



# **MEKANIKKASOLUN VAIHEISTUS**

Mikko Koivisto

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2015  
Sähkötekniikka  
Sähkövoimatekniikka ja  
Älykkäät koneet

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Älykkäät koneet suuntautumisvaihtoehto

KOIVISTO, MIKKO:  
Mekaniikkasolun vaiheistus

Opinnäytetyö 43 sivua  
Toukokuu 2015

---

Työn aiheena oli teollisuustaaajuusmuuttajakeskusten kokoonpanon ensimmäisen vaiheen kehittäminen Promeco Group Oy:ssä. Mekaniikkavaihetta pyrittiin kehittämään huomioimalla mahdollisia epäkohtia tuotannossa sekä vaiheistamalla mekaniikkasolun toimintaa. Tavoitteena oli saada läpimenoaika mahdollisimman lyhyeksi. Lyhyellä läpimenoajalla pyritään parantamaan tuottavuutta sekä vastaamaan paremmin toimitusaikavaatimuksiin.

Työ aloitettiin jakamalla mekaniikkasolun nykyinen toiminta vaiheisiin. Tämän jälkeen vaiheistusta testattiin käytännössä kahdella koekokoonpanolla, joiden aikana sitä muokattiin sujuvammaksi. Koekokoonpanojen aikana pyrittiin huomioimaan tuotannossa olevia epäkohtia ja miettimään kaikki keinot keskuksen läpimenoajan nopeuttamiseksi.

Tuotantoa on kehitettävä, jotta voidaan vastata paremmin tiukkeneviin toimitusaikavaatimuksiin. Tuotannon kehittämistä ei voi tehdä, ellei käytössä ole mittareita, joilla kehityksen tuloksia voidaan arvioida. Tämän vuoksi työssä vertaillaan erilaisia mittaustapoja ja niiden vaikutusta ja luotettavuutta.

Kehitettäessä tuotantoa jatkuvasti laadulla on suuri merkitys. Laadun määritelmä ja perusteet laadukkaalle toiminnalle esitellään, jotta työn tuloksien vaikutusta voidaan analysoida myös laadun kannalta. Monen nykyään tunnetun tuotannon kehittämismallin ja erilaisten tuotantotyyppien avulla haettiin ideoita mahdollisten kehittämistoimenpiteiden pohjaksi. Työssä esitellään JIT-, Lean- ja Agile-ideologioita, ja niiden avulla pyritään etsimään työhön soveltuvia kehitystoimia.

Työn tuloksena saatiin siirrettyä noin 20 työtuntia osakokoonpanoon, joten voidaan arvioida läpimenoajankin lyhentyvän. Tuotannossa huomattiin joitakin epäkohtia, joten niitä voidaan kehittää. Oletettavasti tuotantolinjan jatkuva kehitys saadaan toimimaan jatkossa paremmin. Näin pienellä koekeskusten määrällä lopullista hyötyä ei voida vielä kuin arvioida, koska keskusten malliskaala on niin laaja.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical Engineering  
Option of Intelligent Machines

KOIVISTO, MIKKO:  
Phasing of the Mechanic Cell

Bachelor's Thesis 43 pages  
May 2015

---

The inspiration for this thesis was given by empirical evidence that has shown how the first cell of a frequency converter assembly line could be developed and this way lead-time could be shortened. Shorter lead-time is strived for to improve productivity. The main idea in the development was to phase the operations in the mechanic cell and to move as many subsections as possible to the subassembly. The phasing was tested in two test assemblages. On the basis of the test assemblages the phasing was made more effective.

At the beginning of the thesis there is basic knowledge of production and its development in Finland. At the same time the industrial point of view for the need to develop is considered. The developing of the production could not be made if there were no indicators which can be used to estimate the results of the development. So different measuring ways and their effect and reliability are also compared in the thesis. Well-known production development models like JIT and Lean and different kind of production types like mass production and mass customization are considered to make lead-time as short as possible.

About 20 work hours was moved to the subassembly as a result of the thesis so one can suppose that the production line was also accelerated. Some disadvantages in the production were noted and repaired, and therefore the production line will be operating more effectively in the future. The number of the test assemblages examined in this thesis cannot be used to estimate the overall advantage because the selection of different available models is too wide.

---

Key words: production, production development, lead-time, JIT, LEAN

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TEOLLINEN TUOTANTO .....	7
	2.1 Tuotannon historia .....	7
	2.2 Tuotanto .....	7
	2.2.1 Tuotantotyypit .....	8
	2.3 Tuotannon kehittäminen .....	10
	2.4 Tuotannon ohjausmenetelmät .....	13
	2.4.1 JIT .....	14
	2.4.2 Lean.....	16
	2.4.3 Agile.....	18
	2.5 Laatu .....	19
	2.6 Tuotanto kohdeyrityksessä .....	21
3	MEKANIIKAN VAIHEISTUS KOHDEYRITYKSESSÄ .....	24
	3.1 Taajuusmuuttajakeskus .....	24
	3.2 Mekaniikkavaihe ennen .....	27
	3.3 Vaiheistuksen prototyyppi .....	29
	3.4 Ensimmäisen koekeskuksen kokoonpano.....	31
	3.5 Toisen koekeskuksen kokoonpano .....	33
	3.6 Johtopäätökset koekokoonpanoista.....	34
4	POHDINTA.....	38
	LÄHTEET.....	41

**LYHENTEET JA TERMIT**

ACU	Ohjauslogiikkakenttä
DSU	Tasasuuntauskenttä
ICU	Katkaisijakenttä
INU	Vaihtosuuntauskenttä
OPU	Lähtökenttä

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tekemisen mahdollisti yrityksen tarve kehittää toimintaansa teollisuustaaajuusmuuttajien valmistuksessa. Opinnäytetyö on tehty Promeco Group Oy:n toimipisteeseen Jämijärvelle JAT Asennukselle. JAT Asennuksella on kaksi toimipistettä, joten niiden eroja on käytetty pohjana erilaisten hyötyjen ja haittojen havaitsemiseen Jämijärven tehtaan tuotannossa.

Opinnäytetyön alkuosassa tutustutaan tuotantoon yleisesti ennen ja nyt. Samalla pohjustetaan työn käytännön osuutta ja tuodaan esille erilaisia kehittämistä auttavia työkaluja, joiden avulla pyritään helpottamaan ideoinnin ja toimintatapojen kehittämistä. Työssä esiteltävät kehitysehdotukset tulee räätälöidä aina sopivaksi juuri siihen kohteeseen, jossa niitä hyödynnetään.

Opinnäytetyön päämääränä on tuottavuuden parantaminen taajuusmuuttajakeskusten kokoonpanolinjalla, tähän pyritään lyhentämällä mekaniikkavaiheen läpimenoaikaa. Vaiheistamalla mekaniikkavaihe pienempiin osiin pyritään vastaamaan paremmin äkillisiin muutoksiin ja luomaan paremmin ohjattava osa tuotantoon. Tarkoituksena on uudella ja tiheimmällä vaiheistuksella koota koekeskuksia ja hioa näiden perusteella vaiheistusta sujuvammaksi. Koekokoonpanojen aikana havaittujen erilaisten hyötyjen ja haittojen perusteella laaditaan kehitysehdotuksia ja ideoita tuotannon kehittämiseksi.

## 2 TEOLLINEN TUOTANTO

### 2.1 Tuotannon historia

Suomen teollistumisen alkuna pidetään 1600-luvun alkua, sillä puunjalostus sekä mekaaninen puunkäsittely vesisahoineen alkoi tällöin. Lisäksi Mustioon perustettiin Suomen ensimmäinen rautaruukki, jonka toiminta alkoi vuonna 1616. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 30; Keinänen & Kärkkäinen 2009, 7.) Maailmanlaajuisesti teollinen massatuotanto alkoi kuitenkin vasta 1800-luvun lopulla, kun tekninen dokumentointi sekä osien standardointi alkoi mahdollistaa sarjatuotannon ja tuotesuunnittelun. Yksi merkittävimmistä keksinnöistä, joka edesauttoi tuotannon kehitystä, oli Henry Fordin 1900-luvun alussa keksimä liukuhihnamenetelmä. (Lehtonen 2004, 60; Lemola 2009, 177.)

Vielä runsas sata vuotta sitten suomalaiset elivät lähellä rautakautista elämäntapaa. Voidaan todeta, että teollinen elämäntapa ja kehittynyt maatalous saavuttivat Suomen melko myöhään, mutta teollinen ja jälkiteollinen aika saavutettiin tehokkaasti ja onnistuneesti. (Leppälä 2012, 25–30.) Tuotannon kehittymistä Suomessa edesauttoi sotakorvausten maksaminen. Neuvostoliiton tilaus- ja laatuvaatimukset olivat niin tiukat, että kehittyminen oli väistämätöntä, sillä metalli- sekä muun teollisuuden oli keskitettävä kaikki voimavarat sotakorvausten valmistamiseen laatuvaatimukset huomioiden. (Seppänen 1999, 50.)

### 2.2 Tuotanto

Sana tuotanto voi laajimmillaan tarkoittaa kaikkea toimintaa, jolla pyritään tyydyttämään inhimilliset tarpeet. Niin kotitaloustyöt kuin harrastustoimintakin ovat tuotantoa, koska niillä pyritään tyydyttämään ihmisten perustarpeita. Tuotantohyödykkeiden yhdistäminen hyödykkeiksi, palveluiksi ja esineiksi tai näiden erilaisiksi yhdistelmiksi, on tuotantoa taloustieteen määritelmän mukaan. Suppein merkitys tuotannolle on se toiminto yrityksen sisällä, jossa tuotteiden eli hyödykkeiden valmistus tapahtuu. Sana tuotanto on ehkä helpoin rajata käyttökelpoisimpaan muotoon englanninkielen käsitteellä *operation*, joka pitää sisällään koko yrityksen toiminnan, jossa yritykseen sisään tulevat tuotantotekijät

muovataan asiakkaalle lähteväksi tuotteeksi tai palveluksi. (Saari 2002, 30; Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Miettinen 2005, 351; Heikkilä & Ketokivi 2005, 19.)

Teollisen tuotannon keskeisiä osia ovat muun muassa suunnittelu, materiaalien hankinta, alihankkijoiden ohjaus sekä osuus tuotannossa, valmistus, markkinointi ja jakelu. Usein tuotannossa on useita peräkkäisiä erityyppisiä vaiheita, ennen kuin tuote päätyy loppukäyttäjälle, joten yrityksellä tulee olla hyvin suunniteltu strategia alihankinnan ja oman valmistuksen välillä. Ulkoistaminen on suuri strateginen päätös ja sitä onkin syytä miettiä ja vertailla erilaisilla laskelmilla ja analyyseillä. (Saari 2002, 33; Lehtonen 2004, 88–90; Haverila ym. 2005, 351.)

Yrityksen valmistavana osana tuotannolle voidaan asettaa tavoitteita kuten alhaiset valmistuskustannukset, suunniteltu laatu, kyky vastata tilauskannan muutoksiin sekä toimitusvarmuus. Edellä mainittuja tavoitteita voidaan käyttää monissa erilaisissa tuotannoissa, niin massa- kuin yksittäistuotannossakin. (Lehtonen 2004, 61.)

Tuotantoprosessi on valittava tuotantovolyymien ja tuotannon mukaan. Valmisteltaessa tuotevalikoimaa edullisin tapa ei ole rakentaa kaikille omaa valmistusprosessia, eikä valikoiman kasvaessa ole järkevää välttämättä tehdä kaikkia tuotteita yhdessä prosessissa. Hillin (Lehtonen 2004) mukaan tuotantoprosessin valinnan määräävä tekijä on tuotantovolyymi. Esimerkiksi tuotantolinjan rakentaminen on kallista, eikä siksi kannattavaa ennen kuin tuote voi tuottaa omat kustannuksensa takaisin. (Lehtonen 2004, 63.)

Usein volyyymiä tarkastellaan vuosittaisella suureella, jota kutsutaan vuosivolyymiksi. Vuosivolyymi kertoo yhden vuoden aikana valmistettujen hyödykkeiden kokonaismäärän, oli tuotanto sitten sarja-, tai erätuotantoa. Volyymi onkin tärkeässä roolissa, kun määritellään laitteita ja tiloja tuotteen valmistukseen. (Lapinleimu ym. 1997, 44.)

### **2.2.1 Tuotantotyypit**

Toistuvuus kuvaa sitä kuinka paljon yhdellä suunnittelulla ja valmisteluilla voidaan valmistaa tuotetta (Lapinleimu ym. 1997, 44–47). Tuotantotyyppi määräytyy pitkälti tuotteen mukaan. Jotta tuotantotyyppi voidaan määritellä, on ensin määriteltävä tuotteen työn

määrä tuotetta kohti, toistuvuus ja kappalemäärä. Tämän jälkeen voidaan miettiä millä tyyppillä tuotetta on kannattavaa lähteä valmistamaan. Tuotantotyypit lajitellaan tyyppillisesti yksittäistuotantoon, sarjatuotantoon, massatuotantoon ja prosessituotantoon. Käytännössä määrittely yksittäisen tuotteen kohdalla ei kuitenkaan ole näin yksinkertaista, sillä samaa tuotetta voidaan tuottaa volyymiltaan paljonkin eroavilla vaiheilla. (Lapinleimu ym. 1997, 43–45; Lehtonen 2004, 61–64; Keinänen & Kärkkäinen 2009, 10–12.)

### **Yksittäistuotanto**

Erilliset projektit tai tilaajan toimeksiannosta suunnitellut ja valmistetut uniikit ratkaisut ovat yksittäistuotannolle ominaisia. Hyviä esimerkkejä yksittäistuotannosta ovat loistoristeilijät, omakotitalot, paperikoneet tai jopa kokonaiset tehtaat sekä erilaiset pienyritysten tarvitsemat osa- tai konetoimitukset. Tyypillisesti rakentaminen tai ainakin loppukoonpano tapahtuu loppusijoituspaikalla. Lisäksi tämän tyyppinen tuotanto sisältää usein myös uniikin suunnittelutyön. Tällaisen tuotantomuodon kannattava toiminta tarvitsee joustavuutta yrityksen tuotantojärjestelmältä. (Lapinleimu ym. 1997, 43; Lehtonen 2004, 61–62; Keinänen & Kärkkäinen 2009, 11.)

### **Sarjatuotanto**

Sarjatuotannolle ominaista on, että yhtä tuotantolinjaa voidaan käyttää pienillä muutoksilla eri tuotteille. Sähkömoottorit ovat sarjatuotannolle ominainen tuote, sillä niitä valmistetaan pitkälti samoilla työkaluilla moneen teholuokkaan. Yksi sarjatuotannon alalaji on erätuotanto, jossa valmistetaan samaa hyödykettä tietyn kokoinen tuotantoerä monikäyttöisillä tuotantolaitteilla, johon vaihdetaan joitain osia, kuten muotit, jiggit, tai työkalut, toisen hyödykkeen tuotantoerää varten. Vaihtoaikaa kutsutaan usein asetusajaksi, tämä vaihe onkin sarjatuotannon aikaa vievimpiä osia ja siksi tärkeimpiä kehityskohteita. Esimerkkinä tästä on kirjapaino, jossa kirjat painetaan samoilla koneilla, vaikka sisältö muuttuukin. Tyypillistä tälle tuotantotyyppille on, että suurin osa kustannuksista on valmistuserän yhteisiä, joten yksittäisen kappaleen hinta pienenee. (Lehtonen 2004, 62; Keinänen & Kärkkäinen 2009, 11.)

### **Massatuotanto**

Massatuotannolle ominaista on suurivolyyminen linjatuotanto. Lähes kaikissa koneissa on vierintälaakereita, joten niiden valmistus on massatuotannolle tyypillinen tuote. Lin-

jatuotannosta hyvänä esimerkkinä toimii autoteollisuus, jossa uuden mallin tuotanto aloitetaan muuttamalla koko linjasto tiettyä mallia varten sopivaksi. Linjatuotannossa ei tulisi olla asetusaikoja, eikä tarvetta erotella tuotetta samankaltaisten hyödykkeiden eriksi. Linjatuotanto on usein välivarastotonta, tästä johtuen häiriöillä on suuri merkitys, sillä yleensä koko linjasto häiriintyy, mikäli jossain linjaston osassa on häiriö. (Lapinleimu ym. 1997, 44; Lehtonen 2004, 61–62; Keinänen & Kärkkäinen 2009, 11.)

### **Jatkuva prosessituotanto**

Ominaista tuotantomuodolle on, että tuotanto pyörii 24 tuntia vuorokaudessa ja tuotanto vakiotuotteilla on hyvin suurivolyymista. Tyypillistä jatkuvaa prosessituotantoa ovat sellun-, öljyn- sekä maidonjalostusteollisuus. (Lehtonen 2004, 61–62; Keinänen & Kärkkäinen 2009, 11.)

## **2.3 Tuotannon kehittäminen**

Tuotantoa voidaan kehittää vain, jos on tiedossa tuotannon tila ennen kehitystoimenpiteitä ja niiden jälkeen. Suorituskykyä on siis mitattava jotenkin. Suorituskyvyn mittaamisella pyritään selvittämään erilaisia tunnuslukuja, jotka kuvaavat jonkin liiketoiminnallisen tekijän tilaa. Keskeistä on tunnistaa prosessin menestystekijöitä ja pyrkiä mahdollisimman sopivalla tavalla mittaamaan niitä, ja käyttämään niistä saatua mittaustietoa tuotannon kehittämiseen. Nykyään pyritään huomioimaan paremmin mittauksen vaikutus ihmiseen. Tästä johtuen nykyisin on käytössä tasapainotettu mittaaminen. Tasapainotetussa mittaamisessa mitataan samaa asiaa eri näkökulmista, jotta saadaan tasapainoinen ja paremmin tasoa kuvaava mittaustulos. (Lönqvist, Kujansivu & Antikainen 2006, 11–19.)

Suorituskykymittaus on perinteinen ohjaus ja johtamistyökalu tuotanto- ja palveluorganisaatioissa, mutta on nyttemmin levinnyt myös asiantuntijaorganisaatioihin. Eräs määritelmä suorituskyvylle on valituista näkökulmista tarkastella jonkin yksikön menestymistä ja tuloksetekokykyä. Suorituskykyä voidaan ajatella vain puhtaasti suorittamisen tasona, eli työn tekemisen määränä jossain tietyssä ajassa, mutta silloin määritelmästä puuttuu tuotannon muut osa-alueet, kuten esimerkiksi henkilöstön osaaminen. (Lönqvist, Kujansivu & Antikainen 2006, 11–19.)

Tasapainotetussa mittaristossa on neljä mittaria perusmuodossa. Näiden mittarien tulisi kuvata yleistetyksi strategiaa ja tapoja, joilla visiot saavutetaan. Talouden kannalta mittarien tulisi kuvata omistajien edellyttämiä asioita. Asiakasnäkökulmamittareiden tulisi kertoa, kuinka yritys toteuttaa olemassa olevaa asiakasstrategiaansa. Prosessinäkökulman tulisi kertoa, mitkä yrityksen toimet tarvitsevat huomiota enemmän kuin muut. Oppimisnäkökulman tulisi kertoa kuinka yritys saavuttaa tulevaisuudelle asetettuja tavoitteitaan. (Lehtonen 2004, 54.)

Tuottavuuden mittaaminen saadaan näyttämään melko vaivattomalta yleisellä kaavamuotoilulla

$$\text{tuottavuus} = \frac{\text{tuotos}}{\text{panos}}. \quad (1)$$

Tuottavuuden mittaamiseen liittyy kuitenkin monta toisistaan riippumatonta asiaa. Yleisimpiä esimerkkejä ovat muun muassa hyödykkeiden laaja skaala, tuotos- ja panoshintojen vaihtelu, tarve kehittyä ja kehittää sekä muiden mittausten vaikutus. Esimerkiksi monessa tehtaassa voitaisiin varmasti parantaa kannattavuutta huonontamalla laatua, mutta pitkällä tähtäimellä se ei liene kannattavaa. (Saari 2002, 64.)

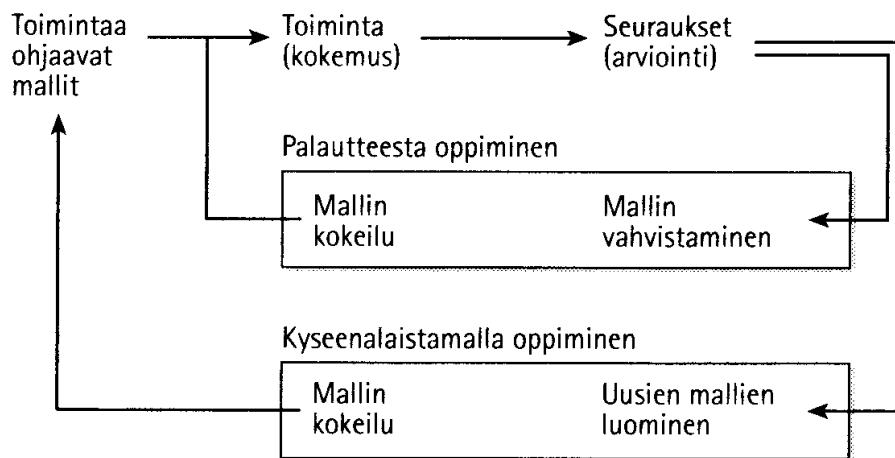
Edellä mainituista tuottavuuden ongelmista johtuen, tuottavuuden mittaukseen on kehitetty erilaisia tapoja lähestyä mittauksia. Erilaisia lähestymistapoja on hyödytöntä lähteä asettamaan paremmuusjärjestykseen. Tärkeämpää sen sijaan on miettiä, mikä on parasta ja hyödyllisintä kyseessä olevalle prosessille. (Saari 2002, 65.)

Tuottavuutta voidaan ajatella monelta eri kannalta. Puhtaasti kustannuslaskelman käytännöstä lähtevän mittausmenetelmällä pyritään luomaan yhteys tuottavuusmittauksen ja kustannuslaskelman välille. (Saari 2002, 69.) Tällaisten taloudellisten mittaustapojen ymmärtäminen vaatii vähintään jonkin asteista koulutusta alalta. Tämän tyyppisissä mittauksissa on otettava huomioon, että tehtyjen kehitystoimenpiteiden tulokset tulevat esille viiveellä. (Lehtonen 2004, 52.)

Yritykset pyrkivät kehittymällä parantamaan tuottavuutta ja olemaan kannattavampia, eli tuottamaan yritykselle lisää kilpailukykyä. Kannattavuutta on parhainta kehittää puuttamalla keskeisiin tekijöihin kannattavuudessa, tähän tarvitaan suorituskyvyn mittausta. On

sanottu, että tuottavuuden kehitys on aineellisen hyvinvoinnin perusta. Kasvava tuottavuus on yritykselle etu, sillä se edesauttaa kustannuskehityksen hidastumista, kilpailukykyyn paranemista ja se tuo mukanaan rakenteellisia muutoksia, jotka osaltaan lisäävät kehittymisen mahdollisuuksia. (Haverila ym. 2005, 16–20.)

Jotta mittauksista saataisiin maksimaalinen hyöty, on ymmärrettävä mistä mittaustulos on tullut ja miten mittaustulosta voidaan parantaa. Kuviolla 1 voidaan ymmärtää mittaamisen ja oppimisen välinen yhteys.



KUVIO 1. Kahden silmukan oppiminen (Lehtonen 2004, 53.)

Lyhemmän silmukan oppimisessa rutiininomainen ratkaisun teko perustuu jo olemassa oleviin ohjeisiin. Tämän tyyppistä oppimista tapahtuu yrityksissä päivittäin. Pitemmän silmukan oppimisessa korjaustoimenpiteet tehdään jo olemassa oleviin ohjeisiin. Yrityksen strategiaan pitäisi liittyä pitemmän silmukan oppimista. (Lehtonen 2004, 53.)

Yrityksissä on tehtävä erilaisia valintoja, jotta kehittyminen olisi mahdollista. On opittava tunnistamaan ympäristössä olevat mahdollisuudet ja hyödyntämään ne yrityksen hyväksi. Yksi mahdollinen tapa on strateginen johtaminen, joka on sekä analyttistä, että luovaa. Omaa toimintaa on huomattavasti helpompi kehittää ja sitä kautta vastata tulevaisuuden tuomiin muutoksiin, kun tietää mahdollisimman paljon omasta ympäristöstä, kilpailijoista sekä asiakkaista. Eli johtaminen ei ole synnynnäinen lahja vaan enemmänkin systemaattinen tapa toimia. (Haverila ym. 2005, 43–44.)

Yrityksissä tehtävistä päätöksistä vain murto-osa on erittäin strategisia. Mikäli kyseessä ei ole valinta, ei kyse ole strategisesta päätöksestä. Strateginen päätös, jota yrityksissä

tehdään, on esimerkiksi se, millä strategiamallilla tuotantoa kehitetään. Vaihtoehtoja on monia, eikä niistä välttämättä tarvitse valita yhtä. Professori Marshall Fisherin mukaan ei ole yhtä oikeaa tapaa tehdä toimitusketjua eli tuotantoa, koska eri tuotannoissa tarvitsee painottaa eri asioita. (Heikkilä & Ketokivi 2005, 29–30; Logistiikan maailma: Tuotanto, 2015.)

Tuotantoa on vaikeaa kehittää yhtenä pakettina, joten on helpompaa asettaa välitavoitteita, joiden avulla saadaan koko tuotannon palvelukyky korkeampitasoiseksi. Luonnollisia välitavoitteita syntyy, kun halutaan kehittää toimintaa ilman suurta lisäpääomaa. Vaikka välitavoitteet ovat toissijaisia, ovat ne tärkeitä kokonaisuuden kannalta. Asiakas ei ole kiinnostunut tilaamansa tuotteen läpimenoajasta, mutta toimitusaika, johon läpimenoajalla on suuri vaikutus, kiinnostaa varmasti. Läpäisyajan ollessa lyhyt se lisää toimistusten joustavuutta ja keventää organisaatiota. Järjestelmän voidaan myös todeta toimivan hyvin, kun läpäisy aika on lyhyt. (Lapinleimu ym. 1997, 41)

#### **2.4 Tuotannon ohjausmenetelmät**

Yksi tuotannon keskeisimpiä asioita on ohjaus, jolla varmistetaan että tuotantoprosessi tuottaa valmiita hyödykkeitä raaka-aineista. Tuotannon ohjausvaihtoehtoja on monia erilaisia. Tilauksen kohdennuspisteen avulla ohjausvaihtoehdot voidaan jakaa neljään osaan, jotka ovat varasto-ohjautuva, tilauksesta valmistus, tilauksesta kokoonpano ja tilauksesta suunnittelu. (Logistiikan maailma: Tilauksen kohdennuspiste (OPP), 2015.)

Tilauksen kohdennuspiste kuvaa sitä pistettä materiaalivirrassa, jossa asiakkaan tilaus kiinnitetään valmistettavaan tuotteeseen. Tilauksen kohdennuspiste eli OPP (*Order Penetration Point*) vaikuttaa tuotannon ja tuotannonohjauksen ohella myös yrityksen muihinkin toimiin. Yrityksen kaikilla tuotteilla ei voi olla sama tilauksen kohdennuspiste, vaan OPP on määriteltävä toimitusaikavaatimusten, mahdollisten optioiden, valmistusajan, varastointi mahdollisuuksien ja kysynnän mukaan. Tuotannonohjausmuotoja voi samassa yrityksessä olla käytössä monta, sillä erilaiset tuotteet tarvitsevat erilaista ohjausta. (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 12; Logistiikan maailma: Tilauksen kohdennuspiste (OPP), 2015.)

Työntöohjaus on perinteinen ohjaustapa, jossa tuote kulkee prosessin läpi varastoon ennalta suunnitellun aikataulun mukaan. Aikataulua suunnitellessa myös materiaalitöimitukset ovat ennalta suunniteltuja. Eli työntöohjaus perustuu materiaaliarvesuunnitteluun, joka vaatii, että kysyntä on tiedossa ainakin päivän etukäteen. (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 12; Logistiikan maailma: Työntöohjaus ja imuohjaus, 2015.) Monimutkaisissa valmistusketjuissa työntöohjauksesta syntyy ongelmia, sillä suunnitelmat ja käytäntö eivät aina täsmää. Näitä suunnittelun virheitä kompensoidaan välivarastoilla, jotka pidentävät läpimenoaika ja näin ollen laskevat tuottavuutta. (Haverila ym. 2005, 422.)

Imuohjauksessa ohjaus perustuu tuotannon järjestämiseen siten, että materiaalivirta aktiivoidaan tulevaisuuden tarpeiden mukaan, eli tehdään vain seuraavan toimipisteen tarvitsemat toimenpiteet. Imuohjaus on tarveohjautuvaa tämä edellyttää, että osastoilla on ylläpito valmius ja materiaalin ohjaus on joustavaa. (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 12; Logistiikan maailma: Työntöohjaus ja imuohjaus, 2015.) Imuohjaus sopii hyvin tasaiselle kuormitukselle. Imuohjauksen toimintaan ei vaikuta materiaalikirjanpidossa olevat virheet tai valmistuksenohjausongelmat, joten se on luotettava ja toimintavarma tuotannon ohjaustapa. (Haverila ym. 2005, 422–423.)

Karkeasti työntö- ja imuohjaus voidaan erottaa toisistaan siten, että työntöohjauksessa tehdään tuotantosuosittelman mukaan ja imuohjauksessa vastaavasti asiakkaan tilauksesta. Ei ole mitenkään poissuljettua, että yrityksessä on käytössä molemmat ohjaustavat. Esimerkkinä hankinnat ja kokoonpano voidaan suunnitella työntöohjauksella ja tuotantovaiheiden ohjaukseen soveltaa imuohjausta. (Logistiikan maailma: Työntöohjaus ja imuohjaus, 2015.)

### **2.4.1 JIT**

JIT-tuotanto on kehitetty Japanissa Toyotan tehtaalla 1950–1970. JIT on lyhenne ja tulee sanoista Just In Time. Tuotanto saavutti Amerikan 1980-luvun alussa ja hyvin pian se otettiin käyttöön myös Suomessa nimellä JOT, joka tulee sanoista juuri oikeaan tarpeeseen. JIT-tuotannon keskeisin tavoite on suorittaa imuohjausta tuotannossa eli juuri oikea-aikaista tekemistä käytännössä. Tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että varastot tuo-

tantoprosessin välissä poistetaan tai pidetään ainakin mahdollisimman pieninä ja tällä tavoin toimitusajat lyhyinä. Lisäksi on pyrittävä virheettömään toimintaan, keskeytymättömään prosessiin, joustavaan tuotantoon ja turhien toimintojen poistamiseen. Luonnollisesti edellä mainituista seuraa lyhyempi läpimenoaika, joka yleisesti tarkoittaa parempaa tuottavuutta. (Peltonen 1998, Luku 6; Keinänen & Kärkkäinen 2009, 12; Logistiikan maailma: JIT (Just In Time), Lean ja Agile, 2015.)

JIT-tuotanto sopii hyvin alihankintasopimukseen, koska se pitää toimitusajat lyhyinä. Esimerkiksi autoja valmistava yritys voi tilata penkit alihankkijalta. Alihankkija toimittaa penkit yritykselle sopivasti juuri ennen niiden asennusta, eli välivarastoja ei tarvita. Tuotantomuoto ajaa myös yritystä lähemmäs asiakasta, jolla on positiivinen vaikutus yritykselle. Koska menetelmä prosessina paljastaa virheitä, se parantaa laatua ja laadun paraneamisen tuoma hyöty voidaan mitata suoraan rahassa. Systemaattisuutensa ansiosta menetelmä auttaa yritystä jatkuvaan kehitykseen. (Peltonen 1998, Luku 6; Keinänen & Kärkkäinen 2009, 12; Logistiikan maailma: JIT (Just In Time), Lean ja Agile, 2015.)

Konetuotannossa läpimenoaika saadaan lyhyeksi, jos asetusajat saadaan lyhyiksi. Tämän mahdollistaa muun muassa toimiva työkalujärjestelmä ja henkilökunta, joka kunnossapitää työkalut. Oleellista tuotantomuodon käynnistämisvaiheessa on, että kaikki henkilöstöryhmät ovat tietoisia solujen toiminnasta ja tuotantovaiheista. (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 12.)

Kuviosta 2 nähdään, kuinka JIT-tuotannon osat vaikuttavat toisiinsa ja mitä kautta ne auttavat kehittämään tuotantoa. JIT-tuotannossa pyritään asetusajoja lyhentämällä kehittämään tuotantoa. (Peltonen, 1998.)



lity Knowhow Karjalainen Oy: Lean, 2015.) Lean-toiminnan voidaan sanoa olevan asiakaslähtöisemmäksi kehitetty JIT-ideologia (Thompson 2015, Differences Between JIT & Lean Manufacturing).

Lean-toiminnan päämääränä on joustava yritys, jolla on kyky reagoida nopeasti markkinoiden muutokseen ja kilpailijoiden toimintaan. Toiminnan perustana on kuuden turhan asian poistaminen. Turhia eli tuottamattomia toimintoja ovat kuljetukset, varastot, liike, odotusaika, ylituotanto ja viallinen tuote. Ongelmien poistamiseen ajattelumalli tarjoaa useita toimintatapoja. (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 12.) Lean-toiminta tähtää kaiken tuotteen jalostusarvoa lisäämättömän toiminnan poistamiseen (Lapinleimu ym. 1997, 42).

Lean-ideologia on parhaimmillaan pitkän elinkaaren tuotannossa, jossa kysyntä on ennakoitavaa. Hyvänä esimerkkinä kulutustavarat, joissa on yleisesti pieni myyntikate ja siitä syystä kustannussäästöt ovat hyödyllisiä. Lean ajattelu on erittäin käytännöllinen keino poistaa turhat vaiheet. Leanin etuihin kuuluu myös asiakaspalvelun korostuminen. Leania on sovellettu myös tehdastuotannon ulkopuolella muun muassa terveydenhuollossa. (Logistiikan maailma: JIT (Just In Time), Lean ja Agile, 2015.)

Leaniin pohjautuva massaräätälöinti on edullisen ja nopean sarjatuotannon ja räätälöidyn ja joustavan tilaustuotannon yhdistelmä. Menetelmä on käytössä matkapuhelin- ja vaate-teollisuudessa. Menetelmässä on tärkeää, että tuotteet suunnitellaan vakio-osista koottaviksi. Asiakas pääsee muodostamaan uniikin kokonaisuuden ennalta määritellyistä vaihtoehtoista, jolloin ostopäätökseen vaikuttaa muukin kuin hinta. (Logistiikan maailma: JIT (Just In Time), Lean ja Agile, 2015.) Termiä massaräätälöinti voidaan pitää myös laajempänä viitekehyksenä, joka voidaan tarkemmin jakaa osiin, jotka ovat modulaarisuus, konfigurointi, tuotehallinta ja imuohjaus. Massaräätälöinnillä pyritään nopeaan toimitusaikaan ja tuotevarioinnin hallintaan. (Jokela 2011, Massaräätälöinti strategisena valintana.)

Leania on menestyksekkäästi toteuttanut Toyota, joka on ollut kannattava vuosina 1950–2008. Toyotan tavassa toteuttaa Leania pyritään kehittämään prosesseja opettamalla henkilöstölle sen perimmäinen tarkoitus. Toyotan tavassa pyritään paljastamaan ongelmat ja korjaamaan niitä perehtymällä niihin syvemmin, ei keinotekoisien harjoitusten tai luokkaopetuksen avulla. Toyotan tavassa oletetaan, että jos ihmisillä on ongelmanratkaisuun

tarvittavia työkaluja ja he osallistuvat päämäärien asettamiseen ja työnsä parantamiseen ovat he motivoituneita. Lisäksi tuotantoa mittaavia mittareita käytetään enemmänkin työntekijän itsensä tai työtiimin kehittämisen apukeinoina, kuin kontrollointiin ja valvontaan. (Liker & Convis 2012, 1, 203–205.)

### **Kaizen eli jatkuva parantaminen**

Lean toiminta perustuu jatkuvaan määrätietoiseen kehitykseen. Kunkin työntekijän tulee pohtia kehitysideoita omaan toimintaansa. Kehitysideointi voidaan suorittaa pienryhmissä ja yrityksen tulee tarjota valmiudet ratkaista löydettyt ongelmat. Mikäli jokin kehitysidea on toimiva, se tulee vakiinnuttaa koko tuotantoon soveltuvin osin. Havaitut ongelmat tarjoavat kehityskohteen, jolla voidaan parantaa työturvallisuutta, laatua tai työskentelytehokkuutta. (Kouri 2010, 14–15.)

Jatkuva parantaminen on käytännössä sitä, että ongelman havaittua suunnitellaan kehitysidea pohtimalla erilaisia vaihtoehtoja ja määrittelemällä vaiheet paremman menetelmän toteuttamiseksi. Tämän jälkeen toteutetaan pilottihanke. Seuraavaksi arvioidaan hankkeen aikana esiintyneet hyvät ja huonot puolet. Tässä vaiheessa voidaan vielä tehdä mahdollisia muutoksia ja parantaa ideaa lisää. Viimeisenä vaiheena toteutetaan kehitysideaa. Tärkeää on, että tässä vaiheessa sykli alkaa alusta, eli mietitään lisää kehitysideoita. (Kouri 2010, 15.)

Vaikka yleisesti on ajateltu, että Japanissa kaikki tehdään Leania hyödyntäen ja Amerikassa massatuotantona, ei näin kuitenkaan ole. Tästä todisteena monet Japanilaisessa omistuksessa olevat yritykset Pohjois-Amerikassa sekä täysin länsimaisessa omistuksessa olevat Yhdysvaltalaisyrietykset, jotka hyödyntävät Leania. (Womack, Jones & Roos 1992, 5.)

### **2.4.3 Agile**

Agile, eli suomeksi ketterä kehitys on erilaisista ohjelmistokehitystavoista koottu yhteinen menetelmä. Menetelmän kehitti joukko erilaisia ohjelmistokehitys muotoja käyttäviä alan ammattilaisia vuonna 2001. He pääsivät yhteisymmärrykseen eri muotojen parhaista

puolista ja yhdistivät niitä. Tätä menetelmää alettiin kutsua Agileksi. (Waters 2007, What is Agile.)

Ketterät menetelmät tarjoavat keinoja muutoksista johtuviin haasteisiin, kuten asiakkaan vaatimusten muutokset, tuotantotiimin sisäiset muutokset ja teknologian muutos. Kriittisiin vaiheisiin keskittyminen on Agilen keskeinen tavoite. Ketterän kehityksen arvoja ovat muun muassa kommunikointi, helppotajuisuus, palaute, rohkeus ja nöyryys, jotka pohjautuvat Extreme Programming-menetelmän. (Tervakari 2008, Ketterät menetelmät.)

Niin JITin kuin Leaninkin ideologiaan kuuluu, myös Agilessa pyritään välttämään kaiken turhan tekemistä. Agilessa tähän pyritään keskittämällä resurssit liiketaloudellisesti merkittäviin kohteisiin sekä olemalla mahdollisimman läheisessä asiakaskontaktissa. Agilessa tuotantoa pyritään optimoimaan siten että, tärkeimmät ja riskipitoisimmat toiminnallisuudet toteutetaan ensin. (Avenla Oy 2015, Agile-prosessimalli.)

Luonnollinen jatkumo Leania hyödyntäneelle yritykselle voisi olla tuotantoon sopivien ominaisuuksien hyödyntäminen Agile-prosessimallista. Agile on kehitetty ohjelmistokehitykseen, mutta sen opeista voisi olla hyötyä myös kokoonpanolinjalla, onhan Leaniakin hyödynnetty terveydenhuollon laitoksissa.

## 2.5 Laatu

ISO 9000 standardisarja on laadun kehittämiseen suunnattu työkalu, jossa on keskeistä laadun kokonaisvaltaisuus. Laatu tulee huomioida myös kaikissa organisaation tasoissa. Standardi on kehitetty asiakkaan ja toimittajan yhteisymmärryksen helpottamiseen. Eli jos asiakas vaatii tiettyä laatutasoa, on standardin käyttäminen keino vastata laatuvaatimuksiin. ISO 9000 on pitkän kokemuksen avulla laadittu vastaamaan siihen mikä on laadun tekemisessä oleellista. (Biaudet & Virtanen 1990, 7–8.)

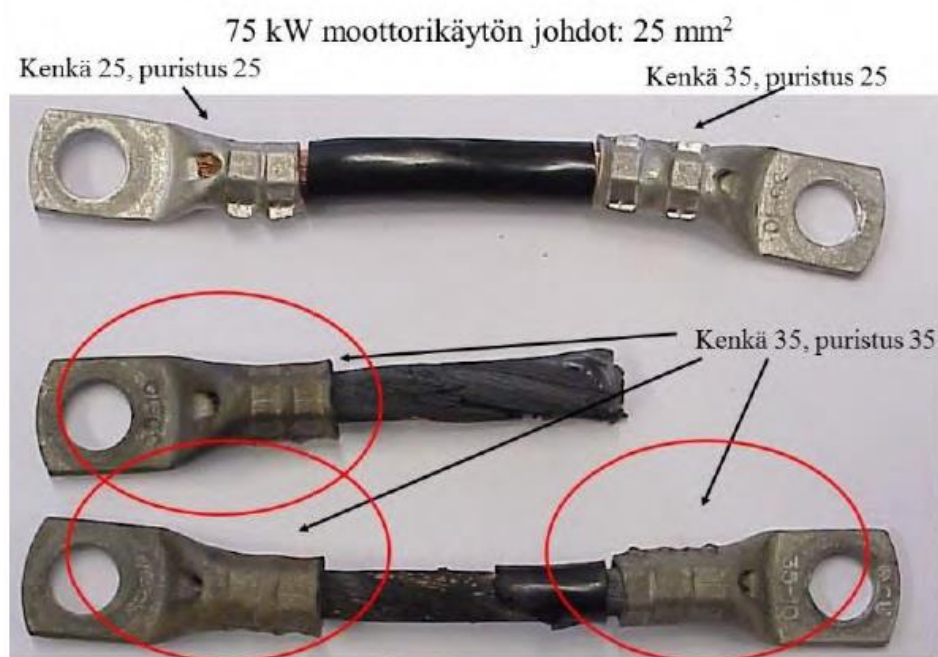
Laadunhallintaan vaikuttaa kahdeksan tekijää: Asiakaskeskeisyys, johtajuus, henkilöstön sitoutuminen, prosessimainen toimintamalli, järjestelmällinen johtamistapa, jatkuva parantaminen, tosiasioihin perustuva päätöksen teko ja molempia osapuolia hyödyttävät toimittajasuhteet. (SFS-EN ISO 9000, 8)

Johtajuuden tulee olla järjestelmällistä, jotta tavoitteet saavutetaan tehokkaasti ja parannetaan järjestelmää tehtyjen mittausten ja analyysien perusteella. Eli päätöksiä on tehtävä faktoihin perustuen ja analysoimalla mittauksia, näin ollen jatkuva parantaminen helpottuu. Jatkuva parantaminen tuottaa yritykselle koulutetumpaa henkilöstöä, joka parantaa kokonaisuudessaan yrityksen kyvykkyyttä. (SFS: Laadunhallinnan periaatteet, 2015.)

Prosessimaisella toimintamallilla saavutetaan selvät vastuut ja velvollisuudet koko henkilöstölle, joka helpottaa avaintoimintojen parantamista ja resurssien hallintaa. Tulokset ovat johdonmukaisempia eli helpommin ennustettavissa. Resurssien tehokas käyttö alentaa kustannuksia ja lyhentää suoritusajoja. (SFS: Laadunhallinnan periaatteet, 2015.)

Laadun merkitys on alihankkijana toimivalle kohdeyritykselle tärkeä. Yrityksen on pysyttävä toimittamaan sovittua laatua sovittuun toimitusaikaan mennessä. Toimitusaika vaatimusten kiristyessä ei laatua voida huonontaa, siksi onkin tärkeää pitää jo saavutettu laatutaso yllä ja pyrkiä 0-virhetasolle. Laadunhallinnan perusteet on otettava huomioon myös kehittäessä toimintaa. Toiminnan muutosvaiheessa virheiden määrä voi kasvaa hetkellisesti, sillä toiminta uuden toimintatavan ja vanhan rutiinin välinen yhteys voi vaikuttaa työn laatuun. Kohdeyrityksellä on laatujohtamissertifikaatti ISO 9001:2008 sekä ympäristösertifikaatti ISO 14001:2004 (Promeco Group, 2015).

Tukesin julkaisemassa tutkimuksessa on esitetty virtaliitosten käyttäytymistä, mikäli niitä ei ole tehty asianmukaisilla välineillä. Kuten kuvasta 1 nähdään, on sähköliitokset tehtävä valmistajan ohjeiden mukaisesti oikeilla välineillä vahinkojen ehkäisemiseksi.



KUVA 1. Esimerkki väärin tehdystä virtaliitoksesta ja sen vaikutuksista (Alhainen & Halminen, 2015)

Kuvan 1 puristusliitokset on tehty väärän kokoisella kaapelikengällä tai puristettu väärällä puristustyökalulla (Alhainen & Halminen, 2015). Virtaliitoksia tehdään kohdeyrityksessäkin niin kaapeleilla kuin kiskoillakin, joten niillä on suuri vaikutus kokonaislaatuun. Kohdeyrityksessä on käytössä tarkastusjärjestelmä, jolla pyritään minimoimaan virheiden mahdollisuus nimenomaan virtaliitosten osalta.

## 2.6 Tuotanto kohdeyrityksessä

Opinnäytetyö tehtiin Promeco Group Oy:lle, joka toimii maailmanlaajuisesti ja toimittaa sähkömekaanisia järjestelmiä ja palveluja asiakkailleen. Yrityksen palveluihin kuuluu koko tuotantoketjun kattava suunnittelu-, tuotekehitys- ja elinkaaripalvelut ja se toimii muun muassa meri- ja energiateollisuudessa. Yrityksen liikevaihto on noin 56 miljoonaa euroa ja se työllistää yli 400 työntekijää. Promeco Group koostuu viidestä yrityksestä, joista osa on perustettu jo 1970-luvulla. Promecon asiakkaat ovat suurelta osin kansainvälisiä toimijoita. (Promeco Group, 2015.)

Opinnäytetyö toteutettiin Promeco Groupiin kuuluvalla JAT Asennus Oy:n Jämijärven toimipisteelle, joka valmistaa ABB Drives Oy:lle MultiDrive teollisuustaajuusmuuttajakeskuksia. Työn tarkoituksena on nopeuttaa keskuksien läpimenoaikaa. Tällä hetkellä keskuksat valmistetaan viidessä vaiheessa, varasto-, mekaniikka-, kytkentä-, viimeistely- ja tarkastussoluissa. Kolme osakokoonpanoa ovat sähköinen, mekaaninen sekä nestejäähdytteisiin keskuksiin pääputkia valmistava solu.

Tässä työssä keskitytään nestejäähdytteisten taajuusmuuttajakeskusten mekaniikkasolun vaiheistamiseen, epäkohtien huomiointiin sekä mahdollisten osakokonaisuuksien etsimiseen, jotka voitaisiin valmistaa osakokoonpanossa. Perimmäisenä tarkoituksena on lyhentää keskuksen läpimenoaikaa kaikilla mahdollisilla tavoin. Lisäksi mekaniikkasolu pyritään jakamaan päivän kestäviin osiin, jotta työntekijöiden kierrätys olisi helpommin toteutettavissa esimerkiksi sairauspoissaolojen vuoksi. JAT Asennuksella on kaksi toimipistettä, joten työn teossa on käytetty apuna tehtaiden eroavaisuuksia, jotta epäkohdat olisi helpommin havaittavissa.

Keskusten suunnittelu tapahtuu ABB:llä, vaikka välillä esimerkiksi muutoksista johtuen joitakin käytännön toteutuksia tarvitsee suunnitella ja toteuttaa kokoonpanon aikana. Materiaalit tulevat suoraan ABB:ltä, joten niihin ei pystytä vaikuttamaan suuresti. Materiaalit tilataan itse, joten toimitusajankohtiin ja toimituseriin voidaan vaikuttaa. Varsinaisia alihankkijoita ei ole, mutta koska työssä mietitään mekaniikkasolun vaiheistusta, voidaan tässä tapauksessa eri osakokoonpanoja ajatella mekaniikkasolun alihankkijoina.

Suuret muutokset kohdeyrityksen tilauskannassa ovat lisääntyneet viime vuosina ja tilaukset tulevat entistä tiukemmalla aikataululla. Tämä on yksi syy sille, että mekaniikkavaihe tulee saada mahdollisimman nopeaksi ja paremmin hallittavaksi.

Tuotantoketjun valmistavana osana tuotannolle ominaista on suunnitellun laadun täyttäminen ja kyky vastata tilauskannan muutoksiin. Edellä mainitut asiat ovat kohdeyrityksessä tärkeässä roolissa, koska tuotteet valmistetaan alihankkijana, jolloin on pystyttävä olemaan muita mahdollisia alihankkijoita parempi. Pohdittaessa muutoksia nykyiseen toimintamalliin on otettava huomioon myös mahdolliset muutokset niin sisäisissä, kuin ulkoisissakin toimitus- ja tilausketjuissa.

Kohdeyrityksen tuotantomuoto sijoittuu johonkin sarjatuotannon ja yksittäistuotannon välimaastoon. Keskukset ovat suunniteltu jotakin tiettyä käyttöä varten, joten niissä on erilaisia lisälaitteita. Pääosin keskukset koostuvat samoista komponenteista, mutta niitäkin on laaja skaala. Joitakin tiettyjä osakokonaisuuksia tarvitaan useita jokaisessa keskuksessa, joten niitä valmistetaan sarjatuotantomaisesti osakokoonpanoissa.

Kohdeyrityksessä on käytössä tuntikortti-järjestelmä, jolla mitataan eri solujen käyttämää työaika. Järjestelmällä voidaan vertailla keskuksien valmistukseen kulunutta kokonaisaika sekä solujen läpimenoaika erilaisissa keskuksissa. Käytössä on myös vikatilastot niin sisäisen tarkistuksen, kuin lopputarkistuksen osalta. Nykyisin käytössä olevilla mitauksilla voidaan vertailla opinnäytetyön vaikutusta kokoonpanon laatuun ja tuottavuuteen.

Taajuusmuuttajakeskusten tuotantoketjussa tilauksen kohdennuspiste on tilauksesta suunnittelu, mutta koska suunnittelua ei tehdä kohdeyrityksessä, on kohdeyrityksen osalta käytössä tilauksesta kokoonpano. Kohdeyritys hyödyntää tuotannossaan työntö- ja imuohjausta. Työntöohjausta käytetään keskuksien valmistukseen. Keskuksille on määrätty lähetyspäivä ja laskennallisilla tunneilla määritetään kokoonpanon aloitusajankohta. Osakokoonpanot toimivat imuohjausperiaatteella, jotta keskuksien ei tarvitse linjalla odotella osakokoonpanoissa tehtäviä osakokonaisuuksia.

Lean-ideologiaa on käytetty kohdeyrityksessä turhien toimintojen poistamiseen. Leanin avulla on suunniteltu tuotannon pohjapiirros. Tuotantolinja kulkee siis hallin läpi, eli toisesta päästä osat tulevat sisään ja toisesta päästä valmiit keskukset lähtevät ulos. Usein tarvittavat työkalut ja tarveaineet, kuten pultit ja mutterit on tuotu lähelle kokoonpano-asemia. Välivarastot on mahdollisuuksien mukaan poistettu. Virhemäärät pyritään pitämään mahdollisimman alhaisina tarkastamalla keskuksia useammin pienemmissä osissa ja antamalla palautetta välittömästi suoraan tekijälle.

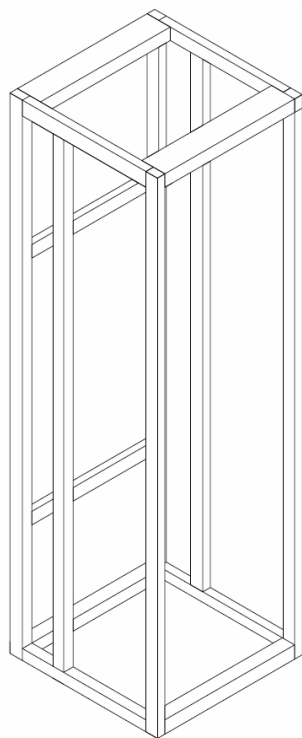
### 3 MEKANIIKAN VAIHEISTUS KOHDEYRITYKSESSÄ

#### 3.1 Taajuusmuuttajakeskus

Taajuusmuuttajilla ohjataan moottorien toimintaa ja samalla taajuusmuuttaja toimii moottorin suojana ylivirta- ja oikosulkuilanteissa (Hietalahti, 2013). Taajuusmuuttajan etuna on vääntömomentin ja pyörimisnopeuden portaaton säätö muihin moottorikäyttöihin verrattuna. Moottorit kuluttavat yli 65 prosenttia teollisuuden sähköenergiasta, joten yksi taajuusmuuttajakäytön hyödyistä on sen säästämä energia verraten perinteisiin sähkökäyttöihin. ABB:n mukaan käytössä olevat taajuusmuuttajakäytöt säästävät vuosittain arviolta noin 115 miljoonaa megawattituntia sähköä. (ABB, 2008.)

Taajuusmuuttaja tasasuuntaa verkosta tulevan jännitteen ja varastoi sen energian DC-piirissä oleviin kondensaattoreihin. DC-piiri syöttää energian invertterille, joka moduloi jännitteen moottorille sopivaksi kolmivaihejännitteeksi. Taajuusmuuttajilla muutetaan taajuutta pääosin 0-300 Hz välillä käytön vaatimuksien mukaan. (Nylund Group, 2012.) Työssä käsiteltävät taajuusmuuttajakeskukset ovat verrattavissa toiminnaltaan yksittäistä moottoria ohjaaviin taajuusmuuttajiin. Virtojen ollessa huomattavasti suurempia on taajuusmuuttajakeskuksessa enemmän suojauksia. Keskuksissa on muun muassa erilliset sulakkeet DC- ja AC-piireissä ja tarvittaessa myös valokaarivahteja vikojen varalle.

Taajuusmuuttajakeskukset koostuvat erillisistä yhteen liitetyistä kentistä, joilla kaikilla on oma tehtävä keskuksen toiminnassa. Kaikilla kentillä on kuvion 3 mukainen runko. Runkoihin kiinnitetään kaikki väli- ja ulkoseinät, tarpeelliset tuet kiskoille ja moduuleille.



KUVIO 3. Havainnekuva yhden kentän rungosta

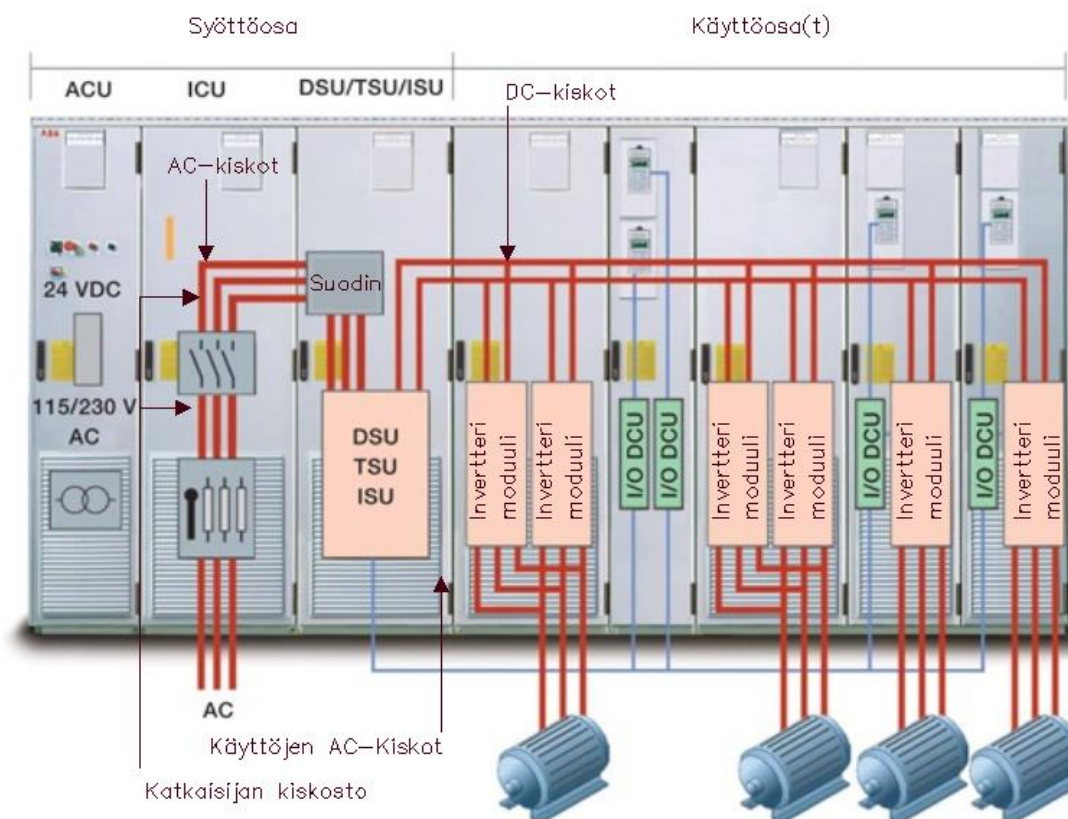
Normaalisti kenttiä on vähintään kaksi jolloin rungot liitetään toisiinsa paksummilla pysytopilla. Kuvan 3 mukaisesti kenttien läpi kulkee kiskot ja tarpeen mukaan kiskoista liitytään kenttien moduuleihin tai muihin kojeisiin erilaisilla kiskostoilla tai pienivirtaisissa kojeissa kaapeleilla.

Taajuusmuuttajakeskuksilla on yhteinen tasajännitepiiri, jota syöttää vaihtosuuntaajamoduulista tai -moduuleista koostuva syöttöyksikkö. Tämän kaltainen rakenne tuo monia etuja verrattuna normaaliin taajuusmuuttajakäyttöön, kuten vähemmän kaapeleita, pienemmät asennus ja ylläpitokustannukset sekä pienempi verkkovirran kulutus. (ABB, 2008.) Mikäli moottorilla jarrutetaan liikettä, voidaan kyseiseltä moottorilta generoituva sähköenergia käyttää muissa moottoreissa, eikä sitä tarvitse hukata lämmöksi tai vaihtosuunnata verkkoon. Molemmissa edellä kuvatuissa tapauksissa energiaa säästyy ja sitä kautta hyötysuhde paranee. (Hedman 2009, 18–19.)



KUVA 2. Vesijäähdytteinen ACS800 taajuusmuuttajakeskus (ABB, 2011)

Kuvassa 2 on esitetty vesijäähdytteinen ACS800 taajuusmuuttajakeskus, jossa vasemmalta oikealle tasasuuntauskenttä, kaksi vaihtosuuntaus- eli käyttökenttää ja viimeisenä jarrukenttä (ABB,2011). Keskukset, joita JAT Asennus pääosin valmistaa ovat sovellussuunniteltuja malleja, eli ne ovat suunniteltu asiakkaan tarpeiden mukaan yhdistelemällä tarvittavia kenttiä.



KUVA 3. ACS800 taajuusmuuttajakeskuksen toimintaperiaatekuva (ABB 2011, muokattu)

Toisena esimerkkinä keskusrakenteesta kuvan 3 mukainen keskus, joka koostuu ohjauskentästä, katkaisijakentästä, tasasuuntauskentästä, kahdesta tehokkaammasta vaihtosuuntauskentästä sekä niiden yhteisestä ohjauskentästä ja kahdesta pienemmästä vaihtosuuntauskentästä, joissa ohjauskojeet mahtuvat samaan kenttään käytön kanssa. (ABB,2011.)

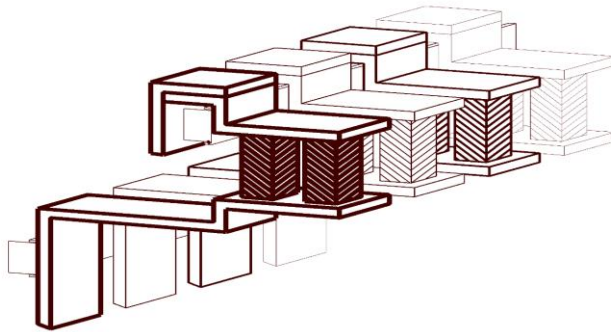
Keskukset rakennetaan yleensä vähintään kahdessa osassa, kuljetuksien ja loppuasennuksen helpottamiseksi. Vesijäähdytteisissä on yleensä lisäksi pumppukenttä, jolla jäähdytysnestettä kierrätetään jäähdytysjärjestelmässä.

### 3.2 Mekaniikkavaihe ennen

Tällä hetkellä mekaniikkavaihe tehdään pääosin työparin voimin, ja se kestää noin 3-7 päivää. Vaihe alkaa raakarungon kokoamisella, jotka kootaan pääosin runkosolussa. Runkovaiheessa keskuksen runko (kuvio 3) kootaan osista ja osat ruuvataan toisiinsa akkporakonetta ja erilaisia kulmavääntimiä käyttäen. Runkovaiheessa keskuksen laitetaan

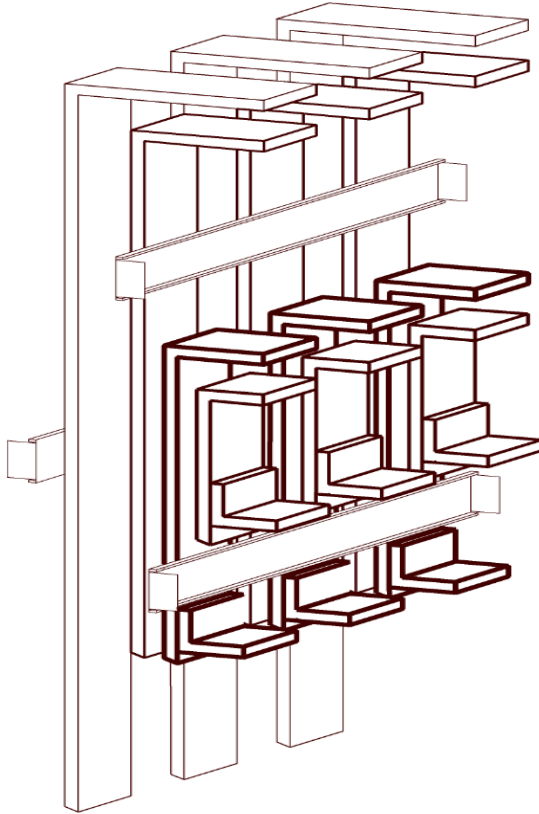
myös väliseinät, lattialevyt sekä mahdolliset läpiviennit lattialevyihin. Lattioita ja joitakin läpivientejä ei voida aina kiinnittää tässä vaiheessa, koska jotkin myöhemmät työvaiheet tarvitsee tehdä ensin, esimerkki tällaisesta tapauksesta on ICU-kentän PE-kisko. Keskus siirretään runkosolusta mekaniikkaosaston puolelle, kun runko-osuus on saatu valmiiksi.

Mekaniikkavaihe on koottu valmiiksi yhdessä työpisteessä. Keskus voi seistä pitkänkin ajan mekaniikkaosaston puolella, jos siinä on paljon optioita ja/ tai paljon tasa- ja vaihtosuuntauskenttiä, joissa on erilaisia sulakepaketteja, jotka ovat työläitä koota (kuvio 4).



KUVIO 4. Havainnekuva vaihtosuuntauskentän yläsulakkeista [sulakkeet viivoitettu]

Myös katkaisijakentän kokoaminen on työlästä, sillä katkaisijan kiskosto (kuvio 5) jouduttiin kohdistamaan katkaisijan vaunulla, joka piti irrottaa kiskoihin kytkettäviä kaapeleita varten, ja asentaa kaapelien kytkennän jälkeen uudelleen paikalleen. Kiskostolle on tällä hetkellä olemassa sabluuna, jolla vältetään katkaisijan vaunun ylimääräinen kiinnitys- ja irrotus-vaihe. Katkaisijan kiskosto ja vaunu tullaan jatkossa kasaamaan siihen suunnitellulla pöydällä, ja nostamaan kokonaisuena paikalle, mikäli prototyyppi saadaan toimimaan.



KUVIO 5. Havainnekuva katkaisijan kiskostosta

Mekaniikkavaiheessa lopputuloksen kannalta yksi tärkeimpiä työvaiheita on sähköisten liitosten oikeaoppinen tekeminen. Osa kiskoliitoksista on tarkastettava heti tekemisen jälkeen, sillä joihinkin liitoksiin ei pääse enää loppuvaiheessa käsiksi.

### 3.3 Vaiheistuksen prototyyppi

Mekaniikkavaiheen pilkkomisessa haasteena on sen työmäärän riippuminen keskuksen tulevista lisävarusteista. Lisävarusteita on paljon, koska laitteet suunnitellaan aina jonkun tietyn käytön mukaan. Mekaniikkasolu vaiheistettiin kokemukseen perustuen paperille ja vaiheistusta alettiin testaamaan käytännössä koekokoonpanolla. Koekokoonpanoja tehtiin kaksi ja näiden aikana vaiheistus pyrittiin samaan mahdollisimman toimivaksi. Toisen koekokoonpanon aikana vaiheistusta pyrittiin pilkkomaan vielä pienempiin osiin, jotta lopullisessa vaiheistuksessa olisi helpompi ottaa suuri optiomäärä paremmin huomioon. Ensimmäisen koekokoonpanon alussa vaiheistus oli seuraava:

**Runkovaihe:**

- runko
- seinät
- putki- ja johtoreitit
- AC-/DC-tuet
- AC-kiskot käyttöihin
- kääntökehysten niitit

**Mekaniikka 1:**

- johdot
- johtokourut kenttiin
- loput mekaniikan osat, pois lukien tulevat vaiheet

**Mekaniikka 2:**

- vaaka AC-/DC-kiskot
- kiskotarkastus

**Mekaniikka 3:**

- pää- ja ilmausputket
- PE-kiskot
- jäähdyttimet
- yläkourut
- PE-kiskotarkastus

**Mekaniikka 4:**

- yksiköt
- yksiköiden putket
- painetesti

**Mekaniikan osakokoonpano:**

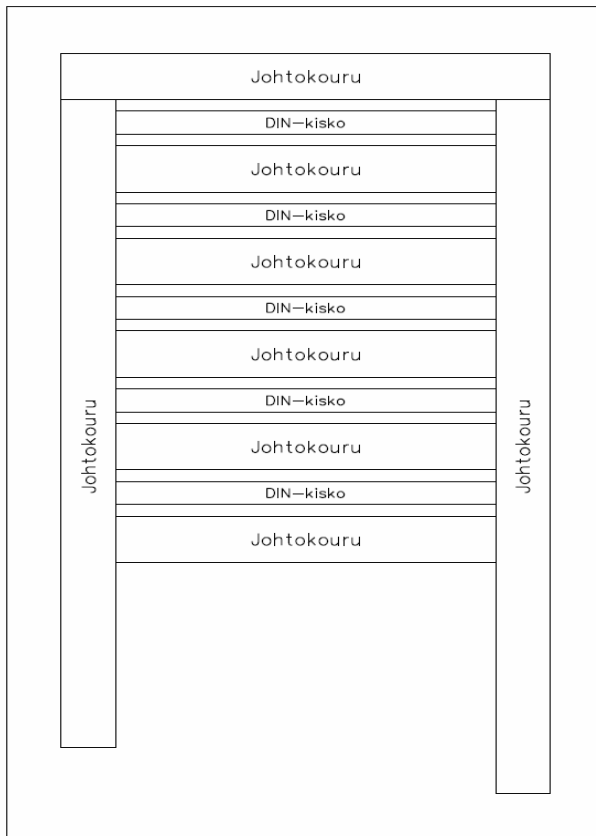
- lähtöpultit
- latauksen pelti
- DSU:n sulakepelti
- katkaisijan kiskosto

- mekaniikan kaapeleiden katkonta
- sulakepeltien positiot
- jäähdyttimien teko

### **3.4 Ensimmäisen koekeskuksen kokoonpano**

Ensimmäisen koekokoonpanon aikana kartoitettiin aikaa vieviä työvaiheita sekä mahdollisuuksia jakaa mekaniikkavaihe 4–5 päivälle selkeillä rajoilla, jotta tulevaisuudessa voitaisiin muuntaa mekaniikkavaihe kolmikaistaiseksi keskuksiin kuluvan valmistusajan perusteella. Tällä tavoin voitaisiin keskittää työvoimaa aikaa vievämpiin keskuksiin.

Ensimmäistä koekeskusta koottaessa tuli melko vähän huomioita, joilla voitaisiin nopeuttaa läpimenoaikaa. Huomiot keskittyivät enemmänkin vaiheistuksen muokkaamiseen sujuvammaksi. Mekaniikka 1 vaiheeseen on lisättävä vaakasuunnassa olevien AC- ja DC-kiskojen asennus (kuva 3), jotta voidaan ruveta kokoamaan DSU:n ja INU:n osia. ACU:n asennuslevyyn voidaan asentaa DIN-kiskot ja johtokourut osakokoonpanossa, mahdollisesti joitakin kytkentöjä voitaisiin tehdä jo valmiiksi taustalevyyn. ACU:n taustalevyyn tulee mallista riippuen erimäärä DIN-kiskoja ja johtokouruja kuvion 6 mukaisesti.



KUVIO 6. Havainnekuva ACU:n asennuslevystä

KytKentä ei kuulu mekaniikkavaiheeseen, mutta läpimeno aikaa voitaisiin saada lyhennettyä, jos kytkentävaihetta tehtäisiin yhtä aikaa mekaniikkavaiheen kanssa.

Katkaisijakentän kokoamista helpottamaan on suunniteltu teline, jossa kiskosto (kuvio 4) voidaan liittää vaunuun ja nostaa katkaisijakenttään kokonaisena pakettina. Telinettä ei kuitenkaan opinnäytetyön teon aikana voitu testata, joten sen vaikutusta läpimeno aikaan ei voi kuin arvioida. Mikäli teline toimii odotetusti se lyhentää keskuksien läpimenoaikaa merkittävästi.

Mekaniikkavaiheessa tehdään lukuisia kiskoliitoksia, joiden virrat ovat kuvassa 1 esitettyjen johtimien virtakestoisuutta suurempia, joten voidaan todeta, että virtaliitosten huolellinen tekeminen ja niiden tarkastaminen on erittäin tärkeä työvaihe. Keskuksessa olevat kiskot pultataan pääosin 1-3 pulttiliitoksella jokaisesta liitoskohdasta. Liitoksia on muun muassa kuvan 3 kiskojen mutkissa, joten jo kuvasta huomataan, että yksittäisiä kiristettäviä pultteja on paljon. Lisäksi keskuksen alaosassa kulkeva PE-kiskosto koostuu kentän mittaisista kiskoista, jotka pultataan toisiinsa.

DSU:n tasasuuntausyksiköiden syötön sulakkeet ovat todella ahtaassa tilassa ja niiden asentaminen on sen vuoksi erittäin aikaa vievää. Hitaita asentaa ovat myös DC-puolen sulakkeiden tuet ja kiskot (kuvio 4). AC- ja DC-sulakkeiden tukia ja kiskoja voitaisiin mahdollisesti koota osakokoonpanossa tai ainakin liittää osa osakokonaisuuden osista toisiinsa.

Lattioihin tulevia läpivientilevyjä ei voida asentaa aina runkovaiheessa, sillä ne saattavat merkittävästi hidastaa PE-kiskon asentamista. Onkin syytä olla erittäin tarkkana, mitkä läpiviennit voidaan asentaa runkovaiheessa, ettei niitä tarvitse purkaa ja koota uudelleen. Purkaminen ja uudelleen kokoaminen kasvattaa läpimenoaikaa. Varsinkin mikäli edellisen vaiheen on virheellisesti koonnut joku muu, laskee se merkittävästi työmotivaatiota, joka välillisesti kasvattaa läpimenoaikaa. Lattioiden läpiviennit koostuvat pitkälti standardiosista, joten niitä voitaisiin tehdä osakokoonpanossa ja ne voitaisiin kiinnittää paikoilleen sopivassa vaiheessa.

Mekaniikassa asennetaan mahdolliset virtamuuntajat kiskoihin, mutta niitä ei kuitenkaan johdoteta. Johdotus tehdään kytkennässä, eli mekaniikan jälkeisessä työvaiheessa. Johdottaminen joudutaan tekemään melko ahtaassa tilassa, koska kaikki mekaniikan osat ovat jo paikallaan. Voisikin olla läpimenoajan kannalta järkevintä kytkeä johdot valmiiksi virtamuuntajien päähän, silloin kun ne olisi helpoiten asennettavissa. Osaan jäähdyttimistä voidaan asentaa johdotetut tuulettimet valmiiksi osakokoonpanossa.

### **3.5 Toisen koekeskuksen kokoonpano**

Toista keskusta kokoonpanossa ensimmäinen huomio tuli jo runkovaiheessa. Vaikka kaikki tavarat ja tarveaineet ovat melko lähellä, kuluu niiden hakemiseen aikaa, koska suurin osa on niin kookkaita, että niitä ei voi kantaa kuin yhden kerrallaan. Esimerkiksi väliseinät ovat kooltaan 190x50 cm ja ne on valmistettu pääosin 3 millin paksusta pellistä, joten kahden väliseinän kantaminen kerrallaan ei ole työturvallista.

DSU:n tulopuolen sulakkeiden ja kiskojen tukia voitaisiin koota osakokoonpanossa. Ennen tätä pitää vielä testata voiko koko DSU:n tulopuolen osat asentaa kokonaisuutena paikalleen. Joka tapauksessa, jos esimerkiksi DSU:n alapää koottaisiin osakokoonpanossa,

se poistaisi osapuutteiden aiheuttamia odotuksia, joita esiintyi tämänkin koekeskuksen aikana muutama.

Johtoreittien suunnitteluun menee turhaa aikaa ja virheiden mahdollisuus kasvaa, mikäli ne suunnitellaan jo runkovaiheessa. On helpompi hahmottaa kokonaisuus ja mahdolliset poikkeukset, kun keskuksessa on enemmän osia. Lisäksi vältetään siltä, että jouduttaisiin vetämään johdot uudestaan, kun jokin osa tuleeekin jo suunnitellun johtoreitin paikalle. Toisaalta olisi hyvä, jos johdot saataisiin aikaisessa vaiheessa mitattua, niin ne voitaisiin tilata esimerkiksi osakokoonpanolta.

Joitakin työkaluja puuttui työkaluseinästä, joka hidasti merkittävästi työntekemistä, sillä korvaavan laitteen joutui yleensä hakemaan jostain muusta seinästä ja luonnollisesti palauttamaan käytön jälkeen. Lisäksi vaikka työpisteillä on omat pultti-, mutteri- ja aluslevyhyllynsä, ei niissä ole kaikkia tarvittavia tarveaineita. Tästä johtuen tarvittavia tarveaineita joutuu hakemaan kauempaa.

Lähtökiskoja on jokaisessa tulo- ja käyttökentässä vähintään 4 kappaletta [L1, L2, L3 ja PE] Lähtökiskoissa on lähtöpultteja 6-20 kappaletta per kisko, joten niiden kiinnittämiseen menee paljon aikaa. Suurin osa lähtöpulteista voitaisiin kiinnittää jo osakokoonpanossa. OPU:n kiskot on mahdollista koota osakokoonpanossa ja nostaa paikoilleen esimerkiksi vaihe [L1-L3] kerrallaan.

INU:n alapään kiskoliittimien pystykiskot voidaan asentaa ja kiristää momenttiin jo osakokoonpanossa. Positiotarrojen tulostuskoneet ovat melko kaukana. Positiot voi tulostaa yhdellä kerralla, joten matka ei ole suuri ongelma. Tulostaminen vie kuitenkin aikaa, joten positiotarrat voitaisiin tehdä valmiiksi keskuksen mukana kulkeviin osalaatikoihin.

### **3.6 Johtopäätökset koekokoonpanoista**

Työn tekemistä runkovaiheessa voisi nopeuttaa häkkirullakko, sen lisäksi että seinät saisi haettua kerralla keskuksen viereen, myös niiden kantaminen vähentyisi, mikä osaltaan parantaisi työssä jaksamista ja vähentäisi mahdollisia tapaturmia, joita painavia tavaroita kantaessa voi syntyä.

Yksi keskusta seisottava tekijä on osapuute. Mikäli jokin osa puuttuu, ei kentän kokoaamista välttämättä voida jatkaa eteenpäin, koska osia ei pystytä asentamaan kuin tietyssä järjestyksessä. Edellä mainituissa tilanteissa osien hakuun ja selvittelyyn kuluu turhaa aikaa.

Keskusta jäädytetään nesteellä, joten on tärkeää, että nesteputket saadaan kulkemaan jouheasti virtauksen varmistamiseksi sekä kiinnitettyä niin, etteivät ne tärinänkään seurauksena hioudu puhki. Tästä johtuen yksi aikaa vievä työvaihe on putkien liittäminen ja rakentaminen. Putket tulevat pääosin valmiina, mutta lähes kaikkia putkia tarvitsee muokata, jotta ne sopivat paikalleen. Putkireitit on helpompi suunnitella vasta Mekaniikka 2-vaiheessa, sillä nähdään paremmin osat, jotka mahdollisesti vaikuttavat reitteihin. Johtokourut voidaan siirtää Mekaniikka 2-vaiheeseen, koska ensimmäisen koekeskuksen aikana todettiin Mekaniikka 1-vaihe hieman pitkäksi. Johtokourut voitaisiin kiinnittää vasta pääputkien jälkeen, jotta ne eivät rikkoutuisi pääputkia asentaessa.

Koska sulakkeet joudutaan jatkossakin puluttaamaan vasta moduulin asennuksen jälkeen ahtaassa tilassa, voisi momenttiavaimiin sopiva pykälätön räikkäpää helpottaa asennusta ja nopeuttaa keskuksen valmistusta, koska sulakkeiden asennus on tällä hetkellä erittäin aikaa vievää. Mikäli mekaniikassa asennettavat kaapelit valmistettaisiin osakokoonpanossa, olisi esimerkiksi kaapelikenkien puristus varmempaa, koska kaikki tarvittavat työkalut olisivat yhdessä paikassa, ja näin ollen helpommin saatavissa verrattuna nykytilanteeseen.

Tarveainehyllyssä on turhia tarveaineita, joten tähän tarvittaisiin jokin jatkuvaa kehittämistä helpottava toimenpide. Se voisi olla esimerkiksi työntekijä, jonka tehtävä olisi kuunnella työntekijöiden ideoita ja tämän jälkeen testata ja toteuttaa niitä. Toinen vaihtoehto voisi olla, että työntekijöillä tulisi olla selvät toimintaohjeet siihen, kuinka esimerkiksi turha pultilaatikko voidaan vaihtaa tarpeellisempaan. Huolimattomuusvirheetkin saattaisivat vähentyä, jos lähellä olisi saatavilla vain oikeita ja tarpeellisia osia.

Voisi olla miellyttävämpää, jos positiot olisi tulostettu valmiiksi osakokoonpanon tai jonkun muun toimesta. Positiot voidaan tehdä heti sähkökuvien suunnittelun jälkeen, näin voitaisiin lyhentää läpimenoaikaa, koska sähkökuvat ovat yleensä saatavilla paljon ennen

keskuksen kokoonpanon aloittamista. DSU:n yläpään tekeminen osakokoonpanossa tarvitsee vielä testata käytännössä, ennen kuin voidaan todeta se toimivaksi ratkaisuksi. Yläpää on kuitenkin mahdollista ainakin osittain koota osakokoonpanossa.

Toisen keskuksen kohdalla kukin vaihe kesti päivän. Keskuksissa on suuria eroja keskenään, joten tämäkään vaiheistus ei ole täydellinen. Koekokoonpanojen ja kokeneiden asentajien mielipiteiden jälkeen vaiheistus näyttää seuraavalta.

#### Runkovaihe:

- raakarunko
- väliseinät
- AC-/DC-tuet
- AC-kiskot käyttöihin
- kääntökehysten niitit

#### Mekaniikka 1:

- johdot
- vaaka AC-kiskot
- loput mekaniikan osat kuten INU:n takaliittimet, OPU:n kiskot, DSU:n tulokiskot, DSU:n yläpää, DSU:n yläpään pulttitarkastus ja DC-Kiskot

#### Mekaniikka 2:

- vastuspaketit
- johtokourut kenttiin
- loput mekaniikan osat kuten INU:n alaverkko ja lämmityspeltti, DSU:n yläohjaimet ja muut mahdolliset osat
- pääputket ja ilmanohjaimet
- kiskotarkistus poislukien PE
- jäädyttimet
- PE-kiskot
- PE-kiskotarkistus
- positiointi
- ilmausputket

### Mekaniikka 3:

- yksiköt
- yksikönputket
- painetesti

### Osakokoonpanot:

- lähtöpultit
- latauksen pelti
- DSU:n sulakepelti
- katkaisijan kiskosto
- mekaniikan kaapeleiden katkosta ja kaapelikenkien asennus
- sulakepeltien positiot
- jäähdyttimien teko
- positiot
- INU:n takaliittimet pystykiskoineen
- DSU:n alakiskojen tuet ja mahdollisesti myös kiskot
- DSU:n yläpää
- ACU:n asennuslevy

## 4 POHDINTA

Koekeskuksia valmistaessa havainnoitiin useita kehittämiskohteita. Keskusten varustelun vaihdellessa näin paljon, on lähes mahdotonta saada tällaista kehitystä valmiiksi vain kahden koekappaleen perusteella. Aikaan on saatu hyvä pohja, jonka avulla voidaan lähteä kokoamaan mekaniikkaosuutta uudella menetelmällä. On kuitenkin tärkeää sisällyttää jatkuva toiminnan kehittäminen osaksi uutta menettelyä.

Voisikin olla järkevää, että alkuun koottaisiin keskuksia mahdollisimman monella työparilla, ennen kuin järjestelmä vakiinnutetaan toimintaan. Näin otettaisiin huomioon mahdolliset toimintatapaerot erilaisten työntekijöiden välillä ja löydettäisiin mahdollisesti se kultainen keskitie, jolla mahdollisimman monen työntekijän on helppo ja vaivaton toimia.

Tehtaan nykyinen jatkuva kehitys on ehkä hieman jumittunut paikoilleen. Vaikka käytössä on Lean-ideologian mukaiset työkaluseinät ja järjestelmä, se ehkä tärkein eli jatkuva kehittäminen on jäänyt työkiireen keskellä vähemmälle huomiolle. Yhden seuraavista toimenpiteistä olisi keskityttävä jatkuvan kehityksen kehittämiseen.

On hyvin todennäköistä, että yritys muuttaa uusiin tiloihin lähiaikoina. Nyt voisikin olla hyvä tilaisuus käydä läpi tarvittavia muutoksia esimerkiksi työkaluseinissä ja työkaluissa. Ensin esimerkiksi pienryhmissä ja tämän jälkeen kaikkien työntekijöiden kesken, jotta saataisiin mahdollisimman monta mielipidettä julki eli toisin sanoen mahdollisimman monta erilaista näkökulmaa nykytilanteeseen ja siihen kuinka sitä voitaisiin parantaa.

Yksi vaihtoehto voisi olla myös se, että työntekijät esimerkiksi kuukausittain voisivat keskustella ja tehdä tarpeellisia muutoksia. Toiminnan ja tilojen kehittäminen pitäisi olla työntekijöille mieluisaa ja mahdollisimman vaivatonta. Tietysti myös siksi, että kehittämiseen ei kuluisi turhaan kokopanoon käytettävää aikaa.

Koekeskusta vastaaviin keskuksiin on mennyt mekaniikkavaiheessa ennen uutta vaiheistusta aikaa noin 120 tuntia. Keskuksen läpimeno näyttää nopeutuvan noin 20 tuntia, sillä

koekeskuksiin meni keskimäärin sama aika, kuin ennen vaiheistusta. Vaiheita saatiin siirrettyä osakokoonpanoon noin 20 tuntia, joten ne voidaan tehdä etukäteen ja keskuksen ei tarvitse olla linjalla.

Seuraava vaihe mekaniikkavaiheen kehittämisessä voisi olla keskusten luokittelu esimerkiksi kolmelle linjalle kokoamisnopeuden mukaan. Keskukset voitaisiin jaotella esimerkiksi arviotuntien mukaan. Voisi olla järkevää laittaa tietyn tuntimäärän ylittävälle keskuksille esimerkiksi yksi työntekijä lisää, näin ollen saataisiin myös aikaa vievät keskukset nopeammin mekaniikkavaiheen läpi. Vastaavasti yksinkertaisimmat keskukset voisi kokoonpanna yhden työntekijän voimin.

Mainitun kaltaiset muutokset ovat mahdollisia, jos yrityksen esimiehet ovat joustavia ja helposti lähestyttäviä. Mikäli jonkun työntekijän ideaa ei oteta käsittelyyn ja pohdita loppuun asti, voi jokin työtä paljonkin helpottava toimenpide jäädä tekemättä.

Yrityksessä on käytössä viikkopalaveri, jossa johto tuo työntekijöiden tietoon työtilanteen kokonaiskuvan, mahdolliset ongelmat ja muut asiat. Viikkopalaverissa myös työntekijöillä on mahdollisuus avata suunsa, mutta joillekin työntekijöille voi olla epämieluisaa puhua niin suurelle joukolle ihmisiä. Toimivin ratkaisu voisikin olla Toyotan tavasta toimia tuttu pienryhmäkehittäminen.

Valmistusta osakokoonpanoon siirrettäessä tulee osakokonaisuuksille määritellä jokin valmistuksen aloittava käsky eli jokin toimenpide tai vaihe kokoonpanossa, jonka jälkeen osakokoonpano aloittaa osakokonaisuuksien valmistaminen. Suuri osa osakokonaisuuksista tehdään tällä hetkellä samaan aikaan muiden osien kanssa saapuvista osista, joten ehkä ainakin alkuun sopiva heräte olisi osalavojen saapuminen.

Vaiheistuksen jatkokehittämistä ajatellen voisi olla hyvä mitata keskuksen valmistukseen kuluvaa aikaa tarkemmin. Esimerkiksi yhteen kenttää kuluvaa aikaa voitaisiin mitata tekemällä pieniä muutoksia leimausjärjestelmään. Leimauksiin kuluisi ehkä hieman enemmän aikaa, mutta leimausten avulla saataisiin hyödyllistä aikadataa jatkokehittämistä ajatellen. Aikadatan avulla voisi määritellä arvioajan keskuksen kokoonpanoajalle keskuks-

sessä olevien kenttien ja samanlaisiin kenttiin kuluneen keskivertoajan perusteella. Tarkemmalla kokoonpano-aika-arviolla myös keskusten jakaminen kolmelle kaistalle helpottuisi.

Toimintaa kehittäessä tulee muistaa että vaikka, olisi olemassa paperi, johon voidaan laittaa kehitysidea tai epäkohta ylös, ei kehittäminen tapahdu itsestään. Kehittyminen tapahtuu ihmisissä ja ajatusmaailmassa. Onkin ensiarvoisen tärkeää tarjota työntekijöille resurssit kehittää itseään ja samalla kehittyä työntekijänä. Tällä tavoin yrityksen toiminnan kehittäminen saataisiin mahdollisimman vakaalle ja noususuuntaiselle polulle.

Ehkä turhan usein tuudittaudutaan ajatukseen, että mennään nyt näin ja katsotaan sitten huomenna kuinka voisimme tehdä jotain paremmin. Tämän opinnäytetyö prosessin aikana on huomattu, että mukavuusalueelta on pyrittävä kauas, jotta sen reunoilla olisi helpompaa olla. Ehkä sama toimii yrityksessäkin, jotta voidaan olla parempia huomenna, on välillä tehtävä radikaalejakin ratkaisuja, jotka voivat sillä hetkellä tuntua epämiellyttäviltä.

## LÄHTEET

- ABB. 2008. Mikä taajuusmuuttaja on?. 23.6.2008. Luettu 4.3.2015.  
<http://www.abb.fi/cawp/db0003db002698/d5b664f5dd909412c1257291003ef7cc.aspx>
- ABB. 2011. ABB industrial drives. ACS800, multidrives 1.1 to 5600 kW Catalog. 11.8.2011. Tulostettu 5.3.2015. [http://www08.abb.com/global/scot/scot201.nsf/verity-display/5191911f18a8d00cc1257944002e8828/\\$file/ACS800multidrivescatalogREVI\\_EN.pdf](http://www08.abb.com/global/scot/scot201.nsf/verity-display/5191911f18a8d00cc1257944002e8828/$file/ACS800multidrivescatalogREVI_EN.pdf)
- Avenla Oy. 2015. Agile-prosessimalli. Luettu 20.2.2015. <http://www.avenla.fi/Suomeksi/Ratkaisut/Sovelluskehitys/Agileprosessimalli/tabid/3809/language/fi-FI/Default.aspx>
- Biaudet, R. & Virtanen, V. 1990. ISO 9000-Perusta toiminnan kehittämiseksi. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.
- Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2005. Teollisuustalous. 5. painos. Ylöjärvi: Infacs Oy.
- Hedman, A. 2009. Taajuusmuuttajat. ABB Group. Luettu 3.4.2015.  
[http://cna.mikkeli.amk.fi/Public/KosonenH/s%C3%A4hk%C3%B6\\_ja\\_automaatio/Taajuusmuuttaja\\_ABB.pdf](http://cna.mikkeli.amk.fi/Public/KosonenH/s%C3%A4hk%C3%B6_ja_automaatio/Taajuusmuuttaja_ABB.pdf)
- Heikkilä, J. & Ketokivi M. 2005. Tuotanto murroksessa. Strategisen johtamisen uusi haaste. Helsinki: Talentum Media Oy.
- Hietalahti, L. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. 1. painos. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka
- JIT (Just In Time), Lean ja Agile 2015. Logistiikan maailma. Luettu 17.2.2015  
[http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/JIT\\_\(Just\\_In\\_Time\),\\_Lean\\_ja\\_Agile](http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/JIT_(Just_In_Time),_Lean_ja_Agile)
- Jokela, M. 2011. Massaräätälöinti strategisena valintana. 12.7.2011. Luettu 24.2.2015.  
<http://inside-the-plm.blogspot.fi/p/massaraatalointi-strategisena-valintana.html>
- Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2009. Konetekniikan perusteet. 7.–8. painos. Helsinki: WSOYpro Oy.
- Kouri, I. 2010. Lean taskukirja. Helsinki: Teknologiateollisuus ry.
- Laadunhallintajärjestelmä-standardi SFS-EN ISO 9000.
- Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. 1997. Konepajan tuotantotekniikka. Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantjärjestelmät. 1. painos. Porvoo: WSOY.
- Lehtonen, J-M. (toim.) 2004. Tuotantotalous. 1. painos. Helsinki: WSOY.
- Lemola, T. 2009. Innovaation uudet haasteet ja haastajat. Helsinki: WSOYpro Oy.

Leppälä, K. 2012. Tervanpoltosta innovaatiotalouteen. Helsinki: BTJ Finland Oy.

Liker, J. & Convis G. 2012. Toyotan tapa Lean-johtamiseen. Erinomaisuuden saavuttaminen ja ylläpito johtajuutta kehittämällä. Suom. Niemi, M. Helsinki: Readme.fi.

Lönnqvist, A., Kujansivu, P. & Antikainen, R. 2006. Suorituskyvyn mittaaminen. Tunnusluvut asiantuntija organisaation johtamisvälineenä. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Nylund Group. 2012. Asiantuntija-artikkeleita. Taajuusmuuttaja säästää sähköä. 14.6.2012. Luettu 1.4.2015. <http://www.nylund.fi/fi/yritys/ajankohtaista/asiantuntija-artikkeleita/taajuusmuuttaja-saastaa-sahkoa.html>

Peltonen, A. 1998. Tuottava tehdas. Syventävä materiaali kirjaan. Luku 6. Opetushallitus. Luettu 17.2.2015. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/tuottavatehdas/tsisalt.html>

Promeco Group Oy. 2015. Promeco. Yrityksen internetsivut. Luettu 4.3.2015. <http://www.promeco.fi/fi/promeco-/promeco-lyhyesti.html>

Saari, S. 2002. Laatuun perustuva talous. Johdatus tuotannon teoriaan ja mittaamiseen. 1.painos. Espoo: Mido Oy.

Seppänen, L. 1999. Sotien jälkeinen teollisuusrakentaminen Suomessa. Teollisuuden rakennuspäälliköiden historiikki. Helsinki: Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry.

SFS.fi. n.d. Laadunhallinnan periaatteet-esite. Tulostettu 28.2.2015. <http://sales.sfs.fi.elib.tamk.fi/documents/laadunhallintaesite.pdf>

Tervakari, A-M. 2008. 4.4. Ketterät menetelmät. Oppimateriaali: Hypermedian opetus. Tampereen teknillinen yliopisto. Luettu 20.2.2015. <https://hlab.ee.tut.fi/hmope-tus/vpsist-oppimateriaali/4-menetelmia-ja-malleja/4-4-ketterat-menetelmat>

Thompson, S. 2015. Differences Between JIT & Lean Manufacturing. Luettu 24.2.2015 <http://smallbusiness.chron.com/differences-between-jit-lean-manufacturing-75614.html>

Tilauksen kohdennuspiste (OPP). 2015. Logistiikan maailma. Luettu 17.2.2015 [http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Tilauksen\\_kohdennuspiste\\_\(OPP\)](http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Tilauksen_kohdennuspiste_(OPP))

Tukes. Alhainen. J. 2015. Tutkimusraportti 1/2015. Jakokeskusten sähköisten liitosten vikaantumismekanismit. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Tuotanto. 2015. Logistiikan maailma. Luettu 17.2.2015 <http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Tuotanto>

Tuotantomuodot 2015. Logistiikan maailma. Luettu 17.2.2015 <http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Tuotantomuodot>

Työntöohjaus ja imuohjaus. 2015. Logistiikan maailma. Luettu 17.2.2015 [http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Työntöohjaus\\_ja\\_imuohjaus](http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Työntöohjaus_ja_imuohjaus)

Waters, K. 2007. What is Agile? (10 Key Principles of Agile). 10.2.2007. Luettu 15.2.2015. <http://www.allaboutagile.com/what-is-agile-10-key-principles/>

Womack, J., Jones, D. & Roos, D. 1992. The machine that changed the world *book summary* [kirjan yhteenveto]. Kurssimateriaali: Charles University, Prague. 16.4.2014. Tulostettu 28.1.2015. [http://dl1.cuni.cz/pluginfile.php/218097/mod\\_resource/content/0/womack\\_the\\_machine\\_that\\_changed\\_the\\_world.PDF](http://dl1.cuni.cz/pluginfile.php/218097/mod_resource/content/0/womack_the_machine_that_changed_the_world.PDF)