

Anssi Häärä

Taajuusmuuttajien tuotantoprosessin suunnittelu ja kehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinööriytyö

21.11.2013

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Taajuusmuuttajien tuotantoprosessin suunnittelu- ja kehitys 32 sivua + 17 liitettä 21.11.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotantotekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Markku Saarnio Tuotannon kehitysinsinööri Markku Piironen, ABB
<p>Tämä insinöörityö tehtiin ABB Drives:n Pitäjänmäen tehtaalle. Työssä suunniteltiin uuden ACS880 single drives -taajuusmuuttajatuoteperheen kokoonpanoprosessi ja -järjestelmä, jotka räätälöitiin ICD:n tuoteverstaaseen. Työ toteutettiin työnvaiheaja- ja kirjallisuustutkimuksen perusteella.</p> <p>Insinöörityö aloitettiin työnvaiheikatutkimuksella, jossa mitattiin kolmen ACS880-taajuusmuuttajan valmistusajat. Taajuusmuuttajat valittiin kahdesta eri runkoluokasta, jotta saataisiin vertailukelpoista dataa eri tuotevariaatioista. Työnvaiheikatutkimuksen ohella määritettiin ICD-tuotantoyksikön tuotantoprosessin ongelma-alueet. Lähtötilanteen määrittämisen jälkeen lähdettiin suunnittelemaan valmistusjärjestelmää, joka vastaisi uuden taajuusmuuttajatuoteperheen valmistuksen asettamiin vaateisiin.</p> <p>Työn lopputuloksena syntyi suunnitelma valmistusjärjestelmästä, jonka uusi työnvaiheistus ja layout-ratkaisu tehostavat taajuusmuuttajan tuotantoa ja vähentävät lähtötilanteessa havaittuja tuotanto-ongelmia. Uudelleen suunniteltu valmistusjärjestelmä toteuttaa JOT- ja Lean-tuotannon peruseriaatteita ja sen osa- ja pääkokoonpanotoiminnot yhdistävä tuotantomalli rikkoo vanhoilliset käsitykset perinteisestä kokoonpanotuotannosta.</p> <p>Insinöörityön tulokset ovat koottu liitteisiin, jotka ovat luovutettu ainoastaan työn tilaajalle.</p>	
Avainsanat	JOT, Lean, kokoonpano, layout

Author(s) Title Number of Pages Date	Anssi Häärä Design and Development of the Frequency Converters' Manufacturing Process 32 pages + 17 appendices 21 November 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Specialisation option	Production Engineering
Instructor(s)	Markku Piironen, Production Development Engineer, ABB Markku Saarnio, Principal Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by ABB Drives. The study was carried out at ABB Drives' factory in Pitäjänmäki for the ICD production unit. The objective of this Bachelor's thesis was to design an assembly process for a new product family ACS880 single drives. The study was based on a work cycle time measurement and a literature survey.</p> <p>Firstly, the work cycle time measurement was carried out, which included three ACS880 drives from two different frame sizes. These drives were selected in order to collect comparable data from different versions of the product. In addition to the work cycle time measurement, the production problems of the ICD production unit were detected. After defining the initial situation, the designing of the assembly system was started.</p> <p>As a result of this final project, the assembly system design was created. It was discovered that the new work order and the layout solution of the design reduce significantly the number of the ICD's production problems. Furthermore, the redesigned assembly system realizes the principles of the Just-in-time and Lean production systems. The compound production model which integrates the sub-assembly to the main assembly breaks the conservative views of the assembly production.</p> <p>The results of this Bachelor's thesis are summarized in appendices, which are released only to the commissioner.</p>	
Keywords	JIT, Lean, assembly, layout

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aikakäsitteet kokoonpanotuotannossa	2
2.1	Työajan jakautuminen ja sen merkitys tuotantoon	2
2.1.1	Asetusaika	3
2.1.2	Kappaleaika	3
2.1.3	Apu aika	4
2.2	Yksikön valmistusaika	4
2.3	Läpäisy aika	5
2.4	Hukka-aika	6
3	Työnvaihe aikatutkimus	6
3.1	Työajan mittausmenetelmät ja tutkimuskohde	7
3.2	ACS880-07-0246A-3+E200+F250+K473+L505+Q951+R708- taajuusmuuttajien työnvaihe aikamittaus	8
3.2.1	Osakokoonpano	9
3.2.2	Pääkokoonpano	9
3.2.3	Mittaustulokset	10
3.3	ACS880-07-0271A-7+E205+R706-taajuusmuuttajan työnvaihe aikamittaus	12
3.3.1	Osakokoonpano	12
3.3.2	Pääkokoonpano	13
3.3.3	Mittaustulokset	14
4	Aikaan perustuva johtaminen TBM	15
4.1	Juuri oikeaan tarpeeseen, JOT-tuotanto	16
4.2	Lean-tuotanto	17
5	Kokoonpanoprosessin kehitys ja suunnittelu	18
5.1	Työvaihesuunnittelun perusteet	18
5.2	Työnvaihesuunnittelu ja työnkulku	19
5.2.1	Ensimmäinen vaihe	20
5.2.2	Toinen vaihe	21
5.2.3	Kolmas vaihe	21
5.2.4	Neljäs vaihe	22
5.2.5	Työnvaihesuunnittelulla saavutetut hyödyt	22

5.3	Tuotantojärjestelmä	23
5.3.1	Tuotantojärjestelmän tuotantokapasiteetti	24
5.3.2	Tuotantojärjestelmän hyödyt	25
5.4	Layout	26
5.5	Tuotannonohjaus	28
6	Päätelmät	29
	Lähteet	31
	Liiteluettelo	1

Lyhenteitä

- ICD Industrial Cabinet Drives. Helsingin Pitäjänmäessä sijaitsevan ABB Drives -tehtaan itsenäinen tuotantoyksikkö eli tuoteverstaas.
- JOT Juuri Oikeaan Tarpeeseen -toiminnanohjausfilosofia, jonka tavoitteena on virtaviivaistaa tuotantoa ja materiaalivirtoja eliminoimalla kaikki toiminnot, jotka eivät saa aikaan lisäarvoa. Materiaalit siis toimitetaan juuri silloin kun niitä tarvitaan, jolloin niitä ei tarvitse varastoida.
- TBM Aikaan perustuva johtaminen (Time Based Management) on prosessijohtamisen koulukunta, jossa aika on kriittinen resurssi ja keskeinen suorituskijä. Lähtökohtana on ydinprosessien tarkastelu asiakaslähtöisesti ja toimintojen analysointi niiden tuottaman jalostusarvon perusteella. Tavoite on läpimenoaikojen parantaminen eliminoimalla tuottamatonta aikaa.

1 Johdanto

ABB lanseerasi vuoden 2012 alussa uuden ACS880-taajuusmuuttajien tuoteperheen. Merkittävimpana uudistuksena ACS880-tuoteperheen taajuusmuuttajiin on sisäänrakennettu Safe Torque Off -toiminto, joka mahdollistaa moottorin turvallisen käytön ja huollon estämällä moottorin odottamattoman käynnistyksen. Integroitujen turvaominaisuuksien lisäksi uudessa tuoteperheessä runkokoot, tehoalueet ja ulkonäkö ovat uudistuneet verrattaen vanhempaan ACS800-tuoteperheeseen.

Tässä työssä keskitytään suunnittelemaan ja kehittämään ABB Drivesin tehtaalla, Pitäjänmäessä, valmistettavien Cabinet-built single drives ACS880-07 -taajuusmuuttajien tuotantoprosessia. Tämän mallin taajuusmuuttajilla ohjataan yhtä sähkömoottoria ja moduloitu taajuusmuuttajayksikkö on kaapitettu. ACS880-07-taajuusmuuttajia valmistetaan kuudessa eri runkokoossa R6–R11 ja tehoalueella 45–500 kW (liite 1). ACS880-taajuusmuuttajat ovat täysin räätälöitävissä asiakkaiden tarpeisiin, mikä lisää tuotevariatioiden määrää huomattavasti (liite 2).

Työn tavoitteena oli suunnitella tuotantojärjestelmä, joka pystyy tehokkaasti vastaamaan tulevaisuudessa kasvavaan tuotantovolyyymiin ja on sovellettavissa ABB Drivesin lisäksi sen tytäryhtiöiden ja alihankkijoiden tarpeisiin. Suunnitelma on luotu Pitäjänmäellä suoritettujen työnvaiheaikamittausten perusteella. Työnvaiheaikamittausten ohella on kerätty tietoa alustavan valmistussuunnitelman ja protovalmistusalueen puutteista prosessin tehostamiseksi. Koottua dataa on analysoitu ja verrattu alan kirjallisuustutkimuksesta saatuihin tietoihin.

Insinööriyön tulokset ovat koottu liitteisiin, jotka ovat luovutettu ainoastaan työn tilaajalle.

2 Aikakäsitteet kokoonpanotuotannossa

Ajalla on moniulotteinen vaikutus tämän päivän tuotantoon. Sen merkitys kasvaa tuotteiden elinkaarien lyhentyessä ja markkinoillepääsyajan supistuessa. Kokoonpanotyön osuus koko tuotteen kokonaistyöajasta voi olla jopa 40 %. Työajan tehokkaaseen hallintaan tulee siis kiinnittää tulevaisuudessa enemmän huomiota etenkin manuaalisessa kokoonpanotyössä, jossa aikakäsitteiden merkitykset poikkeavat hieman muista tuotantotavoista. Tässä luvussa tarkastellaan tuotannon aikakäsitteitä manuaalisen kokoonpanon näkökulmasta.

2.1 Työajan jakautuminen ja sen merkitys tuotantoon

Työaikaa ei voida käsitellä yhtenä ajanjaksona, joka kuuluu tiettyä työvaihetta suoritettaessa, eikä sillä voida käsitellä esimerkiksi yhden työvuoron pituutta. Tuotannon työaika jakautuu useampaan eri aikakäsitteeseen. Työvaiheen työaika jakaantuu asetus-aikaan, kappaleaikaan ja apu-aikaan. Näiden lisäksi on häiriöaikaa, joka muodostuu ennakoimattomista tapauksista, kuten sähkökatkoksista, konerikoista tai lakoista. [1, s. 49.] Kuvassa 1 on havainnollistettu työajan jakautuminen täsmällisempiin aikakäsitteisiin.



Kuva 1. Työajan jakautuminen [1, s. 50]

2.1.1 Asetusaika

Asetusaika koostuu tuotteen vaihtoon liittyvistä toimenpiteistä. Nämä toimenpiteet ovat välttämättömiä työaseman saattamiseksi valmiiksi tuotteen valmistusta varten. Asetusaika esiintyy kerran erää kohti. [1, s. 49.] Kokoonpanotyössä asetusaika muodostuu kokoonpantavien komponenttien, työskentelyssä tarvittavien työkalujen ja liitosmateriaalien asettamisesta työntekijän ottoetäisyydelle. Ideaalitulanteessa runkoyksikkö syötetään kokoonpanijan työasemalle kuljettimen avulla ja runkoyksikköön liitettävät komponentit liitosmateriaaleineen ovat työasemalla valmiina työn suorittamista varten. Tällainen ideaalitulanne on mahdollista saavuttaa yksinkertaisten komponenttien kokoonpanotehtävissä kokoonpanolinjalla, jossa työnositus on viety äärimmäisen pitkälle, lähes automatisoitavalle tasolle. Vaativampien ja suurempien komponenttien kokoonpanotehtävissä ideaalitulanteisiin ei päästä, jolloin asetusaika esiintyykin kerran jokaista komponenttia kohden, vaikka ne kuuluisivatkin samaan valmistuserään. Näissä tilanteissa asetusajan osuus työnvaiheajasta kasvaa merkittävästi.

2.1.2 Kappaleaika

Kappaleaika muodostuu kolmesta ajan elementistä: pääajasta, sivuajasta ja menetelmähäiriöajasta.

Pääaikana tapahtuu varsinainen jalostava työ, eli tuotteen arvoa lisätään muokkaamalla sen ominaisuuksia [1, s. 50]. Manuaalisessa kokoonpanotyössä pääaikana tapahtuu komponenttien liittäminen toisiinsa. Kokoonpanotyön pääajan osuus voi jäädä hyvinkin pieneksi kokonaistyöajasta, varsinkin jos liitostyö suoritetaan pääasiassa ruuvi- tai napsausliitoksilla. Pääajan osuutta ei voi korostaa liikaa, sillä vain liittäminen kohottaa tuotteen jalostusarvoa.

Sivuaika koostuu pääosin työkoneen liikkeistä: Työkappale tuodaan ja kiinnitetään oikeaan asemaan. Jalostavan työn lomassa työkone vaihtaa työkaluja ja paikoittaa ne oikein. Tarvittaessa työkone tekee myös mittauksia. Lopuksi työkappale irroitetaan siirretään pois työkoneelta. [1, s. 50–51.] Kokoonpanotyössä sivuaika muodostuu työkappaleen, työkappaleeseen liitettävien komponenttien, työkalujen ja liitosmateriaalien siirtelystä työpisteellä. Sivuaikaan lukeutuvat myös työohjeiden seuranta ja niiden mukaiset mittaukset. Käytännössä sivuaika on niin tiiviisti kytköksissä kokoonpanon pää-

aikaan, ettei niitä voi työnvaiheaikamittauksissa erottaa toisistaan. Periaatteessa sivuaika ei kuitenkaan jalosta tuotetta.

Menetelmähäiriöaika muodostuu menetelmään sidottuista häiriöistä. Tuotannossa häiriöt ovat kuitenkin toisin paikoin välttämättömiä, ja toisaalta ne ovat kriittisiä tehokkuudelle. Tämän takia niitä on seurattava. [1, s. 51.] Kokoonpanotyössä kaikki toiminnot, jotka aiheuttavat turhia liikkeitä, siirtoja ja odottelua, muodostavat menetelmähäiriöaikaa. Menetelmähäiriöajan tunnistaminen ja sen pois kitkeminen on haastavaa, sillä suurin osa kokoonpanotyöstä on materiaalien siirtoja, käsittelyä ja varastointia.

2.1.3 Apuaika

Apuaika on tuotantoedellytysten ylläpitoon kuluva aika. Tyypillisiä syitä apuajan tarpeeseen ovat terien kuluminen ja terävien terien vaihtaminen koneisiin. [1, s. 51.] Manuaalisessa kokoonpanotyössä apuaika muodostuu samalla tavalla työkalujen kunnon ylläpitämisestä, mutta myös työpisteen toimintakunnon ylläpitämisestä. Varsinkin 5S-laaturyökalun yleistyttyä, kokoonpanijat joutuvat ylläpitämään työpisteensä siisteyttä tarkkaavaisemmin. Toki tämä lisää työskentelytehokkuutta. Myös komponenttien puhdistukset kuuluvat kokoonpanon apuaikaan. Henkilökohtainen apuaika koostuu työntekijän elpymisajasta työsuoritusten välissä sekä mm. WC:ssä käynneistä. Henkisen apuajan merkitys ja määrä korostuvat varsinkin pitkälle ositetussa kokoonpanotyössä, jossa työn monipuolisuus on kärsinyt. Yksitoikkoinen ja pakkotahtinen työ ei ole inhimillistä. Mikäli työn luonne ei ole muutettavissa, voidaan puutteita kompensoida henkisellä apujalla ja muilla virikkeillä.

2.2 Yksikön valmistusaika

Kokoonpanoyksikköä suunniteltaessa tai sen toimintaa tehostettaessa tulee huomioida kaikkia edellä mainittuja aikakäsitteitä, mutta niiden lisäksi on yksikölle määritettävä valmistusaika. Jos valmistusyksikössä on avainkone (pullonkaula), yksikön valmistusaika juoksee tämän koneen ajan mukaan, ja mikäli yksikössä on toistensa korvaavia koneita, valmistusaika on koneiden aikojen summa [1, s. 52]. Kokoonpanotyössä valmistusaika juoksee sen vaiheen mukaan, joka vie suurimman osan ajasta. Tämä työnvaihe voi olla, joko osa- tai pääkokoonpanovaihe tilanteesta riippuen. Yksikön valmis-

tusaikaa käytetään yksikön ja sen valmistavan tuotteen laskennallisessa tarkastelussa: kapasiteettia, kuormaa ja kustannusvirtaa laskettaessa.

2.3 Läpäisy aika

Läpäisy aika muodostuu jonkin toimintakokonaisuuden alkamisesta sen valmiiksi tulemiseen. Läpäisy aika voidaan määritellä koko tilaukselle tai erikseen sen osakokonaisuuksille: valmistukselle, osavalmistukselle, kokoonpanolle yms. [1, s. 53.] Manuaalisessa kokoonpanossa läpimeno aika muodostuu pääosin materiaalien siirroista, käsittelystä ja odottamisesta. Jalostavan liitostyön osuus läpäisy ajasta on kokoonpanossa pieni. Voidaan todeta, että tällaisessa tuotannossa läpäisy ajalla voidaan peilata parhaiten tuotantoyksikön ongelmakohtien merkitystä verrataen muihin tuotantotapoihin. Läpäisy ajan lyhentäminen on suoraan suhteessa toiminnantason parantamiseen.

Tutkittaessa manuaalisen kokoonpanon läpäisy aikaa on huomioitava, että ihmisen normaalijoutisuus on muuttuja, joka ei ole vakio. Tästä syystä kokoonpanotyön läpäisy ajoissa on suurempi hajonta kuin esimerkiksi lastuavan työn läpäisy ajoissa. Mitä suurempi osa kokoonpanotyöstä on ihmisen vastuulla (materiaalin käsittely, liittäminen manuaalityökaluilla, tarkistukset yms.), sitä suurempi on läpäisy ajan hajonta. Hajonnan pienentämiseksi ja tarkemman läpäisy ajan määrittämiseksi on toistomittauksilla keskeinen rooli manuaalisessa kokoonpanotyössä.

Kokoonpanotyö vaatii suuren osan koko valmistusjärjestelmän lattiapinta-alasta. Itse työn tilankäyttöosuuden lisäksi kokoonpanolle on ominaista suuri keskeneräisen työn (KET, WIP) määrä. Keskeneräisen työ lisää yrityksen kiinteitä kustannuksia ja vaihtomaisuuden määrää. Kokoonpanopaikkojen pinta-alaa voi olla vaikea supistaa, mutta lyhentämällä kokoonpanon läpimeno aikaa voidaan myös pienentää keskeneräisen työn määrää. Manuaalisessa kokoonpanotyössä läpäisy aikaa voidaan lyhentää esimerkiksi yhdistämällä kokoonpanovaiheita yhteen työvaiheeseen ja ajoittamalla materiaalityömitukset juuri oikeaan tarpeeseen.

2.4 Hukka-aika

Tuotannossa arvoa tuottamattomat toiminnot, jotka käyttävät resursseja (ja siten aiheuttavat kustannuksia), mutta eivät lisää tuotteen arvoa, luokitellaan hukaksi. [2, s. 359]. Kokoonpanossa hukka-aikaa muodostuu helposti työn luonteenpiirteen takia. Hukka-aikaa lisääviä toimintoja ovat tavallisesti

- materiaalitoimitusten odottaminen
- ylimääräiset materiaalien siirrot
- turhat ihmisten liikkeet
- turha varastointi.

Edellä mainittuja, hukka-aikaa lisääviä toimintoja, voidaan havaita kaikissa tuotantotyypeissä, mutta nykyaikaiselle kokoonpanotyölle ominainen hukka on sovitustyö. Sovitustyö on jäännös entisajan kokoonpanotyöstä, jolloin osavalmistuksen valmistustoleranssit eivät olleet riittävän kehittyneitä.

Monet modernit tuotannon kehitys- ja johtamistavat perustuvat toimintojen optimointiin ja lisäarvoa tuottamattoman toiminnan karsimiseen. Lean-toimintatapa keskittyykin juuri hukkan poistamiseen ja soveltuukin erittäin hyvin kokoonpanotyön tehostamiseen. Lean-toimintatapaa käsitellään tarkemmin luvussa 4.2.

3 Työnvaiheikatutkimus

Tuotantoprosessin ja valmistusjärjestelmän suunnittelu aloitettiin ABB Drivesin tehtaalla suorittamalla työnvaiheikatutkimus. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli kerätä tietoa ACS880-07-taajuusmuuttajien valmistusajoista sekä alustavan valmistusprosessin ja -protokollajärjestelmän puutteista. Mittaustulosten perusteella taajuusmuuttajien työt jaettiin tasaisesti työnvaiheisiin ja suunniteltiin työvaiheiden ympärille tehokkaasti toimiva tuotantojärjestelmä.

3.1 Työajan mittausmenetelmät ja tutkimuskohde

Työnvaiheikamittauksen tutkimuskohteiksi valittiin taajuusmuuttajia useammasta eri runkokokoluokasta. Tällä haluttiin varmistaa mahdollisimman laaja otanta uusien taajuusmuuttajien tuoteperheestä. Sen lisäksi runkokoot ovat suoraan suhteessa valmistusajan pituuteen: mitä suurempi taajuusmuuttaja, sitä pidempi valmistusaika. ACS880-taajuusmuuttajia valmistetaan kuudessa eri runkokoossa: R6-R8-runkokoon taajuusmuuttajat edustavat kooltaan pienimpiä ja valmistusajoiltaan lyhyimpiä kaapitettuja taajuusmuuttajia. R9-luokan kaapitetut muuntajat ovat tuoteperheen keskikokoisia malleja. R10–R11 runkokoon taajuusmuuttajat ovat ACS880-taajuusmuuttajista suurimpia ja niiden valmistusaika on pisin. Liitteissä 1 ja 2 on esitelty ACS880-07-taajuusmuuttajien tarkat tuotetiedot, mittoineen ja teholuokkineen ja liitteissä 3 ja 4 selitetään taajuusmuuttajien tyyppikoodit.

Jokaisen mittauksen runkona toimi ACS880-07-asennusohje, josta oli spesifioitu versio mitattavan runkokoon taajuusmuuttajalle. Työohjeen tarkoituksena oli helpottaa mittaajan työnkulun seuranta ja eri työvaiheiden kokoonpanotoimintojen erottelua. Jokaiselle kokoonpanotoiminnolle tai kokoonpanotoimintojen kokonaisuudelle oli tarkoitus mitata yksilöity aika. Nämä osa-ajat toimisivat työvaihesuunnittelun perustana, ja niiden avulla pystyttäisiin laskemaan tutkimuskohteen läpäisy aika. Mittauslaitteena käytettiin matkapuhelimen sekuntikelloa. Matkapuhelimen digitaalisen sekuntikellon todettiin olevan tarkoitukseen sopiva mittausväline, sillä se näyttää kuluneen ajan sekunnin sadasosien tarkkuudella ja sen pisin mittattava aika voi olla jopa yli tunnin. Mittauksien mittaustarkkuudeksi määritettiin ± 1 sekunti, koska se antaisi tarkan kokonaismittaustuloksen yhden taajuusmuuttajan kokoonpanotyöstä. Yhden taajuusmuuttajan valmistusajaksi arvioitiin kahdeksan työpäivää (työpäivän työaika on 7,5 tuntia) eli 60 tuntia.

Työnvaiheikamittaukset suoritettiin ABB Drivesin tehtaalla, Industrial Cabinet Drivesin (ICD) tuoteverstaalla. ICD:n tiloihin uudelle tuotteelle oli rakennettu pääkokoonpanoyksikön prototyyppi. Prototyyppi oli neljään vaiheeseen jaettu kokoonpanolinja, jossa suoritettiin ACS880-07-taajuusmuuttajien pääkokoonpanovaiheiden aikamittaukset. Taajuusmuuttajien osakokoonpanojen ajat mitattiin ICD:n osakokoonpanosolussa, jossa valmistettiin osakokoonpanot sekä vanhoille ACS800-taajuusmuuttajille että uusille ACS880-taajuusmuuttajille. Työasemiin oli kerätty valmiiksi kaikki työvaiheessa tarvittava materiaali, jotta pystyttäisiin simuloimaan valmistuksen ideaalitulokset, joka oli

työn tilaajan toivomus. Työnvaiheiden asetusaikoja ja työntekijöiden henkilökohtaista apuaikaa ei siis ollut tarkoitus mitata, vaan mittauksissa keskityttiin ainoastaan jalostavan ajan ja hukka-ajan selvittämiseen. Mittaustulokset kerättiin taulukkoon, jotka siirrettiin tulosten analysointivaiheessa Excel-ohjelmaan. Taajuusmuuttajien variaatiomäärien takia jokainen osa- ja pääkokoonyömyös kuvattiin, jotta välttyttäisiin väärinkäsityksiltä.

3.2 ACS880-07-0246A-3+E200+F250+K473+L505+Q951+R708-taajuusmuuttajien työnvaiheikamittaus

Ensimmäisen työnvaiheikamittauksen mittauskohteiksi valittiin kaksi identtistä taajuusmuuttajaa, jotka olivat runkokooltaan R8. Kahden identtisen laitteen mittauksen todettiin antavan luotettavamman mittaustuloksen. Mittaustuloksen todettiin myös olevan sovellettavissa R6–R8-kokoisten taajuusmuuttajien valmistusaikojen arviointiin. Taajuusmuuttajat olivat tyyppikoodiltaan ACS880-07-0246A-3+E200+F250+K473+L505+Q951+R708. Jo itsessään tyyppikoodi on havainnollistava esimerkki ABB:n taajuusmuuttajien variaatioiden määrästä. Tyyppikoodin +-koodit ovat asiakkaan valikoimia optioita, joiden avulla taajuusmuuttajat räätälöidään asiakkaiden tarpeisiin sopiviksi. Liitteiden 3 ja 4 avulla kyseisen taajuusmuuttajan tyyppikoodi aukeaa täydelliseksi tuotekuvaukseksi.

Työnvaiheikamittaus suoritettiin 2.9.2013–20.9.2013 ICD:n tuotantoyksikössä. ACS880-07-0246A-3+E200+F250+K473+L505+Q951+R708-taajuusmuuttajien kokoonpanovaiheet mitattiin vaihe kerrallaan: 1. taajuusmuuttajan 1. työnvaihe, 2. taajuusmuuttajan 1. työnvaihe, jne. Mittaajan tehtävänä oli aikatutkimuksen ohessa tarkistaa mittauksen apuna käytetty R6–R8-työohje, sekä dokumentoida mahdollisesti ilmevät puutteet ja virheet. Puutteiden tarkastelussa otettiin myös huomioon työaseman työkalu- ja liitosmateriaalipuutteet. Laaduntarkkailun parantamiseksi mitattiin pääkokoonyömyö tarkistusajat. Tarkistusmetodina: seuraavan työnvaiheen työntekijä tarkisti edellisen työnvaiheen työt tarkistuslistan mukaan. Tällä haluttiin tulkita työntekijöiden omaa laaduntarkkailukykyä. Tähän asti ICD:llä laaduntarkkailun on hoitanut ulkopuolinen laatutiimi.

3.2.1 Osakokoonpano

Taajuusmuuttajien ensimmäisenä valmistusprosessin vaiheena mitattiin niiden osakokoonpanot. Osakokoonpanojen mittaukset suoritettiin ICD-tuoteverstaan osakokoonpanosolussa. Molempien taajuusmuuttajien osakokoonpanojen kokoonpanijana toimi sama henkilö, joten työntekijöiden tasoerot eivät tuottaneet hajontaa osakokoonpanojen mittausten osalta.

Osakokoonpanoja oli yhteensä 12 kappaletta, jotka on eritelty liitteessä 8. Osakokoonpanot olivat standardikokoonpanoja ja siksi kokoonpanijalle tuttuja, taajuusmuuttajan ovea lukuun ottamatta. Taajuusmuuttajan ovet oli ennen mittausta rakennettu vasta pääkokoonpanovaiheessa. Tästä syystä oven rakentamisessa oli muita osakokoonpanoja enemmän opeteltavaa.

3.2.2 Pääkokoonpano

ACS880-07-taajuusmuuttajien pääkokoonpanoa varten ICD:n tuoteverstaaseen oli rakennettu neljään eri vaiheeseen jaettu kokoonpanolinja, jossa pääkokoonpanojen työnvaiheaikatutkimus suoritettiin. Ensimmäinen kokoonpanovaihe muodostui taajuusmuuttajan rungon kasauksesta. Toisessa vaiheessa runkoon pääasiassa kiinnitettiin moduuloitu taajuusmuuttaja sekä osakokoonpanossa valmistetut pääkytkin ja kontaktori. Toiseen vaiheeseen sisältyi myös liitettyjen komponenttien välistä kytkentätöitä. Kolmas työnvaihe koostui loppujen osakokoonpanojen kiinnityksestä ovea lukuunottamatta. Kolmannessa vaiheessa suurimman osan ajasta vei kaikkien komponenttien välinen kytkentätöitä. Viimeisessä, neljännessä vaiheessa taajuusmuuttajaan asennettiin ovi, katto ja seinät. Liitteessä 8 on pääkokoonpanojen valmistumista havainnollistettu kuvien avulla.

Pääkokoonpanojen aikautuksessa samaa työvaihetta oli tekemässä useampi työntekijä. Työntekijöiden normaalijoutuisuutta ei mittauksissa eroteltu, mutta eri asennustyyleistä koituneet komplikaatiot eli toisen työntekijän työnkorjaukset jätettiin mittauksessa huomioimatta. Pääkokoonpanoja suorittaneet työntekijät olivat erikoistuneet linjatyypiseen kokoonpanotyöhön ja olivat ehtineet valmistaa uusia ACS880-taajuusmuuttajia muutamia kappaleita jo ennen työnvaiheaikatutkimusta. Tästä syystä työntekijöiden ei tarvinnut opetella uutta työtä, kuten oven osakokoonpanovaiheessa kävi.

3.2.3 Mittaustulokset

Työnvaiheikatutkimuksen ensimmäisen mittauksen tarkoituksena oli nimenomaan hahmottaa alustavasti suunnitellun valmistusprosessin ongelmakohdat, ja saada yleiskäsitys R6–R8-kokoisten taajuusmuuttajien valmistusajoista. Koska opinnäytetyön tilaajan toiveena mitattiin ideaalista valmistusaikaa, ei työnvaiheikaan sisällytetty asetus- ja apuaikaa, ainoastaan kappaleaika. Kappaleajasta oli mittauksissa mahdotonta erotella pää- ja sivuaikoja, joten mittaustuloksissa ne muodostavat tuotetta jalostavan ajan. Menetelmähäiriöaika tulkittiin hukka-aikana, joka eroteltiin jalostavasta ajasta.

Jalostavan ajan merkityksen takia jokaisen kokoonpanotoiminnon aika eriteltiin erittäin tarkasti. Kokoonpanotoimintojen osa-ajat koottiin Excel-ohjelmaan, jonka avulla laskettiin jokaiselle kokoonpanotoiminnolle ja työnvaiheelle keskiarvo. Nämä laskelmat tuloksineen toimivat aikaan perustuvan valmistusprosessisuunnitelman perustana. Liitteessä 5 on esitelty jalostavan ajan mittaustulokset laskelmineen.

Ideaalitilanteesta huolimatta sekä osa- että pääkokoonpanovaiheessa mittauksiin kertyi menetelmähäiriöaikaa. Tätä hukka-aikaa aiheuttivat pääasiassa materiaalipuutteet niin liitettävien komponenttien, liitosmateriaalien ja työkalujenkin osalta. Vaikea- tai monitulkintaisten ohjeiden luku luettiin puutteiden lailla hukka-ajaksi. Työnvaihetutkimuksessa kiinnitettiin myös huomiota alihankkijoiden toimittamiin komponentteihin. Alihankintaverkoston toimittaneet vialliset komponentit aiheuttivat korjaus- ja sovitustyötä, minkä johdosta myös ne otettiin huomioon hukka-aikalaskelmissa ja puutemerkinnoissa.

Liitteessä 6 on esitetty yhteenveto mittaustuloksista. Yhteenvedon tarkoituksena on havainnollistaa hukka-aikojen prosentuaalisen osuuden suuruutta kokonaistyöajasta. Voidaankin todeta, että korjaamalla yksinkertaisia asioita, kuten tuomalla asennusmateriaali lähemmäksi asentajaa ja selkeyttämällä työohjeita, voidaan saavuttaa merkittäviä parannuksia valmistuksen läpäisyajoissa. Menetelmähäiriöiden korjausta varten kaikki mittauksissa havaitut puutteet ja parannusehdotukset koottiin samaan dokumenttiin (liite 7), joka jaettiin ICD-tuoteverstaan johdolle.

Mittaustulokset paljastavat alustavan valmistusprosessin tehokkuuden myös kokonaistyöaikataarkastelussa. Tässä tarkastelussa mitattuja työaikoja verrattiin työntekijöiden merkitsemiin työnvaiheiden aloitus- ja lopetuskuittauksiin SAP-toiminnan-ohjausjärjestelmässä. SAP:iin tallentuivat aikaleimat jokaisesta työnvaiheen aloitus- ja

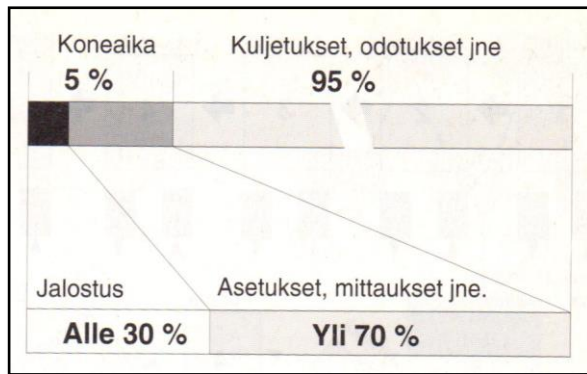
lopetusajankohdasta, ja näistä saatiin ajettua aikaleimalista. Aikaleimalistan pohjalta muodostettiin taulukkolaskelma Excel-ohjelmalla. Liitteessä 9 esitetystä työajan jakautumista kuvaavassa työaikalaskelmassa lasketaan yksittäisistä työvaiheiden aikaleimoista työvaiheille kokonaistyöajat ja näitä aikoja verrataan työvaiheaikatutkimuksessa saatuihin tuloksiin. Lopputuloksena saatiin työn jalostavan ajan osuus kokonaistyöajasta (17,91 %) ja varsinaiseen kokoonpanotyön osuus kokonaistyöajasta (24,54 %). Näissä laskelmissa on huomioitava, että työtehtävien kokonaisaika rajoittuu työvaiheiden sisälle. Työvaiheiden välistä aikaa ei ole näissä laskelmissa huomioitu. Työvaiheiden välillä asetettiin työpiste valmiiksi kokoonpanoa varten, eli järjestettiin työpiste edellisen vaiheen jäljiltä, ja etsittiin uudessa vaiheessa tarvittavat materiaalit. Tämä valmistava, eli asetus aika voidaan sisällyttää työaikalaskelmaan käyttämällä työvaiheiden aloitus- ja lopetusaikojen sijasta pelkästään työpäivän pituutta. Tällöin varsinaisen kokoonpanotyön osuudeksi kokonaistyöajasta saadaan 39,83 % ja jalostavan ajan osuudeksi kokonaistyöajasta 28,84 %.

Työajan jakautumista kuvaavat tulokset ovat saatu kaavan 1 avulla:

$$t_t = \frac{\sum t_m}{\sum p * t_p} * 100 \quad (1)$$

jossa t_t on jalostava/ työvaiheaika, $\sum t_m$ on mittaustuloksien summa (ks. liite 6), $\sum p$ on työhön kulutettujen työpäivien summa (7 pv/taajuusmuuttaja), t_p on työpäivän työaika/ työvaiheiden pituuksien summa (ks. liite 9).

Mittaustulosten perusteella tehdyt laskelmat ovat verrannollisia Rönttän esittämään työajan jakautumiseen funktionaalisessa, työntöohjauksella toimivassa tuotantoprosessissa. Tällaisessa organisaatiossa vain murto-osa työpäivän työajasta kulutetaan tuotteen jalostusarvon nostamiseen. Suurin osa ajasta kuluu kuljetuksiin ja odotuksiin. [3, s. 53–55.] Kuvassa 2 on havainnollistettu työajan prosentuaalista jakautumista jalostavaan ja epäjalostavaan aikaan.



Kuva 2. Työajan jakautuminen funktionaalisessa organisaatiossa [3, s. 55]

3.3 ACS880-07-0271A-7+E205+R706-taajuusmuuttajan työnvaiheaikamittaus

Taajuusmuuttaja ACS880-07-0271A-7+E205+R706 valittiin kolmanneksi mittauskohdeeksi, koska se edustaa suurempaa runkokokoluokkaa R9. Tämä taajuusmuuttaja on myös teholuokaltaan kahta edellistä mittauskohdetta suurempi. Liitteessä 2 on esitetty ACS880-07-0271A-7+E205+R706-taajuusmuuttajan tarkemmat tuotetiedot ja liitteessä 4 sen tyyppikoodien merkitykset.

ACS880-07-0271A-7+E205+R706-taajuusmuuttajan työaikatutkimuksessa keskityttiin pelkästään jalostavan ajan mittaamiseen tarkoituksena saada parempi käsitys tuotevariaatioiden vaikutuksesta työnvaiheaikojen vaihteluihin. Taajuusmuuttajan mittaukset suoritettiin 7.10–22.10.2013.

3.3.1 Osakokoonpano

Taajuusmuuttajan ensimmäisenä valmistusprosessin vaiheena mitattiin niiden osakokoonpanot. Osakokoonpanojen mittaukset suoritettiin ICD–tuoteverstaan osakokoonpanosolussa. Osakokoonpanoja oli yhteensä 12 kappaletta, jotka on eritelty liitteessä 11. Työntekijä, joka oli valmistanut ACS880-07-0246A-3+E200+F250+K473+L505+Q951+R708-taajuusmuuttajan osakokoonpanot, valmisti myös tämän taajuusmuuttajan osakokoonpanot. Näin ollen ovenkaan valmistaminen osakokoonpanona ei ollut työntekijälle enää vierasta.

3.3.2 Pääkokoonpano

ACS880-07-0271A-7+E205+R706-taajuusmuuttajan kokoonpano suoritettiin ICD-tuotantoyksikössä, ACS880-07-taajuusmuuttajien pääkokoonpanolinjalla. Työnvaiherakenteen oli tarkoituksena olla samanlainen kuin aikaisemmissakin mittauksissa: rungon koonti, osakokoonpanojen asennus, johdotus ja verhoilu, eli seinien, katon ja oven asennus. Pääkokoonpanovaiheen valmistuskuvat ovat esitetty liitteessä 11.

Pääkokoonpanon toisessa vaiheessa, osakokoonpanojen asennusvaiheessa, taajuusmuuttajan valmistukseen tuli noin viiden työpäivän mittainen keskeytys puuttuvan komponentin johdosta. Tämän komponenttipuutteen ja työnjohdollisen informaatiokatkoksen takia pääkokoonpanon toisesta vaiheesta jäi mittaamatta 120 minuutin työmäärä. Työmäärään sisältyvät kokoonpanotoiminnot selvitettiin pääkokoonpanijan haastattelulla, jonka jälkeen kokoonpanotoimintojen valmistusajat arvioitiin laskennallisesti. Haastattelussa kävi ilmi, että yksi kokoonpanotoiminto oli vienyt 1/3:n 120 minuutista ja muut kokoonpanotoiminnot olivat olleet kestoltaan suunnilleen samanmittaisia. Tämä seikka otettiin huomioon työaikojen laskennallisessa arviossa.

Kokoonpanotoimintojen arvioidut ajat laskettiin kaavan 2 avulla:

$$t_l = \frac{t_{kok}}{k_m} * t_t \quad (2)$$

jossa t_l on kokoonpanotoiminnon laskennallinen aika, t_{kok} on kokoonpanotoimintoihin kulunut aika, k_m on kokoonpanotoimintojen määrä, t_t on jalostavan ajan osuus työntekijän kokonaistyöajasta (ks. liite 9).

Komponenttipuutteen aiheuttaman mittausvajeen lisäksi taajuusmuuttajan pääkokoonpanon työvaiheistus kärsi. Toimitusvarmuuden pitämiseksi taajuusmuuttajan loput kokoonpanotoiminnot suoritettiin alustavasta työvaiheistuksesta välittämättä. Tästä aiheutunut epätavallinen kokoonpanojärjestys ei vaikuttanut mittaustuloksiin, sillä jokaisen kokoonpanotoiminnon jalostava aika mittattiin erikseen.

3.3.3 Mittaustulokset

ACS880-07-0271A-7+E205+R706-taajuusmuuttajan mittaustulokset käsiteltiin samalla periaatteella kuin työvaiheikatutkimuksen ensimmäisessä mittauksessa vertailukelpoisuuden saavuttamiseksi. Tämä vaati sitä, että yksittäiset kokoonpanotoiminnot järjestettiin Excel-ohjelmaan alkuperäisen työvaiheistus suunnitelman mukaisesti. Kokoonpanoprosessin suunnittelussa tämän taajuusmuuttajan mittaustuloksia tullaan vertaamaan tarkemmin aikaisempiin mittaustuloksiin ja näiden vertailujen pohjalta tuotantoprosessi suunnitellaan tehokkaammaksi. ACS880-07-0271A-7+E205+R706-taajuusmuuttajan yksityiskohtaiset mittaustulokset ovat esitetty liitteessä 10.

Mittaustulokset paljastavat tuotevariaatioiden merkittävän vaikutuksen taajuusmuuttajien valmistusaikoihin. Lähtökohtainen oletamus suuremman runkokoon aiheuttamasta valmistusajan pidentymisestä kumoutuu ACS880-07-0271A-7+E205+R706-taajuusmuuttajan mittaustulosten perusteella. Vähemmän optioita sisältänyt ACS880-07-0271A-7+E205+R706-taajuusmuuttaja valmistui ajassa 11 h 53 min 10 s, joka on noin 3 h 15 min nopeammin kuin ACS880-07-0246A-3+E200+F250+K473+L505+Q951+R708-taajuusmuuttajan valmistus. Voidaankin todeta, että virtautetun tuotannon kannalta optioiden määrällä on suurempi vaikutus taajuusmuuttajien läpäisyajoihin kuin runkoko'oilla. Tämä havainto vakiinnuttaa lähestymistavan taajuusmuuttajien kokoonpanoprosessin suunnitteluun.

Pääkokoonpanossa tapahtuneen komponenttipuutteen aiheuttaman mittausvirheen suuruutta on mahdotonta arvioida tarkasti, sillä mittaustuloksiin vaikuttavia muuttujia on liikaa. Mittausvirhe voidaan kuitenkin ilmoittaa mittaustuloksen maksimivirheenä eli suurimpana mahdollisena poikkeamana tuloksesta. 120 minuutin aikana työntekijä ehti suorittaa 10 kokoonpanotoimintoa. Näin ollen jokaisen kokoonpanotoiminnon suoritusajan maksimivirheeksi muodostui 9 min 51 s. Liitteessä 10 laskennallisesti arvioidut valmistusajat ovat erotettu mitatuista tuloksista punaisella värillä.

Mittausvirhe laskettiin kaavan 3 avulla:

$$t_v = \frac{(t_{kok} - t_{kok} * t_t)}{k_m} \quad (3)$$

jossa t_v on kokoonpanotoiminnon ajan maksimivirhe, t_{kok} on kokoonpanotoimintoihin kulunut aika, k_m on kokoonpanotoimintojen määrä, t_t on jalostavan ajan osuus työntekijän kokonaistyöajasta (ks. liite 9).

Vaikka maksimivirheen suhde laskennallisiin työaikoihin verrattuna on erittäin suuri, on sen toteutumisen todennäköisyys erittäin pieni. Toteutuakseen työntekijän olisi pitänyt nostaa tuotteen jalostusarvoa yhtäjaksoisesti 120 min:n ajan. Näin intensiivinen yhtämittainen suorittaminen on ihmiselle äärimmäisen haastavaa, sillä ihminen luotaisesti pyrkii hankkimaan itselleen hieman elpymisaikaa jokaisen suoritettujen toiminnon välillä. Tästä syystä voidaankin todeta, että mittaustulokset ovat onnistuneita mittausrvirheestä huolimatta.

4 Aikaan perustuva johtaminen TBM

Tässä luvussa käsitellään aikaan perustuvan johtamisen, eli TBM:n (Time Based Management) peruskäsitteitä. Tavoitteen on soveltaa TBM:n oppeja ACS880-taajuusmuuttajien tuotantoprosessin tehostamisessa ja uudelleensuunnittelussa.

TBM on prosessilähtöinen toiminnan kehittämisen lähestymistapa, jossa painotetaan ajan merkitystä kriittisenä resurssina. TBM:n tavoitteena on läpimenoaikojen radikaali parantaminen eliminoimalla epäjalostavaa aikaa eli hukkaa. Lyhentämällä läpimenoaikoja voidaan tehostaa tuotteen markkinoillepääsyaikaa (time-to-market), jonka merkitys on viime vuosien aikana korostunut tuotteiden eliniän lyhentymisen johdosta. Aikaan perustuva kilpailu korvaakin yhä useammin perinteiset kilpailustrategiat. [2, s. 153–155.]

Aikaan perustuvan johtamisen käsitteet ja metodit eivät ole uusia, vaan TBM sitoo yhteen tuotantofilosofioita ja toimintaperiaatteita, joissa ajan merkitys korostuu. Seuraavaksi tarkastellaan niitä TBM:n toimintamalleja, jotka on sovellettavissa ACS880-taajuusmuuttajien tuotantoprosessiin.

4.1 Juuri oikeaan tarpeeseen, JOT-tuotanto

Juuri oikeaan tarpeeseen- eli JOT-tuotanto tarkoittaa materiaalien ja osien toimitusta oikeamääräisinä seuraavaan työasemaan juuri sillä hetkellä kun, niitä tarvitaan. JOT-tuotanto kehitettiin minimoimaan keskeneräisen tuotannon (KET) määrää ja lyhentämään tuotannon läpäisyäikää. [4, s. 790.] Vähentämällä KET:n määrää säästetään tuotannon lattiailaa ja näin kiinteitä kustannuksia. Samalla vaihto-omaisuuden määrä pienenee.

JOT-filosofian perimmäisenä tarkoituksena on virtaviivaistaa tuotantoa tehostamalla materiaali- ja informaatiovirtoja eri osapuolien välillä. Tämä tiivistää alihankkijoiden, kuljetusyritysten ja valmistajan suhdetta. Hyväksytyjen alihankkijoiden määrä pienenee radikaalisti, sekä kuljetusten lukumäärä kasvaa kuljetuserien pienentyessä. [2, s. 164.]

JOT-tuotanto perustuu visuaaliselle lattiataason tuotannonohjaukselle ja kerralla valmiiksi -periaatteelle. Tästä syystä JOT onkin erittäin herkkä häiriöille ja vaatiikin äärimmäisen luotettavia alihankkijasuhdetta ja tuotantoprosessin täsmällisyyttä. JOT-tuotanto ei edellytä monimutkaisia tietojärjestelmiä vaan on toteutettavissa yksinkertaisilla informaatiojärjestelmillä. [2, s. 166.] Ennen kaikkea niin JOT-tuotanto kuin muutkin laatua ja tehokkuutta parantavat toimintatavat vaativat tuotantoyksikön henkilöstön haluukkuutta tehostaa ja muuttaa oman työympäristönsä toimintaa.

JOT-tuotanto on osoittautunut erittäin tehokkaaksi suurivolumisessa tuotannossa, jossa tuotanto-operaatiot ovat toistuvia. Hyvä esimerkki tällaisesta tuotannosta on autoteollisuus. Autoteollisuudessa KET:n painoarvo korostuu, sillä suurten erien valmistamiseksi joudutaan tuottamaan myös suuri määrä komponentteja tuotetta kohden. [4, s. 790.] Vaikka ABB Drivesin ICD-tuotantoyksikön tuotantovolyyymi ei vastaakaan autoteollisuuden tuotantovolyymeja, on komponenttien määrä tuotetta kohden autoteollisuuden verrannollinen. JOT-tuotanto on sovellettavissa ICD:n tuotantoyksikössä erityisesti tuotantojärjestelmien sisäisissä toiminnoissa sekä yksikköä avustavien tukitoimintojen, erityisesti materiaalikeräilyyn, tehostamisessa.

4.2 Lean-tuotanto

Käsiteltäessä aikaan perustuvaa johtamista ei voida ohittaa Lean-tuotantotapaa. Lean-toimintamalli on kehitetty Japanissa Toyotan tuotantoperiaatteiden pohjalta. Sen tarkoituksena on saada aikaan enemmän arvoa asiakkaalle käyttämällä vähemmän resursseja. Lean-tuotantoa kuvataankin kevyenä ja joustava, johon ei sisälly mitään turhaa, vaan toiminnassa keskitytään asiakasarvon tuottamiseen. [2, s. 208; 6, s. 6–7.]

Lean-toimintaa voidaan kehittää monella eri tavalla, mutta tässä keskitytään tarkastelemaan Leanin käyttöä tavalla, jolla on suurin vaikutus tuotannon läpäisy aikaan. Lean-toimintamallissa tuottavuuden parantaminen ei perustu työtahdin kasvattamiseen vaan hukka-aikaa tuottavien toimintojen poistamiseen. Tällaiset toiminnot eivät lisää tuotteen jalostusarvoa. Tuotannon hukat jaetaan seitsemään helposti tunnistettavaan luokkaan:

- ylituotanto tarkoittaa tuotteiden valmistamista välitöntä tarvetta enemmän
- odottelu ja viivästykset eivät tuo arvoa asiakkaalle
- tarpeeton kuljettaminen ei lisää asiakasarvoa, vaan tuotannon hukka-aikaa
- laatuvirheet hukkaavat materiaaleja ja kapasiteettia
- tarpeettomat varastot lisäävät kustannuksia ja pidentävät läpäisy aika
- ylikäsittely tarkoittaa asiakkaan näkökulmasta merkityksettömien asioiden tekemistä
- tarpeeton liike työskentelyssä ei johda muuhun kuin työvaihe aikojen venymiseen [6, s. 10–11].

Tunnistamalla ja poistamalla edellä mainitut hukat tuotannosta voidaan ratkaisevasti lyhentää tuotannon läpäisy aika. Jo pienelläkin parannuksella on merkittäviä vaikutuksia: Läpimenoajan lyhentäminen ¼:lla parantaa usein työn tuottavuuden ja pääoman kierron kaksinkertaiseksi, mikä puolestaan vähentää kokonaiskustannuksia 20 % [2, s. 154].

ICD-tuoteverstaalla on otettu käyttöön jo Lean-toiminnan työkalu 5S, jolla systemaattisesti parannetaan työympäristön siisteyttä ja näin toiminnan tehokkuutta. Lean-filosofian mukainen hukkien poistaminen voidaankin nähdä vain luontaisena jatkumona ICD:n tuotannon jatkuvalle parantamiselle, jota Lean-kehitystoiminnassa kutsutaan nimellä Kaizen.

5 Kokoonpanoprosessin kehitys ja suunnittelu

Tässä kappaleessa käsitellään ACS880-taajuusmuuttajien tuotantoprosessin kehitystä. Tuotantoprosessin suunnittelun lähtökohtana on alan kirjallisuustutkimuksen havainnot ja työnvaiheikatutkimuksen mittaustulokset. Tutkimuksissa kerätyn datan pohjalta luodaan suunnitelma ACS880-taajuusmuuttajien kokoonpanoprosessista. Kokoonpanoprosessin suunnittelu jakautuu työnvaiheiden, tuotantojärjestelmän, layoutin ja tuotannonohjauksen uudelleen suunnitteluun.

5.1 Työvaihesuunnittelun perusteet

Työnvaihe on työkokonaisuus, joka voidaan tehdä yhdellä työpaikalla, yhtäjaksoisesti ja saman henkilöstön tekemänä. Työnvaiheiden väliin tulee toimenpiteitä, kuten siirtoja, tarkastuksia ja odotusta. Työnvaihe vaatii pääsääntöisesti oman ohjausimpulssinsa, joka taas puolestaan riittää vaiheen kaikkien osien käynnistämiseen. Peräkkäiset työnvaiheet muodostavat työnkulun, jota voidaan havainnollistaa työnvaihe- ja työnkulukaavioilla. Työnkulku on koko valmistusjärjestelmän suunnittelun perusta. [1, s. 47–48.]

Tuotannon suunnittelussa pyritään luomaan valmiudet, joilla operatiivinen toiminta saadaan tilauksen jälkeen pelkistettyä toteutukseksi. Työnvaihesuunnittelu on keskeinen toiminto valmistuksen suunnittelussa, jossa määritetään

- vaiheet, jotka tarvitaan
- vaiheiden työtoiminnot
- vaiheen tarvitsemat työvälineet ja -koneet

- vaiheen valmistusyksikkö, esimerkiksi solu. [1, s. 299, 313.]

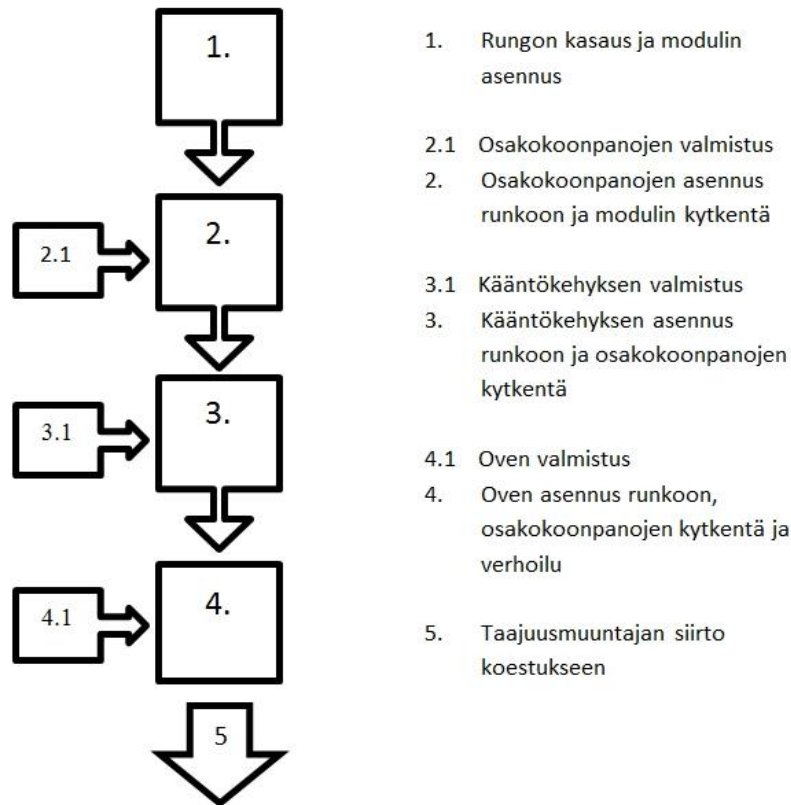
5.2 Työnvaihesuunnittelu ja työnkulku

ACS880-taajuusmuuttajien valmistuksessa työnvaiheiden suunnittelu aloitettiin tasamalla mitattujen taajuusmuuttajien pääkokoonpanojen työnvaiheajat. Taajuusmuuttajien pääkokoonpanot valmistettiin neljässä työnvaiheessa, jolloin tasausperusteena toimii näiden neljän työnvaiheen valmistusaikojen keskiarvo. Keskiarvon antamiin aikarajoihin suunniteltiin kunkin taajuusmuuttajan pääkokoonpanotoiminnot uudelleen, niin että ne ovat valmistusteknisesti järkeviä. Tämän lisäksi kiinnitettiin huomiota kokoonpanotoimintojen yhtenäistämiseen eri taajuusmuuttajien välillä samoissa työnvaiheissa. Uusi työnvaiheistus suunnitelma käytiin läpi kokeneen koneasentajan kanssa virheiden välttämiseksi.

Tutkimuskohteena olleiden taajuusmuuttajien työnvaiheajat kokoonpanotoimintoihin on esitetty liitteissä 12 ja 13. Työnvaihesuunnittelulla minimoitiin työnvaiheiden työaikavaihtelut. Lähtötilanteeseen verrattuna R8- ja R9-taajuusmuuttajien työnvaiheiden työaikavaihtelut pienentyivät min. 84 %. Työnvaiheikalaskelmissa myös merkittävä tulos oli se, että eri runkoluokkia edustavien taajuusmuuttajien pääkokoonpanoajkojen keskiarvot erosivat toisistaan vain noin 10 minuutilla. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että molemmat taajuusmuuttajamallit voitaisiin valmistaa samassa kokoonpanojärjestelmässä. Työnvaiheikas suunnittelun parannukset ovat esitetty tarkemmin liitteessä 14, lähtö- ja lopputilanteen vertailutaulukossa.

Työnvaiheiden lukumäärä vakiinnutettiin neljäksi, sillä sen todettiin olevan perusteltu, suunnitelmana hajauttaa osakokoonpano pääkokoonpanovaiheiden yhteyteen. Työnvaihesuunnittelun tulokset tukevat tätä suunnitelmaa myös osakokoonpanojen osalta. Työnvaihesuunnittelussa osakokoonpanojen valmistus erotettiin kolmeen ryhmään: osakokoonpanot, kääntökehys ja ovi. Jokaisen osakokoonpanoryhmän kokonaisvalmistusaika oli lyhyempi kuin minkään pääkokoonpanovaiheen valmistusaika. Tämän tuloksen perusteella osakokoonpanojen valmistus on mahdollista ajoittaa asennustarpeeseen integroitaessa osakokoonpanoryhmät pääkokoonpanovaiheiden yhteyteen. Osakokoonpanoryhmien kokonaisvalmistusajat ovat esitettyinä liitteissä 12 ja 13. Tämä ratkaisu palvelee parhaiten pitkälle moduloidun tuotteen TBM-lähtöistä valmistusta.

Integroidun kokoonpanoprosessin vaiheistus on esitetty pääpiirteissään kuvan 3 työnkulkukaaviossa.



Kuva 3. ACS880-taajuusmuunajan työnkulkukaavio

5.2.1 Ensimmäinen vaihe

Ensimmäisen työnvaihe muodostuu pääasiassa taajuusmuuttajan rungon kasauksesta ja varsinaisen taajuutta muuntavan modulin asentamisesta. Rungon rakentaminen ja modulin asentaminen ovat ajallisesti niin mittavia kokoonpanotoimintoja, ettei ensimmäiseen vaiheeseen ole järkevää liittää osakokoonpanotoimintoja. Ensimmäisessä työnvaiheessa on huomioitava myös suurien komponenttien ja erikoistyökalujen käyttö. Rungon osat, moduuli ja moduulin asennuksessa käytettävä nostin vaativat suuren tilan kokoonpanosolun alueesta, joten sekään ei puolla osakokoonpanon integroimista ensimmäiseen työnvaiheeseen.

5.2.2 Toinen vaihe

Toisessa työvaiheessa samassa solussa työskentelevät osa- ja pääkoonpanija. Osakoonpanija valmistaa kaikki osakoonpanot kääntökehystä ja ovea lukuun ottamatta, jotka pääkoonpanija asentaa taajuusmuuttajan runkoon tilanteen mukaan. Valmistuksen toisessa vaiheessa ei ole mahdollista asentaa kaikkia taajuusmuuttajan osakoonpanoja taajuusmuuttajan rakenteen vuoksi. Näin ollen osakoonpanija siirtää loput valmistamansa osakoonpanot toisen ja kolmannen koonpanosolun rajapinnassa sijaitsevaan läpivirtaushyllyyn odottamaan seuraavaa työvaihetta.

5.2.3 Kolmas vaihe

Kolmannessa työvaiheessa asennetaan loput toisessa vaiheessa valmistetut osakoonpanot ja keskitytään niiden välisiin kytkentätöihin. Kytkentätö vie taajuusmuuttajan valmistuksessa suurimman osan ajasta. Tästä syystä kolmannessa vaiheessa suoritetaan pääasiassa taajuusmuuttajan yläosaan asennettujen komponenttien kytkentätöitä. Taajuusmuuttajan alaosan komponentit kytketään viimeisessä työvaiheessa.

Kolmannen työvaiheen soluun on myös integroitu kääntökehysten valmistus omana osakoonpanonaan. Kääntökehysten työmäärä riippuu hyvin pitkälti asiakkaan tekemistä optiovalinnoista ja voi olla työmäärältään hyvinkin suuri. Tämän vuoksi kääntökehysten valmistus on liitetty kolmanteen työvaiheeseen.

Kääntökehysten valmistus on tällä hetkellä jaettu kahteen vaiheeseen, kahdelle eri työntekijälle: komponenttien asennukseen ja niiden kytkemiseen. Ottaen huomioon kääntökehysten suurimman mahdollisen työmäärän tämä työnjako voidaan pitää ennallaan integroitaessa kääntökehysten valmistus kolmanteen työvaiheeseen. Kääntökehystä valmistavalle työpisteelle on syytä järjestää 2–3 kappaleen puskurivarasto taasaamaan optiovalinnoista johtuvaa työmäärän vaihtelua. Näin kääntökehysten koonpanijat saadaan tasaisesti työllistettyä, vaikka johonkin taajuusmuuttajaan asennettaisiin pelkästään tyhjä kääntökehys.

5.2.4 Neljäs vaihe

Neljännessä työvaiheessa taajuusmuuttajan alaosaan asennetut komponentit, kuten riviliittimet ja tuulettimet kytketään. Taajuusmuuttajan turvaverkot, sivuseinät, katto ja ovi asennetaan.

Ovi valmistetaan neljännessä kokoonpanosolussa asennustarpeeseen. Oven valmistaminen osakokoonpanona on luonteeltaan samanlainen, kuin kääntökehysten valmistaminen. Asiakkaan valitsevat lisäoptiot määräävät oven työmäärän. Toisin kuin kääntökehys ovi vaatii aina jalostaa työtä. Tästä syystä oven valmistusta varten ei tarvita mittavaa puskurivarastoa. Työmäärän tasaamiseksi työpisteelle riittää kaksi kokoonpanojigijä oven rakennusta varten.

5.2.5 Työnvaihesuunnittelulla saavutetut hyödyt

Työnvaihesuunnittelun päämääränä on saavuttaa tasaisesti virtaava tuotanto. Työnvaiheiden rationalisoinnilla ja oikealla vaiheistuksella päästään pureutumaan ICD:ssä havaittuun, Lean-tuotantofilosofiasta tuttuun tuotanto-ongelmaan eli turhaan odotteluun ja viivästyksiin. Virtautetussa tuotannossa vältetään tuotantoa rajoittavat pullonkaulakohdat, eli kapeikot. Kapeikot aiheuttavat seisokkeja kokoonpanoprosessin muissa työvaiheissa, pidentävät läpäisyaikaa ja vaikeuttavat tuotannonohjausta.

Yhtenäistämällä eri kokoluokkaisten taajuusmuuttajien samanlaiset kokoonpanotoiminnot eri työvaiheisiin, saavutetaan työnositukset suurin etu: työntekijä omaksuu työnsä nopeasti ja työnjälki on yhtenäinen. Työnosituksen ansiosta uutta työvoimaa voidaan nopeasti kouluttaa työtehtävään eikä pienerätuotannossa tuotteiden tasalaatuisuus kärsi työntekijävaihdoista.

Pää- ja osakokoonpanojen integroidulla työvaiherakenteella pystytään eliminoimaan tehokkaasti materiaalien turhat siirrot ja liiallinen varastointi. Osakokoonpanojen valmistaminen asennustarpeeseen palvelee kokoonpanotyössä parhaiten JOT-tuotannon ajatusta, jossa kaikki valmistetaan oikeamääräisinä oikeaan tarpeeseen.

5.3 Tuotantojärjestelmä

Nykyaikainen tapa tuotantoa suunniteltaessa on sijoittaa työpisteet tuotteen valmistuksen vaatimaan järjestykseen. Tuotteen muunnosvaihtoehtojen eli tuotevariaatioiden lukumäärästä sekä valmistettavien tuotesarjojen suuruudesta riippuu, käytetäänkö tuotannon valmistusjärjestelmänä puhdasta tuotantolinjatyyppistä valmistusjärjestelmää vai tuotantosolurakenteeseen perustuvaa valmistusjärjestelmää. [3, s. 31.]

Tuotantolinjoja on kolmea tyyppiä: transferlinja, virtausperiaatteinen tuotantolinja ja yleisvalmistuslinja. Valmistuslinja-ajattelu on laajentunut huomattavasti nykyaikaisessa teollisuudessa. [3, s. 34.] Tämä antaa mahdollisuuden yhdistellä eri tuotantojärjestelmätyyppien hyviä puolia ja soveltaa näitä tilanteeseen sopivasti. Tarkastellaan tästä lähtökohdasta virtautettua yleisvalmistuslinjaa, joka perustuu ryhmäteknologiaan:

Virtautetussa kokoonpanotuotannossa tuotteet virtaavat kokoonpanolinjaan tasaisella nopeudella ja siihen yhtyy materiaalivirtoja osavalmistussoluista, -linjoista tai työasemista [5, s. 61]. Tasainen virtaus vaatii valmistusjärjestelmien työvaiheiden tarkkaa ja oikeaa tahdistusta. Tahdistaminen voidaan suorittaa esimerkiksi tasaamalla työvaiheajat. Yhdistetään virtautettuun tuotantoon ryhmäteknologia, joka perustuu valmistettavien osien jakamiseen osaperheisiin niiden samankaltaisuuden mukaan. Jaottelu voidaan tehdä osien geometrisen tai valmistuksen samankaltaisuuden perusteella. Tätä voidaan soveltaa kokoonpanolinjaan ajamalla linjan lävitse samankaltaisia tuotteita. TBM:n näkökulmasta tuotteet ovat hyvä jaotellakin osaperheisiin valmistusaikojen perusteella, jolloin kokoonpanolinja erikoistuu valmistamaan läpimenoajoiltaan tietynlaisia tuotteita.

Tuotantosolut ovat kehittyneet ryhmäteknologisen valmistusjärjestelmän pohjalta. Solu on pieni itsenäinen valmistusyksikkö, joka sijaitsee paikallisesti yhtenäisellä alueella. Solulla on oma sisäisen tuotantokalusto ja solussa työskentelevät ihmiset vastaavat solun toiminnasta osana tuotantoa. Tuotantojärjestelmän soluilla tavoitellaan tilannetta, jossa määrätty tuotteiston osa valmistetaan yhdessä, siihen erikoituneessa yksikössä, yhdellä impulssilla. Solujärjestelmällä voidaan parantaa toimintavalmiutta, lyhentää läpimenoaikaa, vähentää keskeneräisiin tuotteisiin sidottua pääomaa ja parantaa tuotannon ohjattavuutta. [3, s. 38–39; 1, s. 85.] Puhtaassa kokoonpanotuotannossa solutuajattelua voidaan soveltaa yhdistämällä osa- ja pääkokoonpanotyöt samaan soluun,

samaan työvaiheeseen. Näin pääkoonpanovaiheessa tarvittavat osakoonpanot voitaisiin valmistaa JOT-periaatteiden mukaisesti.

5.3.1 Tuotantojärjestelmän tuotantokapasiteetti

Yhdistämällä solutuotannon ja ryhmäteknologiaan perustuvan virtautetun valmistuslinjan saadaan tuloksena ABB Drivesin ICD-tuotantoyksikköön räätälöity kokoonpanojärjestelmä. Tässä hybridissä yhdistyvät solutuotannon hyvä ohjattavuus ja linjatuotannon tehokkuus. Ennen kaikkea tällainen kokoonpanojärjestelmä vastaa ACS880-tuoteperheen laajan tuotevariaatiomäärän asettamiin vaateisiin, sillä sen konsepti on sovellettavissa kaikkiin tuotevariaatioihin. Ainoastaan taajuusmuuttajien eripituiset valmistusajat vaikuttavat siihen, kuinka jouhevasti kokoonpanojärjestelmän virtautettu tuotanto toimii. Tuotannon vakaampaan virtaukseen voidaan vaikuttaa muodostamalla tuotantoyksikkö useammasta identtisestä ryhmäteknologiaan perustuvasta valmistuslinjasta. Näin osa tuotantoyksikön linjoista voidaan valjastaa vain hitaampien ja osa nopeampien taajuusmuuttajien valmistukseen.

Jo tuotantojärjestelmää suunniteltaessa on hyvä ottaa huomioon suunniteltavan järjestelmän tuotantokapasiteetti. Tuotantojärjestelmän kapasiteetti on tuotantomäärä, jonka järjestelmä pystyy enimmillään tuottamaan tietyssä aikayksikössä. Tuotantokapasiteettia käytetään tuotantojärjestelmän suorituskyvyn mittarina. Laskettaessa uudelleen suunnitellun tuotantojärjestelmän tuotantokapasiteetti työvaiheaikamittauksessa mitattujen tuotteiden perusteella saadaan tuotantokapasiteetiksi 2,48 taajuusmuuttajaa viikkoa kohden eli täysin kokoonpantuja taajuusmuuttajia 2 kpl / vk.

Tuotantojärjestelmän tuotantokapasiteetti laskettiin kaavan 4 ja 5 avulla:

$$P_c = n * S_w * H_{sh} * R_p \quad (4)$$

P_c on tuotantokapasiteetti, n on kokoonpanolinjan työvaiheiden lukumäärä (4 kpl), S_w on työvuorojen määrä viikossa (5 kpl), H_{sh} on työtuntien määrä työvuorossa (7,5 h),
 R_p on yhden työvaiheen tuotantoaste (0,0165 kpl / h).

$$R_p = \frac{\binom{x}{n}}{\binom{t_{tvk}}{t_t}} \quad (5)$$

R_p on tuotantoaste, x on taajuusmuuttajien määrä kokoonpanolinjaa kohden (1 kpl), n on kokoonpanolinjan työvaiheiden lukumäärä (4 kpl), t_{tvk} on työvaiheiden keskiarvo (2,6 h, ks. liite 14), t_t on jalostavan työajan määrä kokonaistyöajasta (0,1719).

Ottaen huomioon ICD-tuotantoyksikön tuotantopinta-alan voidaan tiloihin sijoittaa yhteensä neljä solupohjaista tuotantolinjaa. Laskettaessa uudelleen suunnitellun tuotantoyksikön tuotantokapasiteetti työvaiheikamittauksessa mitattujen tuotteiden perusteella, saadaan kokonaiskapasiteetiksi 8 täysin kokoonpantua taajuusmuuttajaa viikkoa kohden.

Tuotantoyksikön tuotantokapasiteetti laskettiin kaavan 6 avulla:

$$P_{ckok} = P_c * n_p \quad (6)$$

jossa P_{ckok} on tuotantoyksikön tuotantokapasiteetti, P_c on tuotantojärjestelmän tuotantokapasiteetti, n_p on tuotantojärjestelmien lukumäärä tuotantoyksikössä (4 kpl).

5.3.2 Tuotantojärjestelmän hyödyt

Solupohjainen kokoonpanolinja on työympäristönä mielekkäämpi kuin perinteinen valmistuslinja tai funktionaalinen valmistusjärjestelmä. Tätä seikkaa ei pidä jättää huomiotta tuotantojärjestelmää arvioitaessa. Työnteon mielekkyys ja monipuolisuus tehostavat tuotantoa ja vähentävät työntekijöiden poissaoloja sekä pulaa ammattitaitoisesta henkilökunnasta. Kyseisessä kokoonpanojärjestelmässä työn mielekkyyttä lisää solutuotannon mahdollistama työpari ja yhteisöllisyyden tunne, joka on seurausta tietyssä valmistusjärjestelmässä työskentelystä. Työntekijät voivat solutasolla tarkistaa toistensa töitä ja valmistusjärjestelmätasolla motivoitua tavoittelemaan tilannetta, jossa he voisivat todeta: ”Meidän linja ei sutta tuota!”

Kaiken kaikkiaan solupohjainen kokoonpanolinja on tuottavuuden kannalta kannattavin ICD:n tuoteverstaaseen sovellettavissa oleva tuotantojärjestelmä, sillä sen avulla pys-

tytään poistamaan tehokkaimmin nykyisellään esiintyviä hukkia. Solupohjainen kokoonpanolinja ei oikein toimiessaan anna mahdollisuutta ylituotannolle, tarpeettomalle kuljettamiselle ja vastoinnille, eikä odottelulle. Näin ollen se vastaa nykyaikaisen Lean-tuotannon periaatteita ja tarjoaakin merkittävän parannuksen nykyiseen järjestelmään nähden.

Identtisten hybridilinjojen muodostama tuotantokonsepti on ABB:n lisäksi sovellettavissa sen alihankinta- ja tytäryhtiöihin. Linjojen kokoluokat määräävät valmistettavien taajuusmuuttajien runkokoot, ja linjojen määrän sanelee tuotantoyksikön tuotantovolyymi. Solupohjainen ja yksinkertainen valmistuslinja on myös äärimmäisen joustava, minkä johdosta se on muunnettavissa uusien tuoteperheiden valmistukseen.

5.4 Layout

Tehtaan layout-suunnittelu tarkoittaa valmistusyksiköiden, kuljetusväylien ja varastojen sijoittelua tiloihin. Tekniikka määrää yleensä valmistusyksiköiden sisäisen layoutin. Layoutin, kuten koko valmistusjärjestelmänkin suunnitteluun pätee sääntö mitä vähemmän on rajapintoja ja liittymiä, sen paremmat ovat sekä tuottavuus että ohjattavuus. Rajapintoja muodostuu työn keskeytyksistä, mutta tahtisuuden poistoon tarkoitettut puskurivarastot eivät haittaa. Sen sijaan tuotteiden odottaminen erikseen aloitettavaan jatkokäsittelyyn merkitsee katkosta ja tämä sotii TBM:n periaatteita vastaan. [1, s. 309–311.]

Layout-suunnittelu suoritettiin työvaihetutkimushavaintojen, työvaihesuunnittelun ja JOT-filosofian pohjalta. Layout-suunnittelu aloitettiin mittaamalla ACS880-prototyyppilinjan ja osakoonpanoyksikön työasemat. Mittaus suoritettiin paikan päällä ja mittausvälineenä käytettiin rullamittaa. Näin varmistettiin tehtaan fyysisten mittojen paikkaansa pitävyys tietokoneavusteisessa layout-suunnittelussa. Layoutin suunnittelussa apuna käytettiin AutoCAD nimistä 3D-mallinnusohjelmaa ja ICD-tuotantoyksikön nykyistä layoutia. Vanhasta layout:sta muotoiltiin työvaihesuunnitelmaa tukeva layout ja 3D-malli.

Layout-suunnittelussa huomioitiin ICD:n vaatimukset korkeaan valmistuskapasiteettiin ja kykyyn valmistaa ACS880-taajuusmuuttajia kokoluokissa R6–R11. Näin ollen uusi tuotantoyksikkö muodostettiin yhteensä neljästä valmistuslinjasta. JOT-

tuotantoperiaatteita noudattaen tuotantoyksikköön integroitiin materiaalitiimin rinnalle työnjohdon toimipiste. Tällä ratkaisulla pyritään tehostamaan tuotannon ja johdon välisiä informaation kulkua ja sitä kautta tuotannonohjausta. Materiaalivirtojen virtojen tehostusta varten tuotantoyksikköön suunniteltiin tehtaan pääkäytävän lisäksi oma trukki-väylä. Näin jokaiseen valmistuslinjaan voidaan syöttää materiaalia tehokkaasti ja vai-vatta. Lopputuloksena materiaalivirrat pysyvät yksinkertaisina, samansuuntaisina ja selkeinä. Tuotantoyksikön materiaalivirrat ovat esitettynä liitteessä 16. Uudelleen-suunnitellun tuotantoyksikön 3D-malli on esitetty liitteessä 15.

Valmistuslinjat suunniteltiin tuotantoyksikön tiloihin niin, että kaksi rinnakkaista valmis-tuslinjaa tuottaisivat pääasiassa valmistusajaltaan nopeampia taajuusmuuttajia ja kaksi rinnakkaista valmistuslinjaa tuottaisivat vastaavasti valmistusajaltaan hitaampia taa-juusmuuttajia. Suuremman runkokoon lisäämään valmistusajan ja tuotantoyksikön rajoi-tetun lattiapinta-alan takia nopeampaan valmistukseen tarkoitettujen linjat ovat kooltaan pienempiä kuin hitaampaan valmistukseen tarkoitettujen linjat. Valmistuslinjojen tuotanto-pinta-alan optimoinnista huolimatta myös suurempia runkoluokkia varten tarkoitettujen valmistuslinjoja voidaan käyttää runkokooltaan pienempien taajuusmuuttajien valmis-tukseen. Tuoteverstaan ja tuotantojärjestelmien layoutit yksityiskohtaisine mittoineen on esitetty liitteessä 17.

Uusi layout-ratkaisu lyhentää merkittävästi ICD-tuotantoyksikön etäisyyksiä varasto-paikkojen eli laskeutumisaluiden ja työasemien välillä. Otetaan esimerkkitapaukseksi ACS880-taajuusmuuttajien prototyypinlinja, jossa työvaihetutkimus suoritettiin. Proto-tyypinlinjan ensimmäisen työaseman ja varastopaikan välinen etäisyys nykyisellä layoutilla on 29,3 metriä. Uudessa layoutissa jokaisen työvaiheen yhteyteen on integ-roitu oma laskeutumisalue, jolla saadaan kutistettua työaseman ja varastopaikan väli-nen etäisyys suurimmillaankin vain 2,9 metriin. Työntekijöiden kulkemaa välimatkaa saadaan siis lyhennettyä kymmenkertaisesti. Tällä on merkittävä vaikutus jokaisen työvaiheen asetusaikaan ja sitä kautta koko valmistusjärjestelmän läpäisy aikaan. Tä-män lisäksi laskeutumisaluiden optimoinnilla saavutetaan tilan erinomainen käyttöaste ja materiaalien luoksepäästävyys on aina 100 %.

5.5 Tuotannonohjaus

JOT-tuotannon on todettu toimivan parhaiten, kun tuotantoprosessi on vakaa ja yksinkertainen, asetusajat ovat lyhyitä pieniä eriä varten ja prosessi toimii imuohjauksella. [4, s. 790]. Voidaan kuitenkin todeta, että imuohjaus ei ole JOT-tuotannolle välttämätön. Imuohjauksessa prosessia ohjataan niin, että viimeiset työvaiheet ohjaavat väli-varaston välityksellä edeltäviä työvaiheita. Esimerkiksi pääkokoontuotantolinjalta komponentin. Mikäli imuohjaus ei ole tuotantoyksikköön sovellettavissa se voidaan korvata tarvelaskentaan perustuvalla työntöohjauksella säilyttäen JOT-filosofia tuotannossa. Työntöohjaus on imuohjaukselle päinvastainen ohjausperiaate. Työntöohjauksessa materiaalin tarvelaskennan avulla ajoitetaan materiaalien hankinta ja valmistus. Esimerkiksi pääkokoontuotantoon vaadittavat komponentit työnnettään kokoonpanovaiheeseen mahdollisimman samanaikaisesti.

Solutuotannon ja ryhmäteknologisen linjavalmistuksen yhdistävän kokoonpanojärjestelmän ohjaamiseksi on hyvä myös yhdistää työntö- ja imuohjaustavat. Työntöohjaus sopii kokoonpanojärjestelmän hallintaan kokonaisuutena, kun taas imuohjaus toimii visuaalisesti kokoonpanojärjestelmän sisällä. Solupohjainen kokoonpanolinja on ohjattavissa yhtenä, selkeänä yksikkönä ja sisäisen imuohjauksensa ansiosta tuotannon ohjausimpulssien määrä saadaan minimoitua.

Asiakastilauksen saapuessa SAP-tuotannonohjausjärjestelmään valitaan tilauksen valmistava kokoonpanolinja ja annetaan valmistuksen aloittava impulssi materiaalikeräilyt suorittavalle alihankkijalle, sekä tieto valmistettavasta taajuusmuuttajasta linjan työntekijöille. Toimitaan siis työntöohjauksen perusperiaattein. Solupohjaisten kokoonpanolinjojen ohjaus kokonaisuutena vaatii tuotannon ohjaajalta perusteellisen käsityksen eri taajuusmuuttajamallien valmistusajoista, koska ryhmäteknologisen jakoperusteena tuotantoyksikössä toimii valmistusajat.

Kokoonpanojärjestelmän sisällä materiaalit kulkevat laskeutumisalueelta työasemalle, ja sen kautta työvaiheiden välissä oleville Kanban-alueille. Kanban-alue on visuaalinen viestintämekanismi, joka kertoo työvaiheen valmistumisesta. Tällainen ohjaustapa on visuaalisuutensa takia äärimmäisen helppo hallita ja tehokas. Työvaiheen laskeutumisalueen ollessa tyhjä se toimii merkinä materiaalinkeräilyille, että tuotantolinja on vapautumassa seuraavaa tehtävää varten. Tuotantolinjalle merkinä seuraavasta työvaiheen alkamisesta on taas työvaiheiden välillä olevien Kanban-alueiden

tyhjentyminen. Näin materiaalinohjaus tapahtuu kokoonpanojärjestelmän sisällä erittäin visuaalisesti, varmasti ja tehokkaasti.

Toimiakseen JOT-tuotantoperiaatteiden mukaisesti on kokoonpanojärjestelmän jokainen työasema ja tukitoiminto sidottava yhteiseen informaatioverkkoon. Informaatiovirtojen kulku tulee olla reaaliaikaista ja sen tulee toimia joka suuntaan. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että työntekijä saa työasemansa tietokoneeseen tiedot valmistettavista tuotteista, työhöje- ja piirustusmuutoksista. Vastaavasti työntekijä pystyy työasemastaan käsin välittämään tiedot tuotantohäiriöistä ja materiaalipuutteista suoraan työnjohdolle ja materiaaliitiimille. Tällainen tuoteverstaan sisäinen informaatioverkko on mahdollista rakentaa SAP-toiminnanohjausjärjestelmän sisälle, se onkin hyvin laajasti otettu käyttöön ABB:lla.

Tuotannonohjaus joutuu koetukselle häiriöiden ilmaantuessa tuotantoprosessiin. Tehokkain tapa korjata häiriöt on noudattaa kerralla valmiiksi -periaatetta. Häiriön ilmaantuessa kyseisen kokoonpanolinjan toiminta pysäytetään ja kiireelliset tuotantotilaukset valmistetaan muiden tuotantolinjojen kautta. Vaikka valmistuslinjan pysäyttäminen on kallista, antaa se riittävän painoarvon ongelman korjaamiseksi. Vanhoillinen pakkomielle pitää valmistuslinjat koko ajan käynnissä johtaa tuotanto-ongelmien tilapäiskorjauksiin tai jopa niiden täydelliseen huomiotta jättämiseen. Tuotannon piilevät ongelmat aiheuttavat turhia tuotantokustannuksia, jotka voidaan kitkeä ohjaamalla tuotantoa jatkuvan parantamisen mallin mukaan.

6 Päätelmät

Tässä opinnäytetyössä suoritettiin ACS880-taajuusmuuttajien työnvaiheikatutkimus, jonka perusteella suunniteltiin niiden valmistamiseen soveltuva tuotantojärjestelmä. Työn aikasidonnaisen luonteen johdosta lähestymisnäkökulmaksi valittiin TBM eli Time Based Management. TBM:n näkökulmasta tarkasteltiin ICD-tuoteverstaan toimintaa työnvaiheikatutkimuksen edetessä ja määritettiin tuotannon ongelma-alueet.

Kokoonpanoprosessin suunnittelun pohjana käytettiin työnvaiheikatutkimuksen tuloksia ja kirjallisuustutkimuksessa kerättyä tietoa. Konkreettisen datan pohjalta suunniteltiin moderni solupohjainen kokoonpanojärjestelmä, joka on sovellettavissa niin ICD:n tuotantotiloihin kuin ABB Drivesin tytäryhtiöiden ja alihankkijoidenkin tuotantotiloihin.

Suunniteltu tuotantojärjestelmä toteuttaa JOT- ja Lean-tuotannon peruseriaatteita ja tarjoaakin merkittävän parannuksen lähtötilanteeseen verrattuna.

Työn suurimpana haasteena oli ACS880-taajuusmuuttajien valtava tuotevariaatiomäärä, jonka valmistukseen suunniteltava kokoonpanojärjestelmä oli sovelluttava. Tähän haasteeseen vastattiin suunnittelemalla äärimmäisen joustava kokoonpanojärjestelmä, joka on räätälöitävissä kaikkien tuotevariaatioiden valmistukseen. Tuotevariaatiot jaettiin valmistusaikojen ja runokokojen perusteella osaperheisiin, joiden valmistukseen ryhmäteknologiaan perustuva valmistuslinja mukautuu. Tuotantoyksiköstä ja sen tuotantotavoitteista riippuen, identtisiä valmistuslinjoja voidaan implementoida useampia. Valmistuslinjojen identtisydestä johtuen niiden ohjauseriaatteita ei tarvitse muuttaa, vaikka työskentelyalueiden koko räätälöitäisiinkin eri runkoluokille sopivaksi.

Nykyään ryhmäteknologiaan perustuvan, solupohjaisen kokoonpanolinjan reunaehdot pystytään hallitsemaan. Perimmäinen kysymys on kuitenkin ihmisten motivaatiosta, asennoitumisesta ja halusta muutokseen. Muutosprosessi on välttämättömyys, vaikka se on kallista ja aikaa vievää. Muutosprosessin kautta pystytään kuitenkin saavuttamaan kestäviä tuotantoratkaisuja, jotka vastaavat tulevaisuuden tuotantohaasteisiin.

Lähteet

- 1 Lapinleimu, Ilkka. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo: WSOY.
- 2 Hannus, Jouko. 1994. Prosessijohtaminen: Ydinprosessien uudistaminen ja yrityksen suorituskyky. Espoo: HM & V Research.
- 3 Röyttä, Esko. 1991. Tuotantotekniikka. Porvoo: WSOY.
- 4 Groover, Mikell P. 2008. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing Third Edition. New Jersey: Pearson Education Inc.
- 5 Peltonen, Aarne. 1997. Tuottava Tehdas. Helsinki: Opetushallitus.
- 6 Kouri, Ilkka. 2010. Lean Taskukirja. Helsinki: Teknologiateollisuus ry.

Liiteluettelo

- Liite 1. ACS880-07-taajuusmuuttajien tuotetiedot teholuokassa 0,55–560 kW
- Liite 2. ACS880-07-taajuusmuuttajien tuotetiedot teholuokassa 0,55–2800 kW
- Liite 3. ACS880-07-taajuusmuuttajien tyyppikoodit teholuokassa 45–560 kW
- Liite 4. ACS880-07-taajuusmuuttajien tyyppikoodit teholuokassa 630–2800 kW
- Liite 5. ACS880-07-0246A-3+E200+F250+K473+L505+Q951+R708-taajuusmuuttajien mittaustulokset
- Liite 6. Yhteenveto ACS880-07-0246A-3+E200+F250+K473+L505+Q951+R708-taajuusmuuttajien mittaustuloksista
- Liite 7. ACS880-07-0246A-3+E200+F250+K473+L505+Q951+R708-taajuusmuuttajien prosessin kehityslista
- Liite 8. ACS880-07-0246A-3+E200+F250+K473+L505+Q951+R708-taajuusmuuttajan valmistuskuvat
- Liite 9. SAP:n aikaleimoihin perustuva työajan jakautumista kuvaava työaikalaskelma
- Liite 10. ACS880-07-0271A-7+E205+R706-taajuusmuuttajan mittaustulokset
- Liite 11. ACS880-07-0271A-7+E205+R706-taajuusmuuttajan valmistuskuvat
- Liite 12. ACS880-07-0246A-3+E200+F250+K473+L505+Q951+R708-taajuusmuuttajien työnvaihesuunnittelu
- Liite 13. ACS880-07-0271A-7+E205+R706-taajuusmuuttajan työnvaihesuunnittelu
- Liite 14. Työnvaihesuunnittelun hyödyt
- Liite 15. Valmistusyksikön 3D-malli
- Liite 16. Valmistusyksikön materiaalivirrat
- Liite 17. Valmistusyksikön mitoitettu layout

Insinööri työn tulokset ovat koottu liitteisiin, jotka ovat luovutettu ainoastaan työn tilaajalle