



Sisäisen toimitusvarmuuden kehittäminen

Tuotantoprosessin analysointi ja kehittäminen toimitusvarmuuden parantamiseksi

Eero Nurmi

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2021

Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Tuotantotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotantotekniikka

NURMI, EERO:
Sisäisen toimitusvarmuuden kehittäminen

Opinnäytetyö 65 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Huhtikuu 2021

Hyvä sisäinen toimitusvarmuus antaa yritykselle enemmän aikaa reagoida markkinoiden ja asiakkaiden muutoksiin. Projektissa selvitettiin kokoonpanosolun sisäiseen toimitusvarmuuteen vaikuttavia tekijöitä. Työ toteutettiin osana yrityksen sisäisen toimitusvarmuuden kehittämisprojektia, joka käynnistettiin esiselvityksissä selvinneen heikon sisäisen toimitusvarmuuden tason vuoksi. Salassapitosyistä työstä on poistettu yksityiskohtainen arvovirtakartoitus ja yrityksen toimitusvarmuuden tasot.

Lean ja Six Sigma -menetelmät toimivat tutkimuksen perustana. Työ aloitettiin kartoittamalla kokoonpanoprosessin nykytila, jonka jälkeen asetettiin tahtotila. Ylätasoiseen arvovirtakartoitukseen kerättiin keskeiset tunnusluvut prosessin toiminnasta. Samalla selvitettiin tiedon kulku prosessin aikana. Toiminnanohjausjärjestelmästä saatavaa dataa havainnollistettiin laatikko-jana-kuvioilla ja yksityiskohtaisemmin SPC-korteilla, joiden avulla selvitettiin prosessissa esiintyvän vaihtelun taso. Myöhemmässä vaiheessa prosessin nyky- ja tavoitetilasta tehtiin yksityiskohtainen arvovirtakartoitus Kaizen-työpajassa. Arvovirtakartoitusten avulla havaittiin prosessiongelmiä, hukkatyötä ja laskettiin arvoa tuottavan työn osuus kokonaisläpimenoajasta. Lisävarusteiden vaikutusta kokoonpano-aikaan sekä niiden yleisyyttä valmistettavissa laitteissa tutkittiin, minkä tuloksena lisävarusteiden aiheuttama lisäkuorma todettiin yhdeksi päätekijäksi kokoonpanoajan vaihteluun. Tuotannonsuunnittelun käytännöstä selvisi, ettei lisävarusteita huomioida riittävästi arvioitaessa töiden kestoa ja kuormittavuutta. Suurimman volyymin tuotteiden tavoitellut vaiheajat todettiin epärealistisiksi saavuttaa tapauksissa, joissa esiintyy enemmän lisävarusteita.

Työn tuloksena kokoonpanoprosessissa esiintyvää hukkaa saatiin vähennettyä, mikä paransi tuotannon tehokkuutta ja virtausta. Tuotannossa pilotoitiin tahtotila, johon pääsemiseksi toteutettiin ensimmäisiä toimenpiteitä. Tuotantosuunnitelman epätarkkuus, työohjeiden puutteellisuus sekä ongelmat valmistusrakenteissa ja toimittajalaadun hallinnassa olivat sisäiseen toimitusvarmuuteen vaikuttavia tekijöitä. Kohdeyritykselle luotiin aputyökalu tuotannonsuunnittelun kehittämiseksi, mikä tekee tuotannosta ennustettavamman. Ennustettavampi tuotanto mahdollistaa tuotannon tasaisen kuormituksen ja vähentää tuotantosuunnitelman uusintatyötä. Tulevaisuudessa kohdeyrityksen tulee kehittää vastaanottotarkastusprosessia, työohjeiden sisältöä ja integroida tuotannonsuunnittelun aputyökalu osaksi päivittäistä toimintaa.

Asiasanat: tuotannonkehitys, lean, arvovirtakartoitus, kaizen

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Production Engineering

NURMI, EERO:

Process Analysis and Development for Improved On-Time Delivery

Bachelor's thesis 65 pages, appendices 2 pages
April 2021

This study was done as an operational research as part of a larger development project which was aimed at improving on-time delivery performance throughout the manufacturing chain of the company. The purpose of this thesis was to find the root causes affecting on-time delivery performance and to implement correcting actions. On-time delivery on this paper is examined from the perspective of the internal customer.

Lean and Six Sigma methodologies were utilised to achieve goals set for this paper. Macro perspective value stream mapping was done to study material and information flows. Variability in lead times was defined by analysing the data acquired from the enterprise resource planning system. Control charts and box plots were used in the data analysis. Afterwards a detailed process level mapping of the process was done in a Kaizen Event. Sales data were analysed to recognize the most sold accessories and their effect on lead time.

As a result, wasteful activities were identified and reduced from the targeted assembly process. The results suggest that the number of accessories in different assemblies is one of the main reasons for variability in lead times. A new tool was created to improve the overall accuracy of scheduling. The main factors affecting on-time delivery rates were the inaccuracy of production scheduling, issues in manufacturing bill of materials, supplier quality control and insufficient work instructions.

It was proposed that the company should develop their acceptance inspection process, refine work instructions, and fully implement the new tool for production scheduling.

Key words: production development, on-time delivery, lean, kaizen

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TEOREETTINEN VIITEKEHYS	9
2.1	Lean	9
2.1.1	Hukka	11
2.1.2	Resurssitehokkuus ja virtaustehokkuus.....	12
2.1.3	Virtaustehokkuuden parantaminen arvovirtakartoituksella .	13
2.2	Kaizen Event	14
2.3	Littlen laki	15
2.4	Esteiden teoria	16
2.5	Vaihtelu	17
2.6	JIT – Just in Time	18
2.7	Imu- ja työntöohjaus.....	19
2.8	Six Sigma	20
2.9	DMAIC-ongelmanratkaisumalli.....	21
3	KOKOONPANO	23
3.1	Kokoonpano	23
3.2	Solutuotanto	23
3.3	Osakokoonpano	24
4	EMPIIRINEN OSA	25
4.1	Kehittämiprojektin läpivienti	25
4.2	Kohteen esittely.....	26
4.3	Tuotannonsuunnittelu kohdeyrityksessä	27
4.4	Kokoonpanoprosessin kuvaus	29
4.5	Prosessin nykytilan karakterisointi	31
4.5.1	Datan-analysointi.....	34
4.5.2	Kuormitustason tutkiminen	38
4.5.3	Osapuutteet ja laatu poikkeamat	39
4.6	Kaizen Työpajat	40
4.6.1	Esivalmistelu	41
4.6.2	Päivä 1. Ydinryhmän koulutus	42
4.6.3	Päivä 2. Arvovirtakartoitus nykytilasta	43
4.6.4	Päivä 3. Tahtotilan määrittely	44
4.6.5	Päivä 4. SIPOC Ja toimenpidesuunnitelman luominen	44
4.6.6	Kaizen Event – tulokset	44
4.6.7	Nopeiden toimenpiteiden määrittely	46
4.6.8	Laskennalliset tulokset arvovirtakartoituksesta.....	46

4.6.9 Kokoonpanossa havaitut hukat	47
4.6.10 Tahtotilan pilotti	50
4.7 Kehitystoimet merkittäviin muuttujiin	51
4.8 Tuotantosuunnitelman kehittäminen	53
5 TULOKSET JA YHTEENVETO	56
5.1 Sisäistä toimitusvarmuutta heikentävät tekijät	56
5.2 Hukan poistaminen kokoonpanoprosessista	58
5.3 Tavoitetilan saavuttaminen	59
6 POHDINTA	60
LÄHTEET	62
LIITTEET	64
Liite 1. Asiakasvaatimukset	64
Liite 2. Prosessikaavio	65

LYHENTEET JA TERMIT

JIT	Just-in-Time - Juuri oikeaan aikaan
ERP	Tuotannonohjausjärjestelmä
LEAN	Johtamisfilosofia
SIPOC	Lean-työkalu
TPS	Toyota Production System
VSM	Value Stream Mapping - arvovirtakartoitus
C&E	Syy-seuraus
KPI	Key Performance Indicator
Läpimenoaika	Aika, joka kuluu asiakastilauksesta toimitukseen
Jaksoaika	Aika, joka kuluu tehtävän aloituksesta lopetukseen

1 JOHDANTO

Asiakkaan odotusten ja toimitusvaatimusten täyttäminen on jokaisen menestyvän yrityksen prioriteetti. Useimmiten asiakas odottaa tarkkoja ja ajallaan toimitettuja tilauksia. Huono toimitusvarmuus vaikuttaa merkittävästi asiakastyytyväisyyteen ja on yksi indikaattori tuotannossa olevista ongelmista. Keskittymällä sisäisessä toimitusketjussa tapahtuvien toimitusten ajantasaisuuteen voidaan saavuttaa hyvä toimitusvarmuuden taso ja varmistaa korkea asiakastyytyväisyys.

Sisäinen toimitusvarmuus kertoo tuotannon tehokkuudesta. Lisäksi se kuvaa, miten tarkasti alkuperäinen tuotantosuunnitelma on toteutunut käytännössä. Hyvän sisäisen toimitusvarmuuden omaavan prosessin käyttäytymistä on helpompi ennustaa, mahdollistaen tarkemman kapasiteetin suunnittelun ja tuotannon tasaisen kuormituksen.

Sisäisen toimitusvarmuuden kehittäminen tarkoittaa prosessissa olevien ongelmien löytämistä ja korjaamista. Ulkoista toimitusvarmuutta hallitaan usein ennen toimitusta sijoitetuilla aikapuskureilla. Aikapuskuri on työlle varattua ylimääräistä aikaa tuotannossa ilmenevien häiriöiden varalle. Poistamalla prosessissa olevia ongelmia pyritään tilanteeseen, jossa aikapuskureita ei enää tarvita.

Tämä opinnäytetyö toteutetaan toimintatutkimuksena työkoneita valmistavalle teknologiateollisuuden yritykselle osana sisäisen toimitusvarmuuden kehittämisprojektia. Työn tarve ilmeni tilaajayrityksessä toteutetusta esiselvityksestä, jossa mitattiin eri työn vaiheiden valmistumista ajallaan sisäisen asiakkaan tarpeisiin. Opinnäytetyössä selvitetään kokoonpanosolun sisäiseen toimitusvarmuuteen vaikuttavat tekijät ja toteutetaan kehittämistoimenpiteitä korkeamman toimitusvarmuustason saavuttamiseksi. Tutkimuksen tuloksia ja dokumentteja hyödynnetään yrityksessä kohdealueen jatkokehittämiseen sekä sovelletaan niitä muiden kokoonpanovaiheiden kehitystyössä.

Toimitusketjun hallintastrategiana voidaan käyttää lean-johtamisfilosofiaa, jota tässä työssä sovelletaan. Teoriaosuudessa keskitytään lean-periaatteen ja prosesseihin vaikuttavien lainalaisuuksien käsittelyyn, jotta kehittämistyön perustana olevia ilmiöitä voidaan ymmärtää paremmin. Sisäiseen toimitusvarmuuteen

vaikuttavia tekijöitä selvitetään ensin ylätasaisen arvovirtakartoituksen avulla ja tutkimalla toiminnanohjausjärjestelmästä saatavaa dataa. Myöhemmässä vaiheessa prosessin nyky- ja tavoitetila kartoitetaan yksityiskohtaisesti Kaizen-työpajassa. Työpajassa eri toimintojen työntekijät kokoontuvat pyrkimyksenä prosessissa ilmenevien ongelmien tunnistaminen ja hukka-aktiviteettien poistaminen. Kehitystoimenpiteitä voidaan olettaa syntyvän Kaizen-työpajan lisäksi muun tutkimuksen tuloksena.

Opinnäytetyön sisältö rajattiin siten, että työtä kehitetään nykyisissä tiloissa ja käytössä olevilla resursseilla. Työn sisällön ulkoistaminen, tuotantosolun siirtäminen ja organisaatiomuutokset jäävät työn ulkopuolelle. Tutkimuskysymykseksi muodostui, mitkä tekijät aiheuttavat huonompaa sisäistä toimitusvarmuutta kokoonpanoprosessissa.

2 TEOREETTINEN VIITEKEHYS

2.1 Lean

Lean-ajattelun katsotaan olevan peräisin Toyotan valmistusjärjestelmästä. Toyota kehitti valmistusjärjestelmänsä Toyota Production Systemin (TPS) tutkittuaan 1950-luvulla Fordilla käytössä ollutta massatuotantojärjestelmää. Toyotan johtajat vierailivat Fordin tuotannossa ja näkivät siinä monia vikoja, kuten suuria välivarastoja, epätasaista virtausta ja ylituotantoa. Toyota hyödynsi Fordin ideaa jatkuvasta materiaa livirrasta ja W. Edwards Demingin oppeja laadusta ja tuottavuudesta. Niiden pohjalta kehitettiin Toyota Production System. (Liker 2004, 20–23.)

Lean-ajattelu esiteltiin ensimmäistä kertaa laajemmin kirjassa *The Machine That Changed the World* ja kirjan jatko-osassa *Lean Thinking*. Nämä kirjat perustuivat MIT:n tutkijoiden tutkimustyöhön Toyotan valmistusjärjestelmästä. Kirjoissa Toyotan valmistusjärjestelmän menestyksen katsottiin johtuvan erinomaisesta prosessien johtamisesta, oikea aikaisuudesta (Just-in-Time) ja oikeasta järjestyksestä (Womack, Roos, Jones 1990). Toyotan valmistusjärjestelmän menestys Bowenin ja Spearin (1999, 98) mukaan perustuu neljään sääntöön, jotka ohjaavat kaikkea toimintaa. Ensimmäisen säännön mukaan kaikki työ tulee olla määritelty riittävän tarkasti sisältäen työn sisällön, järjestyksen, ajoituksen ja lopputuloksen. Toisen säännön mukaan jokaisen asiakas-toimittaja yhteyden tulee olla suora. Kolmannen säännön mukaan jokaisen tuotteen ja palvelun polku tulee olla yksinkertainen ja suora. Neljännen säännön mukaan kaikki parantaminen tulee tehdä opettajan alaisena alimmalla mahdollisella organisaatiotasolla. Parantamisen tulee perustua tieteelliseen menetelmään.

Womack ym. (1990) mukaan lean on malli, joka pyrkii asiakaslähtöiseen prosessijohtamiseen. Läpimenoaikaa voidaan lyhentää eliminoimalla hukkaa jokaisesta prosessin vaiheesta, mikä johtaa parhaaseen laatuun ja matalimpiin kustannuksiin. Lisäksi se parantaa työntekijöiden moraalia ja turvallisuutta. Lean

voidaan ajatella jatkuvan oppimisen ja kehittymisen prosessiksi, jonka tavoitteena on luoda enemmän asiakasarvoa pienemmillä resursseilla. Kaikki, mikä ei tuota asiakkaalle lisäarvoa on hukkaa.

Lean-ajattelun periaatteita on helppo ymmärtää. Leanin soveltaminen yrityksen päivittäisessä toiminnassa voi kuitenkin tuottaa haasteita. Tätä varten lean tarjoaa valmiita työkaluja, joilla löytää kehityskohteita ja parantaa niitä. Suuri osa operatiivisista työkaluista pohjautuu Toyotan valmistusjärjestelmässä käytettyihin työkaluihin. Nykyisin leanin toteuttaminen perustuu viiden perusperiaatteen noudattamiseen, jotka ovat esitetty kuviossa 1 (Liker 2004, 7; Charron, Harrington, Voel & Wiggin 2015, 72).



KUVIO 1. Lean-kehittämisen vaiheet

Ensimmäinen askel on arvon määrittäminen. Arvo voidaan määritellä toiminnoksi tai prosessiksi, josta asiakas on valmis maksamaan. Arvoa määritellessä on selvítettävä, mitä asiakkaat haluavat nyt ja vuosien päästä. Toinen askel on arvovirran tunnistaminen. Arvovirralla tarkoitetaan sarjaa aktiviteetteja, jotka tapahtuvat organisaatiossa asiakastilauksen toteuttamiseksi. Arvovirta tunnistetaan ja analysoidaan, jotta arvoa tuottamattomat toiminnot voidaan poistaa. Kolmas as-

kel on keskeytyksettömän virtauksen luominen. Tavoitteena on erätuotannon sijaan pyrkiä tuotteiden valmistamiseen yksitellen, jotta yksittäisen tuotteen läpimenoaika on mahdollisimman lyhyt. Neljäs askel on imuohjauksen luominen. Imuohjauksella tarkoitetaan tilannetta, jossa tuotteita valmistetaan asiakkaan tilauksesta markkinoille työntämisen sijaan. Koko tuotantoketjua tulisi ohjata siten, että materiaaleja ei siirretä eteenpäin ennen kuin niitä tarvitaan. Viimeinen askel on täydellisyyteen pyrkiminen, jolla tarkoitetaan prosessien jatkuvaa parantamista. (Charron, Harrington, Voel & Wiggin 2015, 72–73.)

2.1.1 Hukka

Lean pyrkii kolmen hukan: mudan, murin ja muran eliminoimiseen prosesseista. Muda tarkoittaa Toyotan esittelemiä seitsemää hukan lajia, jotka eivät tuota arvoa liiketoimintaprosessissa. Usein tunnistetaan myös kahdeksas hukka, joka on työntekijän luovuuden käyttämättä jättäminen. (Liker 2004, 28–29.) Ylituotantoa pidetään hukan lajeista tärkeimpänä, sillä sen katsotaan aiheuttavan useimpia muita hukan lajeja. Seitsemän hukan tyyppiä ovat Likerin (2004, 28–29) mukaan:

1. Ylituotanto. Osien valmistaminen ennakoon, ilman asiakastilausta. Aiheuttaa tarpeettomia rekrytointeja ja varasto- sekä kuljetuskustannuksia.
2. Odottelu. Työntekijöillä ei ole tekemistä, tai ne odottavat jotakin vaihetta, toimitusta, tai automatisoitua työkonetta.
3. Tarpeeton kuljetus. Valmiiden tai keskeneräisten tuotteiden siirtely pitkiä matkoja varastosta tai prosessista toiseen.
4. Ylikäsittely. Tehoton käsittely huonon työkalun vuoksi tai tarpeettoman laadukkaan tuotteen valmistaminen. Tarpeettomia vaiheita prosessissa.
5. Tarpeettomat varastot. Liialliset varastot, jotka sisältävät raaka-aineita, keskeneräisiä tuotteita tai valmiita hyödykkeitä. Liian suuret varastot kätkevät tuotannon ongelmia alleen.
6. Tarpeeton liike. Kaikki tarpeeton liike, jonka työntekijä suorittaa työn suorittamisen aikana, esimerkiksi tarvikkeiden tai työkalujen noutamiseksi.
7. Uudelleen tekeminen. Viallisten tuotteiden tekeminen tai korjaaminen.

Murilla tarkoitetaan ihmisten ja laitteiden ylikuormitusta. Käytännössä ylikuormittaminen tarkoittaa koneen tai ihmisen työntämistä yli luonnollisten rajojen. Mikäli esimerkiksi ihmisen pakottaa työskentelemään kovemmin, kuin on luonnollista, syntyy laatuongelmia sekä vaaratilanteita. (Liker 2004, 114.)

Muralla tarkoitetaan tuotannon epätasaisuutta. Epätasaisuus aiheutuu epäsäännöllisestä tuotannonsuunnittelusta, tai tuotantomäärien ja asiakastilauksien heilahtelusta. Tuotantomäärät saattavat heilahdella monista syistä, kuten laiterikoista tai materiaalipuutteista. Usein keskitytään vain mudan poistamiseen, mikä johtaa ongelmiin, sillä lean-prosessin on oltava myös tasapainoinen. (Liker 2004, 114.)

2.1.2 Resurssitehokkuus ja virtaustehokkuus

Resurssiksi kutsutaan palvelun tai tuotteen tekemiseen vaadittavia ihmisiä, työkaluja, koneita ja tietojärjestelmiä. Resurssitehokkuus on yleinen tehokkuuden muoto, jota hyödynnetään yritystoiminnan ja investointien ohjaamiseen. Resurssitehokkuudella tarkoitetaan resurssien korkeaa hyödyntämistä eli käyttöastetta. Resurssitehokkuutta mitataan tarkastelemalla resurssin käyttöastetta tietyllä ajanjaksolla. Esimerkiksi konepajassa yksi tapa mitata resurssitehokkuutta on selvittää, kauanko työstökone on vuorokauden aikana käynnissä. Resurssitehokkuudella saavutetaan organisaation toiminnoille korkea käyttöaste ja matalammat yksikkökustannukset. Teollisuudessa resurssitehokkuutta parannetaan usein kasvattamalla eräkokoja, jonka seurauksena läpimenoajat kasvavat. Pitkemmät läpimenoajat johtavat heikompaan asiakastyytyväisyyteen. (Modig & Åhlström 2016, 9–11.)

Virtaustehokkuus on erilainen tapa tarkastella tehokkuutta. Virtaustehokkuutta tarkasteltaessa kiinnitetään huomiota virtausyksikköön resurssin sijasta. Virtausyksiköksi kutsutaan tuotetta, joka jalostuu sen kulkiessa organisaation prosessien lävitse. Virtaustehokkuutta mitataan tarkastelemalla, paljonko tuote jalostuu tarkasteltavalla ajanjaksolla sen virratessa organisaation toimintojen lävitse. Hyvällä virtaustehokkuudella läpimenoajat ovat lyhyitä, mikä johtaa parempaan asiakastyytyväisyyteen. (Modig & Åhlström 2016, 18–30.)

Resurssitehokkaassa prosessissa virtausyksiköt odottavat, kun taas virtaustehokkaassa prosessissa resurssit odottavat. Usein näitä tehokkuuden konsepteja joudutaan yhdistelemään. Lean-ajattelussa virtaustehokkuuden parantaminen on pääprioriteetti.

2.1.3 Virtaustehokkuuden parantaminen arvovirtakartoituksella

Virtauksen parantamisella saavutetaan lyhyemmät läpimenoajat, parempi laatu ja asiakastyytyväisyys. Jotta virtaustehokkuutta voidaan parantaa, on prosessi kuvattava virtausyksikön näkökulmasta ja luokiteltava sen toiminnot arvoa tuottaviin ja arvoa tuottamattomiin toimintoihin. Arvoa muodostuu aina, kun virtausyksikölle tapahtuu jotain tai se etenee prosessissa. (Modig & Åhlström 2016, 18–30.)

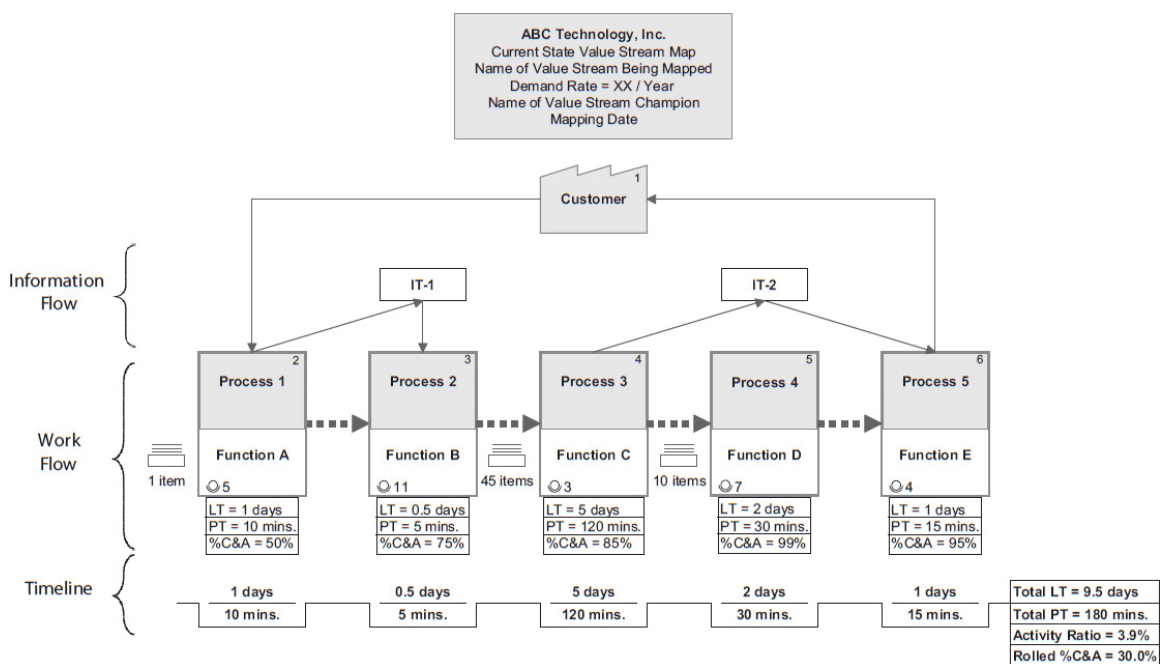
Arvovirtakartoitus (Value Stream Mapping) on lean-työkalu, jota käytetään materiaali- ja informaatiovirtojen tutkimiseen. Arvovirta koostuu aktiviteeteista. Aktiviteetit voivat toteutua joko peräkkäin tai rinnakkain samaan aikaan. Usein arvovirtaan sisältyy useita eri organisaation osastoja. (Karen & Osterling 2014.) Arvovirtakartta on graafinen esitys kaikista tuotteen valmistamiseksi vaadittavista aktiviteeteista. Aktiviteetit luokitellaan sekä arvoa tuottaviin että arvoa tuottamattomiin toimintoihin. Myös yritystoiminnalle välttämättömät tukitoiminnot tunnistetaan. Vertaamalla arvoa tuottavan työn osuutta kokonaisaikaan voidaan määrittellä tuotantojärjestelmän tehokkuus.

Locherin (2011, 1) mukaan VSM on tehokas ja hyväksi todettu työkalu olemassa olevien prosessien uudelleensuunnitteluun lean-konseptien pohjalta. VSM on visuaalinen työkalu, mutta pääasiassa se on tiimipohjainen metodologia, koska harvassa organisaatiossa yksittäinen henkilö voi kuvata koko tuotteen valmistamiseksi vaadittavaa tapahtumasarjaa.

Arvovirtakartoitus eroaa keskeisesti muista prosessin kartoitustavoista siten, että se tunnistaa myös arvoa tuottamattomat työt. Lisäksi se antaa keinot kehittämisen strategisen suunnan luomiseksi. Arvovirtakartoituksen kvantitatiivinen

luonne luo perustan dataan perustuvaan päätöksentekoon. (Karen & Osterling 2014.)

Arvovirtakartoituksen tekemiseen käytetään vakioituja symboleja. Sen keskeisimmät elementit ovat informaatiovirrat, materiaalivirrat ja aikajana, josta selviää jokaisen vaiheen prosessiajat sekä kokonaisläpimenoaika. Kokonaisläpimenoaika koostuu prosessiajoista sekä vaiheiden välillä tapahtuvista odotus- ja kuljetusajoista. Laskemalla yhteen kaikki jaksoajat saadaan arvoa tuottavan työn osuus läpimenoajasta, jolloin nähdään prosessissa oleva kehityspotentiaali. Esi-merkki valmiista arvovirtakartasta kuviossa 2.



KUVIO 2. Arvovirtakartta (Karen & Osterling 2014).

2.2 Kaizen Event

Kaizen on japania, joka tarkoittaa jatkuvaa parantamista ja asteittaista muutosta. Kaizen filosofia perustuu jokaisen organisaation jäsenen osallistamiseen kokonaisvaltaiseen kehitykseen. Kaizen korostaa prosessorientoituneen kulttuurin luomista, joka tähtää toimintatapojen kehittämiseen (Ortiz 2009).

Kaizen-työpaja (engl. Kaizen Event) on nopean kehittämisen projekti, jossa ryhmä työntekijöitä kokoontuu toteuttamaan leania päätavoitteena hukkan eliminointi prosessista (Ortiz 2009). Ennen työpajaa valitaan ja valmistellaan kohdealue, muodostetaan tiimit, määritellään ongelma, asetetaan kehitystavoite, valitaan mittarit ja asetetaan aikajana (Burton & Boeder 2003, 73). Työpajan vetävä henkilö on valittava ja koulutettava, jonka jälkeen työpajassa käytettävää standardisoitua materiaalia on kehitettävä (Van Aken, Farris, Glover & Letens 2010, 643). Työpajan keskeisin tarkoitus on Burtonin ja Boederin (2003) mukaan nopea juurisyiden löytäminen sekä nopea toimenpiteiden implementointi.

Useimmat Kaizen-työpajat järjestetään 3–5 päivän pituisina, sisältäen yleensä seuraavat aktiviteetit (Van Aken ym. 2010):

1. Tiimivalmennus
2. Nykytilan dokumentointi
3. Kehitysmahdollisuuksien tunnistaminen
4. Kehitystoimenpiteiden valinta (ja mahdollinen implementointi)
5. Tulosten esittely
6. Tehtävälistan luominen jatkotoimenpiteitä varten

Kaizen-työpajat ovat tapahtumia, joita on tarkoitus järjestää säännöllisesti osana yrityksen Kaizen-ohjelmaa, jatkuvan parantamisen kulttuurin luomiseksi. Onnistuneiden Kaizen-työpajojen jälkeen tyypillistä on, että varastot pienenevät 20–80 %, tehokkuus paranee 20–50 %, prosessin aikana työntekijän kulkema matka lyhenee 40–90 % ja prosessiajat lyhenevät 40–80 %. Suureksi eduksi nähdään myös muutokset työntekijöiden ajattelutavassa. Työntekijät ajattelevat säännöllisesti uusia kehityskohteita työssään ja pohtivat ratkaisuja edellisessä työpajassa löydettyihin ongelmiin. (Burton & Boeder 2003, 74.)

2.3 Littlen laki

Littlen laki on yksi tärkeimmistä kaavoista, jota on ymmärrettävä tuotannon tehokkuuden parantamiseksi. Kaava on nimetty kehittäjänsä John Littlen mukaan. Kaavan alkuperäinen muoto on:

$$L = \lambda W \quad (1)$$

Jossa L on jonossa olevien keskeneräisten virtausyksiköiden lukumäärä, λ on keskimääräinen jonoon saapumisaika ja W on keskimääräinen jonotusaika (Quality Knowhow Karjalainen Oy, n.d). Kaavasta käytetään kuitenkin myös sovelusta:

$$L_t = WIP \cdot CT \quad (2)$$

Jossa L_t on läpimenoaika, WIP on keskeneräisten virtausyksiköiden lukumäärä ja CT on jaksoaika.

Keskeneräiseksi virtausyksiköksi katsotaan kaikki yksiköt, jotka ovat valitun järjestelmän rajojen sisäpuolella. Littlen laki käytännössä osoittaa läpimenoajan kasvavan aina, kun keskeneräisten virtausyksiköiden määrä kasvaa. (Modig & Åhlström 2016, 35.)

2.4 Esteiden teoria

Esteiden teoria on ohjaus- ja johtamismalli prosessikehitykseen, joka korostaa systeemin suorituskykyä rajoittavien, niin kutsuttujen pullonkaulojen tunnistamista ja hallinnoimista. Teorian ydinajatus on, että jokaisella systeemillä on yleensä vain yksi rajoittava tekijä. Tämä rajoittava tekijä määrää jokaisen systeemin läpimenoa eli rajoittaa sen virtausta. Kehittämistoimenpiteiden kohdentaminen tähän tunnistettuun tekijään on normaalisti nopein ja tehokkain tapa parantaa kannattavuutta. Hallitsematon pullonkaula aiheuttaa häiriöitä aikatauluihin ja synnyttää odottamattomia viiveitä. (Theory of Constraints Institute 2020.)

Pullonkaulat ovat yleensä osaprosesseja tai yksittäisiä toimintoja. Pullonkaulaprosessia kuormitettaessa liikaa sen alkuun syntyy jonoutumista. Jonoja syntyy, vaikka käsiteltäisiin informaatiota, materiaaleja tai ihmisiä. Pullonkaulaprosessin jälkeiset toiminnot joutuvat aina odottamaan, joten niiden resurs-

sitehokkuus kärsii. Pullonkauloja synnyttää prosessien kriittinen polku ja prosessin luonnollinen vaihtelu. Kriittisellä polulla tarkoitetaan prosessin vaiheita, jotka pitää tehdä tietyssä järjestyksessä. (Modig & Åhlström 2016, 39.)

Kehittämistoimien kohdistaminen prosessin muihin vaiheisiin yleisesti synnyttää odottamattomia seurauksia ja on kyseenalaista, syntyykö parannusta ollenkaan (Theory of Constraints Institute 2020). Säästöjä voidaan saavuttaa, mutta prosessi ei ikinä tuota enempää kuin sen pullonkaulavaihe kykenee tuottamaan (Quality Knowhow Karjalainen Oy).

Esteiden teorian mukaan kehittämistoimenpiteet pyritään kohdistamaan systeemin pullonkaulaan, kunnes sitä ei enää ole (What is the Theory of Constraints n.d). Pullonkaulat eivät kuitenkaan ikinä häviä, vaan ne liikkuvat uusiin paikkoihin. Yhden rajoitteen hävittyä keskitytään uuteen ilmaantuneeseen pullonkaulaan. Näin syntyy jatkuvan parantamisen prosessi. (Modig & Åhlström 2016, 38.)

2.5 Vaihtelu

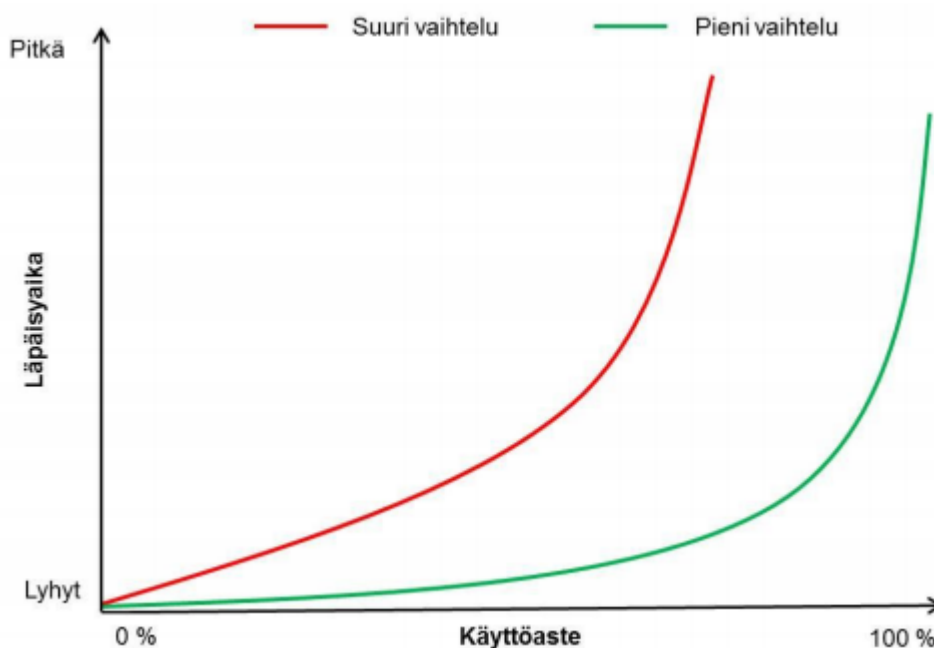
Kaikissa prosesseissa on vaihtelua. Vaihtelulla on suuri merkitys prosessin suorituskäyttöön. Mådigin ja Åhlströmin (2016) mukaan vaihtelun syyt voidaan luokitella resursseihin, virtausyksiköihin ja ulkoisiin tekijöihin. Tuotantolaitteet, tai tuotantojärjestelmät voivat vikaantua. Eri työntekijät työskentelevät eri tavoin, ja tilatut tuotteet voivat vaihdella. Asiakkaiden tarpeet ja kysyntä saattaa vaihdella. Vaihtelu voidaan luokitella stabiiliin eli ennustettavaan ja epästabiiliin (ei-ennustettavaan) vaihteluun (Vaihtelu ja PDCA 2020).

Sir John Kingman esitteli vaihtelun, resurssitehokkuuden ja läpimenoajan yhteyden 1960-luvulla (kaava 3)

$$L_t = \left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left(\frac{u}{1-u} \right) t_0 \quad (3)$$

Jossa L_t on läpimenoaika, c_a on kysynnän vaihtelu, c_e on prosessien sisäinen vaihtelu, u on käyttöaste ja t_0 on prosessin keskimääräinen raaka prosessiaika.

Kuvio 3 havainnollistaa Kingmanin kaavaa. Kuvaajasta voidaan lukea, että sisäisen vaihtelun kasvaminen kasvattaa läpimenoaikaa jo paljon pienemmällä resurssien käyttöasteella. Kuvaajan avulla nähdään, että vaihtelua vähentämällä lyhennetään myös läpimenoaikoja. Vaihtelua voidaan hallita käytännössä pienentämällä vaihtelua tai lisäämällä kapasiteetti-, varasto-, tai aikabuffereita (Piirainen 2018).



KUVIO 3. Kingmanin kaava (Ojansuu 2017)

2.6 JIT – Just in Time

Valmistuksen ohjaamiseen voidaan käyttää erilaisia ohjaustapoja. JIT (Just-in-time), juuri oikeaan aikaan valmistus on peräisin 1960-luvulta. JIT-valmistus on keskeinen pilari japanilaisten valmistajien toiminnassa, jota myös länsimaiset yritykset ovat sittemmin omaksuneet omaan toimintaansa (Sohal, Ramsay & Samson 1993, 22). Tuotantostrategiana JIT-tuotannolla saavutetaan pienemmät valmistuskustannukset, parempi laatu ja resurssien tehokkaampi hyödyntäminen. Sohal ym. (1993) mukaan JIT-implementoinnin keskeisiä elementtejä ovat pienet eräkoot, asetusajkojen väheneminen, soluvalmistus, monitaitoiset työntekijät, imuohjattu tuotanto sekä materiaalien osto että toimitus juuri oikeaan aikaan.

JIT-metodologian implementoinnin on katsottu parantavan huomattavasti enemmän valmistuksen nopeutta kuten läpimeno- ja prosessiaikoja, kuin valmistuksen laatua (Belekoukias, Garza-Reyes & Kumar 2014, 5346–5366).

2.7 Imu- ja työntöohjaus

Tuotannon imuohjaus perustuu JIT-filosofiaan. Imuohjauksen taustalla on lean-filosofian perusajatus varastojen aiheuttamista kustannuksista ja niiden taipumuksesta piilottaa prosessin ongelmia. Imuohjaus on tuotannonohjausmenetelmä, joka perustuu asiakastarpeen tahtiin. Siinä varastojen määriä ja kesken-eräisen tuotannon määrää rajoitetaan. Materiaalien siirtely tai tuotteiden valmistaminen tapahtuu ainoastaan, mikäli prosessin seuraava vaihe pyytää sitä. (Prosessien kehittäminen n.d.)

Tyypillinen esimerkki imuohjauksesta on Toyotan luoma kanban-järjestelmä tilanteisiin, joissa yksiosaisen virtauksen prosessi ei ole mahdollista. Järjestelmässä käytetään manuaalisia ilmaisimia, kanban-kortteja. Kortti antaa signaalin operaatioille, kuten tavarantoimitukseen, valmistamiseen tai uuden materiaalin tilaamiseen. Esimerkiksi kokoonpanossa työntekijät voivat käyttää materiaaleja hyllystä ja sijoittaa kanban-kortin hyllyn päällä sijaitsevaan postilaatikoon. Materiaalikerääjä hakee kierroksellaan kortin ja täydentää hyllystä otetut materiaalit. Näin prosessi toimii imuohjautuvasti välittömään tarpeeseen. Likerin (2004, 110) mukaan kanban on ennemminkin puskurivarastojen organisointijärjestelmä ja siten asia, josta on pyrittävä mahdollisuuksien mukaan eroon. Parhaimmillaan imuohjaus toteutetaan imuvaraston avulla, joka sisältää kaikki tuotteen osat. Kun kokoonpano hakee osia varastosta, toimii se impulssina täyttää varasto uudella osalla. Imuohjauksen edellytys on tuotteen riittävä vakioisuus. Jokaiselle variantille on löydettävä osat, joten laajalla tuotevarianssilla varaston koko saattaa kasvaa kohtuuttoman suureksi. (Lapinleimu 1997, 222–223.)

Työntöohjaus tarkoittaa ohjaustapaa, jossa asiakkaan tarve tai sen hetkinen tuotantotilanne ei ohjaa toimintaa, vaan toiminnot perustuvat ennakoon tehtyyn tuotantosuunnitelmaan. Tyypillinen työntöohjausjärjestelmä pohjautuu ennustetta

vasten tehtävään tarvelaskentaan, siihen tarkoitettulla MRP (Material Resource Planning) järjestelmällä, joka on usein vakiopiirre toiminnanohjausjärjestelmissä. MRP-järjestelmissä tarvelaskennan suorittaa algoritmi, jolla lasketaan lopputuotteen valmistamiseksi tarvittavat materiaalit hyödyntäen ennustetietoa, varastotasoja ja tuoterakenteita (Logistiikan maailma, n.d). Työntöohjausta tarvitaan etenkin, kun materiaalien hankinta-ajat ovat erityisen pitkiä. Harva yritys toimii puhtaasti imu- tai työntöohjautuvasti, vaan menetelmiä on käytännössä yhdisteltävä vallitseviin olosuhteisiin sopivaksi (Logistiikan maailma, n.d). Tapauksissa, joissa virheet ennusteissa ovat suurempia kuin kysyntä, on imuohjauksen hyödyntäminen tehokkainta. Ennusteen vaihtelun jäädessä kysynnän vaihtelua pienemmäksi, on työntöohjauksen käyttäminen tehokkainta. Molemmat menetelmät yhdistäviä hybridiohjausjärjestelmiä voidaan myös käyttää, jolloin on mahdollista saavuttaa korkeatasoinen tehokkuus. (Hirakawa, Hoshino & Katayama 1992, 69–81.)

2.8 Six Sigma

Sigma (σ) on kreikkalainen kirjain, jota tilastomatematiikassa käytetään keskihajonnan kuvaamiseen. Keskihajonta kertoo vaihtelun määrän joukossa ja kuvaa, kuinka kaukana mittaustulokset ovat keskiarvosta. (Karjalainen 2002, 18.)

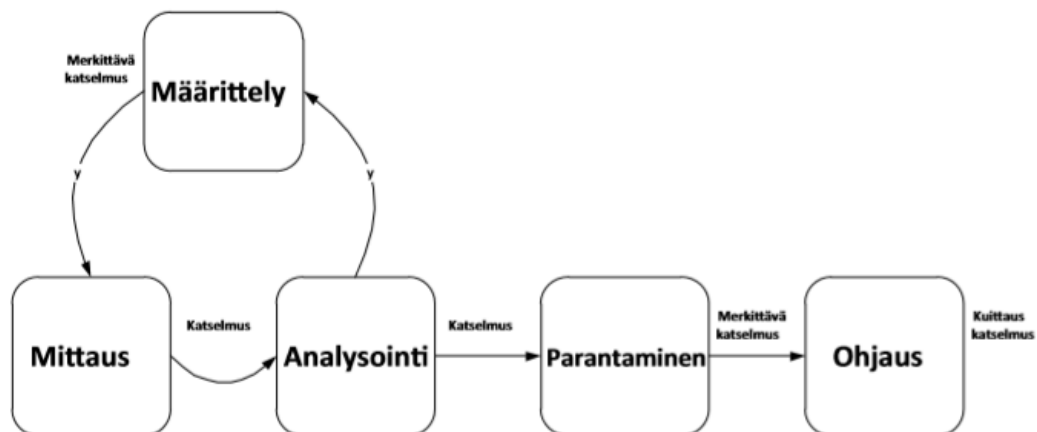
Six Sigma on kokonaisvaltainen johtamis- ja laatumenetelmä, jolla saavutetaan parantunut liiketoimintaprosessi ja asiakastyytyväisyys. Six Sigma tarjoaa joukon testattuja menetelmiä ja tekniikoita, joilla systemaattisesti pyritään nollavirheeseen prosessissa. (Karjalainen 2002.)

Six Sigman ydinajatus on kehittää prosessien suorituskykyä. Tarkoituksena on tilastollisin menetelmin vähentää vaihtelua prosessissa ja pyrkiä nollavirheeseen. Vaihtelua vähennetään tutkimalla prosessin kausaalisuhteita ja tekemällä muutoksia lopputuotteeseen vaikuttaviin muuttujiin. (Karjalainen 2002.)

2.9 DMAIC-ongelmanratkaisumalli

DMAIC on datalähtöinen kehittämismenetelmä, jota käytetään prosessien parantamiseen ja optimointiin. Menetelmä koostuu viidestä vaiheesta (kuvio 4), jotka johtavat ongelman tunnistamiseen ja prosessin parannukseen. Alunperin DMAIC-menetelmä kehitettiin vaihtelun vähentämiseksi ja se on toiminut Six Sigma -projekteja ohjaavana säännöstönä. Nykyisin sitä sovelletaan yleisenä ongelmanratkaisu- ja kehittämismenetelmänä. (Geng 2016.)

DMAIC-menetelmästä on laadittu kaksiosainen kansainvälinen standardi ISO 13053, jonka ensimmäinen osa käsittelee itse menetelmää. Toinen osa käsittelee työkaluja ja tekniikoita, joita sovelletaan menetelmän kussakin vaiheessa. Tässä työssä DMAIC-menetelmää käytettiin kehittämisprojektissa tehtävän projektikehityksen pohjana sen tarjoaman systemaattisuuden vuoksi.



KUVIO 4. Esimerkki DMAIC-järjestyksestä (ISO 13053-1 2014, 44)

Määrittely – Define

Määrittelyvaihe on ensimmäinen vaihe parannusprosessissa. Määrittelyjakson tavoitteena on tunnistaa eri sidosryhmien vaatimukset ja asiakkaan sekä kolmansien osapuolten vaatimukset. Määrittelyjakson aikana määritetään prosessin ongelma, kuvaillaan prosessi ja valitaan projektiryhmä. (ISO 13053-2 2014, 20.)

Mittaus – Measure

Mittausvaiheen tarkoituksena on todeta ja vahvistaa prosessissa oleva ongelma. Ongelman todentaminen tapahtuu keräämällä tietoa itse ongelmasta tai sen

mahdollisuudesta. Mittausvaihe aloittaa juurisyiden etsimisen ongelman korjaamiseksi. (Karjalainen 2002, 47.) Mittausjakson tuloksena voivat olla esimerkiksi mittarit laadun kannalta kriittisiin ominaisuuksiin (CTQC), tiedonkeruusuunnitelma, erinäiset histogrammit, ohjauskortit ja suorituskyykyanalyysit nykytilan kuvaamiseksi (ISO13053-1 2014, 46).

Analysointi – Analyze

Analysointivaiheessa tarkoitus on löytää puutteet asetettujen tavoitteiden ja suorituskyyvyn nykytason välillä. Tavoitteena on löytää vaihtelun ydinsyyt ja priorisoida parannusmahdollisuudet. Analysointivaiheen tulokset saattavat muuttaa aiempaa käsitystä ongelmasta ja johtaa projektin uudelleenmäärittelyyn. Analysointijakson tuloksia voivat olla esimerkiksi syy-seurauskuvaajat, prosessin vika-vaikutusanalyysit, regressioanalyysit ja luettelo merkitsevistä prosessin sisääntulomuuttujista. (ISO13053-1 2014, 48.) Analyysivaiheen tuloksena saadaan oletamus, mistä ongelmat johtuivat. Tämä oletamus tulee vahvistaa datalla tai suorittamalla kokeita (Karjalainen 2002, 51).

Parantaminen – Improve

Parannusvaiheessa sovelletaan ja kokeillaan ratkaisuja, joihin mahdolliset ydinsyyt viittasivat projektin aiemmissa vaiheissa. Parantamiskakson aikana tunnistetaan ja poistetaan esteet, jotka estävät ratkaisujen toteuttamisen (ISO13053-1 2014, 48).

Ohjaus - Control

Ohjausvaihe on parannusprosessin viimeinen vaihe. Sen tarkoituksena on arvioida tehtyjä ratkaisuja ja luoda suunnitelma tuloksien ylläpitämiseksi. (Karjalainen 2002, 53.)

3 KOKOONPANO

3.1 Kokoonpano

Kokoonpano tarkoittaa osien ja standardikomponenttien liittämistä toisiinsa kokonaiseksi tuotteeksi tai sen osaksi. Osat ja komponentit voivat olla valmistavalla tehtaalla itse valmistettuja tai muualta hankittuja. Yleisesti kokoonpanotehtaat pyrkivät hankkimaan kokoonpantavat osat ulkoisilta toimittajilta. Kokoonpanosta puhutaan, kun sitä tehdään valmistavalla tehtaalla. Kokoonpanotyön tapahtuessa asiakkaan luona puhutaan asennuksesta. Kokoonpanotyö sisältää usein kappaleiden käsittelyä, siirtämistä paikasta toiseen, liittämistä, varastointia, sovittamista ja tarkastamista. Käytännössä vain osien toisiinsa liittäminen on arvoa tuottavaa toimintaa. Kaikki muu työ ei ole leanin mukaisesti arvoa lisäävää, mutta ovat kuitenkin työn kannalta välttämättömiä aputoimintoja. Niiden osuus kuitenkin pyritään pitämään mahdollisimman vähäisenä. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 111–112.)

Kokoonpano voidaan toteuttaa paikkakokoonpanona tai linjakokoonpanona. Kokoonpanoa tehdessä paikkakokoonpanona työn suorittaa yksi henkilö tai työryhmä. Paikkakokoonpano soveltuu parhaiten yksittäis- ja pienerätuotantoon. Kokoonpanolinja voi toimia kahdella tavalla (Lapinleimu ym. 1997, 111–112):

1. Henkilöstön työ on jaettu vaiheisiin. Soveltuu suuriin kappale-eriin ja massatuotantoon.
2. Henkilöstö toimii ryhmänä ja vastaa kokoonpanon laadusta ja työn etenemisestä. Ryhmä kulkee tuotteen mukana ja suorittaa jokaisen kokoonpanovaiheen. Linja koostuu asemista, joissa voi olla niille kohdistettuja työkaluja ja materiaaleja. Soveltuu erätuotantoon.

3.2 Solutuotanto

Tuotantosolukseksi kutsutaan itsenäisesti toimivaa valmistusyksikköä, jonka tarkoituksena on valmistaa määrättyä osakokonaisuutta tai tuoteperhettä. Soluissa yksittäiset työvaiheet yhdistyvät yhdeksi vaiheeksi, jota ohjataan yhdellä impulssilla.

Solut tekevät suuren osan niiden toimintaan liittyvistä tehtävistä, mikä mahdollistaa kevyempien ympärysorganisaatioiden käytön. Jotta solu olisi oma itsenäinen yksikkönsä, on sillä oltava oma tuotantoalue, oma tuotantokalusto, omat nosto- ja siirtolaitteet sekä oma henkilöstö (Lapinleimu ym. 1997, 85.)

3.3 Osakokoonpano

Osakokoonpano eli moduuli on lopputuotteen rakenteesta itsenäisesti kokoonpantava kokonaisuus. Moduuleja voidaan käsitellä rakennuspalikoina, jotka liittyvät rajapintojensa kautta toisiinsa. Rajapinnat voivat olla esimerkiksi niveliä, yhteyttä, sovitteita tai laippoja. Modulaarinen tuotejako on tärkeää etenkin suurempien tuotekokonaisuuksien kokoonpanon vaiheistamisessa. Moduulit muodostavat toiminnallisia kokonaisuuksia ja sopivaa moduulijakoa mietittäessä on hyvä etsiä toiminnallisia kokonaisuuksia. (Harju 1999.)

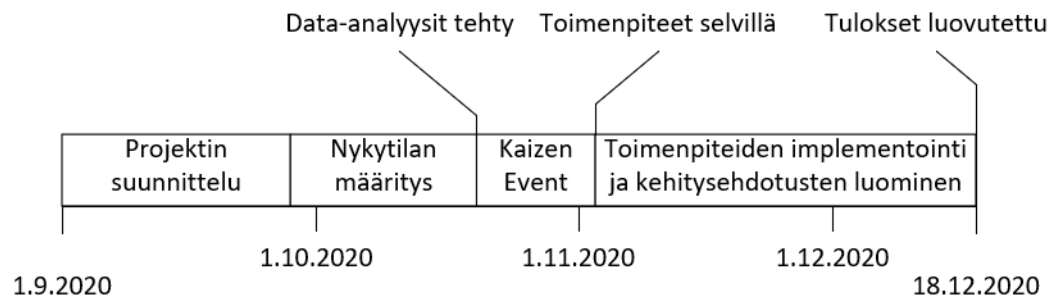
4 EMPIIRINEN OSA

4.1 Kehittämisprojektin läpivienti

Kehittämisprojekti sisäisen toimitusvarmuuden kehittämiseksi aloitettiin keväällä 2020 tehtyjen esiselvitysten myötä. Esiselvityksissä huonoiten suoriutunut prosessivaihe valittiin projektin kohteeksi. Prosessi toimi lähtökohtaisesti hyvin, mutta kehitystarve nähtiin tiukempien strategisten tavoitteiden myötä.

Kohdeyrityksessä oli juuri otettu käyttöön uusi stage-gate-projektimalli. Tämän kaltaisessa projektimallissa prosessin eteneminen on jaettu vaiheisiin. Vaiheiden välillä on portteja, joissa tarkoituksena on päättää projektin kelpoisuus seuraavaan vaiheeseen etenemiseksi. Porttipäätökset tekevät projektille asetettu ohjausryhmä. Päätösten on oltava yksimielisiä, jotta voidaan edetä seuraavaan vaiheeseen. Päätös voi olla myös ehdollinen, jolloin ehdon täytyttyä voidaan jatkaa eteenpäin. Jokaiselle projektille määritetään projektin omistaja, päällikkö ja valmentaja.

Projektin alussa laadittiin projektin asettamisasiakirja, johon sisältyi projektin rajaukset, tavoite, riskien arviointi, aikataulu (kuvio 5), kommunikointisuunnitelma sekä projektitiimin että ohjausryhmän määrittely. Projektitiimiin katsottiin kuuluvaksi tärkeimpien sidosryhmien edustajat, kuten kehittämisprojektin kohteena olevasta alueesta vastaava kehitysinsinööri, laadunohjaaja ja työnjohtaja. Lisäksi projektitiimiin kuului kohdealueen asentaja sekä asentaja asiakasvaiheelta. Projektin toteutus alkoi projektisuunnitelman luomisella. Kehittämisprojektin sisältö ja aikataulunpito tehtiin Microsoft Project -ohjelmistolla. Projektin edistymää seurattiin viikoittaisilla palavereilla määrättyjen ohjausryhmän jäsenten kanssa, jotta tavoitteissa pysyttäisiin ja johdon apua olisi saatavilla päätöksentekoon. Projektin edistymää esiteltiin kuukausittain yhdessä muiden projektipäälliköiden projektien kanssa. Esittelyjen tarkoitus oli herättää projektipäälliköille ajatuksia mahdollisista tulokulmista ja tuoda läpinäkyvyyttä organisaatioon. Näin vältetään, ettei päällekkäistä työtä tehdä eri kehitysprojektien kesken.



KUVIO 5. Projektin aikataulu

4.2 Kohteen esittely

Kohdeyritys valmistaa tuotteita pääosin vain asiakkaan tilauksesta. Joskus omia valmistuspäätöksiä tehdään, mikäli kaupan uskotaan toteutuvan myöhemmin. Tällä pyritään etenkin tuotannon tasaiseen kuormitukseen. Valmistettavat tuotteet ovat sisällöltään hyvin vaihtelevia, joka aiheuttaa suurta vaihtelua vaihe aikoihin. Asiakastilauksien määrää ja sisältöä pyritään ennustamaan, jonka takia voidaan puhua työntöohjautuvasta tuotannosta. Imuohjauksen sovelluksia tuotannosta kuitenkin löytyy, kuten kulutustarvikkeiden täydennys kaksilaatikkojärjestelmällä.

Kohdeyritys on kokoonpanotehdas, jolloin osien valmistus on ulkoistettu alihankkijoille. Tuotteiden valmistus on jaettu eri vaiheisiin, jotka ovat esimerkiksi osakokoonpano, ohjaamokokoonpano ja loppukokoonpanovaihe. Tässä työssä keskitytään ohjaamokokoonpanoihin, joka on yksi lopputuotteen moduuleista. Modulaarinen tuoterakenne mahdollistaa rinnakkaisen kokoonpanon, joten moduulien valmistamisajankohta voidaan ajoittaa tarpeeseen nähden. Tämä tarkoittaa sitä, että osa moduuleista valmistetaan vasta loppukokoonpanovaiheen aikana ja ne valmistuvat vain vähän ennen odotettua asentamisajankohtaa.

Kohdeyrityksessä moduulit ja osakokoonpanot tehdään kokoonpanosoluissa. Solut koostuvat tiimeistä, joista löytyy laajaa osaamista sekä mekaniikka- että sähköasennuksiin. Moduulien ja osakokoonpanojen valmistus monitaitoisissa soluissa mukailee huomattavan paljon teoriassa mainittuja JIT-tuotannon elementtejä.

Kohdeyrityksessä tilaus-toimitus ketjua ohjataan ERP (Enterprise Resource Planning) järjestelmällä. Materiaalien ohjaus tapahtuu nimiketasolla tehtävällä tarvelaskennalla. Ostettavat materiaalit ovat pääosin tilaus- ja varasto-ohjattuja. Joitain harvemmin tilattavia nimikkeitä, kuten johdinkeloja tilataan kanban-korttien avulla, jolloin nimikkeen tarpeesta ilmoitetaan suoraan tilauksista vastaavalle ostajalle.

Yrityksen tietojärjestelmistä kerätään dataa, jota kohdeyrityksessä pyritään hyödyntämään päivittäisessä päätöksenteossa Microsoft Power BI -ohjelmiston avulla tehdyillä KPI (Key Performance Indicator) mittareilla.

Tuotannossa ollaan siirtymässä MES-järjestelmään. MES (Manufacturing Execution System) on käytössä ainoastaan loppukokoonpanoissa, mutta lähitulevaisuudessa se käyttöön otetaan myös moduulikokoonpanoissa. Järjestelmä vähentää työntekijän tarvetta käyttää useita eri järjestelmiä töissään, yhdistäen kaikki tarvittavat toiminnot saman käyttöliittymän ympärille. MES-käyttöliittymä tuo asentajalle reaaliaikaisesti kussakin työn vaiheessa tarvittavan tiedon käyttöön. Asentaja näkee järjestelmästä tuotespesifikaation, työn suorittamiseksi vaadittavat tehtävät, sekä dokumentit, kuten työkuvat ja työohjeet. Operatiivisen toiminnan helpottamisen lisäksi MES tuottaa työvaiheista informaatiota, jota voidaan hyödyntää päätöksenteossa, päivittäisessä johtamisessa ja jatkuvassa parantamisessa. Ohjaamosoluun tämä järjestelmä on tulossa vasta tulevaisuudessa, joten kehitystyötä tehdessä tärkeää oli tunnistaa asiat, jotka tuleva MES-järjestelmä korjaa. Näin voitiin keskittyä asioihin, joita toinen järjestelmä ei tule korvaamaan lähitulevaisuudessa.

4.3 Tuotannonsuunnittelu kohdeyrityksessä

Tuotannonsuunnittelun tavoitteena on ohjata materiaalien ja kapasiteettien käyttöä asiakastarpeeseen pohjaten (Logistiikan maailma, n.d). Kohdeyrityksessä tuotantosuunnitelma ulottuu 18kk päähän. Tuotantosuunnitelma on jäädytetty kuuden kuukauden päähän, mikä tarkoittaa, että isompia muutoksia ohjelmaan ei enää voida tehdä tämän ikkunan sisällä. Kuudesta kuukaudesta eteenpäin tuo-

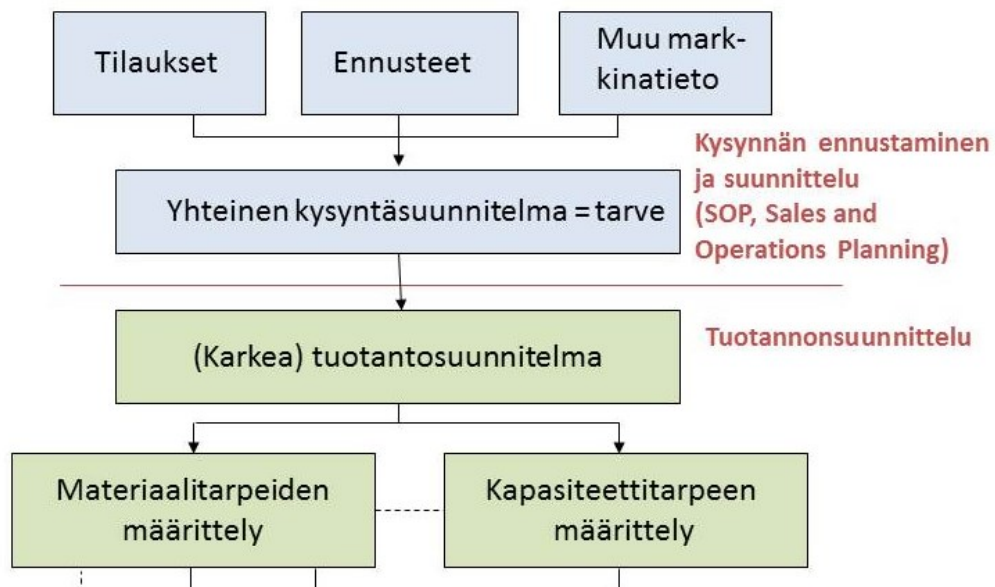
tuotantosuunnitelmaan on sijoitettu kysyntäsuunnitelman mukaiset työt. Kysyntäsuunnitelma tehdään yhteistyössä myyntiosaston kanssa, jotta markkinatarpeisiin voidaan vastata paremmalla tarkkuudella. Tästä prosessista käytetään termiä Sales and Operations Planning (S&OP) tai lyhemmin SOP-prosessi. Kysyntäsuunnitelmaan tarvittava tieto koostuu tilauksista, ennustetiedosta, käynnissä olevista tarjouksista ja aluepäälliköiltä saadusta markkinatiedosta. Kohdeyrityksessä aluepäälliköt toimittavat alueellisesti tietoa arvioidusta kysynnän tasosta tuotemalleittain.

Tuotantosuunnitelma tehdään ensin karkealla tasolla ajoittamalla työt kuukausittain yhdeksän kuukautta eteenpäin loppukokoonpanovaiheiden mukaisesti. Kohdeyrityksessä karkean tason tuotantosuunnitelmaa tehdessä arvioidaan loppukokoonpanoon tarvittavat resurssit ja kapasiteetti. Karkean tason tuotantosuunnitelman perusteella lasketaan materiaalitardeet huomioiden materiaalitilaukset ja varastossa olevat nimikkeet.

Karkean tason tuotantosuunnitelman pohjalta moduulien tuotannonsuunnittelija ajoittaa viisi kuukautta eteenpäin jokaisen työn moduulien valmistuksen varmistuen niiden tekemiseen vaadittavat resurssit ja kapasiteetin. Tästä vaiheesta puhutaan hienokuormituksen tekemisenä. Mikäli tuotannonsuunnittelija katsoo, ettei työn suorittamiselle ole sen vaatimia resursseja, voidaan työ siirtää esimerkiksi alihankkijalle tehtäväksi.

Työnjohto tekee tuotannon hienosuunnittelua vielä 4 viikon sisällä. Ihannetilanteessa tuotantosuunnitelmaan ei tarvitsisi enää tässä vaiheessa tehdä muutoksia, mutta nykytilassa viimehetken muutoksia joudutaan tekemään. Muutoksia tuotantosuunnitelmaan aiheuttaa kaikki vaihtelu tuotannossa, kuten edellisten vaiheiden myöhästyminen, osapuutteet ja työntekijöiden äkilliset poissaolot. Lisäksi myöhäiset asiakasmuutokset aiheuttavat viimehetken muutoksia. Tuotantosuunnitelmaan tehtävien muutosten vähentämisessä sisäisen toimitusvarmuuden merkitys nousee suureen asemaan. Mikäli edelliset tuotantovaiheet ovat epäonnistuneet tuotantosuunnitelman täytäntöönpanossa, joudutaan tekemään muutoksia tuotanto-ohjelmaan ja työt alkavat valmiiksi myöhässä. Mikäli läpimeinoajat pidentyvät yllättäen kesken kokoonpanoprosessin, aiheuttaa se häiriötä ja

uusintatyötä tuotantosuunnitelmaan. Tuotannonsuunnittelun pääkohdat esitettyinä kuviossa 6.



KUVIO 6. Tuotannonsuunnittelun pääkohdat (Logistiikan maailma, muokattu)

4.4 Kokoonpanoprosessin kuvaus

Työtä tehdään kokoonpanosolussa, joka toimii kaksivuorojärjestelmän mukaisesti. Solussa on kokoonpanopaikat ohjaamoille, sekä erilliset pöydät osakokoonpanojen tekemistä varten. Solussa toimii tiimi työntekijöitä, joista yksi on solukoordinaattori. Solukoordinaattori on kyseisestä tuotantoyksiköstä vastaava asiantuntija. Solukoordinaattorin tehtäviin kuuluu muiden asiantuntijien työn helpottaminen ja muiden työhön liittyvien asioiden hoitaminen. Solukoordinaattori voi tehdä esimerkiksi selvitystyötä puuttuvista materiaaleista, tehdä ilmoituksia laatu- ja kulumisasioista ja organisoida materiaalien kulkua solun sisällä. Solukoordinaattori on yleisesti parhaiten tietoinen solun tuotannollisista ja laadullisista asioista, joten hän toimii pääasiallisena rajapintana laadunohjauksen ja työnjohdon suuntaan.

Valmistettavia ohjaamomalleja on useita, joiden läpimenoaika ja volyymi vaihtelevat huomattavasti. Solussa valmistetaan harvemmin myös tuotannollistamisvaiheessa olevia ohjaamomalleja, joiden kokoonpanon aikana ilmenee enemmän

haasteita kuin vakiintuneemmissa malleissa. Tämän seurauksena ajoittain keskeneräinen tuotanto kasvaa.

Ohjaamon kokoonpanoa tekee keskimäärin kaksi työntekijää. Työjako työntekijöiden välillä vaihtelee tilanteen mukaan. Joko toinen asentajista toimii ohjaamon ulkopuolella ja toinen sisäpuolella. Toinen tekee osakokoonpanoja erillisellä kokoonpanopöydällä toisen asentaessa niitä ohjaamoon. Virtausyksikön kannalta prosessi alkaa kaksi päivää ennen kokoonpanovaiheen alkua työnjohtajan tilatessa ohjaamoaihion eri osoitteessa sijaitsevasta varastosta. Tilaushetken mukaan ohjaamoaihio odottaa 1–2 päivää tehtaan varastossa ennen kokoonpanon alkua. Kokoonpanotyön alkaessa ohjaamo tilataan ERP:n kautta tehtävällä siirtopyynnöllä kokoonpanosoluun. Siirtopyynnot näkyvät listauksena trukkeilla, joita he toteuttavat järjestyksessä niiden vastaanottoajan ja kriittisyyden mukaisesti. Logistiikka toimittaa materiaalit soluun keräilylavoilla, jotka on kerätty ERP-järjestelmään generoidun keräilylistan mukaisesti. Pääosin tehtaalla käytetään kiinteää keräilypäivää, jolloin materiaalit keräillään noin 2 päivää ennen vaiheen alkua. Ohjaamo-aihion saapuessa soluun siihen vaihdetaan kohdeyrityksen omat nostolenkit ja se nostetaan omalle alustalleen, jonka päällä kokoonpanotyö tehdään. Alustoja on rajallinen määrä, joten ne toimitetaan siirtopyyntöjen välityksellä soluun, kun niitä tarvitaan. Tässä vaiheessa työ merkitään toiminnanohjausjärjestelmään aloitetuksi. Ohjaamon ollessa valmiina kokoonpanoon asennetaan siihen ensimmäisenä kuminen suojamatto lattialle. Tämän jälkeen kokoonpanoprosessi noudattaa taulukon 1 vaiheita. Kokoonpanon valmistuttua ohjaamolle tehdään visuaaliset tarkastukset, jotka perustuvat vakioituun tarkastuslistaan. Visuaalisissa tarkastuksissa varmistutaan, että valmis kokoonpano vastaa sille asetettuja laatuvaatimuksia. Visuaalisten tarkastusten jälkeen ohjaamo siirretään lähtevien ruutuun, kuitataan kokoonpano valmiiksi toiminnanohjausjärjestelmään ja siivotaan kokoonpanoruudun ympäristö.

TAULUKKO 1. Esimerkki ohjaamon standarditöistä

ID	Perustyöt
1	Ohjaamon tilaaminen, työn aloitus ERP:issä, vaihtaminen alustalle ja nosto kokoonpanoruutuun
2	Valaisimien kokoonpano ja asennus
3	Majakan asennus
4	Suojaverkon ja palautus.aut rasioiden kiinnityslevyn asennus
5	Mittaripaneelien kokoonpano, mittareiden, lämpömittarin, kilpien, suojaputken ja spiraalin asennus
6	Mittaripaneelien ja kahvojen asennus sekä kytkentä ohjaamoon
7	Läpivientilevyn kokoonpano ja asennus, kierteiden tulppaus
8	Tasavirtamuuntimien, 12 ja 24V pistorasioiden, radion, sammutusjärjestelmän telineen ja kallistusmittareiden asennus
9	Merkkivalopaneelin ja SW-kytkimien asennus
10	Pistorasian kytkentä
11	Pohjaläpivientien eristys ja asennus
12	Ilmastointilaitteen asennus: Kylmäaineletkut, ilmaletkut, kytkentä, suojakansien varustelu ja asennus
13	Kiinnitystelineiden asennus ratille ja ajopaneelille
14	Ajopaneelin varustelu ja asennus
15	Ratin kokoonpano, asennus ohjaamoon
16	Hydrauliohjauskeskusten asennus
17	Säilytyslaatikon ja sammutintelineen asennus
18	Lattian reikien tulppaus, kilven asennus
19	Ohjaamon testaus ja tarkastus
20	Ohjaamon nosto ruudusta ja kokoonpanoruudun siivous

4.5 Prosessin nykytilan karakterisointi

Prosessin kehittäminen on pohjattava faktoihin. Ilman faktapohjaista dataa ei prosessin analysointia ja parannusta voida tehdä. Prosessin karakterisointi aloitettiin tekemällä ylätasoinen arvovirtakartoitus, johon kerättiin olennaisia tietoja nykytilan toiminnasta. Karakterisointivaiheen tarkoitus oli kuvata havaittua ongelmaa ja

löytää mahdollisia syyehdokkaita. Samalla tehty arvovirtakartta toimi lähtötietoina myöhemmälle Kaizen-työpajalle. Toiminnasta selvitettiin yleinen tehokkuus, prosessin läpimeno (throughput), toimitusvarmuuden taso, ja materiaalisaatavuus. Myös efektiivisen työajan määrä laskettiin.

Tehokkuudella tarkoitetaan solussa tehtävien töiden tekemiseksi toteutuneiden tuntien suhdetta niihin suunniteltuihin tunteihin. Kohdeyrityksessä työntekijöiden työtunnit kohdistuvat työajanseurantajärjestelmään työnumeroille, jolloin tuota dataa voidaan hyödyntää tehokkuuden määrittelyyn. Olemassa olevasta mittarista selvisi nykyinen tehokkuuden taso, joka osoitti toiminnassa olevan kehityspotentiaalin. Tavoitetehtokkuus on kohdeyrityksessä 95 %. 100 % tehokkuutta ei voida ikinä tavoitella, sillä kapasiteetissa on oltava varaa prosessin luonnolliselle vaihtelulle.

Viikoittainen kysynnän eli prosessin läpimenon taso saatiin ryhmittämällä ERP-data toteutuneista valmistumisista viikkotasolle ja luomalla siitä histogrammi Minitab-ohjelmistolla. Läpimenon määrittäminen auttaa kapasiteetin ja kustannuksien laskennassa. Sen avulla voidaan myös arvioida prosessin tehokkuutta ja läpimenoaikoja.

Tästä kohdasta on poistettu materiaalia salassapitosyistä. Histogrammista selviää valmistuneiden ohjaamojen määrä, keskiarvo kuluvan vuoden viikoittaisista valmistumisista ja niiden tyyppi-arvo.

KUVIO 7. Histogrammi valmistuneiden töiden jakautumisesta

Tehokas työaika laskettiin vähentämällä täydestä työpäivästä lakisääteiset tauot, jokaisen vuoron alussa pidettävät ToolBox-keskustelut, joissa keskitytään laatu- ja turvallisuusasioihin tai yleisiin ajankohtaisiin aiheisiin. Lisäksi käytettiin keskiarvoa viikoittain valmistuvista ohjaamoista, jonka kautta saatiin keskiarvo viikossa kuluvaan siivousaikaan. Lopputuloksena saatiin noin 405 minuuttia käytössä olevaa työaikaa työvuorossa, jonka avulla laskettiin yhden ohjaamon tahtiaika. Tahtiaika lasketaan jakamalla saatavilla oleva tuotantoaika tilattujen tuotteiden lukumäärällä. Tahtiaika ei itsessään kerro vielä mitään, sillä se ei ota huomioon yllättäviä prosessin alhaalla oloaikoja. Tahtiaikaa voidaan kuitenkin käyttää tavoiteaikana, johon pyrkii prosessin läpimenon tasoittamisessa. Näin voidaan tunnistaa prosessissa olevia ongelmia, mikäli tavoiteaikaan ei päästä.

Tunnuslukujen jälkeen selvitettiin informaation kulkeminen prosessissa. Miten tuotantosuunnitelma muodostuu ohjaamokokoonpanoille, kuka siitä vastaa eri prosessin vaiheissa, miten ohjaamoaihiot tilataan, kuka niitä toimittaa ja minkälaiset ovat varastointikäytännöt. Kaikki tulokset näkyvät kuvion 8 valmiissa arvovirtakartoituksessa.

pysyy todenmukaisena. Tunnit kirjautuvat työnumeroille, joita työntekijät tekevät, näin työhön kuluneet tunnit kuvaavat työn suorittamiseksi mennyttä työaika.

Nykytilassa tuotantosuunnitelman hienokuormitus pohjautuu keskiarvoihin, joten solussa tehtävät työt voidaan ryhmitellä suunnitellun kuorman mukaisesti. Volyymin perusteella nähtiin kaksi pääryhmää, A- ja B-työt. Solussa valmistetaan pääosin 1. ja 2. sukupolven ohjaamoja. Standardityöt vanhemman sukupolven eri laitemallien välillä todettiin samoiksi, kuten uudemman sukupolven eri laitemallien välillä. Valtaosa A-töistä on vanhemman sukupolven ohjaamoja, B-työt ovat uudemman sukupolven ohjaamoja. Dataa muokattiin siten, että jako suunnitellun kuormituksen ja kokoonpantavuuden mukaan oli selkeä. Tämän jälkeen luotiin laatikko-jana kuviot 9 ja 10 läpimenoaikojen jakaumien vertailuun, lisäksi nykyisiä tavoitteita arvioitiin suhteessa toteumiin.

Tästä kohdasta on poistettu materiaalia salassapitosyistä. Kuviossa esitetään A- ja B-töiden läpimenoaikojen jakaumaa kokoonpanopäivissä. Kuviossa verrataan kahden ryhmän jakaumia ja siitä voidaan lukea töiden ala- ja yläkvartiilit sekä mediaanit. Kuviosta selviää, kuinka suuri osa töistä on valmistunut alkuperäisen vaiheajan mukaisesti.

KUVIO 9. Läpimenoajan jakautuminen päivinä

Tästä kohdasta on poistettu materiaalia salassapitosyistä. Kuviossa esitetään A- ja B-töiden läpimenoaikojen jakaumaa työnajanseurantajärjestelmään kirjautuneissa tunneissa. Kuviossa verrataan kahden ryhmän jakaumia ja siitä voidaan lukea töiden ala- ja yläkvartiilit sekä mediaanit.

KUVIO 10. Toteutuneiden työtuntien jakautuminen

Kummassakin ryhmässä on kohtalaisesti vaihtelua, mutta A-töissä vaihteluväli on pidempi. Kokonaisuudessaan ryhmät ovat melko lähellä toisiaan, joka kertoo siitä, että A-töiden arvioitu työmäärä voi olla epärealistisesti määritetty, tai niiden kokoonpanossa on ongelmia.

A-ryhmästä valittiin vielä tarkempaan tarkasteluun mallisarja, joka on ohjaamisolun yleisin ohjaamomalli. Myös muita mallisarjoja vertailtiin keskenään. Ohjaamomallin läpimenoaikojen tutkimiseen käytettiin I-MR (Individual Moving Range) kortteja, joita käytetään tilastolliseen prosessin ohjaukseen. I-korttia käytetään prosessin keskiarvon seuraamiseen ja MR-korttia prosessissa olevan vaihtelun määrittelyyn. Analyysiin valittiin kaikki mallisarjan työt, joihin kuormitetut tunnit olivat samalla vakiotasolla. Kuviossa 11 on I-MR-kortti toteutuneesta läpimenoajasta, sekä kuviossa 12 on I-MR-kortti toteutuneista työtunneista.

Tästä kohdasta on poistettu materiaalia salassapitosyistä. Kuviossa on tilastollinen ohjauskortti kokoonpanon kestosta, mistä selviää mallisarjan läpimenoajan vaihtelu ja keskiarvo. Kuviosta nähdään, ylittääkö yksikään havaintoarvo ohjausrajoja.

KUVIO 11. I-MR kortti toteutuneesta kestosta

Tästä kohdasta on poistettu materiaalia salassapitosyistä. Kuviossa on tilastollinen ohjauskortti työnajanseurantajärjestelmään kirjautuneista tunneista, mistä selviää kokoonpanoajan vaihtelu ja keskiarvo tunteina. Kuviosta nähdään, ylittääkö yksikään havaintoarvo ohjausrajoja.

KUVIO 12. I-MR kortti toteutuneista kuormitustunneista

Ensimmäisissä korteissa havaittiin erityisyyttä, joiden syyt todettiin yksittäistapauksiksi toiminnanohjausjärjestelmään kirjattujen lisätietojen pohjalta. Erityisyyden poistamisen jälkeen nähdään, ettei yksikään havainto ylitä ohjausrajoja, joten kokoonpanoprosessi voidaan todeta olevan ohjauksessa. Ohjauksessa olevaa prosessia voidaan kehittää, sillä prosessiin tehtyjä muutoksia voidaan seurata luotettavasti. Kuvioiden 11 ja 12 tulosten perusteella nykytilassa toteutuva keskiarvo ei vastaa prosessille asetettua tavoitetta.

4.5.2 Kuormitustason tutkiminen

Ennen projektin alkua tiedettiin, että kokoonpanosolu toimi jättämällä loppukeväästä syksyyn asti, jolloin jättämä saatiin kiinni ja sisäinen toimitusvarmuus kohosi reilusti. Tämän syytä haluttiin selvittää. Syy löytyi vertaillessa solun kuormitustasoa suhteessa jättämän kehitykseen. Kuviossa 13 kuluneen vuoden kuormitustasot. Maalis-kesäkuussa kuormitustasot olivat korkeat, jolloin jättämän osuus kasvoi. Tämän jälkeen kuormitus putosi, jonka aikana jättämä saatiin poistettua. Tämä on indikaattori, että solu ei nykytilassa välttämättä selviydy korkean kuormituksen tilanteista. Prosessiongelmien ja vaihtelu aiheuttavat tilanteen, jossa toteutunut kuormitus on suunniteltua korkeampi, minkä takia tuotantosolu jää jättämälle.

Tästä kohdasta on poistettu materiaalia salassapitosyistä. Kuviossa on kokoonpanosolun kuukausittaiset kuormitusprosentit pylväskaavion muodossa. Kuviosta nähdään kuormitustasojen kehittyminen, mitä voidaan verrata jättämisen kehitykseen.

KUVIO 13. Kokoonpanosolun kuormitustasot kuukausittain

4.5.3 Osapuutteen ja laatu poikkeamat

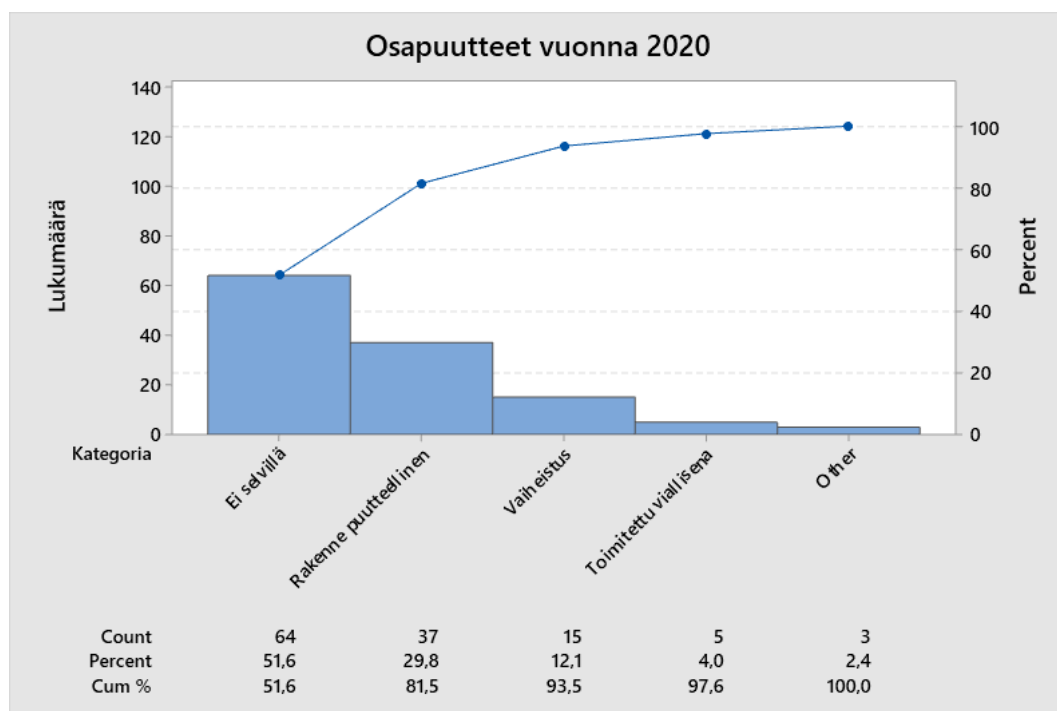
Kohdeyrityksessä on käytössä jatkuvan parantamisen järjestelmä, jonka kautta työntekijät voivat sähköisessä muodossa ilmoittaa laatu poikkeamista, kehitysehdotuksista ja osapuutteista. Kaikki ilmoitukset kerättiin yhteen Excel-taulukkoon, jonka jälkeen niiden sisältöä tutkittiin. Osapuutteista huomattiin, että ilmoituksia on mahdollista kategorisoida niiden arvioidun juurisyyn (taulukko 2) perusteella.

TAULUKKO 2. Osapuutteiden kategoriat

ID	Kategoria
0	Ei selvillä
1	Rakenne puutteellinen
2	Toimitettu viallisena
3	Keräilty väärälle vaiheelle
4	Hävinnyt keräilyssä

Luokitellun datan perusteella tehtiin juurisyys-analyysi Pareto-kaavion avulla (kuvio 14). Pareto-kaavio perustuu Pareton periaatteeseen, jonka mukaan ilmiössä 80 % seurauksista johtuu 20 % syistä. Tässä tapauksessa voidaan siis katsoa,

että 80 % ilmoitetuista osapuutteista johtui 20 % osapuutteiden syistä. Laatu-poikkeamia ei vastaavalla tasolla voitu kerätyn datan perusteella kategorisoida, joten niistä kaaviota ei tehty.



KUVIO 14. Pareto-diagrammi osapuutteista

Pareto-diagrammista selviää, että noin puolissa ilmoituksista osapuutteen arvioitu syntyperä ei ilmoituksen tietojen perusteella selviä. Suuren osan osapuutteista voidaan katsoa aiheuttaneen ongelmat valmistusrakenteissa ja keräilyjen vaiheistamisessa, jotka aiheuttivat noin 42 prosenttia osapuutteista. Ongelmat ovat olleet tiedossa aiemmin, mutta analyysin kautta tietoa saatiin vahvistettua.

4.6 Kaizen Työpajat

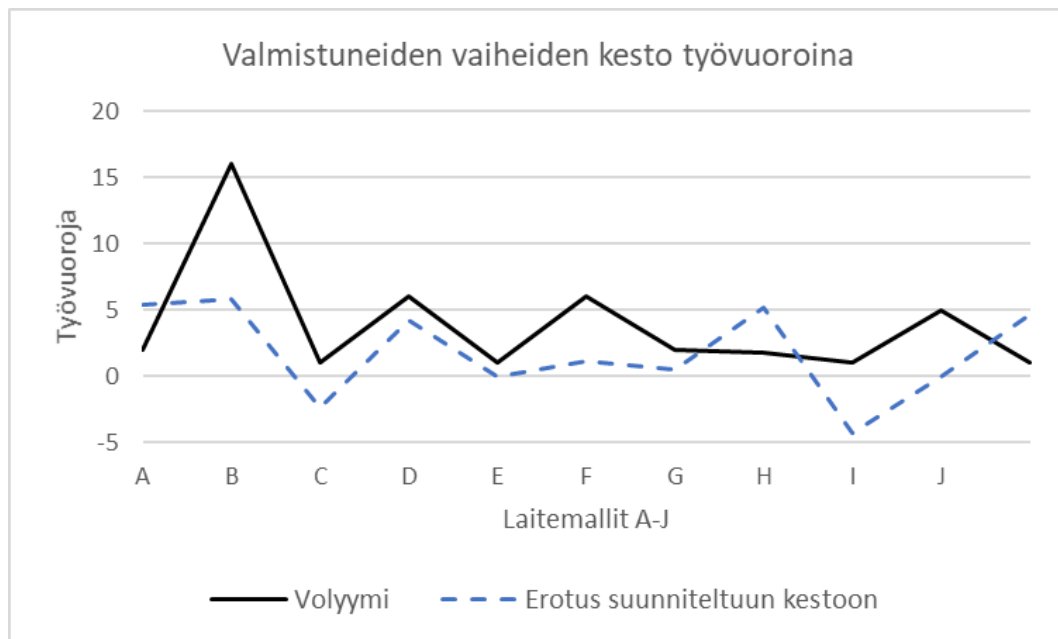
Ohjaamosoluun järjestettiin Kaizen-työpaja, jonka tarkoituksena oli kehittää sisäistä toimitusvarmuutta visualisoimalla virtausyksikön kulku koko arvoketjun läpi, tunnistuen valmistuksessa esiintyviä haasteita ja arvoa tuottamaton työ. Työpajan tarkoituksena oli myös osallistaa tekemiseen liittyvä henkilöstö kehittämiseen ja kokeilla organisaatiolle uutta tapaa kehittää toimintaa. Työpajan vetäjänä toimi palkattu lean-konsultti, joka toi materiaalit ja menetelmät työpajaan.

Työpajan tarkoituksena oli myös kouluttaa yrityksen omat kehitysinsinöörit fasilitaattoreiksi tulevaisuudessa järjestettäviin työpajoihin. Kaizen-työpaja koostui neljästä päivästä, johon osallistui ydinryhmän jäsenet. Ydinryhmään kuului ohjaamosolun työnjohtaja, kokoonpanosolun työntekijä, operatiivinen ostaja, logistiikan työnjohtaja, kaksi tuotannonkehitysinsinööriä, alueen laadunohjaaja ja moduulien tuotannonsuunnittelija. Ydinryhmään valittiin myös loppukokoonpanon asentaja, näin mahdollistettiin kommunikointi sisäisen asiakkaan kanssa.

4.6.1 Esivalmistelu

Ennen arvovirtakartoituksen tekemistä oli määritettävä systeemin alku- ja loppupisteet, kartoituksen kohteena oleva laitemalli ja valittava mittarit. Systeemin alkupiste katsottiin alkavan pisteestä, kun asiakasspesifikaatio on lopullisesti vahvistettu. Usein monet ongelmat juontuvat jo aiemmista prosessivaiheista, joten virtausta haluttiin tarkastella riittävän aikaisesta pisteestä lähtien. Systeemin loppupiste katsottiin olevan hetkessä, kun ohjaamo on asennettu loppukokoonpanossa ja sen toiminnot on lopullisesti tarkastettu. Näin voitiin löytää mahdollisia tekijöitä, jotka ovat molemmille kokoonpanovaiheille yhteisiä.

Arvovirtakartoituksessa tarkasteltavan tuotteen valitsemiseksi luotiin ERP:stä saatavasta datasta kuvio 15 laitemalleittain. Kuviossa näkyvät luvut ovat luottamuksellisista syistä esitystä varten kuvitteellisia. Vaaka-akselille sijoitettiin tuoteperheet ja pystyakselille sijoitettiin keskiarvot, jotka saatiin vähentämällä jokaisen työn toteutunut kesto suunnitellusta työn kestosta. Erilliselle kuvaajalle sijoitettiin valmistusvolyymit. Valmiista kuvaajasta nähdään mallisarja B, jonka volyymi on suurin ja läpimenoajan erotus suunniteltuun on merkittävin. Kuvaajan perusteella todettiin mallisarjan B kokoonpanoon tehtävien parannusten vaikuttavan eniten solun sisäiseen toimitusvarmuuteen ja se valittiin työpajassa tehtävän arvovirtakartoituksen kohteeksi. Valinnan olisi voinut tehdä aiemmin työssä tutkitun datan perusteella, mutta luotu kuvaaja mahdollistaa nopeamman, vakioidun menetelmän tulevaisuudessa järjestettäviin työpajoihin.



KUVIO 15. Tuoteperheen valintakuvaaja

Työpajan tulosten vaikutusten seuraamiseksi vaadittavat mittarit valittiin haastatteleamalla sisäistä asiakasta ohjaamolle keskeisimmistä ominaisuuksista. Kriittisimmiksi ominaisuuksiksi sisäinen asiakas koki ajallaan valmistumisen ja yhdenmukaisen, spesifikaation mukaisen kokoonpanon. Yhdenmukaisuus koskee erityoten hydraulikkaletkujen ja sähköjohtojen sekä -kaapeleiden reitityksiä. Tärkeäksi ominaisuudeksi koettiin, ettei ohjaamon siirtyessä asiakkaalle ole enää käsittelemättömiä laatuongelmia. Olemassa olevia ja tarvittaessa uusia mittareita sovellettiin, jotta asiakasvaatimusten saavuttamista voidaan seurata. Olennaisiksi mittareiksi valikoituivat työn valmistuminen seuraavan vaiheen alkuun mennessä, keskimääräinen vikojen määrä yksikössä ja materiaalisaaavuus. Kaikki asiakasvaatimukset ja linkitetyt mittarit kaaviona liitteessä 1.

4.6.2 Päivä 1. Ydinryhmän koulutus

Ensimmäisen päivän tarkoituksena oli kouluttaa ydinryhmän jäsenet työpajojen viitekehykseen ja lean-menetelmiin. Koulutuksen aikana aluksi asetettiin osallistujat samalle aaltopituudelle lean-ajattelusta ja menetelmistä. Lisäksi läpikäytiin arvon, arvoketjun ja virtausyksiköiden käsitteet. Osallistujille painotettiin, että tavoitteita ei saavuteta työskentelemällä nopeammin, vaan tekemällä vähemmän arvoa tuottamatonta työtä. Ydinryhmän jäsenille lean-ajattelu oli jokseenkin tuttua

jo entuudestaan, mutta jokainen koki perusasioiden läpikäynnin tarpeelliseksi ennen työpajan seuraavia vaiheita. Teorioiden jälkeen läpikäytiin seuraavana päivänä toteutettavan arvovirtakartoituksen toteutustapa, jotta kartoitus voitiin aloittaa heti seuraavan päivän aluksi.

4.6.3 Päivä 2. Arvovirtakartoitus nykytilasta

Toisen työpajapäivän tavoitteena oli luoda kattava, yksityiskohtainen arvovirtakartoitus kokoonpanoprosessin nykytilasta. Arvovirtakartoitus luotiin koulutustilan seinälle kolmenvärisiä post-it -lappuja käyttämällä. Menetelmä on helposti lähestyttävä tapa osallistaa kaikki osanottajat kartoitukseen ja tunnistaa hukkaa koko prosessissa. Vihreä lappu kuvasi arvoa tuottavaa toimintaa, keltainen lappu apu-toimintaa ja punainen lappu hukkaa. Oransseihin lappuihin kirjattiin yleisiä tietoja, jotka selkeyttivät prosessikartan lukemista, kuten arvioituja ajankohtia ennen kokoonpanon alkua. Jokainen lappu sisälsi toiminnan kuvauksen, keston ja mahdollisesti tarvittavat resurssit. Kukin osallistuja sai vapaasti kirjoittaa lappuja eri tapahtumista tuotteen valmistamiseksi ja sijoittaa niitä seinälle. Ennen jokaisen lapun seinälle asettamista arvioitiin, minkä värinen lapun tulisi olla. Tällä tavoin jokaisen työn tekemiseksi vaadittavan aktiviteetin kohdalla arvioitiin, onko kyseinen työ arvoa tuottavaa työtä vai hukkaa. Tärkeää arvovirtakartoitusta tehdessä oli tehtävien välisten ilmiöiden tunnistaminen. Hukkaa ilmenee erityisesti eri toimintojen rajapinnoissa, joihin pyrittiin kiinnittämään huomiota työn edetessä. Ohjaamokokoonpanon vakioidut, arvoa tuottavat tehtävät kirjattiin standardityölistan (taulukko 1) mukaan.

Päivän päätteeksi valmis arvovirtakartoitus katselmoitiin ja varmistettiin, että ydinryhmän jäsenet olivat tuotoksen todenmukaisuudesta samaa mieltä. Arvovirtakartoituksen tekeminen herätti paljon keskustelua eri työhön liittyvistä asioista, jonka katsottiin lisäävän tietoisuutta eri henkilöiden vastuutehtävistä. Päivän aikana esillä olleita asioita ja kehitysideoita kirjattiin vapaamuotoisesti paperille.

4.6.4 Päivä 3. Tahtotilan määrittely

Kolmantena päivänä tehtiin arvovirtakartoitus tahtotilasta. Työtä tehtiin nykytilan arvovirtakuvauksen pohjalta, mutta keskittyen erityisesti hukkatyön eliminoimiseen ja koko prosessin kriittiseen arviointiin. Kartoitusta tehdessä haluttiin selvittää, mahdollistaako alkupään työvaiheet ohjaamokokoonpanossa onnistumisen ja miten itse kokoonpanon aikana ilmeneviä hukkia voidaan vähentää. Nykytilaa kartoittaessa arvioitiin työn sisältävän helposti ulkoistettavia osakokoonpanoja, joten ne siirrettiin tahtotilassa valmistettavaksi tehtaan sisäisessä osakokoonpanosolussa. Tahtotila tehtiin siten, että se on realistinen saavuttaa. Vaikuttavimpia toimenpiteitä valittiin tahtotilaan pääsemiseksi.

4.6.5 Päivä 4. SIPOC ja toimenpidesuunnitelman luominen

Työpajan viimeisenä päivänä luotiin SIPOC (Suppliers Inputs Processes Outputs Customers). SIPOC on taulukko, johon kerätään jokaisen prosessivaiheen toimittajat, sisääntulomuuttujat eli syötteet, ulostulomuuttujat ja asiakkaat. SIPOC:ia tehdessä pohdittiin etenkin jokaisen työvaiheen edellyttämiä syötteitä, jolloin saavutettiin ymmärrys prosessin tarpeista. SIPOC on työkalu, jota voidaan käyttää prosessin tärkeimpien elementtien identifioimiseen ennen kehitystyön aloittamista. Saatua listaa inputeista voidaan myös käyttää apuna määriteltäessä kokoonpanon aloituskelpoisuutta. SIPOC:in luomisen jälkeen keskityttiin toimenpidesuunnitteluun. Taulun punaiset laput läpikäytiin ja lisäksi kaikki edellisinä päivinä kertyneet kehitysideat kerättiin Excel-tilukoksi. Jokaiseen kehitysideaan luotiin ehdotukset kuhunkin ideaan liittyvästä toimenpiteestä. Lopuksi toimenpide-ehdotukset käytiin yhdessä läpi, jotta koko ydinryhmä oli yksimielinen johtoryhmälle esitettävistä ehdotuksista.

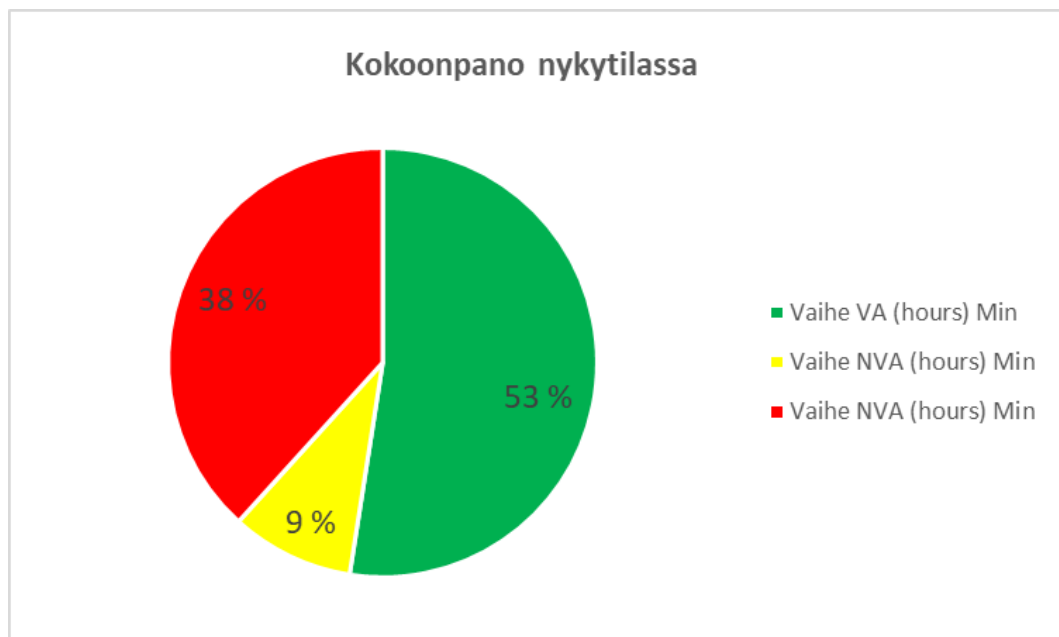
4.6.6 Kaizen Event – tulokset

Työpajan aikana tehdyt arvovirtakuvaukset kuvassa 1. Taululla näkyvät arvovirtakartat ja kehitysideat käännettiin Excel-muotoon muutoksien, ylläpidon ja laskennan helpottamiseksi. Arvovirtakartoituksista summattiin koko läpimenon

osalta yhteen osuudet arvoa tuottavasta työstä, aputoiminnoista ja hukasta. Arvovirtakuvausta tehdessä osaan aktiviteeteista kirjattiin minimi- ja maksimiarvoja, jotka kuvaavat mahdollisia best case- ja worst case -skenaarioita. Myös pelkän kokoonpanovaiheen tulokset laskettiin, jotta vertailua nykyiseen tavoitteenasetantaan vaiheen osalta voitiin tehdä. Tuloksista tehtiin sektorikaavioita osuuksien arviointia helpottamaan (kuvio 16). Kuvasta 1 havaitaan, että tahtotilassa läpimenoaika lyhentyy huomattavasti ja punaisella näkyvää hukkatyötä ei juuri ole.



KUVA 1. Arvovirtakuvaukset nyky- ja tahtotilasta. Nykytila ylempänä



KUVIO 16. Kokoonpanoprosessin läpimenoajan muodostuminen nykytilassa

4.6.7 Nopeiden toimenpiteiden määrittely

Työpajan aikana tehdyt toimenpide-ehdotukset kirjoitettiin puhtaaksi, ja yhdistettiin samankaltaiset toimenpiteet. Lopullisia toimenpide-ehdotuksia tuli kymmeniä, joten niitä priorisoitiin projektille tärkeiden kriteerien mukaisesti. Toimenpiteet pisteytettiin toteuttamisen vaikeuden, toteuttamiseen vaaditun ajan, vaikutuksen sisäiseen toimitusvarmuuteen ja henkilöstövaikutuksen perusteella. Henkilövaikutus haluttiin huomioida, sillä työpajan myötä haluttiin toteuttaa työntekijöille selkeästi näkyviä toimenpiteitä myönteisen asenteen lisäämiseksi kehitysprojekteja ja tulevia muutoksia kohtaan. Tämän jälkeen toimenpiteet jaettiin sekä lyhyen, että pitkän aikavälin toimenpiteisiin niiden suorittamiseksi vaadittavan ajan mukaan.

4.6.8 Laskennalliset tulokset arvovirtakartoituksesta

Nykytilassa koko prosessin ajalle saatiin tulokseksi 14–32 % arvoa tuottava osuus. Teorian mukaan useimmissa prosesseissa arvoa tuottava osuus todellisuudessa on n. 10 % (Liker 2004). Teoriaan suhteessa korkea arvoa tuottava osuus selittyy abstraktiotasosta, jolla kuvaus tehtiin. Tarkastelemalla työnsisältöä tarkemmin kunkin aktiviteetin kohdalla, voitaisiin havaita vielä enemmän hukkaa alentaen arvoa tuottavan työn osuutta. Tahtotilassa prosessi suoriutuisi 54–63 % arvoa tuottavalla osuudella. Tahtotilan mukaisella toiminnalla voitaisiin yksittäisen ohjaamon läpimenoaika lyhentää määrätyn systeemin rajoilla 23 päivällä. Allaolevaan taulukkoon 3 on koottu kaikki tulokset. Selkeyden vuoksi minimi- ja maksimi tuloksista on taulukkoon sijoitettu keskiarvot.

TAULUKKO 3. Numeeriset tulokset arvovirtakartoituksista

Tyyppi	Nykytila	Tahtotila	Muutos
Arvoa tuottavaa	23 %	58,5 %	154 %
Aputoiminta	4 %	7 %	75 %
Ei arvoa tuottavaa	73 %	34,5 %	-53 %

Toiminnanohjausjärjestelmästä saatu keskiarvo vaiheajalle oli 10,4 tuntia arvovirtakartoituksessa saatua kestoja lyhyempi. Arvovirtakartoituksessa arvoa tuottava työn osuus koostui standardityötunneista, jotka kohdeyrityksessä sisältävät osan prosessin tehottomuuksista. Tästä syystä arvovirtakartoituksessa hukkatyön osuus on todellista suurempi, mikä selittää kartoituksessa saadun kokoonpanovaiheen keston erotuksen todellisuuteen. Myöhemmin esitetyillä toimenpiteillä kokoonpanon vaiheaika voitaisiin saada tahtotilan tasolle. Taulukossa 4 vaiheajan vertailu tahtotilaan.

TAULUKKO 4. Arvovirtakartoituksen tulokset vaiheen läpimenoajasta

Tyyppi	Nykytila	Tahtotila	Muutos
Arvoa tuottavaa	45%	91 %	102 %
Aputoiminta	9 %	9 %	0 %
Ei arvoa tuottavaa	46%	0 %	-100 %

Taulukossa nähtävän arvoa tuottavan osuuden vähentyminen tahtotilaan siirtyessä selittyy osakokoonpanojen siirtymisellä yrityksen sisäisen osakokoonpanosolun tehtäväksi.

4.6.9 Kokoonpanossa havaitut hukat

Prosessin alussa ennen kokoonpanon alkua tehtävä työ on virtausyksikön kannalta enimmäkseen aputoimintaa ja varsinaiseen hukkaan keskityttiin eniten itse kokoonpanoprosessissa. Hukkakohteet ja toimenpiteet muodostuivat kokemuksen, esiselvitysten, haastattelujen, työpajan arvovirtakartoitusten ja työpajojen jälkeisen toimenpiteiden summauksen myötä.

Siirto- ja keräilypyynnöt

Kokoonpanon alkuvaiheilla hukka muodostuu pääosin välivarastoinnista, siirtopyynnöistä ja niistä aiheutuvasta odotusajasta. Odotusajan suuruus vaihtelee sen mukaan, onko pyyntö tehty oikeaan aikaan. Siirtopyyntöjen kautta tilataan erikoistyökaluja, kokoonpanoalusta, ohjaamoaihio tehtaalte ja kokoonpanoruu-tuun sekä valmis ohjaamo pois ruudusta. Määrätyt isot nimikkeet, jotka vievät runsaasti tilaa solun materiaaliakastalta tilataan erilliskeräilypyynnöillä. Tällä on

haluttu välttää isojen komponenttien toimittamista kokoonpanoruutuun, mikäli kokoonpano ei niitä vielä tarvitse. Näin voidaan välttää kokoonpanosolun materiaaliastaan ruuhkautumista.

Kokoonpanoalusta ja nostolenkit

Kokoonpano suoritetaan erillisellä alustalla, joka pitää tilata erikseen järjestelmän kautta. Ohjaamoaihio nostetaan erilliselle alustalle kokoonpanoa varten. Ohjaamon nostamiseksi turvallisuussyistä ohjaamosta irrotetaan toimittajan nostolenkit, ja vaihdetaan ne kohdeyrityksen omiin. Ohjaamon valmistuessa nostolenkit irrotetaan, ja asiakasvaiheella samaiset nostolenkit kiinnitetään uudelleen ja irrotetaan ennen laitteen toimitusta seuraavalle vaiheelle. Asiakasvaiheella hukkaa syntyy lisäksi nostolenkkien vähäisestä määrästä, sillä niitä ei välttämättä aina ole saatavilla eikä niille ole virallisesti vakioitua paikkaa. Nostolenkkien toistuva irrotus ja uudelleen kiinnitys sekä lenkkien mahdollinen etsiminen vakioitun paikan puuttuessa lisää arvoa tuottamattoman työn osuutta vuositasolla merkittävästi.

Toimittajalaatu

Laatupoikkeamailmoitusten ja arvovirtakartoituksen perusteella tunnistettiin nimikkeitä, joissa esiintyy toistuvia laatuongelmia. Mittaripaneeleja joudutaan maalauttamaan uudelleen turhankin usein naarmuuntumisen takia. Tämä keskeyttää tekemistä ja aiheuttaa odotusaikaa ennen uuden paneelin saapumista. Reikiä, esimerkiksi valaisinkoteloissa olevia kiinnitysreikiä joudutaan hiomaan niiden ovaalin muodon vuoksi. Lisäksi kierteitä joudutaan toistuvasti avaamaan esimerkiksi kierretyökalun avulla. Kohdeyrityksen määrittelemien toimittajaohjeiden mukaisesti reikien ja kierteiden tulisi olla käyttövalmiita niiden tullessa tehtaalle. Ohjaamon tuulilasin eteen asennettavat turvaverkot olivat myös useasti laatupoikkeamailmoituksen kohteena. Ilmoituksissa yleisin kuvaus oli, ettei verkoille asetetut geometriset vaatimukset ole täyttyneet, jolloin kokonaan uusi verkko on jouduttu tilaamaan kokoonpanon jatkamiseksi.

Valmistusrakenteen ja vaiheistuksen virheet

Valmistus- ja suunnittelurakenteen ristiriitaisuudet ja virheet aiheuttavat häiriötä tuotannon virtaukseen. Tyypillinen virhe on esimerkiksi nimikkeen puute valmistusrakenteelta. Ristiriitaisuuksia on ollut historiassa riittävän usein, jotta työntekijät eivät luota kokoonpanokansiossa olevan spesifikaation oikeellisuuteen heti työtä aloittaessa. Kokoonpanokansio sisältää työn suorittamiseksi vaadittavat dokumentit, joiden perusteella työntekijä kokoonpanee tuotteen. Kansioon on tulostettu paperinen versio tuotteen spesifikaatiosta. Mikäli spesifikaatioon tehdään muutoksia kansion tulostamisen jälkeen ei tieto muuttuneesta spesifikaatiosta välity kokoonpanosoluun. Tästä syystä spesifikaatio tarkistetaan vielä uudestaan toiminnanohjausjärjestelmästä ennen työn aloitusta, jotta myöhemmiltä ongelmilta välttyttäisiin. Rakennevirheen sattuessa asiaa joudutaan usein selvittämään usean henkilön toimesta. Pahimmillaan kokoonpanotyö joudutaan keskeyttämään selvitystyön ajaksi. Rakennevirheet aiheuttavat vaihtelevan suuruista odotusaikaa kokoonpanoon, riippuen esimerkiksi valmistusrakenteelta puuttuvien nimikkeiden saatavuudesta. Asiakastilauksen mukaisen tuotteen valmistaminen on tärkeää, joten pienetkin ristiriitaisuudet kokoonpanon aikana on selvitettävä rakennekäsittelystä tai vastaavalta suunnittelijalta.

Nimikkeille osoitettu vaihe todettiin toisinaan vääräksi. Tästä syystä osien keräilyosoite ei ole oikein, jolloin osa kerätään virheellisesti esimerkiksi loppukokoonpanoon, vaikka sitä ei siellä tarvittaisi. Tämä lisää kokoonpanotyön aikana kuljetettavaa matkaa merkittävästi, kun tarvittavat osat haetaan esimerkiksi loppukokoonpanoruuduista.

Työohjeet, dokumentit ja tietojärjestelmät

Asentajien ja alueen työnjohtajan haastattelun mukaan kaikki työhön tarvittavat työohjeet eivät ole riittäviä. Kuvallisia ohjeita on kerätty tietokoneelle, mutta kokoonpanoihin ja sähköasennuksiin liittyviä tarkentavia ohjeita on erillisissä muistivihoissa. Usein joudutaan toimimaan jopa muistinvaraisesti, jos työohjeet eivät riitä onnistuneen kokoonpanoon suorittamiseen. Muistinvaraisuus nousee haasteeksi, mikäli osaston työntekijät vaihtuvat, jolloin työn suorittamiseksi vaadittua tietoa ei ole saatavilla. Työohjeiden puutteiden lisäksi työntekijöiden käyttämien tietojärjestelmien katsottiin usein toimivan alhaisella nopeudella.

4.6.10 Tahtotilan pilotti

Kaizen-työpajoissa luotua tahtotilaa pilotoitiin tuotannossa sen vaikutusten todentamiseksi. Helposti toteutettavat toimenpiteet toteutettiin ilman pilottia. Pilotissa kokoonpantiin kokoonpanon aikana tehtävät osakokoonpanot etukäteen valmiiksi, jolloin osakokoonpanojen aiheuttama aika kokonaisläpimenoaikaan voitiin selvittää. Nämä osakokoonpanot olivat valaisimien, majakan, mittaripaneelin ja läpivientilevyn kokoonpano. Pilotin aikana kerättiin lisää ajatuksia asentajilta ja saatiin referenssiohjaamon läpimenoajasta tarkempaa tietoa. Tarkan arvioinnin tekemiseksi vaadittaisiin pidempää ajanjaksoa pilotoinnille, mutta aikataulustyistä pilotti toteutettiin vain kahdelle samankaltaiselle ohjaamokokoonpanolle. Ensimmäistä kokoonpanoa käytettiin vertailukohtana, josta kirjattiin ylös vain siihen mennyt läpimenoaika. Varsinainen pilotti toteutettiin jälkimmäiselle kokoonpanolle. Pilotin tulokset saatiin tutkimalla työajanseurantajärjestelmään muodostuneita leimauksia työn suorituksesta. Pilotin tulokset on kerätty taulukkoon 5.

TAULUKKO 5. Pilotin tulokset

Tästä on poistettu materiaalia salassapitosyistä. Taulukosta selviää referenssi- ja pilottiohjaamon läpimenoajat päivinä ja kokoonpanotunteina. Lisäksi taulukkoon on laskettu muutosprosentti, paljonko toimenpiteet vaikuttivat.

Tavoitetilan mukaisessa kokoonpanossa työ valmistui 33 % nopeammin. Pilotin koordinoitunut kokoonpanosolun työnjohtaja oli hyvin selvillä pilotin etenemisestä. Saatujen tietojen sekä leimausten perusteella voitiin katsoa osakokoonpanoihin kuluvan noin 25–30 % ohjaamokokoonpanon läpimenoajasta. Ohjaamokokoonpanon läpimenoaikaa voitaisiin selkeästi lyhentää, mikäli toimenpiteitä kohdistettaisiin osakokoonpanojen kokoonpanoon tai ohjaukseen.

Kaizen-työpajassa määritetyn tavoitetilan kokoonpanovaiheen kesto on lähellä pilotissa toteutunutta kestoja. Tämä osoittaa työpajassa tehtyjen tuntiarvioiden olevan vertailukelpoisella tasolla.

4.7 Kehitystoimet merkittäviin muuttujiin

Six Sigma -teorian mukaisesti kehittämistoimet tulisi kohdistaa prosessin ulostuloon eniten vaikuttaviin muuttujiin. Työpajan tulosten pohjalta luotiin prosessikuvaus, joka havainnollistaa kokoonpanoprosessin kulkua ja sen keskeisiä muuttujia. Sähköistä kokoonpanoa tehdään todellisuudessa rinnakkain mekaanisen kanssa, mutta esittämistavan vuoksi se päätettiin asettaa erilleen. Kuviossa X tarkoittaa sisääntulomuuttujaa ja Y ulostulomuuttujaa. Sisääntulomuuttujia ovat kaikki asiat, joilla on vaikutusta prosessin ulostuloon. Ulostulomuuttujia ovat kaikki ominaisuudet tuotteessa, jotka ovat asiakkaalle kriittisiä. Valmis prosessikuvaus liitteessä 2.

Kuvaajaan listatuista muuttujista luotiin priorisointimatriisi (kuvio 17), jotta tiedetään mihin muuttujaan kehitystoimenpiteet tulisi kohdentaa ensimmäisenä. Priorisointimatriisi toimii siten, että jokaiselle asiakasvaatimukselle annetaan kerroin, joka osoittaa sen kriittisyyden. Jokaisen sisääntulomuuttujan vaikutus ulostuloon pisteytetään kertomalla sisääntulomuuttujan pistemäärä vastaavalla painotuskerroinlailla ja laskemalla pisteet yhteen rivin päätteeksi. Suurin painotuskerroin asetettiin ajallaan valmistumiselle, joka oli tämän projektin ensisijaisena tavoitteena.

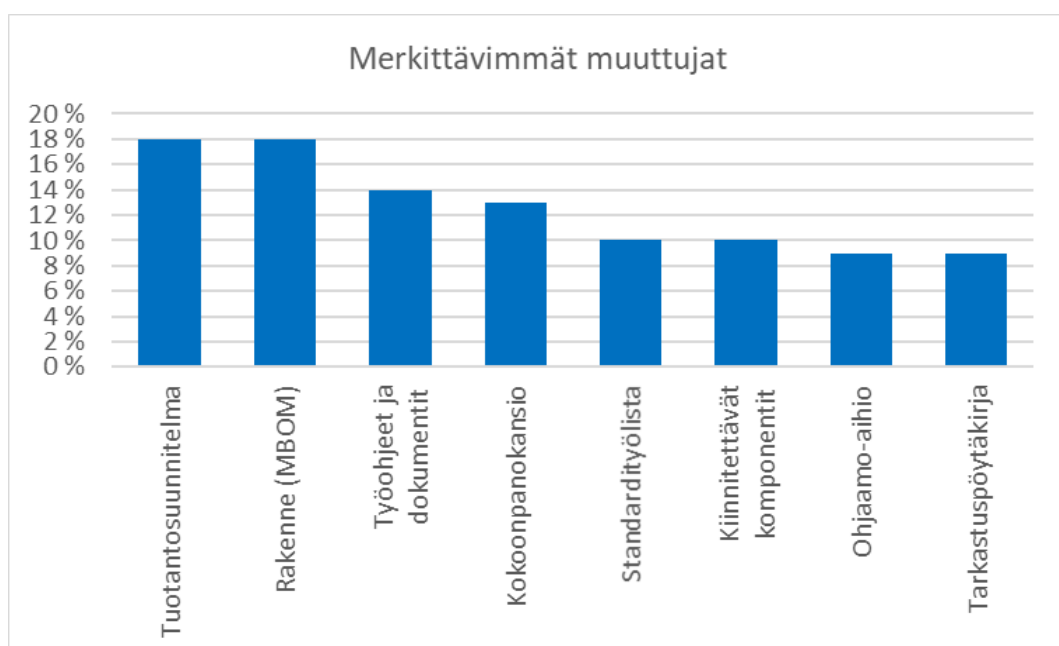
Ulostulo muuttujat (Y)	Voice of Customer					Total value	Total Value (%)
	Valmis ajallaan	Työkuvien ja -ohjeiden mukainen	Vastaa myyntispesifikaatiota	Avoimet laatuasiat selvitetty	Yhteneväinen kokoonpano		
	9	3	3	3	1		

Input muuttujat (X)

Tuotantosuunnitelma	9	0	0	0	0	81	18 %
Standardityölista	3	3	0	0	9	45	10 %
Rakenne (MBOM)	3	9	9	0	0	81	18 %
Työohjeet ja dokumentit	3	9	0	0	9	63	14 %
Kiinnitettävät komponentit	3	3	3	0	1	46	10 %
Ohjaamo-aihiö	3	1	3	0	3	42	9 %
Kokoonpanokansio	0	9	9	0	3	57	13 %
Tarkastuspöytäkirja	0	9	1	3	1	40	9 %

KUVIO 17. Priorisointimatriisi

Priorisointimatriisin tuloksista luotiin pylväskaavio (kuvio 18), jossa muuttujat ovat järjestyksessä merkittävimästä lähtien.



KUVIO 18. Priorisointimatriisin tulokset järjestettynä

Kuvaajan perusteella tärkeimmät muuttujat, joilla on eniten vaikutusta prosessin ulostuloon ovat tuotantosuunnitelma, valmistusrakenne ja työohjeet sekä dokumentit.

4.8 Tuotantosuunnitelman kehittäminen

Kuvion 18, sekä luvussa 4.5.1 havaittujen tulosten pohjalta päätettiin aloittaa tuotantosuunnitelman kehittäminen. Tuotannonsuunnittelijoita haastateltiin aluksi, jotta nykyisistä käytännöistä oltiin selvillä.

Projektin aikana ohjaamosolun henkilöstö päivitti olemassa olevaan standardityölistaan yleisiä optioita, jotta niiden vaikuttavuutta pystyttäisiin paremmin arvioimaan. Optiot ovat lopputuotteisiin myytäviä lisävarusteita. Päivitettyjä listoja tutkiessa todettiin, että ohjaamoihin asennettavien lisävarusteiden määrä vaikuttaa merkittävästi ohjaamokokoonpanon läpimenoaikaan. Kokoonpanoihin kuluva aika voi lisävarusteiden mukaan vaihdella yli 100 %. Tässä vaiheessa huomattiin, että A-töiden suunniteltu kesto huomioi työn osuuden ilman optioita. B-töissä suunniteltu kesto perustui todenmukaisemmin keskiarvoon toteutuneista läpimenoajoista.

Optioita otetaan huomioon pääosin loppukokoonpanovaiheiden hienokuormituksessa. Optioiden huomiointi tapahtuu vertaamalla myyntitilauksen asiakasspesifikaatiota tai valmistusrakennetta Excel-taulukkoon, johon on ajan myötä kirjattu eri optioita ja kunkin option aiheuttama lisätyö. Työn vaiheiden kuormitustunnit sekä suunniteltu kesto päivitetään manuaalisesti tuotannonohjausjärjestelmään. Käytössä olevaa taulukkoa tutkimalla selvisi, että ohjaamokokoonpanolle ei ole määritetty omia rivejä.

Kokonaan uuden ohjaustavan kehittäminen oli tämän työn rajauksen ulkopuolella, joten parhaaksi nähtiin nykyisen toimintamallin kehittäminen. Toimintamallin kehittämistä ideoitiin palaverissa yhdessä projektiryhmän ja tuotannonsuunnittelun kanssa. Lopputuloksena ohjaamokokoonpanoon merkittävimmin vaikuttavat optiot päätettiin päivittää olemassa olevaan hienokuormitustaulukkoon. Tau-

lukkoon päivitettävät optiot valittiin perehtymällä tietokannasta saataviin myyntitietoihin edellisten vuosien ajalta. Yhdistämällä tiedot optioiden myyntiosuuksista työlistoihin määritettyihin kestoihin voitiin valita oikeat optiot huomioitavaksi. Ohjaamomalleista löydettiin optioita, joiden yleisyys oli kymmeniä prosentteja myydyistä tuotteista, ja vaikutus 5–24 tunnin välillä. Tällä saatiin vahvistettua oletusta optioiden vaikutuksesta läpimenoaikojen vaihteluun.

Päivitetty taulukko sisälsi huomattavasti enemmän rivejä kuin aikaisemmin, tarkoittaen manuaalisen työn lisääntymistä. Tästä syystä vaiheen keston muuttaminen ja kuormitustuntien lisääminen haluttiin tehdä nopeammaksi, vähentäen mahdollisimman paljon manuaalista työtä ja listauksien selailua. PowerBi -sovelusten ollessa jo kohtalaisen yleisiä kohdeyrityksen toiminnoissa, päätettiin hyödyntää ohjelmiston ominaisuuksia hienokuormituksen parantamisessa. Ohjelmiston avulla luotiin raportti, joka lukee jokaisen työn rakennetietoja tietokannasta ja listaa tietokantahakuun määrätty optiot, mikäli niitä valmistusrakenteella on. Listatut optiot yhdistetään Excel-tilukkuun päivitettyihin kuormitustietoihin. Lopputuloksena raportissa näkyy jokainen ohjaamovaiheen työ, sisältäen niissä olevat optiot ja lukuarvot sekä kuorman että keston lisäykselle. Näin hienokuormitusta tehdessä voidaan tarvittaessa korjata kunkin työnvaiheen kestot sekä kuormitetut tunnrit aikaisempaa nopeammin ja tarkemmin. Valmis raportti kuviossa 19. Raportissa näkyvät numerot ovat kuvitteellisia luottamuksellisista syistä.

Työ id.	Suunniteltu alku	Suunniteltu loppu	Suun. Kesto	Keston lisäykset	Suunniteltu kuorma	Kuorman lisäykset
1	30.1.2021	7.2.2021	8	1	120	20
2	20.2.2021	28.2.2021	8	2	120	15
3	25.2.2021	5.3.2021	8	1	120	10
4	1.3.2021	9.3.2021	8	2	120	20

KUVIO 19. Osittainen näkymä hienokuormitustyökalusta

Työkalua käytettäessä hienosuunnitteluun käytettäisiin jokaiselle ohjaamomallille määriteltyä tuntiarviota, joka työn suorittamiseksi kuluu ilman lisävarusteita. Työkalun avulla määritettyihin pohjatunteihin lisättäisiin lisävarusteiden aiheuttama lisätyö. Ehdotettu tapa työkalun käyttöön saattaa osoittautua liian raskaaksi käy-

tännössä, jolloin vaihtoehtoisesti työkalua voitaisiin käyttää ainoastaan merkittävästi kuormittavien töiden tunnistamiseen. Tällöin suunnitellun vaiheajan tulisi ottaa huomioon yleiset, mutta vähän kuormittavat optiot.

Työkalun käyttäminen tekee tuotannolle asetettavista tavoitteista mahdollisia saavuttaa, sekä kapasiteetin suunnittelusta tarkempaa. Aikaisemmin töitä saattoi valmistua merkittävästi etuajassa tai myöhässä. Uuden aputyökalun avulla tuotantosuunnitelmasta tulee ennustettavampi, vähentäen toteutuneiden läpimenoaikojen vaihtelua verrattuna niihin suunniteltuun aikaan.

Keston lisäyksen arvioiminen nousi työkalun käytön kannalta haasteeksi, sillä kestojen osuus voidaan summata riveittäin tilanteissa, joissa vain yksi henkilö tekee kokoonpanoa. Ratkaisua haasteeseen ei tämän työn aikana ehditty kehittää. Aluksi päädyttiin lisäämään ainoastaan suurin yksittäisen option tuoma keston lisäys. Lisäksi optioiden kuormitettavuustiedot perustuvat päivitettyyn standardityölistaan, joten niitä on työkalun käyttöönoton yhteydessä kriittisesti arvioitava esimerkiksi työntutkimuksen kautta. Ennen käyttöönottoa yrityksen tulee vielä sisällyttää työkaluun muiden moduulivaiheiden optiot.

5 TULOKSET JA YHTEENVETO

5.1 Sisäistä toimitusvarmuutta heikentävät tekijät

Tulokset osoittavat, että kohdeprosessin suurimmat haasteet hyvän sisäisen toimitusvarmuuden saavuttamisessa johtuvat haasteista työn edellytysten toteutumisessa. Asiakasvaatimusten mukaisesti priorisoitujen sisääntulomuuttujien mukaan kriittisimmät sisääntulomuuttajat kokoonpanoprosessille ovat tuotantosuunnitelma, valmistusrakenne ja työohjeet sekä dokumentit. Arvovirtakartoitusten perusteella nämä olivat tekijöitä, jotka aiheuttavat haasteita kokoonpanon aikana.

Data-analyysien pohjalta voidaan todeta, että A-töistä vain neljännes valmistui odotetusti suunnitellussa ajassa tai alle. Yleisimmän ohjaamomallin valmistaminen kesti keskimäärin 50 prosenttia suunniteltua kauemmin. Ottamalla huomioon 2 päivän siirtoajan, 75 prosenttia töistä ovat teoriassa olleet ajallaan sisäisen asiakkaan tarpeisiin. 25 prosenttia töistä valmistui sisäiselle asiakkaalle myöhässä. Näinollen selkeä parannus sisäiseen toimitusvarmuuteen saavutettaisiin, mikäli keskitytään tuohon osuuteen A-töissä. Käytännössä tämä tarkoittaa läpimenoaikojen vaihtelun vähentämistä tai alkuperäisen tavoitteen muuttamista.

Tuotantosuunnitelman suurimmaksi kehityskohteeksi todettiin ohjaamoihin myytyjen optioiden huomiointi hienokuormitusta tehdessä. Optioiden todettiin vaikuttavan merkittävästi kokoonpanon läpimenoaikaan. Optioita ei nykytilassa huomioitu lainkaan, jolloin tuotantosoluun tämä näkyi epärealistisinä tavoitteina, joka osaltaan laski työntekijöiden motivaatiota aikataulussa pysymisessä. Eniten parannettavaa todettiin vanhemman sukupolven laitteilla, joiden läpimenoaikojen keskiarvo ja jakauma poikkesi nykyisistä tavoitteista. Tämä tarkoittaa todellisuudessa korkeampaa kuormitustasoa solussa, joka näkyi luvussa 4.5.2 tehdyssä tarkastelussa, jossa kuormitustasojen ollessa korkea solu jäi jättämälle. Ongelman ratkaisemiseksi luotiin aputyökalu, jonka avulla optioiden huomiointia parannetaan ohjaamokokoonpanojen lisäksi muissa moduulivaiheissa parantaen sisäistä toimitusvarmuutta tehdaslaajuisesti. Luotua aputyökalua ei ehditty testamaan käytännössä ja lopulliset hyödyt näkyvät vasta käyttöönoton jälkeen.

Toimittajalaadussa todettiin toistuvia ongelmia samoissa komponenteissa. Ongelmana on, ettei kaikkia ilmeneviä laatuongelmia ehditä selvittämään perinpohjaisesti. Korjaavia toimenpiteitä pohdittaessa selvisi, että kohdeyrityksessä on olemassa prosessi nimikkeiden asettamisesta vastaanottotarkastettavaksi. Solusta voidaan ilmoittaa alueen laadunohjaajalle toistuvista ongelmista, jolloin laadunohjaus asettaa toiminnanohjausjärjestelmästä nimikkeen jatkossa vastaanottotarkastettavaksi. Osan tullessa tehtaalle sen laatu varmistetaan. Mahdolliset materiaaliongelmat havaitaan jo etukäteen, jolloin vältetään kokoonpanon keskeytymiseltä. Ongelmaksi ilmeni resurssipula vastaanottotarkastusten tekemiseen. Yrityksellä ei ole riittävästi henkilöstöä, jotta koko tehtaan tarpeita voitaisiin palvella. Ongelman parantamiseksi kohdeyritykselle ehdotettiin resurssien lisäystä vastaanottotarkastukseen, jotta toimittajalaatua voidaan paremmin jatkossa valvoa. Tavoitetilassa ilmenevät laatuongelmat korjattaisiin yhdessä toimittajan kanssa mahdollisimman pian niiden ilmettyä.

Valmistusrakenteeseen ja osien vaiheistukseen liittyviä ongelmia tutkittiin haastatteleamalla rakennekäsittelyn työntekijää. Ongelmat todettiin monisyisiksi, sillä asioita määritellään rakennevirheeksi, vaikka juurisyy olisikin muissa prosessivaiheissa. Ohjaamosolussa vanhemman sukupolven laitemallien ohjaamoja valmistetaan eniten. Vanhalle sukupolvelle ei rakenteiden luomiseen ole käytössä konfiguraattoria, vaan työ on pääosin manuaalista. Manuaalisuuden takia rakenteissa ilmenee inhimillisiä virheitä. Vanhoja rakenteita käytetään kopioi-liitä-menetelmällä, joka saattaa synnyttää tai siirtää virheitä. Myös vaiheistusvirheiden syntyä selvitettiin, joiden pääsyyksi todettiin rakennekäsittelyn rajalliset resurssit. Uutta nimikettä luodessa toiminnanohjausjärjestelmään ei välttämättä ole riittävästi aikaa selvittää, mihin uusi nimike tulisi kohdistaa. Jatkossa kohdeyrityksen tulisi panostaa rakennekäsittelyn ja suunnittelun ongelmien jatkoselvitykseen, jotta tuotannossa esiintyvät häiriöt vähenisivät.

Työohjeiden kehittämiseksi ehdotettiin, että työohjeet tehdään jatkossa esimerkiksi Bowenin ja Spearin (2003, 98) kuvaileman ensimmäisen säännön mukaisesti, jonka mukaan kaikki työ tulee olla määritelty riittävän tarkasti sisältäen työn sisällön, järjestyksen, ajoituksen ja lopputuloksen. Tätä ohjenuoraa tulisi soveltaa ohjaamon standarditöihin. Mikäli säännön noudattaminen ei ole mahdollista, tulisi

ohjeen sisältää työn suorittamiseksi tai ongelman ratkaisemiseksi tarvittavaa tietotaitoa. Ohjeita päivitetäisiin työntekijälähtöisesti verkkokansioihin, joista ohjeet myöhemmin linkitetään MES-järjestelmän käyttöön.

Optioiden vaikuttavuutta tutkiessa havaittiin ongelmia tiettyjen optioiden kokoonpantavuuksissa. Mainittuja ongelmia ei työssä ehditty tarkemmin tutkimaan, joten kohdeyrityksen tulisivin jatkossa perehtyä niihin läpimenoaikojen vaihtelun vähentämiseksi.

5.2 Hukan poistaminen kokoonpanoprosessista

Kaizen-työpajassa havaittua hukkaa onnistuttiin vähentämään toteuttamalla nopeita kehittämistoimenpiteitä. Ohjaamokokoonpanon aikana tunnistetut tarpeetomat työvaiheet olivat ilmastointilaitteen huohotinletkun irrottaminen toimitetusta ohjaamosta sekä turha toimittajan asentamien nostolenkkien irrottaminen. Huohotinletku todettiin olevan valmiina myös ilmastointilaitteessa asennettuna, jolloin ohjaamossa oleva letku irrotettiin asennusjärjestyksen takia. Nämä työvaiheet poistettiin sopimalla toimittajien kanssa toimitussisällön muutoksista. Nostolenkkien kokonaan poistamista ehdotettiin käyttämällä uuden tyyppistä, siirreltävää kokoonpanoalustaa, jotta ohjaamon nostamisesta, ja siten nostolenkeistä päästäisiin ohjaamokokoonpanossa eroon. Tällöin nostolenkkejä tarvittaisiin pelkästään loppukokoonpanossa, joten niiden määrä voitaisiin pitää vähäisenä ja kunto tarkistaa kuukausittaisten työsuojelukierrosten yhteydessä. Ongelmaksi nousi ohjaamokokoonpanon suuri kokonaismassa, joka vaikeuttaa siirreltävän alustan jouhevaa käyttöä. Tästä syystä toimenpidettä ei vielä tässä vaiheessa viety pidemmälle, koska se vaatii pidemmän selvitystyön.

Mittaripaneeleja jouduttiin toistuvasti maalaamaan uudestaan. Asian korjaamiseksi toiminnanohjausjärjestelmään kirjattiin seuraavalle saapuvalle tilaukselle tieto tilauserän valokuvaamisesta sen tullessa logistiikan vastaanottoon. Dokumenttien perusteella naarmuuntumisen katsottiin syntyvän keräilyn tai keräilylalla olon aikana, jolloin pakkaustavan muutoksella asia korjaantuisi. Toimittajaa

ohjeistettiin pakkaustavasta, jossa paneelit ovat pakattu yksitellen tai kappaleiden välissä on suojaavaa materiaalia. Näin jatkossa saataisiin vaatimustenmukaisia paneeleja kokoonpanon käyttöön ilman uudelleenmaalauksen tarvetta.

Prosessin aikana tehtävät siirtopyynnöt todettiin olevan hukkatointia niiden aiheuttaman mahdollisen odotusajan ja manuaalisuuden vuoksi. Siirtopyyntöjä tehdään arvovirtakartan mukaan kokoonpanon aikana vähintään 5 kertaa. Siirtopyyntöjen roolia selvitettiin, sillä poistamalla niiden tarvetta voitaisiin yksinkertaistaa kokoonpanoprosessin kulkua, etenkin kokoonpanon alussa. Esimerkiksi ohjaamon kokoonpanoalusta pyydetään aina erikseen, vaikka se jokaisessa ohjaamossa aina tarvitaan. Aluksi selvitettiin, voiko logistiikka toimittaa ohjaamoaihion tuotanto-ohjelman mukaisesti tehtaalle ilman erikseen tehtävää erilliskeräilypyyntöä. Myös mahdollisuutta valmiin ohjaamon siirtämisestä pois ruudusta visuaalisen ohjauksen avulla pohdittiin. Ehdotuksena oli, että välivarastossa olisi aina tuotanto-ohjelman mukaisesti kerätty seuraavan työn ohjaamoaihio, joka tuotaisiin automaattisesti valmistuneen ohjaamon tilalle. Samalla uuden ohjaamon kuljetus soluun toimisi impulssina siihen vaadittavan kokoonpanoalustan toimittamiseen. Visuaalinen ohjaus voisi olla esimerkiksi lippu solussa, joka nostettaisiin aina kun valmis ohjaamo on siirretty lähtevien ohjaamojen ruutuun.

5.3 Tavoitetilan saavuttaminen

Tavoitetilan mukaisen 25–30 % läpimenoajan lyhentymisen tilaajayritys saavuttaisi muuttamalla osakokoonpanojen ohjaustapaa. Mittaripaneelin kokoonpano tulisi aiempien kokemusten perusteella tehdä ohjaamosolussa, muut osakokoonpanot olisi mahdollista valmistaa yrityksen omassa osakokoonpanosolussa esimerkiksi kanban-järjestelmän avulla. Majakka-, ratti- ja valaisinkokoonpanot ovat riittävän vakioita kanbanin soveltamiseksi. Kokoonpanot ovat riittävän pieniä, joten niitä voisi olla valmiina ohjaamosolussa kolmen kokoonpanopaikan tarpeisiin ja uusia tehtäisiin imuohjatusti vieressä sijaitsevassa osakokoonpanosolussa. Valaisimet ja majakka ovat ensimmäisiä komponentteja, joita ohjaamoon asennetaan. Näin ohjaamon aloitusta saataisiin virtaviivaistettua.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tunnistaa ohjaamokokoonpanoprosessin sisäistä toimitusvarmuutta heikentäviä tekijöitä ja toteuttaa toimenpiteitä toimitusvarmuuden parantamiseksi. Tutkimuksen tuloksina saatiin dokumentoitu prosessi, josta tiedetään ajallaan valmistumiseen vaikuttavat sisääntulomuuttujat. Kokoonpanoprosessin virtausta parannettiin vähentämällä hukkaa sekä luomalla työkalu optioiden huomioimiseksi. Läpimenoajat vaihtelevat optiosisältöjen mukaisesti enemmän kuin nykyisellä keskiarvolla ohjatessa olisi toivottavaa. Työkalu mahdollistaa ennustettavamman tuotannon, tarkemman kapasiteettisuunnittelun ja vähentää uusintatyön tarvetta tuotantosuunnitelmaan. Realistisemmat tavoitteet lisäävät työntekijöiden motivaatiota aikataulussa pysymiseen. Aputyökalu koettiin hyväksi asiaksi eri osastoilla ja sen onnistunut käyttöönotto nähtiin mahdollisena. Opinnäytetyö voidaan tulosten mukaan katsoa onnistuneeksi, vaikka toimenpiteiden lopulliset vaikutukset näkyvät vasta tulevaisuudessa.

Arvovirtakartoitus eri tarkastelutasoilla oli keskeinen menetelmä projektin aikana. Arvovirtakartoitus todettiin tehokkaaksi työkaluksi visualisoimaan työtä, joka ei aiemmin ole näkynyt perinteisissä prosessikuvauksissa. Lisäksi sen todettiin olevan tehokas työkalu havaitsemaan prosessissa ilmenevää hukkaa, joka vaikuttaa moniin sidosryhmiin virtausyksikön kulkiessa arvoketjun läpi.

Kaizen-työpajasta opittiin, että sisäisen asiakkaan osallistaminen työpajaan mahdollistaa hukan eliminoinnin myös asiakkaan prosessista. Asiakkaan vaatimuksesta voitiin keskustella vapaasti, jolloin solun työntekijöille saatiin tietoa kokoonpanoon liittyvistä asioista, jotka helpottavat loppukokoonpanon työtä. Kaizen-työpajat nähtiin onnistuneen, mutta muutamilla parannuksilla saavutettaisiin jatkossa vielä parempia tuloksia. Kohdeyrityksessä oli hankalaa järjestää kaikkien osallistujien 100 % läsnäolo työpajojen aikana, mikä tulisi huomioida tulevia työpajoja järjestäessä. Tarvittavien resurssien arviointi kehittämistoimenpiteiden läpivientiin työpajan jälkeen on etukäteen vaikeaa, jonka vuoksi kaikkia haluttuja toimenpiteitä ei ehditty toteuttamaan.

Vallitsevan COVID-19 pandemian takia työntekijöiden osuus työpajan ydintämistä jäi vähäiseksi, jonka voidaan katsoa vaikuttaneen lopputuloksiin. Pandemia

vaikutti myös tämän opinnäytetyön tuloksiin, sillä lean-teorioissa korostettua työn paikan päällä tutkimista ei voitu suorittaa.

Poikkeusaikoina työpajoja tullaan järjestämään myös täysin etänä. Tämä tarkoittaa, että ennen työpajaa tulisi prosessin ongelmia pystyttävä karakterisoimaan entistä tarkemmin. Perusteellisen valmistelun tarkoituksena on työpajan rajallisten aikaresurssien kohdistaminen oikeisiin asioihin. Etämallin toteutustavalla on taipumusta keskittyä suurempiin ongelmiin prosessissa, joten alkuperäiset tavoitteet nopeiden toimenpiteiden löytymisestä saattavat jäädä toteutumatta.

Työpajat synnyttävät runsaasti kehitystoimenpiteitä, jolloin riskinä on, että työpajat toimivat mekanismeina, joilla ylituotetaan toimenpiteitä, joita ei ehditä toteuttamaan. Työpajan jälkiseuranta ja toimenpiteiden loppuun vienti on tärkeää, ja lopulta toteuttamatta jätettävät työt tulisi kommunikoida kohdeosaston työntekijöille. Työntekijöiden ollessa tietoisia, miksi tiettyjä toimenpiteitä ei toteuteta, ei negatiivista asennetta kehitystoimia kohtaan pääse syntymään.

Työssä luotuun hienokuormitustyökaluun sisällytettävät optiot sekä niiden kuormitustiedot perustuvat historiatietoihin. Tästä syystä työkalun käytössä tulisi tulevaisuudessa panostaa ajantasaisen tiedon ylläpitämiseen. MES-järjestelmän tullessa kokoonpanosolun käyttöön, tulisi järjestelmästä saatavaa aikatieta hyödyntää ajantasaisten ja tarkkojen kuormitustietojen hankkimiseen työkalua varten. Tulevaisuudessa manuaalisesta työstä tulisi päästä eroon, mutta siihen asti työkalu parantaa tilannetta aikaisempaan ohjaustapaan huomattavasti.

LÄHTEET

Belekoukias, L., Garza-Reyes, J. & Kumar, V. 2014. The Impact of Lean Methods and Tools on the Operational Performance of Manufacturing Organisations. *International Journal of Production Research* 52 (18), 5346–5366.

Burton, T., & Boeder, S. 2003. *The Lean Extended Enterprise: Moving Beyond the Four Walls to Value Stream Excellence*. Plantation: J. Ross Publishing.

Charron, R., Harrington, J., Voehl, F. & Wiggin, H. 2015. *The Lean Management Systems Handbook*. Boca Raton: CRC Press.

Geng, H. 2016. *Manufacturing Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill

Harju, P. 1999. *Kvalitatiivinen kyvykkyys: massaräätälöinnin perusteet ja menetelmät*. Helsinki: Tietosanoma.

Hirakawa, Y., Hoshino K. & Katayama H. 1992. A Hybrid Push/Pull Production Control System for Multistage Manufacturing Processes. *International Journal of Operations & Production Management* 12 (4), 69-81.

ISO 13053-1:fi. 2014. Prosessin kehittämisen kvantitatiiviset menetelmät. Six Sigma. Osa 1: DMAIC-menetelmä. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 2.11.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/ISO/ID5/1/243577.html.stx>

ISO 13053-2:fi. 2014. Prosessin kehittämisen kvantitatiiviset menetelmät. Six Sigma. Osa 2: Työkalut ja tekniikat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 2.11.2020. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/ISO/ID5/1/243575.html.stx>

Karjalainen, E. & Karjalainen, T. 2002. *Six Sigma – Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä*. 1. painos. Hollola: Quality Knowhow Karjalainen Oy.

Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen S. 1997. *Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät*. 1. painos. Helsinki: WSOY.

Liker, J. 2010. *Toyotan tapaan*. Suom. Niemi, M. Helsinki: Readme.fi. Alkuperäinen teos 2004.

Locher, D. 2011. *Value Stream Mapping for Lean Development A How-To Guide for Streamlining Time to Market*. Hoboken: Taylor and Francis Group

Logistiikan maailma, n.d. *Materiaalinohjaus nimiketasolla*. Luettu 9.12.2020 <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/materiaalinohjaus/materiaalin-ohjaus-nimiketasolla/tarvelaskenta-mrp/>

Logistiikan maailma, n.d. *Tuotannonsuunnittelu- ja ohjaus*. Luettu 9.12.2020 <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tuotannonsuunnittelu-ja-ohjaus/>

Martin, K. & Osterling, M. 2014. Value Stream Mapping: How to Visualize Work and Align Leadership for Organizational Transformation. 1. painos. New York: McGraw-Hill Education.

Modig, N. & Åhlström, P. 2016. Tätä on Lean. 6.painos. Suom. Tillman, M. Tukholma: Rheologica Publishing.

Ojansuu, L. 2017. Huoltoprosessin kehitys leaniin tukeutuen. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Lahden ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Ortiz, C. 2009. Kaizen and Kaizen Event Implementation. 1. painos. New Jersey: Prentice Hall.

Piirainen, A. 2013. Onko kaikki erilaista vai ei? Luettu 20.10.2020. <http://www.sixsigma.fi/fi/artikkelit/onko-kaikki-erilaista-vai-ei/>

Quality Knowhow Karjalainen Oy, n.d. Vaihtelu ja PDCA. Luettu 21.10.2020. <http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/vaihtelu-ja-pdca/>

Quality Knowhow Karjalainen Oy, n.d. Esteiden teoria (TOC). Luettu 21.10.2020. <http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/esteiden-teoria-toc/>

Quality Knowhow Karjalainen Oy, n.d. Littlen laki. Luettu 21.10.2020. <http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/littlen-laki/>

Sohal, A., Ramsay, L. & Samson, D. 1993. JIT Manufacturing: Industry Analysis and a Methodology for Implementation. International Journal of Operations & Production Management 13 (7), 22-26

Spear, B. 1999. Decoding the DNA of the Toyota Production System. Harvard Business Review 77 (5), 96–98.

Theory of Constraints Institute, 2020. Theory of Constraints (TOC) of Dr. Eliyahu Goldratt. Luettu 30.10.2020. <https://www.tocinstitute.org/theory-of-constraints.html>

Van Aken, E., Farris, J., Glover, W. & Letens, G. 2010. A framework for designing, managing, and improving Kaizen event programs, International Journal of Productivity and Performance Management, 59 (7), 641-667.

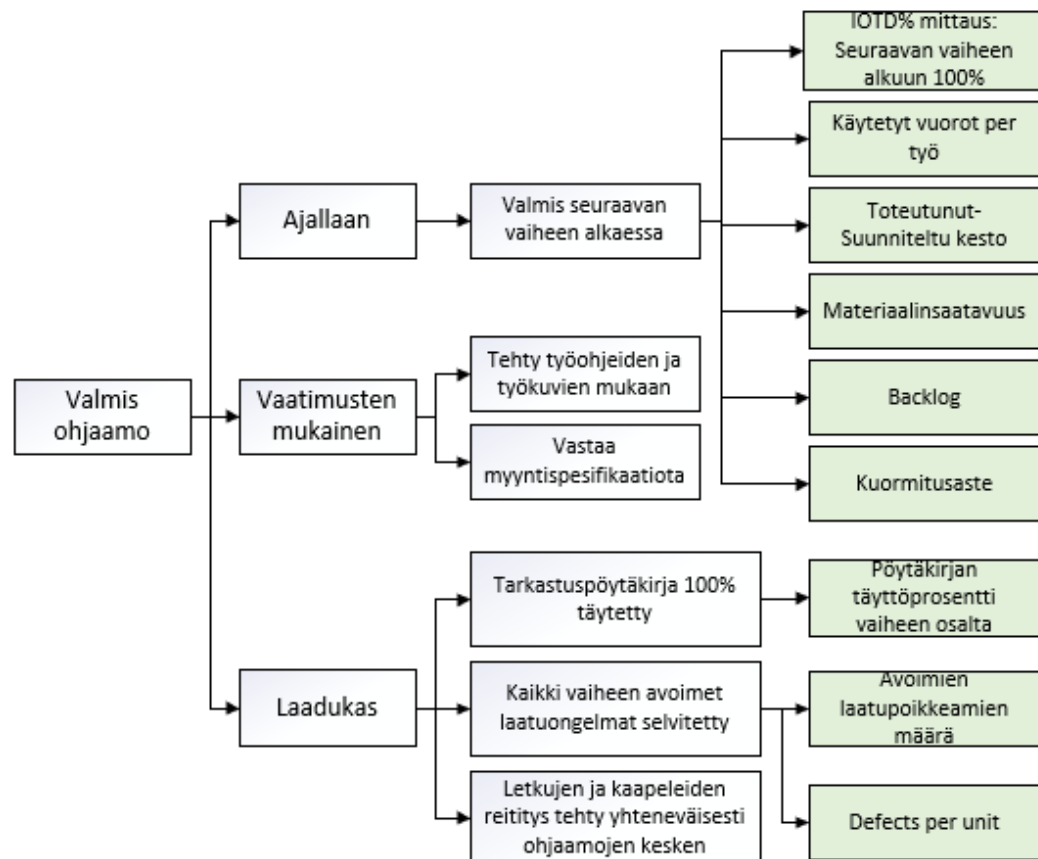
What is the Theory of Constraints? n.d. Luettu 24.10.2020 <https://www.leanproduction.com/theory-of-constraints.html>

Womack, J., Jones, D. & Roos, D. The Machine That Changed the World. New York: Rawson.

LIITTEET

Liite 1. Asiakasvaatimukset

VoC – CTQ-tree



Tässä kaaviossa näkyy asiakasvaatimukset, ja niiden saavuttamiseksi tarvittavat mittarit (vihreällä)

Liite 2. Prosessikaavio

