

Pekka Paasonen

Piensarjatuotannon tehostaminen lean-periaatteiden avulla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tuotantotalouden koulutusohjelma

Insinöörityö

4.10.2015

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Pekka Paasonen Piensarjatuotannon tehostaminen lean-periaatteiden avulla 63 sivua + 3 liitettä 4.10.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tuotantotalous
Suuntautumisvaihtoehto	Tilaus-toimitusketjun hallinta ja liiketoiminta
Ohjaajat	Lehtori Jarmo Toivanen Toimitusjohtaja Markus Grönholm
<p>Insinöörityön tarkoituksena oli tehostaa teknologia-alan yrityksen vedenlaatuanalysointin valmistusprosessia. Projektin lähtökohtana olivat Toyota Production System- ja lean-menetelmät ja -työkalut. Uuden tuotantoprosessin tavoitteena oli lyhentää läpimenoaikaa, parantaa laatua, alentaa kustannuksia ja mahdollistaa suurempi valmistuskapasiteetti tulevaisuutta varten.</p> <p>Työ pohjautui suurimmaksi osaksi japanilaisiin tuotantoteorioihin ja menetelmiin, joiden alku on Toyotan tuotantojärjestelmässä ja jotka toimivat nykyään leanin perustana. Teoria rakennettiin Toyotan talo -mallin pohjalta, jossa esitellään Toyota Production Systemin perustana vakautta luovat periaatteet, tukipilareina virtaus ja laatu ja kattorakenteena asiakaskeskeisyys.</p> <p>Insinöörityön tutkimusmenetelmänä käytettiin toimintatutkimusta: tuotantoprosessin ongelmiin ja puutteisiin tutustuttiin työskentelemällä tuotannossa. Tuotannon tilanteesta tehtiin nykytila-analyysi, jossa kuvattiin nykyinen tuotannonohjaus, tuotannon prosessit ja ongelmat. Tuotannon ongelmien pohjalta tehtiin muutossuunnitelma, jossa käytiin läpi mahdollisia parannuksia esille nousseisiin puutteisiin. Nykytila-analyysin ja muutossuunnitelman jälkeen aloitettiin konkreettinen tuotantoprosessien tehostaminen ja siirtyminen virtaavaan juuri oikeaan aikaan -tuotantoon lean-menetelmien avulla.</p> <p>Insinöörityössä havaittiin, että alhaisen menekin vuoksi osaa lean-menetelmistä oli hankalaa soveltaa järkevästi tuotannossa. Tehtyjen muutosten avulla saatiin aikaan nopeampi ja luotettavampi tuotantoprosessi, ja kohonnut tehokkuus johti tuotannon kustannusten vähenemiseen, joten yrityksen tuotannolle laatimat vaatimukset saavutettiin. Leanin käyttöönotto on projektin jälkeen kuitenkin vasta alkutekijöissään, ja tulevaisuudessa sen jatkuva parantaminen ja ylläpito ratkaisevat, kuinka onnistunut siirtyminen piensarjatuotannosta virtaavaan yksittäistuotantoon oli.</p>	
Avainsanat	lean, Toyotan tuotantojärjestelmä, tuotannonohjaus, tuotantoprosessien tehostaminen

Author Title Number of Pages Date	Pekka Paasonen Enhancing Small Batch Manufacturing with Implementation of Lean Principles 63 pages + 3 appendices 4 October 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Industrial Management and Engineering
Specialisation option	Supply Chain Management and Business
Instructors	Jarmo Toivanen, Lecturer Markus Grönholm, Chief Executive Officer
<p>The purpose of this thesis was to improve the manufacturing process of a water quality analyzer in a technology company. The basis for the project was the methods and tools of the Toyota Production System together with Lean. The goal of the new and improved manufacturing was to shorten the lead-time, improve overall quality, lower costs and enable a greater manufacturing capacity for the future.</p> <p>The source literature and theory are both based mostly on the Japanese theories and methods about production, whose origins are in the Toyota Production System and these days functioning as the base for Lean manufacturing. The structure of the theory of this thesis is based on the Toyota House model, which represents Toyota Production System as a house with a foundation consisting of stability principles, two pillars: flow together with quality and customer satisfaction builds the roof of the house.</p> <p>The research method for the thesis was a case study and the problems and shortcomings of the manufacturing process were studied by working in production. A present state analysis was made about the state of the production, which included current production control, production processes and its problems. Based on the problems found in the present state analysis an agenda for changes was made. It pondered through possible changes for the emerging problems. After the present state analysis and the agenda for changes, concrete improvements to increase the efficacy of manufacturing processes were initiated as well as transition to just-in-time flow production with the help of Lean principles.</p> <p>It was found in the thesis that due to the low sales, some parts of the Lean methodology were rather difficult to be applied smoothly in production; however, with the enhancements made to the manufacturing process, it became faster and more reliable. The increased efficiency resulted in lower overall costs in production and the requirements the company established were achieved. However, the deployment of Lean is still in its early stages and the benefits of transition to flow production from small batch manufacturing will be determined in the future by the success of continuous improvement and maintenance of Lean.</p>	
Keywords	production control, Toyota Production System, Lean, enhancing manufacturing processes

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lean-tuotanto ja Toyota Production System	3
2.1	Toyotan tuotantojärjestelmän historia	5
2.2	Toyotan tapa	6
2.3	Visuaalinen johtaminen	8
2.4	Vakaat prosessit	9
2.5	Tasoitettu tuotanto	10
2.6	Jidoka	12
2.7	Imuohjaus ja juuri-oikeaan-aikaan	15
2.8	Hukan vähentäminen	20
2.9	Jatkuva parantaminen	23
3	Tuotannon nykytila-analyysi	27
3.1	Tuote	27
3.2	Tuotannonohjaus	28
3.3	Tuotantoprosessi	28
3.4	Ongelmien löytäminen	32
3.5	Muutossuunnitelma	35
4	Tuotannon uudistukset	38
4.1	Asetusaikojen minimointi	38
4.2	Prosessien tehostaminen	39
4.3	Työpajan järjestely	43
4.4	Uuteen tuotantoon siirtyminen	44
5	Prosessien suorituskyvyn arviointi	47
5.1	Läpimenoaika	47
5.2	Resurssi- ja virtaustehokkuus	49
5.3	QCD-mittaristo	53
5.4	Tulevaisuus	56
6	Yhteenveto	57

Liitteet

Liite 1. Tuotannon nykytila -raportti

Liite 2. 5S-arviointi ennen tuotantoon tehtyjä muutoksia

Liite 3. 5S-arviointi tuotantoon tehtyjen muutosten jälkeen

Lyhenteet

4-P	Philosophy, Process, People/Partners, Problem solving. Filosofia, prosessi, ihmiset/yhteistyökumppanit, ongelman ratkaisu. Toyotan tavan neljä pääkategoriaa.
5S	Japanissa kehitetty menetelmä laadun, tuottavuuden ja työympäristön kehittämiseen. Tulee sanoista sortteeraus (Seiri), systematisointi (Seiton), siivous (Seiso), standardisointi (Seiketsu) ja seuranta (Shitsuke).
6M	Man, Machine, Method, Materials, Measurement, Milieu. Ihmiset, kone, menetelmät, materiaalit, tieto, ympäristö. Syy-seurausdiagrammissa esiintyvät ryhmät.
ATO	Assemble-to-Order. Kokoonpano tilauksesta. Tuotannonohjauksen menetelmä.
CAD	Computer-Aided Design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
CNC	Computer Numerical Control. Tietokoneellinen numeerinen ohjaus. Työstökoneiden ohjaus tietokoneavusteisella automaatiolla.
G-KOODI	Ohjelmointikieli, jolla ohjataan CNC-koneita.
HUKKA	Lisäarvoa tuottamaton työ, josta pyritään pääsemään eroon lean- ja TPS-tuotantofilosofioissa.
KANBAN	Lean-kommunikointityökalu, jota käytetään JIT-tuotannossa ohjaamaan virtausta kulkemalla tuotannossa olevien materiaalien mukana ja kertoen kuinka paljon, milloin ja mitä tulee valmistaa.
LEAN	Johtamis- ja tuotantofilosofia, jonka perustana on toiminut Toyota Production System.
EOQ	Economic Order Quantity. Taloudellinen tilauskoko.

JIT	Just-In-Time. Juuri-oikeaan-aikaan (JOT). Tuotanto ja toimitus tehdään juuri oikeaan aikaan ja oikeassa määrässä.
PC	Polykarbonaatti. Muovimateriaali.
PDCA	Plan, Do, Check, Act. Suunnittele, toteuta, tarkista, toimi. Demingin kehässä esiintyvät neljä vaihetta.
PMMA	Polymetyylimetakrylaatti. Muovimateriaali, tunnetaan yleisesti akryylina.
PS	Polystyreeni. Muovimateriaali.
QCD	Quality, Cost, Delivery. Laatu, kustannus, toimitus. Mittaristo suorituskyvyn arviointiin.
SMED	Single-Minute-Exchange-of-Die. Yksittäisen minuutin muotin vaihto. Järjestelmä asetusaikojen minimointiin.
SOLU	Työpiste, joka sisältää yleisesti useita työvaiheita.
SOP	Standard Operating Procedure. Vakiotoimenpide.
MRP	Material Requirements Planning. Materiaalitarpeiden suunnittelu.
TAKT	Takt Time. Tahtiaika. Tuotannon aikataulutusta laskemalla yhden tuotteen valmistamiseen tarvittava aika.
TPM	Total Productive Maintenance. Tuottava kunnossapito.
TPS	Toyota Production System. Toyotan tuotantojärjestelmä, joka on Toyotalla käytössä oleva yritys- ja tuotantofilosofia.
TQM	Total Quality Management. Kokonaisvaltainen laatujohtaminen.
WIP	Work in Progress. Keskenäisenä tuotanto (KET). Tuotteet ja materiaalit, jotka ovat vielä osana tuotantoprosessia eivätkä valmiita.

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena oli tehostaa Alshain Oy:n itse valmistaman vedenlaatuanalyysaattorin valmistusprosessia. Kyseessä on uusi tuote, eikä yrityksellä ollut kokemusta omasta tuotannosta yksittäisiä prototyyppinä lukuun ottamatta. Yritys haluaa valmistaa tuotetta itsenäisesti ja pystyä tekemään näin myös tulevaisuudessa menekin kasvaessa, joten sellaisen valmistusprosessin tarve, jolla voidaan säästää kuluja ja aikaa ja vähentää virheitä, oli suuri. Alshain Oy tarjoaa lean-filosofiaan pohjautuvaa tuotantosimulointia, joten tuotannon tehostaminen leanin avulla oli yhtiön haluama toimintatapa oman tuotannon parantamiseen. Uuden tuotannon tavoitteiksi yhtiö listasi lyhemmät läpimenoajat, laadun kohentamisen, kokonaiskustannusten vähentämisen ja kyvyn tukea suurempaa valmistuskapasiteettia tulevaisuudessa. Insinööriyö toteutettiin tutustumalla valmistusprosessiin työskentelemällä osana sitä ja soveltamalla lean-menetelmiä ja -työkaluja.

Insinööriyö rajattiin koskemaan pelkästään tuotantoprosessia. Lean on koko yrityksen kattava filosofia, mutta tässä projektissa keskityttiin pelkästään sen ajatuksiin tuotannossa ja pois jätettiin leanissa esiintyvät käytännöt johtamisesta ja työntekijöiden ohjauksesta. Työ tehtiin kuitenkin ajatellen koko tilaus- ja toimitusketjua, koska sen vaikutukset ja rajoitteet näkyvät tuotannossa. Insinööriyön taustaosuus rajattiin leanin yleiseen esittelyyn ja tuotannon tehostamisessa käytettäviin menetelmiin sekä työkaluihin, joita voitaisiin mahdollisesti soveltaa projektissa. Yleinen lean-teoriaosuus keskittyy pääasiallisesti perinteikkäisiin japanilaisiin menetelmiin ja työkaluihin, joiden alkuperä on Toyotan autonvalmistuksen tuotantojärjestelmässä: Toyota Production Systemissä. Projekti keskittyy tuotannon nykyhetkeen, sen tehostamiseen ja ongelmien ratkaisemiseen. Tuotannon tulevaisuuden vaihtoehtoja käydään läpi, mutta vain pintapuolisesti esittämällä, miten tuotantoprosessia tulisi muokata menekin kasvaessa ja mitä asioita tulisi kehittää tulevaisuudessa.

Insinööriyö on konstruktiiivinen tutkimus, jossa on tavoitteena löytää ratkaisu tuotannon tehostamiseen lean-työkalujen ja -menetelmien avulla. Insinööriyö koostuu kuudesta osasta. Ensimmäisessä, johdanto-osassa, lukijalle esitellään insinööriyön tausta, jossa esitellään insinööriyön syyt ja tavoitteet, kerrotaan toteutuksesta ja käytetyistä menetelmistä, määritellään työn rajaukset ja esitellään työn rakenne.

Toisena osuutena on insinööriyön teoriapohja, jossa tutustutaan lean- ja Toyota Production System -filosofioihin. Teoriaosuus on rakennettu Toyotan talo -mallin pohjalta, jota käytetään yleisesti kuvattaessa leania ja Toyotan tuotantojärjestelmää. Talomalliksi valitsin Jeffrey K. Likerin teoksessa *The Toyota Way* esitellyn version. Aluksi teoriaosuudessa esitellään leanin ja Toyotan tuotantojärjestelmän taustaa ja historiaa. Tämän jälkeen esitellään Toyotan talo -mallin periaatteita ja niihin liittyviä työkaluja, jotka pohjautuvat suuresti Toyotan tuotantoinsinöörien Taiichi Ohnon ja Shigeo Shingon töihin. Näitä tukemaan insinööriyössä käytettiin analysointimenetelminä Demingin kehää ja Ishikawa-diagrammia.

Kolmannessa osiossa, tuotannon nykytila-analyyseissä, perehdytään Alshain Oy:n tuotannon tilanteeseen insinööriyön alkuvaiheessa. Ensiksi esitellään valmistettava tuote ja sen valmistusmenetelmät käymällä läpi yrityksen tuotannonohjaus ja tuotantoprosessi. Tuotannon läpikäynnin jälkeen aletaan tutkia piensarjatuotannon ongelmia käyttäen Ishikawa-diagrammia ja viisi kertaa miksi -menetelmää. Löydettyjen ongelmien pohjalta tehdään muutossuunnitelma, jonka avulla pyritään täyttämään tuotannolle asetetut tavoitteet ja siirtymään lean-valmistukseen.

Neljännessä osiossa toteutetaan muutossuunnitelman uudistukset. Ensimmäiseksi tuotannon prosesseja tehostetaan ja valmistellaan leania varten. Tuotantoa tehostetaan lyhentämällä asetusajoja, parantamalla valmistusprosesseja, muokkaamalla tuotteen ominaisuuksia ja järjestämällä työpaja leanille sopivaksi. Tehostamisen jälkeen tuotantotapa muutetaan piensarjatuotannosta virtaavaksi lean-yksittäiskappaletuotannoksi.

Viidennessä osuudessa arvioidaan, millä tavalla uudistukset vaikuttivat tuotannon tehokkuuteen, tarkastelemalla läpimenoaikaa, resurssitehokkuutta, virtaustehokkuutta, laadua, kustannuksia ja kuljetuksia tuotannon tehokkuuden mittareina. Lisäksi pohditaan tuotannon tulevaisuutta, kuinka sitä voitaisiin vielä parantaa tulevaisuudessa, ja käydään läpi valmistuksen eri vaihtoehtoja, jos tuotantomäärät kasvavat suuresti. Lopuksi yhteenvedossa käydään koko insinööriyö tiivistetysti läpi.

2 Lean-tuotanto ja Toyota Production System

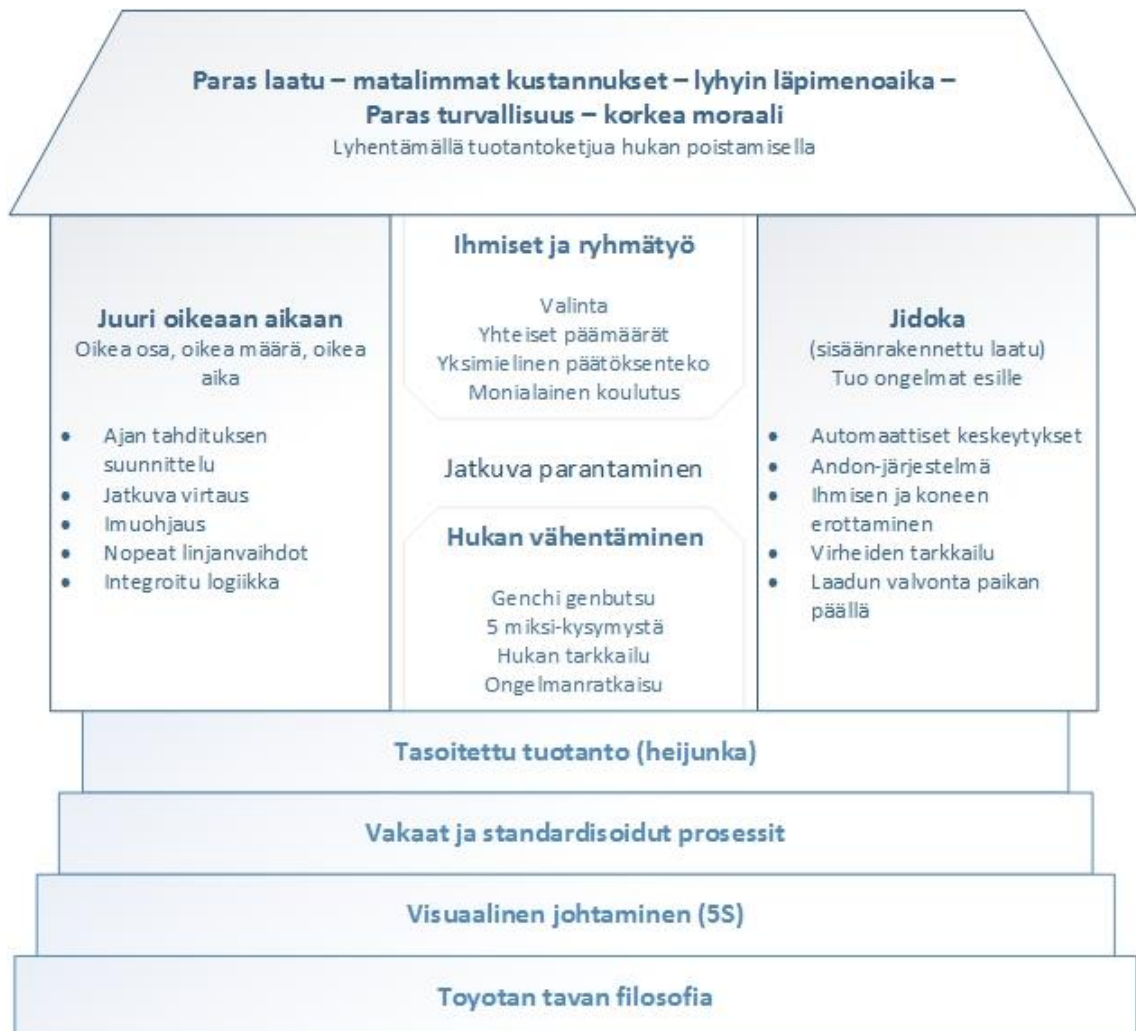
Leanista on olemassa lukuisia tulkintoja, ja tässä insinööriyössä leania käsitellään tuotannon näkökulmasta toimintastrategiana, jolla yritetään saavuttaa hyvä virtaustehokkuus organisaatiossa ja parantaa sitä jatkuvasti [1, s. 151]. Leanin avulla yritetään löytää lisäarvoa tuottavat toiminnot prosesseista, laittaa ne parhaaseen järjestykseen ja suorittaa niitä ilman keskeytyksiä pelkästään tarpeeseen. Päämääränä on nostaa tehokkuutta, tehdä enemmän vähemmällä ja tarjota asiakkaalle juuri se, mitä asiakas haluaa. [2, s. 15.] Lean-konsepti kehittyi Toyotan tuotantotavasta, jota kutsutaan Toyota Production Systemiksi (TPS). Yleisesti sanoja lean ja TPS pidetään synonyymeinä, mutta eroksi voidaan lukea, että TPS on varta vasten Toyotan autonvalmistuksessa käytetty järjestelmä ja lean on yleinen johtamis- ja tuotantofilosofia.

Lean-käsitettä käytettiin ensimmäisen kerran vuonna 1988, kun John Krafcik julkaisi artikkelin ”*Lean-tuotannon riemuvoitto*”, jossa verrattiin eri autonvalmistajien tuotantotapoja. Krafcik havaitsi Toyotan ainutlaatuisen lähestymistavan valmistukseen kykenevän hyvään tuottavuuteen ja laatuun. Tuotantotapa poikkesi muista autonvalmistajista, jotka luottivat suurtuotannon etuihin ja huipputekniikkaan. [1, s. 78–79.] Vuonna 1990 James P. Womack, Daniel T. Jones ja Daniel Roos julkaisivat teoksen ”*The Machine that Changed the World*”, joka toi leanin yleiseen tietoisuuteen. Teos vahvisti Krafcikin tuloksia Toyotan paremmasta tehokkuustasosta kilpailijoihin verrattuna [3, s. 5]. TPS tarkastelee valmistusta asiakkaan näkökulmasta; asiakas voi olla ulkoinen tai seuraava vaihe tuotantoprosessissa. Katsomalla tuotantoa asiakkaan silmin arvoa tuottava ja arvoa tuottamaton työ erotellaan toisistaan. [4, s. 27.] TPS ei ole pelkästään joukko tuotannon tehostamiseen käytettyjä työkaluja vaan koko organisaation filosofia: sitä sovelletaan myynnissä, jakelussa, tuotekehityksessä ja tiedotuksessa. Tilanteessa, jossa keskitytään pelkästään tuotantoon, mutta esimerkiksi toimitusaikoja ei muuteta, tuotannon nopeutumisesta ei ole hyötyä asiakkaalle. [5, s. 44.]

TPS:n perusajatus on päästä eroon hukasta (muda), ylikuormasta (muri) ja epäjohtomukaisuudesta (mura). Yleisesti hukkaa pidetään tärkeimpänä, mutta kaikki kolme muodostavat yhdessä kokonaisuuden, ja jos keskitytään pelkästään hukkaan, voi tuotanto kärsiä. Hukkaan, eli lisäarvoa tuottamattomaan työhön, perehdytään tarkemmin luvussa 2.8. Ylikuormitus on tavallaan hukan vastakohta: sitä esiintyy, jos työntekijöitä tai koneita rasitetaan liikaa. Lyhyellä tähtäimellä tämä voi vaikuttaa myönteiseltä asialta, mutta se

johtaa laadun ja turvallisuuden heikkenemiseen ja laitteiden toimintahäiriöihin. Epäjohdonmukaisuus tai epätasaisuus on hukan ja ylikuormituksen seuraamus. Epätasaisuutta syntyy, kun tuotantoprosessissa tulee ongelmia laitteiden vuoksi tai tuotantomäärät vaihtelevat. Epätasaisuus johtaa hukkaan; jos valmistusmäärät vaihtelevat, pitää tuotannon pystyä valmistamaan enemmän kuin keskimääräisesti tarvitsee. [4, s. 114.]

TPS:n esittelyssä suosittu tapa on kuvata se talona (ks. kuva 1), siitä on olemassa monia variaatioita, mutta rakenne on aina sama: Talon katto havainnollistaa Toyotan tavoitteen olla paras toimittaja toimialallaan. Katon pilarit, JIT-tuotanto ja jidoka, pitävät järjestelmän koossa, ja talon perustuksena ovat vakautta tuovat menetelmät. Toyotan tuotantojärjestelmä ei ole pelkästään joukko lean-työkaluja tai tuotannonhallintamenetelmää. TPS on koko organisaation kattava toimintafilosofia.



Kuva 1. Toyotan tuotantojärjestelmä [4, s. 33].

2.1 Toyotan tuotantojärjestelmän historia

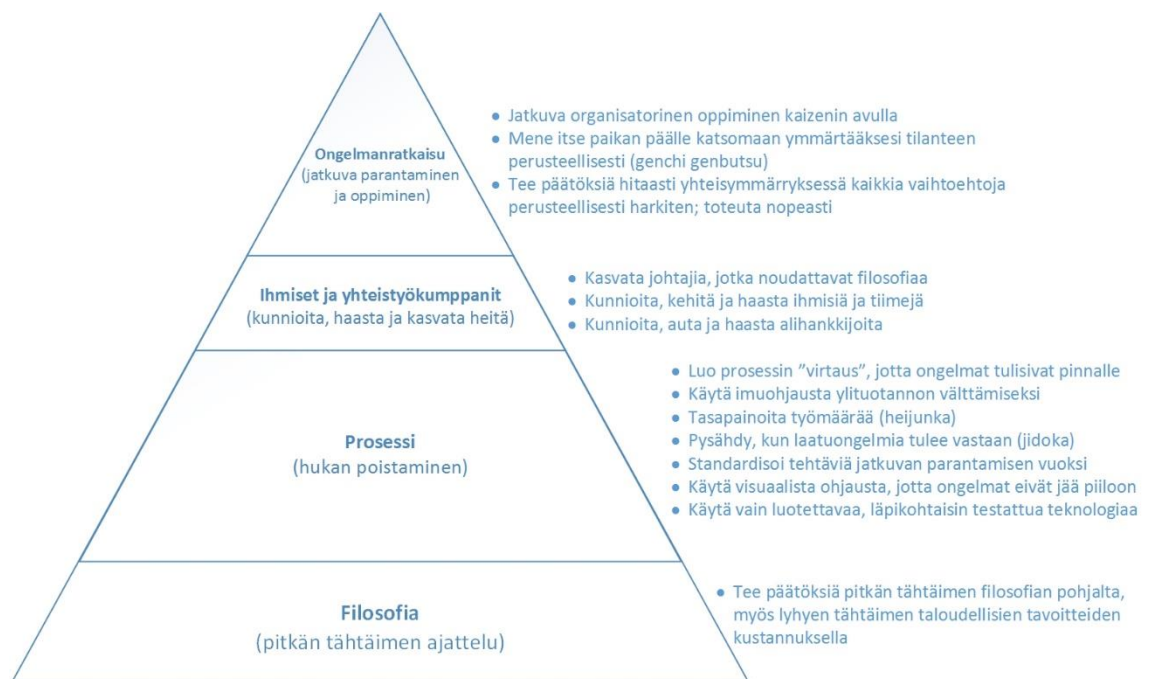
Toyota Production System (TPS) on Toyotalla toisen maailmansodan jälkeen kehitetty tuotantojärjestelmä. Japanin hävittyä toisen maailman sodan Toyota oli hankalassa asemassa, Toyotan johtaja Kiichiro Toyoda sanoi: ”*Toyotan pitää kuroa Amerikka kiinni kolmessa vuodessa, tai Toyota ei tule selviytymään.*” Japanilaiset alkoivat tutkia Yhdysvaltojen autotuotantoa, etsiä ratkaisuja hukan poistamiseen ja tuottavuuden tehostamiseen. Tämä oli TPS:n alku. [6, s. 3.] Japanin teollisuusmarkkinat olivat Yhdysvaltojen vastakohta: monet teollisuudenalat tuhoutuivat sodan takia, kuluttajilla ei ollut rahaa ja tarvikkeita oli mitätön. Autoteollisuuden senhetkinen jättiläinen Ford toteutti massatuotantoa menestyksekkäästi; sillä oli paljon rahaa ja suuret markkinat, joille se valmisti suuria määriä vähäisiä eri malleja. Toyota ei pystyisi tähän, koska sillä ei ollut resursseja tai pääomaa. Japanin markkinatilanne oli heikko, ja kysyntää oli pienelle määrälle ja suulle mallivaihtelevuudelle. Joukko Toyotan johtajia meni vuonna 1950 tutustumaan yhdysvaltalaisiin tehtaisiin ja oppimaan paikallista tuotantoa. He huomasivat, että massatuotanto ei ollut kehittynyt paljoa eteenpäin 1930-luvulta, käytössä oli suuria määriä koneita, jotka tuottivat suuria määriä tuotteita varastoon, josta ne siirtyisivät seuraavaan vaiheeseen ja uudelleen varastoon. Yhdysvaltalaiset keskittyivät valmistushinnan minimointiin, mutta eivät välittäneet koneiston suurista kustannuksista tai valmistusajoista. Pääasia oli pitää koneet käynnissä koko ajan, ei tehokkuus. Ylituotantoa syntyi valtavasti, tuotteiden viat pysyivät piilossa jopa viikkoja, läpimenoajat olivat pitkiä, eikä valmistusmenetelmä pystynyt joustoon. Tämän nähtyään Toyoda oli vakuuttunut, että he pystyisivät saavuttamaan Fordin tuottavuuden omilla markkinoillaan. [4, s. 20–21.]

TPS:n isänä tunnettu Taiichi Ohno perehtyi Fordin tuotantojärjestelmään tutkien, mitä Toyota voisi oppia siitä. Ohnon mukaan Fordin tuotantojärjestelmän tärkein periaate oli jatkuva virtaus, jota Ford käytti kuuluisassa kokoonpanolinjastossaan. Henry Fordin kirjassa ”*Today and Tomorrow*” Fordin perustaja puhui käsitteistä jatkuva materiaalin virtaus, hukan poistaminen ja prosessien standardisointi. Yhtiö ei kuitenkaan toiminut niiden mukaan. Ohno päätti kehittää yksiosaisen jatkuvan virtausjärjestelmän. [4, s. 22.] Toyota huomasi tutustumiskäynneillään Yhdysvalloissa erikoisen tavan, miten paikalliset supermarketit täyttivät hyllyjään asiakaslähtöisesti. Asiakas saapuu supermarketiin, ostaa määrän, jota tarvitsee, ja tämän jälkeen supermarketin työntekijät täyttävät hyllyt uusilla tuotteilla. Supermarketit innoittivat Ohnoa soveltamaan tätä tapaa Toyotan tuotantoon. Myöhempi prosessi hankkii aiemmalta prosessilta tarvitsemansa määrän tavaroita

juuri oikeaan aikaan. Tämä on perustana TPS:n yhdelle pääajatuksista: asiakaslähtöiselle imutuotannolle. [6, s. 26.]

2.2 Toyotan tapa

TPS-talon perustana on Toyotan harjoittama filosofia. Toyota julkaisi vuonna 2001 Toyotan tavan yhtiön sisäisesti, ja vuonna 2004 Jeffrey K. Liker esitteli sen teoksessaan *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. Liker jakoi Toyotan filosofian neljään pääkategoriaan: pitkän tähtäimen filosofia, oikea prosessi tuottaa oikeat tulokset, lisäarvon tuottaminen organisaatiolle ihmisiä ja yhteistyökumppaneita kehittämällä ja jatkuva taustaongelmien ratkominen edistää organisaation oppimista (ks. kuva 2). Pääkategoriat jaetaan 14 menetelmään, jotka muodostavat Toyotan tavan. [4, s. xiv–xv.]



Kuva 2. Neljän tason malli (4-P) [4, s. 13].

Likerin Toyotan tavan neljästä pääkategoriasta käytetään yleisesti nimitystä 4-P, joka on lyhenne englannin kielen sanoista philosophy, process, people and partners ja problem solving, suomennettuna filosofia, prosessi, ihmiset ja yhteistyökumppanit sekä ongelmanratkaisu. Kuvassa 2 4-P on esitetty pyramidina, ja sen oikealle puolelle on kirjattu neljän pääkategorian menetelmät.

Toyotan filosofia pohjautuu pitkäntähtäimen ajatteluun. Sitä sovelletaan niin tuotannossa ja kaupanteossa kuin myös työntekijöiden, asiakkaiden ja yhteistyökumppanien kanssa. Yleisesti yritykset keskittyvät herkästi lyhyen tähtäimen asioihin, kuten tuotannon tehostaminen tarkastelemalla senhetkisiä säästöjä, valmiiksi taitavien työntekijöiden palkkaaminen, yhteistyön tekeminen osaavien yritysten kanssa ja voiton teon pitäminen päätähätäimenä. Toyotan tapa ei väitä, että nämä olisivat huonoja asioita, mutta Toyotan tavassa katsotaan lyhyentähtäimen tulosten yli. Tuotantoprosessien kehitys voi vaatia esimerkiksi investointeja, jotka eivät lyhyellä aikavälillä tuota rahaa, mutta niiden avulla päästään lähemmäs TPS:n päämäärää, eli täydellistä hukan poistamista. Työntekijöitä ja yhteistyökumppaneita kehitetään ja heihin sijoitetaan rahaa, koska se tuottaa arvoa pitkällä aikavälillä ja tukee yrityksen päämäärää. [7, s. 19–20.]

Prosessikategoria koostuu seitsemästä käsitteestä, jotka kaikki ovat lean-menetelmiä ja -työkaluja. Ne esitellään tämän insinööriyön myöhemmissä vaiheissa. Prosessit on luotu tukemaan Toyotan filosofiaa, ja niiden perimmäinen tarkoitus on hukan poistaminen. Yleisen harhaluulon mukaan näitä lean-työkaluja luullaan usein lean-valmistuksen ja lean-ajattelun synonyymiksi, mutta ne ovat vain leanin operationaalinen puoli. [4, s. 87.]

Ihmiset ja yhteistyökumppanit -kategoriassa keskitytään organisaation johtamiseen, työntekijöihin ja yhteistyökumppaneihin. Johtajien on tärkeää ymmärtää yhtiön toimintamalli ja tavat, jotka voidaan varmistaa kehittämällä ja palkkaamalla heidät yhtiön sisältä. Johtajien merkitys on suurempi kuin pelkästään tehtävien hoitaminen erinomaisesti: johtajien kuuluu olla myös yrityksen toimintamallin roolimalleja. Yrityksen kulttuurin pitää olla vahva, ja kaikkien työntekijöiden tulee olla osana sitä. Tähän päästään koulutuksella ja tiimityöskentelyllä. Alihankkijat ja muut yhteistyökumppanit ovat tärkeä resurssi, etenkin imutuotannossa, missä luotettavuus ja laatu merkitsevät paljon. Pitämällä yhteistyökumppaneita yrityksen jatkeena luodaan yhteinen arvostus, ja toimimalla yhdessä molemmat yritykset hyötyvät. [4, s. 39–40.]

Ongelmanratkaisussa jatkuvalla taustasyiden etsimisellä ajetaan eteenpäin yrityksen oppimista. Ongelmat nähdään mahdollisuutena parannukseen, ja kun ongelmat selvitetään kunnolla, niistä päästään lopullisesti eroon. Ongelmien ratkettua niistä kerrotaan samoissa tilanteissa oleville toisille työntekijöille, jolloin koko organisaatio kehittyy. [7, s. 7.]

2.3 Visuaalinen johtaminen

TPS:ssä on tärkeää, että ongelmat tulevat heti esille. Visuaalisuudella pyritään läpinäkyvään työympäristöön, jossa hukka tulee esille. Työntekijät ja johtajat voivat yhdellä vilkaisulla nähdä, poikkeavatko työntekijä, työvälineet tai informaatio standardeista. Monet TPS:n työkaluista ja menetelmistä pohjautuvat visuaalisuuteen tuomalla poikkeamat esille. Visuaaliseen johtamiseen kuuluvat viestintävälineet, jotka ilmoittavat virheistä, ja yleinen siisteys ja selkeys työpaikalla. [4, s. 152.]

5S

Hiroyuki Hirano kehitti 5S-menetelmän Toyotalla 1960-luvulla laadun, tuottavuuden ja työympäristön kehittämiseen. Tavoitteisiin pyritään tiukalla organisoinnilla, siisteydellä ja järjestyksellä. Menetelmä on visuaalispohjainen, ja siinä työntekijät ovat tärkeässä asemassa; kaikkien osallistuminen on tärkeää. [8, s. 7–9.] 5S saa nimensä viidestä japaninkielisestä sanasta: seiri, seiton, seiso, seiketsu ja shitsuke, suomennettuna: sortteeraus, systematisointi, siivous, standardisointi ja seuranta. 5S auttaa löytämään turhuuksia työpaikalla, kuten keskeneräistä tuotantoa (WIP, work in progress), huonoa tilankäyttöä, ylimääräistä työntekijöiden liikettä ja syitä valmistusprosessin ongelmiin [9, s. 82–84].

Sortteerauksessa erotellaan prosessin tarpeelliset asiat turhista ja poistetaan kaikki tarpeeton. Tähän kuuluu esimerkiksi, ylimääräisten työkalujen ja tavaroiden poisto työpaikalta. Apuna voidaan käyttää punalaputusta: työkalut merkitään lapuilla, joihin kirjoitetaan aina käytön jälkeen, missä ja koska niitä on käytetty. Myöhemmin työkalut voidaan tarkastaa ja sijoittaa paikkaan, jossa niillä on eniten käyttöä, tai poistaa kokonaan työpaikalta. [9, s. 84–85.]

Systematisoinnissa työkaluille määrätään omat tarkat paikat, joihin ne palautetaan aina käytön jälkeen. Tämä auttaa ylläpitämään siisteyttä ja estää työajan hukkausta työkalujen etsimiseen. Systemointi ei koske pelkästään työkaluja, vaan myös materiaaleille määrätään alue tai paikka, missä niitä pidetään. Alue merkitään esimerkiksi teipillä, eikä siellä saa säilyttää mitään ylimääräistä. [9, s. 85–86.]

Siivouksessa pidetään huoli työpaikan järjestyksestä, puhtaudesta ja ylläpidosta ja sotkua aiheuttavien tekijöiden poistamisesta. Kaikki työkalut tulee palauttaa omille määrätuille paikoilleen, roskista pitää päästä eroon välittömästi ja tulee pitää huoli, etteivät mitään työpaikan koneet voi liata työpaikkaa. [3, s. 148.]

Standardisointi valvoo kolmea aikaisempaa S:ää ja auttaa parantamaan niitä. Vakiotoimintoja (SOP, standard operating principle) luomalla työntekijöille annetaan selkeät ohjeet, millä tavalla työpaikalla pitää toimia. Standardit pitävät sisällään toimintatavat aiemmin mainituille vaiheille; ohjeissa määritetään työpisteille kuuluvat työkalut, mihin työkalut kuuluu sijoittaa sekä koska ja miten työpiste siivotaan. Apuna käytetään tarkistuslistoja, joista työntekijä näkee helposti, onko kaikki tarvittavat vaiheet on suoritettu. Työn selkeyttämiseksi ja helpottamiseksi käytetään kuvia, joista on helppo nähdä oikeat toimintatavat. Standardisointi karsii tehokkaasti hukkaa, poistaen arvoa tuottamattomat työvaiheet; selkeitä ohjeita seuraten työntekijä tekee vain tarvittavan työn toistettavalla tavalla, mikä vaikuttaa myönteisesti laatuun. [10, s. 8.] Kuuluisan jatkuvan parantamisen (kaizen) teoreetikon Masaaki Imain mukaan ”*on mahdotonta parantaa mitään prosessia ennen kuin se on standardisoitu*”. Ilman standardisointia prosessin muutokset koskevat vain sen variaatiota, jolloin parannus ei ole aina läsnä prosessissa, jolloin sitä ei seurata. [4, s. 142.]

Seurannassa pidetään huoli, että 5S:n kaikkia vaiheita sovelletaan joka päivä ja myös tulevaisuudessa. Järjestelmää tulee arvioida koko ajan ja etsiä parannuksia. Liitteissä 2 ja 3 nähdään 5S-tarkistuslomake, joka pitäisi tehdä uudelleen mahdollisimman usein ja seurata saatuja pisteitä, jotta jatkuvaa parantamista voidaan harjoittaa. [3, s. 147–149.]

2.4 Vakaat prosessit

Vakaat prosessit takaavat yhdenmukaiset tulokset valmistuksessa. Kaikki vaihtelu prosessissa aiheuttaa epävakautta, kuten epätasainen laatu ja viat laitteistossa [7, s. 56]. Standardisointi on menetelmä, jolla pyritään pääsemään epävakaudesta eroon toimintaohjeiden avulla.

Perinteinen standardisointi perustuu Frederick Taylorin oppeihin, joissa tehokkuutta parannetaan seuraamalla työntekijöiden tuottavuutta ja asettamalla tiukkoja tavoitteita niiden pohjalta. Standardien vaatimuksia nostetaan jatkuvasti ja tehokkuus nousee, mutta

tämä johtaa usein tilanteeseen, jossa työntekijät tekevät töitä hitaasti tarkoituksella, jotta vaatimukset eivät kasvaisi. Taylorin opit vaikuttavat myös negatiivisesti jatkuvaan parantamiseen ja laatuun. Keksiessään työtä säästäviä menetelmiä työntekijät eivät jaa niitä organisaatiolle, ja koska työntekijöitä seurataan, he keskittyvät työkiintiöiden saavuttamiseen laadun kustannuksella. [4, s.142.]

Toyotaa tutkineen organisaatioteoreetikko Paul Adlerin mukaan TPS on ”mahdollistavaa byrokratiaa”, jossa Taylorin ankara kuri on läsnä prosessien toisteisuudessa, jaksajassa, työpaikan järjestyksessä, kustannuksissa, laadussa, turvallisuudessa ja ajankäytössä. Kuitenkin Toyotalla esiintyy suuressa määrin työntekijöiden osallistumista, kommunikaatiota, innovaatiota, joustavuutta ja korkea moraalit. Taylorin tavassa standardeilla yritetään kontrolloida työntekijöitä. [4, s. 144–145.] TPS:ssä standardisointi on tarkoitettu auttamaan työntekijöitä suoriutumaan työstään, luomaan perusta työntekijän osallistumiselle ja edistämään innovaatiota [4, s. 141–142].

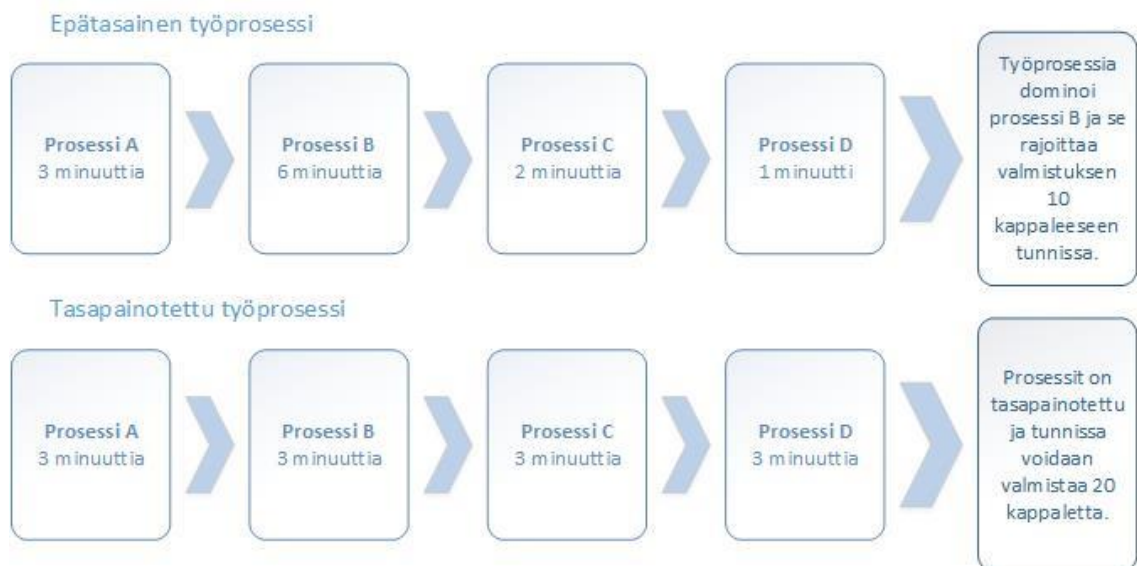
Standardisointi toimii TPS:ssä laadun ja jatkuvan parantamisen lähtökohtana, sen merkitys on paljon enemmän kuin tehdä prosesseista toisteisia. Standardisointi ei koske vain valmistusta vaan koko organisaatiota [4, s. 142]. Leanissa prosessien vakioitointimenettelyt (SOP) ovat ohjeita, joiden avulla pyritään luomaan johdonmukaisuutta tehtävään työhön ja soveltamaan vähiten hukkaa tuottavia käytäntöjä [3, s. 152]. Toyotan entinen pääjohtaja Fujio Cho määritteli standardisoinnin koostuvan kolmesta elementistä: tahtiajasta, prosessien järjestyksestä ja yhden työntekijän suorittamaan tehtävään tarvittavasta materiaalmäärästä. Tahtiajalla tasataan tuotanto määrittämällä yhden työn suoritusaika, tehtävät asiat laitetaan sopivaan järjestykseen ja materiaaleja varataan vain tarvittava määrä. [4, s. 142.]

2.5 Tasoitettu tuotanto

Tasoitettusta tuotannosta käytetään TPS:ssä nimeä heijunka. Taiichi Ohno esitti heijunkan kilpikonnan ja jänis -esimerkillä: hidas ja tasaisesti liikkuva kilpikonnan aiheuttaa vähemmän hukkaa kuin vikkela jänis, joka pysähtyy välillä lepäämään. Ohno painotti, ettei korkeaa tuottavuutta ja nopeaa valmistusta pidä sekoittaa keskenään. Jos nopeutta voidaan kasvattaa lisäämättä työntekijöitä, vähentämättä käyttönopeutta, tinkimättä koneiden eliniästä ja luomatta ylituotantoa, vain silloin nopeuden kasvattaminen johtaa korkeampaan tuottavuuteen; nopeus on turhaa ilman jatkuvuutta. [6, s. 62–63.]

Työmäärän tasapainottaminen

Työmäärän tasapainottamisen tarkoituksena on kontrolloida työn määrää ja vaihtelua. Jatkuvaa virtausta ei voi luoda ilman työmäärän tasapainottamista. Vaikka TPS:n perusaate on valmistaa tuotteita vain tilauksesta, pitää tuotantoa kuitenkin tasapainottaa asiakkaan kysynnän vaihtelun varalta. [3, s. 293.] Tuotannossa kaikki tavanomaisesta poikkeava aiheuttaa hukkaa. Ilman tuotannon tasapainottamista valmistusprosessin pitää olla aina valmiina tuotantopiikkien varalta, mikä luo hukkaa ylimääräisten työntekijöiden ja koneiden tarpeen vuoksi. Koko tuotannon pitää olla tasapainotettu: jos yhdessä prosessin vaiheessa tapahtuu vaihtelua, sen vaikutukset näkyvät koko prosessissa. [6, s. 126.] Heijunka luo tasapainon asiakkaan tarpeiden ja tehokkaan tuotannon välille. Yhden jakson tilaukset jaetaan tasaisesti, jotta joka päivä voidaan valmistaa sama määrä. [4, s. 116.] Tuotantomäärien tasapainottamisen siirtyminen sarjatuotannosta yksittäistuotantoon on tärkeää. Yksittäistuotanto reagoi asiakkaan tarpeeseen paremmin ja auttaa välttämään turhaa varastointia. Yksittäistuotanto ei ole kannattavaa ilman lyhyitä asetusaikoja. [11, s. 295–296.] Kuvasta 3 voidaan nähdä tasapainotuksen ero epätasapainoiseen prosessiin. Epätasaisessa prosessissa on pullonkaula, joka määrää koko prosessin valmistusnopeuden.



Kuva 3. Epätasainen työprosessi vastaan tasapainotettu työprosessi [3, s. 46].

Tahtiaika

Tahtiaika (TAKT) sovittaa prosessin läpimenoajan vastaamaan asiakkaan tarvetta. Tuotanto tasapainotetaan vastaamaan päivittäistä tahtiaikaa. Tahtiajan seuraaminen johtaa tilanteeseen, jossa tuotetaan tarvittava määrä eikä ylituotantoa synny.

$$TAKT = \frac{\text{käytettävissä oleva työaika}}{\text{tilausten lukumäärä}}$$

Tahtiaikaa laskettaessa on otettava huomioon mahdolliset viivästyksset ja virheet. [12, s. 65.] Kokonaistehokkuus eli OEE (overall equipment effectiveness) antaa TAKT-ajalle kertoimen, joka antaa todellisen tahtiajan. Käytettävyys on kokonaiskäytettävyys jaettu suunnitellulla käytöllä. Laadukkuus laskee, kuinka monta prosenttia tuotteista on myytäviä. Nopeudessa valmistettuja tuotteita verrataan tuotantotavoitteeseen [12, s. 61].

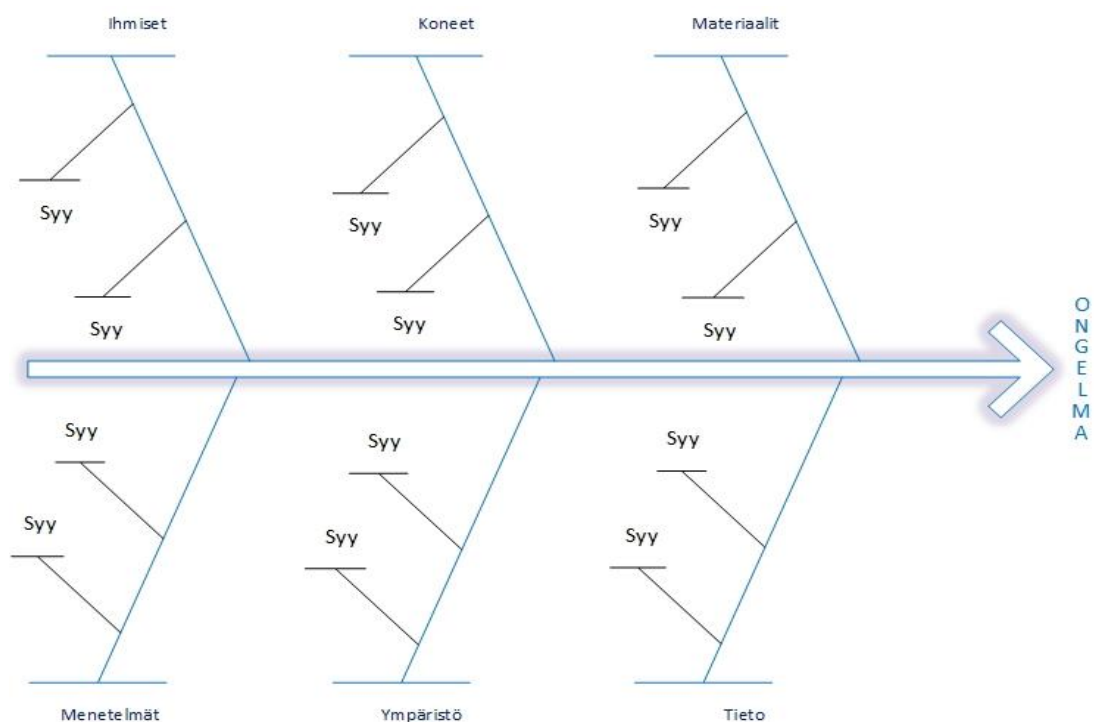
$$OEE = \text{käytettävyys} * \text{laadukkuus} * \text{nopeus}$$

2.6 Jidoka

Jidokasta puhuttaessa käytetään termejä ”automaatiota inhimillisellä kosketuksella” ja ”laadun sisään rakentaminen”. Jidokan tarkoitus on suunnitella välineet ja toimenpiteet niin, että työntekijät eivät ole sidottuina niihin [4, s. 16]. Virheiden sattuessa koneet pysyvät pysäyttämään itsensä ja ilmoittamaan siitä työntekijälle. Koneet eivät hallitse ihmistä, vaan ne ovat olemassa helpottaakseen työntekijän tekemää työtä. Kun pääpaino ei ole koneissa vaan työntekijöissä, asiakkaan tarpeet pystytään täyttämään paremmin. [7, s. 177.] Jidoka on apuväline ongelmien havaitsemiseen ja ehkäisyyn. Ongelmatilanteessa pysähdytään ja korjataan virheet välittömästi. Ongelman alkuperä tutkitaan ja suoritetaan vastatoimenpide, ettei sama ongelma tapahtuisi uudelleen. [3, s. 291.] Ongelmien tutkimisessa ja ratkaisujen löytämisessä käytetään apuna esimerkiksi Ishikawa-diagrammia ja viisi kertaa miksi -menetelmää. Vaikka lean-tuotannossa jatkuva virtaus on tärkeää, tuotannon pysäyttäminen ja ongelmista eroon pääsy on tärkeää ja pitkällä tähtäimellä järkevää.

Ishikawa-diagrammi

Syy-seurausdiagrammi (ks. kuva 4) on Kaoru Ishikawan vuonna 1968 kehittämä analysointityökalu teollisiin prosesseihin. Diagrammi on hyödyllinen apuväline ongelmien syiden löytämiseen [13, s. 391]. Syy-seurausdiagrammi on yleisessä käytössä leanin ”käytännöllisessä ongelmanratkaisussa” auttamaan selvittämään todellisen ongelman. Analyysi auttaa tunnistamaan epäselvien ongelmien perussyitä, koska siinä käydään läpi mahdollisimman monta ongelman syytä, olivat ne arkisia tai epätavallisia. Tämän avulla eivät jää piiloon epätavallisetkaan syyt, jotka voivat muuten helposti unohtua. [14, s. 346.]



Kuva 4. Syy-seurausdiagrammi [15, s. 433].

Diagrammi tunnetaan myös nimellä 4M-diagrammi. Nimi tulee englanninkielisistä sanoista man, machine, materials, methods eli ihmiset, koneet, materiaalit ja menetelmät. Diagrammi on myös laajennettu kuudeksi M:ksi, jossa kaksi lisäsyitä ovat ympäristö (millieu) ja tieto (measurement). [3, s. 211.]

Kuvasta 4 voidaan nähdä syy-seurausdiagrammin rakenne. Kaavion teko aloitetaan piirtämällä seurausviiva, joka johtaa ongelmaan. Tutkittava ongelma kirjataan nuolen oikealle puolelle. Seurausviivasta haarautuvat ongelman perimmäiset lähteet, eli aiemmin mainitut 4M tai 6M. Näiden alle kirjataan kategoriaan sopivia ongelmia aiheuttavia syitä. Diagrammia voidaan jatkaa kirjoittamalla syiden alle asioita, jotka aiheuttavat niitä. [3, s. 211 ja 14, s. 237.] Löytämällä alkuperäiset taustasyöt ongelmille pystytään ongelmasta pääsemään tehokkaasti kerralla eroon, eikä se ilmene uudelleen [4, s. 252–253].

Viisi kertaa miksi -menetelmä

Ishikawa-diagrammin tavoin viisi kertaa miksi -menetelmää käytetään ongelmien alkuperän löytämiseen ja analysointiin. Ensiksi tulee selvittää ongelma ja perehtyä tilanteeseen. Tämän jälkeen voidaan aloittaa miksi-kysymykset: miksi ongelma ilmeni?, ja syyn löytyessä kysytään: miksi syy ilmeni? Miksi-kysymystä jatketaan niin kauan, kunnes löydetään perimmäinen syy. Menetelmässä ongelmaa mietitään syvällisesti ja välttään tilanteelta, jossa korjataan pelkästään pinnallinen syy, jonka ratkaisu olisi vain väliaikainen korjaus. Ongelmista päästään eroon kokonaan, eivätkä ne ilmene uudelleen myöhemmin. [4, s. 252–253.] Vaikka ongelma vaikuttaa helpolta ja ratkaisu on yksinkertainen, voi sen alkuperä jäädä piiloon ilman viisi kertaa miksi -menetelmää.

Kysymyksiä on tärkeää miettiä tarkasti ennen niiden valitsemista. Etenkin ensimmäisen kysymyksen jälkeen esille nousee usein monia vastausvaihtoehtoja. Tällaisissa tilanteissa pitää valita, kirjataanko jokainen vastaus vai valitaanko pelkästään keskeisin vaihtoehto. Yleisen käytännön mukaan vastaukseksi valitaan syy, jolla on eniten vaikutusta ongelmaan. Analyysistä saatu tulos ei välttämättä aina vaadi vastatoimenpiteitä, vaan ne voivat jopa pahentaa tilannetta. Menetelmää ei pidä seurata sokeasti, ja lopussa pitää harkita, johtavatko esille nousseet syyt oikeasti ongelmaan. [12, s. 103.]

Poka-yoke

Kun tuotannossa on mukana työntekijöitä koneiden lisäksi, inhimilliset virheet ovat mahdollisia: niihin voi olla vaikea varautua ja niitä ei voi poistaa kokonaan, vaikka työntekijöitä koulutettaisiin huomattavasti. Poka-yoke on Shigeo Shingon kehittämä jidokassa käytettävä menetelmä, joka yrittää päästä inhimillisistä virheistä eroon virhe-estimien avulla. Menetelmän nimi kääntyy suomeksi välttää (yokeru) tahaton virhe (poka). Menetelmän alkuperä tulee baka-yoke-käytännöstä, joka tarkoittaa idiotin-kestävää. Poka-yoken yleisimmät käytöt ovat työkoneiden pysäytykset virhetilanteissa ja automaattiset korjaukset ja varoitimet. Poka-yoke auttaa myös tehokkuudessa antaen työntekijöiden keskittyä muihin tehtäviin koneen vahtimisen sijasta ja kasvattaa laatua virheiden vähentymisen ansiosta. Esimerkkejä yleisistä poka-yokeista ovat autoissa olevat turvanvyön merkki- ja valoäännet. [4, s. 255.]

2.7 Imuohjaus ja juuri-oikeaan-aikaan

Imuohjaus on tuotannonohjauksen menetelmä, jossa tuotteita valmistetaan pelkästään välittömään tarpeeseen. Imuohjauksessa valmistuksen aloittava impulssi tulee valmistusketjun loppupäästä. Yleisesti imuohjauksessa käytetään prosessien välissä pieniä puskurivarastoja, joiden hupeneminen johtaa uusien osien valmistukseen. [13, s. 422.] Imuohjauksessa vältetään suurilta varastoilta ja tiedetään niiden tilanne. Työtä tehdään ja materiaaleja käytetään pelkästään tarpeeseen. Tämä luo tilanteen, jossa jokainen työ on erittäin tärkeä ja laadun pitää olla korkea ja tasainen. Valmistusprosessin ongelmat tulevat pinnalle nopeasti ja haittaavat seuraavaa prosessin vaihetta, mikä auttaa laadun parantamisessa, mutta vaatii myös hyvin suunnitellun ja toimivan prosessin. [8, s. 17.] Imuohjauksen ihanteellinen muoto, JIT-tuotanto (just-in-time), tarkoittaa, että työstettävät osat, materiaalit ja keskeneräiset tuotteet saapuvat tuotantoon juuri oikeaan aikaan ja tarvittavassa määrässä. Näin pystytään pääsemään raaka-aine- ja tarvikevarastoista lähes kokonaan eroon. [6, s. 4 ja 13, s. 301.] JIT-tuotanto pystyy reagoimaan kysynnän vaihteluun nopeasti ja tuottamaan pienissä määrissä tuotteita lyhyillä läpimenoajoilla [4, s. 23].

Imuohjausta voidaan pitää työntöohjauksen vastakohtana. Perinteisessä työntöohjauksessa tuotteita valmistetaan kysyntäennusteiden pohjalta. Imuohjauksessa tuotanto ei perustu ennusteisiin, vaan valmistettavat tuotteet määräytyvät tilausten mukaan. [9, s. 81–82.] Taulukossa 1 esitellään imu- ja työntöohjauksen eroja ja vaikutuksia tuotannonohjauksessa.

Taulukko 1. Imu- ja työntöohjauksen vaikutus tärkeisiin hallintoprosesseihin [9, s. 83].

	Imuohjaus	Työntöohjaus
Varasto	Ylimääräiset tuotteet sallitaan, koska ne turvaavat ennustevirheiltä.	Ylimääräisistä tuotteista yritetään päästä eroon kokonaan.
Laatu	Päämääränä virheettömyys, apuna käytetään tarkastuksia ja testejä.	Päämääränä virheettömyys. Testit ja tarkistukset häiritsevät virtausta eivätkä lisää arvoa. Ongelmista päästään eroon poistamalla niiden syyt.
Toimittajat	Luotettavat toimittajat, jolla on hyvä laatu, kilpailutetaan hinnan mukaan.	Luotettavuus laadussa ja toimituksissa on tärkein ominaisuus. Toimittaja on kumppani prosessin suunnittelussa.
Tavaraerät	Ostetaan ja valmistetaan ekonomisissa erissä.	Ostot ja valmistus tilausten mukaan.
Läpimenoaika	On vakio. Toimitusaika pakottaa läpimenoajan noudattamaan tuotannonohjausta (MRP), ei asiakkaan toivomusta. Toimitukset viivästyttävät seuraavia toimituksia.	Ainaisesti työn alla. Läpimenoajan lyhentäminen vähentää WIP:jä ja parantaa toimitusten suorituskykyä.
Kanban		

Kanban mahdollistaa imuohjatun JIT-tuotannon. Kanban on yksinkertaistettuna informaatiokortti, jossa on tarvittavat tiedot tuotteen valmistamiseen, kokoamiseen, siirtoon ja inventaarion täyttämiseen; se hallinnoi varastoa ja ehkäisee ylituotantoa. Kortti kulkee aina tavaroiden mukana jakaen informaatiota ja yhdistäen prosessit toisiinsa. [12, s. 68–69 ja 6, s. 42.] Kanban voi myös yksinkertaisesti olla merkitty tila, jossa pitää aina olla tietty määrä osia tai tuotteita. Kanbanin tarkoitus on sen muodosta riippumatta helpottaa virtausta, tehdä siitä imuohjautuva ja rajoittaa tai poistaa väliavarastot. Kanban on yksinkertaisuudestaan huolimatta yksi leanin pääelementti ylituotannosta eroon pääsemiseen. [12, s. 30.] Kanbanin käyttöönotossa tärkeitä askeleita ovat seuraavat:

- Koska kanban käynnistyy?
- Montako kanbania prosessissa tarvitaan?
- Mitä tapahtuu, jos kanban katoaa?

Tärkein kanbanin tehtävä on vähentää kanbanien määrää, koska se pakottaa järjestelmän vähentämään puskurivarastoja. Lopullinen tavoite on päästä puskurivarastoista kokonaan eroon. Pohjimmiltaan kanban on puskurivarastojen organisointijärjestelmä, ja se on tehokas työkalu, joka pakottaa tuotantoprosessit kehittymään, koska ilman toimivaa ja luotettavaa tuotantojärjestelmää kanban aiheuttaa helposti seisokkeja. [4, s. 110.]

Leanin mukaan kanbanilla on kuusi sääntöä. Kanbanin kahden ensimmäisen säännön mukaan sitä käytetään nouto-, kuljetus- ja toimituskäskynä. Myöhempi prosessi kerää tavaroita aiemman prosessin kanbanin mukaan, ja aikaisempi prosessi valmistaa tuotteita kanbanissa ilmoitetun määrän ja järjestyksen mukaan. Kolmannen säännön mukaan tavaroiden liikuttaminen ja valmistaminen on kiellettyä ilman kortin läsnäoloa, jolloin ylituotantoa tai turhaa tavaroiden liikuttamista ei tapahdu. Neljännen säännön mukaan kanbanin on pakko olla kiinnitetty tavaroihin, jolloin se toimii työmääräyksenä. Viidennen säännön mukaan tavaroiden pitää olla 100-prosenttisesti virheettömiä, ennen kuin ne lähetetään seuraavaan prosessiin. Tämä estää virheelliset tuotteet. Viimeisen säännön mukaan kanbaneja pitäisi ajan kanssa vähentää, jolloin jäljelle jäävistä tulee entistä herkempiä. Kanbanien määrän laskeminen tuo esille prosessin heikkouksia ja vahvistaa varaston hallintaa. [4, s. 30, 41–42.]

- Kanban määrää, montako tavaraa seuraava prosessi ottaa vastaan.
- Valmistetaan kanbanin mukainen määrä.
- Tavaroiden valmistusta tai siirtoa ei tehdä ilman kanbania.
- Kanban liitetään aina tavaroihin.
- Viallisia tuotteita ei lähetetä seuraavaan prosessiin.

Jatkuva virtaus

Toimiakseen JIT-tuotanto vaatii kanbanin lisäksi jatkuvan virtauksen valmistusprosessin [6, s. 33]. Jatkuva virtaus on konsepti, jonka mukaan materiaalit ja raaka-aineet pysähtyvät tuotannossa pelkästään lisäarvoa tuottaviin vaiheisiin, kuten valmistukseen. Jatkuva virtaus johtaa lyhempiin läpimenoaikoihin ja prosessien yhdistymiseen. Ihanteellisessa virtauksessa tuotanto koostuu usean työpisteen soluista, joiden välissä ei ole varastoja tai odottelua, ja kaikki työ on lisäarvoa tuottavaa. [12, s. 67.]

Jatkuvan virtauksen käyttöönotto vaatii pullonkaulojen, viivästyksien, odotuksen ja uudelleen työstöjen minimointia. Prosessien vaiheet pitää tuoda lähemmäksi toisiaan fyysisesti ja ajallisesti vähentämällä asetusaikoja. Jatkuva virtaus vaatii leanin suosiman yhden kappaleen valmistusprosessin (ks. kuva 5). [3, s. 45.]



Kuva 5. Sarjatuotantoprosessi ja virtausprosessi [3, s. 46].

SMED

Läpimenoaikojen pituudella on suora vaikutus varaston kokoon, joten niiden lyhentäminen JIT-tuotannossa on muutenkin kuin tehokkuuden parantamisen vuoksi tärkeää [15, s. 701]. Asetusajat ovat tuotannossa välttämättömiä, lisäarvoa tuottamattomia vaiheita, ja leanin mukaan niihin käytettävä aika on minimoitava. Tämä on SMEDin päämäärä. Single-Minute Exchange of Die (SMED) on Shigeo Shingon Toyotalla kehittämä tekniikka asetusajojen minimointiin. [16, s. 189.] SMED on suomeksi yksinumeroinen minuutti työkalun vaihtoon. Nimestä huolimatta SMED on kaikkien asetusajojen minimointimetodiikka. Se koostuu neljästä vaiheesta, joilla tähdätään asetusajojen suorittamiseen alle kymmenessä minuutissa:

- vaihe 1: sisäisten- ja ulkoisten asetusten tunnistaminen ja valmistelu
- vaihe 2: mahdollisimman monen sisäisen asetuksen muuttaminen ulkoiseksi
- vaihe 3: sisäisten asetusten parannus
- vaihe 4: ulkoisten asetusten parannus.

[17, s. 214–215.]

Sisäiset asetukset (IED) ovat vaiheita, jotka voidaan tehdä ainoastaan työstökoneen ollessa pysähdyksissä. Nämä ovat yleensä koneeseen liittyviä fyysisiä toimintoja, kuten työstettävän tuotteen asettaminen koneeseen tai poistaminen koneesta. Ulkoiset asetukset (OED) taas ovat vaiheita, jotka voidaan suorittaa työstökoneen ollessa käynnissä, kuten seuraavan osan valmistelu työstöön. Ulkoisia asetuksia ei SMED:n mukaan lasketa hukaksi ajaksi, joten mahdollisimman moni sisäinen asetusta yritetään muuttaa ulkoiseksi asetukseksi ajan säästämiseksi. Kun asetukset on tunnistettu ja mahdolliset asetukset muutettu ulkoisiksi, jäljelle jääneitä sisäisiä asetuksia yritetään parantaa ja saada ne suoritettua alle kymmenessä minuutissa. Vaikka ulkoisia asetuksia ei lasketa hukaksi, niitä pitää myös tehostaa, jotta aikaa vapautuu muihin työtehtäviin. [9, s. 106–107 ja 15, s. 249, 701–702.]

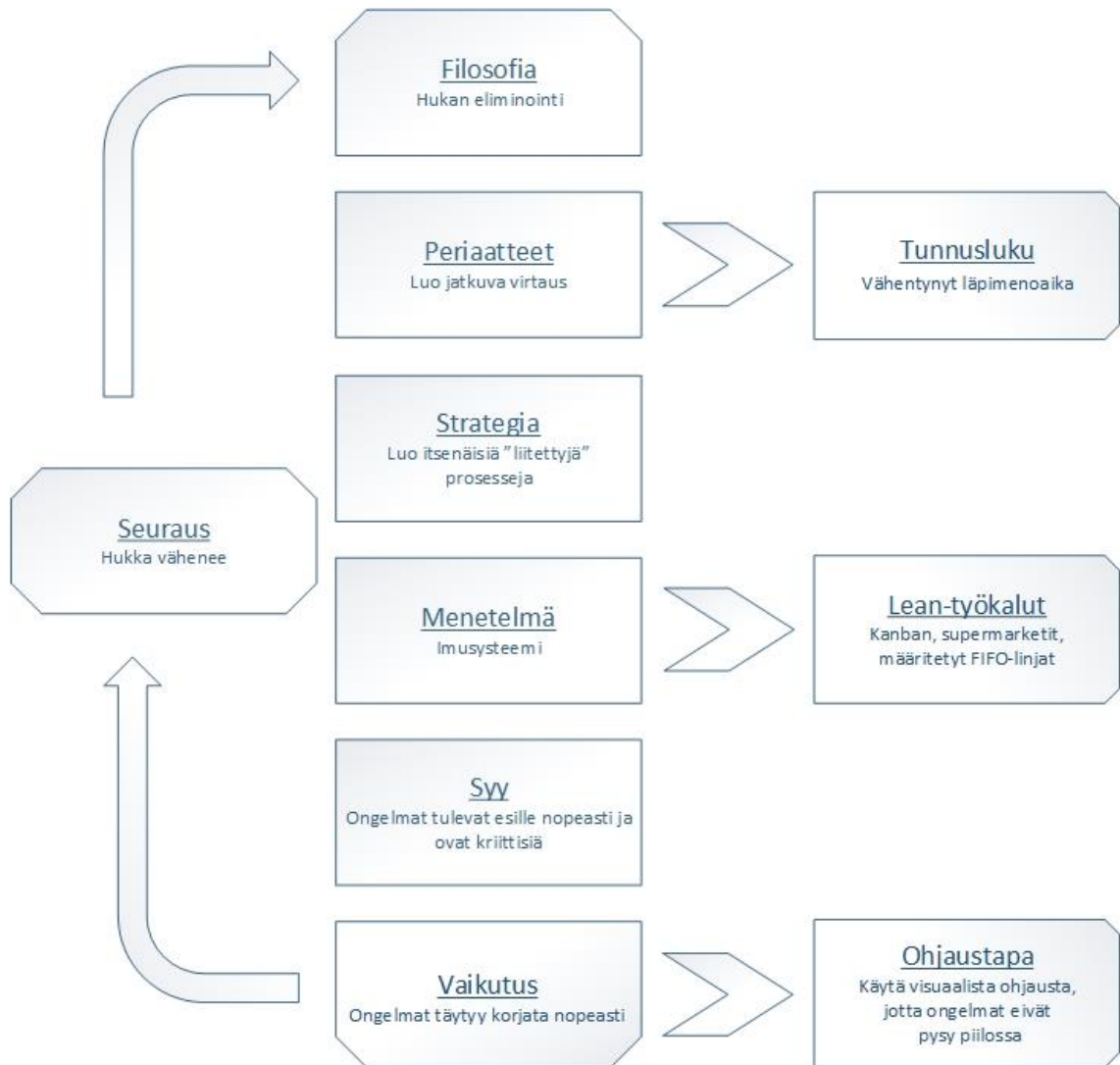
2.8 Hukan vähentäminen

Valmistuksessa yrityksen työntekijöiden käyttämä aika voidaan jakaa kahteen kategori-
aan: tuhlaukseen ja työhön. Työ jaetaan kahteen alakategoriaan: arvoa tuottavaan ja
arvoa tuottamattomaan työhön. Arvonlisäys tarkoittaa prosessointia, jossa tuotteen ul-
komuoto muuttuu lisäämällä siihen ominaisuuksia tai valmistusprosessien tehostamista.
Arvoa tuottamatonta työtä voidaan pitää hukkana, mutta se on välttämätöntä työn val-
miiksi saannin kannalta. Siitä ei voida päästä eroon muuttamatta tuotantoprosesseja.
Hukkaa on kaikki muu toiminta, mikä käyttää yrityksen voimavaroja ja nostaa kustannuk-
sia tuottamatta lisäarvoa. [6, s. 57.] Taulukkoon 2 on listattu TPS:n seitsemän hukan
kategoriaa selityksineen.

Taulukko 2. Toyotan valmistusjärjestelmän seitsemän hukan muotoa [5, s. 11–12].

Ylituotanto	Kaikki tuotanto, mikä ylittää asiakkaan välittämättömän tarpeen, sekä liian aikaisin valmistaminen.
Kuljetus	Kaikki kuljetuksen muodot, joissa hyödykkeet, informaatio tai paperit liikkuvat.
Varasto	Varastoissa lojuvat osat, odottavat tilaukset, aika ja toiminnot. Jos varasto ei tuota lisäarvoa, se katsotaan hukaksi.
Liike	Työntekijöiden liikkuminen, joka ei liity suoraan arvoa kasvattavaan prosessiin, kun- ten siirtyminen työpisteeltä toiselle.
Odottelu	Viiveet tuotteiden valmistuksessa ja työntekijöiden menetetty aika odottaessa tur- han panttina.
Ylikäsittely	Ylimääräinen työ, joka tehdään tuotteelle ja josta ei koidu lisäarvoa asiakkaalle.
Viat	Puutteet prosesseissa, tuotteissa tai palveluissa. Viat, jotka eivät yllä asiakkaalle asti, jäävät usein piiloon.

Hukasta eroon pääsy on TPS:n ydin: suurin osa sen työkaluista ja menetelmistä on ke-
hitetty ja tarkoitettu hukan poistamiseen [4, s. 27]. Kuvasta 6 voidaan nähdä, että TPS:n
lopullinen tavoite ei ole jatkuvan virtauksen ja imusysteemin käyttöönotto vaan näiden
avulla hukasta eroon pääsy.

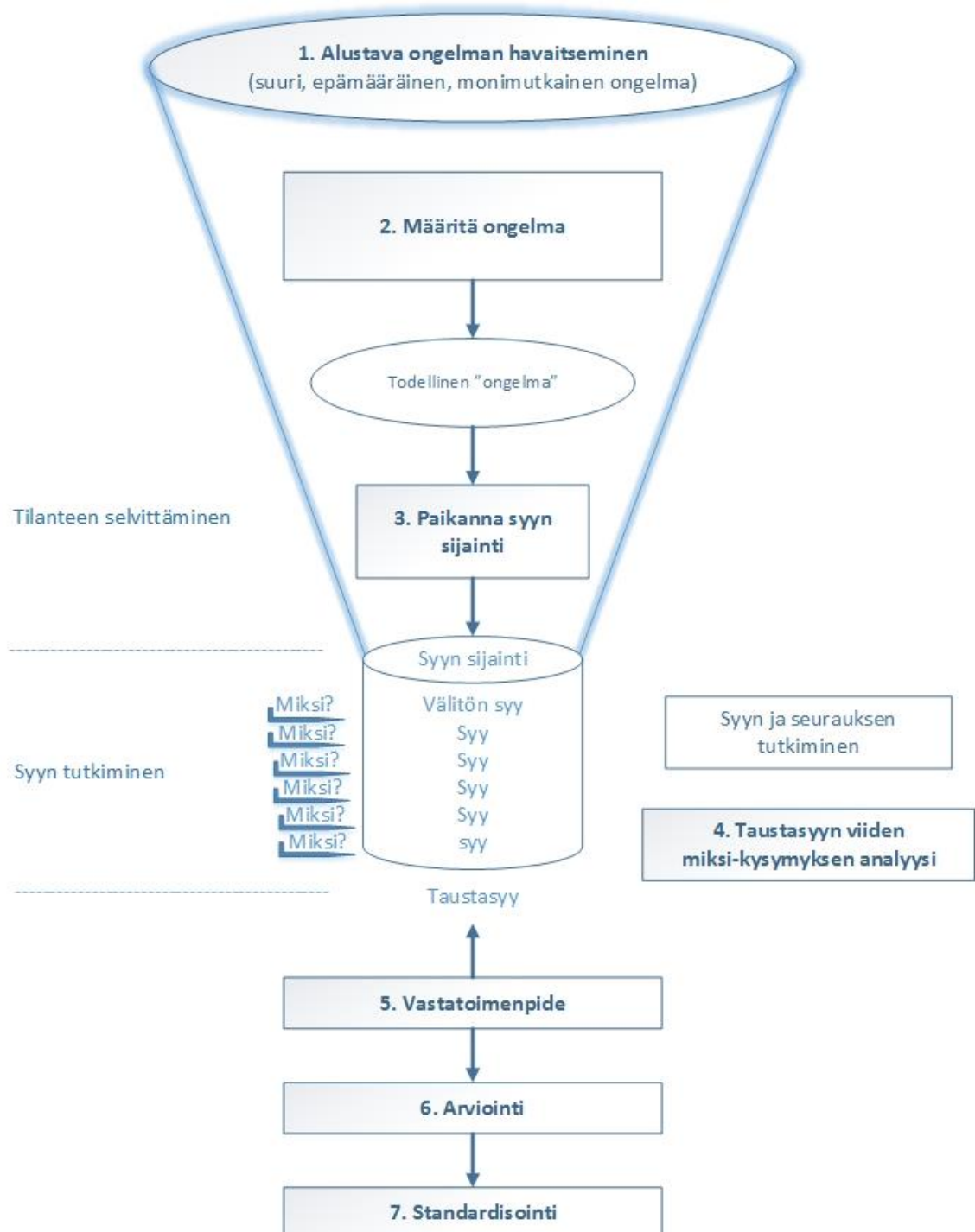


Kuva 6. Hukan vähentämismalli [7, s. 83].

Käytännöllinen ongelmanratkaisu

Toyotan tuotantojärjestelmässä käytetään seitsemänosaista prosessia haasteista selviämiseen, ja sitä kutsutaan "käytännölliseksi ongelmanratkaisuksi" (ks. kuva 7). Ennen kuin ongelman ratkaisu voidaan aloittaa, pitää löytää todellinen ongelma ja ymmärtää siihen liittyvät olosuhteet perusteellisesti. Todellisen ongelman määrittäminen vaatii genchi genbutsun seuraamista, eli mennään katsomaan ongelmaa omin silmin. Ennen ongelman ratkointa varmistetaan, että tilanteessa on seurattu määritettyjä standardeja. Todellisen ongelman löytämisessä voidaan käyttää apuna syy-seurausdiagrammia. Kun todellinen ongelma on määritelty ja paikannettu, voidaan sen tutkiminen aloittaa. Viisi kertaa miksi -analyysia käytetään selvittämään, mistä ongelma johtuu, etsimällä sen

taustasyyt. Onnistuneen analyysin jälkeen ongelman syyt ovat selvillä ja vastatoimenpiteet voidaan aloittaa. Vastatoimenpiteiden jälkeen lopputulos arvioidaan, ja jos tulos on hyvä, se lisätään standardiin, jotta ongelma ei enää toistu ja prosessi paranee. [4, s. 254–255.]



Kuva 7. Toyotan käytännöllinen ongelmanratkaisuprosessi [4, s. 256].

Genchi genbutsu

Genchi tarkoittaa todellista paikkaa, ja genbutsu tarkoittaa todellisia materiaaleja ja tuotteita. Genchi genbutsu on menetelmä, jonka mukaan todellisen tilanteen voi ymmärtää vain, jos sen näkee itse. TPS:n mukaan genchi genbutsua tulee käyttää jokaisessa tapauksessa, oli kyse ongelmanratkaisusta, tuotekehityksestä, myynnistä tai työntekijöiden arvioinnista. [4, s. 223–224.] Genchi genbutsu varmistaa, että tiedetään varmasti, minkä kanssa ollaan tekemisissä, eikä tehdä vääriä oletuksia tai arvailua. Tämä johtaa oikeiden ratkaisuiden syntyyn [3, s. 31]. Menemällä tutkittavan asian lähteeseen tarkkailemalla ja seuraamalla tilannetta saadaan ensikäden tietoa tilanteesta, jota ei dataa analysoimalla tai raportteja lukemalla saisi [7, s. 13].

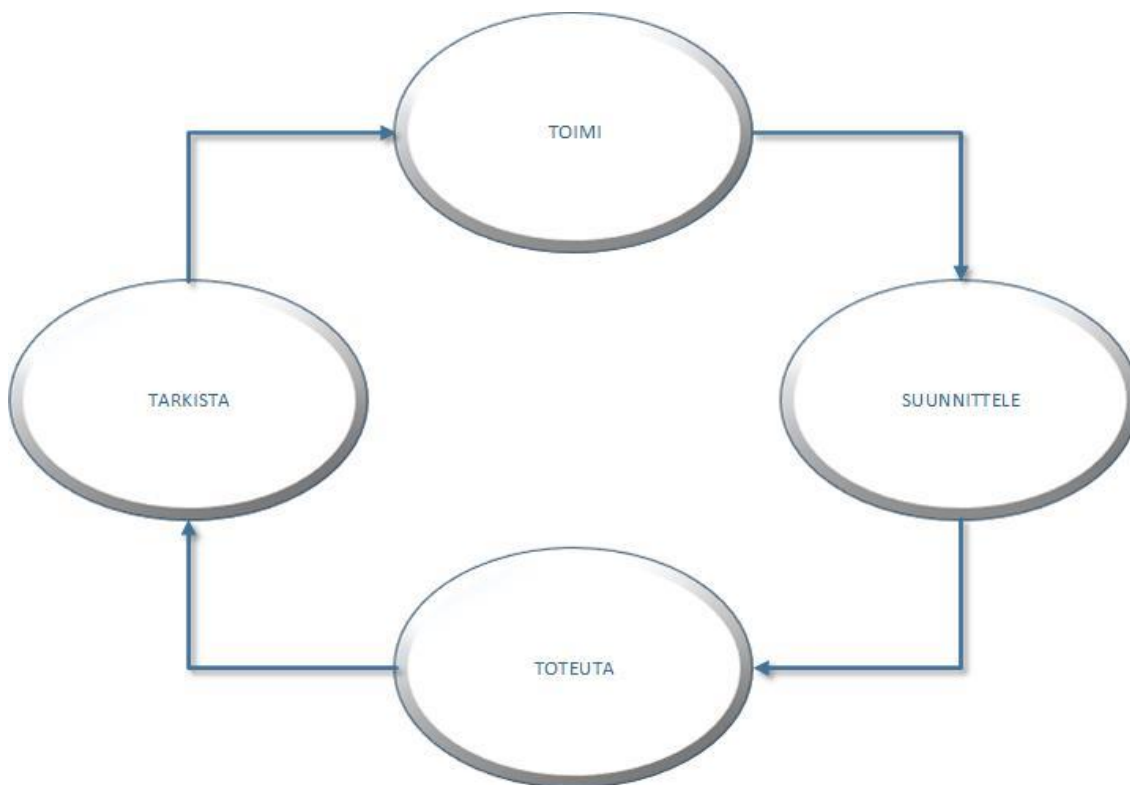
2.9 Jatkuva parantaminen

Jatkovaa parantamista kutsutaan TPS:ssä kaizeniksi. Yleinen ongelma yrityksissä on, että työntekijät jättävät yrityksen toisen työpaikan takia tai heidät siirretään toiseen tehtävään, jolloin tietotaitoa katoaa heidän mukanaan. Aiemmin esitelty standardisointi, jota kehitetään ja päivitetään koko ajan, takaa TPS:ssä tämän tietotaidon säilymisen. [7, s. 288.] Jatkuva parantaminen perustuu yhteistyöhön yrityksen sisällä. Tärkeintä on koko yrityksen sitoutuminen siihen [18, s. 2]. Kuuluisa organisaatio- ja johtamisteoreetikko Masaaki Imai kirjoitti kaizenista filosofiana, joka ei rajoitu vain työelämään vaan koskee myös sen ulkopuolta, sosiaalista ja kotielämää, jotka ansaitsevat tulla parannetuksi jatkuvasti. Imai painotti, että kaizen koskettaa yrityksessä kaikkia työnjohtajista työntekijöihin. Hän kuvasi kaizenia sateenvarjona, joka peittää alleen japanilaisen tuotannon menetelmät. [19, s. 2–3.]

Kaizen koostuu useista pienistä parannuksista, jotka johtavat pitkällä aikavälillä suuriin muutoksiin. Länsimaiset yritykset keskittyvät yleensä innovaatioon, joka puolestaan tekee suuria kertamuutoksia, mutta kaizenin mukaan suuret uudistukset johtavat helposti ongelmiin, joten hienovaraiset, halvat ja useat pienet muutokset johtavat pitkällä aikavälillä parempiin tuloksiin. Kaizen on myös turvallinen, koska muutosten peruminen onnistuu helposti. [20, s. 2.]

Demingin kehä

Demingin kehä (ks. kuva 8) on jatkuvan parantamisen ongelman ratkaisu- ja kehittämismenetelmä, joka tunnetaan myös nimellä PDCA-kehä. Lyhenne tulee englannin kielen sanoista plan, do, check, act eli suunnittele, toteuta, tarkista ja toimi.



Kuva 8. Demingin kehä [14, s. 427].

Tärkeintä suunnittelussa on ymmärtää ja tietää valitun suunnitelman linjaus. Toimenpide tuhlaa resursseja ja antaa heikon tuloksen, jos se ei ole alusta asti selvä kaikille mukana oleville. Leanissa suunnitteluvaihe tuottaa vastatoimenpiteen korjattavalle ongelmalle, ja vastatoimia on kaksi eri muotoa: lyhyen- ja pitkäntähtäimen versio. Lyhyet vastatoimenpiteet otetaan käyttöön nopeasti, ja ne ovat yleisesti vain väliaikaisia keinoja ongelmien korjaamiseksi. Pitkäntähtäimen vastatoimenpide on ongelman ratkaisun pysyvä versio. Pysyvä ratkaisu voi olla iso toimenpide, viedä paljon aikaa ja vaatia testausta. [7, s. 364–368.]

Toteutuksessa otetaan käyttöön suunnitellut ratkaisut aloittaen lyhytaikaisista vastatoimenpiteistä, jotta ongelma saadaan kuriin nopeasti. Muutokset kirjataan seuraavaa tarkistusvaihetta varten. [15, s. 426.] Usein toteutusvaiheessa nousee esille uusia parannusmahdollisuuksia, koska niitä ei voida huomata ennen suunniteltujen parannusten käyttöönottoa. Leanin mukaan toteutus on valmis, kun ongelma on ratkaistu, mutta uusia parempia ratkaisuja ei jätetä tekemättä, vaan ne otetaan käyttöön pikkuhiljaa jatkuvan kehittämisen periaatteen mukaan. [7, s. 368.]

Tarkistuksessa selvitetään toteutuksen tulokset: mitä muutokset ovat aiheuttaneet ja ovatko suunnitellut toimenpiteet toteutuneet. Jos tulokset eivät vastaa aiempaa suunnitelmaa, silloin palataan takaisin suunnitteluvaiheeseen [21, s. 238]. Tarkistuksen jälkeen toimintavaiheessa varmistetaan, että tehtyjä muutoksia ylläpidetään ja aletaan toteuttaa muita parannusvaiheen aikana pinnalle nousseita ongelmien ratkaisuja aloittamalla uudeksi suunnitteluvaiheesta [21, s. 241].

A3-raportti

Leanissa nopeus ja tehokkuus ovat avainasemassa. Päätöksiä tehtäessä raportointi on tärkeää, jotta kaikki asian kanssa tekemisissä olevat osapuolet voivat tutustua asiaan. Leanissa raportoinnissa käytetään A3-menetelmää, jossa kaikki tarvittava tieto esitetään yhdellä A3-lomakkeella (koko 21,0 x 29,7 cm), jossa käytetään paljon tietoa sisältäviä kuvia. [4, s. 244.] A3-raportit mahdollistavat nopean päätöksenteon poistamalla turhan byrokratian.

A3-raporttia kutsutaan myös PDCA-dokumentiksi, ja raportin rakenteessa käytetään apuna Demingin kehää [4, s. 247]. Raportissa esitetään ongelma, dokumentoidaan nykytilanne, kerrotaan ongelman syy, ehdotetaan vaihtoehtoja ratkaisuille ja annetaan hinta-hyötyanalyysi. Kuvassa 9 esitetään esimerkki A3-raportin rakenteesta ehdotusprosessissa. Pituudestaan huolimatta A3-raportti ei ole muistio tai tiivistelmä vaan kokonainen prosessia dokumentoiva raportti. [4, s. 157.]



Kuva 9. Suunnittele-toteuta-tarkista-korjaa ehdotusprosessissa [4, s. 247].

Taustassa esitellään tärkeä tieto ongelmasta sekä se, miten esitetyn projektin avulla yritys siitä hyötyy. Nykytilassa tarjotaan ytimekäs tiivistelmä senhetkisestä tilanteesta kaavioita ja kuvia hyväksi käyttäen. Suosituksissa esitellään odotetut hyödyt ja säästöt, jotka projekti toisi, käyttämällä selkeitä mittareita, esimerkiksi että projekti vähentää tarvittavien korjausten määrää X prosenttia. Toteutuksessa tiivistetään parannukset, jotka johtivat muutoksiin. Jälkikäsitely kattaa vahvistuksen, mihin parannukset johtavat tulevaisuudessa, ja jatkotoimenpiteet, joilla päästään haluttuun päämäärään sekä saadaan projekti nopeasti päätökseen. [3, s. 61–62.]

3 Tuotannon nykytila-analyysi

Nykytila-analyysissa tuotannon prosesseja arvioidaan tulevaisuuden kannalta ja analyysi tehdään tulevaisuuden päämäärien pohjalta, jolloin voidaan ymmärtää nykyisen tuotannon esteet. Huomioon otettavia asioita tuotannon nykytilaa läpikäytessä ovat, kuinka hyvin prosessi pystyy reagoimaan muutoksiin, läpimenoajan pituus tilauksesta tuotteen lähetykseen, prosessien yhtenäisyys, materiaalien virtaus, ne prosessien kohdat, joissa jatkuva virtaus ei ole mahdollinen nykyisten rajoitusten takia, tiedon virtaus sekä laatu eri prosessien kesken ja tuotannon pullonkaula [7, s. 43]. Nykytila-analyysissa esitellään tuote, käydään läpi alkuperäinen tuotantotapa, selitetään sen prosessit ja etsitään ongelmia. Tässä käytetään apuna leanissa suosittuja menetelmiä: Demingin kehää, kalanruoto-diagrammia ja viisi kertaa miksi -analyysia. Liitteessä 1 esitellään A3-raportti tuotannon nykytilasta.

3.1 Tuote

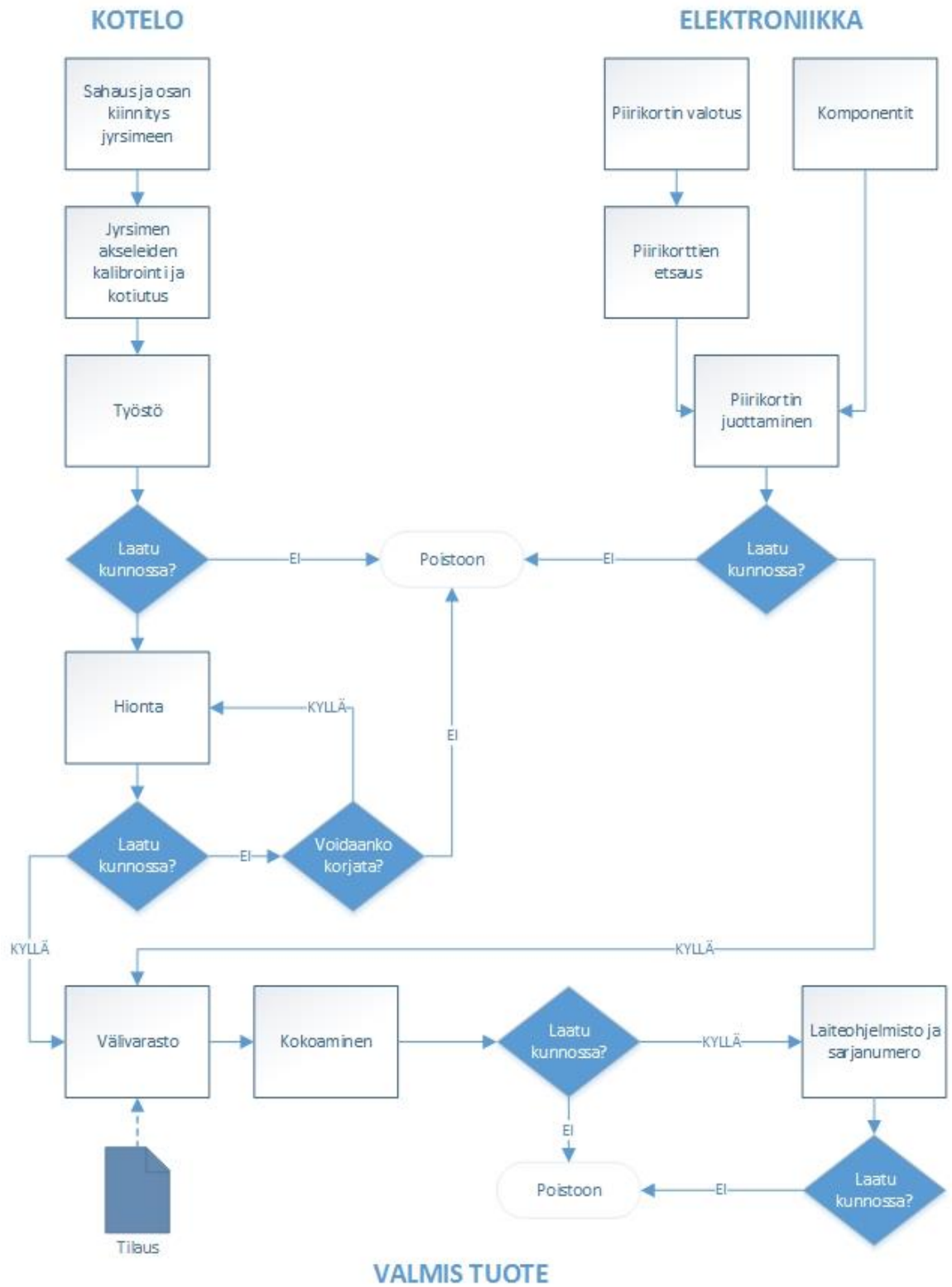
Vuoden 2013 syksyllä insinööriyön tilaaja, Alshain Oy, oli osana automaatioprojektia, jossa tarkoituksena oli kehittää eräälle teollisuusalan yritykselle ympäristön anturointijärjestelmää. Alkuperäisenä ajatuksena oli hoitaa anturointijärjestelmän ohjaus yrityksen voimavaroilla ja ostaa anturit alihankkijalta. Yritys alkoi etsiä sopivia antureita, mutta törmäsi ongelmaan: anturit olivat todella kalliita, ne mittasivat asioita hyvin rajoitetusti ja niiden asentaminen vaatisi mittauskaivojen kaivamista. Tämä rajoittaisi suunnitellun mittausverkon suppeaksi ja mittauspaikkoja olisi vain kourallinen. Tästä syntyi ajatus valmistaa antureita yrityksessä. Vuoden 2014 tammikuussa ensimmäiset anturiprototyypit olivat testausvaiheessa. Anturit olivat hinta-laatusuhteeltaan kilpailukykyisiä verrattuna markkinoilla oleviin vaihtoehtoihin: anturit pystyivät pääsemään lähelle kalliimpien analysaattoreiden tuloksia, mutta valmistushinta oli vain murto-osa niistä. Lisäksi se oli markkinoiden ainoa laite, jota pystyisi asentamaan ympäristöön suurissa määrin ja kuitenkin saamaan tarkkoja tuloksia. Tutkiessaan kilpailijoita yritys huomasi, ettei markkinoilla ollut liikutettavaa vedenlaatuanalyysaattoria, joka pystyisi tarkkoihin tuloksiin, vaan vesimitaukset lähetettiin laboratorioon tarkkoja tuloksia haluttaessa. Tämän löydön tuloksena Alshain Oy päätti tuotteistaa vedenlaatuanalyysaattorin myös yksityiselle sektorille. Tuotteen elektroniikkakomponentit ja piirilevyt hankitaan brittiläiseltä jälleenmyyjältä ja muovit kotelon valmistamiseen ostetaan suomalaiselta yritykseltä.

3.2 Tuotannonohjaus

Alshain Oy:n tuotanto on piensarjatuotantoa kolmen osan erissä. Ensimmäisen erän valmistumisen jälkeen osat menevät varastoon ja seuraavan osasarjan valmistaminen alkaa. Osavarastolle ei ole määritetty minkäänlaisia enimmäis- tai vähimmäisarvoja, ja varastoa pidettiin mahdollisimman suurena useiden tilauksien varalta. Tilausten saapuessa osat noudettiin varastosta ja koottiin. Kokoonpano asiakastilausten saapuessa on ATO-tuotantoa (Assemble-to-Order) [22, s. 115]. Syy miksi ATO:a käytettiin, oli oletettu tilausten suuri epätasaisuus ja yrityksen haluttomuus käyttää aikaa myymättömien tuotteiden kokoonpanoon. Myymättömien osien valmistusta pidetään kuitenkin välttämättömänä pitkän läpimenoajan ja tuotantokapasiteetin niukkuuden takia.

3.3 Tuotantoprosessi

Wellamo-vedenlaatuanalysaattorin valmistusprosessi (ks. kuva 10) koostuu kolmesta pääosasta: kotelon jyrsimisestä, elektroniikan valmistamisesta ja tuotteen kokoamisesta sekä laiteohjelmiston asennuksesta. Kotelon ja elektroniikan valmistuksesta vastaavat eri työntekijät, ja kokoamisen voi hoitaa työntekijöistä kuka tahansa, jolla on aikaa. Valmistuksessa käytetään neljää tuotantolaitetta: valotuslamppua, etsaustankkia, juotinta ja CNC-jyrsintä.



Kuva 10. Wellamo-vedenlaatuanalysoijan alkuperäinen tuotantoprosessi.

Elektroniikan valmistusprosessissa ensimmäiseksi piirikortteihin valotetaan kytkentäkuvio. Ennen valotuksen alkamista piirikortista poistetaan foliopintaa suojaava muovipeite ja asetetaan piirikortin päälle läpinäkyvä kytkentäkuviokalvo, joka pidetään paikallaan lasilevyllä. Seuraavaksi piirikortti valotetaan altistamalla se UV-valolle valotuslampulla. Valotuslamppu sijoitetaan noin 15 senttimetrin päähän lasilevystä ja ympärille laitetaan foliokehys varmistamaan tasainen valotustulos. Piirilevyssä on valmiina positiivilakattu pinta, johon kytkentäkuvio muodostuu valotuslampun UV-säteilyllä. Valotusprosessi kestää noin kymmenen minuuttia. Valotuksen jälkeen piirikorttia uitetaan lipeäaltaassa, jolloin ylimääräinen lakka liukenee pois. Seuraavaksi piirikortti siirretään etsausvaiheeseen. Piirikortin lakkapinnan alla on 80 µm paksu kuparipinta, jota syövytetään kemiallisesti natriumpersulfaattilla etsaustankissa. Kuparipinnan syövyttämisessä käytettävä etsaustankki on lämmitysrajoittimella ja agitaattorilla varustettu muovitankki, joka täytetään vedellä ja veteen sekoitetaan natriumpersulfaattia. Valotettu piirilevy upotetaan tankkiin kiinnittimillä, ja syöpyminen kestää noin 12 minuuttia, mutta tarvittaessa piirikortin annetaan olla etsaustankissa pidempään. Etsauksen jälkeen piirikortti huuhdellaan huolellisesti vedellä. Valotuksessa ja etsauksessa ei tarvita työntekijän valvontaa.

Elektroniikan kokoamisessa komponentit kiinnitetään piirikorttiin juottamalla eli sulattamalla tinaa, joka kovettuessaan kiinnittää elektroniikkakomponentit piirilevyyn. Kokoaminen kestää työntekijän kokemuksesta riippuen 15–25 minuuttia, ja kun elektroniikka on valmis, sen toiminta testataan yleismittarilla. Jos elektroniikka ei toimi ja juotokset näyttävät olevan kunnossa, menee tuote suoraan poistoon osien alhaisen hinnan ja pitkän korjausajan takia.

Kotelon valmistuksessa käytetään tietokoneohjattua vertikaalista jyrsinkonetta eli CNC-jyrsintä. Vertikaalisessa CNC-jyrsimessä koneen kara on pystysuunnassa leikkuupöytää vasten ja se pystyy liikkumaan kolmella työstöakselilla (X, Y, Z). Leikattavat kappaleet tehdään joko piirtämällä tietokoneavusteisella CAD-ohjelmalla ja muuttamalla G-koodiksi tai G-koodia suoraan kirjoittamalla. [23, s. 131,134.] G-koodi on numeerista ohjausta, jossa CNC-jyrsintä ohjataan koordinaateilla ja komennoilla. Kotelon valmistus aloitetaan sahaamalla muovipala (2 mm, 3 mm tai 8 mm osasta riippuen) ja kiinnittämällä se CNC-jyrsimeen koneen pidikkeiden avulla. Palan kiinnityksen jälkeen CNC-jyrsimen pora pitää kotiuttaa alkuasentoon, joka sijaitsee leikkuualustan alareunassa. Tämän jälkeen tarkistetaan, vastaako muovipalan alareuna poran paikkaa, ja jos ei, pitää CNC-jyrsimen X- ja Y-akseli kotiuttaa uudelleen. Ennen jokaista työstöä Z-akseli on tarkistettava ja kalibroitava, vaikka edellinen työstöpala olisi ollut samankorkuinen, koska CNC-jyrsimessä ei

ole rajakytkimiä, jotka paikantaisivat akselit oikein. Kalibroinnin jälkeen voidaan aloittaa työstö. Muovin työstö on prosessin pisin vaihe: se kestää 8–71 minuuttia leikattavasta palasta riippuen (ks. taulukko 3). Työntekijän on valvottava leikkuuta muovin palamisen takia. Jos muovi alkaa palaa ja työntekijä reagoi nopeasti, on CNC-jyrsin mahdollista pysäyttää ja korjata tilanne. Palan valmistuttua tarkistetaan sen laatu, ja mahdolliset virheet korjataan kirurgiveitsellä. Kotelon keskipalaa tarvitsee lisäksi hioa kymmenen minuutin ajan. Kotelon osien valmistumisen jälkeen ne siirretään varastoon odottamaan kokoamista. Samaa muoviosaa valmistetaan kolmen kappaleen erinä. Kaikkien kotelon yksittäisten osien työstöön kuluva aika esitetään taulukossa 3.

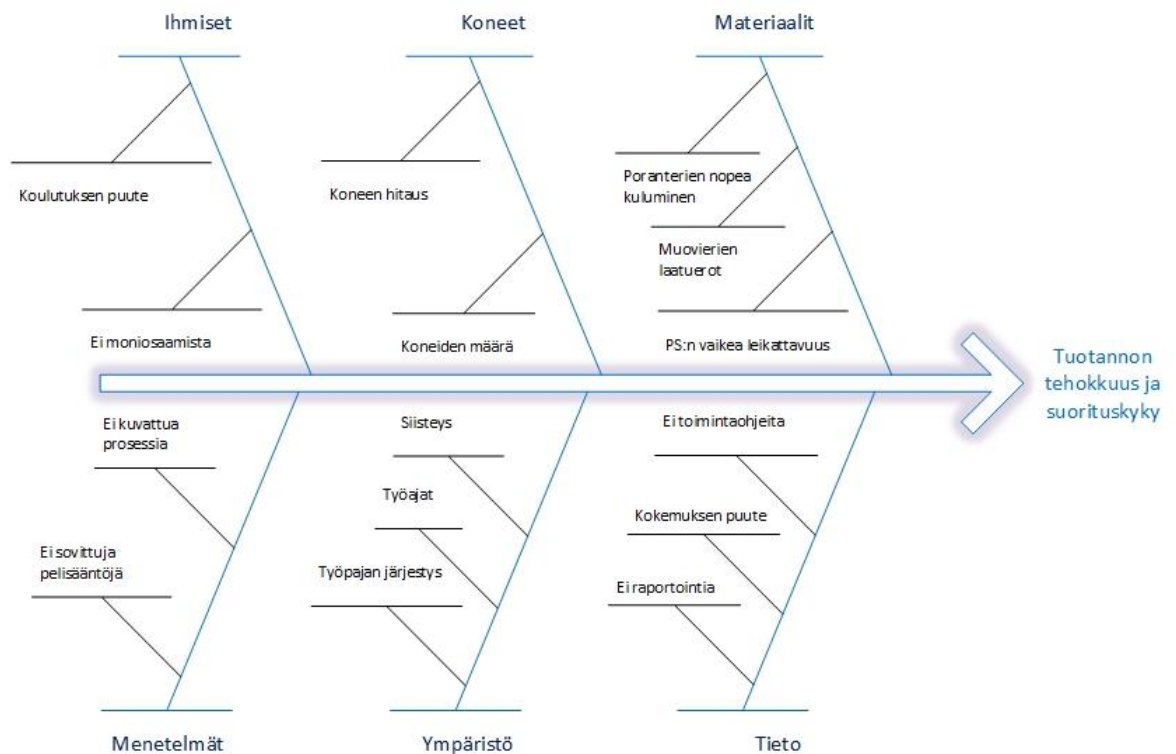
Taulukko 3. Wellamo-vedenlaatuanalysaattorin kotelon osien työstöajat.

Työstöt	Kuluva aika (min, s)
Kansipala	31,40
Pohjapala	31,30
Keskipala	71,40
Anturi	23,50
Anturinpohja	22,30
Anturin suoja	8,00
Hionta	
Keskipala	10,00
Kokoaminen	
Kotelo	10,00
Yhteensä	209 min 10 s

Kokoaminen suoritetaan tilausten saapumisen jälkeen. Kotelon keskiosaan liimataan mittapään koskettimet ja elektroniikka kiinnitetään siihen. Tämän jälkeen koko kotelo liimataan yhteen ja annetaan kuivua. Mittapäässä on piirikortille urat, joihin se upotetaan liiman kanssa, ja sen jälkeen liimataan mittapään pohjapala ja roiskesuoja. Laadun tarkastuksessa varmistetaan ulkonäkö myyntiä varten ja testataan liiman pitävyys. Laiteohjelmisto ja sarjanumero poltetaan prosessoriin USB-väylän kautta, minkä jälkeen tehdään tuotteen lopullinen testaus ja sen läpäisseet tuotteet ovat valmiita asiakkaalle lähetettäväksi.

3.4 Ongelmien löytäminen

Tuotantoprosessin tehokkuuteen vaikuttavien ongelmien löytämisessä ja tunnistamisessa käytin apuna leanin käytännöllistä ongelmanratkaisun neljää ensimmäistä vaihetta: ongelman havaitseminen, määrittäminen, paikannus ja taustasyiden tutkiminen. Ongelmien löytämisessä päämääränä oli löytää todelliset syyt, jotka aiheuttavat ongelmat. Tilanteen selvittämisessä tärkeintä on tilanteen ymmärtäminen [4, s. 254]. Tämä vaihe vaatii genchi genbutsun soveltamista, eli paikan päälle menemistä ja tutustumista prosessiin itse. Työskentelemällä valmistusprosessissa ja miettimällä sitä leanin kannalta muodostin Ishikawa-diagrammin ongelmien määrittämiseen (ks. kuva 11).



Kuva 11. Tuotannon tehokkuuden ja suorituskyvyn ongelmat.

Koneet

Tuotantoprosessissa käytettävät koneet voidaan jakaa kahteen osaan: elektroniikan ja kotelon valmistukseen käytettäviin. Elektroniikkaa valmistettaessa käytetään UV-valaisinta, etsaustankkia ja kolvia. Koko elektroniikan valmistusprosessi on hyvin yksinkertainen ja koneita voi käyttää vain yhdellä tavalla. Lisäksi etsaus ja valotus pystytään hoitamaan muiden töiden ohella, eivätkä ne vie paljoa työntekijän aikaa. Kolvauksessa tärkein

tekijä ei ole laitteisto vaan työntekijän taitotaso, joka vaikuttaa suuresti kolvaukseen kuluvaan aikaan.

Kotelon valmistuksessa käytetään CNC-jyrsintä, ja tämä on koko tuotantoprosessissa aikaa vievin ja monimutkaisin vaihe. Oman kokemukseni mukaan yrityksen CNC-jyrsin on todella hidas verrattuna muihin CNC-jyrsimiin: sen maksiminopeus on 200 millimetriä minuutissa, kun suuremmat teollisuusjyrsimet pystyvät moninkertaiseen nopeuteen. Yrityksen CNC-jyrsintä ei voida myöskään käyttää täydellä nopeudella, koska laatu laskee nopeasti muovin sulamisen ja leikkuuvirheen vuoksi. Leikkuaikaan vaikuttavat poran nopeuden lisäksi CNC-jyrsimen ajoreitit ja leikkuusyvyyys, joka määrää, kuinka monta kertaa kone joutuu ajamaan samat reitit, ennen kuin muoviosa irtoaa.

Materiaalit

Tuotantoprosessissa käytetään erilaisia materiaaleja tuotteen osiin ja niiden valmistamiseen. Tuotteeseen tarvittavat materiaalit ovat elektroniikan komponentit, piirilevyt ja koteloon käytettävät muovit. Tuotetta valmistaessa etsauksessa tarvitaan syövyttämiseen natriumpersulfaattia, elektroniikan kytkennässä juotostinaa ja kotelon kokoamiseen liimaa.

Työstössä käytettävät poranterät on suunniteltu leikkaamaan muovien lisäksi pehmeitä metalleja, kuten alumiinia. Poranterät kuitenkin kuluvat käyttökelvottomiksi pienien läpimenomäärien jälkeen. Terien halkeaminen ei voinut siis johtua pelkästään leikattavasta materiaalista, joka on muovia. Aloin tutkia asiaa soveltamalla genchi genbutsua ja viisi kertaa miksi -analyysia. Poranterissä ei paljaalla silmällä huomannut kulumista, eivätkä terän reunat olleet tylsistyneet. Suurennuslasilla tarkastelemalla huomasin, että terästä oli haljennut pieniä paloja. Halkeaminen johtuu ylimääräisestä värinästä, joka taas johtuu CNC-jyrsimen huonosta kiinnityksestä pöytään sekä työstettävän osan huonosta kiinnityksestä.

Koteloon käytetään kahta materiaalia: PMMA:ta (polymetyylimetakrylaattia) ja PS:ää (polystyreenia). Molemmissa materiaaleissa esiintyy laadun vaihtelua, joka vaikuttaa jyrsimistulokseen. Lisäksi huomasin, että saman erän muovit käyttäytyivät jyrsiessä eri tavoilla riippuen senhetkisestä lämpötilasta ja kosteudesta. Leikkuutulokset ovat todella vaihtelevia ja ennalta arvaamattomia.

Menetelmät

Yrityksellä ei ole tuotantoprosesseihin luotuja toimintamenetelmiä, prosesseja ei ole kuvattu eikä yhteisiä pelisääntöjä sovittu. Tämä aiheuttaa monia ongelmia työturvallisuudesta tuotannon tehokkuuteen. Tällä hetkellä jokainen työntekijä työskentelee omalla tavallaan, ja vaikka työympäristö on avoin ja tietoa jaetaan, ilman yhteisiä pelisääntöä parhaat käytännöt eivät toteudu. Tämä johtaa myös tilanteeseen, jossa työntekijät taitavat vain osan prosessista ja sairaustapauksissa tuotanto voi keskeytyä. Työntekijöiden eri toimintatavat johtavat työturvallisuuden vaarantumiseen, esimerkiksi osa työntekijöistä pysäyttää poran aina ennen virrankatkaisua, ja jos toinen työntekijä jättää sen päälle työvuoron lopussa, seuraava työntekijä ei välttämättä huomaa tätä.

Ympäristö

Ympäristön ongelmaksi kuvassa 11 (s. 32) on kirjattu työajat, jotka yrityksessä ovat joustavia ja aiheuttavat välillä kommunikaatio-ongelmia myynti- ja markkinointiosaston ja tuotannon välillä. Lean-valmistuksen kannalta joustavat työajat tuotannossa ovat etu, koska asiakkaan tarpeisiin voidaan vastata paremmin, jos työntekijät tulevat töihin silloin, kun tarvitaan. Seuratessani tuotantoa huomasin, että työntekijät tuhlaavat todella paljon aikaa etsiessään työkaluja. Työkaluille ei ole merkittyjä paikkoja, ja käytön jälkeen työntekijät jättävät ne mihin sattuu. Työpaikalla ei ole sovittuja siivousaikoja, vaan siivous hoidetaan satunnaisesti kaikkien työntekijöiden kesken.

Tieto

Yritys keskittyi alun perin pelkästään tietotekniikkaan ja ohjelmointiin, joista laajennettiin automaatioon ja tekniikan sovelluksiin. Tämä vaihto johti tilanteeseen, jossa monilla yrityksen työntekijöillä ei ollut kokemusta uudesta alasta, koska heidän pääosaamisensa on tietotekniikassa. Lisäksi yritys ei ollut koskaan valmistanut itse fyysisiä tuotteita. Kokemuksen puute johtaa tehottomuuteen, kun uuden opettelua on paljon.

Yritys ei ole luonut toimintaohjeita ja standardeja tuotannonprosesseille, ja niiden puuttuminen johtaa tilanteeseen, jossa työntekijät voivat työskennellä vain tuotannonvaiheissa, jotka he taitavat. Tuotantovaiheet pois lukien jyrkintä ovat yksinkertaisia ja työntekijät pystyisivät suorittamaan ne standardien ja toimintaohjeiden pohjalta. Tuotantoprosessissa on menekistä riippuen yhdestä kahteen työntekijää samanaikaisesti, ja tämän

lisäksi yrityksen muut työntekijät taitavat osan tuotannonprosesseista. Standardien ja toimintaohjeiden avulla työntekijät, jotka eivät ole vakituisesti osana tuotantoprosessia, pystyisivät paikkaamaan tuotannontyöntekijöitä poissaolojen ja kiireiden aikana.

Yrityksen työntekijöillä ei ole minkäänlaista raportointivelvollisuutta, ongelmia ei tarvitse ilmoittaa tai parannusehdotuksia jakaa. Syy raportoinnin puutteeseen on yrityksen avoimuus: asioista puhutaan usein ja keskustellaan asioiden parannuksesta. Ilman virallista raportointia asioita voi kuitenkin jäädä pimentoon, jos työntekijä ei niitä omatoimisesti jaa. Päätöksiä tehtäessä raporttien puuttuminen johtaa osan vaihtoehtoista käsittelemättä jäämiseen ja päätöksenteon hidastumiseen.

3.5 Muutossuunnitelma

Tuotannon tehostamisen tavoitteina olivat lyhemmät läpimenoajat, laadun kohentaminen, kyky suurempaan tuotantokapasiteettiin tulevaisuudessa ja kokonaiskustannusten vähentäminen. Muutossuunnitelmassa käydään läpi mahdollisuuksia, joilla edellä mainitut tavoitteet voidaan täyttää. Suunnitellut muutokset perustuvat esille nousseisiin tehokkuuteen vaikuttaviin ongelmiin ja lean-perusoppeihin. Muutossuunnitelma on jaettu kahden osioon tavoitteiden pohjalta, eikä kokonaiskustannusten vähentämiselle ole erillistä osiota, koska kustannukset vähenevät laadun kohentumisen ja tuotannon nopeutumisen seurauksena.

Laadun parantaminen

CNC-jyrsimen tuottama leikkuutulos on vaihtelevaa. Pora voi tehdä muoviin lovia, leikata syvyysuunnassa vinoon ja aiheuttaa muovin sulamista, minkä takia työntekijä joutuu valvomaan leikkuuprosessia sen koko keston ajan. Koteloon käytetään kahta eri muovityyppiä: PMMA:ta ja PS:ää, joista jälkimmäinen on erityisen hankalaa leikata ja sulaa helposti. Mahdollisia auttavia tekijöitä leikkuun parantamiseen ovat tärinän vähentäminen, poran pyörimis- ja liikkumisnopeuden optimointi, muovityyppien vaihtaminen leikkuuystävällisempiin materiaaleihin sekä jäähdytys- ja imurointimoduulien asentaminen.

Kotelon kokoonpanon tekee työntekijä manuaalisesti teollisuusliiman avulla. Ongelmaksi nousee hävikki ja vaihteleva laatu, koska työn lopputulos riippuu työntekijän taidoista. Teollisuusliima kuivuu nopeasti eikä tuotteen kokoamisessa ole käytössä kohdistinta,

jolla voitaisiin varmistaa tasainen laatu. Lisäksi kokoonpanossa on turhaa hiontatyötä, jolla korjataan liimauksessa aiheutuneet pienet kohdistusvirheet. Ratkaisuksi mietin ensimmäiseksi muottia, jolla kotelon osat kohdistettaisiin liimauksen ajaksi. Tämä ei kuitenkaan poistaisi hiontavaihetta, koska liima pursuaa helposti yli muovipalojen välistä. Kotelon osien täydellinen paikoitus vaatisi kohdistustapit, jotka kiinnittävät kotelon osat toisiinsa.

Laadun ylläpito ja sen jatkuva parantaminen on yksi leanin peruskäsitteitä. Tasainen korkea laatu taataan leanissa JIT-tuotannolla, jossa ei ole varaa virheisiin, sekä standardien luomisella ja niiden tiukalla seuraamisella. Standardien avulla luodaan yksi oikea tapa suorittaa työprosessit. Hyvät standardit takaavat työn teon oikein ilman ongelmien syntyä. Jokaiselle tuotannon vaiheelle pitää luoda toiminta- ja laatustandardit, joiden seuraaminen takaa oikeat toimenpiteet. Apuna voidaan käyttää myös poka-yoke-virheestimiä rajoittamaan inhimillisiä virheitä. Standardeja seurataan koko ajan ja kehitetään tarpeen mukaan.

Tuotantoprosessin nopeuttaminen

Vaikka tässä insinööriyössä keskitytään tuotannon tehostamiseen, on sen lisäksi otettava huomioon, että tuotantoprosessien nopeuttaminen vähentää myös läpimenoaikaa eli aikaa tilauksen saapumisesta sen valmistumiseen. Tehokas prosessi luo hukkaa, jos läpimenoaika ei vähene. Läpimenoaika voidaan määritellä myös eri aloitus- ja loppuajan kohdista, esimerkiksi tuotannon aloittamisesta maksuun. Ihannetilanteessa tilauksen saapumisen ja valmistuksen aloituksen välissä ei ole viivettä (pois lukien yrityksen kiinniloajat). Suurin vaaratekijä viiveen aiheuttajaksi yrityksen tuotantoprosessissa on ruuhka, ja sen ratkaisu on joko kapasiteetin kasvattaminen tai tuotantoprosessien nopeuttaminen.

Tällä hetkellä tuotantoprosessin pisin vaihe on kotelon valmistaminen, joka muodostaa tuotannon pullonkaulan. Kotelon valmistamiseen käytetään yhtä CNC-jyrsintä. Yksinkertaisin ratkaisu olisi hankkia useampia työstökoneita laskemaan läpimenoaikaa, mutta tehokkuuden ja hukan eliminoinnin kannalta prosessia tulisi mieluummin parantaa. Kapasiteetin kasvattaminen uusia työstökoneita hankkimalla olisi myös vain pinnallinen ratkaisu eikä taloudellisesti kannattavaa prosessien tehostamiseen verrattuna. Jos menekki kasvaa tulevaisuudessa, uuden koneen hankinta toimivaan tuotantoprosessiin on tuottavampaa. Leanin oppien mukaan tuotannon prosessit muutetaan toimiviksi ennen

uusien koneiden hankintaa. Etsausprosessin nopeuttaminen ei ole tällä hetkellä välttämätöntä, koska se pystytään suorittamaan ilman valvontaa, jolloin se ei ole pois työajasta.

Läpimenoajan lyhentäminen vaatii tuotantoprosessien nopeuttamista ja tehostamista. Prosessit voidaan tuotannossa jakaa kahteen osaan: vaadittuun aikaan, joka kuluu prosessin tai koneen valmistamiseen toimintakuntoon eli asetusaikaan ja valmistukseen kuuluva aikaan eli työstöön. Asetusaikojen lyhentäminen on tuotantoprosessin nopeuttamisen lisäksi tärkeää luotaessa jatkuvan virtauksen tuotantoa. Muuttamalla piensarjatuotanto yksittäiskappaletuotannoksi pystytään vastaamaan asiakkaiden tarpeisiin nopeammin, lisäämään joustavuutta tuotantoprosessiin ja pääsemään eroon välivarastoista. Tehokkailla asetusajoilla yksittäistuotannon nopeus nousee lähelle sarjatuotantoa. Työstön nopeuttaminen lyhentää valmistusaikaa huomattavasti ja tuo esille piilossa olevia ongelmia, joiden korjaaminen johtaa luotettavaan laadukkaaseen prosessiin.

Asetusaikojen minimointiin käytetään SMED-työkalua, jolla pyritään lyhentämään kaikki asetusajat alle kymmeneen minuuttiin, jolloin JIT-tuotanto toimii sulavasti. SMED:ssä tarkastellaan ensimmäiseksi asetusajoja, ja ne jaetaan ulkoisiin ja sisäisiin asetusajoihin. Seuraavaksi sisäiset asetusajat yritetään muuttaa ulkoisiksi mahdollisuuksien mukaan, ja tämän jälkeen ulkoisia ja sisäisiä asetuksia aletaan parantaa. Mutta miten työstövaihetta voidaan sitten nopeuttaa? Ratkaisuna on CNC-jyrsimen optimointi, jossa etsitään testaamalla parhaat leikkuuasetukset, joissa kone toimii ilman ongelmia. Muuttuvia ovat leikkuusvyvyys, liikkumisnopeus ja terän pyörimisnopeus. Parempiin tuloksiin päästään myös tarkastelemalla tekijöitä, jotka vaikuttavat muuttujiin, kuten poranterä, CNC-ohjelman asetukset ja ulkoiset olosuhteet (tärinä, kosteus, lämpötila ja leikkuupuru).

Leania voidaan sanoa JIT-tuotannon synonyymiksi, ja lean-työkalut on suunniteltu avustamaan tätä tuotantomuotoa. JIT-tuotannon perusajatuksen mukaan tuotantoprosessin tulisi *"valmistaa vain mitä voidaan myydä, kun se voidaan myydä, määrä, joka voidaan myydä"*. Säännön seuraaminen vaatii koko tuotannon joustavuutta. [24, s. 11.] JIT on käsitteenä yksinkertainen, mutta toteutus vaatii oikeat olosuhteet. Läpimenoajan tulee olla mahdollisimman lyhyt ja prosessien toimivia, koska JIT:ssä ongelmat tulevat esille heti ja keskeyttävät tuotannon. JIT-tuotantoon siirryttäessä prosessit tulee hioa kuntoon, luoda jatkuva virtaus ja luoda kanban-systeemi. Jatkuvassa virtauksessa eliminoidaan eri tuotantovaiheiden välissä oleva hukka, jota aiheuttavat esimerkiksi odottelu ja tuotannon pullonkaulat. Kanbanilla kontrolloidaan tuotantoa kertomalla edelliselle prosessin

vaiheelle, koska tarvittavia tuotteita tulee valmistaa. Tuotantoprosesseissa on tärkeää niiden vakaus ja tasapaino. Tuotannon epätasaisuus luo ei-toivottua hukkaa ja vähentää tehokkaiden prosessien hyötyä. Tahtiajan määrittelyllä varmistetaan kanbanin ohella, ettei ylituotantoa synny, ja heijunka tasoittaa tuotannon eliminoiden tuotantopiikit.

Työpajan järjestys ja siisteys vaikuttavat viihtyvyyden lisäksi tuotannon nopeuteen. Työkalujen selkeät määrätyt paikat vähentävät hukkaa, joka kuluu työkalujen etsimiseen. Selkeästi määritetyt paikat tuotannon eri vaiheille vähentävät sekaannusta ja luovat selkeyttä työpaikalla. Sovitut siivouskäytännöt ylläpitävät jatkuvaa siisteyttä eivätkä luo pitkiä katkoja tuotannossa. Siisteys lisää samalla työturvallisuutta ja nostaa tuottavuutta, kun työympäristö on viihtyisä. Käytettävä lean-työkalu työpaikan järjestyksen ja siisteyden ylläpitoon on 5S.

4 Tuotannon uudistukset

Tuotannon tehostamisessa pyritään puuttumaan esille nousseisiin ongelmiin ja seuraamaan muutossuunnitelmaa, jonka avulla pyritään korkeampaan laatuun ja prosessien nopeutumiseen. Ishikawa-diagrammissa esitelyihin ongelmiin yritetään löytää ratkaisuja, jos ne ovat tuotannon puolelta mahdollisia. Uudistusten osa-alueet ovat asetusajojen vähentäminen, tuotannon prosessien tehostaminen, työpajan järjestely ja lean-tuotantoon siirtyminen.

4.1 Asetusaikojen minimointi

Tuotantoprosessien asetusajojen parannuksessa käytettiin apuna aiemmin esiteltyä SMED-metodia. Parannettava asetus aika oli CNC-jyrsimen valmistaminen työstöön. Wellamon koteloon kuuluu kotelo- ja anturiosa. Ennen jokaista työstöä muovipala sahaan irti muovilevystä ja kiinnitetään leikkuupöydälle. CNC-jyrsin täytyy ajaa kotipisteeseen ja kalibroida Z-akselin suhteen. Palan työstön jälkeen valmista osaa hiotaan tai korjataan kirurgiveitsellä tarpeen mukaan.

Ennen kuin asetusajojen minimointi voidaan aloittaa, on tunnistettava, mitkä asetusajoista ovat sisäisiä (IED) ja mitkä ulkoisia asetusajoja (OED). Alkuperäisessä tuotannossa muovipalojen sahaaminen, CNC-jyrsimen kotiuttaminen, Z-akselin kalibrointi ja

vaihto seuraavaan osaan olivat sisäisiä asetusaikoja, lisäksi valmiin palan hionta voidaan laskea sisäiseksi asetukseksi. Nämä asetusaajat kelloitettiin, ja aikaa kului keskimäärin noin kymmenen minuuttia Z-akselin kotiuttamiseen sekä palan kiinnittämiseen, ja hionta kesti noin kymmenen minuuttia.

SMED:n mukaan asetusaajat minimoidaan muuttamalla mahdollisimman moni sisäinen asetusaika (IED) ulkoiseksi asetukseksi (OED). Tämä tarkoittaa, että asetukset voidaan tehdä samaan aikaan, kun edellistä osaa työstetään, eikä koneen tarvitse olla seisonnassa. Muovipalojen sahaaminen, lukuun ottamatta ensimmäistä työstöä, on helppo muuttaa sisäiseksi asetukseksi. Alkuperäisessä tuotantoprosessissa ei ollut standardia, jonka mukaan muovipalat pitää leikata työstön aikana, ja yleensä työntekijä teki tämän vaiheen vasta osan valmistumisen jälkeen. Myös palojen hionnassa oli sama ongelma. Uudessa suunnitelmassa muovipalojen sahaaminen ja hionta pitää suorittaa työstön aikana. Vanhassa piensarjatuotannossa muoviosia tehtiin kolmen kappaleen erinä, mutta jokaisen palan välissä oli aina kiinnitettävä työstöpöytään uusi muoviosa, koska työntekijät leikkasivat muovipaloja, joista pystyi valmistamaan vain yhden kappaleen. Uudessa järjestelmässä CNC-jyrsin työstää kaikki samanlevyiset osat yhdestä suuresta muovikappaleesta, jolloin sisäiset muovipalan kiinnityasetukset vähenevät kuudesta kolmeen sisäiseen asetukseen (2 mm, 3 mm ja 8 mm). Tämän ansiosta myös CNC-jyrsimen kotiutus ja Z-akselin kalibrointi vähenevät kuudesta kerrasta kolmeen. Sisäiset asetukset vähenivät yhden Wellamo-vedenlaatuanalysointilaitteen tuotannossa 35:stä 5:een. Mitä enemmän tuotantoa on, sitä enemmän uusi järjestelmä säästää aikaa, koska sahaus ja hionta joudutaan tekemään ulkoisena asetuksena vain yhden kerran. Tarkemmat tulokset esitellään luvussa 5.1.

4.2 Prosessien tehostaminen

Tuotantovaihe koostuu neljästä erillisestä vaiheesta: kotelon jyrsimisestä, piirikortin etsaamisesta, elektroniikan juottamisesta ja tuotteen kokoamisesta. Kotelon jyrsiminen vaikuttaa eniten läpimenoaikaan, ja siinä aiheutuu myös laatuongelmia leikkuujäljessä. Tuotteen kokoamisessa on myös paikattavaa laadun parantamisessa ja turhan hävikin poistamisessa. Elektroniikan juottamisessa sen keston ja laatuun vaikuttaa työntekijän kokemus. Juottamiseen on olemassa koneita, mutta yrityksellä ei ole aikomusta tehdä

tällaista hankintaa. Etsausprosessia pystyttäisiin nopeuttamaan vaihtamalla natriumper-sulfaatti syövyttävämpään etsaushappoon, kuten suolahappoon, mutta päätin yhdessä yrityksen johdon kanssa, että työturvallisuuden takia etsaushappoa ei vaihdeta.

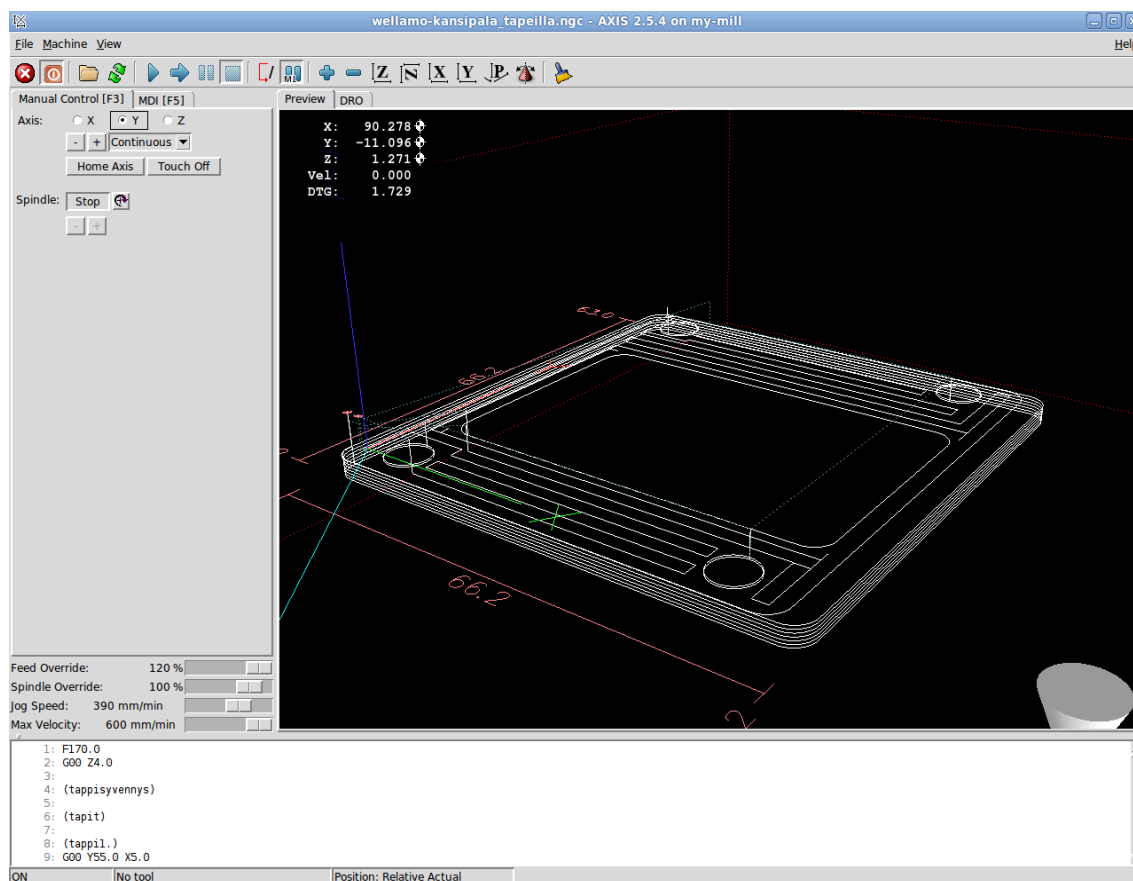
CNC-jyrsimen optimointi

Testaamalla eri leikkuusyvyyskiä, poran pyörimisnopeuksia ja poran vauhtia PMMA:n leikkuutulokset saatiin luotettaviksi ja nopeammiksi. Kun kasvatettiin poran pyörimisnopeutta 4 000 kierroksesta minuutissa 6 000 kierrokseen ja lisättiin poran liikkumisnopeutta 165 millimetristä minuutissa 182 millimetriin, ei leikkuuprosessi enää aiheuttanut lovia tuotteeseen. Nopeamat poran pyörimis- ja liikkumisnopeudet sallivat myös leikkuusyvyden kasvattamisen 0,30 millimetristä 0,40 millimetriin, mikä nopeutti työstöaikoja huomattavasti vähentämällä tarvittavia leikkuukierroksia. Näiden muutosten jälkeen ei vanha muovierien laatuerojen ongelma enää aiheuttanut vaikeuksia työstöprosessissa.

PS-keskuspalan leikkuutulokset pysyivät kuitenkin vaihtelevina eri nopeuksissa. PS:n vaikean leikattavuuden takia päädyin materiaalin vaihtoon. Alkuperäinen syy PS:n valitsemiseen oli sen saatavuus: alihankkijalla oli 8 mm:n läpinäkyvissä muoveissa tarjolla vain PS:a. 8 mm:n korkuista ei kuitenkaan tarvittu enää, koska tuotteen elektroniikka on pienempää kuin alkuperäisessä prototyypissä, joten valitsin uudeksi keskivalamateriaaliksi 5 mm:n läpinäkyvän polykarbonaatin (PC), joka on PMMA:n ja PS:n tavoin myös amorfinen muovi ja vastaa tiheydeltään ja lämmönkestoltaan enemmän PMMA:ta kuin PS:a [23, s. 47]. PC osoittautui helposti leikattavasti, kun poran pyörimisnopeus nostettiin maksimiin (10 000 rpm), ja sitä pystyi leikkaamaan kerralla enemmän kuin PMMA:ta (ero: PC 0,52 mm ja PMMA 0,40 mm). Keskivalaman kutistuminen vähensi samalla työstöaikaa huomattavasti (ks. tarkemmat tulokset luvussa 5.1).

Muovipalojen työstöaikoja sain laskettua lisää tarkastelemalla niiden leikkuureittejä, jotka olin luonut alkuperäisesti CAD-ohjelman G-koodikäntäjällä. Ohjelman luomat reitit tekivät ylimääräistä työtä ajamalla reittejä epäoptimaalisessa järjestyksessä ja välillä moneen kertaan. Lisäksi ohjelman luoma G-koodi oli vaikealukuista, mistä koitui ongelmia etenkin esimerkiksi tilanteessa, jossa CNC-jyrsin ei leikannut muovipalaa irti väärin koitettun Z-akselin takia (irti leikkaaminen vaatii uuden koodin syöttämisen CNC-ohjelmaan, josta on poistettu jo ajatut reitit). Tulevaisuuden mahdollisten muutosten leikkuureitteihin, työstön nopeuttamisen ja keskeytetyn leikkuun jatkamisen vuoksi kirjoitin

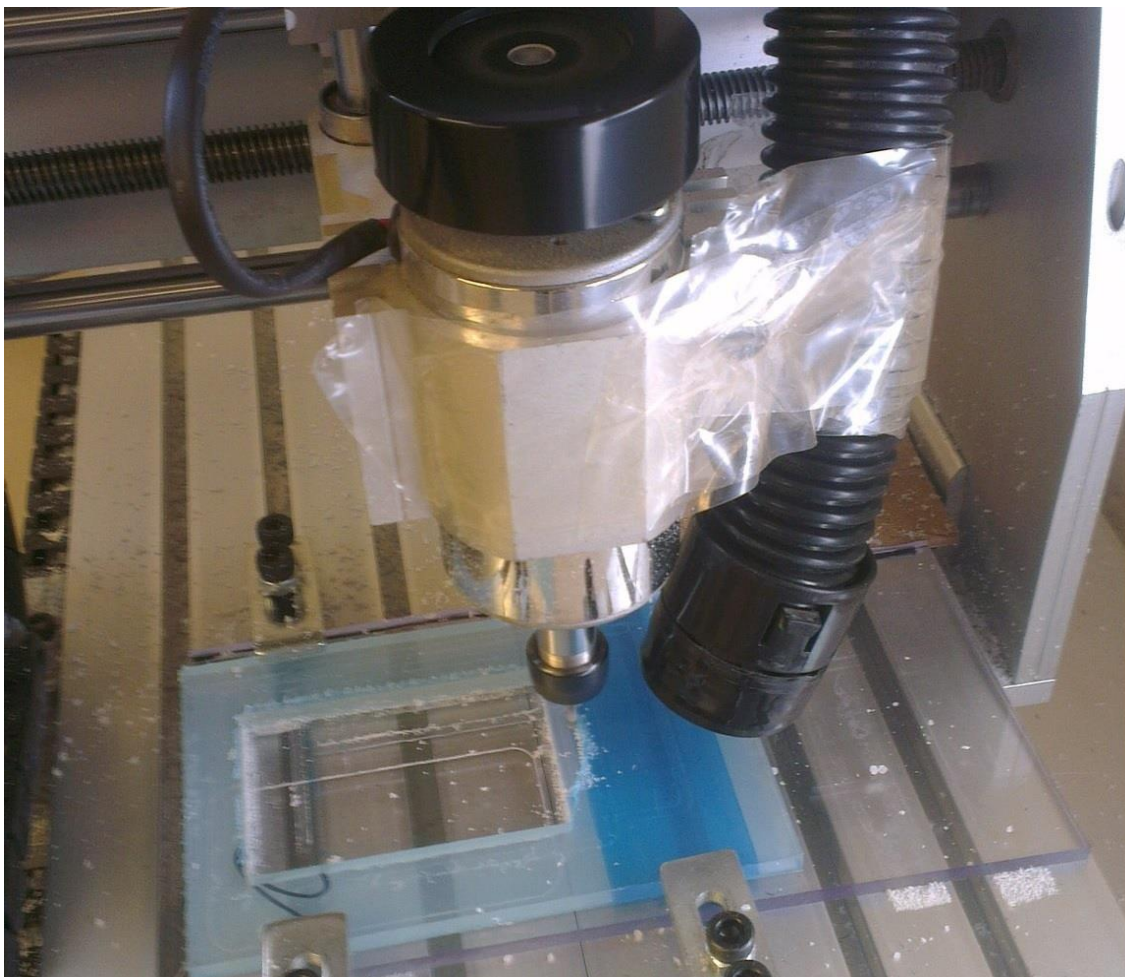
kaikki G-koodit uusiksi selkeiden merkintöjen kanssa, joissa jaoin leikkuun eri osat selkeisiin otsikkoihin. Koodin pituudet vähenivät, ja pienten hienosäätöjen teko nopeutui huomattavasti. Käsin kirjoitetun koodin takia pystyin lisäämään jokaisen ajokierroksen loppuun poranterälle lyhyet lepoajat, joiden avulla saadaan poranterän lämpötila viileneeseen ja näin vähennetään muovin sulamisen mahdollisuutta. Kuvassa 12 näkyy ruutu-kaappaus uusitusta kotelon kansipalan leikkuureitistä ja esimerkki G-koodin selkeytyksestä koodiin lisätyillä selityksillä.



Kuva 12. Wellamo-vedenlaatuanalysaattorin kansipalan uusittu leikkuureitti.

Työstön laatuun ja poranterien nopeaan kulumiseen vaikutti CNC-jyrsimen värinä. Resonanssia tavoitellen vaihdoin CNC-jyrsimen pöydän jyrkempään. Värinään vaikutti pöydän lisäksi muovipalojen kiinnitys, joka tehtiin CNC-jyrsimen pidikkeiden avulla. Päätin parantaa muovipalan kiinnitystä käyttämällä pidikkeiden lisäksi kaksipuolista mattoteippiä. Teippaamisen ansiosta muovipalat kiinnittyivät tiukasti leikkuualustaan eikä pelkillä kiinnitystapeilla tapahtuvaa taipumista syntyisi. Pitkien työstöjen onnistuminen vaati muovipurun imurointia. Välttääkseni tämän työvaiheen ja estääkseni mahdollisen inhi-

millisen virheen, jossa työntekijä unohtaa imuroida leikattavaa osaa ja työstö epäonnistuu (poka-yoke), kiinnitin CNC-jyrsimeen imurin (ks. kuva 13), jolloin työntekijä vapautuu tästä vaiheesta. Parannusten jälkeen työstön laatu on niin luotettava, ettei jatkuvaa valvontaa enää tarvittu.



Kuva 13. CNC-jyrsimen puruimuri.

Tuotteen uudet ominaisuudet

Kotelon kokoonpano liimaamalla aiheutti ongelmia osien kohdistamisessa ja oli hidasta. Koteloa jouduttiin hiomaan liimaamisen jälkeen tyydyttävän lopputuloksen saamiseksi. Tähän ratkaisuksi valitsin kohdistustappien lisäämisen tuotteeseen. Ensimmäisessä prototyypissä koteloon porattiin CNC-jyrsimellä reiät ja tapit jyrsittiin erikseen. Nopeasti huomasi, että kokoaminen näin oli hankalaa liimaamisen vaikeuden takia. Seuraavassa mallissa tapit jyrsittiin osaksi tuotteen kannen ja pohjan kulmia (ks. kuva 12 s. 41) ja keskiosaan jyrsittiin läpimenoreiät tapeille. Vaikka tässä mallissa työstö kesti kauemmin

kuin erillisissä tapeissa, koska pohja- ja kansipaloista jouduttiin jyrsimään ylimääräisiä kerroksia, oli lopputulos helpompi liimata ja koota. Hionnasta pystyttiin pääsemään kokonaan eroon palojen täydellisen kohdistumisen takia, mikä laski kokonaistyöstöaikaa. Mittapähän lisäsin myös samanlaiset kiinnitystapit.

4.3 Työpajan järjestely

Luvussa 3.4 ongelmiksi työpajan ympäristössä listattiin siisteys ja järjestys, jotka eivät vaikuta pelkästään viihtyvyyteen vaan myös työn tehokkuuteen. Siisteydellä ja työkalujen määrätyillä paikoilla päästään eroon hukka-ajasta, joka kuluu työntekijöiltä oikeiden työkalujen etsimiseen. Leanissa käytettävä työkalu työympäristön siisteyteen ja järjestykseen on 5S, eli sortteeraus, systematisointi, siivous, standardisointi ja seuranta. 5S:n avulla voidaan taata siisteys ja järjestys työpaikalla sekä varmistaa niiden jatkuva ylläpito. 5S toteutetaan viidessä vaiheessa ja apuna käytetään tähän suunniteltuja lomakkeita, jotka antavat arvosanan asteikolla 0–100. Lomake kuuluu tehdä mahdollisimman usein, jotta päästään jatkuvaan parantamiseen. Ennen parannusten aloitusta tein alkuarvioinnin yrityksen tilasta liitteen 2 lomakkeella. Tulos oli 32/100, jota voidaan pitää heikkona. Lomakkeen täytön avulla sain hyvän kuvan tämänhetkisestä tilanteesta ja pystyin aloittamaan 5S:n toteuttamisen.

Ensimmäinen vaihe oli sortteeraus, jossa kävin läpi kaikki yrityksen esillä olevat työkalut ja kävin läpi, mitä niistä oikeasti käytetään tuotannossa. Tämän jälkeen siirsin kaikki ylimääräiset työkalut laatikkoihin, jotka sijoitettiin yrityksen varastotilaan. Eteeni tuli monta työkalua, joita ei tuotannossa yleensä käytetä, mutta voidaan mahdollisesti tarvita, esimerkiksi suorakulman tarkistusavain, jota käytettiin paljon tuotantoa aloitettaessa, kun CNC-jyrsimen leikkuulaatu vaihteli ja työkalulla tarkastettiin, tarvitseeko muovipalaa hioa tasaisuuden saavuttamiseksi. Työkalua ei kuitenkaan ole tarvittu enää CNC-jyrsimen optimoinnin jälkeen, koska laatu on tasaista. Epäselvät tapaukset työkaluissa merkitsin punaisella teipillä, ja niistä pidetään kirjaa. Jos työkaluja ei käytetty kahden viikon sisällä, ne siirrettiin varastoon.

Toinen vaihe oli systemointi, jossa määräsin jäljelle jääneille työkaluille säilytyspaikat, joihin työkalut pitää palauttaa aina käytön jälkeen eikä niihin saa sijoittaa muita työkaluja. Yrityksellä on myös paljon eri komponentteja, jotka sijoitin laatikkoihin ja niihin merkittiin

sisältävät komponentit. Lisäksi tein tuotannon eri vaiheille selkeät alueet, joissa niitä to-
teutetaan. 5S:n sääntöjen mukaisesti merkityillä aluilla ei ole sallittua tehdä muita työvai-
heita. Yrityksessä on pakko pitää väliaikaista varastoa tuotannossa tarvittaville kom-
ponenteille tilauserien suuruuden takia, ja näille tuotteille rajasin myös oman varastoin-
tialueen tuotantotilasta. Määritetyt työkalujen paikat ja alueet varastoinnille takaavat siis-
teyden: kaikille asioille on oma paikkansa, mihin ne tulee sijoittaa.

Kolmas vaihe oli yleinen siivous. Koko tuotantotila siivottiin kunnolla ja varmistettiin, ettei
ylimääräisiä tavaroita ole ja kaikille työkaluille ja komponenteille on oma määrätty paik-
kansa. Neljännessä vaiheessa eli standardisoinnissa yrityksen työntekijöiden kanssa so-
vittiin pelisäännöt siivoamiselle: kaikki siivoavat päivittäin omat jälkensä ja työpäivän lo-
puksi varmistetaan, että työpaikka on siistissä kunnossa ja työkalut ovat omilla paikoil-
laan. Lisäksi sovittiin tuotannon prosesseissa toimenpiteet, joiden avulla 5S:ää tullaan
ylläpitämään, työkalut tulee palauttaa työnteon jälkeen omille paikoilleen ja työpisteet
pitää siistinä. Siivouksessa jo sivuttiin viimeistä vaihetta eli seurantaa, joka on varmistus,
että 5S:ää noudatetaan yrityksessä ja sitä yritetään parantaa jatkuvasti.

Liitteestä 3 voidaan nähdä, että 5S-tarkistuslomakkeen arvosana kohosi 32:sta 80:een,
jota voidaan pitää hyvänä tuloksena. Eniten parannusta tapahtui siivousosiossa, missä
pisteet nousivat 25 prosentista 85 prosenttiin siivouksen standardisoinnin ja koneiden
ylläpidon lisäämisen ansiosta. Alhaisimman arvosanan 70 prosenttia sai ylläpito, koska
yritys ei ole ottanut vielä käyttöön toimintatauluja tuotannossa. Lisäksi muita alemman
arvosanan sai standardisointiosio, koska työssä käytettävien suojavälineiden ja asujen
käyttöä ei seurata tiukasti eikä parannusmuistioita luoda jatkuvasti. Loput kolme osiota
saivat kaikki saman tuloksen: 85 prosenttia.

4.4 Uuteen tuotantoon siirtyminen

Tuotantoprosessien tehostamisen ja laadun kohentamisen jälkeen voitiin aloittaa siirty-
misvaihe jatkuvan virtauksen imuohjaukseen, JIT-tuotantoon. JIT-tuotantoon siirtymisen
päämääränä on parantaa tuottavuutta vastaamalla jatkuvasti asiakkaan tarpeisiin ja olla
tinkimättä jatkuvasta laadun, kulujen ja toimitusten parantamisesta (QDC) valmistamalla
tuotteita vain tarpeeseen [24, s. 6]. Muutossuunnitelman mukaan tuotannon hallintaan
tarvitaan kanban-järjestelmä, jatkuva virtaus poistamalla tuotantoprosessien välissä

oleva hukka-aika ja tuotannon tasapainotus varmistamalla vakaat prosessit standardisoinnilla ja tahtiajan tarkastelulla.

Tuotannon hallinta

Valmistettavan tuotteen tuotantoprosessi koostuu pelkästään kolmesta vaiheesta: elektroniikan kokoamisesta, kotelon valmistuksesta ja tuotteen kokoonpanosta. Valmistus on yksittäistuotantoa vain tilauksesta, mikä jo itsestään vähentää varastoja. Valmistuksessa on samanaikaisesti työskentelemässä yhdestä kahteen henkilöä ja kommunikointi prosessien välillä on sujuvaa. Oikeiden tuotantomäärien varmistamiseksi tarvitaan kanban-systeemi. Kotelon valmistukselle tein kanban-laatikon, jossa on paikat jokaiselle kotelon osalle. Kotelon valmistukselle luotiin standardi, joka määrää tuotantojärjestyksen, joka on aina sama. Ensimmäisen 5 mm:n osan valmistuttua se laitetaan kanban-laatikkoon ja vasta sen jälkeen seuraavien 3 mm:n osien valmistaminen alkaa. Tämä vaihe toistuu jokaisen osan kohdalla. Kaikkien kappaleiden valmistuttua ne siirretään yhdessä kanban-kortin kanssa kokoamisvaiheeseen. Työntekijä tai työntekijät aloittavat elektroniikan valmistuksen, kun CNC-jyrsimen leikkaa muoviosia. Elektroniikkaosa on aina samanlainen, joten valmistus on sidottu kotelon valmistamiseen, ja huomattavasti lyhemmän läpimenoajan omaavana se valmistuu aina ennen koteloa. Kanbanin ja valmistusstandardien mukaan prosessissa saa olla kerrallaan vain yksi tuote, kotelon osia ei siirretä seuraavaan vaiheeseen, ennen kuin kaikki osat ovat valmiita, ja tuotteiden laadun pitää olla tarkastettu ennen siirtymävaihetta.

Logistiikka

JIT-tuotannossa myös logistiikan tulisi seurata tätä periaatetta: materiaaleja tilattaisiin pelkästään tarpeeseen ja niiden tulisi saapua valmistusprosessiin juuri oikeaan aikaan varastointivaiheen poistamiseksi. Aiempiin lean-muutoksiin suuresti vaikuttanut pieni tilausten määrä vaikuttaa myös logistiikkaan. Tuotannossa käytettävien materiaalien (elektroniikkakomponentit ja muovilevyt) osuus valmiin tuotteen hinnasta on alhainen. Elektroniikkakomponentit tilataan eräältä brittiläiseltä jälleenmyyjältä, ja toimitusaika on noin kolme päivää. Muovilevyt hankitaan eräältä pääkaupunkiseudulla sijaitsevalta yritykseltä. Työntekijä käy hakemassa muovilevyt, ja tämä vie työaikaa noin puolitoista tuntia. Materiaalivaraston poistaminen tulisi kalliiksi yritykselle ja samalla vaikeuttaisi asiakkaiden tarpeisiin vastaamista; pienien ja epätasaisten tilausmäärien takia ei voida realistisesti luoda tilausjärjestelmää, joka järjestäisi oikean määrän materiaaleja juuri oikeaan

aikaan. Vaihtoehtoisesti materiaalitulaukset voitaisiin tehdä vasta asiakastilausten saapuesssa, mutta logistiikkakulut olisivat suuremmat kuin materiaalivaraston ylläpitämisessä ja tilauskoot olisivat kaukana optimaalisesta. Tilanteessa, jossa tilauksen kiinteät kustannukset ovat suurin menoerä, optimaaliset eräkoot (EOQ) ovat suuria. Päätymällä järjestelmään, jossa materiaaleja ja komponentteja tilataan suurissa erissä ja säilytetään materiaalivarastossa, pystyy yritys reagoimaan tilauksiin nopeasti pitämällä kulut alhaalla. Vaikka konsepti ei ole leanin mukainen, se on keino, jonka avulla päästään lähemmäksi lopullista tavoitetta, tehokkuuden lisäämistä tuotantoon.

Virtausprosessi

Jatkuvan virtauksen luomisessa tuli heti vastaan hankala ongelma: pelkästään samankokoisia muovipaloja pystytään valmistamaan samanaikaisesti, koska CNC-jyrsimiä on vain yksi. Ihannetilanteessa jokaista kotelon osaa voitaisiin käsitellä omana prosessinaan, jolloin työmäärä voitaisiin tasapainottaa asianmukaisesti. Tuotannon vaiheessa, jossa menekki ei ole suurta, ei lisäkoneille ole tarvetta, joten koko kotelon valmistusta käsitellään yhtenä prosessina. Kotelon valmistusprosessi on huomattavasti pidempi kuin samanaikaisesti tapahtuva elektroniikan valmistus, mikä johtaa alhaiseen kapasiteetin käyttöön ja välivarastointiin kyseisessä prosessissa. Virtausta saatiin parannettua aiemmin mainituilla SMED:n ja kanbanin käyttöönotolla. Valmistaminen vain tilauksesta johti automaattisesti sulavampaan virtaukseen tuotannossa vanhaan verrattuna. Jatkuvan virtauksen varmistamiseksi prosessien vakautus oli myös tärkeä vaihe: aiemmat laatu- ja koneongelmat aiheuttaisivat seisokkeja tuotannossa, mikä pysäyttää virtauksen. Työmäärän tasapainottaminen ja tahtiaika ovat tärkeitä tekijöitä leanissa ja JIT-tuotannossa, mutta alhaisen ja vaihtelevan menekin vuoksi niitä ei ole järkevää soveltaa uudessa tuotannossa. Tilausmäärät ovat olleet sen verran pieniä, että tuotantoprosessilla ei ole ollut vaikeuksia valmistaa tuotteita ajallaan, jolloin työmäärän tasapainottaminen ei vaikuta tuotantoon.

5 Prosessien suorituskyvyn arviointi

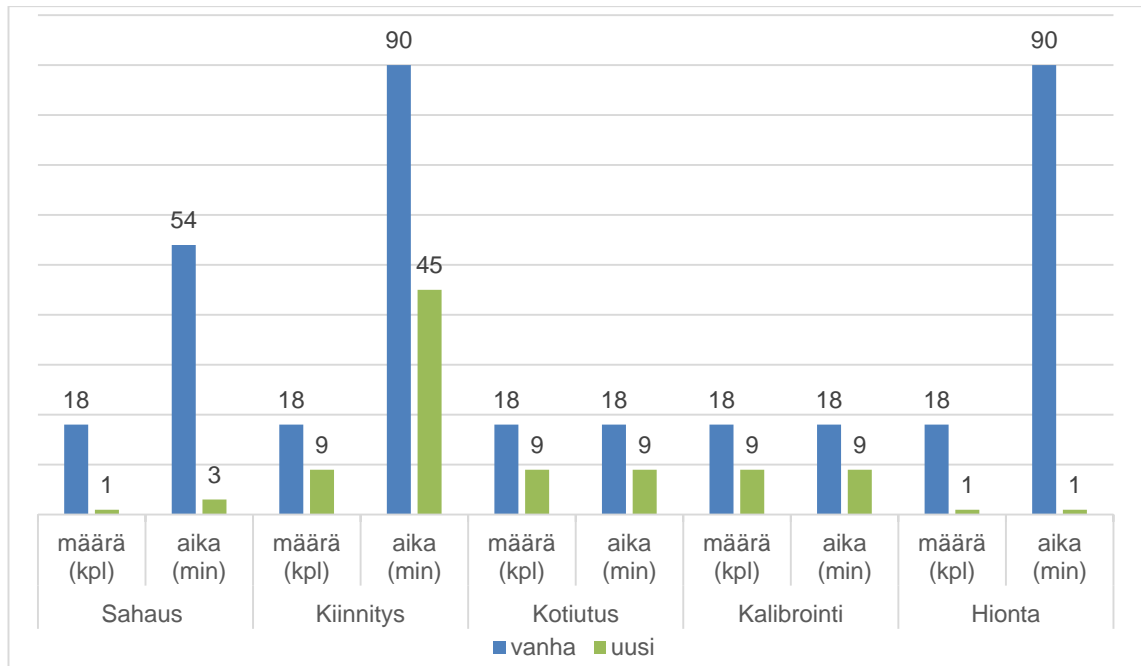
Suorituskyvyn arvioinnissa käytetään apuna mittaristoa, joka koostuu eri tunnusluvuista, jotka ovat tarkasti määriteltyjä menetelmiä kuvaamaan jonkin tekijän suorituskykyä. Tässä työssä tuotannon tehostamisen tarkastelun tunnuslukuina käytetään läpimenoaika, resurssitehokkuutta, virtaustehokkuutta, laatua, kustannuksia ja toimitusta. Mittaristo koostuu niin kutsutuista kovista mittareista, eli niillä tarkastellaan suorituksia. Työn rajauksen mukaan pois on jätetty pehmeät tunnusluvut eli ihmisten mielipiteisiin, asenteisiin ja tuntemuksiin perustuvat mittarit [25, s. 29–31].

5.1 Läpimenoaika

Kuten luvussa 3.5 mainittiin, läpimenoaika voidaan määritellä eri alku- ja loppupisteillä, riippuen siitä, milloin prosessi katsotaan alkaneeksi ja loppuneeksi. Jaksoajaksi tässä työssä valitsin pelkkään tuotteen valmistukseen kuluvan ajan (asetusajat, jyrästä, hioaminen ja kokoaminen), koska menekin vaihtelevuuden vuoksi ei luotettavaa tuotannon jaksottamista pystytä luomaan eli keskimääräistä odotusaikaa prosessiin ei pystytä määrittämään.

$$\text{löpimenoaika} = \text{keskeneräisten yksikköjen määrä} \times \text{jaksoaika}$$

Luvussa 4.1 esille noussut sisäisten asetusaikojen vaihtelu riippuen valmistettävien tuotteiden määrästä hankaloittaa jaksoajan laskemista. Ero ensimmäisen ja toisen tuotteen valmistusajassa on kolme minuuttia, koska sahaus pystytään hoitamaan ulkoisena asetuksena. Lisäksi tuotteen kokoaminen nopeutui kiinnitystappien lisäämisen vuoksi, ja kokoaminen voidaan nyt hoitaa sisäisenä asetusaikana, jos tuotteita valmistetaan enemmän kuin yksi kappale. Kuvassa 14 esitellään sisäisten asetusten määrä alkuperäisessä piensarjatuotannossa ja tehostetussa tuotannossa, jos tuotteita valmistetaan peräkkäin kolme kappaletta. Kolmen tuotteen valmistuksessa ulkoisiin asetusaikoihin käytettiin 67 minuuttia vanhan 270 minuutin sijasta. Piensarjatuotannon aritmeettinen keskiarvo on 90 minuuttia ja tehostetun tuotannon 23 minuuttia.



Kuva 14. Kolmen kappaleen tuotannon sisäiset asetukset: kesto ja määrä uudessa ja vanhassa järjestelmässä.

Wellamo-vedenlaatuanalysointikotelon työstöön ja kokoamiseen menee tehostetussa tuotannossa 124 minuuttia 30 sekuntia ja vanhassa piensarjatuotannossa 209 minuuttia ja 10 sekuntia (ks. taulukko 4). Elektroniikka valmistetaan työstön yhteydessä, jolloin se ei vaikuta jaksoaikaan. Kolmen perättäin valmistettavan tuotteen keskimääräinen jaksoaika uudessa tuotannossa on 143 minuuttia ja 30 sekuntia.

$$\text{jaksoaika} = \left[\text{asetusaika} \left(\frac{67 \text{ min}}{3} \right) + \text{työstöaika} (119,5 \text{ min}) + \text{kokoaminen} \left(5 \frac{\text{min}}{3} \right) \right]$$

Taulukko 4. Wellamo-vedenlaatuanalysointikotelon uudet ja vanhat työstöajat.

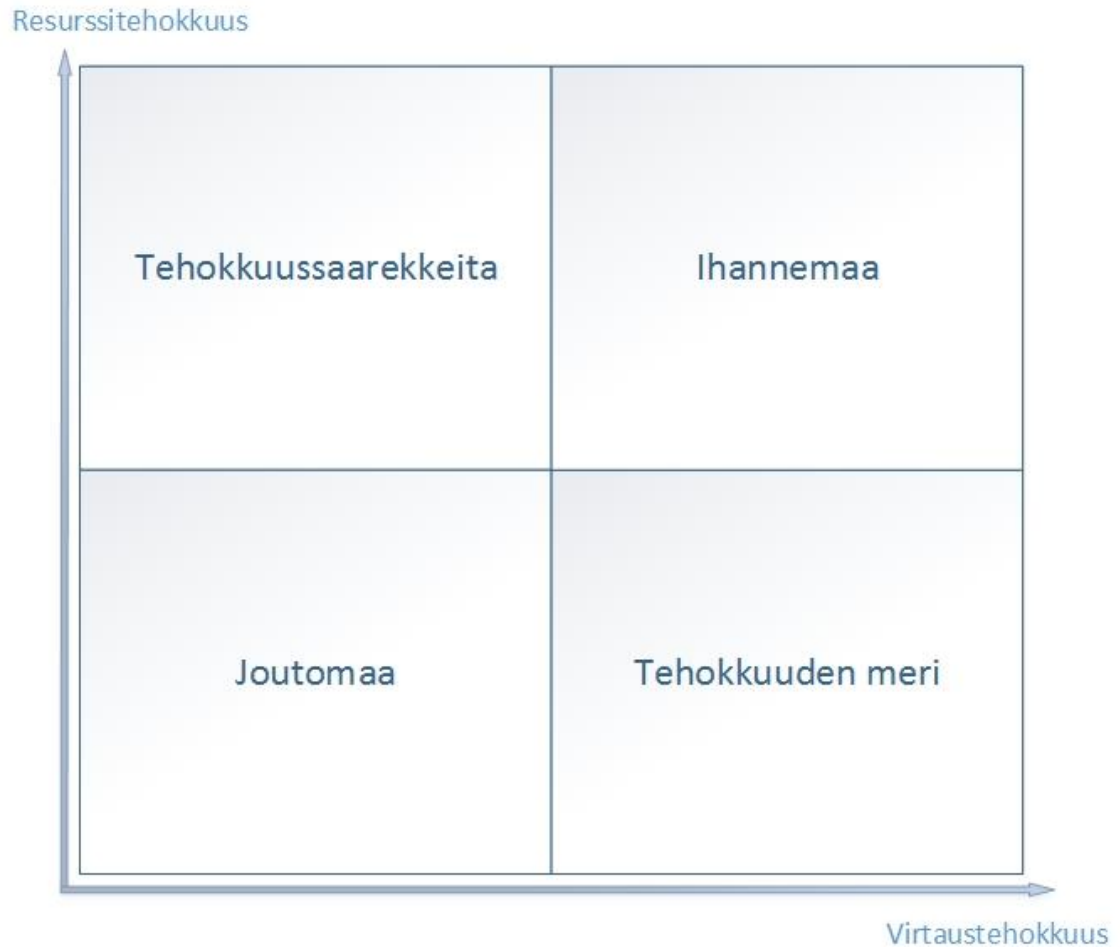
Työstöt	vanha (min, s)	uusi (min, s)	erotus (min, s)
kansipala	31,40	24,20	7,20
pohjapala	31,30	21,35	9,55
keskipala	71,40	32,55	38,45
anturi	23,50	17,45	6,05
anturinpohja	22,30	16,45	5,45
anturin suoja	8,00	6,10	1,50
Hionta			
keskipala	10,00	-	10,00
Kokoaminen			
kotelo	10,00	(5,00)	5,00
Kokonaisaika	209,10	124,30	84,40

Vanhassa tuotannossa elektroniikan ja piirikortin valmistusta ei hoidettu aina kotelon työstön yhteydessä, jolloin läpimenoaika kasvaisi vielä 32–37 minuuttia. Piensarjatuotannon jaksoaika oli 299 minuuttia ja kymmenen sekuntia. Huomattavaa piensarjatuotannossa oli, että tuotteet valmistettiin ATO-tavalla varastoon, jolloin keskeneräiset osat seisoivat varastossa odottamassa kokoamista, joka tehtiin vasta tilausten saavuttua. Odotusta ei kuitenkaan otettu huomioon läpimenoaikaa laskettaessa. Lisäksi vanhassa tuotannossa työpaja oli todella sekavassa kunnossa ja työkalujen etsimisessä kului aikaa. Uudistusten myötä käyttöön otettu 5S-menetelmä poisti tämän hukan. Piensarjatuotannon optimaalisen läpimenoajan ja uuden lean-tuotannon ero on 155 minuuttia ja 20 sekuntia, prosentteina ilmaistuna uusi tuotanto on noin 52 prosenttia nopeampi.

Läpimenoaikojen lyhentämisessä pullonkaulat ovat tärkeässä asemassa: ne vaikuttavat läpimenoajan pituuteen suuresti. Hitaammat prosessit rajoittavat nopeampia prosesseja. [1, s. 37.] Tämän työn tapauksessa kotelon valmistus rajoittaa elektroniikan valmistamista ja kokoamista. Pullonkaulat luovat jonoja, kun materiaalit odottavat pääsyä pitkään prosessiin ja pullonkaulaprosessin jälkeiset työvaiheet joutuvat odottamaan, jolloin niiden resurssitehokkuus on alhainen. Vaikka läpimenoaika on parantunut huomattavasti, olisi siinä vielä paljon parantamisen varaa. Tuotantoprosessien tasoittamisen lisäksi läpimenoaikaa saataisiin alhaisemmaksi menekin vaihtelun vähentämisellä [1, s. 39]. Menekin kasvaminen johtaisi työkoneiden käyttöasteen nousuun, mikä voi myös hidastaa läpimenoaikaa sen noustessa yli 100 prosenttiin eli luoda jonoja tuotantoprosessiin. Tullevaisuudessa menekin kasvaessa tuotanto tulisi tahdittaa hukan ja läpimenoajan kasvamisen estämiseksi.

5.2 Resurssi- ja virtaustehokkuus

Tehokkuuden mittaaminen leanissa massatuotannon ulkopuolella vaatii abstrakteja mittareita, jotta leanin muutosten vaikutus voidaan ymmärtää. *Tätä on lean: ratkaisu tehokkuusparadoksiin* -teoksessa esitellään tehokkuusmatriisi (ks. kuva 15 ja taulukko 5), jossa tarkastellaan resurssi- ja virtaustehokkuutta, jotka soveltuvat kaikenlaisiin yrityksiin massatuotannon ulkopuolella [1, s. 100].



Kuva 15. Tehokkuusmatriisi [1, s. 100].

Taulukko 5. Tehokkuusmatriisin neljä kategoriaa [1, s. 101–102].

Joutomaa

Huono resurssien käyttö, eikä tehokasta virtausta. Resursseja tuhlataan ja virtaus on hidasta.

Tehokkuuden meri

Suuri virtaustehokkuus, mutta resurssitehokkuus on matala. Asiakkaan tarpeisiin vastataan tehokkaasti, mihin päästään vapaan kapasiteetin ansiosta.

Tehokkuussaarekkeita

Korkea resurssitehokkuus, mutta virtaustehokkuus on alhainen. Resurssitehokkuudella päästään alhaisempiin tuotanto- ja palvelukustannuksiin pitkillä toimitusajoilla ja varastojen käytöllä.

Ihannemaa

Korkea virtaus ja resurssien käyttö on tehokasta. Täydellinen yritys käyttäisi resurssinsa 100-prosenttisesti ja täyttäisi asiakkaan tarpeet optimaalisesti. Tämä on kuitenkin utopistinen tila, koska yrityksen tulisi tietää asiakkaan tulevaisuuden tarpeet täydellisesti ja olla resursseiltaan täysin joustava.

Resurssitehokkuudella mitataan paljonko tiettyjä resursseja, esimerkiksi valmistuslaitteita ja henkilöstöä, käytetään suhteessa määrättyyn ajanjaksoon, esimerkiksi työpäivä, vuorokausi, viikko ja niin edelleen [1, s. 10]. Virtaustehokkuuden avulla mitataan puolestaan resurssien hyödyntämistä: kuinka nopeasti tuotteet eli virtausyksiköt saadaan valmiiksi suhteutettuna aikaan, jonka ne viettävät prosessissa.

$$\text{resurssitehokkuus} = \frac{\text{resurssin käyttöaika}}{\text{ajanjakso}}$$

$$\text{virtaustehokkuus} = \frac{\text{arvoa tuottavat toiminnot}}{\text{läpimenoaika}}$$

[1, s. 13.]

Resurssien käyttöajan mittaamisessa voidaan tilannetta miettiä joko laitteiston ja työntekijöiden tasolla tai korkeammalla abstraktitasolla kuten koko tuotantoprosessin näkökulmasta [1, s. 10]. Resurssitehokkuus ei kuitenkaan suoraan tarkoita tehokasta prosessia, vaan pitkät läpimenoajat tarkoittavat yleensä korkeaa resurssitehokkuutta. Esimerkiksi vanhassa piensarjatuotannossa, jossa tuotanto oli tehottomampaa, virtaustehokkuus on korkeampi kuin parannetussa tuotantoprosessissa, jos ajanjaksoksi määritetään yksi työpäivä, jossa oli vähän tilauksia; pidempi läpimenoaika kasvattaa resurssitehokkuutta. Jos vanhaa ja uutta tuotantoprosessia tarkastellaan tasolta, jossa otetaan koko valmistus huomioon ja oletetaan, että tilaukset eivät lopu kesken, on tehostettu tuotantoprosessi huomattavasti parempi, koska sillä pystytään valmistamaan tuotteita nopeammin. Piensarjatuotannossa piirikorttien valmistamiseen käytettävän etsauslaitteen resurssitehokkuus on alhainen, koska kotelon valmistamiseen kuluu paljon aikaa. Virtaustehokkuuden ero piensarjatuotannossa ja uudessa tuotannossa on selkeämpi. Hukan väheneminen nosti arvoa tuottavia toimintoja ja lyhensi läpimenoaikaa sekä tuotantolaitteissa että tehdyssä työssä.

Yrityksen piensarjatuotanto sijoitettaisiin tehokkuusmatriisissa joutomaalle, tuotantoprosessissa oli paljon hukkaa, tuotteen valmistusaika pitkä ja vaihtelevan menekin takia tuotantokoneet eivät käyttäneet koko kapasiteettiaan. Työntekijöiden resurssitehokkuus oli kuitenkin hyvä, koska jos heidän ei tarvitse valmistaa tuotteita, he tekevät muita tehtäviä yrityksessä. Mielestäni resurssitehokkuutta pitäisi kuitenkin pitää toissijaisena ta-

voitteena verrattuna virtaustehokkuuteen: tuote on uusi eikä sen markkinointia ole aloitettu kunnolla. Tämä insinööri työ keskittyy tuotannon tehostamiseen, joten resurssitehokkuutta tulisi tarkastella sen näkökulmasta eikä markkinoinnin.

Luvussa 4 kuvattujen uudistusten jälkeen tuotannon virtaustehokkuus on kasvanut prosessien tehostumisen ansiosta ja johtanut nopeampaan läpimenoaikaan. Uudessa tuotannossa sisäisten asetusaikojen muuttaminen ulkoisiksi asetuksiksi, ja työntekijän vapautuminen CNC-jyrsimen työstövaiheen vahtimisesta johti tilanteeseen, jossa yksi työntekijä pystyy hoitamaan koko valmistuksen keskeyttämättä tuotannon pisintä vaihetta eli kotelon valmistusta. Tuotannon muutokset johtivat tuotantoprosessien konsolidoitumiseen ja virtauksen syntymiseen, kun taas piensarjatuotannossa prosessit olivat selkeästi erillisiä työvaiheita, joiden välissä oli hukkaa.

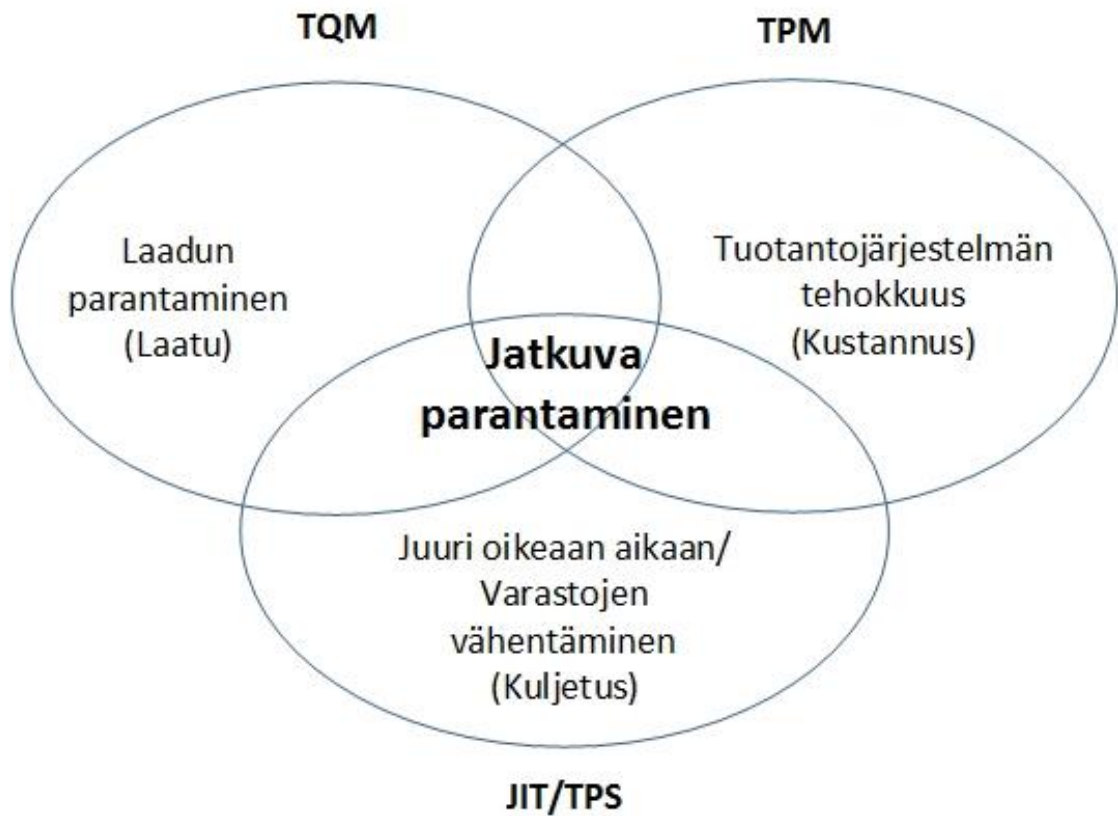
Resurssitehokkuus kasvoi tuotannon näkökulmasta prosessien tasoittamisen ansiosta (tässä tapauksessa kotelon valmistusaika verrattuna piirikortin etsaukseen). Tuotannon eri vaiheissa on ajallisesti vieläkin suuret erot, mutta yrityksen tapauksessa tämä on kuitenkin myönteinen tilanne: yritys tekee paljon elektroniikkaprojekteja, joten piirikorttien etsaustankkia käytetään Wellamon valmistusprosessien ulkopuolella. Etsaustankin resurssitehokkuuteen pitää ottaa myös huomioon sen tuotantoprosessin ulkopuolinen käyttö. Projektit ovat epätasaisia niin määrältään kuin kestoltaan, joten Wellamon tuotantoprosessin alhainen resurssitehokkuus sen käytössä on välttämätöntä, jotta muut työt eivät häiriinny. Skenaariossa, jossa tuotantoprosessin ulkoiset työt suljetaan pois, resurssitehokkuutta voitaisiin kasvattaa tasoittamalla tuotantoa entisestään. Tämä tarkoittaisi käytännössä uusien CNC-jyrsimien hankkimista. Etsausprosessi kestää asetusaikoinen noin viisitoista minuuttia, joten sillä pystyttäisiin valmistamaan piirikortit kymmenelle CNC-jyrsimelle (työstöaika koteloa kohti on 124,5 minuuttia ja asetusaikoihin menee 23 minuuttia).

Parannetun tuotannon paikan löytäminen tehokkuusmatriisissa vaatii, että sitä verrataan ensin piensarjatuotannon paikkaan. Kahdesta mittarista virtaustehokkuuden kasvu on suurempaa ja selkeämpää. Resurssitehokkuuden laskemista voidaan pitää positiivisena ongelmana, koska tuotantoprosessi on vasta alkuvaiheissa ja työntekijät eivät ole pelkästään valmistukseen sidottuja, vaan he tekevät muita töitä aina, kun ehtivät. Vaikka tuotantoprosessien tasoittuminen on teoriassa nostanut resurssitehokkuutta, käytännössä tämänhetkisillä tilausmäärillä resurssien käyttö on laskenut ja tuotannossa on runsaasti

vapaata kapasiteettia. Tämä tuotannon kuvaus vastaa tarkasti tehokkuuden meri -kategoriaa, jossa asiakkaiden tarpeisiin pystytään vastaamaan nopeasti, mutta tuotannon kapasiteettia ei käytetä korkealla käyttöasteella.

5.3 QCD-mittaristo

QCD (quality, cost, delivery) tarkoittaa kolmea tunnuslukua: laatua, kustannuksia ja toimitusta (ks. kuva 16). Laadulla tarkoitetaan valmiin tuotteen lisäksi prosessien laatua. Kustannuksissa tarkkaillaan kokonaiskustannuksia, jotka menevät tuotteen valmistamiseen (suunnittelu, valmistus, myyminen ja tuotteen asiakaspalvelu). Toimitus mittaa, pystytäänkö tuotteet toimittamaan ajoissa asiakkaille. [20, s. 11.]



Kuva 16. Kolmen T:n (TPS, TQM, TPM) päällekkäisyys ja täydentävyys [26, s. 552].

Laatu

QCD:ssa laatua tulisi pitää etusijalla; siitä ei tule tinkiä, vaikka hintaan saataisiin tuntevia alennuksia ja toimituksia nopeutettua sen kustannuksella. Ilman korkeaa laatua yrityksen on vaikea pärjätä kilpailutilanteessa. [20, s. 7.] Laadun ylläpidossa käytetään termiä TQM (Total Quality Management), joka on laatujohtamisen malli. TQM:n tarkoitus on saavuttaa asiakastytyväisyyttä muotoilulla, valmistuksella ja toimittamalla korkealaatuisia tuotteita loppuasiakkaalle. Laatu pyritään rakentamaan prosessin sisään, ja lopputuloksen tarkastelemisen sijasta keskitytään prosesseihin ja niiden oikeellisuuteen. Tuotannon seuraavaa vaihetta kohdellaan asiakkaana, jolloin virheitä ei voida sallia. Laatua pidetään tärkeimpänä QCD:n tekijänä: korkea laatu johtaa pitkällä aikavälillä kustannusten alenemiseen. [26, s. 552.]

Tässä työssä käytetyt lean-menetelmät kohensivat tuotantoprosessin laatua: koko prosessista tuli hallitumpi, koska muutos virtaavaan tuotantoon vaati prosesseilta virheettömyyttä, johon päästiin tarkkojen työohjeiden luonnilla ja ratkaisemalla tuotantoprosessin ongelmia. Suurin muutos laatuun tapahtui kotelon valmistuksessa, jossa hyvin epäluotettava ja vaihtelevaa laatua tuottava työstövaihe saatiin muutettua lopputulokseen, jossa virheitä ei syntynyt ja laatu oli tasaista. Taulukossa 6 esitellään uudistetun tuotteen muutoksia edeltäjään verrattuna sekä arviointia sen laadusta.

Taulukko 6. Tuotannon laadun kahdeksan ulottuvuutta [15, s. 407].

Suorituskyky

Tuote toimii moitteettomasti, mutta mukana tuleva ohjelma on vielä beta-vaiheessa ja siitä puuttuu haluttuja ominaisuuksia.

Estetiikka

Tuotteen ulkonäkö ylitti yrityksen vaatimukset ja uusien materiaalien käyttöönotto teki tuotteesta paremman näköisen, kun karski hiottu keskipala vaihtui läpikuultavaan tasapintaiseen osaan. Uusi tuote on myös huomattavasti ohuempi vanhaan verrattuna.

Ominaisuudet

Tuote on helppokäyttöinen ja mittausominaisuuksiltaan monipuolisempi ja tarkempi kuin vastaavan hintaluokan tuotteet. Tuotteella pystytään esimerkiksi tekemään maaperä-analyseja. Tuotteeseen lisättiin merkkivalo helpottamaan käyttöä. Tuote on myös helposti muokattavissa jatkuvan mittauksen laitteeksi.

Vastaavuus

Tuotteen mittaustulokset vastaavat arvoja, jotka on listattu tuotteen teknisissä tiedoissa. Tuotteen tiedetään pystyvän mittaamaan myös muita asioita, joita ei ole ilmoitettu testauksen puuttumisen takia.

Luotettavuus

Jatkuvan mittauksen versiota on testattu kokoaikaisesti yli kolmen kuukauden ajan, eikä ongelmia ole tullut eteen.

Kestävyys

Kotelo on altis naarmuuntumiselle muovirunkonsa takia. Tappikiinnityksen lisääminen tuotteeseen auttoi kestävyiden kohentamisessa.

Havaittava laatu

Tuotteen markkinointia ei ole aloitettu, mutta palaute asiakkailta on ollut hyvää.

Palvelukyky

Koska valituksia tai korjaustapauksia ei ole ollut, palvelukykyä ei ole pystytty vielä testaamaan käytännössä.

Kustannukset

Kustannusten yhteydessä käytetään termiä TPM (Total Productive Maintenance) eli tuotavaa kunnossapitoa, jossa pyritään tuotantoprosessien tehokkaaseen resurssien käyttöön ilman työtä hidastavia keskeytyksiä. Kustannusten kannalta olisi tärkeää pystyä hyödyntämään työlaitteiden kapasiteettia pitämällä yllä korkeaa käyttöastetta ja tekemällä pelkästään arvoa lisäävää työtä. [26, s. 551–552.] TQM keskittyy yrityksen suoritusten ja tuotteiden laatuun, kun taas TPM keskittyy koneiston ja välineistön laadun parantamiseen. Työkoneiden korkealla laadulla nostetaan tuotannon tehokkuutta ja säästetään kustannuksia, kun virheilä säästytään ja työstökoneiden elinkaari on pitkä. [20, s. 9.]

Tuotantoprosessin muutokset nopeuttivat läpimenoaikaa ja tekivät prosesseista yleisesti tehokkaampia. Valmistuksen luotettavuus kasvoi, mikä vähentää tehokkuuteen negatiivisesti vaikuttavaa hukkaa. Tuotannon käyttöaste kuitenkin laski prosessien nopeutumisen ja menekin muuttumattomuuden myötä. Vaikka työkoneiden alhainen käyttöaste ei ole TPM:n mukaan kustannustehokasta, ei se ole yrityksen tapauksessa kielteinen asia: tuotannossa osana olevat työntekijät tekevät myös muita tehtäviä yrityksessä, jolloin nopea tuotanto vapauttaa heidät näihin tehtäviin. Tuotannon koneiden käyttöaste ei ole korkea, mutta nopeasti hoidettu tuotanto lisää työntekijöiden yleistä tehokkuutta yrityksessä. 5S:n käyttöönotto ja tuotantoprosesseihin luodut standardit varmistavat, että työkaluista ja koneista pidetään parempaa huolta kuin ennen. Materiaalikustannukset laskevat hävikin vähenemisen ja kotelon keskipalan ohuempaan vaihtamisen myötä. Suurimmat säästöt syntyvät tehokkuuden seurauksena: säästetyssä ajassa ja palkoissa.

Kuljetus

Toimitus/kuljetus-mittarilla tarkastellaan varastointia, logistiikkaa ja virtausta. Niiden yhteydessä esitetään termit JIT/TPS: kuljetusten tapahtuminen juuri oikeaan aikaan ja asiakkaan tarpeiden täyttäminen. Nopeat toimitusajat ja reagointi asiakkaan tarpeisiin saadaan toteutettua juuri leanin käyttöönottolla. Leanin mukaan tavaroiden liikuttaminen ilman arvon lisäämistä on hukkaa, ja tämä koskee myös tuotantoprosessin sisällä tapahtuvaa kuljetusta. Varastointia voidaan myös pitää tavaroiden kuljettamisena, vaikka ne eivät fyysisesti liikukaan. Tuotteiden varastointiaika on suoraan pois mahdollisesta toimitusajasta. Toimituksessa pyritään tarjoamaan asiakkaalle oikea määrä oikeaan aikaan.

Leanin ja TPS:n käyttöönotto nopeutti tuotantoprosessia, ja tuotteet saadaan valmiiksi tilauksen vastaanottamisesta nopeasti. Yritys on asettanut tilausjärjestelmäänsä kahden viikon toimitusajan, mutta tämänhetkisillä tilausmäärillä tuotteet on pystytty saamaan toimituskuntoon jo seuraavana työpäivänä tilauksesta. Tuotteet valmistetaan vain tilauksesta, jolloin varastointia ei tarvita enää valmistusprosessin loppupäässä. Tilaus- ja toimitusketjun toinen ääripää, eli materiaalien hankkiminen, ei seuraa JIT-toimintatapaa liian korkeiden kustannuksen vuoksi, mikä on mielestäni ehdottomasti oikea toimintatapa näin tuotteen elinkaaren alkutaipaleella. Materiaalien varastointi takaa nopean tuotantajan vaiheessa, jossa on todella vaikeaa arvioida tulevaa muutosta tilausmääriin, kun tuotteen markkinointi aloitetaan. Pelkkä tilausmäärien ennustaminen ei tekisi JIT-tilausten aloittamista alihankkijoilta järkeväksi. Myös menekin tulisi kasvaa, koska logistiikkakustannukset ovat korkeat verrattuna komponenttien hintaan.

5.4 Tulevaisuus

Tuotannon uudistukset ovat täyttäneet yrityksen tavoitteet, mutta leanin käyttöönotto yrityksessä ja tuotannossa on kuitenkin vasta alkuvaiheessa. Tärkeintä on jatkaa lean-menetelmien käyttöönottoa ja kehittämistä, jotta siirtyminen lean-tuotantoon tulee olemaan onnistunut. Myöskään kaikkiin esille nousseisiin ongelmiin ei voitu löytää ratkaisua tuotannon puolelta, koska ne olivat osaksi inhimillisiä asioita. Koulutuksen järjestäminen työntekijöille olisi tärkeää, ei pelkästään ratkaisemaan esille nousseita ongelmia, vaan myös auttamaan leaniin siirtymisessä; ilman työntekijöiden panosta ja omistautumista lean ei onnistu.

Kuvassa 16 esitellyn QCD:n keskelle syntyy laadun, kustannuksen ja kuljetuksen yhdistyminen, jatkuva parantaminen eli kaizen. Kaikkia QCD:n osa-alueita tulee tarkastella ja jatkaa niiden parantamista tulevaisuudessa, jotta tuotantoprosessi voidaan pitää kilpailukykyisenä. Laadun kohentamisessa ensimmäisiä parannuskohteita ovat valmistusprosessin luotettavuuden kasvattaminen entisestään, esimerkiksi asentamalla poke-yokeja prosessiin. Leanin kannalta prosessien luotettavuus on elintärkeää, koska tuotannon ongelmat ja pysähdykset tulevat kalliiksi. Kustannusten laskeminen on pitkällä aikavälillä tärkeää. Suurimmat mahdolliset kustannusten säästöt ovat materiaalien hankinta sekä työ kustannusten laskeminen tehostamalla tuotantoa entisestään. Kuljetuksissa huomio pitäisi lean-teorian kannalta kiinnittää JIT:n poissaoloon tilausketjun alkupäässä ja siitä johtuvaan materiaalien varastointiin.

Tuotannossa on tällä hetkellä tyhjää kapasiteettia, mutta tulevaisuudessa tilanne voi olla toinen ja silloin tulisi tarkasti miettiä oikeaa toimenpidettä. Kuten työssä on todettu, lisäämällä CNC-jyrsimiä kapasiteettia olisi helppo kasvattaa, ja muita mahdollisia vaihtoehtoja olisivat osittainen tuotannon ulkoistaminen tai toimitusajan pidentäminen. Vaikka tuotantokapasiteetin kasvattaminen on käytännössä helppoa lisäämällä tuotantolaitteistoa, se vaatisi mahdollisesti myös lisää työntekijöitä, mikä on yritykselle aina riski. Lisäksi tulisi tehdä suunnitelma ja päätös sellaista tilannetta varten, jossa menekki kasvaa hetkellisesti esimerkiksi projektissa, jossa luotaisiin suuri veden laadun mittausverkosto. Kannattaako vain hetkellisen kasvun takia ostaa uusia kalliita tuotantolaitteita, joita ei välttämättä tarvita enää sen jälkeen? Tulevaisuudessa menekin arviointi on yksi tärkeimmistä asioista. Tällä hetkellä mahdollisen menekin tuntemattomuus estää monen lean-menetelmän käyttöönottoa. Menekkiä tuntematta ei tuotantoa voida kunnolla tasoittaa ja tasapainottaa tai luoda virtausta tuotantoon.

6 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoituksena oli tehostaa Alshain Oy:n Wellamo-vedenlaatuanalysointilaitteen valmistusprosessia. Tavoitteena oli nopeuttaa läpimenoaikaa, parantaa laatua, laskea tuotannon kokonaiskustannuksia ja mahdollistaa itsenäinen tuotanto menekin kasvun varalta. Näihin tavoitteisiin päätettiin pyrkiä lean-filosofian avulla, koska yrityksellä oli kokemusta leaniin pohjautuvasta tuotantosimuloinnista. Yrityksellä ei ollut aikaisemmin ollut omaa tuotantoa yksittäisiä prototyyppinä lukuun ottamatta.

Insinööriytyö oli projektimuotoinen toimintatutkimus, joka tehtiin työskentelemällä mukana tuotantoprosessissa. Insinööriytyön teoria pohjautui suurelta osin japanilaisiin teorioihin tuotannosta, jotka ovat samalla pohja Toyotan tuotantojärjestelmälle, josta lean on kehittynyt. Teoriaosuuden rakenne seurasi Toyotan talo -mallia, jossa TPS esitetään rakennuksena, jonka perustuksena toimivat vakautta ylläpitävät periaatteet. Talon ensimmäinen tukipilari on JIT-tuotanto eli virtaava, juuri oikeaan aikaan materiaaleja ja tuotteita seuraavalle prosessille tai asiakkaalle toimittava tuotanto. Toinen tukipilari on jidoka, jolla varmistetaan laatu tuotantoprosesseissa. Talon katto rakentuu asiakaskeskeisyydestä: yrityksen tulee vastata asiakkaan tarpeisiin pyrkimällä parhaaseen mahdolliseen laatuun, nopeaan läpimenoaikaan ja alhaisiin kustannuksiin. Talon keskustassa on jatkuva parantaminen, joka pitää sisällään hukan vähentämisen sekä ihmiset ja ryhmätyön, joista jälkimmäiset kuitenkin rajattiin pois, koska insinööriytyössä keskityttiin tuotannon tehostamiseen.

Insinööriytyötä alettiin toteuttaa tekemällä nykytila-analyysi, jossa esiteltiin tuote, tuotannonohjaus ja tuotantoprosessi. Analyysin pohjana toimivat tulevaisuuden päämäärät. Mietittäessä nykytilaa huomioon otettiin asioita ja tuotantoa rajoittavia tekijöitä, kuten se, miten prosessi reagoisi muutoksiin, läpimenoajan pituus, prosessien yhtenäisyys, materiaalien virtaus, tiedon virtaus sekä laatu eri prosessien kesken ja tuotannon pullonkaula. Näiden ajatusten sekä viisi kertaa miksi -analyysin, Ishikawa-diagrammin ja Demingin kehän avulla etsittiin ongelmia vanhasta tuotantomallista, ja niiden pohjalta tehtiin muutossuunnitelma, joka koostui laadun parantamisesta ja tuotantoprosessin nopeuttamisesta. Muutossuunnitelmassa pyrittiin täyttämään työlle asetetut tavoitteet. Tuotannon kokonaiskustannusten vähentämistä ei käsitelty erillisenä osiona, koska leanin mukaan laadun kohentaminen ja tuotannon nopeuttaminen johtaa kustannusten laskuun. Laadun kohentamiseksi parannuksia esitettiin jyrsimen leikkuujälkeen, kotelon kokoonpanoon, standardien luontiin ja inhimillisten virheiden poistamiseen. Prosessin nopeuttamiseksi esiteltiin asetusajojen minimointia, läpimenoajan leikkaamista, järjestyksen luontia työpajaan ja virtauksen luomista tuotantoon.

Uudistuksia alettiin toteuttaa esille nousseiden ongelmien ja muutossuunnitelman pohjalta. Kaikkiin esille nousseisiin ongelmiin ei pystytty löytämään ratkaisuja tuotannon puolelta, koska ne johtuivat inhimillisistä tekijöistä. Tuotantoprosessien asetusajoja laskettiin SMED-metodilla, jossa tunnistettiin prosessien sisäiset ja ulkoiset asetusajat, muutettiin mahdolliset ulkoiset asetukset sisäisiksi ja tehostettiin kaikkia asetusajoja.

Uudistuksen jälkeen ulkoisia asetusajoja oli jäljellä viisi 35 sijaan ja aikaa säästyi 203 minuuttia, kun tuotteita valmistetaan kolme peräkkäin.

Prosessien tehostamisessa pääpaino oli kotelon valmistuksessa, koska se oli tuotannon pullonkaula ja siinä esiintyi vakavia laatuongelmia. Parannukset CNC-jyrsimen leikkunopeuteen ja -syvyyteen ja poran pyörimisnopeuteen lyhensivät prosessiin kuluva aikaa ja kasvattivat luotettavuutta. Oikeiden arvojen avulla muovin palamisesta päästiin eroon, mikä samalla vapautti työntekijän turhasta työstön vahtimisesta. Ongelmia aiheuttava PS-muovi vaihdettiin helpommin työstettävään PC-muoviin, ja samalla tuotteesta tehtiin ohuempi, koska elektroniikka vei vähemmän tilaa kuin prototyypissä käytetyt osat. Kotelon valmistusta nopeutettiin myös optimoimalla työstössä käytetyt G-koodit kirjoittamalla ne uudestaan. Jyrsimisessä tarvittua muovipurun imurointivaiheesta päästiin eroon kiinnittämällä imuri koneeseen kiinni. Yhden kotelon valmistamiseen tarvittava aika väheni 209 minuutista 124,5 minuuttiin. Kotelon kokoamista helpottamaan ja syntyvää hävikkiä poistamaan tuotteeseen lisättiin kohdistamistapit.

Tuotannonohjauksen muuttaminen osoittautui insinööriyön vaikeimmaksi vaiheeksi. Piensarjatuotannosta yksittäiskappaletuotantoon siirtyminen onnistui hyvin asetusajojen lyhentymisen ja tuotantoprosessin parantamisen ansiosta. Tuotannon hallintaa varten kotelon valmistuksessa otettiin käyttöön kanban-järjestelmä, jolla valvotaan tuotantojärjestystä, tuotteiden siirtymistä, inventaariomääriä ja ylituotantoa. Kotelon valmistuksessa kanbanissa käytetään laatikkoa, johon valmiit osat sijoitetaan ja kanban kertoo seuraavan työvaiheen. Kotelon osat liikkuvat seuraavaan prosessiin eli kokoamiseen vasta kaikkien valmistuttua. Materiaalien varastoinnissa sovelletaan myös kanbania, pitämään huolta, että materiaaleja riittää. Logistiikassa tuotteen alhainen ja vaihteleva menekki loi tilanteen, jossa JIT:n soveltaminen ei ollut järkevää kustannusten suuren kasvun vuoksi. Komponenttien hinta suhteessa logistiikan kustannuksiin on alhainen, mikä luo tilanteen, jossa materiaalien tilaaminen vain tarpeeseen ei kannata alhaisella menekillä. Virtausta saatiin parannettua tuotantoprosessissa asetusajoja nopeuttamalla ja laatua parantamalla, jolloin prosessissa ei tapahtunut pysähdyksiä. Yhden CNC-jyrsimen käyttäminen aiheuttaa epätasaisuutta prosessissa, koska muut tuotannon vaiheet joutuvat odottamaan kotelon valmistumista.

Insinööriyön saavutuksia arvioitiin mittaristolla, jonka tunnuslukuina käytettiin läpimenoaikaa, resurssi- ja virtaustehokkuutta ja QCD:ta. Läpimenoajan alkupisteeksi määritettiin tuotteen valmistuksen aloitus ja loppupisteeksi tuotteen valmistuminen, koska keskimääräisen odotusajan määrittäminen ei onnistunut vaihtelevan menekin takia. Tuotannon parannukset nopeuttivat tuotteen läpimenoaikaa noin 52 prosenttia, kun vanha piensarjatuotanto toteutui optimaalisesti. Todellisuudessa läpimenoaika nopeutui vielä enemmän, koska vanhassa tuotannossa tapahtui viivästyksiä: kotelon valmistamisessa tapahtui muovin palamista, joka johti viivästyksiin ja valmistuksen epäonnistumiseen, elektronikan valmistamista ei voitu hoitaa samaan aikaan kotelon valmistuksen kanssa, jos paikalla oli vain yksi työntekijä, lisäksi tuotannossa syntyi paljon hukkaa työpajan epäjärjestyksen vuoksi.

Resurssi- ja virtaustehokkuuden mittaamisessa käytettiin apuna tehokkuusmatriisia. Alkuperäinen piensarjatuotanto sijoittui matriisissa joutomaalle, koska resurssi- ja virtaustehokkuus olivat alhaisia; tuotantoprosesseissa esiintyi paljon hukkaa, valmistusaika oli pitkä ja tuotantokoneiden käyttökapasiteetti oli alhainen. Tehostettu tuotanto sijoittuu taas tehokkuuden meri -sarakeeseen. Virtaustehokkuus tuotannossa on parantanut hukan vähenemisen ja läpimenoajan nopeutumisen ansiosta. Resurssitehokkuus kasvoi myös tuotannon näkökulmasta, mutta läpimenoajan lyheneminen johti vapaan kapasiteetin kasvuun, koska menekki ei kasvanut samaan aikaan. Vapaa kapasiteetti tuotannon laitteissa on kuitenkin myönteinen ongelma yritykselle, koska koneita käytetään myös projektien yhteydessä, jolloin vapaa kapasiteetti on vaatimus.

Tuotannon prosessien ja lopputuotteen laatu kasvoi muutosten myötä, ja tuotannon ongelmat saatiin karsittua: kotelon työstövaihe ei enää aiheuttanut pysähdyksiä ja standardien luonti teki prosesseista luotettavia. CNC-jyrsimen optimointi johti myös parempaan laatuun työstöjäljessä, ja kiinnitystappien lisääminen tuotteeseen poisti vaihtelevan laadun ja hävikin kokoamisesta. Tuotannon tehostaminen johti luonnollisesti kustannusten vähenemiseen: tuotteita valmistetaan nopeammin, jolloin työntekijät tekevät enemmän samalla palkalla. Muita säästöjä tuotannossa syntyi materiaalien vaihdosta, hävikin vähenemisestä ja varastoinnin minimoinnista. Tuotteet pystytään toimittamaan ajallaan valmistusajan nopeuden ansiosta verrattuna menekin määrään. Kuljetukset tuotantoprosessin sisällä ovat vähentyneet virtauksen syntymisen ja varastoinnin vähentymisen vuoksi. Tuotantoketjun alkupäässä kuljetuksessa ei sovelleta leanin JIT-menetelmää, koska kustannukset kasvaisivat liian suuriksi, jos tuotteita tilattaisiin pelkkään tarpee-

seen. Tämän vuoksi tuotannossa käytettäviä materiaaleja joudutaan varastoimaan, jolloin kustannukset saadaan minimoitua ja asiakkaan tarpeisiin pystytään vastaamaan nopeasti. Kuljetuksen kannalta varastoista pitäisi päästä eroon, mutta tämänhetkisessä tilanteessa tilausten pakottaminen seuraamaan JIT:a olisi kallista eikä siitä seuraisi käytännön hyötyä.

Insinööriyössä ei pystytty ratkaisemaan kaikkia tuotannon ongelmia, koska useat vaikeudet johtuivat inhimillisistä tekijöistä, joihin tässä työssä ei keskitytty. Työntekijät ovat oleellinen osa leanin käyttöönoton onnistumista, joten lean-menetelmien opettaminen ja yleinen työntekijöiden kouluttaminen on tärkeää tulevaisuuden kannalta. Tuotantoprosesseihin tehtiin paljon muutoksia, mutta leanin käyttöönotto on yrityksessä vasta alkuvaiheessa. Tuotantoa tulee arvioida ja kyseenalaistaa sen käytäntöjä, jotta sen kehittäminen jatkuu. Lähitulevaisuudessa yrityksen tulee miettiä, miten tuotantoprosessien luotettavuutta saadaan kasvatettua entisestään. Virtaavassa tuotannossa virheet aiheuttavat koko tuotannon pysähtymisen, ja esimerkiksi poka-yokeja lisäämällä luotettavuus kasvaisi.

Suurin ongelma, minkä vuoksi kaikkia lean-menetelmiä ei pystytty soveltamaan tuotannossa, oli alhainen menekki, joka estää virtausta prosesseissa ja materiaalien hankinnassa. Tulevaisuudessa menekin kasvaessa tuotantoa pystyttäisiin tasoittamaan ja tasapainottamaan tahtiajan avulla sekä mahdollisesti ottamaan JIT-menetelmä käyttöön materiaaleja hankittaessa. Kasvava menekki toisi myös haasteita tuotannolle: tällä hetkellä tuotannon pullonkaula on kotelon valmistamisessa. Siitä voitaisiin päästä eroon hankkimalla lisää CNC-jyrsimiä, mutta se vaatisi mahdollisesti myös lisää työntekijöitä. Kasvava menekki voi olla myös ohimenevää tai hetkellistä suurien projektitilausten takia, jolloin kapasiteetin kasvattaminen ei ole kannattavaa pitkällä aikavälillä. Tuotannon kapasiteetissa on tällä hetkellä paljon tyhjää tehostuksen ansiosta, eli se pystyy tälläkin hetkellä vastaamaan paljon suurempaan menekkiin. Jos kapasiteetin käyttö kasvaa 100 prosenttiin, tulee yrityksen miettiä, investoidaanko uuteen koneistoon, pidennetäänkö toimitusaikaa vai ulkoistetaanko oman kapasiteetin ylittävä menekki toiselle yritykselle.

Lähteet

- 1 Modic, Niklas. Åhlström, Pär. 2013. Tätä On Lean: Ratkaisu Tehokkuusparadoksiin. Stockholm, Sweden: Rheologica Publishing.
- 2 Womack, James P. Jones, Daniel T. 2003. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Organization. New York (NY), USA: Free Press.
- 3 Eaton, Mark. 2013. The Lean Practitioner's Handbook. London, United Kingdom: Kogan Page.
- 4 Liker, Jeffrey K. 2010. Toyotan Tapaan. Helsinki: Readme.fi.
- 5 Flichbaugh, Jamie. Carlino, Andy. 2006. The Hitchhiker's Guide to Lean: Lessons from the Road. Dearborn (MI), USA: Society of Manufacturing Engineers.
- 6 Ohno, Taiichi. 1988. Toyota Production System: Beyond Large-scale Production. Cambridge (MA), USA: Productivity Press.
- 7 Liker, Jeffrey K. Meier, David. 2006. The Toyota Way Fieldbook: a Practical Guide For Implementing Toyota's 4Ps. New York (NY), USA: McGraw-Hill Companies.
- 8 García-Alcaraz, Jorge Luis. Maldonado-Macías, Aidé Aracely. Cortes-Robles, Guillermo. 2014. Lean Manufacturing in the Developing World: Methodology, Case Studies and Trends from Latin America. Switzerland: Springer International Publishing.
- 9 Chiarini, Andrea. 2013. Lean Organization: From the Tools of the Toyota Production System to Lean Office. Verlag, Italy: Springer.
- 10 Moorthy B.P. Kalyan Shasank. Introduction to 5S – The Launch Pad for Business Success. Verkkodokumentti. < <http://www.scribd.com/doc/99006374/Introduction-to-5S-The-Launch-Pad-for-Business-Success>>. Luettu 26.12.2014.
- 11 Womack, James P. Jones, Daniel T. 2007. The Machine That Changed The World. New York (NY), USA: Free Press.
- 12 Wilson, Lonnie. 2010. How to Implement Lean Manufacturing. New York (NY), USA: McGraw-Hill Companies.
- 13 Haverila, Matti J. Uusi-Rauva, Erkki, Kouri, Ilkka. Miettinen, Asko. 2009. Teollisuustalous. Tampere: Infacts Johtamistekniikka.

- 14 Salomäki, Rauno. 2003. Hyödynnä SPC: Suorituskykyiset prosessit. Helsinki: Metelliteollisuuden kustannus.
- 15 Stevenson, William J. Sum, Chee Chuong. 2010. Operations Management: An Asian Perspective. Singapore, Singapore: McGraw-Hill Companies.
- 16 Sousa, R. M. Lima, R. M. Carvalho, J. D. Alves, A.C. 2009. An Industrial Application of Resource Constrained Scheduling for Quick Changeover. IEEE/IEEEM.
- 17 Agustin, Roberto O. Santiago, Fely. 1996. Single-Minute Exchange of Die. IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference.
- 18 Brunet, Paul. 2000. Kaizen: From Understanding to Action. London, United Kingdom: IEEE.
- 19 Imai, Masaaki. 1986. Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success. New York (NY), USA: McGraw-Hill Companies.
- 20 Imai, Masaaki. 2012. Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy. Second Edition. New York (NY), USA: McGraw-Hill Companies.
- 21 Järvinen, Jutta. Perklén, Elli. Kaila-Stenberg, Susanna. Hyvärinen, Eero. Hyttiäinen, Seppo. Tornqvist, Juhani. 1998. PDCA-cycle in Implementing Design for Environment in an R&D Unit of Nokia Telecommunications. IEEE International Symposium on Electronics and the Environment.
- 22 Heikkelä, Jussi. Ketokivi, Mikko. 2009. Tuotanto Murroksessa: Strategisen johtamisen uusi haaste. Helsinki: Talentum Media.
- 23 Ihalainen, E. Aaltonen, K. Aromäki, M. Sihvonen, P. 2009. Valmistustekniikka. Helsinki: Otatieto, Gaudeamus Helsinki University Press.
- 24 Kakuro, Amasaka. 2009. The Foundation For Advancing The Toyota Production System Utilizing New JIT. Journal of Advanced Manufacturing Systems 8, no. 1: 5–26.
- 25 Lönnqvist A, Kujansivu P, Antikainen R. 2006. Suorituskyvyn mittaaminen: Tunnusluvut asiantuntija-organisaation johtamisvälineenä. Helsinki: Edita Publishing.
- 26 Salvendy, Gavriel. 2001. Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management. Canada: John Wiley & Sons.

Tuotannon nykytila -raportti

Wellamon tuotantoprosessin tehostaminen leanin avulla

Tuotannon nykytilan ongelmat

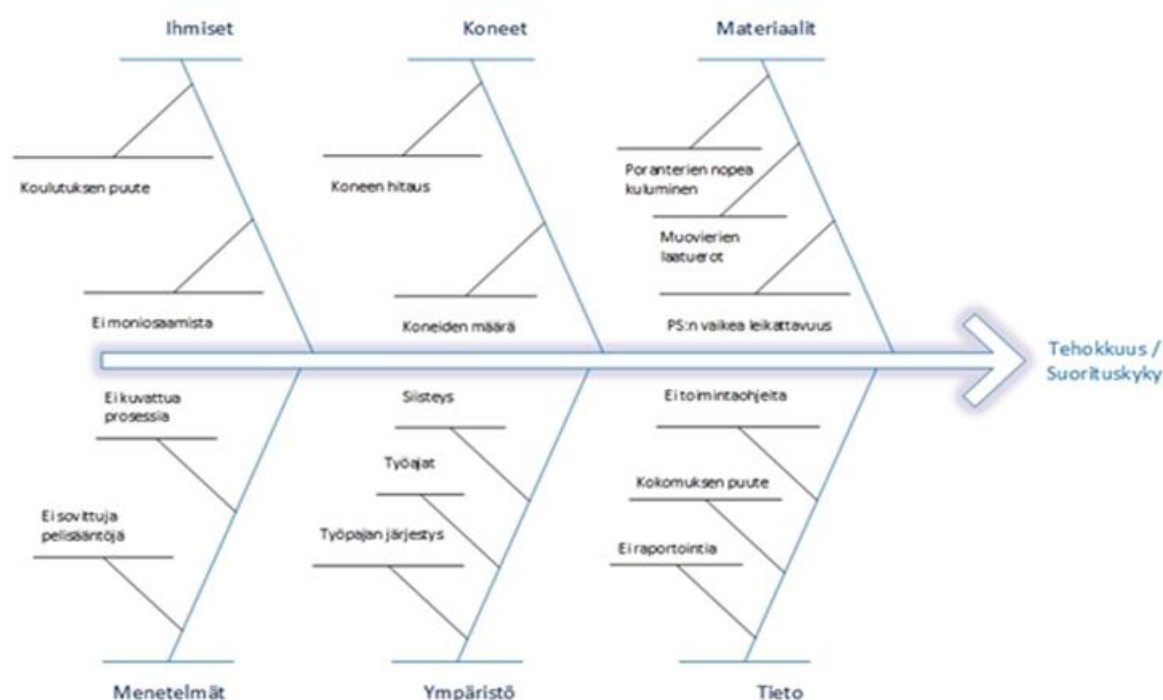
- Pitkät läpimenoajat
- Laatu ongelmat
- Turha varastointi
- Standardien puuttuminen
- Työympäristön tila

Syitä ongelmille

- CNC-jyrsimen tila
- Kotelon kokoonpano
- Inhimilliset virheet
- Pitkät asetusajat
- Ei suunnittelua prosesseissa

Ratkaisuja ongelmiin

- Leanin oppimisen seuraaminen
- Asetusajat nopeammiksi
- CNC-jyrsimen optimointi
- Tuotteen muokkaus
- Työpajan järjestäminen ja ylläpito



Tällä hetkellä työntekijän pitää olla läsnä koko 210 minuuttia, joka kuluu kotelon jyrsimiseen. Laatu ja luotettavuutta nostamalla työntekijän ei tarvitsisi olla paikalla kun pelkästään muovipalojen vaihtamisessa ja kiinnittämisessä. Tuotantoprosesseja ei ole optimoitu poistamaan hukkaa, joten huomattavasti nopeampi läpimenoaika on saavutettava, lisäksi suunnittelun puute johtaa turhaan varastointiin.

Työstöt	Kuluva aika (min, s)
Kansipala	31,40
Pohjapala	31,30
Keskipala	71,40
Anturi	23,50
Anturinpohja	22,30
Anturin suoja	8,00
Hionta	
Keskipala	10,00
Kokoaminen	
Kotelo	10,00
Yhteensä	209min 10s

Päämäärä on tavoite lyhyempiin läpimenoaikoihin, kokonaiskustannusten vähenemiseen, laadun parantamiseen ja mahdollistaa suurempi tuotantokapasiteetti tulevaisuutta varten.

Mihin lean johtaa?

- Asiakastytyväisyys
- Laatu
- Kustannukset
- Läpimenoaika
- Asetusajat
- Hukan väheneminen
- Dokumentit
- Standardit
- Luotettavuus
- Tuotantomäärät
- Tehokkuus

5S-arviointi ennen tuotantoon tehtyjä muutoksia

Arviointia tehdessä on käytetty Quality Companion 3 -ohjelmistoa.

5S Audit	
Project:	Date:
Alshain 5S	6/16/2014
Auditor:	Area:
Pekka Paasonen	Manufacturing

0-Very Unacceptable 1-Unacceptable 2-Average 3-Good 4-Perfect

1S Sort			
No.	Checking Item	Evaluation Criteria	Score
1	Parts and Materials	Are all stock items and work in progress necessary?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
2	Machines and Equipment	Are all machine and pieces of equipment used regularly?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
3	Jigs, Tools and Molds	Are all jigs, tools, molds, cutting tools, and fittings used regularly?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
4	Visual Control	Can all unnecessary items be distinguished at a glance?	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
5	Documentation	Are all obsolete documents purged routinely?	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
Sub Total			8
Maximum Possible and %			20 40.0%

2S Set in Order			
No.	Checking Item	Evaluation Criteria	Score
6	Location Indicators	Are shelves and storage areas marked with location indicators?	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
7	Item Indicators	Are shelves marked to show which items go where?	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
8	Quantity Indicators	Are maximum and minimum allowable quantities indicated?	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
9	Marking of Walkways	Are lines or other markers used to clearly indicate walkways and storage areas?	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
10	Jigs and Tools	Are jigs and tools arranged to facilitate removing and replacing them?	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
Sub Total			3
Maximum Possible and %			20 15.0%

3S Shine			
No.	Checking Item	Evaluation Criteria	Score
11	Floors	Are floors kept clean and shiny?	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
12	Machines	Are machines wiped clean and free of waste, water, and oil?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
13	Cleaning and Checking	Is equipment inspection combined with equipment maintenance?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
14	Cleaning Responsibilities	Is a person responsible for overseeing cleaning operations?	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
15	Maintaining Cleanliness	Do operators sweep floors and wipe equipment regularly?	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
Sub Total			5
Maximum Possible and %			20 25.0%

4S Standardize			
No.	Checking Item	Evaluation Criteria	Score
16	Improvement Memos	Are improvement memos generated regularly?	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
17	Improvement Ideas	Are improvement ideas being implemented?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
18	Key Procedures	Are standard procedures clear, documented, and actively used?	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
19	Improvement Plans	Are future standards considered?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
20	Operators	Are operators adequately prepared and appropriately dressed?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
Sub Total			10
Maximum Possible and %			20 50.0%

5S Sustain			
No.	Checking Item	Evaluation Criteria	Score
21	Training	Is everyone trained in the standard procedures?	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
22	Tools and Parts	Are tools and parts stored correctly?	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
23	Stock Controls	Are stock controls adhered to?	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
24	Procedures	Are procedures up-to-date and reviewed regularly?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
25	Activity Boards	Are activity boards up-to-date and reviewed regularly?	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
Sub Total			6
Maximum Possible and %			20 30.0%

Grand Total: 32
Maximum Possible 100

5S-arviointi tuotantoon tehtyjen muutosten jälkeen

Arviointia tehdessä on käytetty Quality Companion 3 -ohjelmistoa.

5S Audit	
Project:	Date:
Alshain 5s	April 16,2015
Auditor:	Area:
Pekka Paasonen	Manufacturing

0-Very Unacceptable 1-Unacceptable 2-Average 3-Good 4-Perfect

1S Sort			
No.	Checking Item	Evaluation Criteria	Score
1	Parts and Materials	Are all stock items and work in progress necessary?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
2	Machines and Equipment	Are all machine and pieces of equipment used regularly?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
3	Jigs, Tools and Molds	Are all jigs, tools, molds, cutting tools, and fittings used regularly?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
4	Visual Control	Can all unnecessary items be distinguished at a glance?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
5	Documentation	Are all obsolete documents purged routinely?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
Sub Total			17
Maximum Possible and %			20 85,0%

2S Set in Order			
No.	Checking Item	Evaluation Criteria	Score
6	Location Indicators	Are shelves and storage areas marked with location indicators?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
7	Item Indicators	Are shelves marked to show which items go where?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
8	Quantity Indicators	Are maximum and minimum allowable quantities indicated?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
9	Marking of Walkways	Are lines or other markers used to clearly indicate walkways and storage areas?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
10	Jigs and Tools	Are jigs and tools arranged to facilitate removing and replacing them?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
Sub Total			17
Maximum Possible and %			20 85,0%

3S Shine			
No.	Checking Item	Evaluation Criteria	Score
11	Floors	Are floors kept clean and shiny?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
12	Machines	Are machines wiped clean and free of waste, water, and oil?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
13	Cleaning and Checking	Is equipment inspection combined with equipment maintenance?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
14	Cleaning Responsibilities	Is a person responsible for overseeing cleaning operations?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
15	Maintaining Cleanliness	Do operators sweep floors and wipe equipment regularly?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
Sub Total			17
Maximum Possible and %			20 85,0%

4S Standardize			
No.	Checking Item	Evaluation Criteria	Score
16	Improvement Memos	Are improvement memos generated regularly?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
17	Improvement Ideas	Are improvement ideas being implemented?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
18	Key Procedures	Are standard procedures clear, documented, and actively used?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
19	Improvement Plans	Are future standards considered?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
20	Operators	Are operators adequately prepared and appropriately dressed?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
Sub Total			15
Maximum Possible and %			20 75,0%

5S Sustain			
No.	Checking Item	Evaluation Criteria	Score
21	Training	Is everyone trained in the standard procedures?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
22	Tools and Parts	Are tools and parts stored correctly?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
23	Stock Controls	Are stock controls adhered to?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
24	Procedures	Are procedures up-to-date and reviewed regularly?	<input type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input checked="" type="radio"/> 4
25	Activity Boards	Are activity boards up-to-date and reviewed regularly?	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4
Sub Total			14
Maximum Possible and %			20 70,0%

Grand Total:
Maximum Possible 100