

**VAASAN YLIOPISTO  
TEKNILLINEN TIEDEKUNTA  
TUOTANTOTALOUS**

Mika Oksanen

**TUOTANTOLINJAN MATERIAALIVIRTOJEN PARANTAMINEN LAYOUT-  
MUUTOKSILLA  
Case: Teknologiyritys**

Tuotantotalouden  
pro gradu-tutkielma

**VAASA 2016**

## SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	7
2	LEAN MANAGEMENT	9
	2.1 Hukka (Waste)	13
	2.2 Arvoa lisäävät toimenpiteet (VA)	14
	2.3 Ei arvoa lisäävät toimenpiteet (NVA)	14
	2.4 Liikearvoa lisäävät toimenpiteet (BVA)	15
	2.5 Arvoketju (Value stream)	15
	2.6 One-Piece-Flow/Continuous flow	15
	2.7 Käyttöpaikkavarasto (Point of use storage, POUS)	17
	2.8 Laadun lähde (Quality at the Source)	17
	2.9 Just-in-time (JIT)	17
	2.10 Kaizen	18
	2.11 5M – Materiaalit, Koneet, Työvoima, Metodit ja Mittaukset	18
	2.12 Key Process Input Variables (KPIV)	18
	2.13 Key Process Output Variables (KPOV)	19
3	LEAN TYÖKALUT	20
	3.1 5S-Työpaikan organisointi ja standardisointi	20
	3.2 Overall Equipment Effectiveness (OEE)	22
	3.3 Solutuotanto	23
	3.4 Kanban	25
	3.5 Spagetti-diagrammi (spaghetti/workflow diagram)	26
	3.6 Työn mittaus	28
4	LAYOUT	30

4.1	Layouttiin vaikuttavat tekijät	31
4.2	Layoutin rajoitteet	31
4.3	Layout-suunnittelun tulokset	33
4.3.1	Kapasiteetti	33
4.4	Layout-mallit	34
4.4.1	Prosessi-layout (job shop)	36
4.4.2	Tuote-layout (tuotantolinja)	37
4.4.3	Kiinteä layout	39
4.4.4	Tuoteryhmä layout (solutuotanto)	39
5	TUOTANTOLINJAN MITOITUS JA MITTAAMINEN	42
6	KÄYTETYT MENETELMÄT JA TYÖKALUT	46
7	KOHDEYRITYS	47
7.1	Kohdeyrityksen tuotetehdas	47
8	TUOTTEIDEN RYHMITTÄMINEN JA TAKT AJAN LASKEMINEN	50
9	NYKYISEN PROSESSIN KARTOITTAMINEN	51
9.1	Työkalut tuotantolinjoilla	58
9.1.1	Kanban & POUS	58
9.1.2	Laatu	59
9.1.3	5S	61
9.1.4	One-Piece-Flow	61
10	PROSESSIN TASAPAINOTUS	62
11	UUDEN VALMISTUSPROSESSIN LUOMINEN	67
11.1	Yhdistetty tuotantolinja	67
11.2	Solutuotantomalli	70
12	POHDINTA & JOHTOPÄÄTÖKSET	74

LÄHDELUETTELO	76
Kuva 1. Siirtoerien koon vaikutus WIP:iin ja läpimenoaikoihin. Institut Lean France, 2014.	16
Kuva 2. Spagettidiagrammi. The Real Kaizen 2015.	27
Kuva 3. Eri layout mallit. Ylhäältä alaspäin: Tuotantolinja, Kiinteä layout, Solutuotanto, Job shop. Kirjasta Facilities Planning (Tompkins ym.)	35
Kuva 4. Tuotannon yleiskuva.	51
Kuva 5. A- ja B-sarjan tuotantovaiheet. Ylempänä B: 1. Kokoonpano 2. Testaus 3. Vanhennus ja pakkaus. Alempana A: 1. Kotelon esikokoonpano 2. Pistoyksikön esikokoonpano 3. Loppukokoonpano 4. Testaus 5. Vanhennus 6. Yksikköpakkaus	53
Kuva 6. Laadunhallintajärjestelmä.	60
Kuva 7. A-linjan kysynnän ja tuotantokapasiteetin välinen suhde.	62
Kuva 8. Tasapainotettu A-prosessi.	63
Kuva 9. B-linjan tilanne.	64
Kuva 10. Tasapainotetun B-linjan tuotantokapasiteetti.	66
Kuva 11. Yhdistetyn tuotantolinjan layout.	70
Kuva 12. Solumallin layout.	72
Taulukko 1. B-sarjan työnmittauksen tulokset.	53
Taulukko 2. A-sarjan työnmittauksen tulokset.	54
Taulukko 3. A-linjan tarkastelu.	55
Taulukko 4. B-linjan tarkastelu.	57
Taulukko 5. B-linjan tasapainotus.	64
Taulukko 6. Yhdistetyn tuotantolinjan kapasiteetti.	68
Taulukko 7. Solumallin linjan kapasiteetti.	71

---

**VAASAN YLIOPISTO****Teknillinen tiedekunta****Tekijä:**

Mika Oksanen

**Tutkielman nimi:**

Tuotantolinjan materiaalivirtojen parantaminen layout-muutoksilla: Case teknologiayritys Petri Helo (yliopisto), Anu Perkkiö (Kohdeyritys)

**Ohjaajan nimi:****Tutkinto:**

Kauppatieteiden maisteri

**Ohjelma:**

Tuotantotalouden maisteriohjelma

**Pääaine:**

Tuotantotalous

**Opintojen aloitusvuosi:**

2009

**Tutkielman valmistumisvuosi:**

2016

**Sivumäärä: 77**

---

**TIIVISTELMÄ:**

Tämä työ laadittiin suuren teknologiayhtiön tuotetehtaalle. Työssä oli tarkoituksena tutkia layout-muutosten vaikutusta materiaalivirtoihin tuotantolinjoilla. Apuna tässä tehtävässä käytettiin teoriaosuudessa Leanin, layoutin sekä Littlen lain teorioita. Littlen laki oli jatkosovellettu versio Wallace J. Hoppin kirjan Supply chain science mukaan. Tämän lisäksi käytännön osassa käytettiin työn mittausta ja keskusteluita eri toimihenkilöiden ja johtajien kanssa.

Teoriaosuuden mukaisesti tehtiin tutkimus, jonka tarkoituksena oli löytää uusia tuotantomalleja kahden tuotantolinjan yhdistämiseksi. Ehdotettuja ratkaisuita esitettiin kaksi, joita voidaan käyttää myös toistensa jatkeena. Näin voidaan siirtyä pehmeästi uuteen tuotantomalliin.

Tarkoituksena työssä oli myös tutkia vaikutusten suuruusluokkaa. Laskelmien pohjalta säästöjen suuruusluokka vuodessa on noin 250 000–450 000 euroa vuodessa riippuen valitusta tuotantomallista. Tähän päästään lisäksi joko ilman, tai hyvin pienillä investoinneilla. Tämän suuruusluokan säästöt oikeuttavat yrityksiä tekemään tuotannon uudelleensuunnittelua.

Jatkotutkimuksen aiheiksi jäivät työn mittaus uusille tuotantolinjoille jotta saadaan selville muutosten todelliset vaikutukset, sekä spagettdiagrammi. Lisäksi voidaan pohtia automaation lisäämisen mahdollisuutta tuotantolinjalle kuljettimen sekä sähköisen komponenttivaraston muodossa.

---

**AVAINSANAT: Lean Management, Layout, Tuotannon tehostaminen**

---

**UNIVERSITY OF VAASA**
**Faculty of technology**
**Author:**

Mika Oksanen

**Topic of the Master's Thesis:**

Improving material flows of production lines with layout-changes: Case Technology company

**Instructor:**

Petri Helo (university), Anu Perkkiö (Case company)

**Degree:**

Master of Science in Economics

**Major:**

Industrial Management

**Degree Programme:**

Master's Programme in Industrial Management

**Year of Entering the University:**

2009

**Year of Completing the Master's thesis:**

2016

**Pages: 77**


---

**ABSTRACT:**

This thesis was done for a major technology company's factory. Purpose of the thesis was to examine the effect of layout-changes for the material flows in production lines. Theory part is based on Lean, layout and the Little's law. Little's law part is the modified version of Wallace J. Hopp from the book Supply Chain Science. In addition in the case study work measurement and discussions with different employees and managers was used.

Making use of the theory a case study was made. Goal of the study was to find alternative models for a production line combining two old production lines. Study found two different solutions, which can also be used as a step by step change, first implementing the first and then the second model. This enables a smooth changeover in the production.

Other objective in this thesis was to examine the scale of the effects. Based on calculations the scale of cost savings in a year in this case can scale from 250 000 to 450 000 euros a year without any large investments. This justifies making layout-changes and re-engineering of production.

Further study topics include work measurement for the new production line to find out the real effects of the changes made, and spaghetti diagram. In addition, adding automation to the production line with conveyors or automated storage units should be examined.

---

**KEY WORDS: Lean Management, Layout, Production Efficiency**

## 1 JOHDANTO

Layout-muutokset ovat yrityksille arkipäivää. Tilanteet tuotantolinjoilla muuttuvat, kun tuotteen kysyntä vaihtelee sen elinkaaren eri vaiheissa. Myös uudet menetelmät tai yleinen tehostamisen tarve voi motivoida layout-muutokseen. Layout-muutoksiin voi kannustaa myös lisätilan tarve uusien tuotteiden saapuessa. Valmiisiin tuotantorakennuksiin on erittäin kallis rakentaa lisätilaa eikä se aina ole esimerkiksi tonttien puitteissa mahdollista, joten tuotantotila on arvokasta.

Tämän työn toimeksianto saatiin suurelta teknologiayritykseltä. Tarpeena oli nimenomaan lisä tuotantotilan saanti uusien tuotteiden valmistusta varten, sekä toiminnan järjeistämisen ja tehostamisen. Tuotantotilat ovat tällä hetkellä kokonaan käytössä, joten tyhjä lattiatila on erittäin arvokasta. Myös kapasiteetin kohdistus enemmän kysyntää vastaavaksi on yksi työn tavoitteista.

Tutkimuskysymyksenä tässä työssä on: ”Onko tuotantolinjan materiaalivirtoja ja tehokkuutta mahdollista parantaa layout-muutoksilla?”. Jatkokysymyksinä voidaan pitää: ”Kuinka paljon?”, sekä ”Tarpeeksi motivoimaan yrityksiä tekemään muutoksia?”. Vastaus ensimmäiseen kysymykseen on melkein aina kyllä. Jos tuotantolinjaa ei ole suunniteltu juuri äsken, nykyajan globaalissa maailmassa tilanne on jo saattanut muuttua sen verran, että päivitystä layoutiin tarvitaan. Layoutin muokkaamisen ja suunnittelun ei tulisi olla kertaluontoinen tehtävä, vaan sitä kannattaisi tehdä jatkuvasti jotta sopeudutaan muuttuviin tilanteisiin mahdollisimman nopeasti. Ajastaan jäljessä oleminen soveltuu nykyaikaiseen tehokkuusajatteluun huonosti.

Tämän työn tutkimuskysymystä on pyritty ratkaisemaan tutkimalla Lean managementin teoriaa, teoriaa eri layout-tyypeistä, solutuotantoa, ja tuotantolinjan mitoitusta. Käytännön osuus on rakennettu yleisesittelyiden lisäksi Frank Voehlin, James H. Harringtonin, Charron Chuckin, ja Chuck Mignosan (2014) kirjassaan esittämään solutuotannon suunnittelu-mallin mukaan. Tätä mallia on tässä työssä pyritty soveltamaan käytännössä.

Työn rakenne on etenevä. Liikkeelle lähdetään Leanin perusperiaatteista, joista edetään työkaluihin. Tämän jälkeen käsitellään layoutin teoriaa, jonka jälkeen tuotantolinjan mitoitus. Tämän jälkeen esitellään työssä käytetyt työkalut sekä menetelmät. Seuraavana siirrytään työn tutkimusosaan, joka alkaa yleisesittelyllä kohdeyrityksestä josta siirrytään tuotetehtaan esittelyyn. Tämän jälkeen alkaa tutkimus, jonka tuloksena esitellään kaksi vaihtoehtoa uudeksi tuotantolinjaksi. Viimeisenä työssä on johtopäätökset työn tuloksista.



## 2 LEAN MANAGEMENT

Lean on johtamisfilosofia, jolla pyritään turhien arvoa tuottamattomien toimintojen vähentämiseen tuotannossa. Tavoitteena on poistaa kaikki toiminnot, joista asiakas ei ole valmis maksamaan, eli ”laihempi” tuotanto. Leanin pohja on Toyota Production Systemissä, josta sitä on kehitetty eteenpäin vuosien saatossa. Shigeo Shingo määrittä alun perin 8 hukkaa, joita Leanissa yritetään vähentää:

- Ylituotanto
- Turhat varastot
- Turha materiaalien liikuttelu
- Laatuongelmat
- Yliprosessointi
- Odottelu
- Turha liike
- Työntekijöiden huono hyödyntäminen

Ylituotannossa tehdään enemmän tuotetta kuin olisi tarpeellista asiakasta tai seuraavaa prosessia ajatellen. Se voi tarkoittaa myös tekemistä liian nopeasti tai liian aikaisin. Ylituotanto tyypillisesti aiheuttaa muitakin hukkia, kuten ylimääräisiä varastoja. Ylimääräiset varastot taas johtavat turhaan materiaalien liikutteluun sekä turhiin liikkeisiin. Ylimääräiset varastot taas tarvitsevat enemmän henkilökuntaa, välineistöä ja tilaa, mitkä kaikki vähentävät tuottavuutta sekä kannattavuutta (Voehl ym. 2014: 67–68.)

Ylituotantoa aiheuttaa organisaatioissa:

- ”Varmuuden vuoksi”-ajattelu
- Epätasainen aikataulutus ja työkuorma prosessin eri osien välillä
- Automaation väärinkäyttö
- Pitkät asetusajat

(Voehl ym. 2014: 68)

Turhilla varastoilla tarkoitetaan raaka-aineita, keskeneräisiä tuotteita (work in process, WIP) tai valmiita tuotteita joita varastoidaan. Nämä ovat pelkkää kuluja eivätkä tuota mitään niitä varastoidessa. Näin ollen kaikki varastot, joita ei aktiivisesti prosessoida lisäarvon tuottamiseksi ovat hukkaa (Voehl ym. 2014: 72.) Kaikista näistä hukista varastoilla on todettu olevan suurin merkitys tuotannon tehostamisen kannalta (Santos, Wysk & Torres 2014: 7–8).

Ylimääräistä varastointia aiheuttavat:

- Huonot ennusteet
- Monimutkaiset tuotteet
- Epätasainen aikataulutus ja työkuorma prosessin eri osien välillä
- Materiaalitoimittajien laatuongelmat
- Huono kommunikaatio
- Huonosti rakennettu palkkiojärjestelmä

(Voehl ym. 2014: 72)

Turha materiaalien liikuttelu on mitä tahansa materiaalien siirtämistä tuotantolaitoksessa jossa tarvitaan jotain välinettä. Nämä välineet ovat esimerkiksi trukkeja, kärryjä tai pumppukärryjä. Materiaalien liikkuminen prosessien välillä ei anna mitään lisäarvoa tuotteelle. Ylimääräiset liikkeet voivat myös vahingoittaa tuotetta. Jos liikuttelua on paljon, tarvitaan sen hoitamiseksi henkilökuntaa, joka lisää kustannuksia. Liikuttelua voi olla vaikea vähentää, sillä prosessien siirtäminen lähemmäksi toisiaan voi maksaa paljon. Voi olla vaikeaa myös hahmottaa, minkä prosessien tulisi olla lähellä toisiaan. Tämän avuksi tulisi tuotannon virtaukset kartoittaa (Voehl ym. 2014: 89.)

Turhaa materiaalien liikuttelua aiheuttavat:

- Huonot ostokäytännöt
- Suuret tuotantoerät sekä varastointialueet

- Riittämätön tuotantolaitoksen layout
- Prosessivirtauksen huono ymmärrys

(Voehl ym. 2014: 90)

Laatuongelmilla tarkoitetaan mitä tahansa, mitä asiakas ei halua. Kun tällaisia vikoja tai ominaisuuksia esiintyy, kustannuksia aiheuttavat työn uudelleen tekeminen ja tuotantosuunnitelman muuttaminen. Viat aiheuttavat hylättyjä tuotteita, korjauksia, uudelleentekemistä, prosessin takaisinvirtausta sekä takuukäsittelyä (Voehl ym. 2014: 76.)

Laatuongelmia aiheuttavat:

- Asiakkaan vaatimusten väärinymmärrys
- Huonot ostokäytännöt tai huonolaatuiset materiaalit
- Riittämätön henkilöstön koulutus/työohjeet
- Huono tuotesuunnittelu
- Heikko prosessinohjaus
- Riittämätön suunniteltu kunnossapito

(Voehl ym. 2014: 76)

Yliprosessointia on kaikki prosessointi, josta asiakas ei ole valmis maksamaan. Prosessissa voi olla vaiheita, joita ei tarvita. Yliprosessoinnilla voi olla monia syitä, mutta yleensä prosessoinnin hukkaa löytyy eniten toimiston puolelta. Näitä esimerkiksi huono tilausten käsittely ja tiedon käsittely (Voehl ym. 2014: 80.)

Yliprosessoinnin aiheuttajia ovat:

- Tuotteeseen tehtävät muutokset ilman prosessiin tehtäviä muutoksia
- ”Varmuuden vuoksi”-ajattelu
- Todelliset asiakkaan vaatimukset määrittelemättömiä
- Yliprosessoinnilla täytetään seisonta-aikoja

- Huono kommunikaatio
- Ylimääräinen tietojenkäsittely
- Ylimääräinen laaduntarkkailu

(Voehl ym. 2014: 80)

Odotteluun kuuluu ihmisten odotusaika, koneiden odotusaika sekä materiaalien prosessoinnin odotusaika. Kun odottelua esiintyy, oikea odottaja on asiakas pidentyneen läpimenoajan takia (Voehl ym. 2014: 83.)

Odottelun syitä ovat:

- Raaka-aineiden loppuminen
- Epätasainen aikataulutus ja työkuorma prosessin eri osien välillä
- Suunnittelemattomat seisokit huoltotoimenpiteiden vuoksi
- Huono layout
- Pitkät asetusajat
- Automaation väärinkäyttö
- Laatuongelmat

(Voehl ym. 2014: 84)

Turhaa liikettä on kaikki ihmisten tai tiedon liike joka ei lisää tuotteelle arvoa. Kun materiaalit, koneet, työvoima ja menetelmät on onnistuneesti yhdistetty, saavutetaan continuous flow. Jos nämä tekijät eivät ole kunnollisesti yhdistettyjä, syntyy turhan liikkeen hukkaa (Voehl ym. 2014: 87.)

Turhaa liikettä aiheuttavat:

- Huono ihmisten, materiaalien tai koneiden tehokkuus
- Vaihtelevat työmenetelmät
- Huono tiedonkäsittely
- Epäonnistunut layout

- Huono organisointi ja epäsiisteys

(Voehl ym. 2014: 87)

Työntekijöiden huonoa käyttöä esiintyy, kun ei tunnusteta ja oteta käyttöön työvoiman henkisiä, luovia, innovatiivisia ja fyysisiä taitoja sekä ominaisuuksia. Tätä tapahtuu jossain määrin jokaisessa yrityksessä, vaikka puheet ovat usein toista (Voehl ym. 2014: 93.)

Työntekijöiden huonoa käyttöä aiheuttaa:

- Vanhakantainen ajattelu ja yrityskulttuuri
- Huonot työhönottokäytännöt
- Matala tai olematon investointi koulutukseen
- Matalapalkka-strategia

(Voehl ym. 2014: 94)

Seuraavaksi esittelen peruskäsitteitä joilla hukkia yritetään määrittää. Jokainen kohta on eritelty oman alaotsikkonsa alle.

## 2.1 Hukka (Waste)

Hukka on mikä tahansa toimenpide, josta asiakas ei ole valmis maksamaan. Sitä kuvaillaan yleensä vastakkainasetteluna arvoa lisäävien (Value added, VA) ja ei arvoa lisäävien (No value added, NVA) toimenpiteiden välillä. Hukat voidaan luokitella tämän luvun alussa esiteltyjen kategorioiden mukaan. Kaikki päivän aikana tehtävät toimenpiteet joko antavat asiakkaalle lisäarvoa, tai ovat hukkia. Leanin päätehtävä on näiden hukkien tunnistaminen, etenkin sen mistä ne alun perin johtuvat. Kun pystytään tunnistamaan ongelmien juurisyyt, voidaan päättää mitä Lean-työkaluja käytetään ongelmien korjaamiseen (Voehl ym. 2014: 108.)

## 2.2 Arvoa lisäävät toimenpiteet (VA)

Arvoa lisäävät toimenpiteet ovat toimintoja, joista asiakas on valmis maksamaan. Nämä ovat yleensä valmistusprosessin osia, josta lopputuloksena on käytännöllinen tuote asiakkaalle. Palvelualalla arvoa lisäävät toimenpiteet ovat toimintoja jotka parantavat asiakaskokemusta tai antavat lopputulokseksi jotain, jota asiakas ei olisi voinut tehdä yksin. Arvoa lisäävien toimenpiteiden tunnistamiseksi täytyy asettua asiakkaan asemaan ja miettiä mistä olisi valmis maksamaan (Voehl ym. 2014: 108.)

## 2.3 Ei arvoa lisäävät toimenpiteet (NVA)

Ei arvoa lisäävät toimenpiteet ovat toimintoja, jotka eivät lisää asiakkaan kokemaa arvoa tai jotka voidaan poistaa huonontamatta tuotetta tai palvelua. Näitä ovat esimerkiksi raporttien ja työn tekeminen kahteen kertaan. NVA-toimintoja on kahta päätyyppiä:

- Toiminnot, jotka ovat olemassa huonon prosessisuunnittelun tai prosessin huonon toiminnan vuoksi. Näitä ovat esimerkiksi turhat liikkeet, asetusajat, varastointi ja työn tekeminen kahteen kertaan. Näitä toimenpiteitä ei tarvittaisi tuotteen valmistamisen kannalta, mutta ne ovat olemassa huonon suunnittelun vuoksi. Nämä turhat toiminnot sisällytetään yleensä huonosta laadusta aiheutuviin kustannuksiin.
- Toiminnot, jotka eivät lisää asiakkaalle arvoa.

NVA-toimintojen poistaminen tulisi olla jatkuvan tarkastelun alla. Nämä poistamalla saavutetaan huomattavia parannuksia organisaation tehokkuuteen (Voehl ym. 2014: 108–109.)

## 2.4 Liikearvoa lisäävät toimenpiteet (BVA)

On olemassa myös toimintoja, jotka ovat sinänsä NVA, mutta tarpeellisia tuotteen tai palvelun toimittamisessa asiakkaalle. Näitä kutsutaan liikearvoa lisääviksi toiminnoiksi. Tällaisia pakollisia toimintoja ovat esimerkiksi turvallisuuteen, henkilöstöön, kirjanpitoon, palkanmaksuun, ympäristöön, veroihin sekä markkinointiin liittyvät toimet. Näissäkin toiminnoissa tulisi kuitenkin pyrkiä mahdollisimman tehokkaisiin ratkaisuihin (Voehl ym. 2014: 110.)

## 2.5 Arvoketju (Value stream)

Arvoketjulla tarkoitetaan organisaation kykyä tuottaa lisäarvoa asiakkaalle. Se sisältää materiaalit, työvoiman, tilat, toimittajat ja myyjät. Arvoketju sisältää myös kaikki VA ja NVA toiminnot (Voehl ym. 2014: 111.)

Arvoketjun visualisointi on tärkeä osa jokaista prosessin Lean-kehittämistä. Tämän tekemiseen on useita tapoja. Layoutin visualisoimiseen voidaan käyttää esimerkiksi arvoketjukarttaa (Value stream map, VSM), jossa eritellään kaikki prosessin vaiheet, materiaalit, välineet, tilat, työntekijät ja toiminnot joita tarvitaan asiakkaan lisäarvon luomiseksi. Siihen voidaan sisällyttää myös toimintojen tarvitsemat ajat tai niiden saanto (Voehl ym. 2014: 111.)

## 2.6 One-Piece-Flow/Continuous flow

Jatkuvan virtauksen tavoite on saada yhteen kaikki VA-toimenpiteet saumattomasti siten, että vaiheiden välillä ei ole odottelua. Tähän tavoitteeseen pääsemiseksi voidaan kehittää esimerkiksi automaatiota, kokoonpanoa, varastointia tai jakelua. Jatkuva virtaus on tärkeää, koska se eliminoi yhden suurimmista hukista, odottelun. Tämä pienentää tuotannon kustannuksia (Voehl ym. 2014: 113.)

Layoutia suunniteltaessa ja Lean-periaatteita toteuttaessa on tärkeää eritellä kaksi eri erämääritelmää:

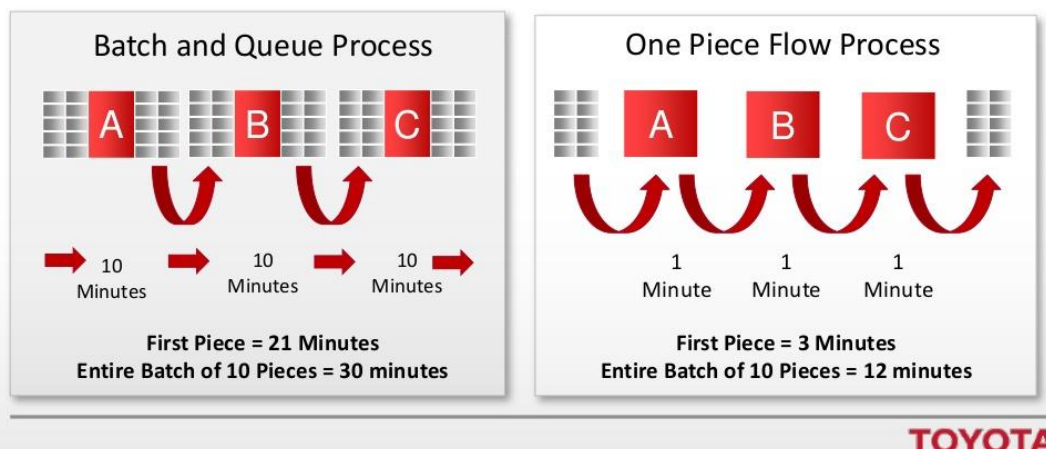
- Tuotantoerällä tarkoitetaan esimerkiksi yhden asiakastilauksen määrää
- Siirtoerä on se määrä tuotteita, jota siirretään kahden tuotantovaiheen välillä.

Kuten kuvasta 1 voidaan havaita, keskeneräisten tuotteiden määrä tuotantolinjalla vähenee sitä mukaa kun siirtoeriä pienennetään. Tästä saavutettavia hyötyjä ovat nopeampi palaute tuotteen laadusta sekä lead-ajan eli läpimenoajan pieneneminen. Tämä kuitenkin lisää materiaalien käsittelyä samassa suhteessa kuin eriä pienennetään. Ihanteellinen materiaallinen siirtomäärä, joka tuottaa jatkuvan materiaalivirtauksen prosessin eri vaiheiden välille on tavoiteltava olotila. Tätä kutsutaan jatkuvaksi one-piece flowksi. Tässä on kuitenkin yksi ongelma: kun jokin prosessin osa pysähtyy, koko prosessi pysähtyy. Tämä ongelma pakottaa määrittämään etukäteen minkälaisista määrää keskeneräisiä tuotteita pidetään prosessissa. Normaalisti yhden etukäteen sovitun ”astian”, eli esimerkiksi kuormalavallisen liikettä pidetään one-piece flow:na. One-piece flow:ssa ei siis lasketa mukaan jokaisen pienen osan, esimerkiksi ruuvien, liikettä (Santos ym. 2014: 22.)

### What does One Piece flow look like vs other methods?

In a Manufacturing Environment

This illustration shows the impact of batch size reduction when comparing batch-and-queue and one-piece-flow



Kuva 1. Siirtoerin vaikutus WIP:siin ja läpimenoaikoihin. Institut Lean France 2015.



Mitä lähemmäs täydellistä one-piece flowta mennään, sitä enemmän materiaalien liikehdintää työvaiheiden ja koneiden välillä on vähennettävä tai poistettava kokonaan. Jos tämä ei ole mahdollista, työvaiheet tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle toisiaan. Materiaalivirtaa parantaakseen on yleensä tehtävä layout-muutoksia tuotantolinjalle (Santos ym. 2014: 22.)

### 2.7 Käyttöpaikkavarasto (Point of use storage, POUS)

Käyttöpaikkavarasto tarkoittaa juuri sitä miten sen voisi ymmärtääkin, eli prosessissa tarvittavien osien varastointia lähelle niitä paikkoja, joilla niitä käytetään. Tämä vähentää NVA-toimintoja. Jos osat ovat varastoituna kauas käyttöpaikasta, joudutaan niitä hakemaan erikseen. Tämä lisää turhaa liikuttelua, odottelua, liikettä ja yliprosessointia. Se myös lisää tuotteen kuluja mutta ei tuota mitään lisäarvoa asiakkaalle. POUS on melko helppo toteuttaa ja lisää kannattavuutta huomattavasti (Voehl ym. 2014: 114.)

### 2.8 Laadun lähde (Quality at the Source)

Melkein jokaisessa organisaatiossa valvotaan laatua ja käytetään jonkunlaista laatujärjestelmää. Quality at the Sourcen perusajatuksena on, että tuotteet tarkastetaan jokaisen työvaiheen jälkeen, ja viallisia tuotteita ei päästetä eteenpäin prosessissa. Tämä säästää uudelleentekemistä, ja vialliset tuotteet eivät mene koko prosessin läpi turhaan. Utta prosessia, prosessin muokkausta ja layoutin muuttamista tehtäessä Quality at the sourcen tulisi olla osana prosessia (Voehl ym. 2014: 115.)

### 2.9 Just-in-time (JIT)

JIT on konsepti, jolla kuvataan materiaalien ja palveluiden saapumista prosessin osaan siinä vaiheessa, kun niitä tarvitaan. Tavoitteena on minimoida organisaation hallussaan pitämät materiaalit, ylimääräisten varastojen hukka. Ylimääräisten varastojen kustannukset pienentävät kannattavuutta, kaikki varastot maksavat joten ne on syytä pitää mahdollisimman pieninä (Voehl ym. 2014: 116.)

## 2.10 Kaizen

Kaizen on jatkuvan parantamisen malli. Sitä voidaan toteuttaa yksin, osana prosessinkehitys-tiimiä, tai sillä yritetään ratkaista jokin prosessiin liittyvä ongelma. Riippumatta suoritustavasta, Kaizenin soveltaminen vaatii useita vaiheita. Ensimmäisenä tarkastellaan nykyistä prosessia. Tämän jälkeen analysoidaan jokainen osa tästä prosessista. Viimeisenä täytyy määrittää parannetut prosessin osat analyysiin perustuen (Voehl ym. 2014: 116.)

Vaikka Kaizenia pidetään työkaluna, se on enemmän, filosofia. Se on prosessien jatkuvan kehittämisen periaate jota tulisi käyttää päivittäisessä toiminnassa, organisaation jokaisella tasolla (Voehl ym. 2014: 116.)

Kaizenia voitaisiin sovellettuna käyttää esimerkiksi layoutin pitämiseen ajan tasalla. Jatkuva parantaminen on tärkeää muuttuvissa tilanteissa. Näin pysyttäisiin mukana kehityksessä ja saataisiin tuotannon kapasiteetti vastaamaan paremmin kysyntää.

## 2.11 5M – Materiaalit, Koneet, Työvoima, Metodit ja Mittaukset

5M on luokittelujärjestelmä prosessin input-muuttujille. Näitä muuttujia voidaan käyttää arvoketjun tarkkaan määrittelemiseen. Näiden kategorioiden ymmärtäminen auttaa muodostamaan kokonaiskuvan organisaation prosessista ja siitä, miten nämä komponentit vaikuttavat asiakkaalle toimitettavan tuotteen laatuun (Voehl ym. 2014: 117.)

## 2.12 Key Process Input Variables (KPIV)

KPIV:t muodostuvat kaikista resursseista, joita tarvitaan asiakkaalle lisäarvon tuottamiseen. Resurssien tehokkaampi käyttö on tyypillisesti kaikkien organisaatioiden tavoite prosessien kehittämisessä. Esimerkkinä voidaan ottaa kategoria ”materiaalit”.

Prosessin parantamisen yhteydessä voidaan tunnistaa kysymyksiä, joita pitää analysoida prosessia kehitettäessä:

- Mitä materiaaleja tarvitaan tuotteen valmistukseen?
- Kuinka paljon näitä materiaaleja tarvitaan?
- Koska nämä materiaalit on hankittu?
- Kuinka paljon näitä materiaaleja on hankittu?
- Miten nämä materiaalit on pakattu toimittajan toimesta?
- Kuinka usein tarvitaan toimituksia?
- Kuinka materiaalit kuljetetaan meille?
- Missä materiaaleja varastoidaan meillä?
- Koska ja miten materiaalit siirretään käyttöpaikkavarastoon?

(Voehl ym. 2014: 117.)

### 2.13 Key Process Output Variables (KPOV)

KPOV termiä käytetään kuvaamaan suureita, joita halutaan prosessin lopputuloksena. KPOV:t ovat yleensä mittoja tai vaateita joita asiakas on asettanut prosessille, esimerkiksi toimitusaikoja tai laatuvaatimuksia. KPOV:t voivat olla joko sisäisesti (itsemääritetyt tavoitteet) tai ulkoisesti (asiakkaan vaateet) fokusoituneita. Leanin periaatteiden mukaisesti tulisi kiinnittää huomiota ulkoisiin vaateisiin. Vaikka muutama sisäinenkin mittari olisi haluttava, niitä ei saa olla liikaa. Sisäiset vaateet aiheuttavat asiakaslähtöisyyden katoamista, ja voivat johtaa toimenpiteisiin jotka eivät tuota asiakkaalle mitään lisäarvoa (Voehl ym. 2014: 118.)

### 3 LEAN TYÖKALUT

Tässä luvussa käsitellään Lean-filosofian toteuttamiseksi kehitettyjä työkaluja, joista ainakin osaa tullaan käyttämään myös työn käytännön suorittamisessa. Voehlin mukaan (2014) pelkkä työkalujen käyttö ei vielä anna huomattavia hyötyjä, vaan niitä tulisi käyttää yhteistyössä toteutettavan Lean-filosofian kanssa. Pelkkien työkalujen hyöty on yleinen harhaluulo teollisuudessa (Voehl ym. 2014: 118.)

#### 3.1 5S-Työpaikan organisointi ja standardisointi

5S on työkalu, jota käytetään kiinteistöön liittyvien asioiden organisointiin sekä materiaalien, koneiden, työvoiman ja metodien standardisointiin. Se on perustuksien rakennuspalikka Lean-yrityksessä. Continuous flow:n saavuttaminen on erittäin vaikeaa, jos prosessi on huonosti organisoitu tai standardisoitu. Tämän takia 5S on yleensä ensimmäinen askel Leanin toteuttamisessa. 5S on myös esivaatimus monien Lean-työkalujen käyttämiselle (Voehl ym. 2014: 119.)

5S:n tavoitteena on turvallinen, siisti, järjestyksessä oleva työpaikka missä työntekijöillä on helppo pääsy tuotannossa tarvittaviin välineisiin. 5S:n käyttö antaa lopputuloksena järkevän työalueen organisoiduilla työvaiheilla (Voehl ym. 2014: 119.)

5S:ssä on loogisesti viisi vaihetta. Jokainen vaihe on tarpeellinen 5S:n menestykselliseen suorittamiseen. Nämä vaiheet esitellään seuraavassa:

- **Lajittelu (Sort)** Tässä vaiheessa valitaan alue, ja lajitellaan kaikki mitä siellä on. Tavoitteena on eliminoida kaikki tarpeeton ja jättää ainoastaan VA-toimenpiteitä tukevat asiat alueelle. Ongelmana ovat asiat, joita halutaan alueelle, mutta ne eivät ole kriittisen tärkeitä. Tähän on kehitetty apuväline, punainen laputus (red tagging). Red tagging:ssä käydään työntekijöiden kanssa läpi kaikki mitä alueella on. Apuna käytetään kysymyksiä asioiden kohdalla: Tarvitaanko tätä? Jos tarvitaan, niin mihin se sijoitetaan? Kuinka monta tarvitaan? Tätä prosessia

suorittaessa törmätään moniin asioihin, joista ei olla aivan varmoja. Nämä pitäisi laputtaa punaisella. Lappu sisältää vain kriittisen tiedon esineestä, eli mikä se on, missä se on sijainnut, löytämisen päivämäärä, laputtamisen syy ja mahdollinen sijoituspaikka esineelle. Laputettu esine viedään red tag-alueelle jossa sen sijoitusta tarkastellaan esimiesten toimesta (Voehl ym. 2014: 119–120.)

- **Järjestely (Set-in-order)** Kun lajittelu on suoritettu, ollaan valmiita järjestelyyn. Tämä prosessi on hyvin yksinkertainen, mutta vaatii kriittistä tarkastelua siitä, miten tarkalleen VA-materiaalit sijoitetaan ja valmistellaan jokapäiväiseen käyttöön. Kun järjestely on suoritettu, tulisi olla kaikille selvää missä mikäkin sijaitsee. Tämä standardisointi helpottaa työvoiman liikkuvuutta työpisteeltä toiselle, kun pisteet ovat samanlaiset (Voehl ym. 2014: 120.)
- **Kiillotus (Shine)** Kun lajittelu ja järjestely on suoritettu, tulisi pitää huolta siisteydestä. Tätä vaihetta ei tulisi laiminlyödä, koska siistillä työpaikalla on mukavampaa olla, ja lika piilottaa sekaansa yleensä vikoja ja virheitä. Järjestely ja siivoaminen antaa myös työntekijöille mahdollisuuden tarkastella lähemmin työskentelylaitteita, ja puuttua ongelmiin ennen kuin niistä kasvaa liian suuria (Voehl ym. 2014: 121.)
- **Standardisointi** Tämä vaihe poikkeaa hieman aikaisemmista. Standardisointia käytetään kehittämään johdonmukainen ja jatkuva prosessi aikaisemmista vaiheista. Tämä erottaa satunnaisen, aina välillä tehtävän kehittämisen ja jatkuvan työpaikan parantamisen toisistaan. Jos standardisointi jää tekemättä, luisutaan vähitellen takaisin vanhoihin käytäntöihin. Standardisoinnin tukena voidaan käyttää tarkistuslistoja, siivousaikatauluja tai kuvia siitä miltä alueella tulisi näyttää (Voehl ym. 2014: 122.)
- **Ylläpito (Sustain)** Ylläpitovaiheessa vain varmistetaan, että saavutetut muutokset ovat pysyviä. Tämä tarkoittaa käytännössä resurssien antamista myös 5S-ohjelman ylläpitoon. Monet organisaatiot suorittavat vain 4 ensimmäistä vaihetta, mikä johtaa ennen pitkää takaisin epäjärjestykseen valahtamiseen (Voehl ym. 2014: 122.)

### 3.2 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

OEE kehitettiin pääasiassa valmistavan sektorin käyttöön mittaamaan laitteiston tehokkuutta lisäarvon luomisessa asiakkaalle. Työkalua voidaan soveltaa myös muuhun kuin valmistukseen. OEE:n pääasiallinen tarkoitus on siis mitata, kuinka tehokasta VA-laitteiston käyttö on. OEE:tä käytetään huoltoresurssien allokoinnissa, eli päätetään mihin resursseja tulisi suunnata parhaan tuottavuuden parantamisen aikaansaamiseksi (Voehl ym. 2014: 124.)

OEE:n käyttöön tarvitaan kolme tunnuslukua, jotka ovat laitteiston saatavuus, laitteiston suorituskyky ja tuotteen laatu. OEE:n tarkoituksena on tunnistaa laitteistoon liittyvät tuotantoajan menetykset jotka vähentävät tuottavuutta. Kun nämä on tunnistettu, kohdistetaan niihin jatkuvan parantamisen menetelmiä (Kaizen) (Voehl ym. 2014: 125.)

- **Laitteiston saatavuus (equipment availability)** mittaa sitä, miten hyvin laitteisto on toimintakunnossa kun sitä tarvitaan. Tämä saadaan suunnitellun käyttöajan ja tämän aikana esiintyneen seisonta-ajan erotuksesta. Tätä toteutunutta lukua verrataan sitten suunniteltuun lukuun. Tästä saatua tulosta kutsutaan usein käyntiajaksi (runtime/uptime)

$$\text{Saatavuus} = \text{Toteutunut käyttöaika} / \text{Suunniteltu käyttöaika} \quad (1)$$

- **Suorituskyky (equipment performance)** Tämä luku vertaa teoreettista kapasiteettia toteutuneisiin tuotantomääriin:

$$\text{Suorituskyky} = \text{Toteutunut tuotanto} / \text{Tuotantotavoitteet.} \quad (2)$$

- **Tuotteen laatu (product quality)** Tässä luvussa verrataan laadultaan hyväksyttävien tuotteiden suhdetta toteutuneeseen saantiin:

$$\text{Laatu} = \text{Hyväksytyt tuotteet} / \text{Kaikki tuotetut tuotteet.} \quad (3)$$

Nämä luvut yhdistämällä saadaan lasketuksi OEE (Voehl ym. 2014: 125–126):

$$\text{OEE (\%)} = \text{Saatavuus} \times \text{Suorituskyky} \times \text{Laatu.} \quad (4)$$

OEE:tä voidaan käyttää myös palveluympäristössä korvaamalla laitteistot VA-toiminnoilla. Näin voidaan laskea overall value-added effectiveness (OVAE) (Voehl ym. 2014: 126.)

### 3.3 Solutuotanto

Solutuotantoa käsitellään tässä työssä myös layoutin näkökulmasta, tässä luvussa sen vahvaa yhteyttä Lean-periaatteisiin ja tarkemmin siitä saavutettuihin hyötyihin. Tässä luvussa esitetään myös tuotantosolun suunnitteluprosessi.

Solutuotannossa pyritään resurssien mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön VA-toimien suorittamiseksi. Näihin resursseihin tyypillisesti kuuluvat raaka-aineet, työvoima, laitteet ja tilat. Tehokkaimmillaan solutuotanto on, kun tuotettaville tuotteille on vakaa kysyntä ja ne voidaan ryhmittää yhteisten työvaiheiden alle. Tavoitteena on myös one-piece flow sekä tuottaminen vain asiakkaan tilauksesta. Hyvin suunniteltu tuotantosolu tarjoaa seuraavia hyötyjä organisaatiolle verrattuna perinteiseen tuotantolinjaan:

- Läpimenoajan lyheneminen
- Laadun parantuminen
- Varastojen pienentyminen sekä sitä kautta myös kustannusten
- Työn osuuden minimoiminen kuluista

(Voehl ym. 2014: 129–130)

Tuotantosolujen laatimiseen käytetään monia Lean-konsepteja, kuten käyttöpaikkavarastot, quality at the source, JIT-tuotanto sekä Kanban. Solun

suunnittelussa on tarkoituksena eliminoida mahdollisimman paljon NVA-aktiviteettejä järjestämällä VA-aktiviteetit parhaaseen järjestykseen. Solun suunnittelussa on viisi vaihetta:

### **1. Tuotteiden ryhmittäminen**

Tuotteiden ryhmittämiseksi tulee laatia lista kaikista valmistettavista tuotteista, ja tämän jälkeen listata kaikki valmistamiseen tarvittavat työvaiheet. Tämän laatimiseksi Voehl ym. (2014) ehdottavat matriisia, jossa toisella akselilla ovat tuotetyypit ja toisella niiden valmistamiseen tarvittavat työvaiheet. Kun työvaiheet ovat selvillä, on helppo luokitella tuotteet niiden vaatimien valmistusvaiheiden mukaan. Kun tuotteet on ryhmitelty, voidaan siirtyä tuotantosolujen laatimiseen näille ryhmille (Voehl ym. 2014: 130.)

### **2. Kysynnän mittaaminen (Takt-ajan laskeminen)**

Kun ryhmittely on tehty, tulee laskea tai mitata kunkin tuotteen kysyntä. Kysyntä on saatavilla olevien työtuntien määrä jaettuna myytyjen tuotteiden määrällä. Se ilmoitetaan yleensä yksikköinä tuntia kohti tai aktiviteetteina päivää kohti. Solutuotanto toimii yleensä parhaiten kun kysyntä on suhteellisen tasaista (Voehl ym. 2014: 130.)

### **3. Nykyisen prosessin kartoittaminen**

Seuraavassa vaiheessa kartoitetaan kunkin tuotteen nykyinen valmistusprosessi. Tähän käytetään tyypillisesti työn mittausta jossa dokumentoidaan työvaiheet sekä mitataan niihin kuluva aika. Tämä työn mittaus on tärkeää työn uudelleensuunnittelussa, jotta saavutettaisiin continuous flow (Voehl ym. 2014: 131.)

### **4. Työn yhdistäminen ja prosessin tasapainotus**

Kun työvaiheiden kestot on selvitetty, voidaan siirtyä prosessin tasapainotukseen. Tasapainotuksella pyritään siihen, että mikään yksittäinen prosessin osa ei kestä



pidempään kuin asiakkaan vaatima toimitustahti. Esimerkiksi jos asiakkaan vaatimus tuotantoajalle on 30 minuuttia per tuote, mikään yksittäinen prosessin osa ei saisi kestää enemmän kuin 30 minuuttia. Mitä lähemmäs kaikki vaiheet kestävät 30 minuuttia, sen lähempänä ollaan continuous flow:ta ja sitä sujuvammin prosessi toimii. Tämän takia vaiheita järjestellään uudelleen ja joitakin toimenpiteitä toisista työvaiheista voidaan siirtää toiseen (Voehl ym. 2014: 131.)

## **5. Soluvalmistusprosessin luominen**

Kun aikaisemmat vaiheet on suoritettu, voidaan luoda kokonaan uusi solun tuotantoprosessi. Tässä vaiheessa laaditaan työn virtaus-layout joka sisältää kaikki materiaalit, välineet ja työvoiman jotka vaaditaan työvaiheiden suorittamiseksi. Tavoitteena prosessille on yksinkertaistaa materiaalivirtausta prosessinosa yhdistämällä, minimoida materiaalien käsittely ja työvoiman tehokas käyttö koko ajan. Tavoitteena on siis continuous flow. Parhaimpaan tulokseen yleensä päästään käyttämällä jotain toimivaksi todettua solu-layouttia, kuten U- tai S-solua (Voehl ym. 131.)

### 3.4 Kanban

Kanban on japaninkielinen sana joka tarkoittaa ”korttia” tai ”merkkiä” jonka tarkoitus on liikkua materiaalien mukana kertomassa tarkalleen, mitä missäkin prosessin osassa tulisi tuottaa. Useimmissa VA-prosesseissa on huomattava määrä vaiheita, Kanban yhdistää vaiheita ja auttaa continuous flow:n saavuttamisessa. Kanban-järjestelmä auttaa määrittämään tarkasti, kuinka paljon tuotetta tulee tuottaa kysynnän kattamiseksi, ja näin ollen vähentää tai eliminoi ylituotantoa, yhtä ”hukista” (Voehl ym. 2014: 132.)

Kanbania käytetään tiedon välittämiseen kahden peräkkäisen prosessin osan välillä. Osat voivat olla vierekkäin tai kauempana toisistaan. Kanban-korttia, joka sisältää tuotteen nimen tai koodin, kuvan, sen haluavan osaston ja halutun määrän kierrätetään tyypillisesti tuottajaosaston ja asiakasosaston välillä. Kanban kertoo työntekijälle mitä tehdä seuraavaksi ja mikä on tärkeää korkean tuottavuuden saavuttamiseksi. Kanban toimii

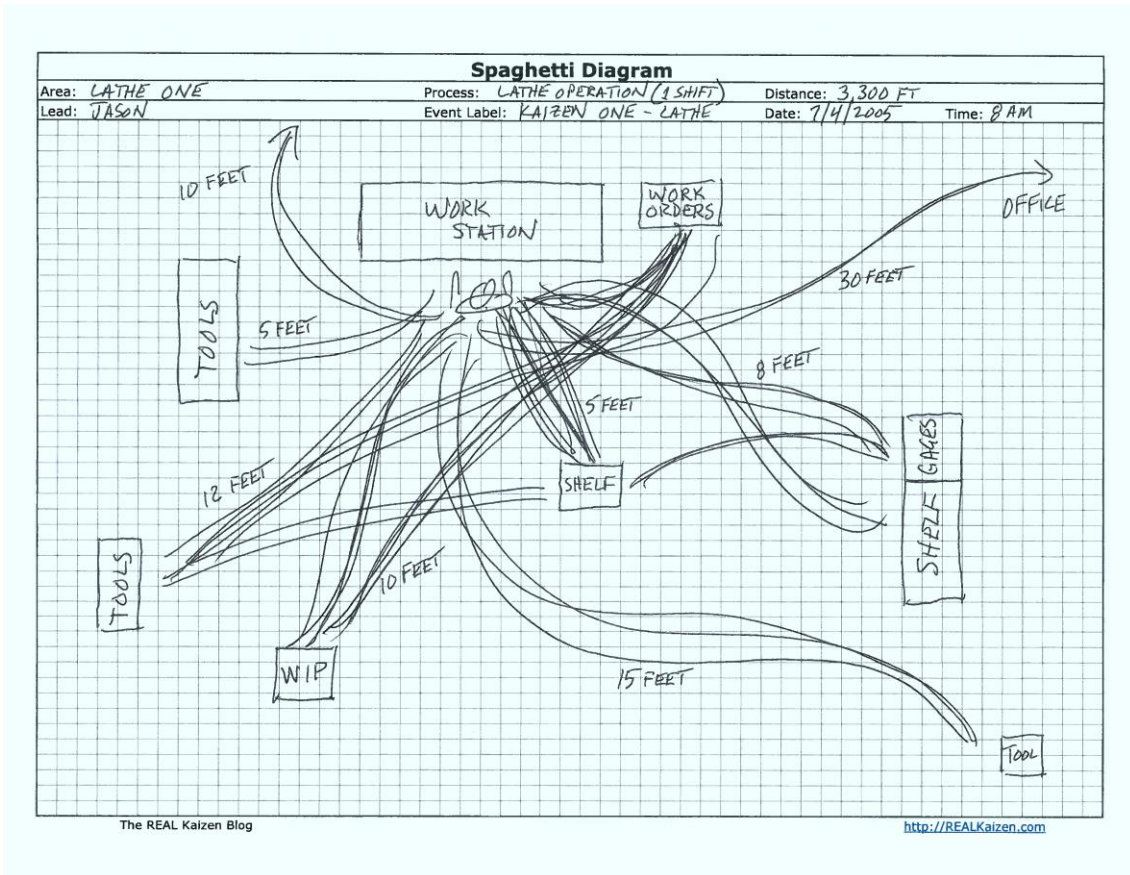
yleensä hyvin vain tasaisen kysynnän ympäristöissä. Kun kysyntä on tasaista, voidaan määrittää helposti tilaustasot ja tilausmäärät osille (Voehl ym. 2014: 132.)

Kanban on myös tehokas toimittajaketju-työkalu. Sitä voidaan käyttää tehokkaasti toimittaja-asiakas materiaalinhallintaprosessin hallintaan. Kanbania voidaan käyttää myös yhteistyössä toimittajayrityksen kanssa siten, että toimittajalla on pääsy materiaalinhallintajärjestelmään. Kun jonkun osan varastotasot ovat sovitun rajan alapuolella, toimittaja toimittaa automaattisesti sovitun tilausmäärän asiakkaalle. Tämä vähentää asiakasyrityksen varastoja, ja eliminoi ylisuurten varastojen hukkaa (Voehl ym. 2014: 133.)

### 3.5 Spagetti-diagrammi (spaghetti/workflow diagram)

Spagetti-diagrammit kuvaavat työn tai materiaalien fyysisen virtauksen prosessissa. Niitä voidaan käyttää tiedon, materiaalien tai ihmisten liikkeiden kuvaamiseen. Ne sopivat työtilan layoutin kehittämiseen sekä itse työn kehittämiseen (Michael L. George, David Rowlands, Mark Price, John Maxey 2005: 42.)

Kuvassa 2 on esimerkki spagettidiagrammista. Kuten siitä voidaan havaita, työtilasta luodun kuvan ei tarvitse olla tarkka, kunhan siihen saadaan merkittyä etäisyydet sekä suunnilleen hahmoteltua tutkittava tila.



Kuva 1. Spagettidiagrammi. The Real Kaizen 2015.

Diagrammin luomiseksi:

1. Etsitään tai luodaan kuva työtilasta
2. Määritetään prosessin vaiheet joko valmiista prosessiluettelosta tai määritetään ne tässä vaiheessa
3. Aloitetaan piirtäminen ensimmäisestä vaiheesta, tästä nuoli seuraavaan jne.
4. Tarkastellaan valmista diagrammia työn virtauksen parantamiseksi; jos linjat risteävät paljon ja menevät edestakaisin, tulisi layoutia muuttaa työn virtauksen selkeyttämiseksi. Myös jos monesta eri vaiheesta linjat tulevat takaisin samaan paikkaan, tulisi selvittää voidaanko tätä osaa työstä yhdistää johonkin toiseen vaiheeseen (George ym. 2005: 43.)

### 3.6 Työn mittaus

Työn mittaus, jota kutsutaan myös työ-aika mittaukseksi, määrittää kuinka paljon aikaa tarvitaan yhden työyksikön suorittamiseen. Se mittaa osaavan työntekijän, standardi metodeilla, ilman kiirettä operaation suorittamiseen kuluvan ajan tarpeen. Työn mittauksen oikea käyttö voi lisätä tehokkuutta, mikä tekee mahdolliseksi korkeammat palkat työntekijöille, sekä vähentää kustannuksia ja pienentää läpimenoaikoja. Ennen työn mittauksen aloittamista on työ standardisoitava, jotta mittauksen tuloksia voidaan verrata periaatteelliseen kapasiteettiin (Richard Tersine 1980: 285.)

Työn mittauksen tuloksena saadaan tuotantoaikojen oletusarvot. Näihin yleensä sisällytetään myös mahdollisten viiveiden, kuten taukojen sekä muiden pakollisten viiveiden vaikutus. Tuotantoaikojen oletusarvoja käytetään moniin asioihin organisaatioissa. Monet kvantitatiiviset työkalut tarvitsevat laskelmiin joko työhön kuluvaan aikaan tai siitä johdettua työvoiman kustannusta. Työn mittauksesta saadaan tukea esimerkiksi työvoiman määrän määrittämiseen, hinnoitteluun, tuotannon suunnitteluun sekä toimitusaikojen arviointiin (Tersine 1980: 285.)

Työ-aika mittauksen suorittamisessa työtä seurataan vierestä, kun sitä suoritetaan. Suorittaja ottaa ajat yhden tai useamman työntekijän suorituksesta, josta saadaan johdettua standardit koko organisaatiolle. Mittauksessa mitataan sekuntikellolla pätevän työntekijän työn eri vaiheisiin keskimääräisesti kuluttama aika. Pätevällä työntekijällä on oltava tarvittavat taidot ja tiedot työn suorittamiseen turvallisesti, riittävällä laadulla sekä normaalilla nopeudella. Työ-aika mittausta käytetään yleensä toistuvien, lyhytkestoisten tehtävien mittaamiseen. Työn tutkimusta tehdessä tulee ottaa huomioon seuraavat perusvaiheet:

1. Operaation ja operaattorin perustiedot
2. Työn standardisointi
3. Operaation jako elementteihin
4. Työ-aika mittaus (todellinen aika)

5. Riittävien mittausten määrän määrittely
6. Jokaisen työ-elementin keskimääräisten kestojen laskeminen
7. Operaattorin suorituskyvyn määrittäminen
8. Normaali-operaatioajan laskenta (kohtien 6. ja 7. summaus)
9. Hukka-aikojen määrittely (tauot ja viiveet)
10. Standardi-ajan määrittely

(Tersine 1980: 286.)

Työ-aika mittauksen alussa laaditaan taustatietoa mitattavasta kohteesta, kuten työntekijän nimi, mittauksen paikka, päivämäärä ja operaation kuvaus. Lisäksi luonnostellaan tai hankitaan mitattavan työpisteen layout ja listat kaikista laitteista, materiaaleista, työkaluista ja muusta kalustosta. Näistä kuvauksista voi olla myöhemmin suuresti hyötyä, kun arvioidaan onko prosessissa jokin muuttunut ja tarvitaanko uutta työ-aika mittausta (Tersine 1980: 286.)

## 4 LAYOUT

Layoutin tarkoitus on kehittää tuottava järjestelmä, joka täyttää kapasiteetille ja laadulle asetetut tavoitteet mahdollisimman taloudellisesti (Tersine 1980: 330). Layoutin suunnittelu on helpompaa kokonaan uuden tuotantolinjan tapauksessa, mutta useimmiten layoutin teko on uudelleen järjestelyä, jo olemassa olevien tuotantolaitosten uudelleensuunnittelua. Tuotettavien tuotteiden, työskentelytapojen, tuotesuunnittelun tai tuottamiseen käytettävien välineiden muutos voi aiheuttaa tarpeen suunnitella tuotantojärjestelyt, layout uudelleen. Layout-muutosten laajuus voi vaihdella suuresti. Se voi käsittää vain pienen säädön yhteen tuotantoyksikköön, tai koko laitoksen uudelleenjärjestelyn (Tersine 1980: 330.)

Yritykset muuttuvat jatkuvasti, joten layout-muutoksiinkin törmätään usein. Muutoksella saadaan hyvästä layoutista huono, joten hyvän layoutin tulisikin olla muuttuva layout. Sen tulisi olla tarpeeksi joustava, jotta sitä voidaan muuttaa nopeasti, pienin kustannuksin, ja mahdollisimman lyhyellä tuotannon katkeamisella (Tersine 1980: 330.)

Layout-muutoksista aiheutuu kustannuksia, joten ne täytyy suunnitella tarkkaan ennen toteutusta. Nämä kustannukset jakautuvat kahteen luokkaan:

- Tuotannon katkeamisesta aiheutuvat kustannukset
- Laitteiden fyysisestä siirrosta aiheutuvat kustannukset

Layout-muutosta tehtäessä ei todennäköisesti pystytä samalla tuottamaan mitään. Laitteiden fyysisestä siirtämisestä aiheutuvat kustannukset käsittävät suunnittelusta, purkamisesta, kokoamisesta, liikuttamisesta ja asentamisesta aiheutuvat kustannukset (J.S Kochhar & S.S Heragu 1999: 2430.)

Layout-ongelma sisältää olemassa olevan tuotantolaitoksen uudelleenjärjestelyn, muuton toiseen rakennukseen, tai uuden tuotantolaitoksen suunnittelun. Suurin joustavuus on saavutettavissa, kun suunnitellaan kokonaan uutta rakennusta ja tuotantojärjestelmää.

Layout-ongelma on määrittää paras suunnitelma useiden vaihtoehtojen joukosta. Sen tulisi olla paras tämän päivän tarpeisiin, ja olla mukautuva myös tulevaisuuteen. Vaikka layout-suunnittelu on haastavaa, se on perusteltavissa, koska tuotantolaitoksia on vaikeampi muuttaa kun ne ovat jo olemassa (Tersine 1980: 330.)

Huono layout näkyy monella tavalla. Sotkuinen tuotantoalue ja täydet käytävät antavat vinkkejä siitä, että parantamisen varaa on. Pitkät kiertoajat, huono asiakaspalvelu ja menetetyt tilaukset ovat varoitusmerkki tehottomuudesta. Huonot turvallisuustulokset ja korkeat huoltokustannukset usein osoittavat heikkouksien luokse. Kaikkia huonon layoutin aiheuttamia oireita on vaikea listata, mutta jos niitä esiintyy, tulisi uudelleenjärjestelyä pohtia (Tersine 1980: 330.)

#### 4.1 Layouttiin vaikuttavat tekijät

Suurin osa layoutin suunnitteluun vaikuttavista tekijöistä tulee tuote- ja prosessipäätöksistä ja tehtaan sijainnista. Näitä tekijöitä ovat ennusteet, piirustukset, määritelmät, operaatiokartat, reittikartat, työkuvaukset ja tehtaan sijainti. Ennusteet kertovat kysynnän ajoituksen ja rakenteen. Tuotteen piirustukset ja ominaisuuksien kuvaukset määrittävät tuotteen ominaisuudet. Operaatiokartat määrittelevät, mitä työvaiheita tehdään milläkin työpisteellä. Reittikartat määrittelevät tuotannon kulun. Tehtaan sijainti määrittää, missä tehdas sijaitsee. Nämä alkutiedot tarvitaan, ennen kuin varsinainen laitoksen layout laaditaan (Tersine 1980: 330-331.)

#### 4.2 Layoutin rajoitteet

Jos saatavilla olisi loputtomasti resursseja, ei layoutinkaan suunnittelussa olisi ongelmia. Tosielämässä resursseja on kuitenkin saatavilla rajoitettu määrä. Tämä asettaa rajoituksia sille, minkälainen toteutus on mahdollista. Richard Tersine (1980: 331) määrittää rajoitukset neljään luokkaan:

- Tuotantolaitteiden saatavuus
- Tuotantotavoitteet

- Inhimilliset tekijät
- Pääoman saatavuus

Tuotantotavoitteet vaikuttavat laitoksen suunniteltuun kapasiteettiin. Tuotannosuunnittelija on kiinnostunut nykyisestä ja tulevaisuuden kysynnän tasosta, sekä nykyisistä ja tulevista tuotteista joita tuotetaan. Kysyntä usein vaihtelee kausittain tai sykleittäin, josta voi aiheutua ylimääräisiä kustannuksia. Kapasiteetin määrittely on usein tasapainoilua kustannusten ja toimitusvarmuuden välillä (Tersine 1980: 331.)

Organisaatio voi tasapainottaa kysynnän vaihtelua tuotantomäärien, työvoiman määrän, tai varastotasojen avulla. Muuttuvan tuotantomäärän järjestelmässä varastotasot pidetään mahdollisimman alhaalla ja työvoiman määrä vaihtelee huomattavasti. Tasaisella tuotantomäärällä työvoiman määrä ei vaihtele, mutta varastotasot kyllä. Jos kysyntä on tasaista, on haluttu tuotantomäärien tasokin helpompi määrittää (Tersine 1980: 332.)

Valittu kapasiteetti on yleensä kompromissi suurimman mahdollisen, ja keskimääräisen odotetun kysynnän välillä. Kapasiteetin määrittely kvantitatiivisesti vaatii sopivan mittayksikön, jolla kapasiteettia mitataan. Tämä voi olla esimerkiksi työvoiman, laitteiden, tai mies työtuntien määrä. Yksikkönä voidaan käyttää myös pelkästään tuotettujen tuotteiden yksikkömääriä, tonneja, konetunteja tai litroja. Kapasiteetti voidaan määrittää yksivuoro- tai monivuorotyölle. Kapasiteettia voidaan nostaa ylitoiden tai ylimääräisten vuorojen avulla, tai alihankinnalla (Tersine 1980: 332.)

Kapasiteetti määrittelee maksimituotantomäärän tuotantolaitokselle. Kapasiteettiin vaikuttaa työvuorojen määrä, ylityöt, kasvuvalmiudet, alihankinta sekä kausittaiset kysynnän tasot. Kapasiteettiongelman ratkaisu riippuu tulevan kysynnän ennusteista. Kapasiteetti määrittää investoinnin suuruuden sekä tulevat käyttökustannukset (Tersine 1980: 332.)

Kun kapasiteetti on tiedossa, tarvittavien tuotantolaitteiden määrä tulee selvittää. Jos käyttämätöntä reserviä on saatavilla, se voidaan ottaa käyttöön. Jos laitteita ei ole olemassa, niihin tulee investoida. Koska uusi tuotantolaitos on aina valtava investointi,



pääoman saatavuus on iso rajoittava tekijä tuotantolaitoksen suunnittelussa. Jokaisen layout-suunnitelman ensimmäinen vaihe on määrittää, mitä ollaan paikalleen laittamassa. Se aloitetaan määrittämällä tarvittavien tuotantolaitteiden määrä ja laatu. Tarvittavien tuotantolaitteiden ominaisuudet saadaan prosessipäätöksistä, niiden määrä halutusta kapasiteetista (Tersine 1980: 333.)

Inhimillisillä tekijöillä tarkoitetaan ensisijaisesti työskentelyoloja. Lämpötila ja kosteus tulisi olla siedettävällä tasolla, joten lämmitys ja ilmastointilaitteistoihin tulisi kiinnittää huomiota. Tarvittava valaistus on tärkeä työn sujumisen kannalta. Työturvallisuus on erittäin tärkeä tekijä jo suunnitteluvaiheessa. Meluisat tai muuten terveydelle haitalliset alueet tulee eristää, tai työntekijät varustaa tarpeellisin suojavarustein. Liikenteen ja materiaalien liikkuminen tulisi suunnitella mahdollisimman turvalliseksi (Tersine 1980: 334.)

#### 4.3 Layout-suunnittelun tulokset

Layout-suunnitelman lopputulos on kapasiteetin, layout-tyypin, ja tarvittavien laitteiden määritelmä. Näin tehdään koko laitoksen suunnitelma selvästi määritellyksi (Tersine 1980: 338.) Seuraavassa käsitellään näitä määreitä tarkemmin.

##### 4.3.1 Kapasiteetti

Tuotantolaitoksen maksimituotantomäärä on sen kapasiteetti. Organisaatioilla joilla on vain yksi tai vähän tuotteita, sen määrittelemine on helpointa. Usean tuotteen organisaatioilla joissa tuotantoa tehdään samoilla laitteilla, kapasiteetin määrittelemine on vaikeampaa. Kapasiteetin on oltava riippuvainen ajasta, ja se ilmoitetaan tahtina (esimerkiksi yksikköä/tunti). Kapasiteetti on teoreettinen luku, jota voi olla mahdoton saavuttaa tosielämässä (Tersine 1980: 338.)

Tarvittavien laitteistojen ja tuotantolaitoksen koon määrittää myös työtuntien määrä vuorokaudessa ja työpäivien määrä viikossa. 7 päivää viikossa, kolmessa vuorossa

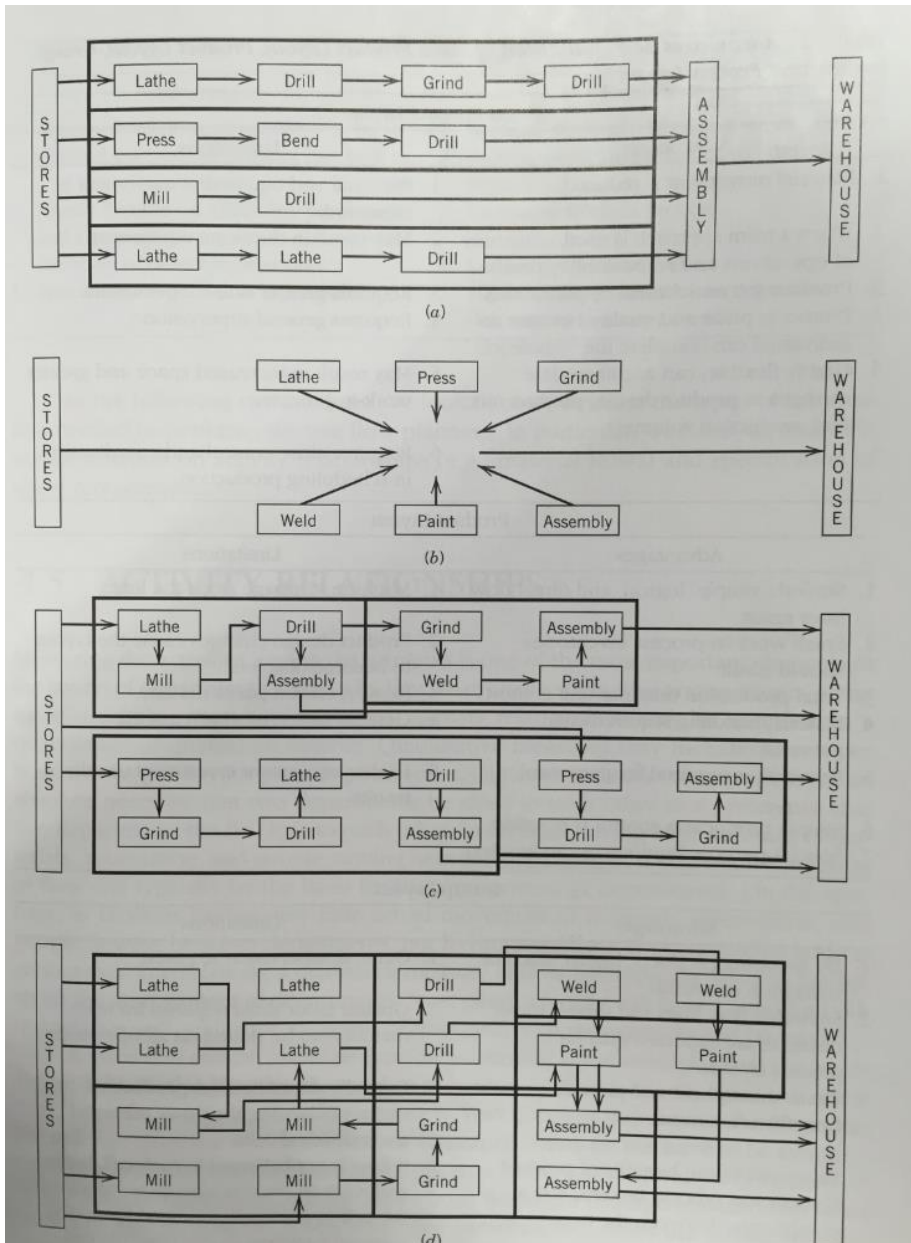
pyörivä tuotantolaitos tarvitsee samojen tuotantomäärien tuottamiseen vähemmän laitteita ja tilaa kuin vain yhdessä vuorossa ja 5 päivää viikossa pyörivä laitos. Monet kiinteät kustannukset kuten vakuutukset ja verot ovat pienempiä, kun pienempikokoista laitosta käytetään tehokkaasti. Pienempi tuotantotahti mahdollistaa kuitenkin huoltojen suorittamisen helpommin esimerkiksi tuotantoajan ulkopuolella. Myös laitoksen yhdistelmäkäyttö on vaihtoehto, joitakin osia voidaan käyttää vaikka kolmessa vuorossa, kun taas toisia käytetään vain 8 tuntia päivässä. Usein organisaation lähestyessä 100 % kapasiteettia tehokkuus kärsii ja kustannukset nousevat. Täyteen kapasiteettiin pääseminen ei ole mahdotonta, mutta se on haastavaa rikkoutuneiden laitteiden sekä henkilökunnan poissaolojen ja lomien vuoksi (Tersine 1980: 338.)

Maksimikapasiteetin määrittelee tuotannon pullonkaulaoperaatio. Kapasiteetti ei voi olla enemmän kuin sen huonoiten suoriutuvan osan kapasiteetti. On yleistä, että henkilökunta ja laitteistot mitoitetaan nykyisen tarpeen mukaan, ja tilat mitoitetaan tulevaisuutta ajatellen. Myöhempi tilan lisäys on yleensä kalliimpaa ja se kestää kauan. Kapasiteetin laskeminen on yleensä helpompaa kuin sen lisääminen, kapasiteetin kasvattaminen vie paljon enemmän aikaa (Tersine 1980: 339.)

#### 4.4 Layout-mallit

Layoutit voidaan jaotella työn virtauksen mukaan. Työn virtauksen mukaiset layout mallit ovat prosessi-layout, tuote-layout ja kiinteä layout. Prosessi-layoutissa samaa tehtävää suorittavat työpisteet ovat lähekkäin riippumatta niiden valmistamasta tuotteesta. Tuote-layoutissa työpisteet on järjestetty etenevään järjestykseen yhden tuotetyypin tuottamiseksi, esimerkiksi tuotantolinjat on järjestetty näin. Kiinteä layout, tai paikallaan tehtävä layout, keskittyy yhteen pisteeseen koska valmistettava tuote on liian iso tai painava siirrettäväksi, esimerkiksi rakennus tai lentokone (Tersine 1980: 339.)

Näiden lisäksi Tompkins, White, Bozer & Tanchoco (2010) luokittelevat myös tuoteperhe-layoutin, tai solu-layoutin. Tässä vaihtoehdossa samankaltaiset tuotteet jaetaan tuoteperheisiin. Näillä tuoteperheillä tulee olla samat valmistusprosessit. Työpisteet, joita tarvitaan tuoteperheen valmistamiseen, ryhmitetään soluiksi (Tompkins ym. 2010: 100.) Layout-tyypit on esitelty kuvassa 3.



Kuva 2. Eri layout-mallit. Ylhäältä alaspäin: Tuotantolinja, Kiinteä layout, Solutuotanto, Job shop. Kirjasta Facilities Planning (Tompkins ym.)

#### 4.4.1 Prosessi-layout (job shop)

Prosessi-layout, jota kutsutaan myös *job shop-layoutiksi*, tarkoittaa samaa tehtävää hoitavien koneiden, välineiden ja prosessien sijoittamista lähekkäin. Sitä käytetään kun samojen laitteiden tulee tuottaa laajaa määrää erilaisia tuotteita. Prosessi-layout tuo joustavuutta, samoilla resursseilla voidaan tuottaa eri tuotteita kysynnän mukaan. Eri työpisteiden sijainnit päätetään prosessi-layoutissa yleensä materiaalivirtojen kustannusten minimoimiseksi. Koska tuotteen siirtely ei sinänsä lisää mitään arvoa tuotteelle, sitä voidaan pitää turhana. Täten layout, joka minimoi tuotteen ja materiaalien turhia siirtoja voi lisätä tehokkuutta (Tersine 1980: 340.)

Santos ym. (2014) ovat listanneet prosessi-layoutin hyvät ja huonot puolet. Hyviä puolia ovat:

- Järjestelmän joustavuus, sillä pystytään tuottamaan melkein mitä tahansa mitä pystytään koneisiin laittamaan
- Prosessit pystytään kartoittamaan tarkasti
- Työvälineitä pystytään jakamaan, niiden tehokas käyttö

Näiden lisäksi Anir S. Kumar (2008) listaa muutaman lisäkohdan:

- Tuotantotilojen tehokkaampi käyttö
- Työn monimuotoisuus lisää työn haastavuutta ja kiinnostavuutta

(Anir S. Kumar 2008: 44.)

Huonoja puolia ovat:

- Spagettidiagrammi on vaikea laatia ja kehittää
- Yleensä paljon odottelevia osia koneiden edessä
- Materiaalien käsittelyajat ovat pitkiä
- Job shop on vaikea automatisoida (Santos ym. 2014: 26–27.)

Lisäksi Kumar (2008) listaa muutaman lisähaasteen job shopille:

- Tuottavuus laskee asetusaikojen takia (paljon asetuksia)
- Läpimenoajat yleensä pidempiä
- Tilaa ja pääomaa sitoutuu WIP:siin

(Kumar 2008: 44.)

#### 4.4.2 Tuote-layout (tuotantolinja)

Tuotantolinjalla laitteet on asetettu siihen järjestykseen, jossa tuote valmistetaan. Paras tasapaino saavutetaan, kun linjan jokainen osa vie suurin piirtein saman verran aikaa. Tämän ansiosta linjalle ei synny turhaa odottelua. Ongelmana tuotantolinjassa on, miten tämä saavutetaan. Tätä kutsutaan tasapainotusongelmaksi (Tersine 1980: 342.)

Tasapainotusongelmalla pyritään ratkaisemaan, millä suoritusaikojen yhdistelmällä tuotantolinja on tasapainossa, eli millä pystytään maksimoimaan työvoiman käyttöaste. Toisinpäin ilmaistuna voidaan myös yrittää minimoida työvoiman seisonta-aikaa. Tehtävä tai työelementti on pienin työn osa joka voidaan erottaa muista ja suorittaa mahdollisesti eri järjestyksessä. Kuitenkin, erittäin pieni tuotantolinja jolla on vain 10 tehtävää, antaa vaihtoehtojen määräksi  $10!$ . Tämä on numeroin esitettynä  $3,63 \times 10^6$ . Vaikka teknisesti mahdollisten vaihtoehtojen määrä on tosiasiallisesti pienempi, ongelma on silti erittäin monimutkainen ja haastava. Ratkaisuksi muodostuu järkevien tehtäväkokonaisuuksien muodostaminen työasemille, ja työasemien määrän minimoiminen ottaen huomioon haluttu läpimenoaika tuotteelle (Tersine 1980: 342.)

Kiertoajan valinta riippuu tuotteen kysynnästä, ja laitoksen halutusta kapasiteetista. Yksi valmis tuote valmistuu linjalta jokaisen kiertoajan jälkeen. Täydellisesti tasapainotetulla tuotantolinjalla jokaisen työaseman kiertoaika on sama kuin koko tuotteen kiertoaika. Jos täydellistä tasapainoa ei voida saavuttaa, joillakin työasemilla tulee joutoaikaa. Tuotantolinjan tasapainotuksessa ensimmäinen askel on päättää säännöt, joiden mukaan työtehtäviä voidaan jakaa työasemien kesken. Niitä voidaan siirrellä niin kauan, kunhan

suoritusjärjestys ei riko teknologisia vaatimuksia ja minkään työaseman kiertoaika ei nouse korkeammalle kuin haluttu koko järjestelmän kiertoaika. Linjan tasapainotuksessa suoritusajat mielletään yleensä vakioiksi, vaikka inhimillinen tekijä yleensä muuttaa ne satunnaisemmiksi (Tersine 1980: 342.)

Monesti tuotannon layout ei ole puhtaasti linja eikä puhtaasti job shop, vaan sekoitus molempia. Joitakin tehtäviä voidaan suorittaa jatkuvasti, kun taas toisia satunnaisesti. Parasta olisikin ottaa parhaat puolet molemmista (Tersine 1980: 342.)

Santos ym. (2014) ovat listanneet tuotantolinjojen hyviä ja huonoja puolia. Hyviä puolia ovat:

- Isoja tuotantoeriä voidaan tuottaa pienillä kustannuksilla
- Materiaalien käsittely minimaalista
- Keskeneräiset tuotteet ovat minimissä
- Järjestelmää on helppo hallita
- Automaation lisääminen on helpompaa

Lisäksi Kumar (2008) listaa:

- Läpimenoajat ovat lyhyempiä
- Tilaa tarvitaan vähemmän materiaalien siirtelyyn ja WIP:ssin varastointiin
- Työvoiman osaamisen tarve on matalampi

(Kumar 2008: 45)

Huonoja puolia ovat:

- Joustamattomuus, linjat ovat yhdelle tai vain muutamalla tuotteelle
- Asetusaika on hyvin pitkä
- Varastossa täytyy pitää paljon varaosia, jotta tuotanto ei katkea huoltojen vuoksi

(Santos ym. 2014: 27–28)

Näiden lisäksi Kumar (2008) listaa:

- Koneen rikkoutuminen aiheuttaa koko tuotantolinjan pysähtymisen siitä eteenpäin
- Tuotteisiin tehtävät muutokset saattavat vaatia suuria muutoksia myös tuotantolinjaan
- Pullonkaulaoperaatio päättää koko tuotantolinjan kapasiteetin

(Kumar 2008: 45)

#### 4.4.3 Kiinteä layout

Kiinteä layout ei ole organisaatioissa kovin yleinen, mutta sitä kuitenkin käytetään erittäin suurten tuotteiden valmistuksen yhteydessä, kuten laivojen, lentokoneiden ja rakennusten. Tässä layoutissa valmistettava tuote seisoo paikallaan ja tarvittavat resurssit tuodaan sen luokse. Työtehtävät suoritetaan teknologian vaatimassa järjestyksessä. Aikataulut nousee erittäin tärkeään osaan tämän kaltaisissa projekteissa (Tersine 1980: 343.)

Kiinteän layoutin eduista kertoo Kumar (2008) seuraavasti:

- Työ on monimuotoista ja pitää yllä työvoiman osaamista
- Työntekijät sitoutuvat projektiin ja ovat ylpeitä saavutuksistaan ja tekemästään työstä
- Joustavuus

(Kumar 2008: 46)

#### 4.4.4 Tuoteryhmä layout (solutuotanto)

Solutuotannossa käytetään tuotantosoluja. Näitä soluja voidaan muodostaa usealla tavalla. Suosituin tapa on ryhmittää koneet, työntekijät, materiaalit, työkalut, materiaalin käsittely sekä varastovälineet tuottamaan tuoteperheitä. Solutuotannon suosio kasvoi

1900-luvun lopulla ja yhdistetään vahvasti just-in-time tuotantoon (JIT), total quality management:iin (TQM) ja Lean valmistukseen (Tompkins ym. 2010: 101.)

Solutuotannon etuja verrattuna prosessituotantoon ovat:

- Prosessilayoutissa tarvitaan paljon epäsuoraa työvoimaa materiaalien käsittelyyn
- Prosessilayoutissa on tyypillisesti paljon keskeneräisiä tuotteita prosessissa (work in process, WIP)
- Tuotelaadun vastuut ovat selkeämmät solutuotannossa

Solutuotannon oikea käyttö vähentää turhaa liikuttelua, lisää tuotannon ja henkilöstön joustavuutta sekä lisää taloudellisuutta (Santos ym. 2014: 43–44.)

Solutuotanto voi lisäksi parantaa:

- Komponenttien standardisointia ja järjeistystä
- Ennusteiden luotettavuutta
- Laitteiden käyttöastetta ja tuottavuutta
- Asiakaspalvelua

Sekä vähentää:

- Paperityötä ja läpimenoaikoja
- WIP:sia ja turhaa liikettä
- Kustannuksia

(Kumar 2008: 47)

Solutuotannon menestyksellinen käyttö edellyttää valinta-, suunnittelu-, operaatio- ja kontrolliongelmien ratkaisua. Valinnalla tarkoitetaan sopivien koneiden ja valmistettavien tuotteiden valinnan soluja varten. Suunnitteluongelmalla tarkoitetaan solun layout, tuotanto ja materiaalivirtojen vaatimuksia. Operaatiot määrittävät



tuotettavien erien koot, aikataulutuksen, työvoiman määrän ja osaamisen, ja tuotannonohjauksen laadun (push vs. pull-tuotanto). Kontrollilla tarkoitetaan, millä solun suorituskykyä mitataan (Tompkins ym. 2010: 101.)

## 5 TUOTANTOLINJAN MITOITUS JA MITTAAMINEN

Melkein kaikkia tuotantolinjoja voidaan mitata seuraavien kolmen suureen avulla:

- Throughput (TH), eli tahti jolla järjestelmä pystyy tuottamaan tuotteita.
- Work in process (WIP), eli keskeneräisten tuotteiden määrä prosessissa. Tätä voidaan mitata fyysisinä kappaleina tai rahallisena arvona.
- Cycle time (CT), eli kuinka kauan tuotteella kestää tulla prosessin läpi, sisältäen uudelleen tehdyn työn, laatuongelmista johtuvat uudelleen aloitukset sekä muut tuotantohäiriöt.

Tyypillisesti tavoitteena on pitää tuotantotahti korkeana, mutta keskeneräisten tuotteiden määrä sekä cycle time matalana (Wallace J. Hopp 2008: 12.)

Throughputiin, WIP:iin sekä Cycle timeen suuresti vaikuttava asia on kapasiteetti. Kapasiteetti on maksimi keskimääräinen tahti, jolla järjestelmä pystyy tuottamaan tuotteita. Kapasiteetti voidaan määrittää yksittäiselle työpisteelle, linjalle tai koko tuotantolaitokselle. Yksittäiselle työpisteelle voidaan kapasiteetti määrittää esimerkiksi näin:

$$\text{Kapasiteetti} = \text{Teoreettinen maksimikapasiteetti} - \text{Häiriöt}, \quad (5)$$

jossa teoreettinen maksimikapasiteetti on tahti ihanteellisissa olosuhteissa ja häiriöt ovat mitä tahansa asioita jotka hidastavat prosessia (Hopp 2008: 13.)

Linjojen ja laitoksien kapasiteettia rajoittavat peräkkäisten työvaiheiden kapasiteetit. Prosessin vaihe, joka rajoittaa koko järjestelmän kapasiteettia kutsutaan pullonkaulaksi. Usein tämä on hitain työvaihe. Järjestelmissä, missä erilaiset tuotteet liikkuvat eri reittejä, missä laatuongelmat tiputtavat tuotteita pois prosessista, tai tuotteiden täytyy käydä samalla asemalla kahteen kertaan voi pullonkaula olla myös jokin muu kuin hitain

prosessin osa. Syy tähän on se, että eri työpisteille saapuvan työn määrä on erilainen (Hopp 2008: 13–14.)

Työpiste, joka rajoittaa koko prosessin suorituskykyä on kiireisin. Tätä voidaan mitata käyttöasteella (utilization), joka on se osa ajasta kun työpiste ei ole työtön. Käyttöaste lasketaan:

$$\text{Käyttöaste} = \frac{\text{Työpisteelle saapuvan työn määrä}}{\text{Työpisteen kapasiteetti}}. \quad (6)$$

Tämän yhtälön avulla voidaan määritellä tuotantolinjan pullonkaula. Pullonkaula on se työvaihe, jonka käyttöaste on korkein (Hopp 2008: 14.)

Kiertoaika, Cycle time, on riippuvainen käyttöasteesta. Kun käyttöastetta nostetaan, myös kiertoaika kasvaa ja kun lähestytään 100 % käyttöastetta, se kasvaa voimakkaasti. Kun käyttöaste on matala, tuotanto pysyy helposti mukana saapuvan työn määrässä. Kun käyttöaste on korkea, syntyy jonoja ja jälkeen jäämistä aina kun tuotannossa on ongelmia. Tuotantokapasiteettia ei pystytä varastoimaan, joten ajat jolloin prosessissa ei ole niin paljon tehtävää eivät korvaa aikoja jolloin sitä on liikaa (Hopp 2008: 18.)

Keskeneräisten töiden, tuotannon ja kiertoajan (WIP, TH & CT) suhdetta kutsutaan Littlen laiksi. Sen periaatteena on, että pitkällä aikavälillä, vakaassa prosessissa WIP, TH ja CT ovat riippuvaisia toisistaan seuraavalla tavalla:

$$\text{WIP} = \text{TH} \times \text{CT}. \quad (7)$$

Littlen laki on erittäin yleispätevä. Sen rajoituksina ovat (1) se kattaa vain pitkän ajan keskiarvot ja (2) prosessin on oltava vakaa. Pitkän ajan vaatimuksena on viikkoja tai kuukausia, ja niiden kohdalla se pitää hyvin paikkansa. Vakausvaatimus pitää sisällään sen, että prosessiin ei saa systemaattisesti kertyä WIP:tä tai TH ei saa nousta mittausaikavälillä tai tapahtua jotain muuta, joka aiheuttaa sen, että kuvattava prosessi on hyvin erilainen aloitus ja lopetuspisteen välillä. Vakausvaatimus ei kuitenkaan poissulje

syklistä käyttäytymistä, erätuotantoa, useiden erilaisten tuotteiden valmistusta tai suurta määrää erilaista monimutkaista käyttäytymistä. Littlen laki ei ole myöskään sidottuna mihinkään tietynlaiseen prosessiin. Kunhan WIP, CT ja TH on luotettavasti mitattavissa ymmärrettävillä yksiköillä, Littlen lakia voidaan käyttää kuvaamaan kokonaista linjaa, tuotantolaitosta tai varastoa (Hopp 2008: 22–23.)

Littlen lain yleispätevyyttä voidaan tarkastella esimerkiksi yksikkömuunnosten avulla. WIP:sista voidaan puhua kappalemäärinä tai aikana, mikä menee niiden käsittelyyn. Esimerkkinä Hopp (2008) tarjoaa kirjassaan pankkivirkailijaa, jolla on jonossa 12 ihmistä tai 60 minuuttia työtä (olettaen, että asiakas tarvitsee keskimäärin 5 minuuttia palvelua). Littlen laki muuttaa kappalemäärät työn määräksi seuraavalla konversiolla:

$$\text{Kappaleet} = \frac{\text{Kappaleet}}{\text{Päivä}} \times \text{Päivät.} \quad (8)$$

Samalla periaatteella voidaan muuntaa WIP myös ajan sijasta rahaksi. Tämän muuntokaava on seuraava:

$$\text{Eurot} = \frac{\text{Eurot}}{\text{Päivä}} \times \text{Päivät.} \quad (9)$$

Tämä mahdollistaa erilaisten tuotteiden tasa-arvoisen vertailun, kun tuotteita mitataan niiden rahallisella arvolla. Littlen lakia voi halutessaan soveltaa myös jokaiseen erilaiseen tuotteeseen erikseen (Hopp 2008: 23.)

Littlen laki on yksinkertainen, mutta sillä on paljon sovellusmahdollisuuksia. Kun tiedetään kaksi suureista WIP, TH ja CT, voidaan kolmas laskea näistä. Näin ollen Littlen lakia voidaan käyttää esimerkiksi kiertoajan mittaamiseen, sillä yleensä se on vaikein seurattava näistä kolmesta suuresta. Kun Littlen lain yhtälö järjestetään uudelleen, saadaan:

$$\text{CT} = \frac{\text{WIP}}{\text{TH}}. \quad (10)$$

Tätä tietoa voidaan käyttää taas kiertoajan lyhentämiseen, sillä kuten yhtälö määrittää, jos TH pysyy tasaisena, WIP:tä vähentämällä saavutetaan aina CT:n lyhentymisen. Näitä periaatteita soveltaessa tulee kuitenkin muistaa, että kiertoaika ei ole sama asia kuin asiakkaan kokema lead-aika, aika asiakkaan tilauksesta tuotteen vastaanottamiseen (Hopp 2008: 24.)

CT ei ole kuitenkaan suoraan tuotteiden prosessointiin tarvittava aika, vaan huomioon on otettava myös se aika kun tuote odottelee prosessointia linjalla. Tätä kutsutaan odotusajaksi. Jonotusteorian mukaan:

$$\text{Kiertoaika (CT)} = \text{odotusaika (WT)} + \text{prosessiaika.} \quad (11)$$

Odotusajalle on monta syytä, mutta suurin syy on koordinoinnin puute prosessoinnin ja työasemalle saapumisen välillä (Hopp 2008: 30.)

Littlen lakia voidaan soveltaa sekä yksittäisiin työpisteisiin, että kokonaiseen tuotantolinjoihin. Kokonaisten linjojen kohdalla huomioida tulee myös muuttujia, jotka käsittelevät koko tuotantolinjan toimivuutta. Näitä ovat esimerkiksi Bottleneck rate (BNR) eli koko tuotantolinjan kapasiteetti joka määrittyy korkeimman käyttöasteen työaseman mukaan, sekä Raw process time (RPT) eli aika joka tuotteelta keskimäärin kuluu matkata koko valmistusprosessin läpi silloin kun prosessi on tyhjä. Samoilla BNR ja RPT arvoilla voi kuitenkin olla monenlaisen suorituskyvyn omaavia tuotantolinjoja (Hopp 2008: 58.)

Pistettä, jossa WIP'in lisääminen ei enää tuota lisää TH:tia, kutsutaan kriittiseksi work-in processiksi (CWIP). Tasapainotetulla linjalla, jossa kaikki työvaiheet vievät saman verran aikaa ja yhdellä työpisteellä käydään vain kerran, tuo piste on sama kuin työpisteiden määrä. Epätasapainoisella linjalla kriittinen WIP voi olla vähemmän kuin työpisteiden määrä. Kriittinen WIP voidaan laskea BNR:stä ja RPT:stä seuraavasti (Hopp 2008: 61):

$$\text{CWIP} = \text{BNR} \times \text{RPT.} \quad (12)$$

## 6 KÄYTETYT MENETELMÄT JA TYÖKALUT

Työn tutkimusosa tehdään käyttäen muutamaa eri menetelmää ja työkalua. Laskelmiin ja kapasiteetin arviointiin käytetään Wallace J. Hopp:n (2008) Supply chain science-kirjassa esitettyä teoriaa. Syventävänä apuna ja lisätietoja varten Wallace J. Hopp ja Mark L. Spearman (2008) ovat kirjoittaneet myös kirjan Factory physics, joka käsittelee samoja aiheita laajemmin.

Tietojen selvittämiseen tuotantolinjojen nykytilasta käytetään toimihenkilöiden sekä johtajien haastatteluja. Myös tuotantodataa on käytettävissä, työn mittauksista on tuotantolinjoilla tehty ja niiden tulokset sekä menneet tuotantomäärät ovat käytettävissä.

Osana saamaani tehtävänantoa kohdeyrityksessä oli päättää, millä työkalulla tulevaisuudessa piirretään layout-vaihtoehtoja. Päädyin pohdinnan jälkeen AutoCadiin, sillä sen lisenssit ovat jo valmiina kohdeyrityksessä. Sillä on myös laajin osaajapohja valmiina yrityksen palveluksessa. Havaitsin piirustuksia laatiessani, että työkalu on riittävä näihin tarpeisiin, ja osaamisen lisääntyessä todennäköisesti erittäin hyvin siihen soveltuva.

Yleisesti layout-suunnitteluun tässä työssä käytetään Leanin periaatteita. Turhat sekä materiaalien, että työntekijöiden liikkumiset on pyritty pitämään minimissään. Puskurivarastoja on pienennetty, sekä materiaalivarastot on pyritty sijoittamaan mahdollisimman lähelle niiden käyttöpaikkaa (POUS). Siirtoerät tuotantolinjalla olivat jo valmiiksi yksi, joten tuotannossa ollaan lähellä one-piece flow:ta.

Edellisessä luvussa kuvatut menetelmät vastaavat myös työn tavoitteita. Uudessa tuotantolinjassa yhdistetään kaksi vanhaa linjaa materiaalivarastojen pienentämiseksi ja tilan säästämiseksi. Uuden tuotantolinjan on vastattava kysyntään. Lisätavoitteena voidaan pitää pienempiä käyttökustannuksia.

## 7 KOHDEYRITYS

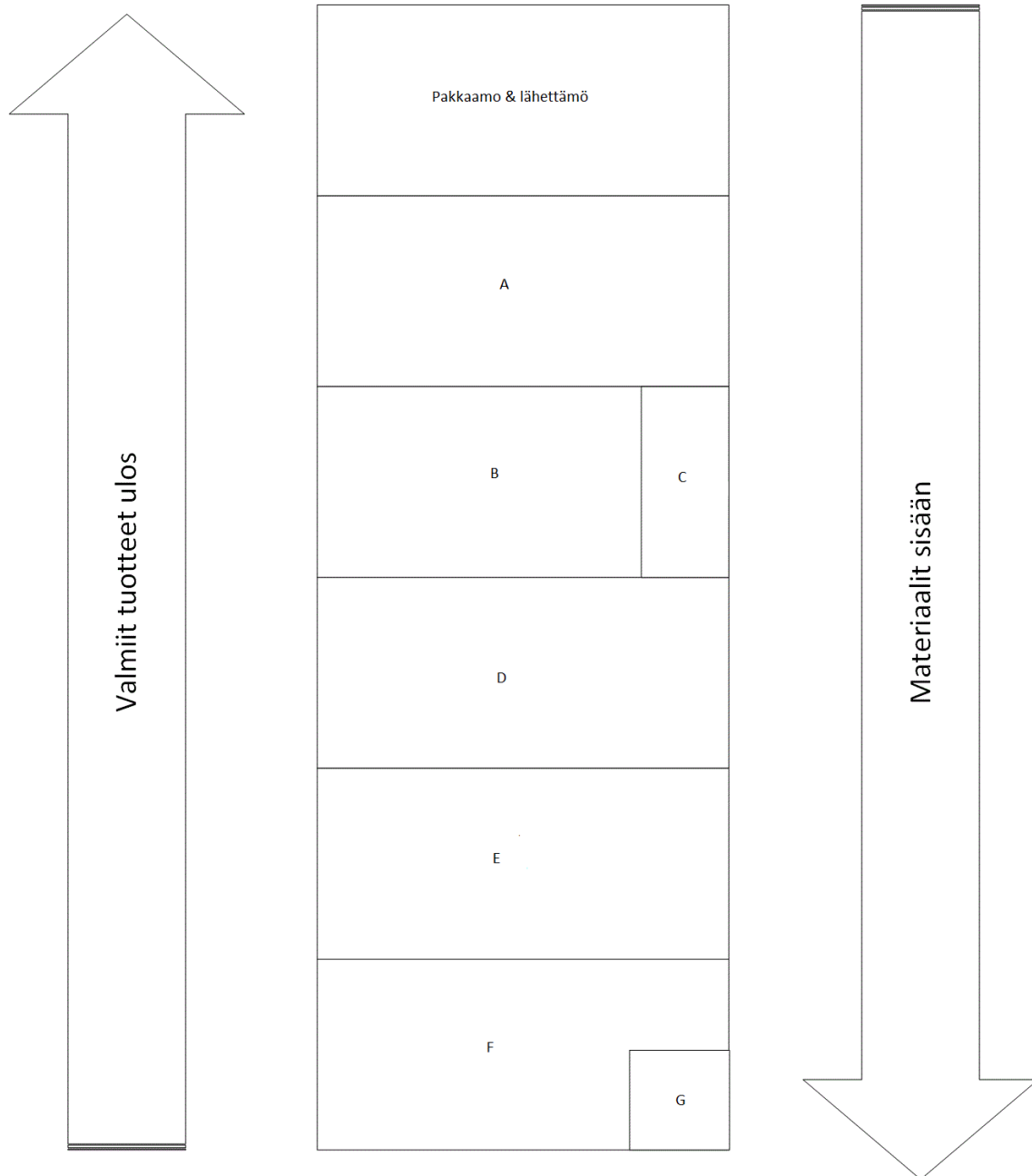
Kohdeyritys on sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka pääkonttori sijaitsee Sveitsissä, Zürichissä. Yrityksen palveluksessa on noin 140 000 henkilöä 100 maassa. Suomessa Yrityksessä työskentelee noin 5200 henkilöä. Yrityksen liiketoiminta koostuu viidestä divisioonasta, jotka puolestaan jakautuvat teollisuudenalojen mukaan (verkkosivut.)

Yhtiö on perustettu vuonna 1988, historiaa sillä on kuitenkin 120 vuoden päähän. Kohdeyritys panostaa vahvasti tutkimukseen ja kehitykseen. Yhtiöllä on seitsemän tutkimuskeskusta ympäri maailmaa. Tällä hetkellä kohdeyritys on maailman johtava moottorien ja taajuusmuuttajien, tuuliturbiinigeneraattoreiden sekä sähköverkkojen toimittaja (verkkosivut.)

Suomessa kohdeyrityksellä on toimintaa 21 paikkakunnalla. Tehdaskeskittymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa ja Porvoossa. Vaasassa valmistetaan moottoreita, erikoismuuntajia, kytkintuotteita, releitä, sähköverkon ohjaus, valvonta ja automaatio, sähkönsiirto- ja jakelujärjestelmät, energianhallinta-, linjakäyttö-, sähköistys-, ja instrumentointiratkaisuja sekä tehdastietojärjestelmiä (verkkosivut.)

### 7.1 Kohdeyrityksen tuotetehtas

Tämä pro gradu-työ tehdään kohdeyrityksen tuotetehtaalla. Tuotetehtaalla on n. 267 työntekijää. Näistä n. 67 on tuotannon työntekijöitä, jotka työskentelevät kahdessa vuorossa. Työntekijät ovat suurimmalta osin ristiin koulutettuja, joten työnkiertoa käytetään yleisesti. Tehtaan lead-aika on kaksi viikkoa, pikatoimituksella päästään 2–5 päivään. Tuotteita ei valmisteta varastoon, vaan tehdään tilausten mukaan. Tuotetehtaalla Vaasassa on 6 tuotantolinjaa, joiden lisäksi on pienempiä kokoonpanoyksiköitä. Tuotantolinjojen summittainen sijainti löytyy seuraavasta kuvasta 4.



Kuva 3. Tuotantokuva.

Tälle työlle olennaisimpia ovat tuote A- ja B-linjat, sillä niiden yhdistämistä pohditaan. A-tuote on tehtaan eniten myyvä tuote, joten parannuksilla sen tuotantoprosessiin on saavutettavissa eniten hyötyjä. A- ja B-tuotanto käyttää suurimmalta osin samoja osia, pois lukien ulkoiset osat kuten näyttö ja kotelo. Tällä hetkellä osavarastoja pidetään molemmilla linjoilla, joten toisen osavaraston eliminoiminen toimii myös ensimmäisenä



perusteena linjojen yhdistämiselle. Toisena perusteena voidaan pitää tilan tehokkaampaa käyttöä. Vapautuvia lattianeliöitä voidaan käyttää tulevaisuudessa uusien tuotteiden tuotantoon.

Kuten tässä työssä on aikaisemmin mainittu, layout-muutosten suunnittelussa on 5 eri vaihetta, joita tässä käytännön osassa sovelletaan. Nämä vaiheet ovat: Tuotteiden ryhmittäminen, kysynnän mittaaminen, nykyisen prosessin kartoittaminen, työn yhdistäminen ja prosessin tasapainotus sekä soluvalmistusprosessin luominen. Seuraavana tässä työssä pyritään luomaan uusi yhdistetty tuotantolinja tätä prosessia apuna käyttäen.

## 8 TUOTTEIDEN RYHMITTÄMINEN JA TAKT AJAN LASKEMINEN

A-tuotteen arvioitu kysyntä on n. 45 000 kappaletta vuodessa. Tästä voidaan määrittää tarvittava tuotantotahti:

$$45000 \text{ kpl} \div 52 \text{ vk} \div 5 \text{ pv} \div 16 \text{ h} = 10,82 \text{ kpl/h.} \quad (13)$$

Kysynnän arvioidaan nousevan, joten uuteen tuotantolinjaan kannattaa suunnitella ylimääräistä kapasiteettia kattamaan kasvavat tuotantomäärät.

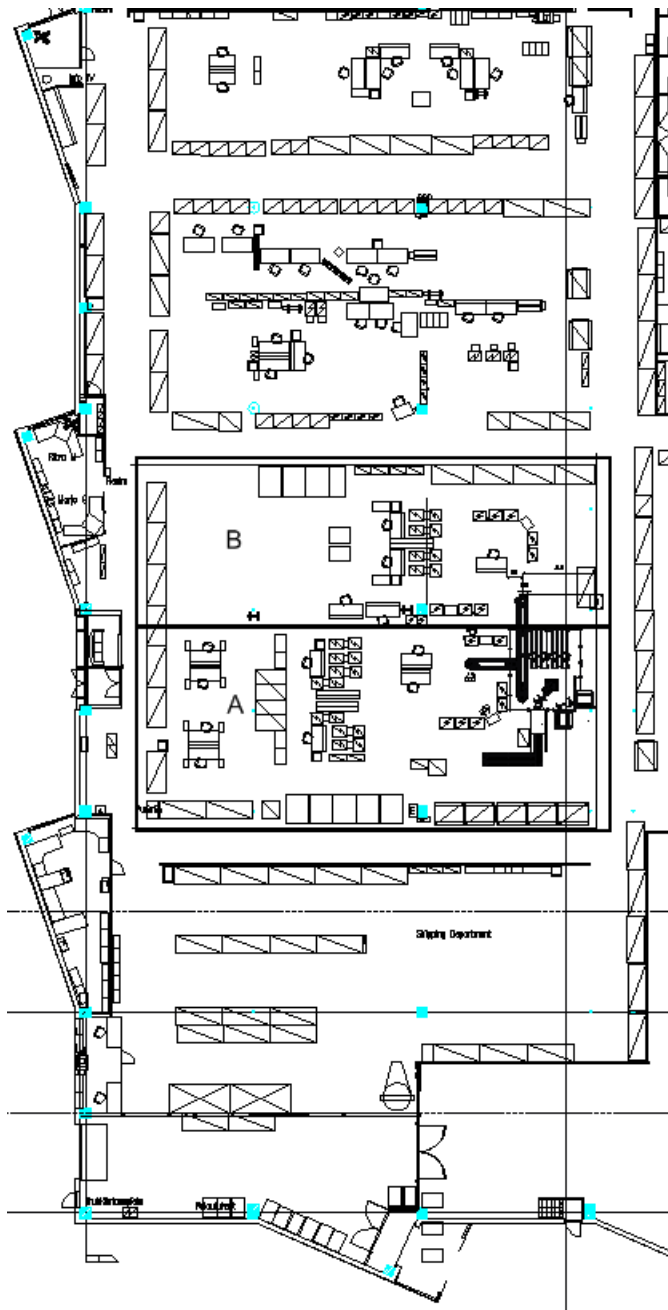
Samalla tavalla voidaan määrittää haluttu tuotantotahti myös B-tuotteelle. Sen arvioitu kysyntä on n. 5700 kappaletta vuodessa. Kysyntä tulee todennäköisesti pysymään melko tasaisena. Tuotantotahdin vaatimus B-tuotteelle:

$$5700 \text{ kpl} \div 52 \text{ vk} \div 5 \text{ pv} \div 16 \text{ h} = 1,37 \text{ kpl/h.} \quad (14)$$

Koska A- ja B-tuotteet käyttävät suurelta osin samoja osia, ne on tässä työssä ryhmitetty valmistettavaksi samalla linjalla.

## 9 NYKYISEN PROSESSIN KARTOITTAMINEN

A- ja B-sarjojen tuotantomäärät ovat suurimpia tehtaalla tuotettavista tuotteista, joten ne on sijoitettu lähimmäksi pakkausta ja lähettämöä. Kuva 5 on tuotannon yleiskuva.



Kuva 4. Tuotannon yleiskuva.

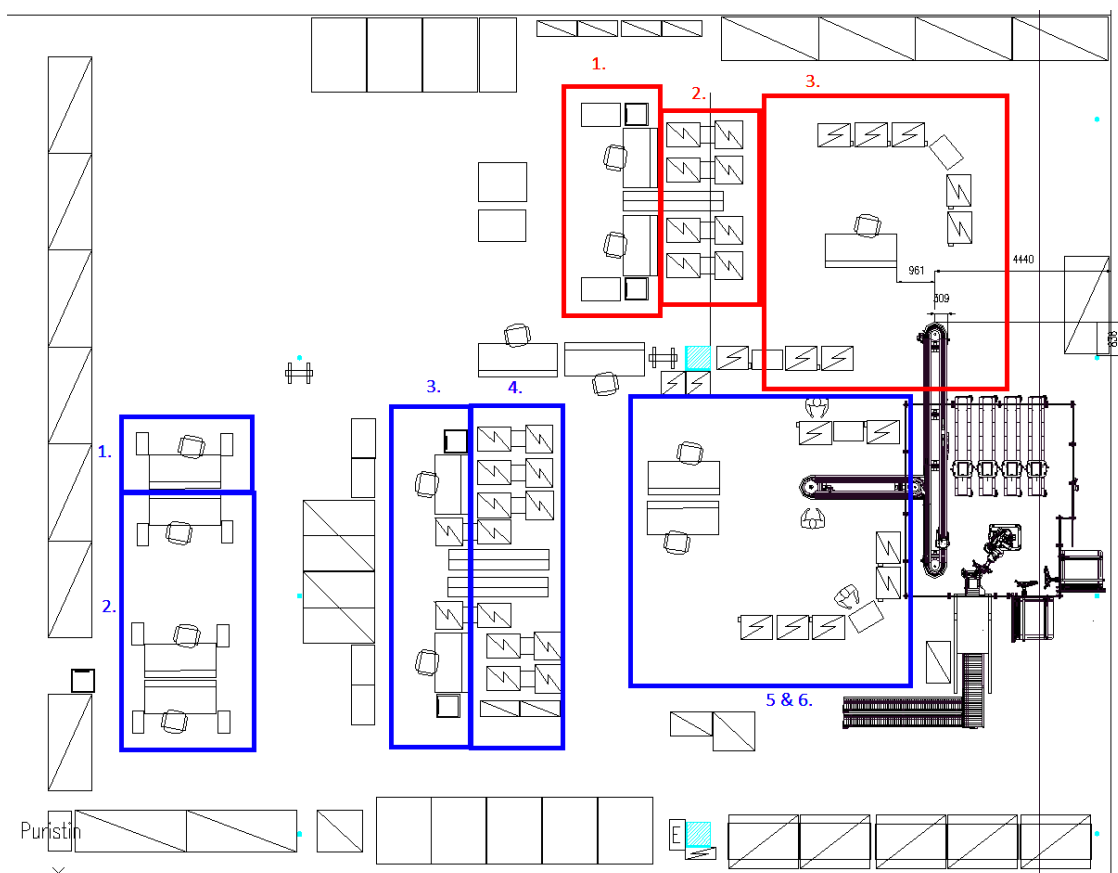
Nykyisille tuotantolinjoille on tehty työn mittaus, jolla nykyiset suoritusajat tuotteen valmistuksen eri vaiheissa on saatu selville. A-tuotteen valmistuksessa on nykyisellään 6 vaihetta:

1. Kotelon esikokoonpano
2. Pistoyksikön esikokoonpano
3. Kokoonpano
4. Testaus
5. Vanhennus
6. Yksikköpakkaus

B-tuotteen valmistuksessa vaiheita on nykyisellään 3. Nämä ovat:

1. Kokoonpano
2. Testaukset
3. Vanhennus & Pakkaus

Vaiheiden sijainnit ja nykyinen tuotantolinjojen layout selviävät seuraavalla sivulla olevasta kuvasta 6. Linjoilla on käytössään yhteinen yksikköpakkausrobotti, josta yksittäispakatut tuotteet siirretään odottamaan yhteispakkausta ja lähetystä. Tätä varten on käytössä läpivirtaushyllyjä, jotka sijaitsevat kuvassa oikealla alhaalla. Tuotannossa tarvittavien materiaalien hyllyt reunustavat koko tuotantolinjaa. A-linjalla on esikokoonpanon ja varsinaisen kokoonpanon välissä välivarasto, jota käytetään tuotannon vaihtelun puskurina. Tuotettavissa tuotteissa on jonkin verran variaatiota, juuri sillä hetkellä tuotettavan tuotteen materiaalit siirretään työpisteille linjojen reunalla olevista materiaalivarastoista. Työnmittauksen tulokset B-tuotteelle on esitelty tämän jälkeen tulevassa taulukossa 1.



Kuva 5. A- ja B-sarjan tuotantovaiheet. Ylempänä B: 1. Kokoonpano 2. Testaus 3. Vanhennus ja pakkaus. Alempana A: 1. Kotelon esikokoonpano 2. Pistoyksikön esikokoonpano 3. Loppukokoonpano 4. Testaus 5. Vanhennus 6. Yksikköpakkaus

Taulukko 1. B-sarjan työnmittauksen tulokset.

Tuote-malli	Tutkittu 3.11.2015			
B-Sarja	Tutkimus numero	Saanto	Käsiäika	Vaihe- aika
				50,97
Kokoonpano koko työ	3.11.2015			31,30
Jännitetesti, lopputesti ja vanhennus	3.11.2015	0,89	15,10	16,97
Yksikköpakkaus	3.11.2015			2,70

Työnmittauksen tulokset on koottu linjojen osalta taulukoihin, ja niissä on otettu huomioon hukka-ajat, kuten tauot ja muut tarpeelliset tuotannon katkokset. Näiden

tulosten perusteella tällä hetkellä B-tuotteen valmistukseen menee yhteensä n. 51 minuuttia. Tämä vastaa työtahtina n. 1,18 tuotetta/tunti, mutta kokoonpanopisteitä on kaksi, joten kysyntä saadaan tyydytettyä hyvin.

Vastaava työnmittaus on tehty myös A-linjalle. Seuraavassa taulukossa 2 esitellään sen tulokset:

Taulukko 2. A-sarjan työnmittauksen tulokset.

Tuote-malli		2.11.2015		
A	Tutkimus	Saanto	Käsiäika	Vaiheaika
				33,5
Kotelon esikokoonpano	6/2013			1,68
Virtaliittimen kokoonpano				
Pistoyksikön esikokoonpano	7/2012			8,90
Loppukokoonpano	2.11.2015	0,97	10,9	11,24
HV-testi				
Lopputesti	2.11.2015	0,96	5,6	5,83
Vanhennus	8/2012	0,98	2,92	2,98
Yksikköpakkaus	2.11.2015			2,85

A-tuotteen valmistukseen tarvittava aika on tällä hetkellä 33,5 minuuttia, jossa on otettu huomioon tarvittavat hukka-ajat. Yhden työpisteen perusteella laskettuna tuotteita valmistuisi 1,8 tunnissa, mikä ei ole lähelläkään vaadittua työtahtia. Työpisteitä on kuitenkin enemmän, joten työtahdissa pysytään.

Pelkkä työnmittaus ei sinänsä kerro tuotantolinjojen todellista tilaa, sillä niiden toimintaan vaikuttaa niin moni asia, ja kummallakaan tutkimuksen kohteena olevalla linjalla ei ole vain yhtä työpistettä, vaan niitä on useampia. Käytettävyydeltään paremman kuvan tuotantolinjasta saa käyttämällä Littlen lakia ja Wallace J. Hoppin (2008) esittämiä



Queue time	CT <sub>q</sub>	0,002	0,000	0,084	0,001	0,000	0,000
Cycle time	CT	0,030	0,148	0,271	0,382	0,050	0,048
Cum. Cycle time	CT <sub>q</sub> +t <sub>e</sub>	0,030	0,178	0,450	0,832	0,882	0,929
WIP in queue	r <sub>a</sub> CT <sub>q</sub>	0,021	0,001	0,896	0,009	0,000	0,000
WIP	r <sub>a</sub> CT	0,32	1,583	2,894	4,076	0,530	0,507

Tästä tarkastelusta voidaan havaita, että A-linjan tämänhetkinen tuotantotahti on 10,667 tuotetta tunnissa. Tämä tekee 16 työtunnilla päivässä, viitenä päivänä viikossa laskettuna 853 tuotetta viikossa ja vastaavasti 44 374 tuotetta vuodessa. Tämä vastaa pitkälti kysynnän vaatimuksia, arvioitu kysyntä oli siis n. 44 600 tuotetta vuodessa. Mallin epätarkkuus voi selittyä sillä, että variaatio on merkitty todella vähäiseksi mittaustulosten puuttumisen takia. MTTF ja MTTR ovat keskimääräinen vikaantumisen aika sekä keskimääräinen aika mikä korjauksiin kuluu. Koska monimutkaisimmat työvälaineet tuotteen valmistuksessa ovat sähköllä toimivat ruuvinvääntimet, ne vikaantuvat erittäin harvoin. Myös käytettävät testilaitteet ovat harvoin rikki.

Toinen herkästi silmään pistävä asia mallista on tuotantolinjan pullonkaula. Loppukokoonpanon käyttöaste on todella lähellä 100 %, mikä on huono asia. Loppukokoonpanossa ei sallita minkäänlaisia virheitä, että haluttu tuotantotahti toteutuisi. Kaikilla muilla työpisteillä on melko paljon käyttämätöntä kapasiteettia, näiden potentiaalinen tuotanto olisi vähintään n. 45 prosenttia enemmän. Tämä antaa aiheutta epäillä, että prosessin tasapainotuksella olisi saavutettavissa tuntuja hyötyjä.

Samanlainen tarkastelu voidaan laatia myös B-linjasta. Tämän linjan prosessi on jaettu vain kolmeen osaan, ja valmistusmäärät ovat paljon pienempiä kuin A-linjalla. Taulukko 4 löytyy seuraavalta sivulta, ja on laadittu samalla periaatteella kuin edellinenkin taulukko.



Taulukko 4. B-linjan tarkastelu.

B		Kokoonpano	Testit + vanhennus	Yksikköpakkaus
no of stations	m	2	4	1
Time between arrivals	$t_a$	0,275	0,275	0,275
arrival rate	$r_a$	3,633	3,633	3,633
	$r_c$	3,834	7,676	22,222
	$c_e^2$	0,000	0,000	0,000
Arrival cv	$c_a^2$	0,000	0,001	0,001
Raw processing time (hr)	$t_o$	0,522	0,521	0,045
Standard deviation (hr)	$c_o^2$	0,001	0,001	0,001
Effective processing time	$t_e$	0,522	0,521	0,045
Effective Hours/D		16,000	16,000	16,000
Yield	y	1,000	1,000	0,970
Set up Time	$t_s$	0,000	0,000	0,000
Set up time/product			0,000	0,000
Set up SD	$c_s^2$	0,000	0,000	0,000
No of units between setups	k	1,000	1,000	1,000
Availability	A	1,000	1,000	1,000
MTTF	mf	9999999999	9999999999	9999999999
MTTR	mr	0,000	0,000	0,000
Batch size in		1,000	1,000	1,000
Batch size out		1,000	1,000	1,000
Utilization	u	0,948	0,473	0,163
Throughput	TH	3,633	3,633	3,633
Queue time	CTq	0,001	0,000	0,000
Cycle time	CT	0,523	0,521	0,045
Cum. Cycle time	CTq+t <sub>e</sub>	0,523	1,044	1,089
WIP in queue	$r_a$ CTq	0,005	0,001	0,000
WIP	$r_a$ CT	1,9	1,894	0,164
Cumulative WIP	Summa	1,900	3,794	3,957

Tästä taulukosta voidaan havaita, että nykyisellään B-linjalla on mahdollista tuottaa järkevällä käyttöasteella n. 3,63 tuotetta tunnissa. Tästä voidaan laskea, että 16 tuntia päivässä, 5 päivää viikossa tuotantolinjalla on mahdollista tuottaa n. 290 tuotetta viikossa. Tämä tekee vuodessa 15 100 tuotetta. B-tuotteen kysyntä on kuitenkin paljon alhaisempaa

kuin tämä, joten linjalla voidaan suuren osan ajasta pitää toinen kokoonpanopiste miehittämättä. Esimerkkitaulukkoon laitettulla kuormituksella pullonkaulana toimii kokoonpano, mutta vaaditut tuotantomäärät ovat niin alhaisia kapasiteettiin nähden että tästä ei suuria ongelmia synny.

Yhteenvedona nykytilanteesta voidaan siis sanoa, että kapasiteetit eivät aivan vastaa kysynnän tarpeita. Tämän lisäksi voidaan pohtia, tarvitaanko kahta materiaalivarastoa kun tuotteet ovat erittäin samankaltaisia. Tämän takia voitaisiin käyttää vain yhtä varastoa, jonka kiertoaika olisi nopeampi.

## 9.1 Työkalut tuotantolinjoilla

Tässä luvussa esitellään tällä hetkellä tuotannossa käytössä olevia Lean-työkaluja, joita ovat Kanban, käyttöpaikkavarasto, laatu järjestelmä sekä 5S. Jokainen kohta on laitettu oman alaotsikon alle.

### 9.1.1 Kanban & POUS

Kaikkia tuotantolinjoja reunustavat varsinaiset tuotantolinjan varastopaikat, jotka ovat mahdollisimman lähellä suoritettavaa kokoonpanotyötä. Näiden täydennys toimii Kanban-järjestelmällä, joka on integroitu SAP:iin. Kanban-koreja on vähintään kaksi per komponentti, jotta osat eivät koskaan lopu kesken. Korien koko vaihtelee yhdestä kuormalavasta yhteen pahvilaatikkoon, riippuen komponenttien oletetusta kulutuksesta.

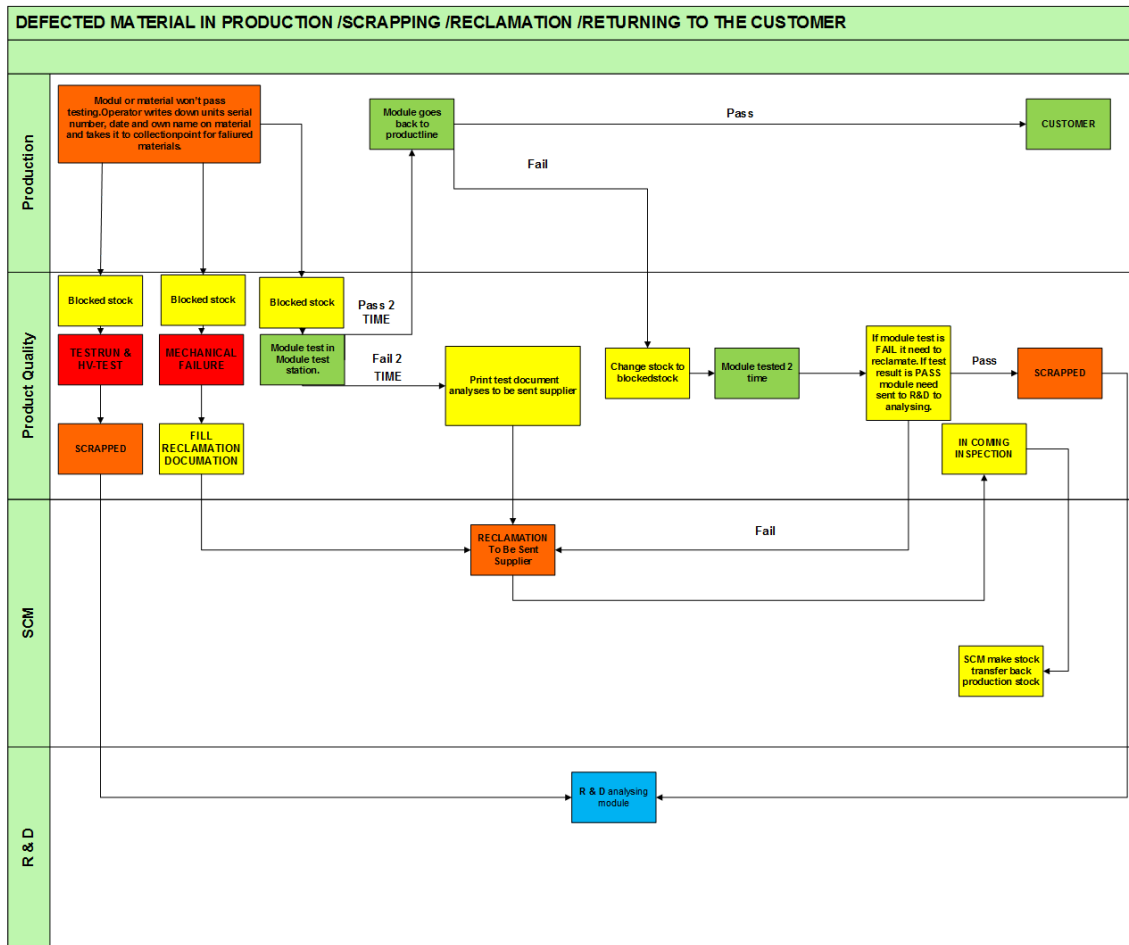
Tuotantorakennuksessa ei varastoida näiden tuotantolinjoilla olevien varastopaikkojen lisäksi mitään. Käytössä on alihankkijan hallinnoima varasto samalla tehdasalueella sekä sopimustoimittajien toimitukset. Samalta alueelta toimitukset tulevat 2 kertaa päivässä. Sopimustoimittajien toimitusaika on 1-3 päivää. Sopimustoimittajien kanssa on sovittu tuotantopuskurista, jotta toimitukset voidaan tehdä mahdollisimman nopeasti. Tämä puskuri vastaa 2-4 viikon arvioitua komponenttikulutusta.

Kun tuotantolinjalla havaitaan että kanban-kori on tyhjä, tehdään täydennystilaus SAP:n kautta. Tämä tilaus välittyy automaattisesti joko alihankkijavarastoon tai sopimustoimittajalle. Toimittajat lähettävät järjestelmässään näkyvät tilaukset kohdeyritykselle, jossa ne vastaanotetaan ja siirretään niitä vastaaville varastopaikoille. Samalla päivitetään kanban-korien tila takaisin täydeksi.

Järjestelmän haasteena on sen manuaalinen toteutus. Toimintatavat täydennystilauksen tekemiseen vaihtelevat, minkä takia kanban-tilauksen lähtiessä linjalla voi vielä olla jonkun verranakin komponentteja, pelkkä kanban-kori on tyhjennetty. Vastaavasti joskus kanban-kori voi olla oikeasti tyhjä tilausta tehdessä. Tämä aiheuttaa pientä variaatiota komponenttien määrään linjoilla.

#### 9.1.2 Laatu

Laatua valvotaan valmistusvaiheessa kattavasti. Jokainen valmistuva tuote testataan 3 kertaa valmistuksen aikana. Tuotteille tehdään korkeajännitetesti, jolla testataan tuotteen turvallisuus jännitteisenä sekä mekaaninen toiminta. Tämän jälkeen testataan tuotteen toiminnot. Viimeisenä tuotetta vielä vanhennetaan, eli se viettää 12 tuntia lämpöisessä uunissa, jossa testataan sen pidemmän aikavälin toimintaa. Jos tuote ei läpäise jotain näistä testeistä, alkaa laatu järjestelmän toiminta. Tämä on esitelty seuraavalla sivulla kuvassa 7.



Kuva 6. Laadunhallintajärjestelmä.

Kun tuotteessa havaitaan vika, pyritään paikantamaan vikaantunut osa. Kun tämä on löydetty, osaan merkitään tarraan sarjanumero, päivämäärä sekä vian löytäjän nimi. Tämän jälkeen viallinen osa viedään niille tarkoitettuun säilytyspaikkaan, josta ne lähtevät tarkempaan tutkimukseen. Tarra-järjestelmä tullaan korvaamaan suoraan SAP:iin syötettävällä järjestelmällä lähiaikoina.

Riippuen siitä mistä syystä komponentti on hylätty, sille tehdään eri toimenpiteitä. Jos se on hylätty korkeajännite- tai lopputestissä, se poistetaan järjestelmistä ja lähetetään tutkimus- & kehitysosastolle tarkempaan analyysiin. Jos komponentti on mekaanisesti rikki, siitä tehdään reklamaatio joka hoidetaan toimittajan kanssa. Tuotteiden, joissa on ollut ongelmia ja joista on reklamoitu täydennyserät tutkitaan hiukan tarkemmin niiden saapuessa. Jos ongelmia ei havaita, osa otetaan tuotannon käyttöön.

Jos komponentti on hylätty toimintotestissä, se testataan vielä uudelleen. Jos se läpäisee testin, se palautetaan takaisin tuotantolinjalle. Tuotantolinjalla se testataan normaalisti. Jos se läpäisee tämän testin, se menee normaalisti asiakkaalle asti. Jos se ei läpäise tätä testiä, se menee laadunvalvontatiimin testaukseen. Siellä se testataan vielä kerran. Jos se läpäisee tämän testin, se lähetetään tutkimus & kehitys-osastolle analysoitavaksi, jos se ei läpäise tätä testiä siitä tehdään reklamaatio.

### 9.1.3 5S

5S on tuotannossa käytössä. Työpisteet on standardisoitu ja jokaisella työkalulla on oma paikkansa. 5S:ää valvotaan kerran kuukaudessa tehtävällä esikierroksella, jonka suorittaa 5S-koordinaattori sekä vaihtuva tuotannon henkilö. Kierroksista täytetään tarkastuskortti, jonka pohjalta Operations manager sekä tuotantopäällikkö tekevät oman kierroksensa jonka jälkeen pohditaan tarvittavia toimenpiteitä. Toimenpiteet suorittavat työnjohtajat sekä työntekijät.

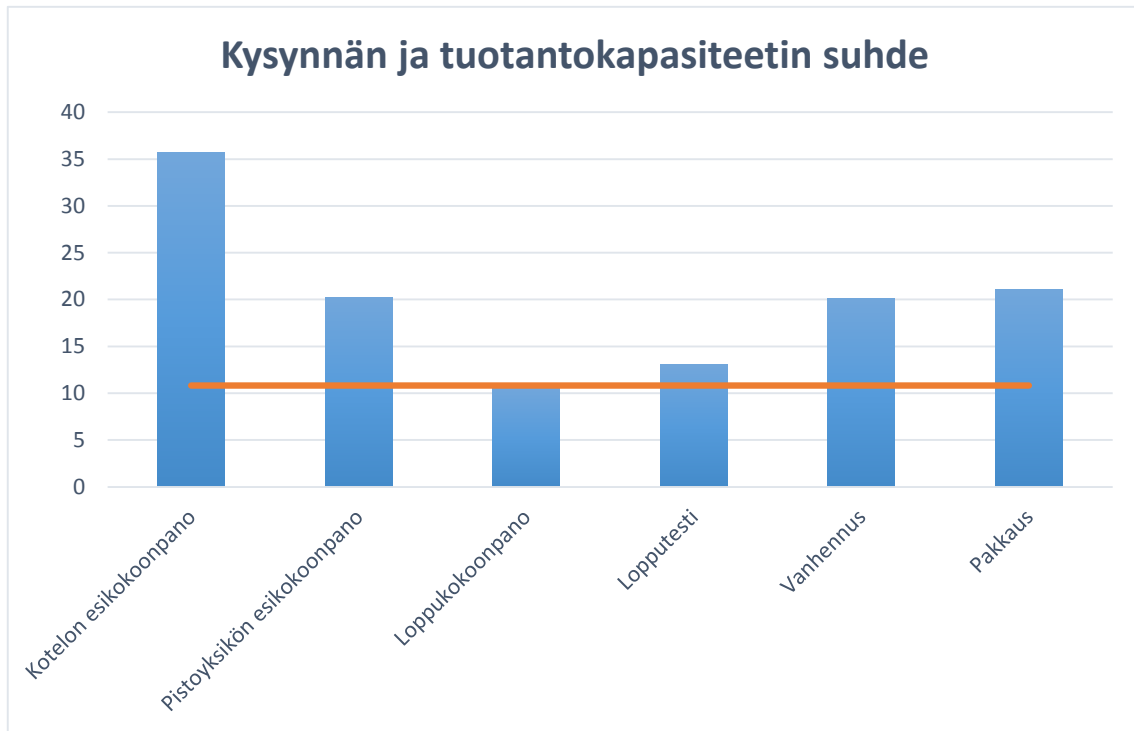
### 9.1.4 One-Piece-Flow

One-piece-flow on jo käytössä siinä mielessä, että eri tuotantovaiheiden välinen siirtoerä on yksi tuote. Niitä ei välivarastoida työpisteille vaan heti vaiheen valmistuessa se siirretään eteenpäin tuotantolinjalla. Erätuotantoa ei käytetä, periaatteessa jokainen valmistuva tuote voi olla erilainen edelliseen nähden. Käytännössä kuitenkin samanlaisia tuotteita pyritään tekemään useampi peräkkäin materiaalien käsittelyn takia. Jokaisen tuotteen jälkeen materiaalien uudestaan haaliminen työpisteelle ei olisi kovin tehokasta.

## 10 PROSESSIN TASAPAINOTUS

Kuten edellisen luvun tarkastelusta havaitaan, A-linja pystyy tällä hetkellä vastaamaan kysyntään vain ylitöillä. Pullonkaulana toimii loppukokoonpano, johon tällä hetkellä kuuluu myös HV-testin suorittaminen. Tämä lisää loppukokoonpanoon kuluva aikaa n. 6 minuuttia, mutta on sinänsä prosessinosa, joka voidaan suorittaa erillään muista loppukokoonpanon osista.

Tämän hetkistä tilannetta voidaan tarkastella esimerkiksi kuvan 8 avulla:



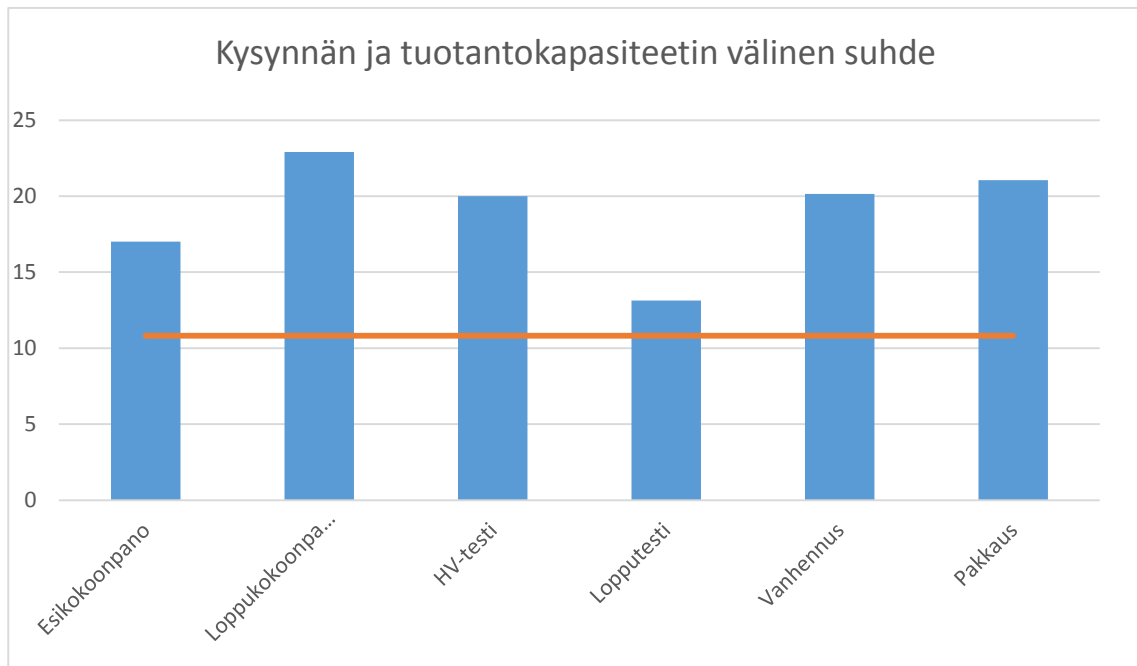
Kuva 7. A-linjan kysynnän ja tuotantokapasiteetin välinen suhde.

Kuten kuvasta 8 nähdään, kaikkien muiden vaiheiden kapasiteetti vastaa laskettua Takt-aikaa, joka on 10,82 tuotetta tunnissa. Loppukokoonpano ei kuitenkaan ihan yllä tähän. Kuvan kapasiteetit ovat suhteutettuja työpisteiden määrään.

Toinen tasapainotettava asia A-prosessissa on kotelon esikokoonpanon liittäminen pistoyksikön esikokoonpanoon, jolloin pelkän kotelon esikokoonpano erillisenä

vaiheenaan poistuu. Tämä yksinkertaistaa koko valmistusprosessia ja tasoittaa sen vaiheiden kestoja, kotelon esikokoonpano vie todella vähän aikaa ja sen seurauksena keskeneräisiä tuotteita syntyy paljon välivarastoon. Kotelon esikokoonpanon poistaminen poistaa siis yhden välivaiheen prosessista jota ei tarvitse enää varastoida puskuriin ja vapauttaa näin ollen myös lisää tilaa linjalle.

Tasapainotettu A-prosessi näyttää kuvattuna seuraavalta (ks. kuva 9):



Kuva 8. Tasapainotettu A-prosessi.

Kuten kuvasta 9 nähdään, kun kotelon esikokoonpano yhdistetään pistoyksikön esikokoonpanoon, eri vaiheiden kapasiteettien väliset erot pienenevät. Samoin HV-testin erottaminen loppukokoonpanosta aiheuttaa sen, että loppukokoonpano ei ole enää pullonkaula, vaan pullonkaula siirtyy lopputestiin. Senkin kapasiteetti kuitenkin ylittää vaaditun kapasiteetin, kun testilaitteita on käytössä 5.

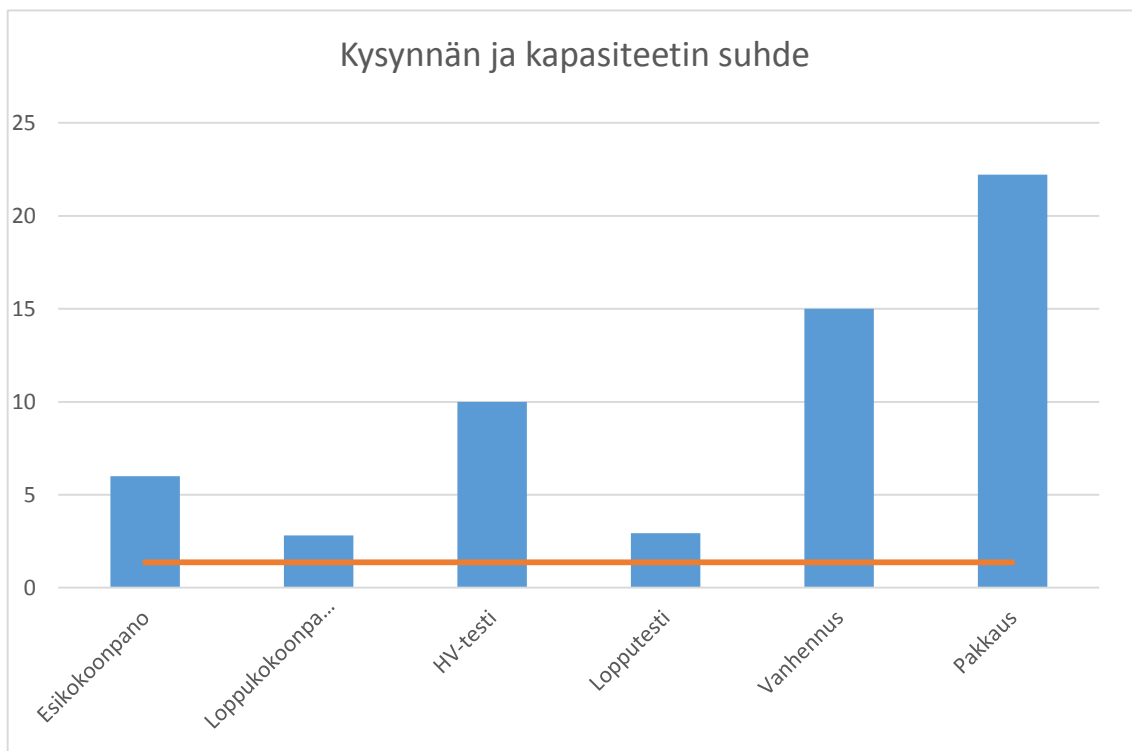
B-linjan osalta tilanne on parempi. Sen kapasiteetti ylittää helposti kysynnän, joten varsinaista tasapainotusta ei tarvita. Seuraavassa kuvassa 10 esitetään B-linjan tilanne:





Arrival cv	$c_a^2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Raw processing time (hr)	$t_o$	0,17	0,36	0,10	0,34	0,07	0,05
Standard deviation (hr)	$c_o^2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Effective processing time	$t_e$	0,17	0,36	0,10	0,34	0,07	0,05
Effective Hours/D		16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
Yield	y	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Set up Time	$t_s$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Set up time/product			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Set up SD	$c_s^2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
No of units between setups	k	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Availability	A	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
MTTF	mf	999999,00	999999,00	999999,00	999999,00	999999,00	999999,00
MTTR	mr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batch size in		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Batch size out		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Utilization	u	0,46	0,98	0,28	0,94	0,18	0,12
Throughput	TH	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76
Queue time	CTq	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Cycle time	CT	0,17	0,36	0,10	0,34	0,07	0,05
Cum. Cycle time	$CTq+t_e$	0,17	0,53	0,63	0,98	1,04	1,09
WIP in queue	$r_a CTq$	0,01	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00
WIP	$r_a CT$	0,47	1,01	0,28	0,95	0,18	0,12
Cumulative WIP	Summa	0,47	1,48	1,75	2,70	2,89	3,01

Ositetulla B-linjalla pullonkaulana toimii loppukokoonpano. Myös lopputesti on lähellä kapasiteettinsa maksimia. Kaikkia työvaiheita on vain yksi, sillä tämä riittää kattamaan kysynnän. Lähellä maksimikapasiteettia TH on 2,76 tuotetta per tunti, ja kysynnän vaatimus on 1,37 tuotetta per tunti. Kuvassa 11 on esitelty B-linjan tuotantopotentiaali.



Kuva 10. Tasapainotetun B-linjan tuotantokapasiteetti.

Kuten kuvasta 11 voidaan havaita, kun jokaisen vaiheen laitteita on vain yksi, prosessi ei ole kovin hyvin tasapainossa. Nämä erot kuitenkin tasoittuvat kun tuotantolinjoja aletaan yhdistämään, josta kerron lisää seuraavassa kappaleessa. On myös vaiheita kuten pakkaus jonka keston ei pystytä suuresti vaikuttamaan. Pakkauksen kapasiteetti on suuri, koska se on automatisoitu. Molemmat tuotetyypeistä A ja B pakataan jo nyt samalla pakkausrobotilla.

## 11 UUDEN VALMISTUSPROSESSIN LUOMINEN

Tämän työn tarkoituksena on A- ja B-tuotantolinjojen yhdistäminen tilan säästämiseksi sekä materiaalien käytön tehostamiseksi. Edellisessä luvussa prosessit tasapainotettiin sekä muutettiin yhteensopiviksi. Tässä luvussa ne sovitetaan yhteen. Tässä työssä aikaisemmin esitettyä teoriaa käyttäen päädyin kahteen eri vaihtoehtoon, joita voidaan käyttää myös toistensa jatkeena, siirtyen pehmeästi ensin ensimmäiseen vaihtoehtoon, joka on pelkästään tasapainotettujen prosessien yhdistäminen yhdelle linjalle. Tämän jälkeen, tai suoraan voidaan siirtyä Lean-solumalliin.

### 11.1 Yhdistetty tuotantolinja

Tämä vaihtoehto on suunniteltu mahdollisimman helpoksi toteuttaa, ilman investointeja ja säilyttäen paljon vanhasta mallista. Sen hyötyjä ovat:

- Kysyntää paremmin vastaava tuotantokapasiteetti
- Ei investointitarvetta
- Helppo toteuttaa
- Yhdistämisestä saatavat hyödyt eli pienempi tilantarve, pienemmät varastot sekä pienempi henkilöstötarve

Tässä mallissa molemmat tuotteet tehdään samanlaisella tuotantoprosessilla johon kuuluvat esikokoonpano, loppukokoonpano, HV-testi, lopputesti, vanhennus sekä pakkaus. Tuotteiden esikokoonpanolle sekä loppukokoonpanolle on omat pisteensä sekä A-, että B-tuotteille. Koska tuotteet muistuttavat paljon toisiaan, voidaan kuitenkin joustavasti kysynnän mukaan käyttää pisteitä myös ristiin. Seuraavalla sivulla esitettyssä taulukossa 6 näkyvät työpisteiden määrät, työvaiheiden kestot sekä arvioitu tuotantokapasiteetti.

Taulukko 6. Yhdistetyn tuotantolinjan kapasiteetti.

A		Esikokoonpano	Loppukokoonpano	HV-testi	Loppu-testi	Vanhennus	Pakkaus
no of stations	m	3	2	3	6	1	1
Raw processing time (hr)	$t_0$	0,18	0,09	0,10	0,37	0,05	0,05
Utilization	u	0,85	0,63	0,53	0,98	0,79	0,75
Throughput	TH	14,44	14,44	15,86	15,86	15,86	15,86
Cum. Cycle time	$CT_{q+t_e}$	0,18	0,27	0,37	0,75	0,80	0,84
Cumulative WIP	Summa	2,60	3,86	5,45	11,46	12,25	13,00
B		Esikokoonpano	Loppukokoonpano				
no of stations	m	1	1				
Raw processing time (hr)	$t_0$	0,17	0,33				
Utilization	u	0,24	0,47				
Throughput	TH	1,41	1,41				
Cum. Cycle time	$CT_{q+t_e}$	0,17	0,50				
Cum. WIP	Summa	0,24	0,71				

HV-testistä lähtien tuotteet valmistetaan samalla linjalla. Loppu-testin kestonä on käytetty painotettua keskiarvoa, koska A- ja B-tuotteiden loppu-testien kestot poikkeavat toisistaan hieman. Keskiarvo on laskettuna:

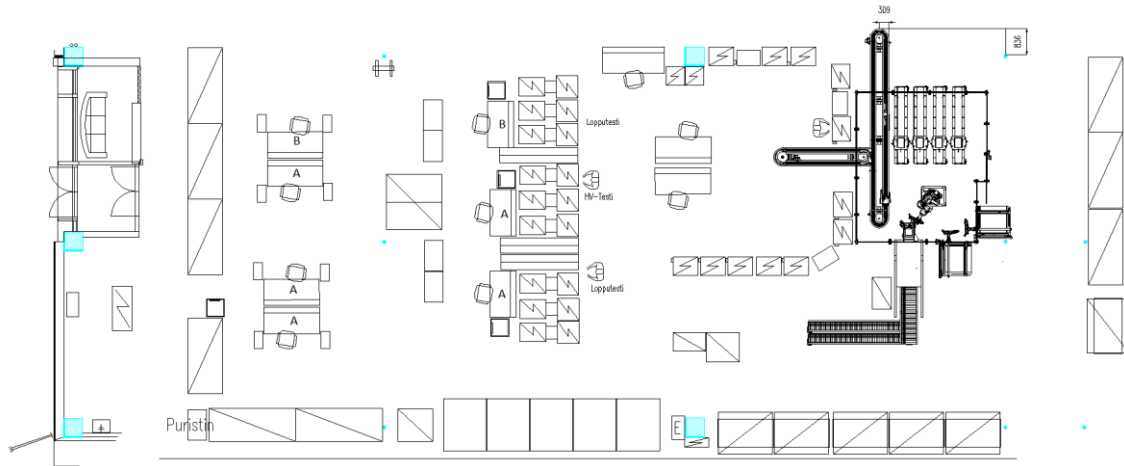
$$0,9 \times 22,8 + 0,1 \times 17 = 22,22 \text{ minuuttia.} \quad (15)$$

A-mallin lopputesti vie siis kauemmin aikaa, ja kysynnän mukaan niitä tullaan valmistamaan n. 90 % tuotannosta uudella linjalla. Uuden, yhdistetyn tuotantolinjan kapasiteetti on siis:

$$15,86 \times 16 \times 5 \times 52 = 65\,978 \text{ tuotetta/vuosi.} \quad (16)$$

Tästä n. 5800 on B-mallia, loput A-mallia. Kun kysyntä viime vuonna oli yhteensä n. 50 000 tuotetta joista B-mallia 5600, uusi yhdistetty tuotantolinja pystyy kattamaan kysynnän sekä myös sen kohtuullisen nousun. Näillä arvoilla B-pisteiden käyttöaste on myös melko matalalla, joten niitä voidaan tarvittaessa valmistaa enemmän. Myös joustavuus siinä mielessä, että kun B-tuotteille ei ole tarvetta voidaan sen pisteessä valmistaa myös A:ta, antaa kapasiteetin tyypille paljon mahdollista variaatiota.

Pullonkaulana uudella tuotantolinjalla toimii lopputestaus. Koska testilaitteet ovat kalliita investointeja, niiden käyttöaste halutaan pitää korkealla. Erillisillä tuotantolinjoilla testilaitteita oli käytössä 9. Uudessa yhdistetyssä mallissa lopputestilaitteita on 6. Jos kapasiteettia tarvitaan jossain vaiheessa enemmän, testilaitteita lisäämällä voidaan kapasiteettia kasvattaa nopeasti ja helposti tilankäytön asettamissa rajoissa. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 12 on esitetty tämän vaihtoehdon layout:



Kuva 11. Yhdistetyn tuotantolinjan layout.

Vasemmalla kuvassa 12 näkyvät esikokoonpanopisteet, kolme A-mallille ja yksi B-mallille. Tämän jälkeen tulevat pieni puskurivarasto (keskellä) sekä loppukokoonpanon eniten käytettyjen komponenttien varasto. Seuraavassa vaiheessa keskellä ovat kolme HV-testeriä ja näiden ympärillä kuusi lopputestilaitetta. Tämän jälkeen kuvassa ovat vanhennusuunit sekä pakkausalue sekä viimeisenä oikealla pakkausrobotti. Linjan ympärillä sijaitsevilla hyllyillä sijaitsevat materiaalivarastot. Henkilöstötarve linjalla on 10 edellisen 11 sijasta. Näistä 4 on esikokoonpanossa, 3 loppukokoonpanossa, 2 testilaitteilla ja yksi vanhennus- ja pakkausvastuussa.

## 11.2 Solutuotantomalli

Tässä luvussa esiteltävää tuotantomallia voidaan käyttää edellisen mallin jatkeena esimerkiksi kysynnän laskiessa tuotteen siirtyessä eteenpäin elinkaarellaan. Se on kapasiteetiltaan hieman pienempi, mutta käyttökustannuksiltaan paljon edullisempi. Se on tehty mahdollisimman Leaniksi eikä näin ollen sido paljoa pääomaa linjalle keskeneräisinä tuotteina. Käyttökustannuksiin vaikuttavat sekä henkilöstön pienempi tarve sekä tuotantopuskurin poistuminen linjalta.

Tuotantoprosessi tässä vaihtoehdossa on 5-osainen. Vaiheet ovat koko kokoonpanotyö, HV-testaus, lopputestaus, vanhennus ja pakkaus. Vaiheiden kestot ja kapasiteetit nähdään seuraavasta taulukosta 7:

Taulukko 7. Solumallin linjan kapasiteetti.

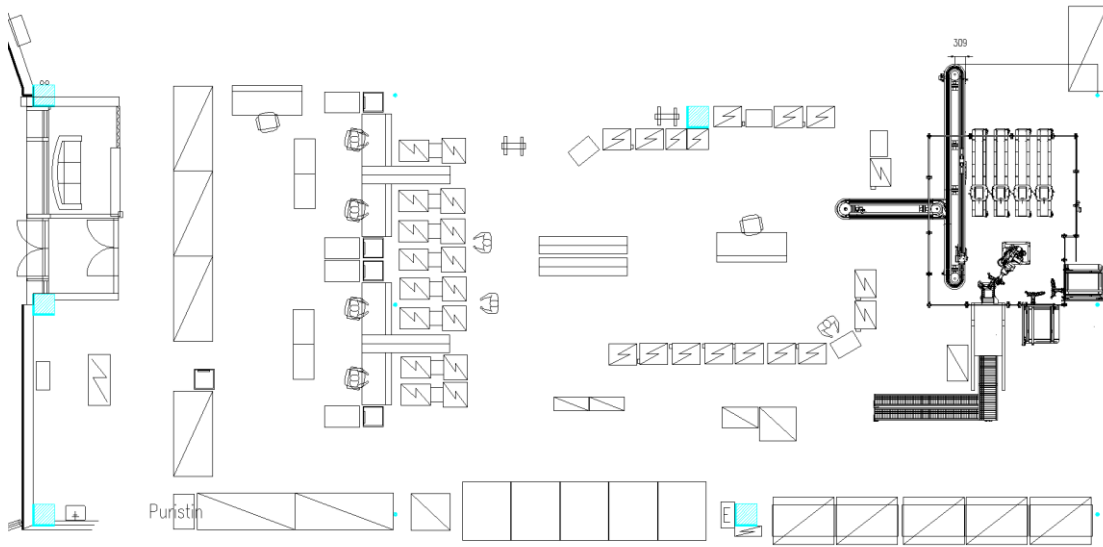
A		Kokoonpano	HV-testi	Lopputesti	Vanhennus	Pakkaus
no of stations	m	3	3	5	1	1
Raw processing time (hr)	$t_0$	0,260	0,100	0,370	0,050	0,048
Utilization	u	0,999	0,441	0,980	0,655	0,629
Throughput	TH	11,538	13,237	13,237	13,237	13,237
Cum. Cycle time	$CT_q+t_c$	0,260	0,360	0,740	0,789	0,837
Cumulative WIP	Summa	3,000	4,324	9,350	10,006	10,635
B		Kokoonpano				
no of stations	m	1				
Raw processing time (hr)	$t_0$	0,522				
Utilization	u	0,886				
Throughput	TH	1,698				
Cum. Cycle time	$CT_q+t_c$	0,530				
Cumulative WIP	Summa	0,900				

Kuten taulukosta 7 nähdään, solumallin linjan pullonkaulana toimivat sekä A-tuotteen kokoonpano, että lopputestaus. Kokonaiskapasiteetti tälle linjalle tulisi olemaan:

$$13,237 \times 5 \times 16 \times 52 = 55\,066 \text{ tuotetta/vuosi.} \quad (17)$$

Näistä n. 7072 olisi B-mallia. Tälläkin linjalla pystyttäisiin siis vastaamaan nykyiseen kysyntään ja sen lievään nousuun, matalammilla toimintakustannuksilla. Oletuksena kuitenkin on, että tuotteiden kysyntä nousee enemmän ennen kuin se alkaa taas laskea, joten on perusteltua pitää edellisessä luvussa esiteltyä mallia välivaiheena ennen tähän malliin siirtymistä.

Solumallin layout esitetään seuraavassa kuvassa 13:



Kuva 12. Solumallin layout.

Kuvassa 13 vasemmalta alkaen ovat ensin kokoonpanosolut, joissa tehdään koko kokoonpanotyö. Näistä 3 on A-mallille ja yksi B-mallille. Tämän jälkeen sijaitsee testisolu, jossa tehdään HV-testi sekä lopputestaus. HV-testereitä on 3, lopputestereitä 5 kappaletta. Tämän jälkeen tulevat vanhennusuunit. Pakkausrobotti on kuvassa viimeisenä oikealla. Testisolun sekä vanhennusuunien väliin on sijoitettu samanlaiset läpivirtaushyllyt kuin kokoonpano- ja testisolujen väliin kantomatkan lyhentämiseksi.

Henkilöstötarve tälle linjalle tulisi olemaan 8 henkilöä, joista 4 kokoonpanossa, 2 testilaitteilla, yksi vanhennuksessa ja pakkauksessa sekä yksi materiaalivastaava. Materiaalivastaavan työtehtävä tulisi olemaan kokonaan uusi, ja siihen kuuluisi ainakin alustavasti Kanban-vastuullisuus sekä kokoonpanosoluille materiaalien toimittaminen kokoonpanotyötä varten. Tämä saattaisi vähentää kokoonpanoaikoja hieman, kun materiaalien haku ei olisi enää kokoonpanijan vastuulla. Pienikin vähennys kokoonpanoaikoihin kertaantuisi suurena tuottavuuden lisääntymisenä vuositasolla. Materiaalivastaavan työpiste sijaitsee kuvassa ylävasemmalla, kokoonpanosolujen vieressä.



Kokoonpanoaikojen nopeutuminen aiheuttaisi painetta lopputestauksessa, mutta 2 testilaitteen lisääminen tähän nyt ehdotettuun layoutiin onnistuisi vielä ilman tilaongelmia. Näin voidaan tarvittaessa nostaa kapasiteettia nopeasti ja helposti.

Seuraavana vaiheena tästä tuotantomallista voitaisiin samoilla työpisteillä lisätä tuotantolinjaan kuljetin. Tämä vähentäisi turhaa työntekijöiden liikkumista vielä lisää. Materiaalit voisivat saapua tuotantosolulle materiaalivastaavalta samaa kuljetinta pitkin palleteina. Tämän hetkiset komponenttivarastot voitaisiin korvata pateri-automaattivarastohyllyllä, joka säästäisi jonkun verran tilaa.

## 12 POHDINTA & JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässäkin työssä esitettyjä Leanin periaatteita käyttäen hukkia minimoimalla pitäisi päästä tehokkaampiin tuotantomalleihin. Tutkimuksen tuloksia tarkastellessa näyttää siltä, että tämä pitää paikkansa. Apuna käytettiin sekä työn mittauksen tuloksia, että Wallace J. Hoppin (2008) sovellettua Littlen lakia.

Kirjallisuudessa ei sinänsä luvata minkäänlaista suuruusluokkaa parannuksille. Kenichi Sekine (1992: 15) esittää kirjassaan useita solutuotantomalleja, joilla todellisessa elämässä on puolitettu tuotantolinjan henkilöstö. Tähän ei tässä työssä edes pyritty, mutta se voisi olla jatkotutkimuksen aihe. Jalostetussa solutuotannon mallissa henkilöstömäärä tippui 11:sta kahdeksaan. Kun vuoroja on kaksi, tarkoittaa se käytännössä 22:sta 16:a.

Kapasiteettisuunnittelun avulla saavutettiin myös huomattava parannus. Yhteinen kapasiteetti parani hiukan (vanhat kaksi linjaa n. 59 000 tuotetta vuodessa, uusi yhdistetty linja n. 66 000 tuotetta vuodessa), mutta jatkossa se on paremmin kohdistettu kysyntää vastaavaksi ja se on joustavaa, eli tuotteiden tuotantosuhdetta voidaan muutella kysynnän mukaan. Toisena vaihtoehtona esitellyn mallin tuotantokapasiteetti on hiukan pienempi kuin nykyisten kahden erillään olevan linjan (n. 55 000 tuotetta vuodessa), mutta tämä saavutetaan myös paljon pienemmällä henkilöstömäärällä. Molemmissa malleissa on syytä muistaa myös, että materiaalivarastot melkein puolittuvat kun linjoja on jatkossa vain yksi yhteinen. Yhdistetty tuotantolinja myös vapauttaa tuotantotilaa käyttöön.

Tutkimuskysymyksen jatkokysymyksenä esitettiin ”kuinka paljon materiaalivirrat ja tehokkuus paranevat”, sekä ”tarpeeksi, jotta muutokset ovat oikeutettuja”. Tässä työssä esitettyjen vaihtoehtojen säästövaikutusta on mahdollista arvioida. Toisen linjan materiaalivaraston vähentämisen on arvioitu tuovan 155 000 euron säästöt. Lattiapinta-alan neliömetrihinta on arvioitu 15 euroksi per neliömetri. Yhden tuotannon henkilön arvioidut kustannukset ovat n. 50 000 euroa vuodessa. Näistä laskien säästövaikutukset tässä työssä esitetuille tuotantomalleille ovat:

- Yhdistetyn tuotantomallin oletetut säästöt voidaan laskea seuraavasti:

$$155\,000 + (8 \times 15 \times 15) + 2 \times 50\,000 = 256\,800 \text{ €}. \quad (18)$$

Tämän lisäksi työn tehostuminen saattaa säästää rahaa, sekä puskurivaraston pienentäminen vähentää sitoutuneen pääoman määrää tuotantolinjalle.

- Solutuotantomallin oletetut säästöt voidaan laskea seuraavasti:

$$155\,000 + (8 \times 15 \times 15) + (22 - 16) \times 50\,000 = 456\,800 \text{ €}. \quad (19)$$

Tämän lisäksi työn tehostumisesta tulee todennäköisesti hyötyjä, ja puskurivarastot on poistettu kokonaan. Molemmissa tapauksissa työn tehostuminen käsittää sekä prosessin tasapainotuksen hyödyt, että turhan liikkeen minimoimisella saavutettavat hyödyt.

Näiden laskelmien pohjalta voidaan sanoa, että yhdistettynä kapasiteetin tyypin helpompaan ja parempaan kohdistamiseen sekä ylempänä esitettyihin säästöihin, layout-muutokset parantavat materiaalivirtoja sekä tehostavat tuotantoa. Säästö on tarpeeksi merkittävää ollakseen motivoiva tekijä muutokseen. Lean, layout- ja Littlen lakia soveltamalla on mahdollista saavuttaa tosielämässä toimivia tuloksia. Näin ollen teoria sopii yhteen työn tulosten kanssa.

Jatkotutkimuksen aiheita ainakin case-yrityksessä on muutetun tuotantolinjan työn mittausta sekä spagettidiagrammi. Näin saadaan selville tehostumisen vaikutukset joita on erittäin vaikea arvioida etukäteen, sekä mahdolliset puutteet ehdotetussa layoutissa. Kuten tässä työssä on moneen kertaan esitetty, mikään layout ei ole lopullinen, vaan aina löytyy jotain parantamisen varaa. Lisäksi jatkotutkimuksen aiheena voidaan pitää mahdollista automaation lisäämistä tuotantolinjalle.

## LÄHDELUETTELO

George, Michael L., Rowlands, David, Price, Mark, Maxey, John. (2005). *The Lean six sigma pocket toolbox*. Mcgraw-hill, USA. 277 s. ISBN 0-07-144119-0.

Hopp, Wallace J. (2008). *Supply chain science*. Mcgraw-Hill, USA. 230 s. ISBN 978-0-07-340332-6.

Hopp, Wallave J., Spearman, Mark L. (2008). *Factory Physics: Third Edition*. Waweland Press, USA. 709 s. ISBN 978-1-57766-739-1.

Kochhar, J.S, Heragu, S.S. (1999). *Facility layout design in a changing environment*. International Journal of Production Research. Vol. 37 Issue 11. 18 s. ISSN 0020-7543.

Kohdeyriyksen verkkosivut (2015). Yritysesittely. [online]. [19.2.2016]. Salattu.

Kumar, S. Anil. (2008). *Production and Operations Management*. New Age International. 284 s. ISBN 978-8122-42177-4.

Santos, Javier, Wysk, Richard A. & Torres, Jose M. (2014). *Improving Production with Lean Thinking*. Somerset, NJ, USA: Wiley. 248 s. ISBN 978-0471-75486-2.

Sekine, Kenichi. (1992). *One-Piece-Flow: Cell Design for Transforming the Production Process*. Maple-Vail Book Manufacturing Group, USA. 283 s. ISBN 0-915299-33-X.

Tersine, Richard J. (1980). *Production/Operations management: Concepts, Structure, and Analysis*. New York: Elsevier north Holland Inc. 677 s. ISBN 0-444-00326-6.

The Real Kaizen blog (2015). Kuva: spagettidiagrammi. [online]. [19.2.2016]. Saatavissa: <http://realkaizen.com/free-kaizen-templates/event-worksheets/>

Pierre Masai, Toyota Motor Europe. The quest of one-piece-flow in IT (2014). Kuva: siirtoerien vaikutus WIP:ssiin ja TH:tiin. [online]. [19.2.2016]. Saatavissa: <http://www.slideshare.net/InstitutLeanFrance/the-quest-of-onepieceflow-in-it-by-pierre-masai-toyota-motor-europe>.

Tompkins, James A., White, John A., Bozer, Yavuz A., Tanchodo, J.M.A. (2010). *Facilities Planning*. Wiley, USA. 841 s. ISBN 978-0-470-44404-7.

Voehl, Frank, Harrington, H. James, Mignosa, Chuck, Charron, Rich. (2014). *The lean six sigma black belt handbook: Tools and Methods for Process Acceleration*. Boca Raton, FL: CRC Press. 559 s. ISBN 978-1-4665-5468-9.