

Oliver Rantalainen

TUOTANNON LAYOUTIN VAIKUTUS TEHOKKUUTEEN

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Automaatio- ja konetekniikka
Kandidaatintyö
Tammikuu 2019

TIIVISTELMÄ

OLIVER RANTALAINEN: Tuotannon layoutin vaikutus tehokkuuteen
Kandidaatintyön nimi englanniksi: The effects of layout on production efficiency
Tampereen yliopisto
Kandidaatintyö, 28 sivua
Tammikuu 2019
Konetekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Tekninen suunnittelu
Tarkastaja: Hasse Nylund

Avainsanat: Lean-filosofia, tuotantojärjestelmä, layout, tehokkuus

Valmistavassa teollisuudessa ei aina ajatella layoutia, kun tuotannon kapasiteettia halutaan kasvattaa ostamalla uusia koneita. Uudet koneet yleensä vain sijoitetaan vanhan tuotannon ulkopuolelle, paikkaan johon ne mahtuvat ja niiden asentaminen ei häiritse tuotantoa. Tässä työssä käsitellään tuotannon layouteja, tuotannon mittaamista, sekä lean-ajattelua. Teorian avulla pyritään selvittämään mahdollisimman selvästi, kuinka tärkeää layout-suunnittelu on, miten tuotantoa mitataan ja kuinka lean-ajattelu vaikuttaa layouteihin.

Työ on jaettu neljään osaan. Kolme ensimmäistä osaa käsittelevät kolmen eri aihealueen teorioita. Luku 2 kokoaa tuotannon mittaamisen liittyvät teoriat ja luku 3 lean-ajatteluun liittyvän teorian. Luvussa 4 käydään läpi tuotannon layouteihin ja layout-suunnitteluun liittyvää teoriaa. Viimeisessä osassa pohditaan johdannossa esitettyjä kysymyksiä teorioiden pohjalta.

Työssä havaittiin, että tuotannon layoutilla on vaikutus tehokkuuteen. Tehokkuudella on kaksi eri ilmenemismuotoa, resurssitehokkuus ja virtaustehokkuus. Layout-valinnalla pystytään vaikuttamaan siihen, kumpi tehokkuuden muoto on etusijalla. Layout on kuitenkin vain osa valmistusjärjestelmää, jonka valinnalla ja kehittämisellä on kokonaisuutena paljon suurempi vaikutus kuin pelkällä layoutilla.

ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö on tehty syksyn 2018 aikana Tampereen teknillisen yliopiston kone- ja tuotantotekniikan laboratoriolle. Haluan kiittää työn tarkastajaa Hasse Nylundia asiantuntevasta ja hyödyllisestä ohjauksesta ja palautteesta työn suorittamisen aikana. Lisäksi haluan kiittää tyttöystävääni Roosaa, joka piti huolen siitä, että työ tuli valmiiksi.

Tampereella, 4.1.2019

Oliver Rantalainen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	TUOTANNON MITTAAMINEN	2
2.1	Tuotannon mittarit	2
2.1.1	Läpäisy aika	3
2.1.2	Toimitusvarmuus	4
2.1.3	Laadukkuus	4
2.1.4	Kapasiteetti	4
2.2	Tehokkuus	5
2.2.1	Resurssitehokkuus	5
2.2.2	Virtaustehokkuus	5
2.2.3	Tehokkuusparadoksi	6
3.	LEAN-FILOSOFIA	7
3.1	Toyotan tuotantojärjestelmän synty	7
3.2	Leanin peruseriaatteet	9
3.2.1	Arvon määrittäminen asiakkaan näkökulmasta	10
3.2.2	Arvoketjun tunnistaminen	11
3.2.3	Prosessien virtauttaminen	11
3.2.4	Imuohjaus	12
3.2.5	Täydellisyyteen pyrkiminen	13
3.3	Lean-menetelmät ja työkalut	13
4.	TUOTANNON LAYOUT	15
4.1	Layout-tyypit	16
4.1.1	Kiinteä sijainti	17
4.1.2	Funktionaalinen layout	17
4.1.3	Solu-layout	17
4.1.4	Tuotantolinja	18
4.2	Layout-suunnittelu	19
4.3	Lean-ajattelun vaikutukset layouteihin	20
5.	POHDINTA	25
6.	YHTEENVETO	27
	LÄHTEET	28

1. JOHDANTO

Valmistavan teollisuuden yritykset kasvattavat tuotantoaan yleensä ostamalla uusia tuotantolaitteita ja lisäämällä tuotantolinjojen lukumäärää. Yritysten laajentuessa uudet koneet ja tuotantolinjat yleensä sijoitetaan sinne, minne ne sattuvat mahtumaan, tai niille tehdään lisää tilaa laajentamalla tuotantotiloja. Vasta kun yritys muuttaa ja kaikkia koneita joudutaan muutenkin liikuttamaan, vaivaudutaan miettimään tuotannon layoutia, eli sitä miten koneet sijoitetaan käytettävissä olevaan tilaan. Voisiko tuotannon pysäyttämistä ja koneiden siirtelystä johtuva vaiva olla kuitenkin layoutin parantamisesta syntyvien hyötyjen arvoista myös yrityksille, jotka pysyvät samoissa tuotantotiloissa? Ja millainen on hyvä tuotannon layout? Entä miten lean-ajattelu vaikuttaa layouteihin?

Tässä kandidaatintyössä tutustutaan tuotannon layoutteihin ja niiden vaikutukseen tuotannon tehokkuudessa. Työssä perehdytään myös lean-ajatteluun, jonka yleistymisen on johtanut muutokseen tuotannon layouteissa. Monissa yrityksissä suuren mittakaavan massatuotanto on vaihtunut pienempien eräkokojen lean-tuotantoon, jolloin myös tuotannon layoutit ovat muuttuneet tuotantojärjestelmän mukana.

Tuotannon mittaamiseen perehdytään luvussa 2, jossa perehdytään siihen, miksi tuotantoa kannattaa mitata ja millaisia eri mittareita kannattaa käyttää. Luvussa selitetään myös tehokkuuden kaksi ilmenemismuotoa, sekä niiden välinen ristiriita.

Luvussa 3 syvennytään lean-ajatteluun. Luvussa syvennytään leanin syntyyn, sekä peruseriaatteisiin, joita seuraamalla organisaatiot voivat tehostaa tuotantoaan. Lisäksi käydään läpi layouttien kannalta tärkeimmät lean-menetelmät ja työkalut.

Tuotannon layouteja tarkastellaan luvussa 4. Luvussa käydään läpi, mitä layout-suunnitteluun kuuluu. Luvussa perehdytään myös layout-tyyppeihin, sekä lean-ajattelun vaikutuksiin layout-suunnittelussa. Luvussa käydään myös läpi kaksi esimerkkiä, jotka havainnollistavat layoutin kehittämistä saatuja etuja.

Lopuksi luvussa 5 pohditaan muissa luvuissa läpikäytyjä asioita ja vastataan edellä esitettyihin kysymyksiin. Luvun pohdinnat perustuvat tekijän kokemuksiin ja muissa luvuissa esitettyyn teoriaan.

2. TUOTANNON MITTAAMINEN

Uusi-Rauvan (1996, s. 11) mukaan ihmisillä on tarve verrata itseään toisiin, ja tämä pätee luonnollisesti myös ihmisten kokoonpanemiin kokonaisuksiin, kuten yrityksiin. Vertaaminen tapahtuu mittaamalla erilaisia suorituksia joko ihmisten tai yritysten välillä, tai vertaamalla saman mittaajan uutta tulosta aiempiin tuloksiin. Yleisesti voidaan sanoa, että mittaaminen:

- Motivoi
- Korostaa mitattavan asian arvoa
- Ohjaa tekemään oikeita asioita
- Selkiinnyttää tavoitteita
- Aiheuttaa kilpailua
- Luo edellytyksiä palkitsemiselle

Nämä kaikki osa-alueet auttavat tuotannon kehittämisessä. Mittaamisen avulla voidaan siis seurata kehitystä, nähdä miten ja kuinka paljon tehdyt muutokset vaikuttavat tuotantoon, sekä verrata itseään kilpailijoihin. Lisäksi yritykset voivat maksaa bonuksia työntekijöilleen mittareiden mukaan, jolloin myös työntekijät hyötyvät mittauksista ja tekevät töitä parempien mittaustulosten eteen.

Tässä luvussa tutkitaan, mitä mittareita tuotannon kehittämisessä kannattaa käyttää ja mitä nämä mittarit kertovat. Lisäksi kerrotaan resurssi- ja virtaustehokkuudesta, sekä mitä tarkoitetaan tehokkuusparadoksilla.

2.1 Tuotannon mittarit

Ennen mittarien valintaa yrityksen täytyy määritellä tavoitteensa. Yrityksen taloudellisen toimintakyvyn kannalta sen tärkeimmät tavoitteet ovat kannattavuus, likviditeetti ja vakavaraisuus. Liikeyrityksen tärkein suunnittelun kohde on yleensä kannattavuuden säilyttäminen ja parantaminen. Kannattavuus ja muut ylimmän tason tavoitteet ovat kuitenkin vain seurausta alemman tason toimenpiteistä, jonka takia yrityksen tulee mitata laajalaisesti eri avainalueita ja osatoimintoja, kuten markkinointia, tuotantoa ja tuotesuunnittelua. (Bellgran & Säfsten, 2009, s. 259; Uusi-Rauva, 1996, s. 23-24)

Näille eri osatoiminnoille tulee löytää omat, kokonaisuuden kannalta hyödylliset, operatiiviset tavoitetekijät. Tavoitteet tulee valita siten, että ne muodostavat hierarkian ylhäältä alaspäin, jossa ylemmän tason keinot toimivat alemman tason tavoitteina. Jos ylimmän tason tavoite on kannattavuus, keino sen saavuttamiseen on esimerkiksi kustannusten alentaminen. Tällöin kustannusten alentaminen on seuraavan tason tavoite ja siihen keino voi olla esimerkiksi virtaustehokkuuden parantaminen. (Uusi-Rauva, 1996, s. 24)

Jokaisella osatoiminnolla on omat tavoitetekijänsä. Tuotannon kannalta tärkeiksi tavoitetekijöiksi Uusi-Rauva (1996, s. 25) listaa seuraavat:

- Toimitusaika
- Toimitusvarmuus
- Laatu- ja laadun tasaisuus
- Valmistuskustannukset
- Tuottavuus
- Joustavuus
- Työympäristö
- Ympäristövaikutukset

Näistä tavoitetekijöistä tulee muodostaa konkreettiset tavoitteet, joihin tuotannossa pyritään. Tavoitteiden saavuttamista seurataan mittareilla. Vaikka tuotannolla on omat mittarinsa, on muistettava, että yritys toimii silti kokonaisuutena. Heikot tulokset tuotannon mittareissa voivat johtua myös muista osastoista, eli esimerkiksi viivästykset saattavat johtua ostoista, tuotesuunnittelusta tai kuljetuksista. Epättydyttävät mittaustulokset nostavat ongelmat kuitenkin kaikkien tietoisuuteen, jolloin ne pystytään ratkaisemaan. (Uusi-Rauva, 1996, s. 25)

Tuotannon layouttien kannalta tärkeimmät mittarit, joilla tuotannon tavoitetekijöitä voidaan mitata, on esitelty alla.

2.1.1 Lämpäisy aika

Lämpäisy aika on tuotantojärjestelmän tehokkuuden tärkeimpiä käsitteitä ja mittareita. Se kertoo, kuinka kauan yhdellä virtauskappaleella kestää kulkea järjestelmän läpi. Kappale- tai tavara- tuotannossa virtauskappaleella tarkoitetaan työstettävää kappaletta, kun taas kokoonpano- puolella virtauskappaleella voidaan tarkoittaa yksittäistä kokoonpanon osaa tai kokonaista kokoonpanoa. Lyhyt lämpäisy aika on merkki hyvin toimivasta ja joustavasta tuotantojärjestelmästä, koska lämpäisy aikaa ei saa pienennettyä toimimalla huonosti. (Lapinleimu, 2000, s. 67; Modig & Åhlström, 2013, s. 22)

Järjestelmän rajat voidaan sijoittaa sen mukaan, mitä halutaan mitata. Jos halutaan mitata yksittäisen solun lämpäisy aikaa, voidaan järjestelmän rajat sijoittaa solun molemmille puolille. Yleisesti mitataan yrityksen sisäistä lämpäisy aikaa. Sillä tarkoitetaan sitä aikaa, joka kuluu jalostettavan tuotteen tehtaalle saapumisen ja asiakkaalle lähtemisen välissä. Lämpäisy aikaa voidaan mitata myös koko tuotteen tuotannon ajalta, eli esimerkiksi aikaa puun kaadosta vessapaperipaketin ostoon kaupasta. Yritykset eivät miellä perinteisesti tätä mittaria tärkeäksi, mutta aiheeseen palataan luvussa 3. (Modig & Åhlström, 2013, s. 22)

2.1.2 Toimitusvarmuus

Toimitusvarmuus kuvaa ajallaan olevien toimitusten määrää verrattuna kaikkiin toimituksiin. Siihen liittyy olennaisesti toimitusaika, joka kertoo, kuinka kauan valmistajalla kestää tuotteen tilauksesta sen toimittamiseen. Yleensä toimitusajat ovat ennalta arvioituja suureita, mutta nykyään voidaan käyttää myös simulointityökaluja, jotka antavat tarkemman arvion toimitusajasta. Toimitusvarmuutta voidaan kasvattaa pidentämällä toimitusaikaa, mutta tämä saattaa vaikuttaa myyntiin negatiivisesti, koska joillekin asiakkaille toimitusaika saattaa olla kynnyksysymys. (Nylund, 2001, s. 38)

2.1.3 Laadukkuus

Laatu on laaja-alainen tavoite koko yrityksessä, johon liittyy monia mittareita. Tuotannossa tärkeimmät laadun mittarit ovat tuotelaatu ja toiminnan sisäinen laatu. Tuotelaatu kertoo, ovatko tuotteet suunnitelmien mukaisia ja keskenään samanlaisia. Sitä mitataan hylkäysprosentilla, joka kertoo, kuinka monta tuotetta hylättiin laadunvalvonnassa verrattuna kaikkien tuotteiden määrään. (Lapinleimu, 2000, s. 70)

Toiminnan sisäisellä laadulla tarkoitetaan sitä, kuinka hyvin organisaatio toimii. Tärkein osa sisäistä laatua on tehdä asiat kerralla valmiiksi. Kun asiat tehdään kerralla kunnolla, ei korjauksiin tarvitse myöhemmin käyttää aikaa ja resursseja. Tätä voidaan mitata vertaamalla korjausta vaativien tuotteiden määrää kokonaistuotantomäärään. Myös sisäinen asiakkuus -ajattelu on toiminnan laatua ja se auttaa kerralla valmiiksi -ajattelun kanssa. Jos toiminnan sisäinen laatu ei ole kunnossa, se vaikuttaa negatiivisesti läpäisyaikoihin ja tehokkuuksiin. (Lapinleimu, 2000, s. 70)

2.1.4 Kapasiteetti

Kapasiteetilla tarkoitetaan valmistusyksikön tai suuremman kokonaisuuden kykyä tuottaa tuotteita. Se on maksimityökuorma, joka valmistusyksikön on mahdollista tuottaa tiettyä aikayksikköä kohden. Kapasiteetti määräytyy rinnakkaisten valmistusyksiköiden lukumäärästä, työhön käytettävissä olevasta ajasta, sekä työntekijöiden ja työkalujen saataavuudesta oikeaan aikaan. (Nylund, 2001, s. 39-40)

Koska kapasiteetti on maksimityökuorma, sitä ei ole mahdollista ylittää. Kapasiteettia voidaan kuitenkin lisätä nostamalla valmistusyksikön miehitystä, rinnakkaisten resursien määrää tai työaika. Työajan ja rinnakkaisten resursien lisääminen kasvattaa kapasiteettia lineaarisesti, mutta miehityksen lisääminen ei ole yhtä tehokasta. Kapasiteettiin liittyvä mittari on käyttöaste. Se kuvaa valmistuksesta aiheutuvan kuorman suhdetta kapasiteettiin. (Nylund, 2001, s. 39-40)

2.2 Tehokkuus

Tehokkuudella on kaksi eri muotoa, resurssi- ja virtaustehokkuus. Molemmat ovat organisaatioille tärkeitä, mutta niiden yhdistäminen on hyvin vaikeaa. Tuotannossa on perinteisesti keskitytty resurssitehokkuuteen, mutta nykyään yhä useampi organisaatio keskittyy ensisijaisesti virtaustehokkuuteen.

2.2.1 Resurssitehokkuus

Resurssitehokkuus on tehokkuuden perinteinen muoto ja tarkoittaa resurssien mahdollisimman hyvää hyödyntämistä. Teollisuuden kehitys on pohjautunut yli 200 vuoden ajan resurssien hyödyntämistehokkuuden parantumiseen. Resurssitehokkuutta mitataan resurssien käyttöasteilla, jotka pyritään pitämään mahdollisimman korkeana. Jotta käyttöasteet saadaan pidettyä mahdollisimman korkeana, tarvitaan tuotannon eri osien välille varastoja, jotka pidentävät läpäisyäikää huomattavasti. Resurssitehokkuus on ihmiselle luontaista, koska kun uusi kone ostetaan tai työntekijä palkataan, halutaan investoinnista mahdollisimman suuri hyöty. (Modig; Modig & Åhlström, 2013, s. 9-11)

Resurssitehokkuudessa on kaksi periaatetta. Ensimmäinen periaate on tuotannon pilkkominen pieniin osiin, joiden toteutus annetaan eri ihmisten tai organisaatioiden vastuulle. Tällöin vastuullisesta tahosta tulee oman alueensa asiantuntija, joka pystyy toimimaan mahdollisimman tehokkaasti. Toinen periaate on mittakaavaedun tavoittelu. Kun henkilö tai kone tekee vain yhtä tehtävää, tuotanto on mahdollisimman tehokasta ja yksikkökustannukset minimoituvat, koska työntekijällä ei mene aikaa uuteen tehtävään siirtymiseen ja koneen käyttöaste ei laske asetusajkojen takia. (Modig; Modig & Åhlström, 2013, s. 9-11)

2.2.2 Virtaustehokkuus

Virtaustehokkuus on tehokkuuden uudempi muoto, jossa huomio kääntyy resursseista jalostettavaan yksikköön. Virtaustehokkuus ei ole kuitenkaan uusi asia, vaan se on ollut käytössä jo 1500-luvulla venetsialaisella telakalla, joka pystyi valmistamaan laivan alle päivässä, kun samaan aikaan muualla maailmassa saman kokoisen aluksen valmistukseen meni yleensä monta kuukautta. Virtaustehokkuudessa mitataan sitä, kuinka paljon virtausyksikkö jalostuu tietyssä ajanjaksona. Virtaustehokkuuden periaatteena on, että tuotteen läpäisyäika on mahdollisimman pieni verrattuna tuotteen jalostukseen käytettyyn aikaan. Kun läpäisyäikää yritetään pienentää mahdollisimman paljon, joudutaan luopumaan tuotannon sisäisistä varastoista, jolloin resurssien käyttöaste myös pienenee. (Modig; Modig & Åhlström, 2013, s. 13-14)

2.2.3 Tehokkuusparadoksi

Tehokkuusparadoksilla tarkoitetaan sitä, kuinka resurssitehokkuus vaikuttaa tehokkaamalta kuin virtaustehokkuus, vaikka todellisuudessa resurssitehokkuudesta huomattava osa menee pitkästä läpimenoajasta, monesta virtausyksiköstä ja uudelleen aloittamisesta aiheutuvien lisätöiden hoitoon. Resurssitehokkuuteen keskittyessä saadaan siis näennäisesti enemmän aikaiseksi, mutta osa tehdystä työstä on turhaa ja siltä vältyttäisiin, jos keskityttäisiin virtaustehokkuuteen. Näin ollen virtaustehokkuus on todellisuudessa resurssitehokkuutta järkevämpi tehokkuuden muoto. (Modig; Modig & Åhlström, 2013, s. 47-67, 99-116)

Molempia tehokkuuksia on kuitenkin tärkeä parantaa ja kehittää, vaikka tehokkuuksien yhdistäminen on erittäin vaikeaa. Organisaatioiden tulisikin ensin keskittyä virtaustehokkuuden kehittämiseen, jotta lisätöiden määrä voidaan minimoida. Kun keskitytään resurssitehokkuuden kehittämiseen virtaustehokkuuden ollessa jo hyvällä tasolla, pystytään parantamaan organisaation kokonaistehokkuutta huomattavasti. Molempia tehokkuuksia ei voida kuitenkaan parantaa loputtomasti, koska vaihtelun määrä pakottaa keskittymään joko virtaus- tai resurssitehokkuuteen. Vaihtelua pienentämällä tätä keskittymisen määrää voidaan kuitenkin vähentää. (Modig; Modig & Åhlström, 2013, s. 47-67, 99-116)

3. LEAN-FILOSOFIA

Käsitettä lean käytettiin ensimmäisen kerran vuonna 1988 artikkelissa, jossa verrataan autovalmistajien käyttämää kahta tuotantojärjestelmää, järeää ja haurasta, sekä niiden tuottavuustasoja. Pieniin eräkokoihin ja yksinkertaiseen tekniikkaan perustuvaa haurasta tuotantojärjestelmää tutkittaessa huomattiin, ettei se ollutkaan tuottamattomampi kuin mittakaavaetuun ja huipputeknologiaan perustunut järeä tuotanto. Sen sijaan tuottavuus ja laatu olivat parempia hauraalla tuotantojärjestelmällä. Tämän seurauksena sen nimi vaihdettiin kielteisestä hauras-sanasta (englanniksi fragile) neutraalimpaan lean-sanaan. (Bellgran & Säfsten, 2009, s. 78-79; Modig & Åhlström, 2013, s. 29)

Lean-termin teki tunnetuksi James Womackin, Daniel Jonesin ja Daniel Roosin kirja *Machine That Changed The World*, joka julkaistiin vuonna 1990. Kirja syntyi perusteellisen tutkimuksen tuloksena ja siinä tutkittiin autojen valmistusta ympäri maailman. Vuosien tutkimustyöhön perustunut kirja osoitti, että Toyotan tuotantojärjestelmä, TPS (Toyota Production System), pystyi pääsemään paljon paremmalle tehokkuustasolle kilpailijoihinsa verrattuna. Lisäksi kirjassa kerrottiin, miten paremmalle tehokkuustasolle päästiin. Kirja luo pohjan lean-ajattelulle, jonka kehittämistä Womack ja Jones ovat jatkaneet kirjoittaen lukuisia kirjoja ja artikkeleita aiheesta. (Bellgran & Säfsten, 2009, s. 79-80; Modig & Åhlström, 2013, s. 29)

Vaikka leanin perustana on siis Toyotan tuotantojärjestelmä, TPS, nämä eivät ole sama asia. TPS kertoo Toyotan tavasta tehdä autoja, kun taas leanista on kehittynyt toimintastrategia, jota seuraamalla voi parantaa käytännössä minkä tahansa prosessin tehokkuutta. 2000-luvulla leanista on kirjoitettu tuhansia kirjoja, joista osa kuvaa leanin abstraktina asiana eli esimerkiksi kulttuurina, kun taas osa konkreettisempänä asiana, kuten työkaluna. Tämä on johtanut siihen, ettei leanista ole yleisesti hyväksyttyä määritelmää, mikä vuorostaan johtaa lean-käsitteen pirstaloitumiseen jatkuvasti enemmän ja enemmän. (Modig & Åhlström, 2013)

Tässä luvussa tutustutaan lean-filosofian historiaan, peruseriaatteisiin, sekä menetelmiin ja työkaluihin. Koska lean on monimutkainen käsite, sen perusteet käydään yksityiskohdaisesti läpi ennen kuin seuraavassa luvussa keskitytään siihen, miten lean vaikuttaa layoutien suunnitteluun.

3.1 Toyotan tuotantojärjestelmän synty

Toyotan tuotantojärjestelmän, ja samalla leanin, historia alkaa siitä, kun Toyota siirtyi tekstiiliteollisuudesta ajoneuvojen valmistamiseen 1930-luvun lopulla valtion kannustamana. Toisen maailmansodan aikana Toyota valmisti kuorma-autoja valtion painostuk-

sesta sotaa varten. Vain 2 685 ajoneuvoa ensimmäisten 13 vuoden aikana käsityönä valmistanut Toyota halusi sodan jälkeen ryhtyä kokonaisvaltaiseksi autojen ja rekkojen valmistajaksi. (Womack et al., 1990, s. 48)

Keväällä 1950 Toyotan perustajasukuun kuulunut Eiji Toyoda vieraili Fordin Rouge-tehtaalla Detroitissa. Palattuaan kotiin hän tuli nopeasti siihen tulokseen Toyotan tuotantovero Taiichi Ohnon kanssa, että massatuotanto ei toimisi Japanissa. Tähän oli monia syitä. Japanin sisämarkkina oli verrattain pieni vaatien silti suuren malliston, kuten edustusautoja poliitikoille, rekkoja tavaroiden kuljetukseen, pieniä rekkoja maaseudulle ja pikkuautoja ahtaisiin kaupunkeihin. Sisämarkkina oli kuitenkin turvattu, koska Japanin valtio asetti suuret tullit tuontiautoille ja esti ulkomaiset sijoitukset autoteollisuuteen. Tämä auttoi monet pienet yritykset pääsemään sisään automarkkinoille, mukaan lukien Toyotan. Sodan takia Japanissa ei kuitenkaan ollut tarpeeksi pääomaa ostaa länsimaisia valmistustekniikoita, joten yritysten oli pakko kehittää omansa. Lisäksi yhtä massatuotannon perusedellytyksistä eli halpaa työvoimaa, jonka voi irtisanoa talouden vaihteluiden mukaan, ei ollut Japanissa tarjolla: maahanmuuttajia ei ollut, eivätkä paikalliset työläiset enää suostuneet olemaan muuttuva kuluera. Myöskin amerikkalaisten miehittäjien käyttöön ottamat työvoimalait turvasivat työläiset entistä paremmin. (Bellgran & Säfsten, 2009, s. 27; Womack et al., 1990, s. 48-51)

Amerikkalaisissa autotehtaissa saattoi olla jokaiselle muotoon painetulle osalle oma levytyökeskuksensa, jolloin muotteja ei tarvinnut vaihtaa kyseisen osan tuotannon aikana. Tästä syntyi mittakaavaetu, jolloin yksittäistä osaa tuottaessa valtava määrä saatiin kappalehinta mahdollisimman alhaiseksi. Kun muotti lopulta vaihdettiin, vaihtamiseen tarvittiin erillinen ammattilainen ja keskus oli kokonaisen päivän poissa käytöstä. Tämä ei sopinut Taiichi Ohnolle. Toyotalla oli varaa ostaa vain muutama levytyökeskus, joten Ohnon ideana oli yksinkertaistaa muottien vaihto siten, että muotoon painettava tuote voitaisiin vaihtaa muutaman tunnin välein muutaman kuukauden sijasta. Vuosikymmenen tuotekehityksen jälkeen Ohno oli päässyt 1950-luvun lopulla kolmen minuutin vaihtoaikaan ja eliminoinut tarpeen erilliselle ammattilaiselle. Tänä aikana Ohno huomasi, että pienemmät eräkoot tulivat kappalehinnaltaan pienemmäksi kuin massatuotetut kappaleet. Ilmiölle löytyi kaksi syytä: kun eräkoot ovat pieniä, varastointikustannukset käytännössä häviävät, ja vielä suurempi syy pitkän ajan kuluessa oli se, että laatuongelmat muotoon painamisessa ilmenivät nopeasti, kun tuotetut osat menivät välittömästi kokoonpanoon. Koska laatuongelmat alkoivat haitata kokoonpanoa, niihin kiinnitettiin erityistä huomiota. Tämän seurauksena viallisten osien määrä putosi huomattavasti, mikä vähensi myös osien korjaustarvetta huomattavasti ja paransi lopputuotteen laatua. (Womack et al., 1990, s. 51-53)

Toisen maailmansodan jälkeen Toyotan ollessa ongelmissa yrityksen johto halusi irtisanoa neljänneksen työvoimasta. Vahvistunut työväenliike kuitenkin pystyi hidastamaan johdon suunnitelmia, kunnes osapuolet pääsivät sopimukseen, joka muutti Toyotan suhtautumisen työvoimaansa pysyvästi. Neljännes työvoimasta irtisanottiin, mutta yrityksen

presidentti Kiichiro Toyoda otti syyt niskoilleen yrityksen epäonnistumisista. Lopuille työntekijöille myös tehtiin kaksi lupaus. Jokaiselle työntekijälle oli työpaikka loppuelämäksi ja palkkaus muutettiin kokemukseen perustuvaksi, vanhan työkuvaan perustuvan palkkauksen tilalle. Palkat myös sidottiin yhtiön kannattavuuteen, jolloin myös työntekijät hyötyivät yrityksen tehdessä hyvää tulosta. Nämä muutokset muuttivat Toyotan suhtautumisen työntekijöihinsä täysin. Työntekijöistä tuli osa yhteisöä, ja Toyota rakensi työntekijöilleen asuntoja ja vapaa-ajanviettopaikkoja. Myös työntekijät suhtautuivat Toyotaan uudella tavalla. Sen jälkeen kun Toyota oli ottanut käyttöön kokemukseen pohjautuvat palkat, jotka nollautuvat aina yritystä vaihdettaessa, myös muut yritykset Japanissa tekivät niin. Tämän takia työntekijöiden ei ollut järkevää vaihdella työpaikkoja, kuten länsimaissa, vaan yhteen yritykseen sitouduttiin. Kun yritys ja työntekijä olivat sitoutuneet toisiinsa, työntekijät eivät olleet enää vain resurssi, vaan voimavara ja he pystyivät mukautumaan uusiin haasteisiin ja selvittämään ongelmia eivätkä vain korjaamaan niitä. (Bellgran & Säfsen, 2009, s. 27; Womack et al., 1990, s. 53-55)

Pienten eräkokojen valmistus kehittyi vuosien saatossa Just-in-Time (juuri oikeaan aikaan) valmistukseksi, jonka tarkoitus on luoda tehokas virtaus koko organisaatioon, ja yritykseen sitoutunut työvoima mahdollisti Jidokan eli ihmisavusteisen automaation. Modigin ja Åhlströmin (2013, s. 133-134) mukaan jidokan tarkoituksena on luoda koko organisaatiosta läpinäkyvä, jotta kaikki tietäisivät mitä ympärillä tapahtuu ja näkisivät kokonaiskuvan eivätkä keskittyisi vain omaan tekemiseensä. Tunnetuin jidokan muoto on menetelmä, jossa jokaisella työntekijällä on mahdollisuus pysäyttää tuotanto heti kun jotain odottamatonta tapahtuu. Kun linja pysähtyy, kaikki tulevat selvittämään perussyitä odottamattomalle tapahtumalle ja korjaamaan sen. Kun vika on saatu korjattua, tuotanto jatkuu.

Just-in-Time- ja Jidoka-käsitteet ovat keskeisiä Toyotan tuotantojärjestelmässä, josta Taiichi Ohno julkaisi kirjan *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production* vuonna 1978. Modigin ja Åhlströmin (2013, s. 78) mukaan monet länsimaiset kirjoittajat yrittivät saada selkoa Toyotan tuotantojärjestelmästä, mutta se onnistui vasta kun Ohnon kirja julkaistiin englanniksi 1988.

3.2 Leanin peruseriaatteet

James Womackin ja Daniel Jonesin vuonna 1996 julkaistussa teoksessa *Lean Thinking* neuvotaan, mitä yritysten tulisi tehdä ollakseen lean. Kirjassa on esitelty viisi peruseriaatetta, jotka painottuvat toteutukseen enemmän kuin pelkkään teoriaan. Teos nousi myyntimenestykseksi, jonka takia nämä periaatteet ovat levinneet ympäri maailman. Suurimmassa osassa leanin alkuvuosien kirjallisuudesta on esitelty periaatteita ja sääntöjä vaihtelevin lukumäärin, mutta asiasisältö on sama kaikissa, vaikkakin vähän eri painoituksilla. (Modig & Åhlström, 2013, s. 79-80)

Alla esitellään *Lean Thinking*-kirjan periaatteet. Periaatteet on esitelty siinä järjestyksessä, jossa organisaation pitäisi ne käydä läpi, jotta muutos leanimpään olisi mahdollisimman helppo. Koska periaatteet eivät ole konkreettisia, niitä ei voi suoraan käyttää omien prosessien parantamiseen. Ne ovat kuitenkin tärkeitä ymmärtää, jotta leanin menetelmiä ja työkaluja ei oteta käyttöön vain keinoina, vaan nähdään se tavoite, johon niiden avulla pyritään.

3.2.1 Arvon määrittäminen asiakkaan näkökulmasta

Leanin ensimmäinen periaate on arvon määrittely asiakkaan näkökulmasta. Se on koko lean-ajattelun lähtökohta. Asiakkaan näkökulmasta yritysten ainoa tehtävä on arvon tuottaminen. Tällä arvolla on merkitystä vain silloin, kun tietty tuote vastaa asiakkaan tarpeita tietyllä aikana ja tietyllä hinnalla. Kun arvon määrittelee joku muu kuin lopullinen asiakas, syntyy vääristymiä, jotka johtuvat arvon määrittelijän luulosta, että hän tietää, mitä asiakas haluaa. Myös vanhentuneet käsitykset mittakaavaedusta vaikuttavat siihen, että yritykset keskittyvät vain tuottamaan ja myymään tuotteita, joita he osaavat tehdä. Kysynnän ollessa jotain muuta kuin mitä yritys odotti, muutetaan hintaa tai annetaan jotain kaupan päälle myynnin edistämiseksi. (Womack & Jones, 2003, s. 16-19)

Womack & Jones (2003) kertovat kolmesta eri vääristymästä, joihin he törmäsivät tutkimusprojektinsa aikana. Ensimmäinen vääristymä havaittiin Yhdysvalloissa, jossa perinteisesti yritysten ylempi johto koostuu talouspuolta opiskelleista henkilöistä. Heidän suurin huolensa on seuraavan vuosikvartaalin tulos, jonka he pyrkivät pitämään kannattavana myymällä yrityksen tuottamia tuotteita tietyllä hinnalla ja tietyn määrän. Keskittymällä osakkeenomistajien tyytyväisenä pitämiseen ja strategioiden laatimiseen, yritysten ylin johto on etäännyntynyt päivittäisestä toiminnasta, eikä heille ole selvää, kuinka heidän johtamansa yritys tuottaa arvoa asiakkailleen. (Womack & Jones, 2003, s. 16)

Saksassa tutkijat törmäsivät käänteiseen vääristymään. Siellä suuret yksityiset sekä valtion omistamat yritykset pystyvät olemaan välittämättä lyhyen ajan taloudellisista mittareista. Näissä yrityksissä johtoasemassa olevat insinöörit ovat pystyneet investoimaan tuote- ja tuotannonkehitykseen, joka on ollut heidän mielestään arvoa tuottavaa. Todellinen asiakas ei ole ollut kuitenkaan valmis maksamaan korkeampaan hintaa uusista ominaisuuksista, jotka on tuotettu uusilla monimutkaisilla laitteilla. Tämä johtuu siitä, että ominaisuudet, joista insinöörit ovat innostuneet, eivät ole täyttäneet asiakkaiden tarpeita. (Womack & Jones, 2003, s. 16-17)

Kolmanteen vääristymään tutkijat törmäsivät Japanissa. Yhteiskunnallisista syistä isojen japanilaisten yritysten johtajat haluavat pitää tuotantonsa Japanissa, luoden työpaikkoja ja vaurautta kotimaahansa. Yritysten asiakaskunta on kuitenkin maailmanlaajuinen, ja he haluavat heille räätälöityjä tuotteita lyhyillä toimitusajoilla, joka ei onnistu yhdestä sijainnista joka puolelle maailmaa. Yritysten päätös laittaa työntekijät ja alihankkijat etusijalle ja olla keskittymättä asiakkaisiin on satuttanut niitä taloudellisesti, koska vain asiakkaat

voivat ylläpitää yritysten kilpailukykyä pitkällä aikavälillä. (Womack & Jones, 2003, s. 17)

3.2.2 Arvoketjun tunnistaminen

Arvon määrittämisen jälkeen seuraava periaate on arvoketjun tunnistaminen. Arvoketjulla tarkoitetaan niitä tarkoin määriteltyjä toimintoja, joita tuotteen valmistaminen vaatii. Fyysisen valmistuksen lisäksi arvoketjuun kuuluu suunnittelu, myynti, sekä muut tuotannon tukitoimet. Koko arvoketjun selvittäminen on tärkeää, jotta osaoptimointia voidaan välttää. Osaoptimoinnilla tarkoitetaan jonkin tuotannon pienemmän osan optimointia välittämättä kokonaisuudesta. Tämä pienempi osa voi olla esimerkiksi kokonainen yritys, jos tuotteen arvoketju kulkee monen yrityksen kautta. Mitattaessa osaoptimoituja toimintoja ne näyttävät tehokkailta, mutta koko arvoketjua tarkastellessa huomataan, että toimintojen välillä on parannettavaa. On siis tärkeää, että samaan arvoketjuun kuuluvat yritykset sekä osastot yrityksen sisällä kommunikoivat keskenään ja tekevät toiminnastaan läpinäkyvämpää. (Womack & Jones, 2003, s. 19-21)

Arvoketjun toimintojen tunnistuksen jälkeen ne tulee analysoida. Analysoinnissa toiminnot jaetaan kolmeen kategoriaan:

- Arvoa tuottavat toiminnot
- Arvoa tuottamattomat, mutta välttämättömät toiminnot
- Arvoa tuottamattomat ja tarpeettomat toiminnot

Kaikista arvoa tuottamattomista toiminnoista pyritään pääsemään eroon. Tarpeettomien toimintojen poistaminen on kuitenkin helpompaa ja ne tulisikin poistaa välittömästi. Välttämättömien toimintojen poistaminen ei ole välittömästi mahdollista, mutta niille tulisi etsiä vaihtoehtoisia ratkaisuja. Jos vaihtoehtoisia ratkaisuja ei ole tällä hetkellä saatavilla, tulisi näiden toimintojen vaikutukset minimoida. (Womack & Jones, 2003, s. 19-21)

3.2.3 Prosessien virtauttaminen

Kolmas periaate on prosessien virtauttaminen. Virtauttamisella tarkoitetaan organisaatioiden huomion kohdistamisen muuttamista resurssitehokkuudesta virtaustehokkuuteen. Keskittämällä huomion ensisijaisesti virtaustehokkuuteen pystyvät organisaatiot välttämään tehokkuusparadoksin, josta kerrottiin tarkemmin luvussa 2. Womackin & Jonesin (2003, s. 22) mukaan asiat yksinkertaisesti toimivat paremmin, kun keskitytään tuotteeseen ja sen tarpeisiin, eikä organisaation tai välineistön tarpeisiin. Virtauttaminen kannattaa kuitenkin aloittaa vasta, kun arvoa tuottamattomat toiminnot on poistettu. Jos virtauttaminen tehdään, kun arvoketjussa on vielä turhia toimintoja, virtautettuun prosessiin jää turhia asioita, jolloin prosessissa on hukkaa ja virtauttaminen pitää tehdä uudestaan, jos näistä hukista halutaan päästä eroon. (Womack & Jones, 2003, s. 21-24)

Virtauttaminen ei ole kuitenkaan helppoa. Suurin syy tähän on se, että ihmisluontoon kuuluu asioiden tekeminen erissä. Kun tehtävää on paljon, ihminen tekee samankaltaiset asiat kerralla pois alta, koska ajatellaan, että se on tehokasta. Samalla kuitenkin toisenlaiset asiat odottavat jonossa omaa vuoroaan. (Modig & Åhlström, 2013, s. 60-64; Womack & Jones, 2003, s. 21-24)

Toinen syy, miksi muutos virtaustehokkuuteen on usein haastavaa organisaatiolle, johtuu väärästä tavasta tehdä muutos. Usein organisaatiot palkkaavat ulkopuoliset konsultit tekemään muutoksia. Nämä konsultit laittavat kerralla koko tuotannon uusiksi kertomatta yksittäisille työntekijöille syitä muutoksiin. Työntekijöitä myös käsitellään vain kullueränä ja uhkana tuottavuudelle, jolloin he kokevat konsultit uhkana. Muutos kannattaa-kin tehdä osastoittain ja siten, että jokainen työntekijä tietää, miksi muutokset tehdään ja miten koko yritys siitä hyötyy. (Womack & Jones, 2003, s. 21-24)

Vaikka virtaustehokkuus vaikuttaa länsimaissa uudelta leanin mukana tulleelta ilmiöltä, se ei sitä kuitenkaan ole. Henry Ford huomasi virtautuksen potentiaalin jo vuonna 1913 vähentäessään Fordin T-mallin tuotantoon tarvittua vaivannäköä 90%. Ford oli kuitenkin löytänyt vain erikoistapauksen, jossa tuotantomäärät ja ajat olivat suuret ja kaikki osat olivat samoja. Toisen maailmansodan jälkeen Taiichi Ohno tuli siihen johtopäätökseen kollegoidensa kanssa, että virtauksen todellinen haaste on pienerätuotannossa. He saavuttivat hyvän virtauksen, suurimmaksi osaksi ilman liukuhihnoja, pienentämällä asetusai-koja ja tekemällä koneista ja työpisteistä oikean kokoisia, jolloin työpisteet pystyivät olemaan vierekkäin ja tuotanto virtaamaan ongelmitta. (Womack & Jones, 2003, s. 21-24)

3.2.4 Imuohjaus

Leanin neljäs peruseriaate on imuohjaus. Imuohjauksella tarkoitetaan ohjaustapaa, jossa tuotteen valmistus aloitetaan vasta, kun asiakkaan tekemä tilaus aiheuttaa ostosignaalin, joka kulkee koko arvoketjun toimintojen läpi. Ostosignaali siis imee tuotteen koko tuotannon läpi. Imuohjaus ei ole mahdollinen perinteisissä resurssitehokkaissa tuotantjär-jestelmissä, koska niiden pitkät läpimenoajat tekevät toimitusajoista asiakkaille kestä-mättömiä. Virtaustehokkaassa tuotannossa lyhyet läpimenoajat mahdollistavat imuohjauksen käytön. Koska ostosignaali menee optimaalisessa tilanteessa koko arvoketjun läpi, imuohjaus pätee myös loppukokoonpanosta vastaavan yrityksen ulkopuolelle kaikkiin sen alihankkijoihin, jotka ovat osana samaa arvoketjua. (Womack & Jones, 2003, s. 24-25)

Imuohjauksen suurin hyöty tulee varastomäärien huomattavasta laskusta, kun tuotteita valmistetaan vain ostosignaalista. Pitkien läpimenoaikojen takia resurssitehokkaassa tuotannossa tuotteita on varastoitava, koska asiakkaat haluavat kohtuulliset toimitusajat. Varastointi aiheuttaa myös epäkuranttiusriskin, eli riskin siitä, että varastossa olevat tuotteet menettävät arvonsa. Imuohjauksella epäkuranttiusriskistä päästään eroon ja lisäksi asiak-kaille pystytään kertomaan tuotteiden saatavuudesta tarkemmin, kun varastot eivät voi

peittää tehottomuutta ja voidaan katsoa vain tilausten määrää. Imuohjaus myös tasaa tuotteiden määrää markkinoilla, jolloin valmistajat eivät joudu myymään vanhentuvia tuotteitaan massiivisissa alennusmyynneissä. Kun tuotteiden määrä on markkinoilla tasaisempi, asiakkaat voivat ostaa tuotteita silloin kun he niitä tarvitsevat, eikä silloin kun niitä saa halvalla. (Womack & Jones, 2003, s. 24-25)

3.2.5 Täydellisyyteen pyrkiminen

Leanin viimeinen periaate on täydellisyyteen pyrkiminen. Tällä tarkoitetaan, ettei mikään prosessi ole koskaan täydellinen, vaan aina on parannettavaa. Täydellisyyteen tulisi kuitenkin aina pyrkiä, eli prosesseja tulisi parantaa jatkuvasti. Lean-ajattelu ei ole siis yksittäinen kehitysprosessi, vaan jatkuvaan kehitykseen tähtäävä tuotantjärjestelmä. Kun toimintaa kehitetään jatkuvasti ja pienin askelein, työntekijöiden muutosvastarinta on pienempää ja kehitys tapahtuu iteroiden, jolloin aiemmin tehdyt muutokset tuovat esille asioita, joita ei olisi yhdellä projektilla saatu edes selville. (Womack & Jones, 2003, s. 25-26)

Viimeinen periaate toimii siis silmukkana, jonka avulla kehitystyössä palataan periaatteiden alkuun uutta kierrosta varten. Kun palataan aiempiin periaatteisiin uudestaan tehtyjen parannusten jälkeen huomataan, että parannettavaa on löytynyt lisää. Syynä tähän on se, että periaatteet ovat sidoksissa toisiinsa. Kun virtaustehokkuus paranee, paljastuu arvoketjusta lisää arvoa tuottamattomia toimintoja. Imuohjauksen parantuaessa huomataan lisää virtauksen esteitä, jotka poistamalla prosessi tehostuu entisestään. (Womack & Jones, 2003, s. 25-26)

Yksi tärkeä osa täydellisyyteen pyrkimistä on läpinäkyvyys. Yritysten välinen kommunikointi ja vuorovaikutus mahdollistaa ideoiden lainaamisen kilpailijoiden kesken, jolloin koko toimiala menee eteenpäin. Yritysten sisäinen läpinäkyvyys parantaa todennäköisyyttä uusien kehityskohteiden löytämiseen, kun työntekijät näkevät kaikki arvoketjun toiminnot. Työntekijät ovat siis tärkeä voimavara täydellisyyteen pyrittäessä. Parannusehdotuksista tulisivat antaa välitöntä positiivista palautetta, sillä hyvien ideoiden palkitseminen kannustaa työntekijöitä kertomaan parannusehdotuksia myös jatkossa. (Womack & Jones, 2003, s. 25-26)

3.3 Lean-menetelmät ja työkalut

Modigin ja Åhlströmin (2013, s. 141-145) mukaan lean on toimintastrategia, jolla on monta eri abstraktiotasoa. Kun periaatteet määrittävät, miten organisaation tulee ajatella, määrittävät menetelmät sen, mitä organisaation tulee tehdä. Työkalut taas määrittävät, mitä apuvälineitä organisaation tulee käyttää. Menetelmät ja työkalut auttavat organisaatioita konkreettisesti muutoksessa, kun periaatteet muokkaavat abstraktimpaa puolta. Työkalut ovat siis alimmalla abstraktiotasolla, eli kaikkein konkreettisimpia. Menetelmät

ovat tästä seuraavalla tasolla ja periaatteet sitä seuraavalla. Raja työkalujen ja menetelmien välillä on kuitenkin häilyvä, minkä takia yleisesti myös menetelmistä puhutaan työkaluina.

Mitä alemmas abstraktiatasolla mennään, sitä enemmän keinot riippuvat asiayhteydestä. Ison yrityksen itselleen kehittämä työkalu ei välttämättä sovellu pienen yrityksen toimintaan. Tämä ei tarkoita, että lean ei sopisi pienelle yritykselle, ainoastaan sitä, että yksittäinen työkalu ei ole soveltuva. Toyotasta ja muista isoista lean-yrityksistä on hyvä ottaa mallia oman organisaation kehittämiseen, mutta ei pidä olettaa, että kaikki heidän käyttämänsä työkalut sopisivat erilaiseen toimintaympäristöön. Tärkeämpää on ymmärtää, miksi yritykset käyttävät juuri näitä työkaluja, sillä ne ovat vain ratkaisuja tuotannon ongelmiin. Monien organisaatioiden on kehitettävä omia työkalujaan, koska muiden kehitämät työkalut eivät ratkaise heidän haasteitaan. (Modig & Åhlström, 2013, s. 145-146)

Koska monet yritykset ovat kehittäneet itselleen sopivia työkaluja, lean-toimintaan vasta tutustuville organisaatiolle on valmiissa työkaluissa paljon valinnanvaraa. Kaikille työkaluille yhteistä on kuitenkin se, että ne perustuvat leanin periaatteisiin, oli yksittäisen työkalun tarkoituksena sitten parantaa virtausta tai poistaa arvoketjusta turhia vaiheita eli hukkaa. Esimerkkeinä yleisimmin käytössä olevista lean-työkaluista ovat:

- Arvovirtakuvaus
- 5S
- Kanban
- Standardoitu työ
- Juurisyyanalyysi

Arvovirtakuvauksen tarkoituksena on visualisoida arvoketju, jolloin arvoa tuottamattomat ongelma kohdat on helpompi löytää. 5S menetelmä tarkoittaa yksinkertaistettuna sitä, että oikeiden asioiden pitää olla oikeilla paikoilla, jolloin työpaikasta tulee organisoidumpi ja toimivampi. Kanban on varastojen määrän vähentämiseen tähtäävä imuohjaustyökalu, jossa tuotanto aloitetaan vasta, kun saadaan signaalikortti eli kanban, joka kertoo mitä tehdään ja kuinka paljon. Standardoidussa työssä työvaiheiden parhaat suoritustavat dokumentoidaan, jolloin työn jäljessä ja työvaiheen kestoajassa ei ole niin suurta vaihtelua. Juurisyyanalyysillä yritetään päästä ongelman alkulähteelle sen sijaan, että korjataan aina vain siitä aiheutuneita muita ongelmia. (*Top 25 lean tools*; Modig & Åhlström, 2013, s. 142-145)

4. TUOTANNON LAYOUT

Tuotannon layout-suunnittelu tarkoittaa suunnittelua, jossa etsitään optimaalista järjestystä kaikille tuotannon osa-alueille, kuten koneille, ihmisille, varastoille ja materiaalivirroille. Layout kuvaa tilaa, johon tuotantojärjestelmä tullaan sijoittamaan. Layout-suunnittelu on tärkeää, koska sillä voidaan välttää virheitä, jotka vaikuttavat tuotannon mittareihin negatiivisesti. Layoutin muuttaminen myöhemmin, kun tuotanto on jo käynnissä, häiritsee aina tuotantoa ja aiheuttaa enemmän kustannuksia kuin panostaminen layout-suunnitteluun. Suunnitteluvaiheessa tehdyt virheet maksavat aina itsensä takaisin, jos niillä voidaan välttää asennusvaiheessa tehtävät virheet. (Bellgran & Säfsten, 2009, s. 222; Muther, 1968, s. 1.1-1.11)

Layout-suunnittelu voidaan jakaa neljään vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe on layoutin sijainnin määrittely, jossa valitaan mille tontille, mihin rakennukseen ja mihin tilaan layout sijoitetaan. Tässä vaiheessa päätetään, käytetäänkö jo olemassa olevaa sijaintia, juuri hankittua rakennusta vai jotain muuta vapaana olevaa tilaa. Vaihe voidaan ohittaa, jos suunnitellaan layoutia uuteen sijaintiin, jota ei vielä ole hankittu. Toinen vaihe on yleisen kokonaislayoutin tekeminen. Ensimmäisessä vaiheessa määritelty käytettävissä oleva alue jaetaan siten, että jokaisen valmistusyksikön alueen koko, alueiden väliset suhteet ja materiaalien virtaus ovat karkealla tasolla oikein. Tätä vaihetta voidaan kutsua laatikko-layoutiksi, alueiden jakamiseksi tai vain karkeaksi layoutiksi. Jos kyseessä on monen rakennuksen projekti, jakautuu tämä vaihe kahteen osaan, jossa ensimmäisessä tehdään yleislayout koko tehdasalueesta ja toisessa osassa jokaiselle rakennukselle oma karkea layout. (Bellgran & Säfsten, 2009, s. 222; Muther, 1968, s. 1.1-1.11)

Yksityiskohtaisen layoutin tekeminen on kolmas vaihe. Siinä jokaiselle fyysiselle asialle määritellään omat paikkansa. Koneiden ja laitteiden lisäksi esimerkiksi myös työkalujen ja palveluiden, kuten taukhuoneen, sijainnit tulee suunnitella. Neljäs vaihe on asennuksen suunnittelu. Kun layout-suunnitelma on valmis, tulee miettiä, miten asennus tai uudelleenjärjestely tehdään. Suunnitelmasta riippuen voidaan tilaan joutua tekemään fyysisiä muutoksia, kuten seinien purkamista. Nämä muutokset tulee olla tehtynä ennen asennusta. Lisäksi pitää hyväksyttää suunnitelmat ja hankkia varat suunnitelmien toteuttamiseen. (Bellgran & Säfsten, 2009, s. 222; Muther, 1968, s. 1.1-1.11)

Maynard (2001, s. 5) esittelee lisäksi vielä viidennen vaiheen, layoutin käytön. Tässä vaiheessa tehty suunnitelma otetaan käyttöön ja testataan, jolloin laitos muuttuu operatiiviseksi.

Nämä vaiheet tehdään järjestyksessä, mutta parhaan lopputuloksen aikaan saamiseksi niitä kannattaa tehdä myös limittäin tai palata aiempaan vaiheeseen jonkin epäkohdan

ilmentyessä. Kun määritellään sijaintia, olisi hyvä miettiä jo karkeaa layoutia, ja kun tehdään karkeata layoutia, yksittäisten koneiden sijaintien miettiminen on suotavaa. Edellä esitellyt vaiheet toteutuvat aina layout-projektissa, vaikka yksittäinen suunnittelija toteuttaisikin vain vaiheet 2 ja 3. Tällöin suunnittelijan täytyy ymmärtää, että myös vaiheet 1 ja 4 kuuluvat projektiin ja yhdistää työnsä näiden vaiheiden kanssa. (Muther, 1968, s. 1.1-1.11)

Bellgranin ja Säfstenin (2009 s.202-204) mukaan layouteihin liittyy kolme päätöstä tuotantojärjestelmän suunnittelussa. Nämä päätökset ovat tuotantoprosessin valinta, layout-tyyppien valinta ja layout-suunnittelu. Tuotantoprosessi on joko yksittäinen, jaksottainen tai jatkuva riippuen tuotettavista tuotteista. Yksittäistuotannolla tarkoitetaan prosessia, jossa tuotetaan vain yksittäisiä tuotteita, kuten risteilyaluksia ja muita valtavia tuotteita tai erikoistuotteita. Jaksottaisella prosessilla tarkoitetaan kappaletavaratuotantoa, eli tuotteita, joiden kappalemäärä voidaan laskea. Jatkuvassa prosessissa tuotetaan jatkuvasti samaa tuotetta, jonka määrä lasketaan painon, tilavuuden tai pituuden mukaan. Esimerkiksi teräksen tuotanto on jatkuva prosessi.

Tuotantoprosessin valinnan jälkeen seuraava päätös on layout-tyyppien valinta. Erilaiset prosessit voidaan realisoida järjestämällä koneet ja muut laitteet eri tavoilla. Perusvaihtoehtoina layout-tyyppien valintaan on kiinteä sijainti, funktionaalinen layout, solu-layout ja tuotantolinjat. Valittu prosessi vaikuttaa layout-tyyppien valintaan. Yksittäistuotanto prosessi toteutetaan kiinteällä sijainnilla ja jatkuva prosessi tuotantolinjalla. Jaksottainen prosessi voidaan sen sijaan toteuttaa funktionaalisella layoutilla, solu-layoutilla tai tuotantolinjalla. (Bellgran & Säfsten, 2009, s. 203-204)

Usein layoutin ja prosessityypin välillä ei tehdä suurta eroa. Layout-tyyppiä käytetään yleensä kuvaamaan koneiden ja muun laitteiston sijoittelua toisiinsa nähden. Layout-tyyppien valinnalla on kuitenkin muita vaikutuksia. Se vaikuttaa tuotannon virtaukseen, suunnitteluun, varastointiin sekä kaikkiin luvussa 2 esitettyihin mittareihin. (Bellgran & Säfsten, 2009, s. 203-204) Layout-tyyppien tutustutaan tarkemmin luvussa 4.1.

Layout-tyyppien valinnan jälkeen voidaan siirtyä tarkempaan layout-suunnitteluun. Layout-tyyppistä riippuen tarkemmassa suunnittelussa etsitään ratkaisua eri ongelmiin, kuten esimerkiksi linjan tasapainotukseen tuotantolinjan tapauksessa ja kuljetuskustannusten minimointiin funktionaalisessa layoutissa. Layout-suunnitteluun perehdytään luvussa 4.2.

4.1 Layout-tyypit

Tehtaan layout muodostuu yleensä eri valmistusyksiköiden alueista. Jokaisella valmistusyksiköllä voi olla erilainen tuotantoprosessi, jonka takia niille voi sopia erilaiset layout-tyypit. Esimerkiksi valmistusyksikölle, joka valmistaa prototyyppisiä, voi funktionaalinen layout olla paras ratkaisu, osavalmistuksen valmistusyksikölle solu-layout ja kokoonpanon valmistusyksikölle tuotantolinjat. (Muther, 1968)

4.1.1 Kiinteä sijainti

Kiinteällä sijainnilla valmistetaan yleensä pienten volyymien tuotteita, jotka ovat todella suuria tai todella erikoisia ja vaativat erikoisjärjestelyjä. Sen sijaan, että tuotetta liikuteltaisiin työpisteeltä toiselle, materiaalit ja työntekijät liikkuvat tuotteen luokse, jonka takia layout-tyyppiä kutsutaan kiinteäksi sijainniksi. Tuotantotavat vaihtelevat kiinteän sijainnin layouteissa, mutta ne vaativat yleensä paljon työvoimaa ja kokoonpanot vaativat taitavaa työvoimaa. Suurinta osaa toiminnoista ei voida automatisoida, koska standardoituja ja automaatiolle sopivia tehtäviä on vähän. Esimerkkeinä kiinteän sijainnin layouteja käyttävistä tehtaista ovat telakat, lentokoneiden valmistajat ja uniikkien autojen valmistus. (Bellgran & Säfsten, 2009, s. 204-205)

4.1.2 Funktionaalinen layout

Funktionaalisisessa layoutissa saman tyyppiset laitteet sijoitetaan lähekkäin. Esimerkiksi kaikki valmistusyksikön sorvit sijaitsevat samalla alueella, johon mennään, jos halutaan sorvata jotain. Funktionaalinen layout on vallitseva layout sekatuotannossa, jossa tuotetaan suurta tuotevalikoimaa pienellä volyymilla. Jokaisella koneella voi olla oma työntekijänsä tai yksi työntekijä voi hoitaa useampia koneita riippuen, siitä kuinka suuri osa työstä on automatisoitua ja millaisia tuotteita tehdään. Funktionaalisisessa layoutissa on hyvä joustavuus useiden reititysmahdollisuuksien takia ja resurssitehokkuus voi teoriassa olla korkea. Suurin heikkous sen sijaan on pitkä läpäisy aika, joka aiheuttaa suuret varastot ja vaatii paljon tuotannosuunnittelua. Lisäksi ongelmien sattuessa yhdelle koneelle ne heijastuvat myös viereisiin koneisiin, koska häiriöt vaativat välitöntä uudelleenjärjestelyä. Tästä seurauksena on yleensä suuret varastotasot, entistä pidemmät läpäisyajat, jotka sitovat paljon varoja, sekä alhainen toimitusvarmuus. Riskinä on myös laatuongelmat, jotka aiheuttavat hylättyjä tuotteita. (Bellgran & Säfsten, 2009, s. 205-206, 209)

Maynardin (2001, s. 6) mukaan tuottavassa teollisuudessa on vääristymä funktionaalisen layoutin puolesta, eli funktionaaliset layoutit ovat yliedustettuina teollisuudessa. Syyt vääristymälle eivät ole täysin selvillä, mutta mahdollisuuksia on useita. Yksi syy saattaa olla funktionaalisten layoutien suunnittelun helppous. Toinen mahdollinen syy on kirjanpitojärjestelmät, jotka eivät rankaise funktionaalisten layoutien korkeista varastotasoista. Funktionaalista layoutia saatetaan suosia myös korkean resurssitehokkuuden takia, jota käsiteltiin tarkemmin luvussa 2.

4.1.3 Solu-layout

Solu-layoutissa tuotantolaitteet on sijoitettu virtauksen mukaisesti pieniin itsenäisiin rypäisiin, jotka ovat vastuussa yhdestä tai useammasta tuotteesta tai tuoteperheestä. Tämä johtaa tuotokeskeiseen layoutiin, jossa virtaustehokkuus on hyvällä tasolla ja tuotteiden

läpäisyajat pieniä. Solu-layoutia käytetään yleisesti tuotteiden tekemiseen isoilla volyy-meilla ja mahdollisesti monilla muunnoksilla. Se sopii myös tuotteille, joilla on pitkä läpäisy aika. Mahdollisuuksien mukaan kalliit tai tahtiajan määräävät tuotantolaitteet tulee sijoittaa virtauksen alkupäähän. Tarkoituksena on maksimoida näiden koneiden käyttöaste ja ohjata ylikapasiteetti sen sijaan vähemmän arvokkaille, avustaville koneille, jolloin arvokkain kone toimii solun pullonkaulana ja läpäisy aika saadaan pidettyä pienenä. Näin toimiessa myös ohjaaminen helpottuu, kun tarvitsee ohjata vain tahtiajan määrittävää konetta. Tuotantosolu myös valmistaa aina tuotteen omalta osaltaan loppuun asti, jolloin tuotteen valmistus tarvitsee vain yhden työmääräyksen, toisin kuin funktionaalisessa layoutissa, jossa jokaiselle työvaiheelle täytyy olla oma työmääräyksensä. (Bellgran & Säfsten, 2009, s. 206-207; Maynard, 2001, s. 30; Pattanaik & Sharma, 2009)

Tavoitteena solu-layoutin suunnittelussa on tehdä jatkuva virtaus mahdollisimman monelle tuotteelle, mutta tämä voi vaatia joidenkin osien valmistusjärjestyksen muuttamista. Myös lyhyet asetusajat ovat tärkeitä joustavuuden lisäämiseksi. Koko tuotannon muuttaminen soluiksi on kuitenkin haastavaa, koska jotkut tuotteet eivät sovellu soluissa valmistettavaksi. Funktionaalinen layout on muutenkin solu-layoutia joustavampi, minkä takia uusien tuotteiden valmistusta yleensä testataan funktionaalisella layoutilla. Jos solujen kapasiteettitarvetta vähennetään, vähenee myös layout-valinnasta saadut hyödyt. Yleensä solussa on vähemmän työntekijöitä kuin koneita, mikä vaatii työntekijöiltä enemmän osaamista ja ryhmätyötaitoja. Ryhmässä työskentely kuitenkin lisää työtehtävien rotaatiomahdollisuuksia ja mahdollistaa vastuun siirtämisen tuotannon suunnittelusta, laadusta ja kapasiteetin käytöstä solulle yleisemmältä tasolta. Tämä tasapainottaa työtehtäviä, parantaa laatua ja kykyä vastata nopeasti asiakkaiden tarpeisiin. (Bellgran & Säfsten, 2009, s. 206-207; Maynard, 2001, s. 30)

4.1.4 Tuotantolinja

Tuotantolinja soveltuu standardoitujen tuotteiden massatuotantoon. Layout on enemmän linkittyneenä tuotteisiin kuin prosesseihin, jolloin se mielletään tuotokeskeiseksi layoutiksi. Tuotantolinjassa tuotantokoneet järjestetään valmistusjärjestyksen mukaisesti linjaan, joka voi olla suora tai jonkun muun, kuten U- tai L-kirjaimen muotoinen. Materiaalivirta työpisteiden välillä voidaan kuvata kontrolloivilla ja kelluvilla kuljettimilla. Kontrolloiva kuljetin, esimerkiksi liukuhihna, siirtää mekaanisesti tuotteen seuraavalle työpisteelle ilman puskurointimahdollisuutta. Kelluva kuljetin toimii sen sijaan manuaalisesti, jolloin sitä voidaan käyttää puskurina. Yksinkertaisimmillaan kelluva kuljetin on pöytä, josta seuraavan työpisteen työntekijä voi hakea tuotteen, kun hänelle sopii, mikä rajoittaa työntekijöitä vähemmän ja vähentää linjan häiriöherkkyyttä. Luomalla rinnakkaisia linjoja voidaan myös vähentää häiriöherkkyyttä tai lisätä joko kapasiteettia, joustavuutta tai molempia. Rinnakkaiset linjat vähentävät työntekijöiden rajoitteita yksinkertaiseen linjaan verrattuna, mikä helpottaa linjan tasapainottamista. Tasapainottamisella tarkoitetaan työmäärän jakoa mahdollisimman tasaisesti resurssien kesken. Rinnakkaiset

linjat kuitenkin lisäävät ohjaustarvetta, kun tuotteet voivat mennä useampaa eri reittiä. (Aase et al., 2004; Bellgran & Säfssten, 2009, s. 207-209)

Kapenevaksi virtaukseksi kutsutaan tuotantolinjaa, jossa suuri määrä erilaisia osia kootaan rajoitetuksi määräksi tuotteita. Sen etuna on materiaalin hallinta ja käsittelyn helpous, sekä lyhyet läpäisyajat. Työnjako pieniin osiin tuo joustavuutta, koska työvaiheet ovat nopeita oppia. Tämä on myös samalla heikkous, koska helpot ja yksitoikkoiset tehtävät heikentävät työskentely ilmapiiriä. Kapenevasta virtauksesta voi myös tulla epäjoustava ja altis häiriöille. Jatkuvat prosessit käyttävät myös tuotantolinjoja, mutta kapaletavara tuotannosta poiketen tuotantolinjat ovat haarautuvia virtauksia. Haarautuvassa virtauksessa yhdestä raaka-aineesta tehdään suuri määrä erilaisia tuotteita. (Bellgran & Säfssten, 2009, s. 207-209)

4.2 Layout-suunnittelu

Kun prosessi- ja layout-tyyppi on valittu, voidaan siirtyä tarkempaan layout-suunnitteluun. Mitä tarkempi suunnittelun taso on, sitä yritys- ja projektiokohtaisempaa kehitystyö on. Yksityiskohtaisessa layout-suunnitelmassa on ratkaistuna kaikki koneisiin ja laitteisiin liittyvät avoimet kysymykset. Laitteiden paikkojen lisäksi tulee olla ratkaistuna materiaalien virtaus, kuljettaminen ja varastointi. Samaan aikaan tulee myös teknologioiden olla linkitettyinä systeemiin, niin kalusto- kuin ohjelmistopuolella. (Bellgran & Säfssten, 2009, s. 203-209, 220-222)

Jokaisella layout-tyypillä on omat erikoisongelmansa, jotka pitää ratkaista yksityiskohtaisessa layout-suunnitelmassa. Funktionaalisessa layoutissa tuotteet liikkuvat paljon tehtaassa sisällä, jolloin haasteena on suuret kuljetuskustannukset ja suuri tuotannosuunnittelun tarve. Näiden haasteiden vaikutus tulee minimoida, jotta layout-suunnitelmaa voidaan pitää hyvänä. Solu-layoutissa yksi isoista kysymyksistä on, kuinka jakaa tuotettavat osat ryhmiin, joita jokainen yksittäinen solu valmistaa. Layoutia suunniteltaessa tulee miettiä myös resurssien jako soluihin siten, että solujen sisäiset tahtiajat ovat sopivia ja soluilla on keskenään mahdollisimman tasaiset tahtiajat. Tuotantolinjoilla tärkein suunniteltava asia on linjan tasapainotus. Linja tulee tasapainottaa siten, että läpäisy aika on mahdollisimman pieni, johon päästään tasapainottamalla työpisteiden tehtävät mahdollisimman tasaisiksi. (Bellgran & Säfssten, 2009, s. 203-209, 220-222; Pattanaik & Sharma, 2009)

Lapinleimu (2000) listaa muutaman pääsäännön, joita ideaalitehtaan layout-suunnittelun tulisi noudattaa. Tehdas tulee pyrkiä muodostamaan niin kompaktiksi kuin mahdollista, ja ohjattavien rajapintojen määrä tulee minimoida. Lisäksi vaiheet tulee integroida materiaalinkäsittelylaitteiston avulla.

Layout-piirustus on yleisesti käytetty työkalu tuotantojärjestelmän kehittämisessä. Se kuvaa kiinteistöä, johon järjestelmä tullaan sijoittamaan. Layout-piirustuksen perusteella

voidaan yksityiskohtaisemmin tarkastella eri vaihtoehtoja esimerkiksi koneiden tai tautokotilan sijainnille. Sen avulla voidaan myös tarkastella, onko järjestelmällä tarpeeksi tilaa tai onko esimerkiksi kiinteistössä olevat tolpat tuotannon tiellä. Layout-suunnitelma mahdollistaa myös erilaisten ratkaisujen testaamisen materiaalivirroille, kuljetusreiteille ja varastojen sijainnille. Yleensä layout-suunnitteluun käytetään olemassa olevan rakennuksen pohjapiirustusta pohjana, mutta layout voidaan myös suunnitella konseptiksi tyhjälle pohjalle. Tällöin rakennuksen layout voidaan suunnitella tuotantojärjestelmän layoutin mukaiseksi, jos ollaan esimerkiksi rakentamassa uutta tehdasta. (Bellgran & Säfssten, 2009, s. 222)

Layout-suunnittelua voidaan käyttää työkalun lisäksi myös lähtökohtana tuotantojärjestelmän suunnittelussa. Kun kehiteltävä järjestelmä ei ole vielä kokonainen prosessi, on konkreettisesta layoutista helppo aloittaa. Layout-suunnittelu tuottaa nopeita, konkreettisia ja visuaalisia tuloksia toisin kuin muut abstraktimmat asiat tuotantojärjestelmissä. Visuaalisen suunnitelman kanssa on myös helpompi kommunikoida ideoita muiden suunnittelijoiden kanssa, ja investointipäätökset vaativat usein visuaalisia todisteita tuekseen. Layout-suunnittelun käyttämisessä tuotantojärjestelmän suunnittelun lähtökohtana on kuitenkin riskinsä. Jos layoutista tulee suunnittelun päämäärä keinon sijaan, on mahdollista, että tuotantojärjestelmä ei saa tarpeeksi huomiota ja esiselvitykset jäävät liian vähäisiksi. Myös systeemin rajat ja edellytykset voivat jäädä epäselviksi, jolloin järjestelmän vaatimukset jäävät vajaiksi. Abstraktit asiat on helpompi unohtaa kuin konkreettiset, jolloin layout-suunnitteluun keskittyttäessä on jonkin abstraktin asian unohtaminen riskinä. (Bellgran & Säfssten, 2009, s. 225-226)

Koska layout-suunnittelu on monimutkaista ja siinä pitää ottaa monia muuttujia huomioon, sille ei ole kehittynyt samanlaista selkeää toimintatapaa kuin muille suunnittelun osa-aloille. Tämän takia on kehitetty erilaisia metodeja, joita seuraamalla layout-suunnittelu helpottuu. Tunnetuimmat menetelmät ovat Mutherin (1968) kehittämät systemaattinen layout-suunnittelu (SLP, Systematic Layout Planning) ja yksinkertaistettu systemaattinen tehdassuunnittelu (SSFP, Simplified Systematic Facility Planning). SLP jakautuu kymmeneen vaiheeseen ja SSFP kuuteen vaiheeseen. SSFP soveltuu pienten toimistojen, verstaiden, laboratoriodien ja varastojen suunnitteluun. Vaiheet käydään ensin läpi karkeata suunnitelmaa varten ja sitten uudestaan jokaisen valmistusyksikön alueen suunnitteluun. Menetelmien periaatteena on ensin selvittää tarvittut yhteydet koneiden välillä ja järjestelmän funktionaaliset tarpeet ja sitten piirtää kaavio funktionaalisista yhteyksistä. Kaavioita käytetään mallina layout-vaihtoehtojen piirtämiseen. Lisäksi otetaan huomioon erilaiset rajoitteet mitä järjestelmällä on. Lopuksi valitaan yksi vaihtoehdoista lopulliseksi layoutiksi. (Bellgran & Säfssten, 2009, s. 222-223; Maynard, 2001, s. 6; Muther, 1968)

4.3 Lean-ajattelun vaikutukset layouteihin

Tuotannon layout-ratkaisun tulee olla valittuun valmistusjärjestelmään sopiva. Ei ole järkevää rakentaa funktionaalista layoutia tuotantojärjestelmään, jossa valmistetaan suurella

volyymilla vain muutamia eri tuotteita. Lean-tuotannossa keskitytään virtaustehokkuuteen, jolloin layout-tyypiksi kannattaa yleensä valita tuotekeskeinen layout. Solu-layout ja tuotantolinjat ovat siis ilmeiset valinnat lean-tuotannon layouteiksi pienten läpäisyajkojen ja vähäisen ohjaustarpeen takia. Joissain tapauksissa valmistettavat tuotteet kuitenkin vaativat kiinteän sijainnin tai funktionaalisen layoutin käyttämistä, vaikka kyseessä olisi-kin lean-ajattelua toteuttava yritys. Tällöin suunniteltavan layoutin virtausta ja ohjattavuutta, sekä muita mittareita yritetään parantaa muilla tavoilla. (Bellgran & Säfsten, 2009, s. 203-209; Maynard, 2001, s. 6)

Solu-layout auttaa monen lean-ajattelun päämäärän saavuttamisessa auttamalla eliminoimaan monia arvoa tuottamattomia toimintoja, kuten odotusaikoja, pullonkauloja, kuljetuksia ja keskeneräisen tuotannon määrää. Monet yritykset käyttävät solu-layouteja osassa tuotantoaan. Solu-layouteja käytettäessä tehdas-layout voi olla joko tuotantolinjat tai solu-layout. Jotta tuotantosoluista saadaan tehokkaita, on välttämätöntä ottaa tuotannossa käyttöön joitain lean-ajattelun konsepteja. Nykypäivän tuotannossa solut pystytään muodostamaan helposti niin pienen kuin suuren mittakaavaan tuotantoon. (Pattanaik & Sharma, 2009)

Maynard (2001, s. 29-32) luettelee useita ominaisuuksia, jotka kuuluvat lean-layouteihin ja jotka on syytä ottaa huomioon layout-suunnittelussa. Ominaisuudet ovat:

- Työsolut
- Linkitetty tuotanto
- Kanban-varastopisteet
- Perille asti -toimitukset
- Just-In-Time eli JIT-materiaalin käsittely
- Vähentynyt tilantarve

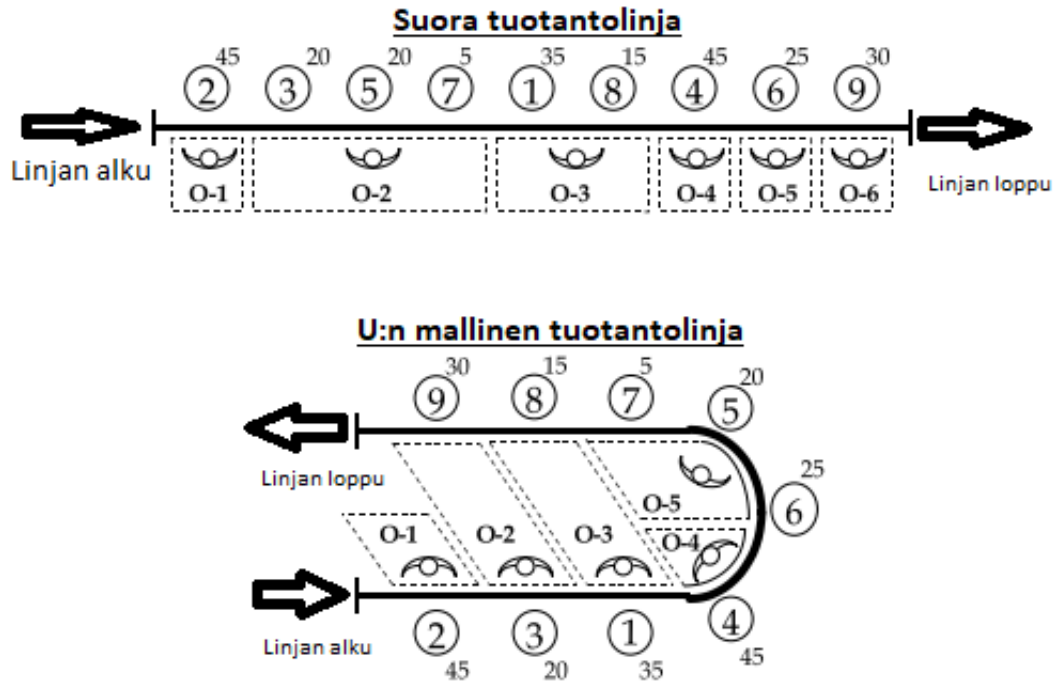
Ensimmäinen ominaisuus on työsolut, joilla tarkoitetaan solu-layoutia, joka on vastuussa omasta toiminnastaan ja jossa työskentelee 2-12 työntekijää. Seuraava ominaisuus on linkitetty tuotanto. Sillä tarkoitetaan, että lean-layouteissa prosessin eri vaiheet ovat läheisesti sidoksissa toisiinsa. Prosessit ovat myös fyysisesti lähellä toisiaan ja niiden välillä on korkeintaan pienet puskurivarastot. Linkitetty tuotanto vähentää tuotantojärjestelmän tilantarvetta ja parantaa sen vasteaikaa. Kanban-varastopisteet ovat myös yksi lean-tuotannon ominaisuus. Kun ohjauksessa käytetään kanban-järjestelmää, systeemi tarvitsee varastopisteitä, jotka yleensä sijaitsevat työalueiden lähellä. Näissä varastopisteissä on yleensä ainoat merkittävät määrät keskeneräistä tuotantoa. Kanban-varastopisteitä käytettäessä suuret varastot ja välialueet häviävät, jolloin varastoseuranta helpottuu ja tuotepuutokset ja muut varasto-ongelmat loppuvat tai ainakin vähenevät. (Maynard, 2001, s. 29-32)

Lean-layouteihin liittyy myös perille asti -toimitukset. Lean-filosofiaan kuuluu tiivis yhteistyö toimittajien kanssa. Kun toimittajille annetaan pääsy tuotantoalueille, he pystyvät

toimittamaan tuotteensa suoraan työpisteille, joissa osia tarvitaan. Tämä eliminoi perinteisen tarpeen tuotteiden vastaanotolle, tarkastukselle ja varastoinnille. Seuraava ominaisuus on JIT-materiaalin käsittely. Perinteisessä tuotantojärjestelmässä materiaaleja siirretään suuria määriä epäsäännöllisesti. Lean-tuotannossa materiaalia siirretään koko ajan pieniä määriä, jolloin tehdyt siirrot ovat suoraa ja vaativat lyhyemmän matkan. Tällöin materiaalien käsittelyssä käytetyt suuret trukit ja vihivaunut voidaan korvata pienillä nokkakärryillä ja kuljettimilla. Viimeinen ominaisuus on vähentynyt tilantarve. Muista ominaisuuksista, sekä vähentyneestä varastojen tarpeesta johtuen lean-tuotantolaitokset vaativat usein vain 40-50% tilaa perinteiseen layoutiin verrattuna. Yleisesti lean-layoutit vähentävät materiaalien käsittelyä jopa 80-90%, joka jo itsessään tekee tuotannosta tehokkaampaa, mutta suurin hyöty tiiviimmistä layouteista on pienentynyt läpäisy aika. Tiiviimmät layoutit helpottavat lisäksi tuotannon laadukkuutta. (Maynard, 2001, s. 29-32)

Aase et al. (2004) mukaan lean-ajatteluun liittyy käsitys, että U:n muotoiset tuotantolinjat ovat suoraa linjoja tehokkaampia. He eivät kuitenkaan löytäneet mitään dataa, joka varmistaisi tämän käsityksen, joten he päättivät tutkia asiaa. Empiirisen tutkimuksen tuloksena vahvistettiin U-linjojen olevan suoraa linjoja selvästi tehokkaampia, mutta vain tietyillä ehdoilla. U-linjojen tehokkuus kasvaa eniten, kun valmistusjärjestys on jäykkä, tuotantolinja ei ole erityisen pitkä (alle 30 työtehtävää) ja yksittäinen työntekijä tekee korkeintaan kolmea työtehtävää, jolloin tahtiaika pysyy pienenä. Tahtiajan vähentäminen vaikuttaa siis tehokkuuteen positiivisesti, mutta vain tiettyyn rajaan asti. Liian pieni tahtiaika tarvitsee niin monta työasemaa, että U-muotoisen layoutin hyödyt jäävät käyttämättä. (Aase et al., 2004)

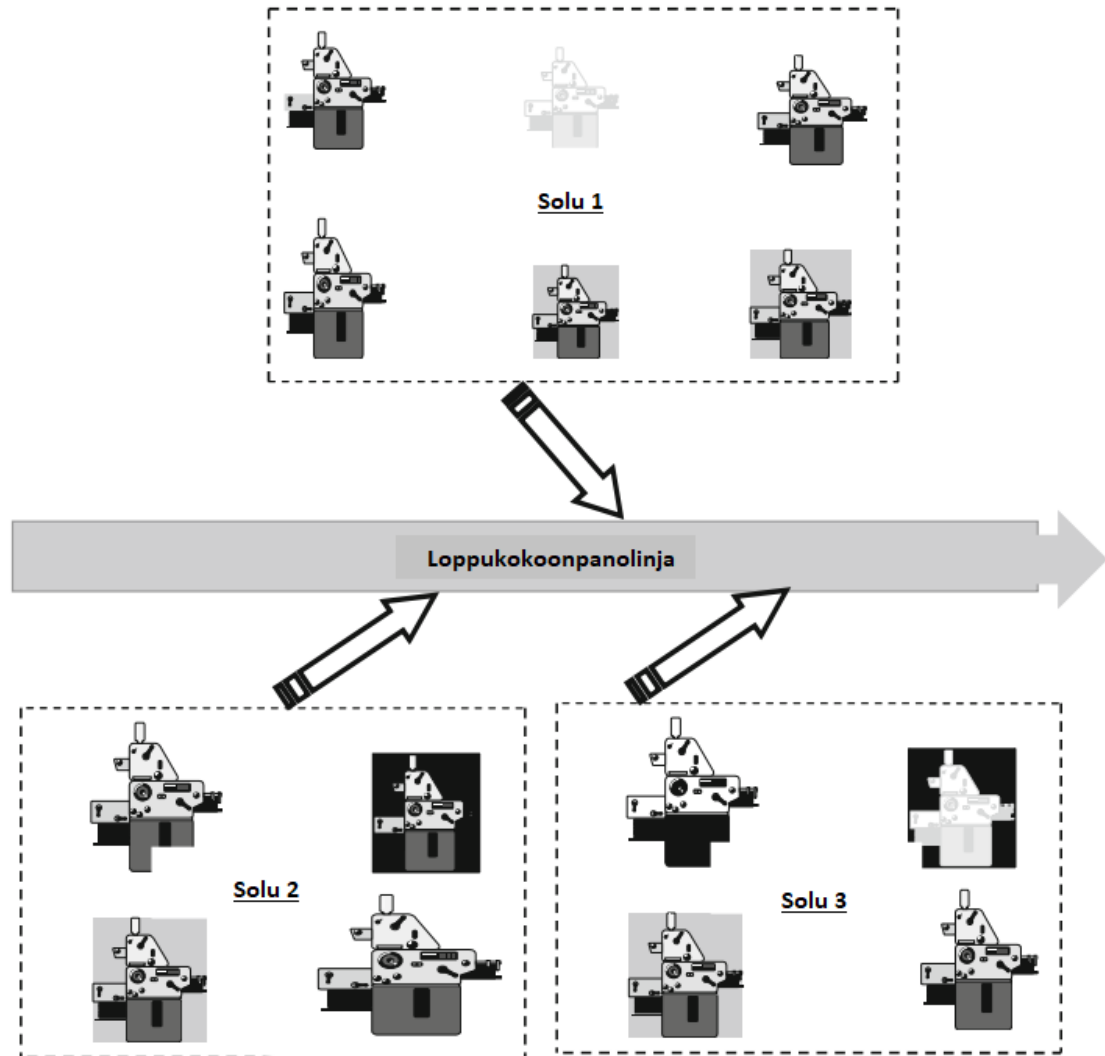
Syy miksi U-layout on suoraa tuotantolinjaa tehokkaampi joissain tilanteissa, voidaan nähdä kuvasta 1. Suorassa layoutissa työntekijät voivat tehdä vain peräkkäisiä töitä, jolloin tahtiajan tasoittaminen on hankalampaa. U-layoutissa tahtiaikojen tasoittaminen on helpompaa, kun yhdelle työntekijälle voidaan jakaa tehtäviä linjojen molemmilta puolilta. Tahtiaikojen parempi tasoittaminen mahdollistaa ylimääräisten työntekijöiden karsimisen parantaen työvoiman tuottavuutta.



Kuva 1. Suoran ja U:n mallisen tuotantolinjan erot. Katkoviivoilla erotetut alueet kuvaavat yksittäisen työntekijän työskentelyaluetta ja ympyröidyt luvut työtehtäviä. Työtehtävien ulkopuolella olevat luvut kuvaavat työtehtävän kestoa. (Aase et al., 2004)

Kuvassa 1 työtehtäviä on yhtä paljon molemmilla linjoilla ja niillä on samat kestot, mutta suora tuotantolinja vaatii kuusi työntekijää, kun U-muotoisessa linjassa työntekijöiden määrä on pystytty karsimaan viiteen. Tutkimuksessa U-muotoiset tuotantolinjat olivat suoria linjoja tehokkaampia silloin, kun työntekijät työskentelivät linjan molemmilla puolilla. Tuotantolinjan molemmilla puolilla työskentely tuo tuotantoon hyviä ja huonoja puolia, mutta niiden vaikutuksia ei Aase et al. (2004) tutkineet. Tuotteiden laatu voi parantua sen seurauksena, että samat työntekijät työskentelevät myöhemmin samojen tuotteiden kanssa kuin aikaisemmin. Lisäksi työntekijöiden fyysinen liikkumien työpisteiden välillä voi parantaa tuottavuutta, mutta vain liikkumismäärän ollessa järkevällä tasolla. Liika fyysinen liike heikentää tuottavuutta ajan kuluessa siirtymisiin ja työntekijöiden väsyessä. (Aase et al., 2004)

U-layout-tutkimuksessa tehtiin empiirinen koe 540 eri tapaukselle. Kokonaisparannus kaikissa kokeissa työvoiman tuottavuuteen oli 2,31 %. Tämä johtui siitä, että 77 % tapauksista muutoksesta U-layoutiin ei ollut hyötyä. On siis tärkeää, että yritykset varmistavat, että U-layout on heidän tuotantoonsa sopiva layout-ratkaisu sen sijaan, että muutoksesta oletetaan automaattisia tuloksia, sillä vain noin joka viides tapaus hyötyy muutoksesta. Tapauksissa, joissa muutoksesta oli hyötyä, hyöty oli keskimäärin yli 10 % ja parhaassa tapauksessa työvoiman tuottavuus nousi 33,3 %. (Aase et al., 2004)



Kuva 2. Solu-layout, jossa tehdas-layoutina tuotantolinja. (Pattanaik & Sharma, 2009)

Pattanaikin ja Sharman (2009) esimerkkitapauksessa arvoa tuottavan ajan osuus pystyttiin kasvattamaan huomattavasti. Ennen layout-muutosta arvoa tuottava osuus ajasta oli 44 % ja layout-muutoksen jälkeen 54 %. Tehokkaampaan tuotantoon päästin vähentämällä arvoa tuottamattomia toimintoja uuden layoutin avulla. Uuden layoutin perusajatus on esitelty kuvassa 2. Osien kulkema matka väheni, joka puolestaan vähensi työvoiman tarvetta. Tuotantokapasiteetti kasvoi tahtiajan pienentyttyä. Myös suhteet asiakkaisiin paranivat, kun toimitusvarmuus parani. Lisäksi työntekijät oppivat tuotannon hukista ja niiden vaikutuksista, mikä loi pohjan muille lean-tuotannon toiminnoille. (Pattanaik & Sharma, 2009)

5. POHDINTA

Tässä luvussa vastataan tämän työn johdannossa esitettyihin kysymyksiin layouteista ja niiden kehittämisestä, sekä pohditaan muissa luvuissa esille tulleita asioita.

Ensimmäinen kysymys koski sitä, onko tuotanto kannattavaa pysäyttää layoutin muuttamiseksi. Saadaanko siis layout muutoksesta niin suuri hyöty, että se ylittää tuotannon pysäyttämisestä aiheutuvat tappiot? Tämä riippuu tietysti täysin tilanteesta. Esimerkiksi vanha tehdas, jossa uudet koneet on aina sijoitettu sen mukaan mihin ne ovat sattuneet mahtumaan, saattaa hyötyä pelkästä layout-muutoksesta niin paljon, että muutos kannattaa tehdä. Tämä on kuitenkin harvinaista, ja yleensä pelkästä layout-muutoksesta ei saada niin paljoa hyötyä, että se olisi kannattavaa toteuttaa. Tämä johtuu siitä, että layout on vain osa tuotantojärjestelmää. Tuotantojärjestelmää kehitettäessä yleensä myös layout muuttuu ja koko järjestelmän muutoksesta saatu hyöty on yleensä huomattava, jos kehitystyö on onnistunut. Tilanteessa, jossa yritys on muuttanut tuotantojärjestelmänsä esimerkiksi lean-tuotannoksi, mutta ei ole tehnyt mitään layoutille, voi layout-muutoksesta saadut hyödyt olla huomattavat, koska uusi layout tukee uutta tuotantojärjestelmää paljon paremmin kuin vanha layout. Layout-muutos voi olla hyödyllistä myös tilanteessa, jossa tuotantolinjan tai solujen tasapainottamisessa on tarvetta muuttaa koneiden sijainteja. Tällöin layout-muutos ei ole iso eikä häiritse välttämättä koko tuotantoa, jolloin saadun hyödyn ei tarvitse olla niin suuri, jotta muutos olisi järkevää tehdä.

Millainen on hyvä layout? Tämä on tietysti todella laaja ja jopa filosofinen kysymys, mutta hyvän layoutin suunnitteluun liittyy muutamia pääsääntöjä. Lähtökohtana layoutille on, että sen pitää sopia valittuun tuotantojärjestelmään. Jos tuotetaan yhtä ainoaa tuotetta suurina määrinä, ei ole järkevää, että tuotteet sinkoilevat ympäri tehdasta resursuilta toiselle ja jos tuotetaan valtavaa portfoliota tuotteita, tuotantolinjan käytössä ei ole järkeä. Muita pääsääntöjä hyvään layout-suunnitteluun ovat mm. mahdollisimman tiiviin layoutin suunnitteleminen ja ohjattavien rajapintojen minimoiminen. Mitä tiiviimpi layout on, sitä vähemmän materiaaleja tarvitsee siirtää ja ihmisten liikkua, jotka molemmat parantavat tehokkuutta. Rajapintojen määrä taas vaikuttaa suoraan tuotannonohjaamiseen. Mitä vähemmän ohjattavia pisteitä on, sitä helpompaa ohjaaminen on. Hyvässä layoutissa pitää myös tietysti olla perusasiat kunnossa. Sen pitää sopia rakennukseen, johon se on suunniteltu ja sen pitää olla työntekijöille helppokäyttöinen ja turvallinen. Jos layout suunnitellaan vain tuotannon mittarit mielessä ja siitä tehdään tuotannon kannalta optimaalinen, se ei välttämättä ole silti hyvin suunniteltu. Esimerkiksi suunnitelmasta on voitu unohtaa työntekijöiden helpot kulkureitit, jolloin ihmislunnolle ominaisesti työntekijät oikaisevat kohdista, joista ei saisi kulkea. Tämä voi aiheuttaa vaaran ja lopulta onnettomuuden, joka johtaa layoutin muuttamiseen.

Kolmas kysymys liittyi lean-filosofian vaikutuksiin layouteissa. Kuten jo edellisessä kappaleessa todettiin, on layoutin lähtökohtana aina tuotantjärjestelmä. Kun yritys muuttaa tuotantjärjestelmäänsä, on myös layout lähes aina kannattavaa päivittää. Yrityksen omaksuessa lean-filosofian ajatuksia on siis tarpeen yleensä suunnitella myös layout uudestaan. Tämä johtuu siitä, että lean-tuotanto eroaa paljon perinteisestä tuotannosta, jolloin myös lean-layoutit eroavat paljon perinteisistä layouteista. Suurimmat erot lean-layouteissa on niiden huomattavasti pienempi koko. Kun perinteisissä layouteissa on suuret väliavarastot eri valmistusyksiköiden välillä, lean-tuotannossa prosessit sijaitsevat hyvin lähellä toisiaan ja niiden välillä on korkeintaan pienet puskurivarastot. Pienemmän fyysisen kokonsa lisäksi lean-tuotantoon sopivampi layout-tyyppi saattaa olla eri kuin perinteisessä tuotannossa. Jos yritys on aikaisemmin tehnyt funktionaalilla layoutilla suurta tuoteportfoliota, on mahdollista, että lean-tuotantoon siirryttäessä portfoliota on kavennettu ja tuotanto on järkevintä tehdä soluissa, jolloin virtaustehokkuutta saadaan parannettua.

6. YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä esiteltiin tuotannon layout-suunnitteluun liittyvää teoriaa, sekä siihen hyvin läheisessä kytköksessä oleva lean-filosofia. Lisäksi syvennyttiin tuotannon mittareihin, joiden avulla pystytään mittaamaan objektiivisesti erilaisten layouttien hyviä ja huonoja puolia. Teorian avulla pohdittiin lisäksi vastauksia muutamaan layouteihin liittyvään kysymykseen vastauksia, kuten onko layout-muutoksesta saadut hyödyt suurempia kuin tuotannon pysäyttämisestä tulevat haitat ja millainen on hyvä layout. Lisäksi pohdittiin sitä, miten lean-ajattelu vaikuttaa layouteihin.

Tuotantoa mitataan, koska se motivoi, selkeyttää tavoitteita ja helpottaa tuotannon kehittämistä. Tuotannon mittareilla mitataan yrityksen asettamia tavoitteita, jotta voidaan verrata omaa toimintaa menneisyyteen, sekä kilpailijoihin. Tuotannon tehokkuus kuvaa, kuinka hyvin tuotanto toimii. Perinteisesti on keskitytty resurssitehokkuuteen, eli siihen että resurssien käyttöasteet ovat mahdollisimman korkeat, mutta nykyään yhä useampi organisaatio on siirtänyt fokuksensa virtaustehokkuuteen, jossa yksittäinen tuote yritetään tuottaa mahdollisimman nopeasti.

Lean-filosofiaa käsiteltäessä selvisi, että se ymmärretään eri ihmisten toimesta eri tavoilla. Osalle se on vain sateenvarjotermi erilaisille työkaluille, jolloin osa sen mahdollisuuksista jää käyttämättä. Jotta organisaatio voi saada täyden hyödyn irti lean-ajattelusta, sen pitää ymmärtää, että sillä on monia abstraktiatasoja. Periaatteet ovat abstrakteja asioita, mutta ne täytyy ymmärtää, jotta konkreettisimmista menetelmistä ja työkaluista saa täyden hyödyn irti.

Tuotannon layouttien suunnittelu on haastavaa. Niiden suunnittelussa pitää ottaa todella monta asiaa huomioon, minkä takia on kehitetty menetelmiä, joilla suunnittelua voidaan helpottaa. Layout-suunnittelu voidaan sen lisäksi jakaa moneen eri vaiheeseen ja peruslayout-tyyppejä on useita. Layoutit eivät kuitenkaan ole omia erillisiä kokonaisuuksiaan, vaan ne ovat osa tuotantojärjestelmää. Sen takia on tärkeää, että suunniteltu layout sopii valittuun tuotantojärjestelmään.

Työ onnistui hyvin, vaikka siihen kului aikaa odotettua enemmän. Suurin haaste ja syy ajan kulumiselle olivat lähteet, jotka käsittelivät samoja asioita, mutta hieman toisistaan poiketen. Tästä syystä jokaista lukua kirjoitettaessa piti lähteistä lukea kaikki tiettyyn aiheeseen liittyvä, jotta ymmärsi, mitä tämän lähteen kirjoittaja tarkoitti tietyllä termillä. Kun seuraavaa lähdetä alkoi lukea, saatettiin samaa termiä käyttää, mutta sen tarkoitus oli eri. Kokonaisuuden hahmottaminen oli siis haasteellista, mutta palkitsevaa sitten, kun se onnistui.

LÄHTEET

- Aase, G.R., Olson, J.R. & Schniederjans, M.J. (2004). U-shaped assembly line layouts and their impact on labor productivity: An experimental study, *European Journal of Operational Research*, Vol. 156(3), pp. 698-711.
- Bellgran, M. & Säfsten, K. (2009). *Production development: design and operation of production systems*, Springer, London, 340 p.
- Lapinleimu, I. (2000). *Ideaalitehdas*, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere, 197 p.
- Maynard, H.B. (2001). Facilities layout and design, in: Zandin, K.B. (ed.), *Maynard's industrial engineering handbook*, McGraw-Hill, New York, pp. 1-37.
- Modig, N. The Efficiency Paradox, TEDx Talks, web page. Available (accessed 4.12.2018): <https://www.youtube.com/watch?v=hGJpez7rv0>.
- Modig, N. & Åhlström, P. (2013). *Tätä on lean*, 5th ed. Rheologica publishing, Tuusula, 167 p.
- Muther, R. (1968). *Systematic layout planning*, 2nd ed. Industrial Education Institute, Boston, MA, 658 p.
- Nylund, H. (2001). Mallinnuksen ja simuloinnin käyttö kevytrakennetuotteen tuotettavuusanalyysissä, Tampereen teknillinen korkeakoulu, konetekniikan osasto, Tampere, 98 p.
- Pattanaik, L.N. & Sharma, B.P. (2009). Implementing lean manufacturing with cellular layout: a case study, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 42(7), pp. 772-779.
- Top 25 Lean Toolsweb page. Available (accessed 30.11.2018): <https://www.leanproduction.com/top-25-lean-tools.html>.
- Uusi-Rauva, E. (1996). *Ohjauksen tunnusluvut ja suoritusten mittaus*, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere, 76 p.
- Womack, J.P. & Jones, D.T. (2003). *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*, Rev. and updated ed. Free Press, New York, 350 p.
- Womack, J.P., Jones, D.T. & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*, Rawson, New York, NY, 323 p.