotannon operatiivisten toimintojen ohjaamiseen ja jäljittämiseen tarkoitettusta MES-järjestelmästä vuoden 2022 osalta. Datasta lähdimme etsimään häiriöitä, joiden kuvaus ja/tai häiriöluokka koskivat tiivisteiden pitämättömyyttä koeponnistusvaiheessa. Dataa analysoimalla saimme selvitettyä, että mahdollisesta huonosta suljinelementin ja/tai

tiivisteiden yhteensopivuudesta aiheutui raskaassa kokoonpanossa vuonna 2022 häiriöitä yhteensä 72 kertaa. Näistä raportoiduista häiriöistä oli aiheutunut hukkaa yhteensä 618,67 h eli 25 pv 18 h 40 min, joka vastaa lähes kahden kuu-kauden pysähdystä tuotannon virtauksessa koeponnistusvaiheessa. Lisäksi tarkasteltaessa suljinelementin ja tiivisteiden yhteensopimattomuudesta johtuneiden vuotojen korjauksia, voidaan havaita timanttihiomatahnan olleen usein käytössä tiivisteitä läpäyttäessä sulkimelle. Tätä hiomatahnaa raskaassa kokoonpanossa oli vuonna 2022 varastodatan mukaan kulunut 1880 g. Raportoitua hukkaa koeponnistuksesta löytyy eli potentiaalia virtauksen parantamiseksi sekä säästöille hiomatahnan osalta on.

Varmentuaksemme sulkimen ja tiivisteiden koneistusaikaisen parituksen toimivuudesta, otimme tarkasteluun kokoonpanossa koeponnistetun uuden 0-sarjan DN400 venttiilin, johon suljin ja tiivisteet ovat paritettu tiivistehionnassa. Vertailtavaksi otimme analysoidusta häiriödatasta vastaavan vanhemman tuoteryhmän DN400 venttiilin, jolle suljin ja tiivisteet ovat valmistettu nykyisten menetelmien mukaisesti ilman paritusta tiivisteiden hionnassa. Tarkasteluun valittujen venttiilien mitatut vuotoarvot koeponnistuksessa taulukossa 6.

Taulukko 6. Eri reitityksien mukaisesti valmistettujen DN400 venttiilien koeponnistustulokset standardin (SFS-ISO 5208) mukaisesti testattuna.

	Uusi reititys (0-sarja)	Vanha reititys
Sulkuvuotoluokka	Rate C*	Rate D
*Kuuden mittauksen keskiarvo, keskihajonnan ollessa 0,188.		

Mittaustuloksista voimme todeta, että parittamismenetelmän vaikutta vuotoarvon pienentymiseen. Vuototuloksien ollessa kuitenkin vain n. yhden millilitran luokkaa minuutissa on hyvä tarkastella näitä tuloksia taulukossa 7 standardin näkökulmasta.

Taulukko 7. Standardin (SFS-ISO 5208) mukaiset esimerkki vuotorajat DN400 venttiilin eri sulkuvuotoluokille.

	Rate B	Rate C	Rate CC	Rate D
Vuotoraja vedellä ml/min	0,24	0,72	1,92	2,40

Nyt tarkasteltaessa mittaustuloksia voimme todeta 0-sarjan venttiilin täyttävän selvästi Rate C:n vaatimuksen, kun vanhan tuoteryhmän venttiili jää sulkuvuotoluokkaan Rate D, ollen kaukana Rate C:n vaatimuksesta. On kuitenkin huomiotavaa, että asiakkaan vaatimukset määrittävät venttiililtä vaaditun sulkuvuotoluokan.

Tuloksien pohjalta voimme todeta, että pystymme tuottamaan parempaa laatua koneistamosta venttiilikokoonpanoon muuttamalla sulkimien ja tiivisteiden reitityksiä. Muutos onnistuu kasvattamatta LT:tä ja näin saamme vähennettyä häiriötä venttiilien koeponnistuksessa erityisesti korkeamman tiiveysvaatimuksen venttiileissä koneistuslaadun ollessa aiempaa parempaa.

6 Ongelmanratkaisua

Kokoonpanosta saadut koeponnistustulokset ja tiivistehionnassa tehdyt havainnot tukevat tutkimustyön taustoissa tunnistettua ongelmaa valmistusprosessissa 0-vuotovaatimuksen täyttymisestä neljänneskiertoventtiileillä tilanteissa, joissa sulkimien ja tiivisteiden koneistukset suoritetaan eri osastoilla viimeistelyhionnan osalta. Tämän pohjalta lähdettiin tutkimaan, onko tuotantopallo ohjattavissa vaihtoehtoista reititystä käyttäen tiivistehiontaan tilaustyypin ja/tai tilaajan perusteella automaattisesti tuotantojärjestelmien avulla ilman manuaalista tuotannon-ohjausta.

Ensimmäiseksi lähdettiin tutkimaan ERP:stä löytyviä mahdollisuuksia ohjata nimikkeitä tuotannossa. Vaihtoehtoja löydettiin kolme:

- Vaihtoehtoinen rakennetyyppi eli samalle nimikkeelle (ID:lle) toinen rakenne, joka voi poiketa oletusrakenteesta materiaalien ja reitityksien osalta.
- Vaihtoehtoinen reititys eli oletusrakenteen sisälle määritelty vaihtoehtoinen prosessikartta nimikkeen valmistukselle, jota APS-järjestelmä osaa hyödyntää kuorman- ja kapasiteetin tasaamiseen eri tuotantopisteiden välillä.
- Valmistuksen oletus lokaatio eli lokaatio minne nimike valmistetaan, kun valmistettavan nimikkeen prosessikartan kaikki vaiheet ja tuotantopisteet ovat käyty läpi.

Edellä löydettyjä vaihtoehtoja lähdettiin tarkastelemaan tarkemmin tehtaan tuotannonsuunnittelupäällikön (Kankkunen 2023) konsultoinnin kautta. Suoritettujen keskustelujen ja käytännön kokeilujen kautta todettakoon, ettei ERP nykyisellään pysty ottamaan huomioon tilattujen nimikkeiden vaihtoehtoista rakennetta, reititystä tai vaihtamaan valmistuksen oletus lokaatiota. Eli emme pysty ohjaamaan tuotantoa automaattisesti niin, että tuotantopallo ohjautuisi tilaajan mukaisesti tarvittaessa tiivistehiontaan.

Lisäksi nykytila-analyyseissä tiivistehiojen havaintoon ERP:n tarjoamasta työjononäkymä, joka ei nykyisellään kerro, että mille sulkimelle hiottavana oleva tiiviste on menossa, lähdettiin selvittämään korjausta. Selvittelyn tuloksena selvisi, että työjononäkymään saadaan 15 saraketta näkyviin kerrallaan ja näkymiä voidaan tietyin ehdoin muokata sekä lisätä järjestelmään. Mutta nykyistä näkymää emme voi lähteä muokkaamaan, koska näkymässä ei ole vapaita sarakkeita.

Suoritettujen käytännön testien ja tutkimuksien pohjalta ERP-järjestelmässä todettakoon, että nykyisillä järjestelmillä emme pysty ohjaamaan sulkimien ja tiivisteiden reititystä tuotannossa automaattisesti eri tilaustyypeillä vaan ainoastaan manuaalisesti.

7 Kehitysehdotukset

Parantaaksemme tuotannon virtausta ja vähentääksemme häiriöitä tiivistehionnassa sekä venttiilien koeponnistuksessa, tulisi taulukkoon 8 listattujen kehitysehdotuksien toteuttamista tarkastella tehtaan tuotannossa sekä tuotantojärjestelmissä.

Taulukko 8. Kehityskohteista ja niiden toteuttamiseen tarvittavista toimenpiteistä.

Kehityskohde	Tarvittavat toimenpiteet
Uusista standardinimikkeistä 20 tuumaan asti tulisi valmistaa mittapallot tai vastaavat.	Hiomakoneen varastotilaa tulee kasvattaa, jotta uusia mittapalloja mahtuu hiomakoneen lähietäisyydelle.
Yli 20 tuumaiset pallot tuotannosta tulisi ohjata järjestelmän avulla tiivistehiontaan, jotta tiivisteet saadaan hiottua näiden sulkimien säteelle täsmällisesti.	Nimikkeiden reitityksen muutos niin, että viimeinen vaihe prosessikartassa on tiivistehiomakoneella tai valmistuksen oletus lokaation muutos uudelle välivarastopaikalle tiivistehionnan läheisyyteen.
	Hionnan lähietäisyydelle tulee vapauttaa varastotilaa näille palloille, esim. viereiseltä varastoalueelta.
	Työjononäkymän päivitys tiivistehiontaan näkyvyyden parantamiseksi tiivisteiden suljinpareista.
	Turhan ohjauksen välttämiseksi esim. varaosien tapauksessa tulisi järjestelmän toimintaa muokata niin, että nimikkeitä voitaisiin ohjata tuotannossa automaattisesti vaihtoehtoisten reitityksien avulla tilaajan mukaan.
Venttiilin 0-vuotovaatimuksen tunnistaminen valmistettaessa sulkimista ja tiivisteistä koneistamossa.	Vakionimikkeiden käyttö venttiileissä, joissa 0-vuotovaatimus on lopetettava.
	Uudet nimikkeet (ns. häntäkoodilliset), jotka voidaan vaiheistaa pariutumaan tiivistehionnassa.

Vähentääksemme tai jopa poistaaksemme koeponnistuksessa tiivisteiden ja sulkimen yhteensopimattomuuden synnyttämää häiriötä ja hukkaa, tulisi MTO- ja ETO-nimikkeinä valmistettavat tiivisteet ja sulkimet lähtökohtaisesti aina parittaa koneistamossa ennen kokoonpanoa.

8 Tulokset

Tutkimustyön tuloksena selvisi, että vuonna 2022 nykyiset tuotantoprosessit aiheuttivat tiivistehionnassa häiriötä alle 20 h viidellä eri kokoluokalla tarkasteltuna, ollen näin merkityksetöntä kokonaisuuden kannalta. Venttiilien koeponnistuksessa raskaassa kokoonpanossa häiriöt sulkimen ja tiivisteiden huonon yhteensopivuuden vuoksi olivat jo huomattavasti merkityksellisemmät, yli 600 h. Lisäksi näiden koeponnistuksessa raportoitujen häiriöiden korjaamiseen oli tarvittu lähes 2 kg timanttihiomatahnaa, jonka kustannus oli n. 5000 €.

Annettujen kehitysehdotuksien pohjalta koneistamon tiivistehiontaa lähdettiin kehittämään niin, että raskaankokoonpanon koeponnistusvaiheessa havaittuja häiriöitä suljinelementin ja tiivisteiden yhteensopimattomuudesta saataisiin minimoitua parittamalla nämä valmistettavat elementit koneistamossa ennen kokoonpanoa. Kehitystyö aloitettiin kartoittamalla sopivaa tilaa tiivistehiomakoneiden läheisyydestä, jotta tuotannossa eriaikaisesti oleville sulkimille ja tiivisteille olisi paikka kohdata ennen tiivistehiomakonetta. Etsittäväille tilalle kriteeriksi asetettiin lyhyt etäisyys tiivistehiomakoneista sekä laajennettavuus tulevaisuudessa, jos paritettavien elementtien määrä kasvaa. Kartoituksen tuloksena sopivaa tilaa löydettiin ja sitä saatiin käyttöön toiselta osastolta, tiivistehiomakoneiden välittömästä läheisyydestä. Seuraavaksi ERP:hen määritettiin uusi resurssi löydetylle tilalle, jossa tuotannossa olevat sulkimet ja tiivisteet voivat kohdata. Tämä jälkeen resurssi lisättiin kaikille uuden, pilotoitavaksi valitun tuotesarjan koneistettavien nimikkeiden rakenteille niin, että sulkimilla viimeinen vaihe rakenteella on tämä uusi resurssi ja tiivisteillä niin, että uusi resurssi on ennen tiivistehiontaa, jolloin nämä valmistettavat elementit pääsevät kohtaamaan tuotannossa ennen tiivisteiden hiontaa niin järjestelmässä kuin myös fyysisesti tuotannossa. Uudesta resurssista laadittiin ohjeistus ja pidettiin perehdytys

koneistamon työnjohtajille ja tuotannosuunnittelijoille, joilta tietoa sitten jaettiin edelleen tuotannontyöntekijöille koneistamossa.

Edellä suoritetujen muutoksien vaikutuksesta:

- Saamme vähennettyä manuaalisen tuotannonohjauksen tarvetta tilanteissa, joissa suljin ja tiivisteet halutaan parittaa tuotannossa.
- Pystymme vähentämään sisälogistiikan trukki liikennettä, joka vähentää henkilötapaturma sekä tuotteiden laadulle siirtelystä mahdollisesti aiheutuvan riskin todennäköisyyttä.
- Saavutamme korkeampaa laatua ilman ylilaadun tekemistä sekä kustannusten kasvua, joka vähentää venttiilien koeponnistuksessa sulkimen ja tiivisteiden yhteensopimattomuudesta johtuvaa häiriötä ja säästää hiomatahnaa, koska erilliselle läppäykselle ei ole enää tarvetta.
- Vähennämme häiriöaikaa venttiilien kokoonpanossa, koska tarve venttiilien purkamiselle ja uudelleen kasaamiselle vähenee, mikä lyhentää kokoonpano kokonaisläpimenoaika, joka on erittäin tärkeää ETO-tuotannon muutenkin pitkässä toimitusajassa.

Kehitysehdotuksien pohjalta saimme siis luotua koneistamoon uuden tavan valmistaa ja ohjata sulkimia sekä tiivisteitä tuotannossa. Tuottaen parempaa laatua ilman läpimenoajan ja valmistuskustannuksien kasvua, joka tulee parantamaan ETO-venttiilien läpimenoajan paikkansapitävyyttä häiriöiden vähentyessä kokoonpanossa. Vaikka tämä paritus otettiinkin käyttöön aluksi vain yhden pilotoitavaksi valitun tuotesarjan komponenteilla, on menetelmä sovellettavissa mille tahansa tuotesarjalle tai kokoluokalle 6–36” tulevaisuudessa, jolla tunnistetaan tai on tunnistettu haasteita koeponnistuksessa tiukemman sulkuvuotoluokan saavuttamisessa. Lisäksi päädyimme investoimaan mittapalloja 24” asti uusista standardinimikkeistä, jotta pysymme tehostamaan toistuvien nimikkeiden tuotantoa.

Saimme lisäksi tunnistettua nykyisten tuotannonohjausjärjestelmien puutteita, joiden vuoksi emme pystyneet automatisoimaan paritusta järjestelmissämme sulkimien ja tiivisteiden rakenteille asiakas- ja/tai tilauskohtaisesti. Tunnistettujen puutteiden pohjalta pystymme nyt määrittämään nykyisten järjestelmien kehitystarpeita sekä luomaan tarvittaessa määrittämiä tuleville tuotannonohjausjärjestelmille automatisoinnin mahdollistamiseksi.

9 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoituksena oli tutkia aiemmin tunnistettua ongelmaa sulkimien ja tiivisteiden yhteensopimattomuudesta raskaassa kokoonpanossa, tilauksesta suunniteltujen (ETO) -venttiilien koeponnistuksessa Valmet Flow Control Oy:lla Hakkilassa. Koska yleistyvät 0-vuotovaatimukset neljänneskiertoventtiileillä asiakkailta vaativat prosessien kehittämistä tuotannossa niin, että jo ennestään pitkät läpimenoajat eivät kasva ETO-tuotannossa ja tuotannon virtaus pysyy yllä.

Teoriaksi työhöni kirjoitin ETO-tuotannosta yleisellä tasolla sekä Leanin näkökulmasta tarkasteltuna. Lisäksi teoriaan otin mukaan eri tuotantomuotojen tilauspisteet, jotta ETO-tuotannon eroavaisuus esim. varasto-ohjautuvaan tuotantoon tulisi selvästi esille toimitusaikojen pituuden kautta. Auttaen näin lukijaa ymmärtämään häiriöiden vaikutusta räätälöityjen tuotteiden tuotannossa.

Tutkimuksen aloitin nykytila analyysillä, johon kuului haastattelu ja datan keräämistä edelliseltä vuodelta ERP- ja MES-järjestelmistä. Tuotantodatan data-analyysien kautta sain selvitettyä häiriöiden laajuutta tuotannon virtauksen näkökulmasta koneistamon tiivistehionnassa ja venttiilien koeponnistuksessa.

Näiden edellä suoritettujen analyysien pohjalta sain määritettyä suurimmat ongelmakohdat, joiden ratkaisemiseksi lähdin selvittämään käytössä olevan ERP-järjestelmän kyvykkyyttä ohjata tuotantoa paremmin, välttääksemme häiriöitä tuotannon eri vaiheissa.

Työni tuloksena syntyi kehitysehdotuksia, joiden käyttöönoton myötä saimme parannettua sulkimien ja tiivisteiden laatua ilman läpimenoajan tai kustannuksien kasvua. Näiden parannuksien myötä pystymme vähentämään kokoonpanossa koneistettujen komponenttien yhteensopimattomuudesta esiintyvää häiriötä, joka auttaa pysymään paremmin ennalta suunnitellussa tuotantoaikataulussa, jolloin venttiilien läpimenoaikoja sekä tuotantokuluja saadaan vähennettyä, joka tuo huomattavaa rahallista säästöä. Lisäksi saimme dataa häiriöiden vaikutuksesta tuotannon virtaukseen tehtaan ETO-tuotannossa.

Lähteet

Díaz-Reza, J., Alcaraz J. & García, A. 2022. Best Practices in Lean Manufacturing: A Relational Analysis. Cham: Springer International Publishing AG.

Engineer-To-Order (ETO) Manufacturing - A Complete Guide. 2023. Verkkodokumentti. Deskera. <<https://www.deskera.com/blog/engineer-to-order-manufacturing/>>. Luettu 30.3.2023.

Hujanen, Johannes. 2018. Lean-ajattelun hyödyntäminen Engineer-to-order tuotannon kehittämisessä. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Kankkunen, Jesse. 2023. Production Planning Manager. Valmet Flow Control Oy, Vantaa. Keskustelu 11.4.2023.

Key facts. 2023. Verkkodokumentti. Valmet. < <https://www.neles.com/company>>. Luettu 16.3.2023.

Korhonen, Otso. 2023. Supervisor, Valmet Flow Control Oy, Vantaa. Keskustelu 28.3.2023.

Lean perusteet 8 hukkaa. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. Valmet Flow control Oy.

Make-to-order. 2023. Verkkodokumentti. Siemens. <<https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/what-is-make-to-order-mto/100320>>. Luettu 28.3.2023.

Neles™ trunnion mounted full bore ball valves, Series X. 2022. Verkkodokumentti. Valmet. <<https://www.neles.com/49b10a/globalassets/saleshub/imported---all-documents/1x22en.pdf>>. Luettu 21.3.2023.

SFS-ISO 5208. Teollisuusventtiilit. 2016. Metallisten venttiilien painetestausta. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Summary of the merger. 2022. Verkkodokumentti. Valmet. < <https://www.neles.com/company/valmet-neles-merger/>>. Luettu 16.3.2023.

Tilauksesta suunnittelu (ETO). 2023. Verkkodokumentti. Logistiikan Maaailma. <<https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tilauksen-kohdennuspiste-opp/tilauksesta-suunnittelu-eto/>>. Luettu 30.3.2023.

Tilauksesta valmistus (MTO). 2023. Verkkodokumentti. Logistiikan Maailma. <<https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tilauksen-kohdennuspiste-opp/tilauksesta-valmistus-mto/>>. Luettu 29.3.2023.

Torkkeli, Matti. 2023. Lean koulutus 1. Luentomoniste. ValueSource Partners Oy.

Tuotantomuodot: Tilauksen kohdennuspiste (OPP). 2023. Verkkodokumentti. Logistiikan Maailma. <<https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tilauksen-kohdennuspiste-opp/>>. Luettu 29.3.2023.