

Jari-Pekka Salo

Taajuusmuuttajan kokoonpanotyön standardointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinööriytyö

18.2.2016

Tekijä Otsikko	Jari-Pekka Salo Taajuusmuuttajan kokoonpanotyön standardointi
Sivumäärä Aika	41 sivua + 6 liitettä 18.2.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotantotekniikka
Ohjaajat	Tutkintovastaava Timo Junell Quality and Development Engineer Minna Martikainen
<p>Tämä insinööri työ käsittelee ABB Oy:n taajuusmuuttajien kokoonpanotyön standardoimista. Työn tavoitteena oli löytää sellainen standardoitavaksi ehdotettava kokoonpanojärjestys, jolla taajuusmuuttajien kokoonpanoajan vaihtelua ja läpimenoaikaa saataisiin vähennettyä. Insinööri työn tarkoituksena oli myös toimia Avix-ohjelmiston pilottiprojektina. Työssä keskityttiin yhteen ABB:n Drives-tehtaan CPL-linjalla valmistettavaan taajuusmuuttajan runkokokoon.</p> <p>Insinööri työssä perehdyttiin taajuusmuuttajien kokoonpanotyön nykytilaan ja sen perusteella lähdettiin tutkimaan tarkemmin mahdollisia kehityskohteita. Perehtymisen yhteydessä toteutettiin CPL-linjan työntekijöille kysely, jolla selvitettiin heidän näkemyksiään kokoonpanotyöstä. Teoriaosuudessa käsiteltiin kokoonpanotyötä ja Lean-filosofiaa. Käytännön osuudessa kokoonpanotyötä videoitiin kameroilla ja kuvattuja videoita analysoitiin Avix-videoanalyysiohjelmistolla. Videoanalyysissä etsittiin kokoonpanotyön suurimmat vaihtelua aiheuttaneet syyt ja kerättiin parhaat työtavat yhteen.</p> <p>Parhaat työtavat koottiin uudeksi standardoitavaksi ehdotettavaksi työohjeistukseksi. Insinööri työn tuloksena saadulla työohjeistuksella on mahdollista vähentää kokoonpanoajan vaihtelua sekä nopeuttaa taajuusmuuttajien läpimenoa.</p>	
Avainsanat	Tuotannonkehitys, kokoonpano, lean, Avix

Author Title	Jari-Pekka Salo Standardization of the Assembly of Frequency Converters
Number of Pages Date	41 pages + 6 appendices 18.2.2016 February 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Production Engineering
Instructors	Minna Martikainen, Quality and Development Engineer Timo Junell, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's Thesis was commissioned by ABB Oy. The objective of this thesis was to analyze the assembly work of frequency converters at the CPL production line of ABB's Drives plant. The main goal was to discover the reasons that cause variations in the lead times of frequency converters. In addition, the goal was to develop new assembly instructions that could be standardized and that would decrease the variation and the length of the assembly times.</p> <p>The study was carried out as follows. Firstly, previously made time studies about the assembly work of CPL production lines were studied and the current state of the assembly line was examined. Secondly, the assembly workers were interviewed by using a questionnaire. Thirdly, the assembly work was filmed with GoPro-cameras. After that, the filmed videos were analyzed by using a video-based software Avix. Based on the results of the questionnaire and the analysis, new assembly instructions were made.</p> <p>As a result, it was discovered that the new assembly instructions will decrease the variation and the length of the frequency converters' lead times. Therefore, the assembly work at CPL production line should be standardized by implementing the new instructions.</p>	
Keywords	Production development, Lean, Avix, Assembly

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Työn tavoitteet ja rajaukset	2
2	Kokoonpano	3
2.1	Kokoonpanojärjestelmät	4
2.1.1	Paikkakokoonpano	4
2.1.2	Linjakokoonpano	4
2.1.3	Kokoonpanotehdas	5
2.2	Kokoonpanotekniikat	5
2.2.1	Manuaalinen kokoonpano	5
2.2.2	Jäykkä kokoonpanoautomaatio	5
2.2.3	Joustava kokoonpanoautomaatio	6
3	Lean	6
4	ABB Oy	11
5	CPL-linjan lähtötilan kartoitus	12
5.1	CPL -linjan havainnointitutkimukset	12
5.2	Kyselytutkimus	14
5.2.1	Taajuusmuuttajan yleinen tila	15
5.2.2	Työohjeet	15
5.2.3	Kokoonpanojärjestys	15
5.2.4	Tekemisaika	16
5.3	Toiminnanohjausjärjestelmät	16
6	Kokoonpanon videointi	18
6.1	Videoinnin suorittaminen	18
6.2	AviX-videoanalyysiohjelmisto	19
6.3	Videoiden käsittely	21

7	Videoanalyysin havainnot	24
7.1	Laitteiden läpimenoaika	24
7.2	Jalostava tekeminen	25
7.3	Tekemisaika	27
7.4	Muut-aika	29
7.5	Työjärjestys	29
8	Tulokset ja päätelmät	30
8.1	Keskeiset tulokset	31
8.2	Jatkotoimenpiteet	34
8.3	Työn arviointi	35
9	Yhteenveto	38
	Lähteet	40
	Liitteet	
	Liite 1. Kysely (vain työn tilaajan käyttöön)	
	Liite 2. Kapasiteetilaskut (vain työn tilaajan käyttöön)	
	Liite 3. Videoinnin tulokset (vain työn tilaajan käyttöön)	
	Liite 4. Työvaiheiden ja komponenttien nimet (vain työn tilaajan käyttöön)	
	Liite 5. Työvaihe 9 parannukset (vain työn tilaajan käyttöön)	
	Liite 6. Uusi työjärjestys (vain työn tilaajan käyttöön)	

Lyhenteet

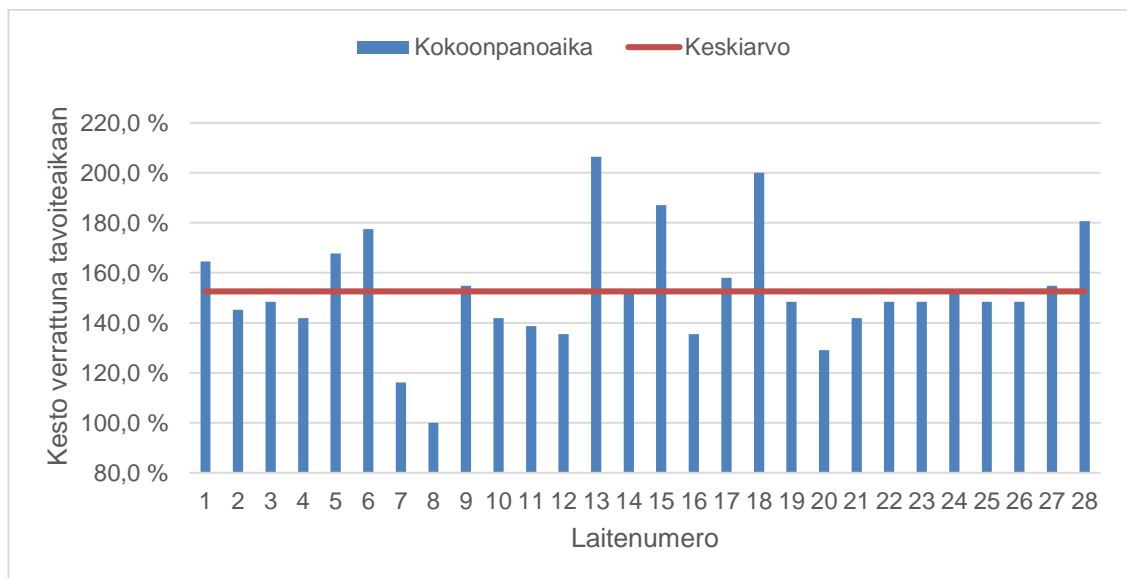
5S	Organisointiin ja standardointiin käytettävä Lean-työkalu.
AviX	Analyze Visualize Implement X = Anythin,. Videoanalyysiohjelma tuotannonkehitykseen.
CPL	Common Production Line, ABB Oy:n tuotantolinja.
DFX	Design For eXcellence. Design for X on yleisnimitys tuotesuunnitteluun eri lähtökohdista. X voi olla esimerkiksi A, jolloin DFA on Design For Assembly: tuotesuunnittelu kokoonpanoa varten.
FAS	Flexible Assembly System, joustava automaattinen kokoonpanojärjestelmä.
FIFO	Firs In First Out.
FMEA	Failure Mode and Effects Snalysis, vika- ja vaikutusanalyysitekniikka.
SMED	Single-Minute Exchange of Die, ssetusaikojen lyhennysmenetelmä.
TPM	Total Productive Maintenance, resurssien huolto- ja ylläpitosysteemi.
TPS	Toyota Production System, Toyotan kehittämä tuotantojärjestelmä.

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Tämän insinööriyön tilaajana toimi ABB Oy:n Discrete Automation and Motion -divisioonan, Drives and Controls -liiketoimintayksikön Low Power AC:n -tuotannonkehitysyksikkö. Insinööriyö käsittelee ABB:n Pitäjänmäen Drives-tehtaan CPL-linjalla valmistettavia kahta taajuusmuuttajatuoteperhettä.

ABB Oy:n Drives-tehtaan CPL-linjalla tehtyjen kahden havainnointitutkimuksen perusteella on todettu, että valmistettavien taajuusmuuttajien kokoonpanoajien hajonta on liian suurta. Havainnointitutkimuksissa on myös huomattu, että valmistuneiden taajuusmuuttajien toteutunut kokoonpanoaja on lähes jokaisella laitteella yli kellotetun tavoitekokoonpanoajan. Havainnointitutkimuksen aikana vain yksi taajuusmuuttaja valmistui tavoiteajassa, kaksi laitetta alitti 120 %:n aikarajan ja pisin kokoonpanoaja ylitti 200 %:n rajan. Valmistuneiden taajuusmuuttajien kokoonpanoajien keskiarvo oli havaintotutkimuksissa noin 155 % tavoiteajasta (kuva 1).



Kuva 1. Havainnointitutkimuksen aikana valmistuneiden taajuusmuuttajien kokoonpanoajat verrattuna teoreettiseen tavoiteaikaan.

Havainnointitutkimuksessa todetaan, etteivät kokoonpanoajan muutokset ole pelkästään henkilöriippuvaisia, toisin sanoen eivät johdu eri asentajien motivaatio- tai osaamiseroista.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Insinööriyön tavoitteena oli löytää sellainen standardoitavaksi ehdotettava taajuusmuuttajan kokoonpanojärjestys, jolla kokoonpanoajan vaihtelu vähenee ja kokoonpanoajan kesto lyhenee. Työssä keskityttiin erityisesti kokoonpano aikaan, joka sisältää jalostavan ajan ja tekemisajan.

Insinööriyössä videoitiin asentajien kokoonpanotyötä. Videoiden käsittelyssä käytettiin AviX-videoanalyysiohjelmaa. Insinööriyön tavoitteena oli kerätä analysointiohjelman hyviä ja huonoja puolia, sekä pohtia videoinnin mahdollisuuksia jatkossa.

Lisäksi projektin tavoitteena oli kerätä tietoja tuotantolinjan linjakokoonpanon kapasiteetista ja kokoonpanoajasta. Tietojen avulla pystytään parhaiten toteamaan uuden kokoonpanojärjestyksen vaikutus.

CPL-linjalla valmistettavista tuoteperheistä keskityttiin vain yhteen runkokokoon ja sen variaatioihin. Taajuusmuuttajien kokoonpanosta keskityttiin valmistavan tuotantolinjan varsinaiseen kokoonpanoon, ei varsinaista kokoonpanoa edeltäviin esikokoonpanoihin.

2 Kokoonpano

Kokoonpanolla tarkoitetaan omassa tehtaassa valmistettujen ja muualta hankittujen osien sekä standardikomponenttien ja -tarvikkeiden liittämistä toisiinsa toimivaksi tuotteeksi tai tuotteen osaksi. Kokoonpano tapahtuu valmistavalla tehtaalla. Jos valmistettu tuote kootaan asiakkaan luona, on kyseessä asennus. [Lapinleimu ym. 1997: 111.]

Kokoonpanotyö voi sisältää seuraavia vaiheita:

- kappaleiden käsittelemistä
- kappaleiden siirtämistä paikasta toiseen
- kappaleiden varastointia
- kappaleiden liittämistä ja sovittamista
- kappaleiden tarkistamista.

Kokoonpanotyöstä vain kappaleiden liittämistä pidetään jalostavana työnä. Kappaleiden käsitteleminen, siirtäminen, varastointi, sovittaminen ja tarkastaminen eivät lisää valmistettavan tuotteen arvoa, mutta aiheuttavat aikaviiveitä ja kustannuksia. Näitä vaiheita voidaan pitää kokoonpanotyön kannalta pakollisina hukkina ja niiden osuus työajasta pyritään pitämään mahdollisimman alhaisena. [Lapinleimu ym. 1997: 111.]

Kokoonpanotyön osuus tuotteen kokonaistyöajasta voi olla jopa 20 - 40 %. Kokoonpano vaatii yleensä suuren osan tuotantotiloista, ja se saattaa sitoa pääomaa keskeneräiseen tuotantoon ja varastoihin. [Lapinleimu ym. 1997: 111.]

2.1 Kokoonpanojärjestelmät

Kokoonpanojärjestelmät voidaan jakaa paikkakokoonpanoon, kokoonpanolinjaan sekä kokoonpanotehtaaseen. Sopivan kokoonpanojärjestelmän valintaperiaatteina voidaan pitää

- valmistettavien kappaleiden määrää ja eräkokoa
- kokoonpanossa käytettävien osien ja työvälineiden määrää
- tarvittavien kokoonpanokoneiden kokoa ja määrää
- valmistettavan kappaleen tuoterakennetta. [Lapinleimu 2000: 129.]

2.1.1 Paikkakokoonpano

Paikkakokoonpanossa valmistettava kappale kokoonpannaan yhdessä työpisteessä alusta loppuun. Tuotteen koosta riippuen kokoonpanon hoitaa yksi henkilö tai työryhmä. Paikkakokoonpano soveltuu parhaiten yksittäis- tai pienerätuotantoon. Siinä on tärkeää, että kokoonpanossa käytettävät osat ja työkalut saadaan sijoitettua lähelle työpistettä. [Lapinleimu ym. 1997: 112 – 114.]

2.1.2 Linjakokoonpano

Linjakokoonpanossa valmistettavan kappaleen kokoonpano on jaettu vaiheisiin. Jokainen kokoonpanovaihe suoritetaan järjestyksessä sille tarkoitettulla työpisteellä, jolla sijaitsevat tarvittavat työkalut ja valmistettavan kappaleen osat. Kun kokoonpanovaihe on suoritettu, siirtyy valmistettava kappale seuraavalle työpisteelle. Jokaisen kokoonpanovaiheen työpisteelle voidaan määrittää oma työntekijänsä tai kokoonpanolinja voidaan järjestää niin, että työntekijä tai työryhmä siirtyy valmistettavan kappaleen mukana työpisteiden välillä. Kokoonpanolinja soveltuu parhaiten suurien erien valmistukseen ja joukkotuotantoon. Ääriesimerkki linjakokoonpanosta on liukuhihnatyö, jossa kokoonpantava kappale liikkuu hyvin hitaasti koko ajan eteenpäin. Liukuhihnatyössä kokoonpanotyö on ositeltu hyvin nopeisiin vaiheisiin, ja sitä käytetään lähinnä joukkotuotannossa eräkokojen ollessa todella suuria ja tuotteiden vaihtelun pientä. [Lapinleimu ym. 1997: 112 – 114.]

2.1.3 Kokoonpanotehdas

Kokoonpanotehdas koostuu useista kokoonpanopaikoista ja -linjoista. Kokoonpanotehtaissa valmistetaan yleensä suuria tuotteita tai suuria tuotantomääriä samaa tuotetta. Tehdas voidaan esimerkiksi järjestää niin, että siihen kuuluu eri osakokoonpanopaikkoja ja -linjoja sekä loppukokoonpanolinja tai -paikka. [Lapinleimu ym. 1997: 112 – 114.]

2.2 Kokoonpanotekniikat

Kokoonpanotekniikat voidaan jakaa manuaaliseen kokoonpanoon ja kokoonpanoautomaatioon. Kokoonpanoautomaatio voidaan jakaa edelleen jäykkään ja joustavaan kokoonpanoautomaatioon. Usein kokoonpanossa käytetään sekajärjestelmiä, joissa osa kokoonpanosta on automatisoitu ja osa manuaalista. Usein kokoonpanon automatisoinnin tavoitteena ei olekaan täysautomaatio, vaan järjestelmiin jätetään manuaalisia vaiheita tärkeisiin solmu- ja avainkohtiin. Kannattavan automatisoidun kokoonpanojärjestelmän edellytyksiä ovat oikeanlainen tuote ja suuret valmistuserät. [Lapinleimu ym. 1997: 116 – 119.]

2.2.1 Manuaalinen kokoonpano

Manuaalinen kokoonpano on perinteisin kokoonpanotekniikka. Kokoonpanotavassa työntekijä kokoaa valmistettavan tuotteen osista ja kiinnitystarvikkeista ohjeiden perusteella sopivassa järjestyksessä. Manuaalista kokoonpanoa käytetään silloin kun kokoonpantavia osia ei ole suunniteltu automaattisesti kokoonpantavaksi, valmistettavat eräkoot ovat pieniä, ei ole olemassa tekniikkaa, joka mahdollistaisi automaation, tai automatisointi ei olisi kannattavaa. [Lapinleimu ym. 1997: 117.]

2.2.2 Jäykkä kokoonpanoautomaatio

Jäykässä kokoonpanoautomaatiossa kokoonpano suoritetaan erityisesti valmistettavaa tuotetta varten suunnitelluilla kokoonpanokoneilla tai useista koneista muodostetuilla konelinjoilla. Jäykässä automaatiossa koneet ovat joko vaikeasti tai eivät lainkaan muutettavissa muita kuin valmistettavia tuotteita varten soveltuviksi. Tästä syystä jäykkiä järjestelmiä käytetäänkin vain valmistusmäärien ollessa suuria, sillä suurilla valmistusmäärillä

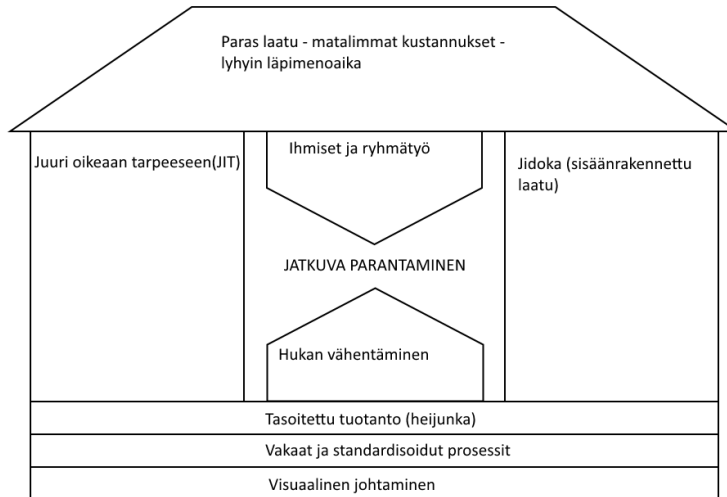
kalliit koneinvestoinnit maksavat itsensä nopeammin takaisin. [Lapinleimu ym. 1997: 117.]

2.2.3 Joustava kokoonpanoautomaatio

Joustavassa kokoonpanoautomaatiossa kokoonpanokoneet on muutettavissa erilaisiin kokoonpanotehtäviin ja niillä voidaan valmistaa eri tuotteita. Usein kuitenkin koneiden joustavuus on pientä, minkä vuoksi on mahdollista valmistaa vain suppeaa tuotevariaatiovalikoimaa. Yleensä tämä tarkoittaa yhtä tuoteperhettä. Jos joustavaan kokoonpanolaitteistoon lisätään muita komponentteja, kuten kuljetusjärjestelmiä, varastointilaitteita tai käsittelylaitteita, puhutaan joustavasta automaattisesta kokoonpanojärjestelmästä (FAS, Flexible Assembly System). [Lapinleimu ym. 1997: 118 – 119.]

3 Lean

Lean on Toyotan tuotantojärjestelmään perustuva johtamisfilosofia. Toyota Motor Corporation perustettiin vuonna 1937 Japanissa. Yhtiön liikeideana oli valmistaa autoja Japanin kotimaanmarkkinoille. Toisen maailmansodan jälkeen Japanissa oli valtava pula resursseista, mikä pakotti Toyotan kehittämään virtaustehokkuuteen keskittyvän tuotantojärjestelmän. Virtaustehokkuuteen keskittyvässä tuotantojärjestelmässä Toyota pyrki tekemään oikeita asioita ja tekemään asiat oikein. Toyotan tuotantojärjestelmää, Toyota Production System (TPS,) voidaan havainnollistaa ns. TPS-talokaaviolla (kuva 2). [Modig & Åhlström 2013: 69 - 76.]



Kuva 2. Toyotan tuotantojärjestelmää kuvaava TPS-talokaavio.

TPS-talon kattona, eli Toyotan tuotantojärjestelmän päämäärinä ovat: paras laatu, matalimmat kustannukset sekä lyhyin läpimenoaika, toisin sanoen asiakkaiden toiveiden toteutus mahdollisimman pienin resurssein. Talon rakennuselementteinä toimivat ulkopilarit: *juuri oikeaan tarpeeseen* (Just In Time, JIT,) ja *jidoka*, sekä perustukset: *heijunka*, *vakaat ja standardisoidut prosessit* sekä *visuaalinen johtaminen*. [Liker 2004: 32 - 33.]

Heijunkalla, eli tasoitetulla tuotannolla, tarkoitetaan tuotannon virtauksen tasoittamista. Virtausta tasoitetaan tuotantoaikataulun tasapainottamisella volyymin ja valikoiman suhteen. Volyymien tasapainottamisella pyritään pitämään koneiden ja ihmisten käyttöaste normaalina ja vähentämään ylikuormittamista. Resurssien ylikuormittaminen heikentää laatua ja tekee työstä vaarallisempaa. Toyotalla tuotannon volyyymi pyritään saamaan tasaiseksi tuotantosunnitelmalla, jossa tuotteita valmistetaan pitkän ajan ennustuksen kysynnän keskiarvon mukaisesti. Valikoiman tasapainottamiseen pyritään vähentämällä eri variaatioiden välillä siirryttäessä ilmeneviä asetusajoja. Asetusaikojen vähentämisellä päästään tilanteeseen, jossa voidaan valmistaa pienempiä eriä useampaa variaatiota. [Liker 2004: 32 - 33.]

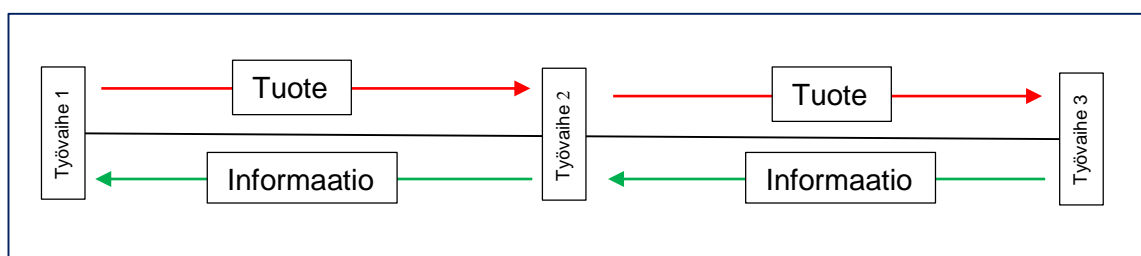
Toyotan tuotantojärjestelmässä työtapojen ja -menetelmien kehittämistä pidetään mahdollisena vasta, kun ne ovat vakioituja. Toyotan mukaan vasta kun kaikki työntekijät tekevät samalla tavalla, voidaan selvittää, miten työn tekotapa vaikuttaa prosessin laatuun, tuottavuuteen ja turvallisuuteen. Kaikkien työskennellessä eri tavalla, lopputulokseen

vaikuttavien tekijöiden määrittäminen on vaikeaa. Standardoidun työskentelytavan uskotaan takaavan tuotteiden laadun. Standardoidun työn hyvinä puolina voidaan pitää myös

- hyvien työskentelytapojen kehittämisen tehostumista
- tietojen jakamisen paranemista ja oppimisen tehostumista
- työtapaturmien vähenemistä
- työn laadun ja tuottavuuden paranemista.

Työtapojen standardoinnilla ei pyritä työntekijöiden oma-aloitteisuuden vähentämiseen. Pikemminkin työntekijät haastetaan kehittämään parempia työtapoja ja toteuttamaan ne osana jatkuvaa parantamista. [Kouri 2010: 16.]

Juuri oikeaan tarpeeseen tarkoittaa tuotteiden tai palveluiden valmistamista ja toimittamista niitä tarvitsevalle asiakkaalle vasta silloin, kun niitä tarvitaan, ja sen verran kuin niitä tarvitaan. Asiakkaaksi tuotantojärjestelmässä lasketaan sekä loppuasiakas, jolle valmistettava tuote toimitetaan, että sisäinen asiakas eli seuraava tuotantovaihe. Järjestelmää ohjataan niin sanotulla *imuohjauksella* (kuva 3), jossa informaatio siitä, mitä tarvitaan, kuinka paljon tarvitaan ja koska tarvitaan, lähtee loppuasiakkaalta ja kulkee koko prosessin läpi. Jokaisen prosessin tuotantovaiheen työ aloitetaan vasta sitten, kun asiakkaalta, sisäiseltä tai ulkoiselta, on saatu informaatio ja toimittajalta tai edelliseltä työvaiheelta on saatu materiaalit. [Modig & Åhlström 2013: 69 – 76.]



Kuva 3. Kolmivaiheisen linjan *imuohjaus*. Kuvassa valmistettava tuote liikkuu oikealle, informaatio vasemmalle.

Imuohjauksella saavutetun virtauksen nopeutta Toyota pyrki tuotantojärjestelmässään parantamaan vähentämällä prosessin aikana syntyvää hukkaa. Hukaksi määritettiin kaikki mikä voisi hidastaa prosessin virtausta:

- tarpeeton tuotanto/liikatuotanto
- tarpeettomat materiaalien ja tuotteiden kuljetukset
- tarpeeton työ/liikatyö
- tarpeeton varastointi
- tarpeettomat työntekijöiden liikkumiset ja liikkeet
- tarpeettomat virheet ja työn tekeminen uudelleen tai päällekkäinen työ. [Modig & Åhlström 2013: 69 – 76.]

Yhteistä näille hukille oli se, että ne jarruttivat tuotantovirtausta eivätkä lisänneet tuotteen arvoa. Hukan vähentämisen tavoitteena oli sekä mahdollisimman nopea informaatiovirta prosessin läpi, että mahdollisimman nopea valmistettavan tuotteen läpimenoaika. Hukan vähentämiseksi Toyotan tuotantojärjestelmässä käytettiin *jidokaa*, sisäänrakennettua laatua. *Jidoka* tarkoittaa pohjimmiltaan sitä, ettei vikaa koskaan päästetä seuraavaan vaiheeseen, vaan se ratkaistaan - ja vian juurisyy selvitetään heti siinä työvaiheessa, jossa vika syntyy. Koska asioita pyritään tekemään oikeaan aikaan, tuotannon puskuri-varastot pyritään pitämään pieninä. Tämä tarkoittaa, että vian ilmetessä, se on korjattava mahdollisimman nopeasti, jotta tuotantokatko kestää mahdollisimman vähän aikaa ja jotta syntyisi mahdollisimman vähän hukkaa. [Modig & Åhlström 2013: 69 – 76.]

*Ihmiset ja ryhmätyö ovat TPS-talokaavion keskiössä, talon asukkaina. Järjestelmän päämäärien saavuttamiseksi ihmisten täytyy osata nähdä hukkaa ja ratkaista ongelmia niiden juuritasolla. Kaikkien työntekijöiden tulee tuotantojärjestelmässä ottaa vastuuta kokonaisuudesta ja laadusta ja pitää huoli siitä, että asiat tehdään alusta asti oikein. Ongelmia pidetään järjestelmän kehittämisen ja parannusten perustana. Ongelmien havaitseminen on positiivinen asia, ne vain pitää analysoida ja poistaa lopullisesti. Toyotan tuotantojärjestelmän mukaan, vain *jatkuvan parantamisen* kautta operaatio voi saavuttaa järjestelmän jatkuvaan toimintaan tarvittavan vakauden. [Liker 2004: 32 - 33.]*

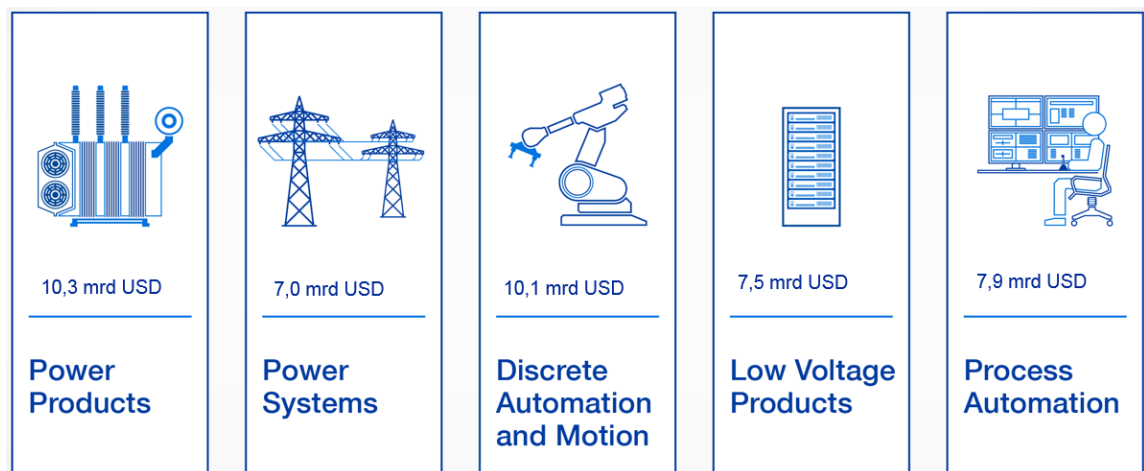
TPS-tuotantojärjestelmä on ”Lean-tuotanto” -liikkeen perusta. 1980-luvulla länsimaalaiset rupesivat kiinnostumaan Toyotan tuotantojärjestelmän tehokkuudesta ja alkoivat tutkimaan yhtiötä. Havaintojensa perusteella he loivat Leanin. Molempien, TPS:n ja Leanin, tavoitteet ovat samat: asiakkaan saaman laadun parantaminen, kustannusten alentaminen ja läpimenoajan lyhentäminen. Järjestelmien ero on näkökulmassa. TPS-järjestelmässä tavoitteeseen pyritään epätasaisuutta poistamalla, Leanissä hukkaa poistamalla. Lean-liike on hallinnut teollisen valmistuksen trendejä viimeiset pari vuosikymmentä.

Useimmiten yritykset toteuttaa Lean-periaatteita jäävät kuitenkin pintapuolisiksi. Tämä johtuu siitä, että useimmat yhtiöt keskittyvät liiaksi sellaisiin Lean-työkaluihin kuin 5S, SMED, arvovirtakartat, Kanban, TPM, yms. Lean on kuitenkin kokonainen järjestelmä, jonka täytyy ulottua yrityksen koko organisaatioon. Ollakseen Lean, yritykselle ei riitä pelkkien Lean-menetelmien toteuttaminen, vaan myös ylempi johto täytyy saada sitoutumaan päivittäisiin operaatioihin ja jatkuvaan parantamiseen. Likerin [2004: 7] mukaan: ”Lean-yritys on lopputulos, kun Toyotan tuotantojärjestelmää sovelletaan organisaation kaikille alueille.” [Liker 2004: 7.]

Lean-tuotanto voidaan määrittää viisivaiheiseksi prosessiksi: asiakkaan arvon määrittäminen, arvovirran määrittäminen, prosessin virtaus, imuohjaus asiakkaasta taaksepäin ja erinomaisuuden tavoittelu. Lean-tuotantoon pyrkivältä valmistajalta vaaditaan ajattelutapaa, jossa keskitytään tuotteen keskeytyksettömään virtaukseen arvonalisäysprosessien läpi, palataan prosessissa taaksepäin asiakkaan vaatimusten mukaan ja täydennetään vain se minkä seuraava operaatio ottaa pois. Liker [2004: 7] esittelee myös toisen tavan tiivistää kyseinen ajattelutapa: ”... katsomme ainoastaan aikajanaa siitä hetkestä, kun asiakas antaa meille tilauksen, siihen pisteeseen, kun keräämme rahat. Ja pienennämme tuota aikajaa poistamalla lisäarvoa tuottamattoman hukan.” Lisäksi valmistajalta vaaditaan kulttuuria, jossa jokainen pyrkii *jatkuvaan parantamiseen*. [Liker 2004: 7.]

4 ABB Oy

ABB Oy on sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissä. Maailmanlaajuisesti ABB:n palveluksessa on noin 140 000 henkilöä 100 maassa. Yhtymän liiketoiminta koostuu viidestä divisioonasta: Power Products, Power Systems, Discrete Automation and Motion, Low Voltage Products ja Process Automation (kuva 4). Yhtymän liikevaihto on lähes 40 miljardia Yhdysvaltain dollaria. Yritys on kirjautunut Zürichin, Tukholman ja New Yorkin pörssiin. ABB perustettiin vuonna 1988 sulauttamalla yhteen ruotsalainen ASEA ja sveitsiläinen Brown Bover. [ABB Oy – ABB:stä lyhyesti.]



Kuva 4. ABB Oy:n viisi divisioonaa ja niiden osuudet yhtiön globaalista liikevaihdosta.

Suomen ABB:n juuret ovat Gottfrid Strömbergin 1889 perustamassa Oy Strömberg Ab sähköliikkeessä. Vuonna 1987 Strömberg siirtyi ruotsalaisen ASEA:n omistukseen ja vuonna 1988 ASEA sekä sveitsiläinen Brown Bover sulautuivat yhteen ja nimi muuttui ABB:ksi. Suomessa ABB:n palveluksessa työskentelee noin 5 200 henkilöä 21 paikkakunnalla. Yhtiön tehdaskeskitymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa ja Porvoossa. Helsingin Pitäjänmäellä yhtiö valmistaa moottoreita, generaattoreita, taajuusmuuttajia, CPM-energianhallintajärjestelmiä ja paperikonekäyttöratkaisuja. Vaasan tehdaskeskitymässä valmistetaan moottoreita, muuntajia, sähköverkon ohjaus- ja suojauslaitteita, pienjännitetuotteita ja -järjestelmiä, sähkösiirto- ja jakelujärjestelmiä sekä voimantuotannon järjestelmiä. Vuosaarissa ja Haminassa ABB Marine valmistaa Azipod®-ruoripotkurijärjestelmiä, Porvoossa valmistetaan sähköasennustuotteita. Suomessa ABB:n suurin divisioona liikevaihdossa mitattuna on Discrete Automation and Motion.

Suomessa ABB on yksi suurimmista teollisista työnantajista, pääkaupunkiseudulla suurin. Liikevaihto on noin 2,1 miljardia euroa. Vuonna 2014 yhtiö käytti suomessa tutkimukseen sekä tuotekehitykseen 204 miljoonaa euroa ja yksi viidestä suomen ABB:n työntekijästä työskentelee joko tutkimuksen tai tuotekehityksen parissa. [ABB Oy – ABB:stä lyhyesti.]

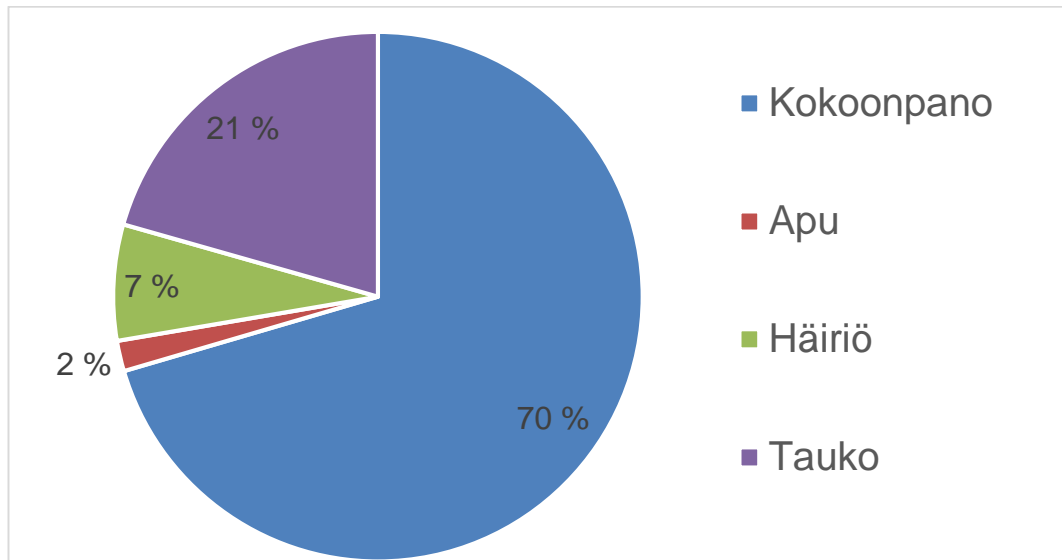
5 CPL-linjan lähtötilan kartoitus

CPL-linjalla tapahtuvan, insinööriyön aiheena olevien taajuusmuuttajien, kokoonpanotyön nykytilan kartoittamisella pyrittiin selvittämään, mitkä asiat voisivat vaikuttaa taajuusmuuttajien kokoonpanoaikojen hajontaan ja tekemisajan pituuteen. Kartoituksen aikana myös pyrittiin perehtymään yleisesti kokoonpanotyöhön ja insinööriyön aiheena olevien taajuusmuuttajien kokoonpanoon.

Nykytilan kartoittaminen aloitettiin perehtymällä asentajien suorittamaan kokoonpanotyöhön läheltä. Tämä tehtiin menemällä työpisteelle asentajan mukaan ja tarkasti seuraamalla laitteen kokoonpanoa. Kokoonpanotyön aikana kysyttiin tarkentavia kysymyksiä kokoonpanon eri vaiheista. Kokoonpanotyötä seurattiin eri asentajien kanssa ja eri laitevarianttien kokoonpanon aikana, jotta saatiin mahdollisimman kattava käsitys eri kokoonpanotavoista.

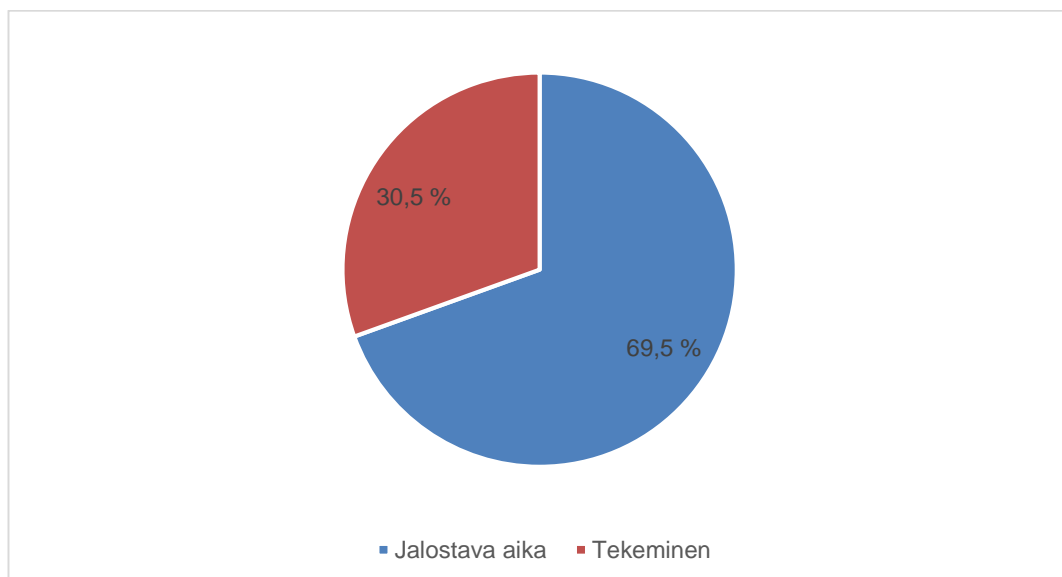
5.1 CPL -linjan havainnointitutkimukset

ABB:n tuotannonkehitys oli tehnyt vuoden 2015 aikana kaksi havainnointitutkimusta CPL-tuotantolinjalle. Havainnointitutkimuksissa linjan työpisteitä oli seurattu tietyn ajanjakson verran ja työpisteiden tekeminen oli kirjattu ylös minuutin välein. Tekeminen oli luokiteltu kokoonpano-aikaan, apu-aikaan, häiriö-aikaan ja tauko-aikaan, ja eri ajat oli edelleen jaoteltu tarkemmin linjan eri työtehtäviin, mahdollisiin häiriöaikoihin ja niin edelleen. Havainnointitutkimuksien avulla saatiin selville tuotantolinjan ajankäytön jakauma (kuva 5), sekä pystyttiin laskemaan eri laitteiden kokoonpanon läpimenoajat. Havainnointitutkimuksien aikana valmistuneiden laitteiden kokoonpanoon kului keskimäärin 70 % ajasta ja muihin aikoihin keskimäärin 30 % ajasta.



Kuva 5. Havainnointitutkimuksista saatu linjan kokoonpanon ajankäytön jakauma.

Kokoonpanoaika oli tarkemmin jaettu jalostavaan aikaan ja tekemisaikaan. Jalostavaksi ajaksi lasketaan se työaika, joka lisää tuotteen arvoa, tässä tapauksessa itse kokoonpaneminen. Tekemisaika sisältää kaiken muun kokoonpanemisen suorittamiseksi vaadittavan pakollisen työajan. Insinööriyön aiheena olevilla taajuusmuuttajilla tekemisaikaa kului esimerkiksi komponenttien hakuun ja toiminnanohjausjärjestelmän käyttöön. Kokoonpanoajasta 69,5 % kului keskimäärin jalostavaan aikaan ja 30,5 % keskimäärin tekemisaikaan (kuva 6).



Kuva 6. Kokoonpanoaika jaettuna jalostavaan aikaan ja tekemisaikaan.

Havainnointitutkimuksissa huomattiin, että insinööriyön aiheena olevien taajuusmuuttajien kokoonpanoaika oli keskimäärin noin 1,5 kertaa pidempi kuin kelloitettu tavoiteaika (taulukko 1). Insinööriyön aiheena olevalla taajuusmuuttajan runkokoolla tekemisaajan osuus oli kaikkein suurin verrattuna CPL-linjalla valmistettaviin muihin runkokokoihin. Häiriö- ja apuaikojen osuus todettiin tutkimuksessa vaikutuksiltaan pieniksi (kuva 5).

Tutkimuksista saatujen kokoonpanoaikojen perusteella linjan kokoonpanon tehokkuuden todettiin olevan noin 66 % verrattuna teoreettiseen kokoonpanoaikaan (taulukko 1).

Taulukko 1. Kokoonpanon tehokkuudet laskettuna eri kokoonpanoajoille.

	Tavoite	Tavoite + 20 %	Havainnot
Kokoonpanoaika	100 %	120 %	153 %
Tehokkuus	100 %	83 %	66 %

5.2 Kyselytutkimus

Linjan nykytilan kartoituksen osana tehtiin linjan työntekijöitä varten kysely, jolla pyrittiin selvittämään linjan työntekijöiden käsitystä tuotantolinjan tilasta sekä yritettiin löytää syitä tekemisaajan pituuteen ja kokoonpanoajan vaihteluun. Kyselyn vastaajiksi valittiin kuusi linjan työntekijää. Vastaajilta kysyttiin 11 kysymystä, jotka oli jaoteltu aiheittain neljään kategoriaan:

- insinööriyön aiheena olevan runkokoon kokoonpanon yleinen tila
- työohjeet
- kokoonpanojärjestys
- tekemisaika.

Työntekijät eivät tienneet kysymyksiä etukäteen. Kysymykset löytyvät kokonaisuudessaan liitteestä 1.

5.2.1 Taajuusmuuttajan yleinen tila

Suurin osa työntekijöistä koki, etteivät insinööriyön aiheena olevan taajuusmuuttajakoon kokoonpanoajat vaihtelee suuresti. Suurimmiksi vaihtelua aiheuttaviksi asioiksi mainittiin asentajien ”tyyli,” työpisteen sijainti ja häiriöt. Vastaajista kaksi kolmasosaa piti kokoonpanotyötä helppona.

Muihin runkokokoihin verrattuna työn aiheena olevan taajuusmuuttajan kokoonpanoaika arvioitiin keskisuureksi. Eri variaatioilla ei koettu olevan merkitystä kokoonpano aikaan, mutta tuoteperheiden välillä uskottiin olevan pientä vaihtelua. Vastaajat kertoivat, että pisimpään kestivät tekemisajan ja apuajan työvaiheet.

5.2.2 Työohjeet

Kaikki kyselyyn osallistuneet työntekijät kokivat, että insinööriyön aiheena olevan taajuusmuuttajakoon työohjeissa on kehitettävää. Kehityskohteiksi mainittiin ohjeiden sealaaminen, ohjeiden epäselvyys ja työjärjestyksen epäselvyys. Suurin osa vastaajista sanoi, ettei seuraa ohjeita kokoonpanotyön aikana. Lähes kaikki tekivät ohjesivulla olevat työvaiheet muistista ja tarkistivat joka sivun jälkeen, olivatko muistaneet oikein. Joku sanoi tarkastavansa ohjeista vain silloin, kun ei itse muistanut tarkasti työvaihetta. Suurin osa työntekijöistä teki työvaiheet eri järjestyksessä kuin ohjeissa neuvottiin.

5.2.3 Kokoonpanojärjestys

Jokainen kyselyyn vastannut kertoi tekevänsä laitteet aina samassa kokoonpanojärjestyksessä. Kaikki myös tiesivät, että kokoonpanojärjestys vaihtelee eri asentajien välillä; jotkut tekevät asiat eri lailla kuin toiset. Suurin osa ei kuitenkaan osannut verrata omaa tekemistään muiden tekemiseen, eikä kokoonpanojärjestyksen vaihtelun vaikutusta kokoonpano aikaan eri asentajien välillä tiedetty. Yksi vastaajista sanoi kokoonpanojärjestyksen vaikuttavan suoraan kokoonpanoajan vaihteluun.

Suurin osa asentajista koki, ettei jalostavan vaiheen kokoonpanojärjestyksessä ollut kehitettävää. Ainoiksi kehityskohteiksi kerrottiin ruuvien ja johtojen kiinnitys järjestys. Teke misvaiheen kehityskohteina pidettiin tavaroiden keräilyjärjestystä ja komponenttien jäljitystä.

5.2.4 Tekemisaika

Suurin osa asentajista arvioi, että insinööriyön aiheena olevalla runkokoolla kuluu enemmän aikaa tekemisajaksi luokiteltaviin työvaiheisiin, kuin muilla linjalla valmistettavilla runkokoilla. Runkokoon variaatioiden suuremman määrän sekä komponenttien varastopaikkojen sijainnin ja määrän koettiin vaikuttavan runkokokojen välisen tekemisajan vaihteluun.

Kyselyn vastaajista suurin osa oli sitä mieltä, että runkokoon kokoonpanon tekemisaika riippuu siitä, millä työpisteellä laitteita kokoonpannaan. Selkeästi eniten tekemisaikaa koettiin kuluvan komponenttien keräilyyn. Muita mainittuja tekemisaikoja olivat kiinnitystyökalun pään vaihto, kiristysmomentin muuttaminen sekä ruuvien ottaminen ja etsiminen.

5.3 Toiminnanohjausjärjestelmät

Havaintotutkimusten ja kyselyn lisäksi, nykytilan kartoittamista varten, ABB:n toiminnanohjausjärjestelmästä haettiin tietoja valmistuneista taajuusmuuttajista. Toiminnanohjausjärjestelmästä selvitettiin, kuinka paljon laitteita oli valmistunut, kuinka paljon insinööriyön aiheena olevia laitteita oli valmistunut sekä kuinka moni henkilö oli laitteita tehnyt. Toiminnanohjausjärjestelmistä ei saatu laitteiden tarkkoja läpimenoaikoja, joten kapasiteetilaskuissa käytettiin vain havainnointitutkimuksesta saatuja läpimenoaikoja.

Linjan kapasiteetit laskettiin kapasiteetilaskurilla, joka käytti kaavaa 1:

$$\text{Päiväkapasiteetti} = \text{vuoromäärä} * \text{hlömäärä} * \frac{y}{x} \quad (1)$$

x on laitteen kokoonpanoaika; y on vuoron työaika

Kapasiteetit laskettiin useille eri skenaariolle. Jokaisessa skenaariossa vaihteli joko työvuorojen, työntekijöiden tai työajan määrä. Jokaisen skenaarion kapasiteetti laskettiin 100 %:n kokoonpanojalle, 120 %:n kokoonpanojalle ja nykytilan eli 153 %:n työajalle (taulukko 2). Skenaarioita olivat:

- skenaario 1: yksi vuoro, yksi työntekijä ja 7 tunnin työaika
- skenaario 2: nykytila: kaksi työvuoroa, kolme työntekijää, 5 tunnin 40 minuutin työaika
- skenaario 3: nykytila teoreettinen: kaksi työvuoroa, kolme työntekijää, 7 tunnin työaika
- skenaario 4: maksimikapasiteetti: kolme työvuoroa, kahdeksan tekijää, 7 tunnin työaika

Nykytila-skenaariossa on käytetty kolmea työntekijää, koska toiminnanohjausjärjestelmän perusteella insinööri työn aiheena olevia taajuusmuuttajia kokoonpanee keskimäärin kolme työntekijää vuorossa. 5 tunnin 40 minuutin työaika on otettu havainnointitutkimuksesta, jossa se todettiin tehokkaan työajan maksimiksi.

Taulukko 2. Linjan kapasiteetti insinöörityön aiheena olevalle taajuusmuuttajakoolle kokoonpanon eri skenaarioiden vaihdellessa.

Kokoonpanoaika	100 %	120 %	153 %
	skenaario 1		
vuoro	12,50 %	10,47 %	8,19 %
viikko	4,18 %	3,51 %	2,71 %
vuosi	4,18 %	3,51 %	2,71 %
	skenaario 2		
vuoro	30,36 %	25,43 %	19,89 %
viikko	20,23 %	16,97 %	13,28 %
vuosi	20,23 %	16,97 %	13,28 %
	skenaario 3		
vuoro	37,50 %	31,41 %	24,58 %
viikko	24,97 %	20,97 %	16,36 %
vuosi	24,97 %	20,97 %	16,36 %
	skenaario 4		
vuoro	100,00 %	83,76 %	65,54 %
viikko	100,00 %	83,76 %	65,56 %
vuosi	100,00 %	83,76 %	65,56 %

Kaikki kapasiteetit on ilmoitettu suhdelukuna maksimikapasiteettiin, esimerkiksi skenaario 1 tavoitekokoonpanoajan vuosikapasiteetti on 4,18 % maksimivuosisikapasiteetista. Kapasiteettien laitemäärät on ilmoitettu liitteessä 2.

6 Kokoonpanon videointi

6.1 Videoinnin suorittaminen

Insinöörityön aiheena olevien taajuusmuuttajien kokoonpanon eroja pyrittiin löytämään videoimalla asentajien kokoonpanotyötä. Kokoonpanon videointi suoritettiin asentajien otsaan kiinnitetyillä GoPro-kameroilla. Otsaan kiinnitettyjen kameroiden tarkoituksena oli kuvata työskentelyä työntekijän näkökulmasta ja nauhoitetuista videoista pyrittiin näkemään itse kokoonpanotapahtuman lisäksi, mihin muihin asioihin asentajat keskittyvät eri työvaiheissa.

Videoinnin aikana kuvattiin yksi työvuoro neljältä eri asentajalta. Kuvaavat työntekijät pyrittiin valitsemaan linjan työnjohdon avulla niin, että videomateriaalia saatiin eritasoisilta asentajilta. Kuvatun ajan pituudella, työntekijöiden määrällä ja eritasoisten asentajien valinnalla pyrittiin varmistamaan, että kokoonpanon aikana tapahtuvia eroja saatiin mahdollisimman hyvin esille. Kuvatut videot leikattiin niin, että yksi valmistettu laite oli aina yksi videotiedosto. Videoista pyrittiin leikkaamaan kaikki ylimääräinen pois, esimerkiksi laitteiden väliset ajat ja kameran säätämiset, toisin sanoen tapahtumat, joita ilmeni vain videoinnin takia, ja tapahtumat, joiden analysoinnista ei olisi hyötyä tavoitteiden saavuttamiseksi.

Jokaiselta kuvaukseen osallistuneelta asentajalta saatiin noin seitsemän laitteen videot, yhteensä taajuusmuuttajia valmistui kuvausten aikana 28 kappaletta. Valmiista videotiedoista valittiin jokaiselta neljältä asentajalta sekä nopein että hitain laite. Nämä kahdeksan laitetta käsiteltiin AviX-videoanalyysiohjelmistolla. Muut videot katsottiin läpi päällisin puolin ja tarvittaessa osaa niistä tutkittiin tarkemmin. Videoiden käsittelyn jälkeen, niistä saatuja tuloksia käytiin läpi kuvanneiden asentajien kanssa. Asentajilta pyydettiin kommentteja jo havaituista eroista sekä heidän käyttämistään työtavoista.

6.2 AviX-videoanalyysiohjelmisto

AviX on useista moduuleista koostuva tuotantotekniseen työhön tarkoitettu videoanalyysiohjelmisto, jolla pyritään parantamaan tuotteiden ja prosessien kilpailukykyä. Ohjelmiston ideana on kasvattaa käyttäjän yksityiskohtaisia tietoja omista prosesseistaan sekä tuotteistaan ja sitä kautta helpottaa kehityskohteiden löytämistä ja kehitysprosessien aloittamista. AviXin moduulit pyrkivät videoiden, kuvien, työpiirustusten ja animaatioiden avulla parantamaan visualisointia ja sitä kautta helpottamaan kehittämistä. [Solme AB - Our Products 2016.]

AviX-ohjelman moduuleita ovat

- Method
- Resource Balance
- FMEA
- SMED
- DFX
- ERGO.

Method-moduulilla pyritään analysoimaan tuotantoprosessien manuaalisen työn aikoja ja liikkeitä. Analyysien tuloksina saadaan tasapainottamisessa ja erilaisissa laskuissa tarvittavia perustietoja. Saatuja aikoja voidaan käyttää kehitystyössä, kapasiteettilaskuissa ja erilaisten päätösten pohjana. [Solme AB - Our Products 2016.]

Resource Balance -moduulin tarkoituksena on tasoittaa työasemien ja tekijöiden välisiä työvaiheita. Moduulin avulla saadaan visualisoitua epätasaisen työnkulun takia syntyvät hukat. Analysoinnin tuloksena on tarkoitus vähentää työnkulun epätasaisuutta. [Solme AB - Our Products 2016.]

FMEA-moduulin tavoitteena on helpottaa ja yksinkertaistaa tuotteiden ja prosessien FMEA-analyysin tekoa. Tavoitteen saavuttamiseksi, moduulin avulla pystytään työskentelemään usean tuotteen kanssa samanaikaisesti, analyysi pystytään paremmin visualisoimaan videon ja värien avulla sekä tuloksena saatavat riskit voidaan automaattisesti priorisoida. [Solme AB - Our Products 2016.]

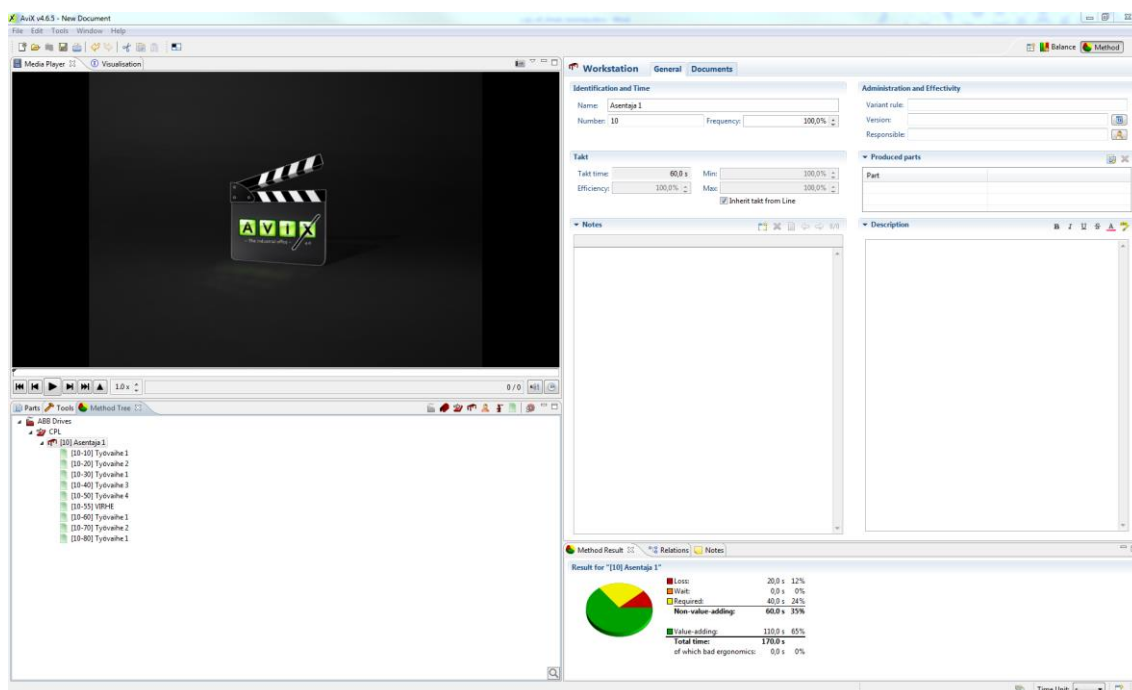
SMED-moduulilla pyritään saamaan asetusajat paremmin hallintaan ja visualisoitua. Moduuli perustuu SMED-menetelmään, jonka tarkoituksena on poistaa asetusajoista syntyvää hukkaa ja vakioida asetusaikaa. [Solme AB - Our Products 2016.]

AviX DFX -moduuli keskittyy tuotteiden valmistettavuuteen ja suunnitteluun. Moduulilla pyritään helpottamaan valmistettavuuden kehitysprosessia ja sen tavoitteena on mahdollistaa tuotteiden osien ja manuaalisten työvaiheiden vähentäminen. [Solme AB - Our Products 2016.]

ERGO-moduulilla pyritään tutkimaan työpaikan ergonomiaa. Moduulin tavoitteena on parantaa työolosuhteita ja sitä kautta nostaa tuottavuutta. [Solme AB - Our Products 2016.]

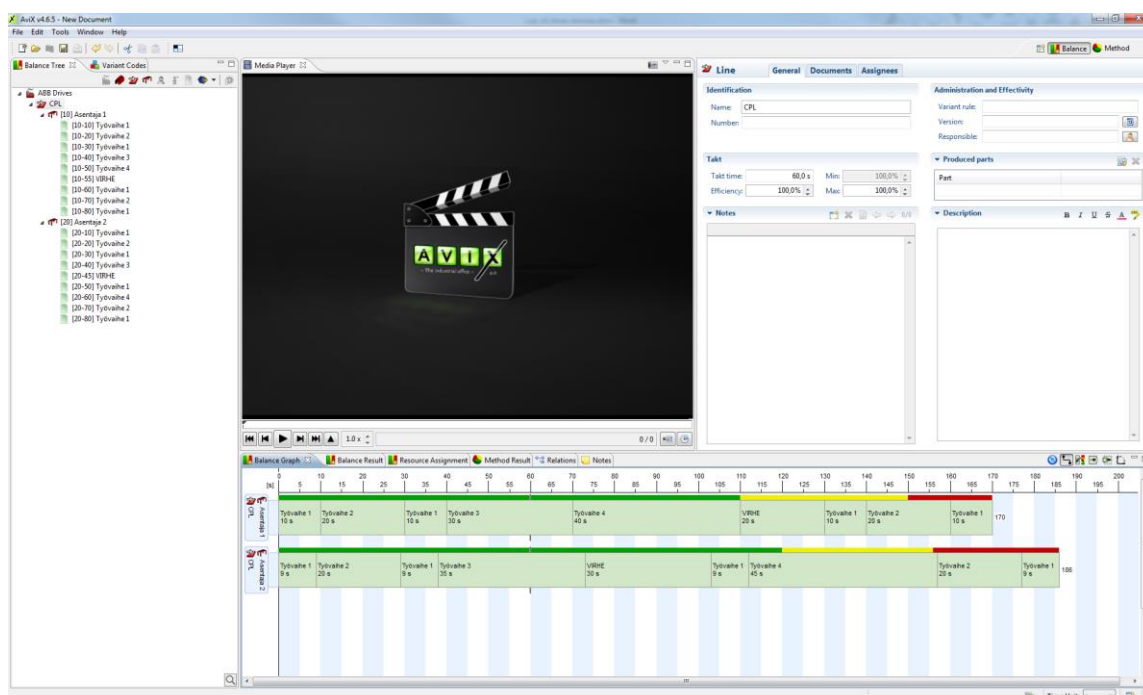
6.3 Videoiden käsittely

AviX-videoanalysointiohjelmassa videoiden käsittelyyn käytettiin Method-moduulia (kuva 7). Videot nimettiin niin, että niistä selvisi kuka asentaja ja mikä laite oli kyseessä. Method-moduulissa videoihin lisättiin aikaleimat, jotka määrittivät jokaisen työvaiheen keston. Aikaleimojen avulla työvaiheita pystyttiin tutkimaan erillisinä videopätkinä ja niitä kyettiin siirtämään laitteen kokoonpanojärjestyksessä eri kohtaan ja jopa yhdistämään eri laitteiden eri kokoonpanovaiheita uudeksi kokoonpanoksi. Lisäksi moduulissa merkittiin työvaiheisiin tarkasti, mitä niiden aikana tapahtui, ja luokiteltiin oliko työvaihe jalostavaa työtä, tekemisajan työtä vai joksikin muuksi luokiteltavaa työtä. Työvaiheiden luokittelussa pyrittiin käyttämään samoja luokitteluperusteita, kuin havainnointitutkimuksissa oli käytetty. Analysoitavien laitteiden työvaiheille määritettiin vakionimet, jotta eri laitteiden välinen vaiheiden vertailu olisi helpompaa.



Kuva 7. AviX-ohjelman Method-moduulin käyttöliittymä.

Aluksi kaikki työvaiheet merkittiin tarkasti. Myöhemmin huomattiin osan vaiheista olevan niin lyhyitä, että niiden yhdistäminen ryhmiksi helpotti vertailua. Työvaiheiden tarkka merkitseminen helpotti laitteiden välisten ajankäytön jakaumien erojen ja työvaiheiden keskinäistä vertailemista. Lyhyiden vaiheiden ryhmittely taas helpotti laitteiden välillä olevien kokoonpanojärjestysten vertailemista. Laitteen kokoonpanon kokonaiskestoja, työvaiheiden kestoja ja kokoonpanojärjestystä pystyttiin vertaamaan suurpiirteisesti muihin laitteisiin käyttämällä AviX-ohjelman Balance-moduulia (kuva 8). Balance-moduuli on tarkoitettu työpisteiden välisten tahtiaikojen tasoittamiseen linjakokoonpanossa, mutta nimeämällä eri työpisteet eri laitteiksi, onnistui myös laitteiden välinen vertailu.



Kuva 8. Kahden esimerkkikokoonpanon vertailu AviX-ohjelman Balance-moduulissa.

AviX-videoanalysointiohjelmalla pystyttiin jakamaan laitteiden läpimenoaika kokoonpanovaiheisiin ja merkkamaan niihin jokaisen työvaiheen luokittelu, mutta ohjelmalla ei pystytty vertailemaan kaikkia samalla lailla nimettyjä tai luokiteltuja työvaiheita keskenään. Tämän takia AviX-ohjelmasta tulostettiin Excel-taulukko-ohjelmaa varten listoja, jotka sisälsivät työvaiheet suoritussjärjestyksessä sekä työvaiheiden kestot, työn luokitukset ja nimet (kuva 9). Tulostetut listat olivat ohjelmassa nimellä Standard Operation Sheet. Näitä listoja käytettiin, koska ne sisälsivät tarvittavien tietojen lisäksi värityksen, joka kertoi työvaiheen luokittelun. Käytettyjen listojen lisäksi videoanalysointiohjelmalla olisi pystynyt tulostamaan useita eri raportteja kuten ajankäytön jakaumia, ergonomiaraportteja, tietoja tarvittavista resursseista kussakin vaiheessa, yms.

	A	B	C	D
1	Vaihejärj	Vaihenro	Nimi	Kesto[s]
2	1	10-10	Työvaihe 1	10
3	2	10-20	Työvaihe 2	20
4	3	10-30	Työvaihe 1	10
5	4	10-40	Työvaihe 3	30
6	5	10-50	Työvaihe 4	40
7	6	10-55	VIRHE	20
8	7	10-60	Työvaihe 1	10
9	8	10-70	Työvaihe 2	20
10	9	10-80	Työvaihe 1	10

Kuva 9. Excel-ohjelmaan tulostettu esimerkkikokoonpano.

Taulukko-ohjelmassa pystyttiin määrittämään, kuinka paljon aikaa kului kunkin laitteen läpimenoajasta mihinkin työvaiheeseen yhteensä. Esimerkiksi jos jotain työvaihetta esiintyi useammassa kohtaa kokoonpanoa, Excelillä pystyttiin helposti laskemaan näiden saman nimisten työvaiheiden kestot yhteen (kuva 10). Eri laitteiden työvaiheiden kestojen välisten keskihajontojen ja kaikkien työvaiheiden keskiarvokestojen määrittämiseksi oli taulukko-ohjelman käyttö pakollista. Jokaista jalostavan ja tekemisajan työvaihetta, jokaisen AviX-ohjelmalla käsitellyn kahdeksan laitteen välillä, vertailtiin keston keskihajonnan ja keskiarvokeston perusteella.

3		Data	
4	Nimi	Sum of Kesto[s]	Average of Kesto[s]
5	Työvaihe 1	40	10
6	Työvaihe 2	40	20
7	Työvaihe 3	30	30
8	Työvaihe 4	40	40
9	VIRHE	20	20
10	Grand Total	170	18,88888889

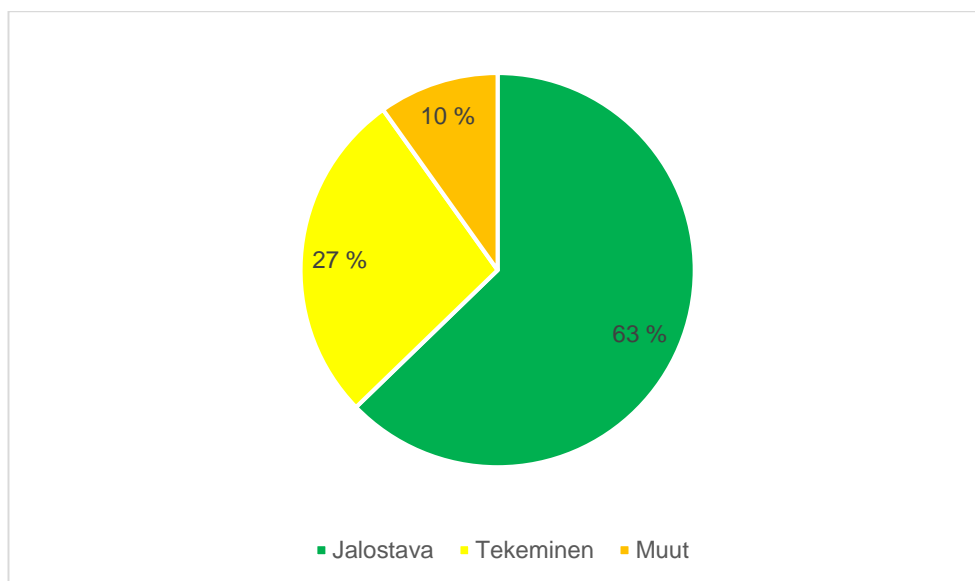
Kuva 10. Esimerkkikokoonpanon työvaiheiden kokonaiskestot ja keskiarvokestot Excel-ohjelman Pivot-taulukossa.

Excel-taulukko-ohjelmalla havaittujen hajontojen syitä kartoitettiin AviX-ohjelman videoiden avulla. Syyt, joista vaihtelun havaittiin aiheutuvan, kirjattiin ylös. Vaihteita, joiden kesto oli todella lyhyt tai joiden vaihtelu oli erittäin pientä, ei analysoitu. Kokoonpanovaiheiden järjestysten erot kirjattiin ylös ja niiden vaikutukset läpimenoaikaan pyrittiin määrittämään.

7 Videoanalyysin havainnot

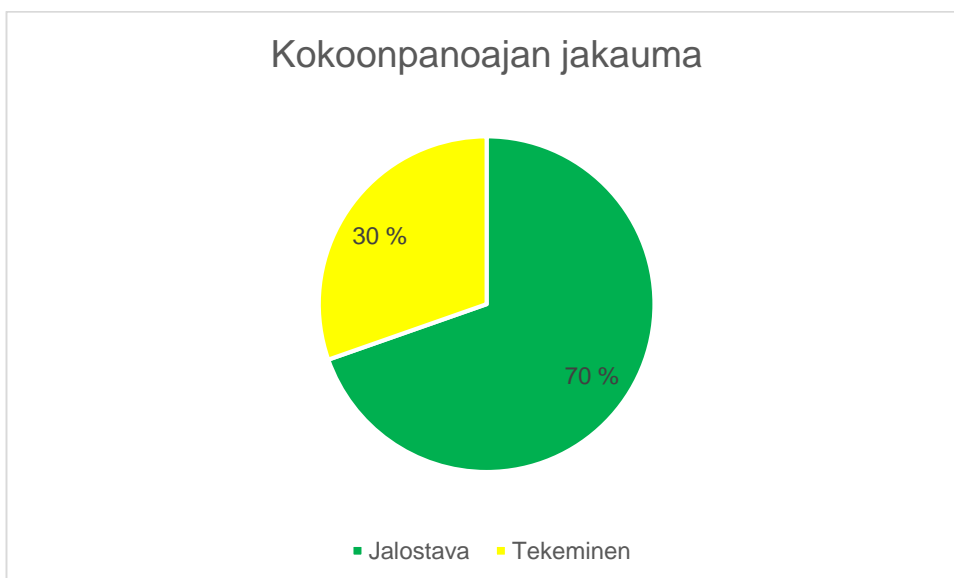
7.1 Laitteiden läpimenoaika

Videoinnin aikana valmistuneissa, AviX-ohjelmalla analysoiduissa laitteissa, jalostavaan aikaan kului keskimäärin 63 %, tekemisaikaan keskimäärin 27 % ja muuhun aikaan keskimäärin 10 % läpimenoajasta (kuva 11). Laitteiden keskiarvoläpimenoaika oli hieman alle 120 % kelloitetusta tavoiteajasta, nopein valmistui alle tavoiteajan ja hitaimmalla meni noin 150 % tavoiteajasta. AviX-ohjelmalla analysoitujen laitteiden läpimenoajat on ilmoitettu liitteessä 3.



Kuva 11. AviX-ohjelmistolla analysoitujen laitteiden läpimenoajan keskimääräinen ajanjakama.

Kun tarkastellaan laitteen kokoonpanoaikaa, eli sitä osuutta läpimenoajasta, joka kuluu jalostavaan sekä tekemisaikaan, laitteiden keskiarvokokoonpanoaika oli 107 % kelloitetusta tavoiteajasta (taulukko 3). Jalostavaan aikaan kului 70 % kokoonpanoajasta ja tekemisaikaan 30 % kokoonpanoajasta (kuva 12).



Kuva 12. AviX-ohjelmistolla analysoitujen laitteiden keskiarvokokoonpanoajan jakauma.

AviX-ohjelmasta saatujen tulosten perusteella voi todeta, että videoinnin aikana laitteet valmistuivat selkeästi nopeammin kuin havainnointitutkimusten aikana. Havainnointitutkimuksen tuloksissa laitteiden keskiarvokokoonpanoaika oli 153 % kelloitetusta tavoiteajasta (taulukko 3).

Taulukko 3. Videoinnin aikana valmistuneiden laitteiden kokoonpanon tehokkuus verrattuna teoreettiseen kokoonpanoaikaan.

	Tavoite	Tavoite + 20 %	Havainnointitutkimus	Videointi
Kokoonpanoaika	100 %	120 %	153 %	107 %
Tehokkuus	100 %	83 %	66 %	93 %

7.2 Jalostava tekeminen

Kokoonpanon jalostavaksi ajaksi luokiteltavien työvaiheiden kestoissa eniten vaihtelua ilmeni eniten aikaa vievissä työvaiheissa. Tässä raportissa työvaiheet on nimetty työvaihe yhdeksi, kahdeksi ja niin edelleen. Työvaiheissa käytettävät komponentit on nimetty komponentti yhdeksi, kahdeksi ja niin edelleen. Työvaiheiden ja komponenttien todelliset nimet on kerrottu liitteessä 4. Yleisesti voidaan todeta, että jalostavaksi ajaksi luokiteltavien työvaiheiden kestoissa eri laitteiden välillä, esiintyi eniten vaihtelua eri komponenttien yhteensopivuuteen liittyvien ongelmien ja eri kiinnitystapojen takia.

Kiinnitystapojen vaihtelu

Yleisin ero kiinnitystapojen vaihtelussa oli esikiristäminen. Osassa analysoiduista työvaiheista esikiristettiin ruuveja, joita ei olisi tarvinnut, ja osassa työvaiheita kiristettiin ruuveja suoraan momenttiin, kun ne olisi tullut esikiristää. Lisäksi videoista havaittiin, että asentajien käyttämät työkalut eri kiinnitysvaiheissa saattoivat vaihdella. Joissain laitteissa esikiristettiin ruuveja tai muttereita käsin, osassa käytettiin esikiristämiseen tarkoitettua työkalua ja osassa laitteita esikiristys tehtiin työkalulla, jolla ruuvit tai mutterit tulisi kiristää vasta todelliseen kiinnitysmomenttiinsa. Helpoiten kiinnitystapojen erot huomasi työvaiheen 1 aikana. Työvaihe oli keskiarvokestoltaan kaikista työvaiheista pisin ja sen keskijajonta oli jalostavien työvaiheiden suurin. Kiinnitystapojen merkittäviä vaihteluita havaittiin myös työvaiheen 2, työvaiheen 3 ja työvaiheen 4 aikana. Esimerkiksi: työvaiheen 2 aikana osa asentajista esikiristi ruuvit vaikka niitä ei tarvitsisi, työvaiheen 3 aikana eri asentajat esikiristivät eri ruuveja ja muttereita, työvaiheen 4 aikana yksi asentaja kiersi mutterit kierteille aluksi sormilla.

Videoinnin tuloksia asentajien kanssa läpikäydessä, moni videointiin osallistujista totesi, että esikiristysten vaihtelu johtuu suurimmaksi osin vanhoista virheistä. Osassa työvaiheista on joskus aiemmin ollut ongelmia ruuvien tai muttereiden asettumisessa kierteille, joten esikiristämistä on tarvittu. Vaikka ongelmat ovat korjaantuneet, on esikiristämistä jatkettu. Muita kiinnitystapojen vaihteluita havaittiin järjestyksessä, jossa asentajat kiristivät kiinnitettävän kappaleen ruuvit tai mutterit momenttiinsa.

Nopeimmaksi kiristysjärjestykseksi videoiden perusteella voidaan todeta järjestys, jossa jokainen momentti kiristetään yksi kerrallaan. Tällä tarkoitetaan sitä, että työvaiheen esikiristettävät ruuvit kiristetään ensin, seuraavaksi kiristetään seuraavan momentin kaikki ruuvit ja niin edelleen. Tällöin työvaiheessa tarvitaan mahdollisimman vähän työkalun ja momentin vaihtoja.

Komponenttien yhteensopivuusongelmat

Eri komponenttien yhteensopivuuden ongelmat aiheuttivat vaihtelua työvaiheen kestossa silloin, kun toisiinsa liitettävät kappaleet eivät sopineet kunnolla toisiinsa ja hidastivat kokoonpanotyötä. Yhteensopivuuden ongelmat ilmenivät erityisesti kiinnitysruuvien asettumisessa paikoilleen. Eri komponenttien yhteensopivuusongelmia oli erityisesti seuraavissa komponenteissa: komponentti 1, komponentti 2, komponentti 3. Esimerkiksi

komponentin 2 kiinnittämisessä, joka oli keskihajonnaltaan toiseksi pisin työvaihe, kiinnittävän komponentin saaminen kiinnityspisteeseen (komponentti 4) paikoilleen vaatii erilaisia aikaa vieviä, itse kehiteltyjä keinoja. Komponenttien yhteensopivuusongelmat ovat laitteiden kokoonpantavuuteen liittyviä ongelmia. Yleisesti komponenttien kokoonpantavuuteen liittyvät asiat ovat tuotesuunnittelun tehtäviä. Linjalla yhteensopivuusongelmia voidaan vähentää kouluttamalla työntekijöitä ja käsittelemällä parhaiksi havaittuja kokoonpanotapoja yhdessä, esimerkiksi jatkuvan parantamisen yhteydessä.

Lisäksi on mainittava, että erilaiset häiriöt hidastuttivat työvaiheita. Vaikka häiriöön kuluksen ajan poisti työvaiheen keskeltä AviX-ohjelmalla, oli saman asentajan sama häiriötön työvaihe yleisesti lyhempi kuin se työvaihe, jonka keskellä häiriö ilmeni. Tämän voi olettaa johtuvan asentajan ajatuksen katkeamisesta. Useiden häiriöiden jälkeen videoista voi nähdä, kuinka työntekijä joutuu tarkastamaan, mihin kohtaan jäi ja mitä tulee tehdä seuraavaksi.

7.3 Tekemisaika

Kaikesta tekemisajasta kolmeen eniten aikaa vievään työvaiheeseen kului noin 82 %. Näiden kolmen työvaiheen keskihajonnat olivat kaikkein suurimmat kaikista työvaiheista. Kolmesta suurimmasta vaiheesta kaksi oli toistuvia työvaiheita, komponenttien hakeminen ja toiminnanohjausjärjestelmän käyttö, ja yksi vaiheista oli sellainen, joka suoritettiin vain kerran. Loput 18 % työvaiheista oli vain kerran kokoonpanon aikana suoritettavia, ja niiden keskihajonnat olivat pieniä. Kolmen suurimman tekemisajan työvaiheen joukosta se, joka suoritettiin vain kerran kokoonpanon aikana, oli sellainen työvaihe, jonka kehittämiseksi on jo tehty toimenpiteitä, mutta niiden tulokset eivät vielä täysin näkyneet videoinnin aikana. Tämän työvaiheen videoinnin aikana havaittujen parannusten vaikutusta on käsitelty liitteessä 5.

Komponenttien hakeminen

Komponenttien hakemiseen kului eniten aikaa kaikista tekemisajan työvaiheista ja toiseksi eniten aikaa kaikista kokoonpanoajan työvaiheista. Työvaihe esiintyi jokaisen analysoidun laitteen aikana useammin kuin kerran. Komponenttien hakemisen suorittamisen määrä vaihteli lähes jokaisessa analysoidussa laitteessa. Eniten vaihtelua hakukertojen määrässä oli eri asentajien välillä, mutta myös saman asentajan eri laitteiden välillä oli

vaihteluita. Komponenttien hakemiseen kulunut aika vaihteli eniten kaikkien laitteiden kaikista kokoonpanon työvaiheiden ajoista.

Hakukertojen määrä vaikutti työvaiheen yhteiskeston vaihteluun. Lisäksi on todettava, että haettavien komponenttien sijoittelu työpisteeseen nähden vaikutti työvaiheen keston vaihteluun. Osa koottavien laitteiden komponenteista on siirrettävissä minkä tahansa kokoonpanopisteen läheisyyteen, mutta osa komponenteista on sijoitettu työpisteiden ulkopuolelle kiinteisiin FIFO-hyllyihin, joiden etäisyys eri työpisteistä vaihtelee. Työpisteen ulkopuolelle sijoitetut komponentit on mainittu liitteessä 4. Laitteissa joiden komponenttien hakemiseen kului eniten aikaa, jokainen kiinnitettävä komponentti haettiin erikseen ennen jokaista työvaihetta. Nopein tapa hakea komponentit oli asentajalla, joka haki kahteen eri laitteeseen tarvittavat, työpisteen ulkopuolella sijaitsevat komponentit samalla kertaa. Kahteen laitteeseen samalla kertaa, työpisteen ulkopuolelta, haettujen komponenttien hakemiseen kuluneen ajan puolittaminen myös antoi nopeimman työpisteen ulkopuolella olevien komponenttien hakuajan.

Toiminnanohjausjärjestelmän käyttö

Toiminnanohjausjärjestelmä SAP:n käyttö oli kaikkien AviX-ohjelmalla käsiteltyjen laitteiden kohdalla useimmiten toistuva työvaihe. Sen keskihajonta kolmesta suurimmasta tekemisajan työvaiheesta oli pienintä. Toiminnanohjausjärjestelmän käytön sisältämät toimenpiteet on lueteltu liitteessä 4.

Suurimmaksi syyksi merkkauksissa ilmenneeseen toiminnanohjausjärjestelmän käytön keston vaihteluun on todettava AviX-ohjelman käytössä tapahtuneet inhimilliset merkkauksivirheet. Suurin vaihtelu on havaittavissa niiden laitteiden välillä, jotka käsiteltiin ensimmäisenä ja viimeisenä. Tämä johtuu siitä, että merkattavan työvaiheen sisällön määritelmä ei ole pysynyt koko videoanalyysin aikana samana.

Merkkausvirheiden lisäksi toiminnanohjausjärjestelmän käytön keston vaihtelua aiheuttivat häiriöt työvaiheessa, viivakoodien lukuongelmat, tietojen syöttö käsin ja epävarmuus siitä, mitä työvaiheessa tulisi tehdä. Työvaiheessa havaittu epävarmuus ilmenee ylimääräisinä hetkinä, joiden aikana asentaja ei tee mitään tai selkeästi tarkastaa mitä pitäisi tehdä. Toiminnanohjausjärjestelmän käytön suoritusjärjestyksessä oli myös vaihtelua, lähes jokaisessa analysoidussa laitteessa. Selkeän suoritusjärjestyksen puute aiheutti toistuvia häiriöitä, kun työtehtävän suorittaminen unohdettiin.

7.4 Muut-aika

Muut-ajaksi videoista merkittiin videoiden kaikki se aika, joka ei ollut jalostavaa tai tekemisaikaa. Havainnointitutkimuksissa muut-aika oli edelleen luokiteltu tauko-, häiriö- ja apuajaksi, joten videoiden käsittelyssä muut-ajaksi merkittiin esimerkiksi tauolle lähdöt ja paluut (kamera ei ollut taukojen aikana päällä), keskustelu työnjohdon tai työkavereiden kanssa, työohjeen lukeminen ja häiriöt. Toistuvia häiriöitä olivat komponenttien jäljityksen unohtaminen (erityisesti komponentti 1) ja työvaiheen 5 unohtaminen. Lisäksi toistuvia muut-ajan työvaiheita oli keräilylaatikoiden vaihto FIFO-hyllyistä.

7.5 Työjärjestys

Jalostavan ajan työvaiheiden suoritusjärjestyksessä oli vähän vaihtelua. Insinööryön aiheena olevat taajuusmuuttajat on suurimmaksi osaksi suunniteltu niin, että ne on pakko kokoonpanna tietyssä järjestyksessä. Toistuvia työjärjestyksen vaihteluita havaittiin työvaiheissa 6, 7 ja 8. Työvaihe 6 oli opastettu suoritettavaksi eri aikaan kuin suurin osa asentajista sen teki; vain yksi asentaja suoritti työvaiheen ohjeiden määräämässä kohdassa. Työvaihe 7 suoritettiin yleisesti osana työvaihe 8:aa. Kaksi asentajaa kuitenkin suoritti työvaihe 7 työvaiheen 4 yhteydessä. Videoita asentajien kanssa läpi käydessä kävi ilmi, että osa asentajista piti työvaiheen 4 yhteydessä tehtyä suoritusta helpompana, mutta videoita analysoitaessa tämä tapa havaittiin hitaammaksi.

Työvaiheen 8 kokonaiskeston keskihajonta oli jalostavan ajan työvaiheista kolmanneksi suurin. Työvaiheen keskihajonnan suuruuteen vaikutti eniten se, suoritettiinkö työ yhdessä vai kahdessa osassa. Työvaihe sisältää kaksi komponenttia (komponentti 1 ja komponentti 5,) joille tarvitsee tehdä sama toimenpide ennen niiden kiinnittämistä kokoonpantavaan laitteeseen. Ennen kokoonpanemista suoritettava toimenpide tehdään työpisteen ulkopuolella. Työpisteen ulkopuolelle siirytävän matkan pituus vaihtelee ja sen kesto riippuu työpisteen sijainnista. Mikäli siirtyminen tehdään kaksi kertaa, lisääntyy myös työvaiheen kokonaiskeston vaihtelu. Tämän lisäksi kahdessa osassa tehdyt videot suoritus olivat kaikki hitaampia kuin yhdellä kertaa tehdyt.

Taajuusmuuttajien kokoonpanon työjärjestyksessä havaittiin vaihtelua myös laitteiden kokoonpanon loppuvaiheissa tehtävissä lyhyissä työtehtävissä. Komponentin 3 kiinnittämisen jälkeen ja ennen työvaiheen 9 suorittamista, vain yksi komponentti on kiinnitettävä

vasta toisen työvaiheen suorittamisen jälkeen. Tästä syystä asentajien järjestyksissä oli vaihteluita ja komponentit kiinnitettiin lähes joka laitteessa eri järjestyksessä. Ainoastaan komponentin 6 kiinnittäminen väärässä kohtaa voi aiheuttaa häiriön (työvaiheen 5 unohdaminen.) Muiden työvaiheiden järjestyksen vaihtelu aiheuttaa lähinnä lisäaikaa siinä, kuinka kauan asentajien tarvitsee miettiä, mitä seuraavaksi tulisi tehdä.

Eniten eroja kokoonpanon suoritusjärjestyksessä havaittiin tekemisajaksi luokiteltavissa työvaiheissa. Tämä saattaa johtua siitä, ettei tekemisajan suorittamista ole aikaisemmin ohjeistettu missään.

8 Tulokset ja päätelmät

Insinööriyön tulokseksi saatiin uusi kokoonpano-ohjeistus, jota esitetään standardisoitavaksi. Uusi työjärjestys löytyy liitteestä 6 ja siinä on määritelty: missä järjestyksessä työvaiheet suoritetaan, mitä toimenpiteitä työvaihe sisältää ja kuinka kauan jokaisen työvaiheen tulisi suurin piirtein kestää. Lisäksi liitteestä löytyy uuden työjärjestyksen kokoonpanovaiheiden yhteiskesto ja työn aiheena olevien taajuusmuuttajaperheiden variaatioiden tuomat lisätyövaiheet.

Uuden standardisoitavaksi ehdotettavan työjärjestyksen työvaiheiden sisältämiksi toimenpiteiksi valittiin vain kokoonpanon edellyttämät työtehtävät; kaikki muut-ajaksi luokiteltava jätettiin mainitsematta. Työvaiheet ja niiden sisältämät työtehtävät on nimetty vain suurpiirteisesti, esimerkiksi: Työvaihe 1 - KIINNITÄ komponentti 1. Työvaiheiden tarkempaa sisältöä ei ole määritelty, mutta nopeimpia työtapoja on käsitelty tässä raportissa. Uuden kokoonpano-ohjeistuksen suoritusjärjestyksen tärkein valintaperuste jalostavien työvaiheiden kohdalla oli kokoonpantavan laitteen rakenne. Tekemisajan työvaiheet on järjestetty niin, että ne tukisivat muuta tekemistä. Tällä tarkoitetaan sitä, että seuraavaan jalostavan vaiheen edellyttämät tekemisajan tehtävät (yleisimmin komponenttien haku ja jäljitys) suoritetaan mahdollisimman lähellä tehtävää jalostavaa toimenpidettä. Suoritusjärjestyksellä pyritään ohjaamaan asentajia ajattelemaan ja suorittamaan aina samalla tavalla: ota komponentti, jäljitä komponentti, kiinnitä komponentti.

Standardisoitavaksi ehdotettavassa työjärjestyksessä työpisteen ulkopuolella olevien komponenttien haut on yhdistetty yhdeksi, komponentin 4 haun yhteydessä tapahtuvaksi

hakukerraksi. Tämän seurauksena ainoan työpisteen ulkopuolella olevien komponenttien hakemisen yhteydessä ilmenevän ajallisen vaihtelun tulisi ilmetä vain komponentti 4:n keräilypaikalle siirtymisen ja paluun yhteydessä. Standardoitavaksi ehdotettavassa työjärjestyksessä oletetaan, että kaikilla työpisteillä on käytettävissä keräilykärret, jotka ainakin videoinnin aikana niiltä löytyvät. Uudessa työjärjestyksessä ehdotetaan, että komponentit haetaan keräilykärreyn, josta ne liitetään kokoonpantavaan laitteeseen. Muiden komponenttien hakukertojen suorittaminen ei vaadi työpisteeltä poistumista vaan niissä otettavat komponentit on sijoitettu siirrettäviin hyllyihin, joiden tulisi sijaita kokoonpanon aikana työpisteellä. Kuvatuista videoista havaittiin, että siirrettyjen hyllyjen sijoittelu oli aina sellaista, että komponenttien ottaminen niistä vaati joka kerta lyhyen siirtymisen. Näiden, työpisteellä sijaitsevien komponenttien, hakukerrat on pyritty sijoittamaan työjärjestykseen niin, että niissä tulee ottaa seuraavat kolme – neljä tarvittavaa komponenttia. Tällä pyritään minimoimaan lyhyitä siirtymisiä hyllyille niin, ettei komponentteja ottaessa kuitenkaan tarvitsisi käyttää työpisteen keräilykärreä.

Uuden työjärjestyksen työvaiheiden kestot on saatu suoraan AviX-ohjelmalla analysoiduista videoista. Videoissa, joista uudet työvaiheiden kestot on otettu, on suoritettu työ oikein ja häiriöttömästi. Kaikista tekemisajan työvaiheista ei analysoitaessa löydetty sopivia videoita, joten osa tekemisajaksi luokitelluista ajoista on arvioitu. Videot, joista uuden työjärjestyksen kestot on otettu, on koottu yhdeksi AviX-tiedostoksi.

8.1 Keskeiset tulokset

Havainnointitutkimuksen aikana valmistuneiden taajuusmuuttajien keskiarvokokoonpanoaika oli 153 % ja videoinnin aikana valmistuneiden laitteiden keskiarvokokoonpanoaika 107 % kelloitetusta tavoiteajasta. Uudessa standardoitavaksi ehdotettavassa kokoonpano-ohjeistuksessa työvaiheiden kokonaiskesto on 94 % tavoiteajasta. Kokoonpanoajat sisältävät vain jalostavan ajan ja tekemisajan. Videoinnin aikana havaittiin, että muihin aikoihin kuluu noin 10 % laitteen läpimenoajasta. Kyseinen 10 % ei sisällä tauolla oloa. Kun uuden kokoonpano-ohjeistuksen kokoonpano-aikaan lisätään 10 %, läpimenoajaksi saadaan 103,4 % kelloitetusta tavoiteajasta.

Jalostavan ajan kesto uudessa kokoonpano-ohjeistuksessa on 61,2 % kelloitetusta tavoiteajasta, kun se havainnointitutkimuksessa oli keskimäärin 106 % ja kuvatuilla laitteilla keskimäärin 74,5 %.

Tekemisaika on uudessa ohjeistuksessa kestoaltaan 28,8 % kellotetusta tavoiteajasta, havainnointitutkimuksessa se oli 46,5 % ja videoissa 32,5 %. Tekemisajan sisällyttäminen työohjeisiin on merkittävä muutos. Kuten tässä raportissa todetaan, videoinnin aikana suurimmat keskihajonnat olivat nimenomaan kolmella eniten aikaa vievällä tekemisajan työvaiheella, joista yhteen on jo tehty parannuksia ja kahteen muuhun, komponenttien hakemiseen ja toiminnanohjausjärjestelmän käyttöön, puututtiin tässä insinööriyössä. Muita tekemisajan työvaiheita ei ole juurikaan käsitelty tämän projektin aikana, mutta kaikki tarvittavat tekemisajan työtehtävät on sisällytetty uuteen standardisoitavaksi ehdotettavaan työjärjestykseen.

Uuden kokoonpano-ohjeistuksen vaikutusta insinööriyön aiheena olevan taajuusmuuttajan kapasiteettiin arvioitiin laskemalla linjan kapasiteetti uudella läpimenoajalla (taulukko 4). Kapasiteetilaskuissa käytettiin samoja skenaarioita ja samaa kaavaa, kuin tämän insinööriyön CPL-linjan lähtötilan kartoituksessa. Kapasiteetilaskujen laitemäärät löytyvät liitteestä 2.

Taulukko 4. Uuden standardoitavaksi ehdotettavan kokoonpano-ohjeistuksen läpimenoajan vaikutus kapasiteettiin verrattuna havainnointitutkimuksen tuloksiin ja kelloitettuun tavoiteaikaan.

	Tavoite	Havainnointi	Standardointi
	skenaario 1		
Vuoro	12,5 %	8,2 %	12,1 %
Viikko	4,2 %	2,7 %	4,0 %
Vuosi	4,2 %	2,7 %	4,0 %
	skenaario 2		
Vuoro	30,4 %	19,9 %	29,3 %
Viikko	20,2 %	13,3 %	19,6 %
Vuosi	20,2 %	13,3 %	19,6 %
	skenaario 3		
Vuoro	37,5 %	24,6 %	36,2 %
Viikko	25,0 %	16,4 %	24,2 %
Vuosi	25,0 %	16,4 %	24,2 %
	skenaario 4		
Vuoro	100,0 %	65,5 %	96,6 %
Viikko	100,0 %	65,6 %	96,6 %
Vuosi	100,0 %	65,6 %	96,6 %

Taulukosta voidaan huomata, että uudella standardoitavaksi ehdotettavan kokoonpano-ohjeistuksen läpimenoajalla havainnointitutkimuksen aikainen kapasiteetti tulisi kasvaa noin 1,5-kertaiseksi. Uudella läpimenoajalla kapasiteetti olisi enää noin kolme prosenttiyksikköä tavoitekapasiteetista jäljessä.

8.2 Jatkotoimenpiteet

Tässä insinööriyössä esiteltyjen tulosten saavuttamiseksi, tulisi tuotantolinjalla standardoida jokin kokoonpano-ohjeistus ja saada kaikki työntekijät noudattamaan sitä. Standardoitavassa kokoonpano-ohjeessa tulisi

- standardoida jalostavien töiden sisältö ja suoritusjärjestys
- määritellä ja vakioida tekemisajan työtehtävien sisältö ja suoritusjärjestys
- vakioida työpisteen ulkopuolella suoritettavien toimenpiteiden suorituskerrojen määrä (komponenttien hakeminen, työvaihe 8).

Jalostavien töiden sisällön suurimpia ongelmia olivat komponenttien yhteensopivuusongelmat ja kiinnitystapojen erot. Näiden vähentämiseksi tulisi

- yhtenäistää ruuvien ja muttereiden kiinnitystapoja asentajien kanssa, erityisesti kertaamalla esikiristyksen suorittamisesta: mitkä ruuvit ja mutterit tulee esikiristää, miksi ruuvit esikiristetään tai ei esikiristetä, mitä työkaluja kiristämässä ja esikiristämässä tulee käyttää ja miksi sekä missä järjestyksessä ruuvit suurin piirtein tulee kiristää
- poistaa komponenttien yhteensopivuuteen liittyviä ongelmia tuotekehityksen kanssa ja käsitellä parhaiksi koettuja kokoonpanotapoja linjan työntekijöiden kesken, erityisesti komponenttien 1, 2 ja 3 kohdalla.

Tekemisajan standardoimisen lisäksi hukan vähentämiseksi tulisi CPL-linjalla

- varmistaa, että siirrettäviä hyllyjä käytetään oikein
- selvittää, olisiko komponentteja mahdollista sijoittaa lähemmäs työpistettä esimerkiksi vaiheistamalla kokoonpano
- vähentää kokoonpanon muut-aikaa, esimerkiksi siirtämällä komponenttilaatikoiden avaamisen ja vaihtamisen vastuu joillekin muille.

Jatkossa standardoidun työjärjestyksen ja yhtenäisten työtapojen kehityksen tulisi tapahtua yhteisesti kaikkien linjan työntekijöiden kesken. Kehittämiselle tulisi varata resursseja esimerkiksi jatkuvan parantamisen yhteyteen.

8.3 Työn arviointi

Insinööriyön aiheena olevien taajuusmuuttajien kokoonpanon kokonaiskestoa ja keston vaihtelua voidaan vähentää standardoimalla kokoonpanojärjestys. Osa vaihtelun aiheuttajista tulee poistumaan työjärjestyksen standardoinnin myötä, osaan tullaan tarvitsemaan työtapojen standardointia ja tuotekehitystä. Standardoitavaksi ehdotettavan kokoonpanojärjestyksen parannukset on mahdollista saavuttaa keskustelemalla parhaista työtavoista asentajien kanssa. Kuten tässä raportissa on todettu, on jalostavien vaiheiden työajat otettu uuteen ohjeistukseen suoraan kuvatuista videoista. Tämä viittaa siihen, että ainakin osalla asentajista on jo kyky kokoonpanna insinööriyön aiheena olevia taajuusmuuttajia kellotetussa tavoiteajassa.

Tekemisajaksi luokiteltujen toimenpiteiden suoritusjärjestys ja lasketut kestot tulevat olemaan tulevaisuudessakin tärkeä tutkimus- ja kehittämiskohde. Standardoinnin suoraa vaikutusta tekemisajan keston vähenemiseen ja vaihteluun on vaikea arvioida, koska aikaisempaa vertailukohtaa ei voi löytää suuren vaihtelun takia. Tekemisajan työvaiheiden keston vaihtelu ei tule kuitenkaan täysin häviämään. Hajontaan tulevat vaikuttamaan jatkossakin kaikki siirtymiset työpisteen ulkopuolelle. Ideaalitulanteessa kaikki tarvittavat komponentit sijaitsisivat työpisteellä, mutta ainakaan nykyisellä järjestelyllä sitä ei koeta mahdolliseksi. Ideaalitulanteen saavuttamiseksi tulisi miettiä komponenttien sijaintien uudelleenjärjestelyä pienempään tilaan ja vähempään määrään varastopaikkoja. Tämä mahdollistaisi suuremman määrän eri komponentteja työpisteen lähellä ja poistaisi tarvittavia siirtymiä työpisteen ulkopuolelle. Äärimmäinen keino komponenttien saamiseksi niitä käyttävän työpisteen läheisyyteen olisi insinööriyön aiheena olevan taajuusmuuttajan kokoonpanon jakaminen vaiheisiin. Vaiheiden sijoittaminen eri työpisteille mahdollistaisi pienemmän tarvittavien komponenttien määrän työpisteen lähellä.

Toiminnanohjausjärjestelmän käytön vaihtelun syiksi mainittiin suoritusjärjestyksen puute, häiriöt työvaiheessa ja epävarmuus siitä, mitä pitäisi tehdä. Suoritusjärjestyksen puutetta ja epävarmuutta vähennetään standardoimalla työjärjestys. Työvaiheen häiriöiden kohdalla voi miettiä, tarvitseeko komponenttien viivakoodeja parantaa ja käsin syötettävien tietojen määrää vähentää. Järjestyksen standardoinnin tulisi myös vähentää virheiden määrää. Kaikki videoinnin aikana havaitut toistuvat häiriöt johtuivat väärästä kokoonpanojärjestyksestä.

Standardoinnin vaikutus kokoonpanojen lyhenemiseen tai vaihteluun tulee riippumaan myös siitä, miten uusia työohjeita noudatetaan. Tätä pidetään riskinä, koska työntekijöille suoritettussa kyselyssä huomattiin, ettei suurin osa asentajista seuraa työohjeita, eikä uusien työohjeiden omaksuminen ole näin ollen välttämättä nopeaa. Uusien työohjeiden käyttöönoton yhteydessä linjan työntekijöille olisi hyvä painottaa, ettei työohjeiden suoritustajärjestys ole välttämättä paras, mutta tärkeintä standardoinnissa olisi, että kaikki tekisivät samalla tavalla. Jos työjärjestyksessä tai työtavoissa huomataan eroja, tulisi niiden kehittäminen hoitaa yhteisesti, esimerkiksi jatkuvan parantamisen kautta. Vaarana on, että jonkin ajan kuluttua standardoimisesta kaikki työntekijät ovat itse kehittäneet työtapojaan ja tekevät asiat jokainen eri tavalla.

Insinööriyön aiheena olevien taajuusmuuttajien kokoonpanon kehittämisen lisäksi tämän projektin tarkoituksena oli pohtia videoinnin hyviä ja huonoja puolia tuotannonkehitysmenetelmänä ja toimia pilottina AviX-ohjelman käytölle. Videoiden kuvaaminen koettiin helpoksi: GoPro-kamerat olivat helppokäyttöisiä, videointi ei vaatinut linjalla paikalla oloa eikä kuvaaminen vaatinut ylimääräisiä resursseja tuotantolinjalta. Myös kuvanneiden asentajien mukaan kamerat olivat helppokäyttöisiä eivätkä olleet epämukavia. Kameroiden kuvakulman säätäminen oli videoinnin vaikein osuus. Säätämisen helpottamiseksi on suositeltava GoPro:n puhelinosovellusta, jolla näkee kamerasuoran kuvan suorana. Myös asentajien suostuttelemine kuvaajiksi oli haastavaa. Kuvatut videot olivat laadultaan erinomaisia. Videoista sai riittävästi informaatiota, ja jopa tekstit sai tarvittaessa lukekeltoisiksi. Ainoa ongelma videoiden laadussa oli niiden suuri tiedostokoko; suurten tiedostojen siirtäminen vie paljon aikaa ja paljon tilaa tietokoneen kovalevyllä. Paljon aikaa vei myös kuvattujen videoiden leikkaaminen ja pakkaaminen AviX-ohjelmaan sopivaksi. Pisimmillään yhden videon pakkaaminen kesti yli tunnin. Leikkaamisajan lyhentämiseksi olisi hyvä miettiä, tulisiko asentajien lopettaa ja uudelleen käynnistää videoiminen laitteiden välillä, jolloin jokainen laite tallentuisi omaksi tiedostokseen.

AviX-ohjelmalla videoiden merkkäminen oli helppoa. Merkkäamisen haaste oli sen suunnittelussa. Ennen merkkäamisen aloittamista tulisi päättää, kuinka tarkkaan videot merkataan; esimerkiksi sisältyvätkö työvaiheisiin siirtymiset, siirrot, hukat, yms. vai merkataan ne omiksi vaiheikseen. Alussa kannattaa myös päättää työvaiheille vakionimet. Ne helpottavat vertailemista AviX- ja Excel-ohjelmissa. Vaikka tässä insinööriyössä käytettiin Exceliä, AviX-ohjelmalla pystyy kyllä vertailemaan saman nimisiä työvaiheita eri laitteiden välillä. Merkattujen työvaiheiden vertailu sujui helpoiten käyttämällä Balance- ja Method-tree:ssä Filter-toimintoa. Filter-toiminnolla pystyy hakemaan työvaiheita eri ominaisuuksien perusteella. Valitsemalla sitten halutut työvaiheet, voidaan ne kopioida ja liittää esimerkiksi omaksi työasemakseen. Työasemien sisältämien työvaiheiden vertailu onnistui helpoiten Balance-moduulilla. Insinööriyössä päädyttiin kuitenkin käyttämään vertailemisessa Exceliä, koska kestot olisi kuitenkin tullut kirjata taulukko-ohjelmaan vaihtelun todentamiseksi. Kokonaisuudessaan AviX-videoanalyysiohjelman käyttö oli helppo oppia. Tottunut tietokoneen käyttäjä pystyy varmasti vähäisellä koulutuksella käyttämään ohjelmaa melko sujuvasti. Kaikkia ohjelman toimintoja ei insinööriyön aikana käytetty, ja ohjelmalla pystyisi tutkimaan työvaiheita vieläkin tarkemmin.

Videointi ja videoiden analysointi työmenetelmänä koettiin mielekkääksi. Videointi ja etenkin analysointi voi viedä huomattavasti enemmän aikaa kuin muut tutkimustavat. Aikaa tulee aina kulumaan videointimenetelmässä niin kutsuttuihin lisätöihin, eli videoiden leikkaamiseen, pakkaamiseen ja merkkäamiseen. Videoiden etuna on niiden sisältämä informaation määrä, joka on suurempi kuin esimerkiksi havainnointitutkimuksesta saatu tiedon määrä. Havainnot myös tallentuvat pysyvästi videolle. Talteen jääviä havaintoja on helpompi käyttää jatkossa, kuin kuvailla omin sanoin tapahtumaa, joka ehkä tapahtui niin kuin muistaa.

Insinööriyön tavoitteet onnistuttiin täyttämään mielestäni hyvin. Tutkimuksen aikana koin löytäneeni suurimmat kokoonpanoajan vaihtelua aiheuttaneet syyt ja mielestäni tämän insinööriyön pohjalta pystyy standardoimaan taajuusmuuttajien kokoonpanon. Koen myös, että tämän insinööriyön tuloksina ilmoitetut parannukset kokoonpanoajassa on mahdollista saavuttaa. Vaikein osuus tulosten saavuttamisessa tulee luultavasti olemaan työntekijöiden sitouttaminen standardityöhön. En usko, että tässä insinööriyössä standardisoitavaksi ehdotettava kokoonpano-ohjeistus tulee olemaan lopullinen tai paras. Työohjeistuksen lisäkehittämiseksi pystyisi esimerkiksi tutkimaan työvaiheiden sisältöä tarkemmin, eikä tekemisaikaan tehtävien muutosten vaikutusta voi mielestäni täysin tietää.

Insinööriyön aiheena koin tämän projektin mielenkiintoiseksi ja riittävän laajaksi. Opin käyttämään videointia tuotannonkehitysmenetelmänä ja tutustuin kattavasti ainakin kahteen AviX-ohjelmiston moduulin. Koen kokoonpanoa koskevien tietojeni kasvaneen insinööriyön aikana ja uskon tämän projektin myötä saamieni taitojen olevan minulle hyödyllisiä tulevaisuudessa.

9 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia ABB Oy:n CPL-linjalla valmistettavien taajuusmuuttajatuoteperheiden yhden runkokoon taajuusmuuttajien kokoonpanoaikojen hajontojen syitä sekä pyrkiä löytämään sellainen standardisoitavaksi ehdotettava kokoonpanojärjestys, jonka avulla tuotteiden kokoonpanoajoja saataisiin lyhemmiksi ja kokoonpanoaikojen vaihteluita pienemmiksi. Työn aiheena olevien taajuusmuuttajien kokoonpanotyötä oli tarkoitus kuvata videokameroilla ja kuvattuja videoita tutkia AviX-videoanalyysiohjelmistolla. Videoanalyysiohjelmistosta ja videoinnista tuotannonkehitysmenetelmänä tuli kerätä insinööriyön aikana kokemuksia ja kokemukset tuli kirjata insinööriyön loppuraporttiin. Lisäksi työssä tuli tutkia CPL-linjan kapasiteettia ja arvioida standardoinnin vaikutusta kapasiteettiin tulevaisuudessa.

Teoriaosuudessa käsiteltiin kokoonpanotyötä yleisesti, kerrottiin Lean-tuotantofilosofiasta ja standardityön merkityksestä kyseisessä filosofiassa. Insinööriyön käytännön osuudessa ensimmäisenä perehdyttiin linjan kokoonpanotyöhön. Kokoonpanoon käytiin tutustumassa linjan asentajien kanssa ja linjalla tehtiin kysely, jossa selvitettiin työntekijöiden mielipiteitä taajuusmuuttajien kokoonpanotyöstä ja kokoonpano-ohjeista.

Insinööriyön tutkimusmateriaali kerättiin kuvaamalla videokameroilla eri asentajien kokoonpanotyötä sekä analysoimalla kuvattuja videoita AviX-videoanalyysiohjelmistolla. Kuvatuista videoista etsittiin erityisesti kokoonpanon eri työvaiheiden kestojen vaihteluiden syitä sekä vaihteluita työjärjestyksessä ja työmenetelmissä. Analysoitujen videoiden perusteella todettiin, että työn aiheena olevien taajuusmuuttajien kokoonpanoajan vaihtelu johtui suurimmaksi osin jalostavan ajan työtehtävien työskentelytapojen eroista sekä tekemisajan työjärjestysten vaihtelusta. Työskentelytapojen erojen huomattiin johtuvan kokoonpantavuuteen liittyvistä ongelmista sekä siitä, etteivät asentajat seuranneet tai tehneet työtä kuten työhjeissa opastettiin. Tekemisajan työjärjestyksen vaihtelun koettiin johtuvan siitä, ettei tekemisajan työtehtäviä ollut opastettu mitenkään.

Analysoitujen videoiden perusteella kehitettiin insinööriyön aiheena oleville taajuusmuuttajille kokoonpano-ohjeistus, jota esitetään standardoitavaksi. Standardoitavaksi ehdotettavassa kokoonpano-ohjeistuksessa tekemisajan ja jalostavan ajan työtehtävien suoritusjärjestys ja sisältö ovat vakioituja. Vakioinnin tulisi vähentää kokoonpanoajan vaihtelua. Uudessa kokoonpanojärjestyksessä taajuusmuuttajan kokoonpanoaika on 94 % kelloitetusta tavoiteajasta ja kokoonpanon arvioitu keskimääräinen läpimenoaika 103,4 %. Kokoonpanoaika paranee aikaisemmasta, havainnointitutkimuksesta saadusta ajasta jopa 59 prosenttiyksikköä. Lisäksi kokoonpanojärjestyksen standardoinnin tulisi vähentää toistuvia häiriöitä, joiden todettiin suurimmaksi osin johtuvan selkeän työjärjestyksen puutteesta. Uudella standardoitavaksi ehdotettavan kokoonpano-ohjeistuksen läpimenoajalla havainnointitutkimuksen aikainen kapasiteetti tulisi kasvamaan noin 1,5-kertaiseksi. Uudella läpimenoajalla kapasiteetti olisi enää noin kolme prosenttiyksikköä tavoitekapasiteetista jäljessä.

AviX-videoanalyysiohjelmisto koettiin hyödylliseksi apuvälineeksi kokoonpanotyön analysoimisessa ja kehittämisessä. Ohjelmistoa oli helppo käyttää ja siitä löytyi tarpeeksi ominaisuuksia, vaikka joissain tilanteissa erillisen taulukkolaskentaohjelman käyttö koettiin tarpeelliseksi. Videointia tutkimusmenetelmänä pidettiin hieman hitaana, mutta sen tulokset sisältävät enemmän tietoa ja ovat visuaalisempia, kuin esimerkiksi havainnointitutkimuksen tulokset.

Lähteet

ABB Oy – ABB:stä lyhyesti. Verkkosivu <<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>>. Luettu 18.2.2016.

Kouri, Ilkka. 2010. Lean-taskukirja. Helsinki: Teknologiainfo Teknova.

Lapinleimu, Ilkka. 2000. Ideaalitehdas : tehtaan suunnittelun teorian kiteytys. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, tuotantotekniikan laitos.

Lapinleimu, Ilkka, Kauppinen, Veijo & Torvinen, Seppo. 1997. Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo: WSOY.

Liker, Jeffrey K. 2004. Toyotan tapaan. Helsinki: Readme.fi.

Modig, Niklas & Åhlström, Pär. 2013. Tätä on Lean – Ratkaisu tehokkuusparadoksiin. Tukholma: Rheologica Publishing.

Solme AB - Our Products. Verkkosivu. <<http://www.avix.eu/en/our-products/avix-method/>>. Luettu 19.1.2016.