

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Konetekniikan koulutus  
Tuotantotekniikka ja suunnittelu

Antti-Pekka Airaksinen

**Sarjatuotannon mukaisesti    tehostaminen    lean-filosofian**

Opinnäytetyö 2019

## Tiivistelmä

Antti-Pekka Airaksinen

Sarjatuotannon tehostaminen lean filosofian mukaisesti, 38 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Konetekniikan koulutus

Tuotantotekniikka ja suunnittelu

Opinnäytetyö 2019

Ohjaajat: lehtori Heikki Liljenbäck, Saimaan ammattikorkeakoulu, Model factory manager Jonne Härkänen, The Switch Drive Systems Oy

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda edellytykset nostaa yrityksen PMM1500 generaattorin roottorin sarjatuotannon tahti nykyisestä kolmen kokoonpanon viikkotahdista neljän kokoonpanon viikkotahtiin.

Opinnäytetyön alussa opiskeltiin perusteet lean-filosofiasta, value stream mapin ja layoutin suunnittelusta sekä tuotannon tehostamisesta. Tämän jälkeen keskityttiin tuotannossa käytössä olevan layoutin pullonkauloihin ja näiden läpivirtauksen tehostamiseen. Taustatietoa tuotannon kehittämisestä kerättiin haastattelemalla työpaikan asentajia, kellottamalla tuotannossa syntyvää, ei-arvoa lisäävää aikaa ja paikallistamalla tuotannon sen hetkiset pullonkaulat. Lisäksi opinnäytetyössä vertailtiin yrityksen sen hetkisen value stream mapin toteutumista käytännössä.

Opinnäytetyön tuloksena tuotannon tahtia onnistuttiin nostamaan neljän kokoonpanon viikkotahtiin yhteistyössä tuotannon muiden toimihenkilöiden kanssa. Tuotannon tehostaminen tapahtui yhdistelemällä opinnäytetyössä ehdotettuja ideoita yrityksen toimihenkilöistä koostuneen työryhmän ideoiden kanssa. Tuotannon layouttia uudistettiin ja osa työvaiheista järjesteltiin uudestaan.

Asiasanat: lean-filosofia, sarjatuotannon tehostaminen, layout

## **Abstract**

Antti-Pekka Airaksinen

Optimizing serial production according to lean philosophy, 38 pages

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Mechanical Engineering

Mechanical and industrial engineering

Bachelor's Thesis 2019

Instructors: Lecturer Mr. Heikki Liljenbäck, Saimaa University of Applied Sciences, Model factory manager Mr. Jonne Härkänen, The Switch Drive systems Oy

The aim of this thesis was to enable the growth of the company's main product serial production from three assemblies per week to four assemblies per week. The work was commissioned by The Switch Drive Systems Oy.

First the main principles of lean philosophy were studied and how to create value stream maps and designing lay outs. After that the study focused on the current value stream map and how to decrease the nonvalue-creating actions and identifying all bottle necks of the production. Data on how to execute the production growth were collected by performing a qualitative research for the assemblers, tracking nonvalue-creating time, comparing the current value stream map to the production and by trying different working methods on the work phases.

As a result of this thesis it is possible to increase the production volume to four assemblies per week. Based on the findings the lay out of the production line was re-created and some of the work phases were reformed.

Keywords: lean philosophy, serial production, value stream map, lay out

# Sisällys

1	Johdanto.....	5
2	The Switch.....	6
2.1	Yritys.....	6
2.2	Liiketoiminta-alueet.....	7
2.2.1	Turbo.....	8
2.2.2	Wind.....	9
2.2.3	Marine.....	10
2.2.4	Converter.....	11
2.3	PMM1500.....	11
2.4	The switch lean.....	12
3	Lean.....	12
3.1	Historia.....	12
3.2	Filosofia.....	13
3.3	Jatkuva parantaminen - Kaizen.....	14
3.4	Työn vakioittaminen.....	15
3.5	Tuotannon tasoittaminen.....	16
3.6	Virtaus.....	16
3.6.1	Virtauttaminen käytännössä.....	16
3.6.2	Virtauttamisen hyödyt.....	17
3.7	Imuohjaus.....	17
3.8	Mittaaminen ja tunnusluvut.....	17
3.9	Systemaattinen ongelmanratkaisu.....	18
3.10	Laatu.....	19
3.11	Hukka.....	19
4	Tuotannon ja muiden sektoreiden yhteistyö.....	21
4.1	Tuotanto.....	21
4.2	Suunnittelu.....	21
4.3	Hankintatoimi.....	21
4.4	Laadunhallinta.....	22
4.5	Toimivan yhteistyön vaikutukset ja takaaminen.....	22
5	Andon.....	25
6	Tuotannon pullonkaulat.....	26
6.1	Pullonkaulat ja niiden virtauksen parantaminen.....	27
6.1.1	Magneettien asennus.....	28
6.1.2	Lakkaus.....	29
7	Kehittämisehdotukset.....	31
7.1	Layout ratkaisut.....	31
7.1.1	Layout 1.....	32
7.1.2	Layout 2.....	33
7.1.3	Layout 3.....	34
7.1.4	Layout 4.....	37
8	Yhteenvedo.....	37
	Lähteet.....	38

# 1 Johdanto

Opinnäytetyö käsittelee The Switch Drive Systems Oy:n sarjatuotannossa tuotettavan generaattorin roottorin kokoonpanon tehostamista. Opinnäytetyön aihe tuli ajankohtaiseksi, kun yritys pyrki tulevaisuudessa nostamaan tuotantotahtiaan. Työn tavoitteena oli mahdollistaa yrityksen tuotantotahdin nostaminen kolmen kokoonpanon viikkotahdista neljän kokoonpanon viikkotahtiin.

Opinnäytetyön alussa yrityksen käyttämä layout ja työmenetelmät oli suunniteltu siten, että normaalilla työtahdilla saadaan tuotettua kolme kokoonpanoa viikossa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli paikallistaa tuotannon pullonkaulat sekä tehostaa näiden läpivirtausta ja kehittää yritykselle muutama vaihtoehtoinen layout-ratkaisu, joista tuotannonjohto valitsisi parhaiten sopivan vaihtoehdon toimeenpantavaksi.

Tuotannon tehostamisen tuli olla lean-ajattelun mukaista. Tämä tarkoittaa sitä, että tehostaminen pyrittiin suorittaa vähentämällä hukkatyön määrää ja kokoonpanojen arvoa lisäämätöntä aikaa tuotannossa. Käytännössä tämä tapahtui siten, että pyrittiin minimoida kokoonpanojen seisominen tuotantolinjalla, mahdollistaa mahdollisimman tehokas päällekkäinen työskentely, maksimoida työntekijöiden monipuolinen työskentely ja heidän resurssien käyttö, sekä tehostaa nykyisiä, jo käytössä olevia työmenetelmiä.

Opinnäytetyö rajattiin koskevaksi yrityksen Lappeenrannan toimipisteen sarjatuotantoa, PMM1500-sarjan generaattorin roottorin valmistusta. Työssä teetettiin yrityksen asentajille kysely, jolla kartoitettiin asentajien mielipiteitä lean-ajattelun mukaisesta työskentelystä ja kerättiin heidän ajatuksiaan työskentelyn tehostamisen keinoista. Lisäksi osaa työntekijöistä haastateltiin kasvotusten sekä tuotannossa kelloitettiin nykyiset työvaiheet, jotta saatiin vertailuarvot suoritettaville parannuksille sekä uuden value stream mapin luomiseen. Osa opinnäytetyössä esitetyistä työvaiheista ja kuvista on sensuroitu tai yksinkertaistettu liiketoimintasalaisuuksien ylläpitämiseksi.

## **2 The Switch**

### **2.1 Yritys**

The Switch Drive Systems Ltd. on suomalainen yritys joka suunnittelee ja tuottaa, kestromagneettigeneraattoreita, suurnopeussähkömoottoreita ja konverttereita teollisuuden eri tarpeisiin. Yrityksen tuotteita käytetään mm. tuulivoimateollisuudessa, marine-sovelluksissa sekä prosessiteollisuudessa.

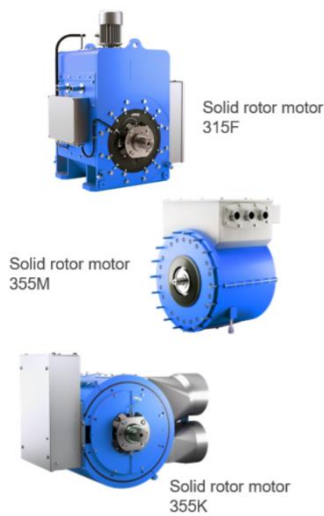
Yritys perustettiin vuonna 2006 kolmen eri yrityksen fuusiossa: Rotatek Finland, Verteco ja Youtility. Vuonna 2014 japanilainen Yaskawa Electric Corporation osti yrityksen, ja vuonna 2018 yrityksestä tuli Yaskawa Enviromental Energy Division.

Yrityksellä on Suomessa tuotantotiloja Lappeenrannassa ja Vaasassa sekä konttori Helsingissä. Lappeenrannan toimipisteessä valmistetaan suurien kestromagneettigeneraattoreiden roottorit ja valmistetaan sekä koestetaan suurnopeussähkömoottoreita, marinesähkökoneita sekä näiden prototyyppejä. Vaasan toimipisteessä kokoonpannaan ja koestetaan suuret kestromagneettigeneraattorit ja konverterrikaapit. Yrityksellä on lisäksi toimipisteitä Aasiassa, Euroopassa ja Yhdysvalloissa. (Yaskawa Enviromental Energy Division 2018a.)

## 2.2 Liiketoiminta-alueet

Yritys on jaettu kolmeen eri liiketoiminta-alueeseen: Turbo, Wind ja Marine. Lisäksi jokaiseen vaihtoehtoon on tarjolla sovellukseen sopiva konverterti, jolloin yrityksellä on tarjota kokonainen ”sovelluspaketti”, asiakkaan tarpeen mukaan kustomoituna. (Yaskawa Environmental Energy Division 2018a).

### TURBO



### WIND



### MARINE



## CONVERTER SCOPE

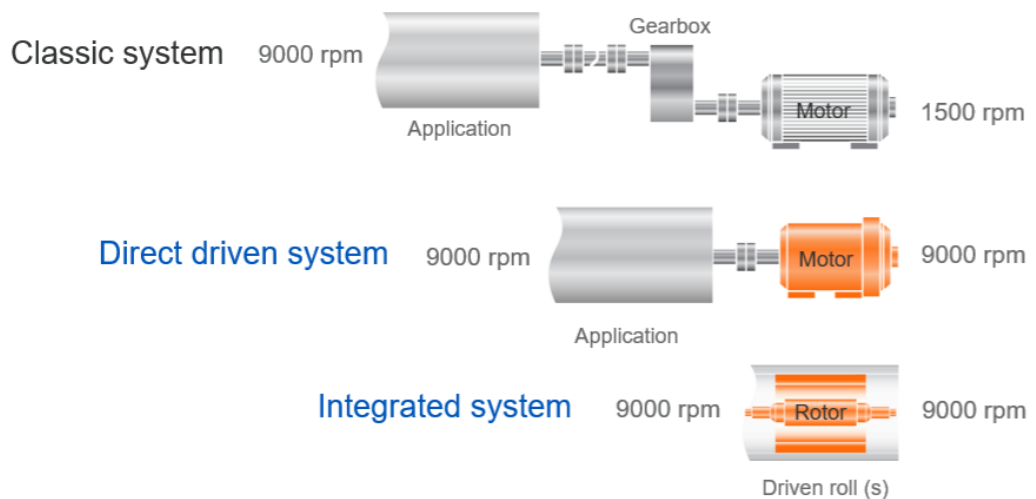


Kuva 2.1 Yrityksen tarjoama tuotekatalogi (Yaskawa Environmental Energy Division 2018a)

### 2.2.1 Turbo

Yrityksen tuottamat suurnopeussähkömoottorit edustavat Turbo liiketoiminta-alueita. Tuotteilla voidaan korvata perinteiset sähkömoottori + vaihteisto-ratkaisut käyttämällä pelkästään suurnopeussähkömoottoria, jonka pyörimisnopeutta voidaan säätää lähes portaattomasti taajuusmuuntajan avulla. Jättämällä sovelluksesta pois vaihteisto saavutetaan parempi hyötysuhde, korkeampi toimintavarmuus ja pienempi huollon- sekä tilantarve. Turbo-sovelluksia voidaan käyttää asentamalla sähkömoottori suoravetoiseksi toimilaitteeseen tai integroimalla se toimilaitteen sisään (kuva 2.2). Turbo sovelluksilla on mahdollista saavuttaa jopa 20 000 rpm ja megawattiluokan teho. Kuvassa 2.3. on esimerkki asiakkaan (Runtech Systems) tuottamasta Turbo-sovelluksesta. Kyseiseen sovellukseen on integroitu yrityksen sähkömoottori. Ratkaisua käytetään esimerkiksi massa- ja paperiteollisuudessa imun tuottamisessa viiralle. (Yaskawa Environmental Energy Division 2018b.)

## SYSTEM LEVEL COMPARISON



Kuva 2.2 Havainnointikuva yrityksen tuottamien sähkömoottoreiden asennusmahdollisuuksista (Yaskawa Environmental Energy Division 2018b)

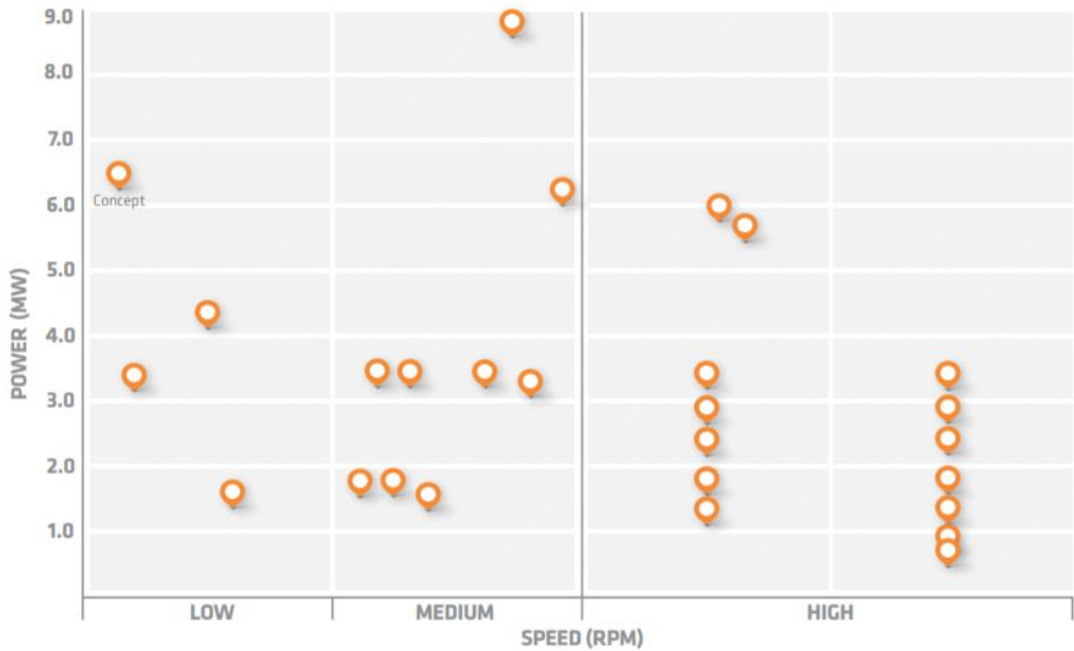




Kuva 2.3 Esimerkki asiakkaan (Runtech Systems) tuottamasta Turbo-sovelluksesta. (Yaskawa Environmental Energy Division 2018b).

### 2.2.2 Wind

Wind-koneet jaetaan pyörimisnopeudeltaan kolmeen osaan: hitaan, keskinopean ja nopean pyörimisnopeuden kestmagneettigeneraattoreihin. Hitaan pyörimisnopeuden generaattorit ovat suoravetoisia, niiden käyttönopeus on alle 20 rpm ja tuottetu teho on 1,6 MW – 10 MW. Suoravetoisena käytettynä saavutetaan parempi hyötysuhde, korkeampi toimintavarmuus ja pienempi huollon tarve sekä pienempi tilantarve. Suoravetoisena hyötysuhde parempi koska energiaa ei tarvitse kuluttaa raskaan vaihteiston pyörittämiseen. Keski- ja suurnopeusgeneraattoreita käytetään vaihteiston kautta, ja niiden käyttönopeus on 100 rpm – 1500 rpm ja niiden tuottama tehoskaala on 500 kW – 10 MW. (Yaskawa Environmental Energy Division 2018a.)

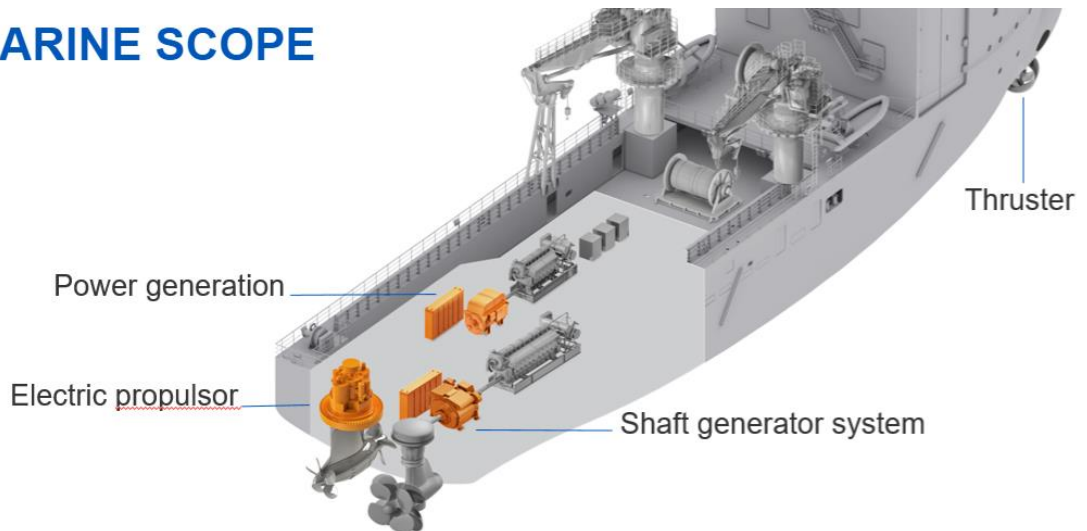


Kuva 2.4 The Switchin toimittamien generaattoreiden ryhmittymisen tehon (kW) ja pyörimisnopeuden mukaan [rpm]. (Yaskawa Environmental Energy Division 2018a).

### 2.2.3 Marine

Yrityksen Marine-sovelluksiin kuuluvat muun muassa akseligenaattoreita ja sähköisiä propulsio sovelluksia. Akseligenaattoreiden avulla voidaan tuottaa esimerkiksi alukselle sen tarvitsema sähkö ja sähköisiä propulsiosovelluksia voidaan käyttää mm. voimansiirrossa (kuva 2.5). Sovelluksien avulla voidaan pienentää aluksen kulutusta ja päästöjä. Käyttö tapahtuu suoravetoisesti tai vaihteiston avustuksella ja tehoa voidaan tuottaa 14 MW asti. (Yaskawa Environmental Energy Division 2018a.)

## MARINE SCOPE



Kuva 2.5 Marine sovelluksien käyttökohteita (Yaskawa Environmental Energy Division 2018a).

### 2.2.4 Converter

Sähkoneiden lisäksi The Switch valmistaa konverttereita erilaisiin teollisuuden tarpeisiin. Niiden loppukäyttö voi olla esimerkiksi suurnopeussähkömoottorin tai marine-sovelluksien ohjaaminen. Konverttereiden valmistus tapahtuu Vaasan, Norjan ja Kiinan toimipisteissä. Yrityksellä on tarjota konverttereita alkaen 200 kW, riippuen asiakkaan tarpeista. Konverttereita on tarjolla kaikkiin The Switchin valmistamiin koneisiin, joten asiakkaalle voidaan aina myydä valmis kokonainen paketti. (The Switch Drive Systems 2017.)

### 2.3 PMM1500

PMM1500 on tuotantovolumiltaan yksi suurimmista The Switchin tuottamista tuotteista. Kyseisiä tuotteita valmistetaan vuodessa yli 200 kappaletta. Se on kestmagneettigeneraattori, jonka loppukäyttö on suurissa, keskinopeissa Off-shore tuulivoimaloissa. Generaattorin roottori kokoonpannaan Lappeenrannan toimipisteellä, josta ne kuljetetaan Vaasan toimipisteeseen loppukokoonpanoon ja testaukseen.

## **2.4 The switch lean**

Yrityksen tuotanto on lean-filosofian mukaan ohjattua toimintaa. Tuotannossa on käytössä vakioidut työmenetelmät, lean-työkaluja (kuten 5S ja Andon), tuotantoa mitataan jatkuvasti erilaisilla mittareilla (esimerkiksi tuotteiden läpäisy aika), laadunvalvonta on rakennettu tuotannon sisään ja kokoonpanossa käytetään selkeitä työohjeita. Tuotteita valmistetaan asiakkaan kysynnän mukaan, pyritään maksimoida asiakkaalle tuotettu arvo ja minimoida tuotannossa syntyvää hukkaa.

## **3 Lean**

### **3.1 Historia**

Lean ajattelu on lähtöisin Japanista, kun Toyota Motor Corporation antoi silloiselle päätuotantoinisnoörille Taiichi Ohnolle tehtäväksi nostaa yrityksen tuottavuutta. Tehtävänä oli kehittää sellaisia toimenpiteitä, joilla tuotantoa pystyttäisiin tehostaa lisäämättä yrityksen resursseja.

Ohno alkoi yhdistellä palveluorganisaatioissa ja massatuotantotehtaissa jo olemassa olevia konsepteja uusiin, itse kehitämiinsä ideoihin. Esimerkiksi imuohjaus kehitettiin supermarketien toiminnan pohjalta, jossa asiakas sai juuri sitä mitä halusi, silloin kun halusi. Yhdysvaltalaisen laatuopettajan W. E. Demingin ja J. M. Muran avulla Japanilaiset lopulta kehittivät laatujohtamisesta toimintamallin, joka nykyisin tunnetaan Lean nimellä. Toimintamallissa yhdistyi tuotannon tehokkuus, asiakastyytyväisyyden arvo ja asiakastarpeiden etsimisen tärkeys.

Lopulta Lean-tuotanto tuli yleiseen tietoisuuteen James Womackin ja Daniel Roosin kirjoittamasta kirjasta "The Machine that Changed the World" vuonna 1990. Kirja käsitteli Toyota Motor Corporation:in tapaa johtaa tuotantoaan. (Six Sigma 2017.)

## 3.2 Filosofia

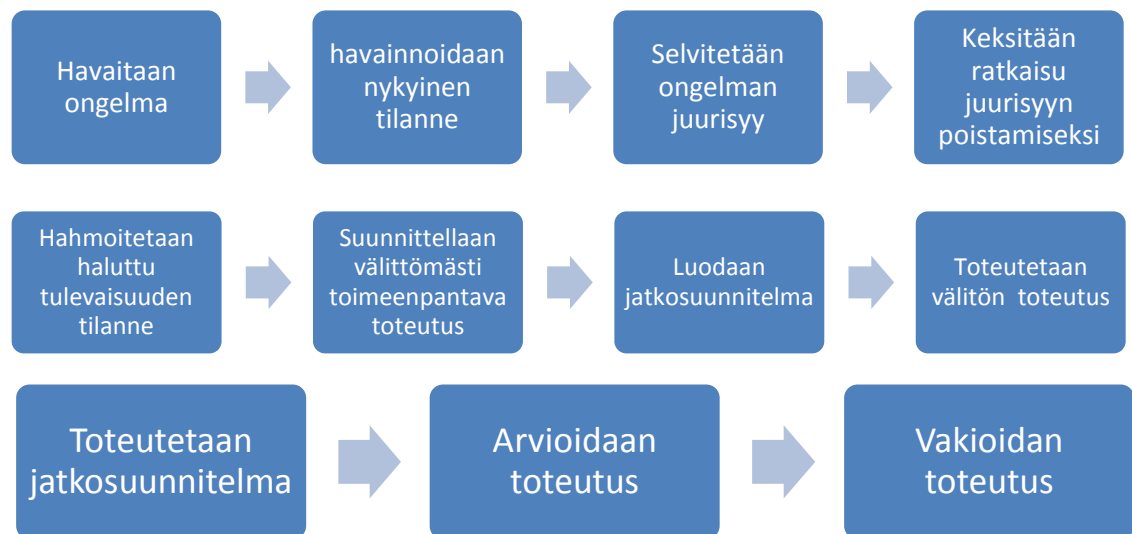
Lean-filosofia on ajattelutapa, jolla pyritään jatkuvan parantamisen avulla kehittämään yrityksen suorituskykyä ja henkilöstön osaamista. Kun arvoa lisäävää toimintaa lisätään yrityksessä suhteessa toiminnan kustannuksiin, paranee yrityksen kilpailuasema. Lean-toimintamalli näkyy selkeiden tuotannon organisoinnissa ja jatkuvassa kehitystyössä. Toiminnan tehostaminen tapahtuu ”ruohonjuuritasolla”, eli siellä missä tuotteeseen tai palveluun lisätään arvoa asiakkaan näkökulmasta. (Massachusetts Institute of Technology 2012.)

Ajattelussa korostuu laadukkaiden tuotteiden tai palveluiden tuottaminen. Toiminnassa pyritään siihen, että jokainen työvaihe lisää tuotteeseen arvoa ja hukkatyön määrä minimoidaan. Filosofian mukaan laadun tuottaminen on jokaisen työntekijän vastuulla, ja laadunvalvonta tulisi olla rakennettuna yrityksen tuotantoon.

Lean-filosofian tavoitteena on parantaa työntekijöiden työskentelyolosuhteita, mahdollista työntekijöiden osallistuminen tuotteiden tai palveluiden kehitystyöhön, parantaa yrityksen tuottamien tuotteiden tai palveluiden laatua sekä parantaa yrityksen kilpailukykyä. Käytännössä tämä ilmenee asioiden tekemisen harkitusti ja asioihin lähestymistä käytännön läheisesti. (Kouri 2010, 6-8.)

### 3.3 Jatkuva parantaminen - Kaizen

Lean-filosofian mukainen tuotannon kehittäminen perustuu jatkuvaan parantamiseen (continuous process improvement). Vastuu tuotteen laadusta sekä tuotannon kehittämisestä on jokaisella työntekijällä. Havaituihin ongelmiin tulee puuttua välittömästi, ja ne tulisi nähdä tilaisuuksina kehittää laatua, tehokkuutta tai työturvallisuutta. Varastojen ajaminen minimiin ja tuotannon virtauttaminen nostavat esille erilaisia ongelmia ja kehityksenkohteita.

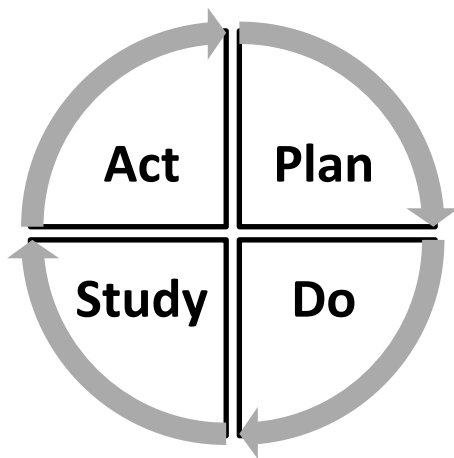


Kuva 3.1 Jatkuvan parantamisen runko

Työtapojen kehittäminen edellyttää sitä, että tuotannossa on selkeät toimintatavat ja työohjeet, joita kaikki työntekijät noudattavat. Kun kaikki toimivat samalla tavalla, voidaan selvittää kuinka tekeminen vaikuttaa laatuun ja työn tehokkuuteen. Työtapojen vakiinnuttaminen ei kuitenkaan tarkoita oma-aloitteisuuden vähentämistä. Työntekijöitä tulisi jatkuvasti kannustaa omatoimiseen ajatteluun ja työnjohdon tulisi viedä kehitysideoita eteenpäin. Esitetyt kehitysideoita tulee ottaa jatkokäsittelyyn PDSA-prosessin mukaisesti.

PDSA-prosessi auttaa selventämään mitä jatkuva parantaminen tarkoittaa käytännössä. Se on työkalu, jonka tarkoituksena on parantaa tuotannon prosessia ja kehittää sen käyttäjien ongelmanratkaisukykyä. PDSA-prosessin periaate on seuraava:

1. Plan = Suunnittele erilaisia kehitystoimenpiteitä tuotantoon. Kerää tietoa tuotannon nykytilanteesta ja aseta selkeät tavoitteet mitä toimilla halutaan saavuttaa.
2. Do = Suorita kokeilu kehitysideasta. Kokeilun voi suorittaa alkuun pienemmässä mittakaavassa, mutta siten että se kuvaa tarpeeksi tarkasti todellisuutta.
3. Study = Arvioi, tuottiko toimenpiteet haluttuja tuloksia.
4. Act = Jos kokeilu tuotti haluttuja tuloksia, vakioi hyväksi todetut toimenpiteet osaksi tuotantoa.
5. Palaa alkuun ja jatka kehityskohteiden etsimistä. (Kouri 2010, 14-16).



Kuva 3.2 PDSA-prosessin havainnollistaminen

### 3.4 Työn vakioittaminen

Vakiintuneet työskentelytavat tuovat muitakin hyötyjä kuin pelkästään mahdollisuuden tuotannon kehittämiseen; hyväksi todettujen työskentelytapojen kehittäminen tehostuu, tieto-aidon jakaminen ja oppiminen tehostuu, työtaturmat vähenevät ja tuotteiden laatu sekä työn tehokkuus paranevat.

Työn vakioittaminen edellyttää hyviä työohjeita. Hyvät työohjeet ovat selkeitä, havainnollistavia ja yksiselitteisiä. Ohjeissa käytetään kuvia, ja ne ovat mahdollisimman visuaalisia. Työohjeita tulee säilyttää tuotantotiloissa siten, että kynnyks niiden käyttämiseen on matala ja ne ovat helposti saatavilla välittömässä työpisteen läheisyydessä. (Kouri 2010, 16-18).

### **3.5 Tuotannon tasoittaminen**

Tuotannon tasoittamisella tarkoitetaan tuotteiden valmistamista säännöllisesti toistuvalla, tasaisella syklillä asiakastarpeen mukaan. Tällä pyritään välttää turhaa varastointia, pienentää keskeneräisen tuotannon määrää ja ehkäistä hukkaa. Tasaisen tuotannon suoria etuja ovat: käytössä olevien resurssien kuormituksen tasoittuminen, varastointitarpeen pienentyminen, joustavampi tuotanto sekä toimittajien ja alihankkijoiden helpompi ohjaaminen. Käytännössä tämä tarkoittaa mahdollisuuksien mukaan pienerätuotantoa, jossa tasaisin väliajoin tuotetaan eri variaatioita tuotteista tai kokonaan eri malliperheen tuotteita. (Massachusetts Institute of Technology 2012).

### **3.6 Virtaus**

Lean filofian mukainen tuotannon toimitapojen kehittäminen edellyttää tuotannon virtauttamista. Tällä tavoitellaan sitä, että tuotteet valmistetaan nopeasti valmiiksi, välittömän tarpeen mukaan. Toiminnan virtauttaminen tarkoittaa yksinkertaistettuna sitä, että nykyinen työvaihe on valmis tarjoamaan seuraavalle työvaiheelle sen tarvitseman tuotteen/osakokoonpanon/komponentin mahdollisimman nopeasti, kun seuraava vaihe on valmis vastaanottamaan sen, jotta tuotantolinjan virtaus on yhtenäistä eikä synny turhaa odottamista (ei-arvoa lisäävää aikaa) kokoonpanossa oleville tuotteille. (Kouri 2010, 20-21).

#### **3.6.1 Virtauttaminen käytännössä**

Käytännössä tämä ilmenee tuotteiden valmistamisena uusiutuviissa pienissä erissä tilauskannan tai varastotarpeiden mukaan. Kun tuotannon tarvitsemat keskeneräisen tuotannon varastot pidetään mahdollisimman pieninä, virtaavat tuotteet tehokkaammin. Virtauksen tehokkuuta mitataan tuotteiden läpäisyajalla. Mitä enemmän tuotannossa on käytössä keskeneräisen tuotannon varastoja, sitä pidempi tuotteen läpäisy aika on ja huonompi virtaus. Virtauksen tehostaminen pakottaa kehittämään tuotannon luotettavuutta, poistamaan laatuhäiriöitä ja poikkeamia sekä lisäämään tuotannon suunnittelua.



### **3.6.2 Virtauttamisen hyödyt**

Tehostamalla tuotannon virtauttamista saavutetaan parannuksia tuotannossa: toimitusajat lyhenevät, varastoihin sitoutunut pääoma pienenee, laatu kehittyy, tuottavuus kasvaa ja vakioidun toiminnan määrä kasvaa. Läpäisyajan lyhentäminen ei perustu työtahdin nopeuttamiseen vaan odotusaikojen poistamiseen. Kun tuotantoa virtautetaan, nousee se esiin uusia ongelmia eli kehityskohteita. Virtauttaminen edellyttää toimivaa laadunvarmistusta ja ongelmanratkaisun rakentamista prosessin sisään.

### **3.7 Imuohjaus**

Imuohjauksella pyritään poistamaan yhtä Lean filosofian keskeisintä hukkaa, ylituotantoa. Imuohjauksen mukaan työn aloittaminen perustuu osien/työvaiheiden kulutukseen. Heräte tuotteiden tekemiseen syöttämisestä seuraavaan vaiheeseen saadaan, kun seuraavan vaiheen jonossa ei ole tuotetta. Käyttämällä imuohjausta ehkäistään keskeneräisten tuotteiden varastointia, yksinkertaistetaan materiaalinohjausta, lyhennetään tuotannon läpäisyäikää, selkeytetään tuotantoa ja parannetaan tuotannon joustavuutta sekä lisätään asiakaslähtöisyyttä. (Bicheno & Holweg 2016, 68.)

### **3.8 Mittaaminen ja tunnusluvut**

Mittareita voidaan käyttää seuratessa valmistusprosessin tehokkuutta, tuotannon laatua sekä erilaisten hukkien määrää. Tuotantoon asetetut tavoitteet määrittelevät työntekijöille asetetun, tuotannon normaalin suoritustason. Mittareita tulee päivittää riittävän usein, jotta ne viestivät tuotantoon hyödyllistä tietoa tuotannon tilanteesta. Mittaamisella ei ole tarkoituksena painostaa työntekijöitä, vaan havaita mahdollisia poikkeavuuksia tai ongelmia ja ymmärtää prosessin toimintaa paremmin. Jos mittareissa havaitaan poikkeamia tuotantomäärissä tai laadussa, selvitetään mikä aiheuttaa tilanteen ja siihen reagoidaan välittömästi. Mittareilla havaitaan myös helposti aikaisempien kehitystoimenpiteiden vaikutukset tuotannossa.

Mittareiden tulisi olla yksiselitteisiä ja niiden määrä tulisi olla vähäinen, mutta kuitenkin riittävä havainnollistamaan mahdolliset ongelmat. Mitareiden tulee olla

visuaalisia, jotta niiden lukeminen on mahdollista suorittaa nopeasti ja väärinkäsitysten mahdollisuus on pieni. Yleisimpiä Lean filosofiassa käytettyjä mittareita ovat: tuottavuus, laatu, läpäisy aika, keskeneräinen tuotanto ja hukka (materiaali, työ tai energia). (Bicheno & Holweg 2016, 46.)

### 3.9 Systemaattinen ongelmanratkaisu

Tuotannossa havaitut ongelmat tulisi ratkaista systemaattisesti, selvittää niiden juurisyy ja korjata se. Jos havaittu ongelma on pieni, yksittäinen ja helppo korjata, voidaan se korjata yksittäisesti. Toistuvat ja merkittävät ongelmat tulee ratkaista systemaattisesti, jotta niistä päästään lopullisesti eroon. Tämä poistaa tuotannosta arvoa lisäämätöntä toimintaa ja siten lisää tuottavuutta. Systemaattinen ja dokumentoitu ongelmanratkaisu parantaa ongelmien käsiteltävyyttä, nopeuttaa ongelmien ratkaisua ja mahdollistaa ratkaisujen uudelleen käyttämisen. Ongelmanratkaisutyökalut tulee pitää mahdollisimman yksinkertaisina, jotta resursseja ei kulu itse työkalun käyttämiseen. Esimerkiksi hyvä ja yksinkertainen työkalu juurisyyn löytämiseen on kysyä viisi kertaa, miksi.

- Ongelma: tuotanto pysähtyy
- Miksi tuotanto pysähtyi? → Tuotannossa käytettävät mutterit olivat loppu hyllystä
- Miksi mutterit olivat loppu hyllystä? → Mutterit olivat loppu yrityksen 2-laatikkojärjestelmästä
- Miksi mutterit olivat loppu 2-laatikkojärjestelmästä? → Muttereiden tilaaminen oli unohdettu
- Miksi oli unohdettu? → Varaston työntekijöillä on liian suuri työkuorma
- Miksi varaston työntekijöillä on liian suuri työkuorma? → Varastossa on liian vähän työntekijöitä

Ongelmasta riippuen joskus juurisyyn löytäminen tarvitsee enemmän tai vähemmän kuin viisi kysymystä. On yleistä, että kun juurisyy on selvitetty, osataan se yhdistää myös muihin ongelmiin. (Massachusetts Institute of Technology 2012).

### **3.10 Laatu**

ISO-9000-laatustandardi määrittelee laadun seuraavasti: 'degree to which a set of inherent characteristics of an object fulfils requirements' (suom. missä määrin kohteen luontaiset ominaisuudet täyttävät vaatimukset).

Laatu on asiakkaan itse, tapauskohtaisesti määrittelemä, tuotteen tai palvelun ominaisuus. Kun puhutaan laadusta, tuodaan usein esille tuotteen tai palvelun positiivisia piirteitä, jotka täyttävät asiakkaan odotukset. Laatu voi olla myös mitattava ominaisuus, kuten tuotteen tuottama teho, hyötysuhde tai käyttöikä. Korkeasta laadusta voi pyytää korkeampaa hintaa kuin vastaavasta tuotteesta, jossa on huonompi laatu. Laatu ei silti välttämättä tarkoita korkeampia valmistuskustannuksia, sillä laatu syntyy osaamisesta ja tieto-aidosta. Käytännössä laatu siis tarkoittaa asiakkaan vaatimusten ja odotusten täyttymistä. (Suomen standardisoimisliitto 2016).

Laadukkaat tuotteet syntyvät poistamalla ongelmat ja häiriöt tuotannosta sitä mukaan, kun niitä tulee esiin. Virheet, poikkeamat ja häiriöt tulee nähdä kehitysmahdollisuutena laadun ja tuottavuuden parantamiseen. Lean filosofian mukaan laadunvalvonta on kaikkien työntekijöiden tehtävä ja sitä pidetään osana normaalia työskentelyä. Käytännössä tämä ilmenee siten, että työntekijät ilmoittavat havaituista poikkeamista, häiriöistä tai työturvallisuuspuutteista, ja niihin puututaan CPI-protokollan (continuous process improvement) mukaan. Jos tuotannossa havaitaan ongelma, tulee ongelman juurisyy selvittää ja tehdä korjaavat toimenpiteet sen poistamiseksi ja uusien ongelmien estämiseksi. Kun vähennetään poikkeavuuksia laadussa, vähennetään samalla ei-arvoa lisäävää toimintaa. Tämä lisää tuotannon tehokkuutta.

### **3.11 Hukka**

Lean filosofia jakaa hukan kolmeen osaan: Muda, Muri ja Mura. Muda tarkoittaa kaikkea toimintaa, joka ei lisää tuotteeseen arvoa. Muri tarkoittaa ihmisten tai työvälineiden ylikuormittamista ja Mura tarkoittaa epätasaisuutta tuotannossa. Epätasaisuus tarkoittaa vaihtelevaa työkuormaa tai piikkejä, jolloin käytössä olevat resurssit ylikuormittuvat. Epätasaisuus voi johtua tuotannon huonosta suunnittelusta, puuttuvista henkilöstöresursseista, vääristä tai viallisista

työvälineistä tai jatkuvasti vaihtuvista tuotannon vaatimuksista. Muran syntyminen tuotannossa johtaa usein myös Mudan tai Murin syntymiseen.

Muda (ei-arvoa lisäävä toiminta) jaetaan erikseen vielä kahdeksaan eri osaan:

### **1. Ylituotanto**

Tuotetaan enemmän materiaalia, tietoa tai testejä kuin tarve vaatii. Suuret eräkoot, keskeneräinen tuotanto ja omaan varastoon tuottaminen johtaa muiden hukkien syntymiseen. Suuret varastot piilottavat myös muita ongelmia, koska ne lieventävät niiden vaikutuksia.

### **2. Tarpeeton varastointi**

Varastoidaan enemmän materiaalia tai tietoa kuin tarve vaatii tai liian pitkään.

### **3. Kuljetus ja liikuttelu**

Siirrellään komponentteja, materiaaleja tai työntekijöitä työpisteiden välillä tai niiden sisällä enemmän kuin tarve vaatii.

### **4. Tarpeeton liikkuminen**

Liikutetaan turhaan työntekijöitä, jotta he saisivat tarpeellisen tiedon, komponentin, työkalun tms. Tarvittavien materiaalien ja tiedon tulisi olla työpisteen välittömässä läheisyydessä.

### **5. Odottaminen ja viivästyks**

Odotetaan materiaaleja, tietoa tai työvaiheita turhaan. Käytännön esimerkkejä ovat kone- tai laitehukat ja viivästyneiden komponenttien aiheuttama odotus.

### **6. Vialliset tuotteet**

Virheet tai poikkeamat jotka aiheuttavat työpanostuksen uudelleen suorittamisen. Johtavat asiakastyytymättömyyteen, jos vialliset tuotteet päätyvät asiakkaalle tai ne viivästyttävät tuotantoa.

### **7. Ylilaatu**

Tehdään parempaa kuin mitä tarve tai lisätään tuotteeseen ominaisuuksia mitä asiakas ei tarvitse.

### **8. Käyttämättä jätetty työntekijöiden potentiaali**

Menetään parannusehdotuksia, koska ei kuunnella tai kannusteta työntekijöitä tarpeeksi kehittämään tuotantoa tai ei käytetä työntekijöitä

tarpeeksi monipuolisesti tuotannossa. (Massachusetts Institute of Technology 2012).

## **4 Tuotannon ja muiden sektoreiden yhteistyö**

### **4.1 Tuotanto**

Tuotannolla tarkoitetaan sitä toimitusketjun osaa, joka usein mielletään transformaatioprosessiksi. Tällä tarkoitetaan materiaalivirrassa tapahtuvaa jalostusta, jossa muokataan raaka-aineista valmiita komponentteja tai komponenteista valmiita kokoonpanoja. Se on keskeinen osa tilaus-toimitusprosessia. Tuotteet voivat olla esimerkiksi valmiita tuotteita loppukäyttäjille, puolivalmisteita kokoonpanoteollisuuteen tai investointihyödykkeitä muille yrityksille. Tuotannolla voidaan tarkoittaa laajemmassa kuvassa myös esimerkiksi palveluiden tuottamista tai kulttuurituotantoa.

Tuotannolla on usein useita eri tavoitteita, esimerkiksi hyvä toimituskyky (toimitusajoissa pysyminen ja toimitusvarmuus), laadukkaat tuotteet, uusien tuotteiden ajaminen nopeasti tuotantoon sekä olla joustava. Tuotannon pitäisi myös kehittyä tarpeeksi nopeasti ja sopeuduttava muutoksiin, jotta se varmistaa kilpailukykyisen toiminnan yritykselle.

### **4.2 Suunnittelu**

Tuotesuunnittelu konetekniikassa yhdistää useamman eri osa-alueen: tuotteen visuaalinen mallintaminen, lujuusopillinen tarkastelu ja profiilin valinta, materiaalin valinta, käytettävien komponenttien (esim. laakereiden) valinta sekä valmistuspiirustusten laatiminen. Tuotetta suunnitellassa tulee ymmärtää mahdolliset valmistustekniset rajoitteet, erilaisten standardien käyttäminen ja näiden perusteella suunnitella yritykselle kilpailukykyinen, toteutettava tuote.

### **4.3 Hankintatoimi**

Hankintatoimen tehtävänä on varmistaa yrityksen tarvitsemien materiaalien, tuotteiden ja palveluiden hankkiminen ajallisesti, määrällisesti, laadullisesti ja hinnallisesti kuten on sovittu. Hankinnat pyritään suorittamaan mahdollisimman

kustannustehokkaasti, jotta varmistetaan yrityksen kilpailukyinen toiminta. Hankinnat muodostavat suuren osan kustannuksista yrityksen liiketoiminnasta, jopa 70-80 %. (Laatukeskus).

Hankintatoimi jaetaan neljään eri osa-alueeseen: taktinen hankintatoimi (budjetointi ja sopimusneuvottelut), operatiivinen ostotoiminta (arkirutiinit kuten tilaaminen, laskujen tarkastus ja toimitusvalvonta), strateginen hankintatoimi (toiminnan suunnittelu ja kehitys, ostaja-toimittajasuhteiden kehittäminen, (toimittajien valinta ja arviointi yms.) sekä ostomarkkinointi (ostajien itsensä markkinointi sopivimmille toimittajille parhaan suhteen valossa).

Hankinnat voidaan karkeasti jaotella kolmeen eri ryhmään: suorat hankinnat (yrityksen tuotteen valmistamisessa vaadittujen raaka-aineiden ja komponenttien hankinta), epäsuorat hankinnat (kaikki muut paitsi tuotannolliset hankinnat, esimerkiksi toimistotarvikkeet, varaosat, työkalut yms.) sekä palveluhankinnat.

#### **4.4 Laadunhallinta**

Laadunhallinnalla tarkoitetaan jonkin tuotteen tai palvelun laadun ylläpitoa ja hallintaa vaatimusten mukaisella tasolla. Hyvin suoritettulla laadunhallinnalla saavutetaan taloudellisia etuja, kuten tehokkuuden paranemista, hukkatyön vähenemistä sekä tuottavuuden kasvua. Sillä on myös muitakin epäsuoria vaikutuksia: varastojen kokoja voidaan pienentää, tuotannosta tulee joustavampaa sekä saavutetaan tyytyväisempiä työntekijöitä sekä asiakkaita.

#### **4.5 Toimivan yhteistyön vaikutukset ja takaaminen**

Jotta mahdollistetaan yritykselle paras mahdollinen kilpailukyky, tulee näiden kaikkien osa-alueiden toimia yhteistyössä keskenään ja tukea toisiaan. Tuotannon aikataulutusta suunnitellessa täytyy hankintatoimen osallistua prosessiin, jotta saadaan ajankohtainen tieto tarvittavien komponenttien toimitusajoista ja muista komponentteja koskevista, mahdollisista muuttujista. Suunnittelun täytyy huomioida tuotannon tarpeet esimerkiksi liittyen tarvittaviin erikoistyökaluihin ja tuotteen kokoonpantavuuteen mahdollistaen tuotteiden sujuvan kokoonpanon. Laadunhallinta toimii tehokkaimmin tuotannosta käsin,

kun jokainen työntekijä puuttuu havaitsemiinsa virheisiin eikä päästä niitä ohi. Laadunhallinnan tulisi olla sujuvaa, eikä se saa pysäyttää tai hidastaa tuotantoa.

On tärkeää, että eri tahot pystyvät kommunikoida keskenään mahdollisimman suoraan, ilman turhaa byrokratiaa tai välikäsiä. Tämä minimoi väärinkäsitysten määrän sekä prosessiin kuluvan ajan. Jotta kehittäminen tapahtuisi tuotannon näkökulmasta tehokkaalla tavalla, tulee tuotannon työntekijöiden osallistua kehittämiseen. Tämän maksimoimiseksi, on työntekijöille kerrottava kuinka tuotannon kehittämisen prosessi etenee, mitä kehittämissideassa tulee huomioida ja missä vaiheessa heidän esittämien kehitysideoiden käsittely on. Läpinäkyvyys, kehitysideoiden käsittelyyn ottaminen ja työntekijöiden kuuntelu on tärkeää kun työntekijöitä motivoidaan tuotannon kehittämiseen ja omien ideoiden esittämiseen. Yrityksen tuotannon työntekijöille teetetyssä kyselyssä havaittiin, että 21 % työntekijöistä ei kertoisi tuotantoon liittyviä kehitysideoita eteenpäin, koska ei tunne, että asiat ottaisiin käsittelyyn, tai toimeenpannusta kehitysideasta ei palkita ehdotuksen tehnyttä työntekijää.

Lean filosofian mukaan laadunhallinta tulee olla rakennettu osaksi tuotantoa. The Switchillä on tuotannossa käytössä Andon-järjestelmä, johon tuotannon työntekijät merkitsevät tuotannossa havaitsemansa poikkeamat. Järjestelmään merkityt poikkeamat otetaan käsittelyyn siten, että poikkeaman tyypistä riippuen sopiva toimihenkilö tarkastaa poikkeaman ja antaa toimintaohjeet asiaan liittyen. Lisäksi yrityksellä on käytössä vakioituja laatutarkastuksia, jotka on sisäistetty tuotteiden kokoonpanoon. Kokoonpanoa saa jatkaa vasta, kun tarkastukset ja tarkastuksessa havaitut, tarvittavat korjaustoimenpiteet on suoritettu. Kokoonpano tapahtuu kahdessa vuorossa, mutta tarkastuksia suorittavat toimihenkilöt työskentelevät vain yhdessä vuorossa. Vaikka työn jaksotus pyritään ajoittamaan siten, että laatutarkistukset on mahdollista suorittaa välittömästi tarpeen vaatiessa, tulee ajoittain hetkiä jolloin tuotanto joutuu pysähtymään tietyn kokoonpanon osalta odottamaan laatutarkistusta, johtuen tarkistuksia tekevien toimihenkilöiden työkuormasta tai siintä, että tarkistuksen ajankohta sattuu sellaiseen aikaan, kun tarkistuksia tekevät toimihenkilöt eivät ole töissä. Tämä tilanne voitaisiin ehkäistä kouluttamalla molemmista vuoroista työvuoron

vastaava asentaja suorittamaan tarvittaessa vakioituja laatutarkistuksia. (Bicheno & Holweg 2016, 76.)

Tuotannon toiminnan kehittämisessä tulee kiinnittää huomiota myös hankintatoimen toimintaan. Hankintatoimen kautta syntyvää hukkaa ovat esimerkiksi liian suuret komponenttien varastomäärät, tarpeettomien komponenttien varastointi, tuotannon seisomisen aiheuttavat komponenttien toimitusajat sekä virheelliset tilaukset. (Laatukeskus.)

Toimittajien kanssa tehtyjen kehittämiskeskustelujen perusteella voidaan poistaa tuotannosta työvaiheita, jotka on mahdollista teettää jo toimittajalla. Yrityksen varastojen hallintaa helpottaa säännöllinen inventaario ja tuotekohtaisesti laadittu ABC-analyysi.

ABC-analyysi tarkoittaa komponenttien luokittelua esimerkiksi tuotteen kriittisyyden, hankintahinnan ja toimistusaikojen mukaan. A-luokan komponentit ovat kalliita varastoida, niissä on pitkät toimitusajat tai ne ovat erittäin kriittisiä tuotteen valmistamisen kannalta. Näitä tulisi olla 20 % varastossa olevien komponenttien määrästä, ja niiden tulisi kattaa noin 80 % varastoon sidotusta pääomasta. B-luokan komponentteja tulisi olla varaston määrästä 30 % ja niiden sitoma pääoma saisi olla 15 % varaston sitomasta pääomasta. Vastaavasti C-luokan komponentit ovat edullisia hankkia ja varastoida, niillä on lyhyet toimitusajat ja ne eivät ole äärimmäisen kriittisiä tuotannon kannalta. Näitä tulisi olla 50 % varaston komponenteista, ja niiden tulisi kattaa 5 % varastoon sidotusta pääomasta. (Logistiikan maailma).

Kun tuotteelle laaditaan ABC-analyysi, voidaan komponenttien inventaario suorittaa jatkossa sitä hyväksi käyttäen. A-luokan komponenteille tulisi inventaario suorittaa usein, jotta saavutetaan varmuus tuotteiden varastosaldoista ja pystytään reagoimaan mahdollisiin ongelmatilanteisiin tarpeeksi nopeasti. Täten päässään ehkäisemään tuotannon seisomista puuttuvien tuotteiden odottamisen takia. Vastaavasti C-luokan komponenttien inventarion tekemiseen on turha sitoa liikaa resursseja, koska ne ovat edullisia ja nopeasti saatavia komponentteja.



Taulukko 1 on esimerkki opinnäytetyötä koskevan tuotteen osakokoonpanon (magneetin asennus) mahdollisesta ABC-analyysistä.

Luokka	Komponentti	Inventaarion tiheys
C	Magneetin suojapelti	4 viikkoa
C	Aluslevyt	4 viikkoa
C	Mutterit	4 viikkoa
C	Pidättimet	4 viikkoa
B	Kiinnitystarvikkeet	2 viikkoa
B	Magneetti	2 viikkoa
A	Mantle	1 viikko

Taulukko 1. Mahdollinen ABC-analyysi

Kaikki C-luokan komponentit ovat helposti varastoitavia sekä edullisia komponentteja. B-luokan komponenteissa on joko pidempi toimitusaika, niitä on haasteellisempi varastoida ja niiden hankintakustannukset ovat suurempia. A-luokan komponentti on kallis varastoida, sillä on korkea hankintahinta ja pitkä toimitusaika.

## 5 Andon

Andon tarkoittaa suomennettuna merkkiä tai signaalia. Sitä käytetään lean filosofiassa hälyttämään tuotannonjohdolle tuotannossa ilmenevistä poikkeamista tai ongelmista reaaliaikaisesti, jotta niihin pystytään reagoimaan välittömästi. Andonin käyttö lean filosofiassa on lähtöisin Toyotan tuotannosta, jossa linjaston yläpuolella oli keltainen naru, jonka avulla asentajien tuli hälyttää esimies paikalle tarpeen vaatiessa. Andon hälytyksen syntyessä tuotantolinja pysähtyi, ja ongelman juurisyy ja oireet saatiin näin korjattua tehokkaasti. Syy saattoi olla esimerkiksi puuttuva tai viallinen komponentti, toimintahäiriö työkaluissa tai kokoonpanovirhe.

Andonin käyttäminen tuotannossa tuottaa parannuksia sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Lyhyen aikavälin parannuksia ovat mm. tuotannon luotettavuuden ja läpinäkyvyyden lisääntyminen, tuotannon kasvava tehokkuus ja tuottavuus sekä hukun vähentyminen. Pidemmän aikavälin parannuksia ovat mm. tuotantokustannuksien madaltuminen, tuotantolinjaston seisomisen

väheneminen ja virtauksen parantuminen, suuremman arvon tuottaminen asiakkaalle laadukkaampien tuotteiden ansiosta sekä tuotannon luotettavuuden kasvaminen. (Lean kit).

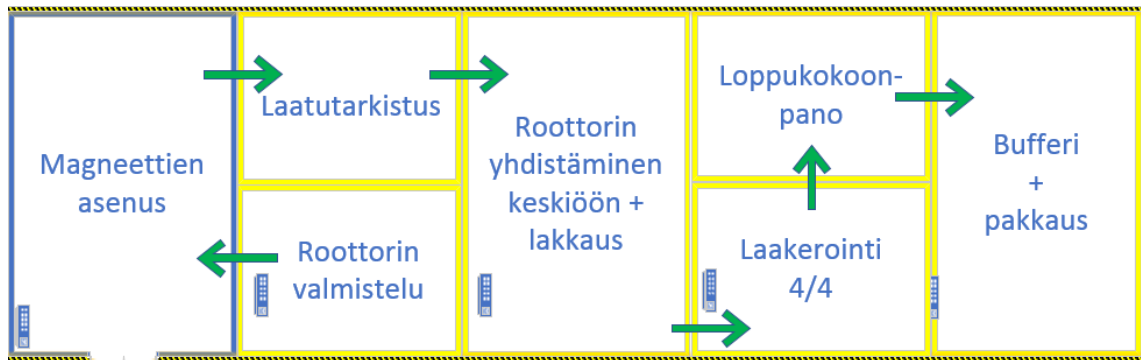
The Switchillä Andon on käytössä järjestelmänä, jonka avulla hallinoidaan havaittuja poikkeamia, puutteita sekä kehitysehdotuksia. Järjestelmän avulla saadaan kaikki tarvittavat tiedot tallennettua. Järjestelmä toimii siten, että poikkeaman havaittaja tekee ilmoituksen järjestelmään tapauksesta välittömästi sen havaittua. Poikkeama voi olla esimerkiksi rikkiäinen työkalu, viallinen komponentti tai työturvallisuuteen liittyvä havainto. Kun ilmoitus on tehty järjestelmään, järjestelmä antaa tästä ilmoituksesta tiedon toimihenkilöille. Ilmoituksen ottaa käsittelyyn toimihenkilö, jonka vastuualueelle kyseinen Andon kuuluu. Kun toimihenkilö ottaa Andonin käsittelyyn, kirjaa hän tarkemmat tiedot tapauksesta ja asiaan liittyvät välittömät ja korjaavat toimenpiteet. Kun välittömät ja korjaavat toimenpiteet on suoritettu, merkitsee hän Andonin suljetuksi.

## **6 Tuotannon pullonkaulat**

PMM1500 roottorin työvaiheet yksinkertaistettuna ja kokoonpanossa käytetty layout ennen opinnäytetyön alkua:

1. Roottorin valmistelu
2. Magneettien asennus roottoriin
3. Laatutarkistus
4. Roottorin yhdistäminen keskiöön
5. Lakkaus
6. Laakeroinnin valmistelu
7. Laakerointi 1/4
8. Laakerointi 2/4
9. Laakerointi 3/4

10. Laakerointi 4/4
11. Loppukokoonpano
12. Pakkaus ja lähetys

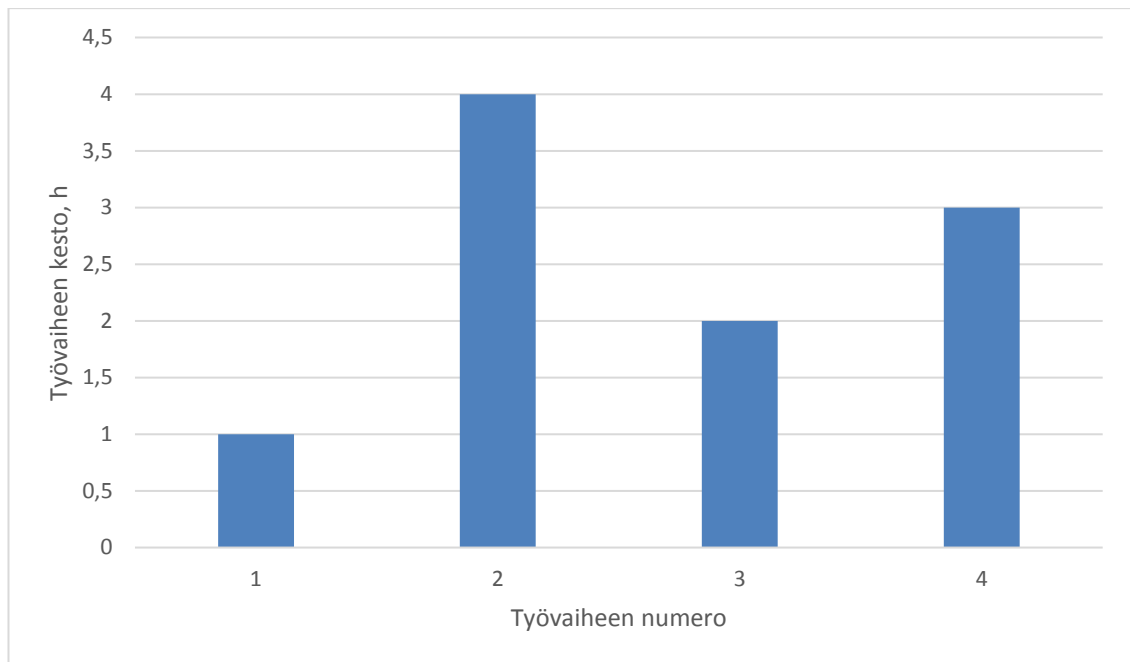


Kuva 6.1 Esitetty yrityksen käyttämä layout opinnäytetyön alussa. Kuvaan on rajattu ainoastaan opinnäytetyötä koskevan tuotteen kokoonpanossa käytetty alue.

### 6.1 Pullonkaulat ja niiden virtauksen parantaminen

Tuotannon pullonkaula on työvaihe, joka määrittää millä tahdilla tuotannon linjasto pystyy edetä seuraavaan vaiheeseen. Se voi olla esimerkiksi eniten aikaa ottava työvaihe tai suurimpaan rasitukseen joutuva prosessin osa, jos prosessin kaikki työvaiheet etenevät yhtä nopeasti.

Esimerkkinä yksinkertainen linjasto, jossa on neljä työvaihetta, eikä missään työvaiheista ole päällekkäistä työskentelyä muiden vaiheiden kanssa. Taulukosta (kuva 6.2) havaitaan, että työvaiheen nro.2 suorittamiseen kuluu eniten aikaa, eli se on tuotannon pullonkaula. Se on siis tuotannon virtausta rajoittava tekijä. Jos tuotantoa halutaan tehostaa, saavutetaan suurin hyöty tehostamalla virtausta pullonkauloista.



Kuva 6.2 Tuotannon pullonkaulan havainnollistaminen

Pullonkaulat paikallistettiin tarkistelemalla yrityksen käyttämää tuotannonohjausjärjestelmää. Siellä jokainen työvaihe kuitataan aloitetuksi ja tehdyksi, joten järjestelmä näyttää kuinka paljon aikaa kyseiseen työvaiheeseen on käytetty. Jokaisesta työvaiheesta otettiin kuusi arvoa, joista muodostettiin keskiarvo. Keskiarvoja laskiessa havaittiin, että samoissa työvaiheissa on suuriakin heittoa järjestelmään merkityissä työvaiheiden kestoissa. Tämä johtuu osalta järjestelmän käyttäjien aiheuttamista virheistä, kuten tauolle siirtyessä ajanoton pysäyttämisen unohtamisesta. Tästä aiheutuvan virheen minimoimiseksi, valittiin suuresta joukosta eniten samaa tasoa olevat arvot, ja jätettiin ääriarvot molemmista päistä huomioimatta keskiarvoja laskiessa. Näitä keskiarvoja vertailtiin muiden työvaiheiden kesken. Havaittiin, että magneettien asentaminen (19h 30min) ja lakkaus (27h 15min) vaativat selkeästi eniten aikaa, eli ovat pullonkauloja tuotannolle.

### 6.1.1 Magneettien asennus

Magneettien asentaminen roottorin pintaan on aikaa ja tarkkuutta vaativa toimenpide. Työ on saman vaiheen toistoa ja työn suorittamiseen turtuu helposti, jolloin riski työtapaturmiin kasvaa. Lisäksi nykyinen layout sallii magneettien asentamisen ainoastaan yhteen kokoonpanoon kerrallaan.

Työvaihe alkaa valmistelemalla tarvittava määrä magneetteja ja muita komponentteja sekä roottorin vaippa asennusta varten. Tämän jälkeen magneetit asetetaan roottorin pintaan asennuskelkkaa avuksi käyttäen. Kun magneetit on asennettu roottorin runkoon, kiinnitetään ne kiinnityselimien avulla. Todellisuudessa roottorin pinta on kaarevan muotoinen, magneetteja tulee useita peräkkäin koko kehälle ja monessa eri rivissä. Työn suorittaminen nykyisin menetelmin vaatii vähintään 3 työntekijää. Työvaiheessa voi nykyisin samanaikaisesti työskennellä korkeintaan viisi ihmistä, koska työpisteessä ei ole tilaa työskennellä enempää ihmisiä ilman että työturvallisuus kärsii merkittävästi eikä suuremmasta määrästä työntekijöitä ole tuotantolle tehostavaa vaikutusta.

Työvaiheen virtausta voidaan tehostaa seuraavasti:

- Kiinteän tavoitteen asettaminen
  - Kiinteä tavoite magneettien asennuksessa mahdollistaa joustavamman työskentelyn työvaiheessa ja selkeämmän tuotannon suunnittelun. Kun työvaiheessa on kiinteä tavoite, voivat työntekijät itse jaksottaa pitämänsä tauot valmistuneiden rivien yhteyteen. Tämä poistaa työvaiheesta ei-arvoa lisäävää aikaa, jota syntyy nykyisin kun tauot ovat sidonnaisia kelloon eikä itse työhön.
- Magneettien esivalmistelun muuttaminen omaksi työvaiheeksi ja sen sijoittaminen omaan työsoluun.
  - Kaksi työntekijää valmistelee seuraavan vuoron tarvitsevan määrän magneetteja ja pakkaa ne settikärryihin valmiiksi. Kun työntekijät ovat saaneet valmistelun valmiiksi, siirtyvät he kokoonpanolinjalle työskentelemään. Täten magneettien asentaminen nopeutuu, kun vuoro voidaan käyttää kokonaan magneettien asentamiseen.

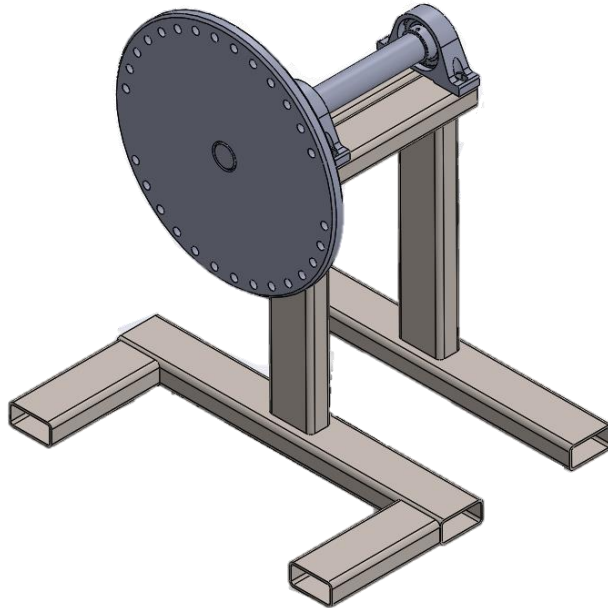
### **6.1.2 Lakkaus**

Lakkaus on osa laakerivirtojen ehkäisyprosessia. Aluksi kokoonpano asennetaan kiinteään lakkauspukkiin. Ensimmäinen lakkakerros levitetään, jonka jälkeen lakkauksen tulee antaa kuivua. Kuivumisen jälkeen lakkaus tarkistetaan ja paikkalakataan, sen annetaan kuivua ja suoritetaan tarvittavat mittaukset. Kun lakkaus ja mittaustulokset on tarkastettu, siirretään kokoonpano lakkauspukista

seuraavaan työvaiheeseen. Lakkauksen kuivuminen vaatii aikaa useamman tunnin, eikä sitä voi tehostaa kyseisessä tapauksessa järkevästi.

Työvaiheen virtausta voidaan tehostaa seuraavasti:

- Lisäämällä vaihtoehtoja lakan levittämiseen käytettäviin työkaluihin.
  - Lakkauksen on vaikeaa saada levittymään ensimmäisellä kerralla tarpeeksi hyvin, jotta se peittää halutut alueet. Lisäämällä eri vaihtoehtoja lakkauksen levitykseen käytettäviin työkaluihin, saadaan työ suoritettua paremmin. Esimerkiksi käyttämällä autojen alustamassan levitykseen käytettyä ruiskua, jossa ruiskusuutin on taipuvan letkun päässä ja suutin suihkuttaa 360°, saadaan lakkaus leviämään helpommin kaikkialle.
- Lakkaukspukki, jossa kokoonpanoa voidaan pyörittää lakkauksen aikana.
  - Nykyiseen lakkaukspukkiin kokoonpano kiinnitetään kiinteästi, eikä sitä voida pyörittää lakkauksen aikana. Jos kokoonpanoa voitaisiin pyörittää lakkauksen aikana, olisi lakkaus helpompi saada levittymään tasaisesti kaikkialle. Kuvassa 6.2 on esimerkki lakkaukseen suunnitellusta pukista. Kokoonpano kiinnitetään keskiöstä lakkaukspukkiin. Pyöritys tapahtuu sähkömoottorin avulla, jolloin pyörimisnopeus on vakio koko lakan levittämisen ajan.



Kuva 6.2 Roottorin lakkaukseen suunniteltu lakkauspuikki, jossa kokoonpanoa voidaan pyörittää lakkauksen aikana.

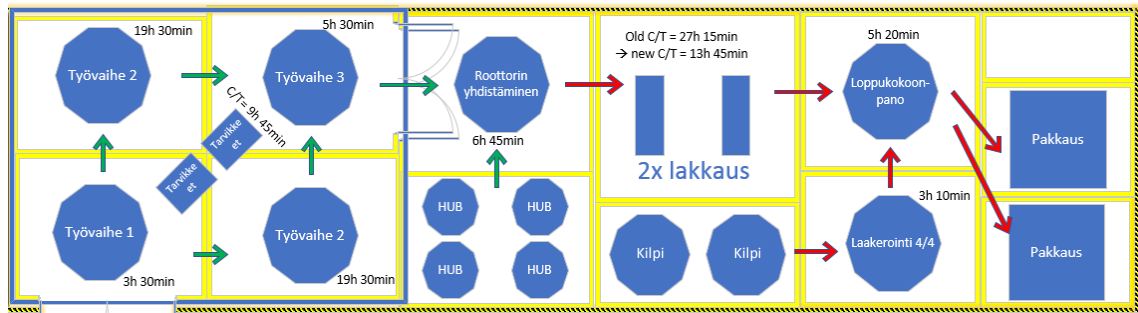
Lakkauksen kuivumista on mahdollista nopeuttaa kuumailmapuhaltimilla. Lakan tulee kuivua 120 °C lämmössä 4 – 8 tuntia, jonka jälkeen saavutetaan täysi kuivuus. Tämän jälkeen kappaleen tulee antaa jäähtyä huoneenlämpöiseksi ennen mittausta, jotta tulokset olisivat luotettavia. Tämä jäähtymiseen kuluva aika poistaa nopeammasta kuivumisesta saadun hyödyn, jolloin tämä ei ole suositeltava ratkaisu.

## **7 Kehittämisehdotukset**

### **7.1 Layout ratkaisut**

Layout ratkaisuissa on esitetty kuvat ainoastaan opinnäytetyötä koskevan tuotteen kokoonpanolinjasta. Kuvissa 7.1 – 7.8 ei esitetä muita tuotantotiloja. Kuvissa esitetyt punaiset nuolet kuvaavat kokoonpano nostettuna suoritettuja siirtoja ja vihreät kuvaavat lattiaa pitkin tehtyjä siirtoja. Jos kuvissa esitetyn pakkaussolun jälkeen on vielä punainen nuoli, kuvaa tämä että pakattu tuote siirretään lastausalueelle odottamaan noutoa. Osa työvaiheista on kuvattu ainoastaan ”työvaihe n” nimellä liikesalaisuuksien ylläpitämiseksi.

## 7.1.1 Layout 1



Kuva 7.1 Layout 1

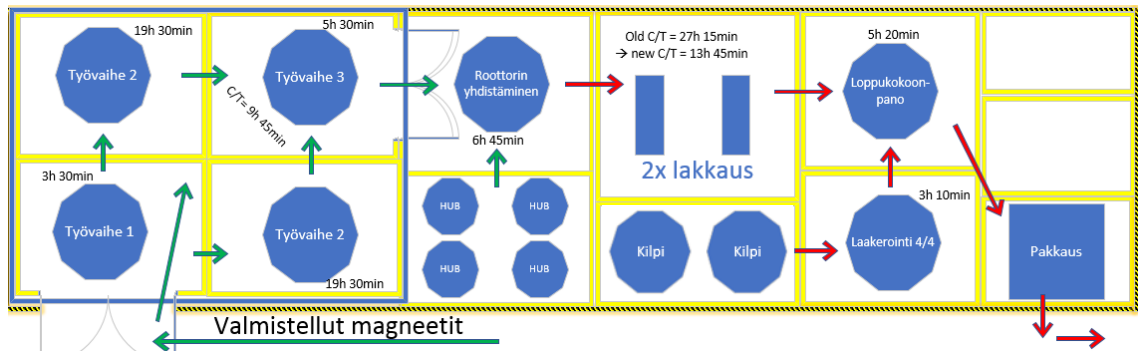
Työvaihe 1, työvaihe 2 ja työvaihe 3 sijoitetaan kaikki yhteen isoon työskentelytilaan, jota ympäröi seinät työturvallisuuden takia. Tilan sisällä on neljä erillistä solua; 1 kpl "työvaihe 1", 2 kpl "työvaihe 2" ja 1 kpl "työvaihe 3" soluja. Kun roottorin vaippa ja HUB tuodaan sisään, siirretään roottorin vaippa "työvaihe 1" soluun ja HUB siirretään odottamaan HUB:ien bufferisoluun. Työvaihe 2:sen tarvitsemat valmistelut tehdään samassa solussa, jossa suoritetaan työvaihe 2. Tämän vaiheen jälkeen kappale siirtyy "roottorin yhdistäminen" soluun, jolloin siihen yhdistetään HUB.

Kun työvaihe on suoritettu, siirretään kappale lakkaussoluun. Kaksi lakkauspistettä mahdollistavat päällekkäisen työskentelyn, joten lakkauspisteen cycle time puolittuu verrattuna nykyiseen yhden lakkaussolun ratkaisuun. Samalla kun lakkaus kuivuu, työntekijät aloittavat kilven ja BU:n yhdistämisen. Lakkaussolun vieressä on kahden kilven bufferi. Yhdistämisen jälkeen osakokoonpano siirretään viereiseen soluun, jossa se yhdistetään lakattuun roottorin vaippa+HUB yhdistelmään. Samassa solussa suoritetaan roottorin lopullinen kokoonpano. Linjan päässä on kaksi kuljetuslaatikolle varattua solua, joissa roottorin pakataan ja jätetään odottamaan lähettämistä.

Tällä lay-outilla pyritään minimoimaan materiaalin turha liikuttaminen. Lisäksi vähäinen tyhjä lattiatila ei mahdollista materiaalin kerääntymistä väärin paikkoihin.



## 7.1.2 Layout 2



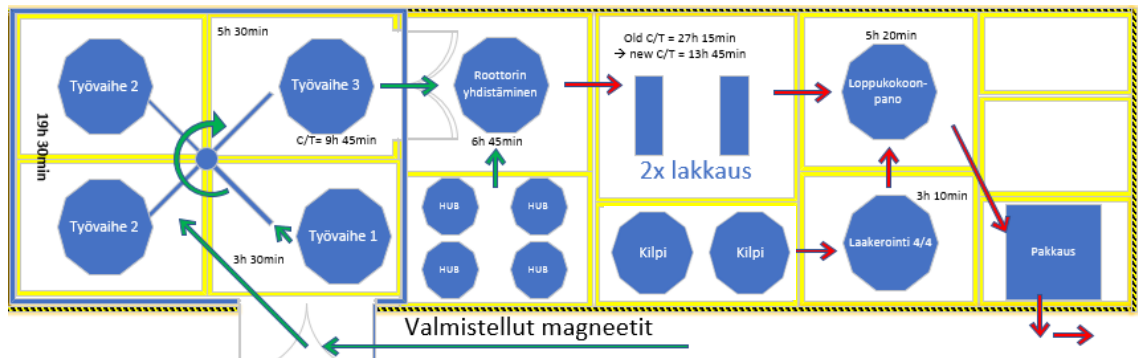
Kuva 7.2 Layout 2

Layout 2 eroaa layout 1:stä siten, että tuotantoon on jätetty enemmän tilaa työskennellä ja hallita materiaalia. Tämä on tehty siirtämällä työvaihe 2:en tarvitsemat valmistelu omaan tilaan. Valmistellut komponentit asetetaan settikärreihin, joilla ne kuljetetaan ”työvaihe 2”-soluun. Lisäksi testaamon eteen on jätetty enemmän tilaa materiaalin säilyttämiseen. Tämä on toteutettu poistamalla toinen pakkaussolu, ja korvaamalla se omalla ”dispatching” solulla lastausalueen läheisyydessä.

Kun tuotannossa on enemmän varattuna lattialla säilytys- ja käsittelytilaa, on riskinä että materiaalia alkaa kerääntymään ”väliaikaiseen” säilöön, vaikka niille olisi varattu esimerkiksi omat hyllypaikat. Lisäksi materiaali joutuu kulkemaan nyt pidempiä matkoja, eikä virtaus ole suoraviivaista.

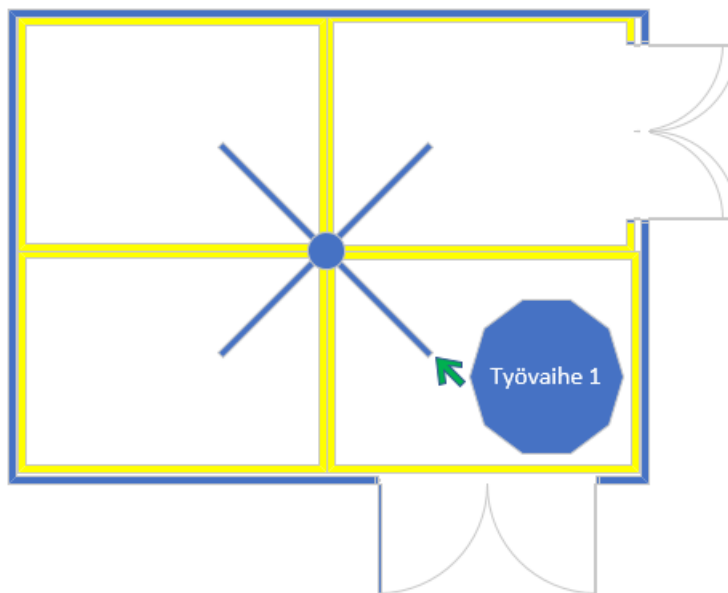
Roottorisolussa työskennellään kahdessa ryhmässä, jotka koostuvat kolmesta henkilöstä. Joka toisessa vuorossa ryhmä suorittaa ainoastaan työvaihe 2:en kokoonpanoa, ja joka toisessa vuorossa ryhmä suorittaa pääsääntöisesti työvaiheita 1 ja 2.

### 7.1.3 Layout 3



Kuva 7.3 Lay out 3

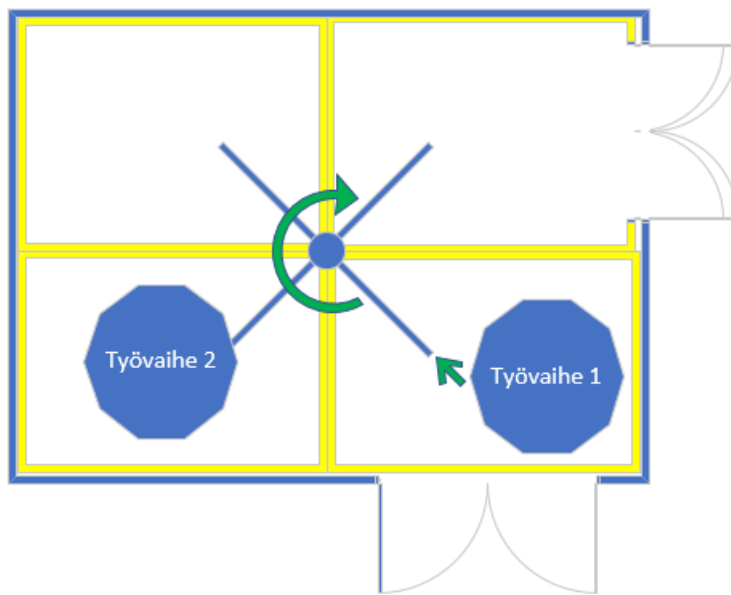
Layout 3 on kuten layout 2, mutta erona on kokoonpanojen liikuttelu kokoonpanotilassa. Tässä vaihtoehdossa on pyritty minimoida kokoonpanojen väliin kiillautumisen vaara. Kokoonpanot liikkuvat kuten edellisissäkin vaihtoehdoissa asennusalustoilla. Asennuskoppiin tultaessa, kokoonpano yhdistetään kopissa kiinteästi olevaan karuselliin, joka estää kokoonpanojen yhteen törmäytymisen.



Kuva 7.4 Layout 3:sen karusellin ensimmäinen vaihe

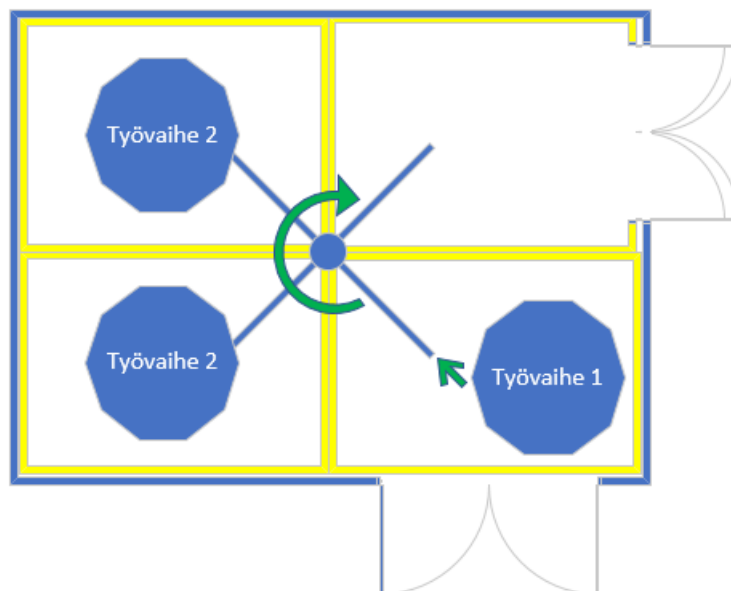
Kun uusi roottorin vaippa ja HUB tuodaan sisään halliin, nostetaan HUB odottamaan bufferisoluun. Roottorin vaippa nostetaan kopin ulkopuolella liikuteltavaan kokoonpanoalustaan. Kun kokoonpanoalusta siirretään

asennuskoppiin sisään, yhdistetään kokoonpanoalusta kopissa sisällä olevaan karuselliin ja suoritetaan kokoonpanon esivalmistelut.



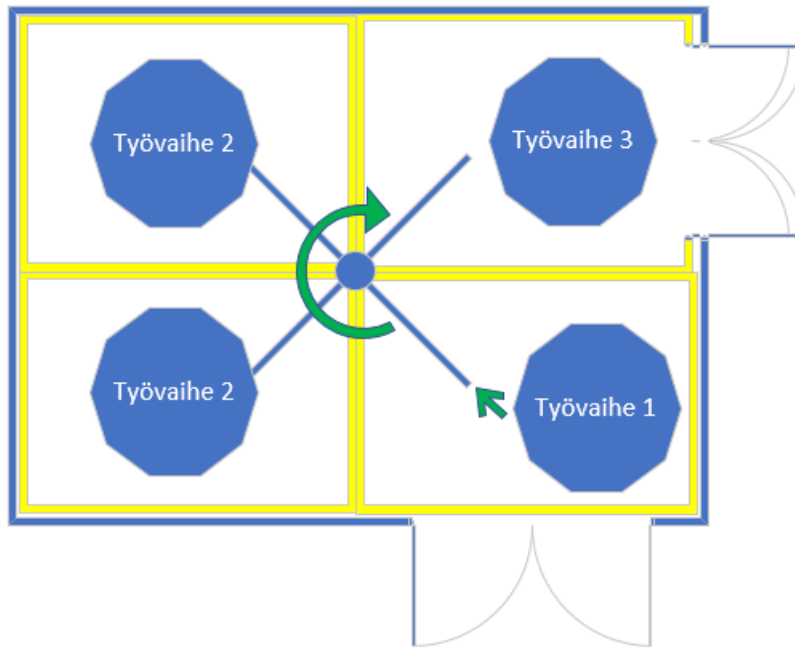
Kuva 7.5 Layout 3:en karusellin toinen vaihe

Kun työvaihe 1 on tehty, käännetään karuselliä 90° myötäpäivään. Kokoonpanoon aloitetaan työvaihe 2:sen tekeminen. Samalla edelliseen tyhjään karusellin haaraan yhdistetään uusi kokoonpano.



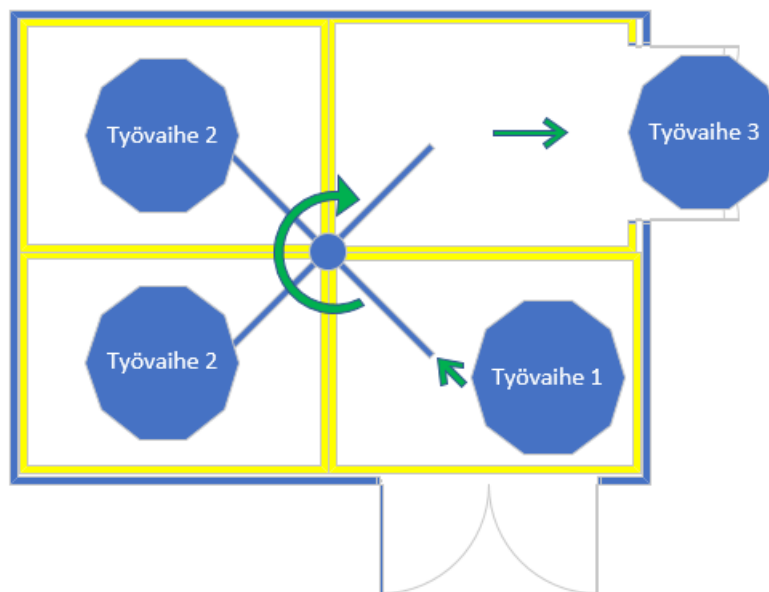
Kuva 7.6 Layout 3:en karusellin kolmas vaihe

Kun uuden kokoonpanon työvaihe 1 on suoritettu, käännetään karuselliä taas 90° myötäpäivään, ja karuselliin yhdistetään taas uusi kokoonpano.



Kuva 7.7 Layout 3:en karusellin neljäs vaihe

Kun ensimmäisestä kokoonpanosta on saatu valmiiksi työvaihe 2, käännetään karusellia 90° myötäpäivään ja kokoonpanolle aloitetaan työvaihe 3. Samalla liitetään taas uusi kokoonpano karuselliin.



Kuva 7.8 La out 3:en karusellin viides vaihe

Kun kokoonpanon työvaihe 3 on valmis, irroitetaan se karusellista ja siirretään seuraavaan soluun. Karuselli pyörähtää taas 90° kun seuraavan työvaihe 3 soluun saapuvan kokoonpanon työvaihe 2 on valmis. Tämän jälkeen kierros alkaa alusta.

#### **7.1.4 Layout 4**

Layout 4 ratkaisu salataan julkaistavasta opinnäytetyöstä sen yksityiskohtaisuuden takia liikesalaisuuksien suojelemiseksi.

## **8 Yhteenveto**

Opinnäytetyön tuloksena luotiin yritykselle esitys, kuinka tuotannon kasvattaminen haluttuun neljän kokoonpanon viikkotahtiin nykyisestä kolmen kokoonpanon tahdista olisi mahdollista suorittaa. Tuotannon tehostamisen tuli olla lean-menetelmien mukaista. Työn alussa keskityttiin yrityksen käytössä olevan layoutin pullonkaulojen paikantamiseen ja näiden läpivirtauksen tehostamiseen. Työssä ei huomioitu tuotannon tehostamista esimerkiksi välivarastoja suurentamalla tai lisäämällä merkittävästi kokoonpanossa käytettävää työvoimaa.

Työssä esiteltiin useita erilaisia layout-ratkaisuja sekä muita tuotantoa tehostavia toimenpiteitä. Työstä palautettiin yritykselle erillinen raportti, jossa oli vaihtoehtoja tuotannon tehostamisesta. Osa tähän raporttiin kuuluneista huomioista ja kehityskohteista tuli jättää esittämättä julkaistavassa opinnäytetyössä liikesalaisuuksien ylläpitämiseksi.

Opinnäytetyötä voidaan pitää onnistuneena, koska siinä ehdotettuja toimenpiteitä hyödynnettiin linjaston uudelleen suunnittelussa. Lopullinen layout suunniteltiin yhteistyössä tuotannon toimihenkilöiden kanssa. Työssä hankalinta oli suunnitella ja kehittää uusia tapoja toimia tuotannossa, koska The Switchin tuotanto oli jo ennen opinnäytetyön aloittamista hyvin pitkälle kehitettyä ja optimoitua sarjatuotantoon. Vaikeuksia tuotti myös realististen mutta innovatiivisten ja erilaisten tuotantotapojen kehittäminen tuotantoon.

## Lähteet

Bicheno, J. & Holweg, M. 2016. The Lean Toolbox. A handbook for lean transformation. Buckinham: PICSIE Books.

Kouri, I. 2010. Lean taskukirja. Helsinki: Teknologia teollisuus.

Laatukeskus. Palvelut. Hankintatoimen kehittäminen.

<http://www.laatukeskus.fi/palvelut-excellence-procurement-hankintatoimen-kehittaminen/mita-hyoty>. Luettu 23.10.2018.

Lean kit. Learn. Lean. What is Andon in lean manufacturing?.

<https://leankit.com/learn/lean/what-is-andon-in-lean-manufacturing/>. Luettu 4.11.2018.

Logistiikan maailma. Huolintaterminaalit. Varastointi. Varastonohjaus.

<http://www.logistiikanmaailma.fi/huolinta-terminaalit/varastointi/varastonohjaus/>. Luettu 27.10.2018.

Massachusetts Institute of Technology, 2012. Lean Academy presentation The Switch -luentosarja.

Six Sigma. Lean. Leanin historiaa. <http://www.sixsigma.fi/fi/lean/leanin-historiaa/>. Luettu 5.11.2018.

Suomen standardisoimisliitto 2016. Ajankohtaista. Uutiskirjeet. Uutiskirjeet 2016. Mitä laatu on?

[https://www.sfs.fi/ajankohtaista/uutiskirjeet/uutiskirjeet\\_2016/mita\\_laatu\\_on\\_artikkeli](https://www.sfs.fi/ajankohtaista/uutiskirjeet/uutiskirjeet_2016/mita_laatu_on_artikkeli). Luettu 20.11.2018.

The Switch Drive Systems 2017. Wind power electrical drive trains -luentosarja.

Yaskawa Enviromental Energy Division 2018. Company presentation -luentosarja.

Yaskawa Enviromental Energy Division 2018. Turbo general presentation -luentosarja.