



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Marco Syväntö

Tuotemuutoksien vaikutukset valmistuslinjaan

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

29.4.2019

Tekijä Otsikko	Marco Syväntö Tuotemuutoksien vaikutukset valmistuslinjaan
Sivumäärä Aika	23 sivua + 3 liitettä 29.4.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Automaatiotekniikan insinööri
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaava opettaja Ohjaaja	lehtori Markku Inkinen projektipäällikkö Atte Koskela
<p>Insinöörityön tavoitteena oli selvittää, miten taajuusmuuttajan uudistukset vaikuttavat valmistuslinjaan. Tavoitteena oli lisäksi selvittää, mitä pitäisi tehdä, jotta uuden taajuusmuuttajan tuotanto voidaan aloittaa. Tutkimus tehtiin ABB Oy:n System Modules -tulosyksikölle.</p> <p>Koska uudesta taajuusmuuttajasta oli olemassa jo fyysinen prototyyppi, tutkimuksessa päästiin mittaamaan ja vertailemaan materiaaleja siinä määrin, kun tuotteen purkaminen oli mahdollista. Tutkimuksessa oli myös käytössä Creo view 3D-mallinnusohjelma, jonka avulla simuloitiin kokoonpanoa ja pystyttiin mittaamaan vaikeammin saavutettavia osia. Saatuja arvoja vertailtiin vanhan laitteen kokoonpanoon, tutkittiin prototyypin soveltuvuutta tuotantoon ja tehtiin suunnitelma tarvittavista muutoksista jokaiseen työvaiheeseen.</p> <p>Tutkimuksen perusteella havaittiin, että tuotannossa on useita muutosta vaativia kohteita. Suurin osa muutostarpeista on kuitenkin nopeasti toteutettavissa, koska tuoteuudistus on suunniteltu vanhan tuotteen rungon pohjalle ja kiinnikkeet on pystytty pitämään samanlaisina.</p> <p>Tutkimuksen tulosten pohjalta on tarkoitus suunnitella ja toteuttaa System Modulesin valmistuslinjan muutokset, kun uusi versio taajuusmuuttajasta on valmis tuotantoon.</p>	
Avainsanat	taajuusmuuttaja, valmistuslinja, lean, one piece flow

Author Title	Marco Syväntö Effects of Changes in Product Design to a Manufacturing Line
Number of Pages Date	23 pages + 3 appendices 29 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Engineer of Automation technology
Professional Major	Automation technology
Instructors	Markku Inkinen, Senior Lecturer Atte Koskela, Project Manager
<p>The purpose of this thesis was to determine how the design changes in a high frequency converter affect its manufacturing line and what should be done to ensure the ability to manufacture the new version of the product. The research was conducted to a unit called System Modules of ABB Ltd.</p> <p>Since a physical prototype of the new product already existed, measures of parts could be taken to the extent to which the prototype could be disassembled. Also, a 3D simulation software, called Creo view, was used to simulate the assembling of the product and measure more complex parts when necessary. Obtained measures were then compared to the original version of the product and its assembly. By comparing old and new revisions, suitability to manufacture the new version on the manufacturing line was researched. Eventually plans were made for each part of the manufacturing about which changes should be implemented.</p> <p>Multiple issues that are necessary to change were identified during the research. Some changes require more work; however, majority of the modifications are relatively easy to implement. That was possible due to product changes that were made upon the previous product's frame and keeping the same fasteners in use.</p> <p>The changes of System Modules' production line are expected to be made based on the results of this research when the new product is ready to be manufactured.</p>	
Keywords	high frequency converter, manufacturing line, lean, one piece flow

Alkusanat

Jos haluat mennä nopeasti, mene yksin. Jos haluat mennä pitkälle, mene yhdessä. Afrikkalaisen sananlaskun myötä voin vain todeta, että taas kerran tuli nähtyä, mitä sinnikkäällä työskentelyllä ja tiimityöllä voi saada aikaan tiukallakin aikataululla. Isoin kiitos kuuluukin prototiimille, joka nopeasti vastasi kysymyksiin, avusti käytännön pulmissa ja antoi yllättävän vapaat kädet hääritä ainoan prototyypin kanssa aina kun tarve vaati.

Kiitokset täytyy osoittaa myös perheelle, joka kannusti aina eteenpäin, Petralle, että sinnikkäästi tarkastit kieliasun lause lauseelta sekä myös kaikille muille mainitsematta jääneille. Erityiskiitos vielä Atelle ajattelun haastamisesta ja fokuksen ylläpitämisestä, kun välillä tekee mieli haukata isompaa palaa kuin jaksaa niellä.

Helsinki 25.4.2019

Marco Syväntö

Sisällys

Lyhenteet ja sanasto

1	Johdanto	1
2	Tutkimuksen kohteet ja välineet	3
3	Yhtiö	5
4	Valmistuslinjojen historiaa	6
4.1	Kehitys teollisuudessa	6
4.2	Lean-menetelmä	7
5	Muutokset ja niiden vaikutukset valmistuksessa	9
5.1	Muutokset ja vaikutukset osakokoonpanoihin	9
5.1.1	Jäähdytinelementti	10
5.1.2	Kondensaattoriyksikkö	11
5.1.3	Ohjausyksikkö	12
5.1.4	Puhallin ja jalusta	13
5.1.5	Kuristimet	13
5.2	Muutokset ja vaikutukset loppukokoonpanoon	14
5.2.1	Työpiste 10	14
5.2.2	Työpiste 20	15
5.2.3	Työpiste 30	15
5.2.4	Työpiste 40	16
5.2.5	Työpiste 50	16
6	Tulosten tarkastelu	17
6.1	Muutostarpeet ja lisäselvitystä vaativat kohteet	17
6.2	Kokoonpanojärjestys	19
6.3	Yleistä pohdintaa valmistuslinjan suunnittelusta	20
6.4	Seuraava askel	21
	Lähteet	22
	Liitteet	
	Liitteet 1-3 salattu	

Lyhenteet ja sanasto

IGBT	<i>Internal Gate Bipolar Transistor</i> . Tehopuolijohde, joka muuttaa tasasähkön vaihtosähköksi
Linja	System Modules -tulosyksikön valmistuslinja.
Loppukokoonpano	Valmistuslinjan toinen puoli, jossa osakokoonpanoista kootaan lopputuote.
OPF	<i>One Piece Flow</i> . Tuotantotapa, jossa tuote kulkee järjestyksessä työpisteiden läpi. Valmistuslinjan jokaisessa työpisteessä on vain yksi tuote työstöhetkellä.
Osakokoonpano	Laitteen osien kokoonpanopiste. Osista kootaan pienempi kokonaisuus, joka asennetaan lopputuotteeseen loppukokoonpanossa.
Puskuri	Kokoonpanopisteiden välillä oleva tila, johon mahtuu yhdestä neljään osayksikköä, jotka ovat valmiita käytettäväksi seuraavassa tuotannon vaiheessa.
Taajuusmuuttaja	Sähkövirran taajuutta muuttava laite. Edeltävästä versiosta käytetään tekstissä ilmaisuja "vanha", "edellinen" (tai vastaava) laite, uudemmassa versiosta termejä "uusi", "uudempi" (tai vastaava) laite.

1 Johdanto

Valmistuslinjojen kehitys viimeisen reilun sadan vuoden aikana on ollut yksi avaintekijä teollisuuden kehityksessä ja tulokset niiden käytöstä ovat olleet alusta saakka huomattavia (Ford 2009). Jatkuva pyrkimys kehittää tuotantoa ja saavuttaa entistä tehokkaampaa tuotantoa on vakiinnuttanut valmistuslinjojen aseman teollisuudessa ja sen ulkopuolella. Valmistuslinja käsitteenä voi pitää sisällään monia erilaisia linjoja. Yleisesti se voidaan määritellä tuotantotavaksi, jossa työntekijät, työvälineet ja muut valmistukseen tarvittavat laitteet on järjestetty niin, että työstettävät kappaleet voivat ”virrata” työvaiheiden läpi. (Assembly line 2006.)

Tässä insinööriyössä tutkitaan taajuusmuuttajan uutta versiota ja sitä, miten muutokset vaikuttavat valmistuslinjaan. Tutkimus toteutetaan System Modulesin tulosityksikölle, joka on osa ABB Oy:n Drives liiketoimintayksikköä ja sijaitsee Helsingissä Pitäjänmäellä.

Laitteen uudistuksista johtuvista muutostarpeista valmistuslinjalle ei ole vielä tehty perusteellista suunnitelmaa. Tämä insinööriyö toteutetaan, jotta luotaisiin pohja paitsi tulevaisuudessa mahdollisesti tapahtuvaa uuden laitteen valmistusta varten, halutaan myös luoda yleisiä ohjeita siitä, mitä täytyy huomioida vastaavan kaltaisissa tilanteissa.

Tutkimuksen tausta

System Modules on jatkuvasti vuosien ajan pyrkinyt kehittämään toimintaansa vastaamaan paremmin laitteiden kokoonpanolle asettamia vaatimuksia. Viimeisin valmistuslinjan suuri muutos tapahtui syksyllä 2018, kun käyttöön otettiin uusi One piece flow -valmistuslinja. Vaikka edellinen muutos on varsin tuore, on seuraava odotettavissa jo lähitulevaisuudessa. Näin ollen kehitysprosessin on oltava jatkuvaa ja tarvittavat muutokset on suunniteltava hyvissä ajoin etukäteen.

Vanhaa taajuusmuuttajaa valmistettiin uudella linjalla, joka oli räätälöity laitteen tarpeisiin. Sen joustavuutta tosin epäiltiin heikoksi, koska laitteen materiaalien mitoissa tehdyt muutokset oletettiin aiheuttavan sen, ettei uuden version tuotantoa voida käynnistää ilman valmistuslinjalle tehtäviä muutoksia.

Tutkimusongelma, tavoitteet ja menetelmät

Opinnäytetyön tutkimusongelma on: ”Mitä muutoksia valmistuslinjaan tulee tehdä, jotta muutettua laitetta voidaan valmistaa?”

Laiteuudistukset usein vaativat muutoksia, jotka kohdistuvat valmistuslinjaan. Ei voida kuitenkaan taata, että vanhan laitteen mukaan tehty valmistuslinja pystyisi joustamaan riittävästi, jotta uuden laitteen tuotanto voitaisiin käynnistää ilman muutoksia. Tämän tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää valmistuslinjan jokaisen työpisteen, niin osakokoonpanojen kuin loppukokoonpanon, muutostarpeet.

Selvitys toteutetaan purkamalla ja tutkimalla prototyyppilaitetta sekä fyysisesti että virtuaalisesti. Prototyypistä saatuja tuloksia verrataan edeltävän laitteen valmistuslinjaan ja tehdään johtopäätökset tarvittavista muutoksista.

Kehittyvät markkinat ja haastavat toimintaympäristöt takaavat sen, että tuoteuudistuksia tapahtuu kaikissa tulosyksiköissä. Tutkimuksessa käsitellään myös System Modulesin valmistuslinjojen nykytilannetta, muutoksia sekä joustavuutta mukautua laitteen uudistuksiin.

Rajaukset

Tutkimuksessa keskitytään valmistuslinjan mekaanisiin muutoksiin. Tutkimuksessa ei oteta huomioon tai jätetään vähälle huomiolle materiaalien sijainti suhteessa työpisteisiin, logistiikka ja sen haasteet sekä kustannusarviot. Tutkimuksen apuna ja arviointityökaluna käytetään lean-menetelmää. Tutkimusaineiston luonteesta johtuen yksityiskohtaiset selvitykset valmistuksen muutostarpeista rajataan tutkimuksen ulkopuolelle.

2 Tutkimuksen kohteet ja välineet

Valmistuslinja

System Modules valmistaa insinööriyössä käsiteltävää taajuusmuuttajaa syksyllä 2018 käyttöönotetulla OPF-tyyppisellä valmistuslinjalla. Päälinja koostuu viidestä loppukokoonpanopisteestä, joiden välissä on ”puskurit” eli paikka, jossa edellisestä työpisteestä valmistunut laite odottaa. Puskureilla aikaansaadaan joustavuutta, jotta voidaan tasata sekä työpisteiden että työntekijöiden henkilökohtaisista syistä johtuvia eroja valmistusnopeudessa. Jokainen työpiste on jaksotettu niin, että niissä keskimäärin kuluva valmistusaika on sama. Näin vältetään laitteiden kasaantuminen hitaimman työpisteen kohdalle.

Toinen puoli valmistuslinjasta koostuu kuudesta osakokoonpanopisteestä, joissa valmistettavat osat siirtyvät odottamaan omiin puskureihinsa. Sieltä ne ovat saatavilla, kun ne lisätään loppukokoonpanossa laitteeseen. Tämä voi toisaalta aiheuttaa myös haasteita, jos osakokoonpanossa kuluu odotettua kauemmin aikaa, sillä määrätyn ajan kuluttua tuotanto pysähtyy koko loppukokoonpanossa.

Nykyinen valmistuslinja on räätälöity siinä valmistettavalle taajuusmuuttajalle. Jokainen työpiste on pyritty optimoimaan tilan puolesta siten, että vain sille tarkoitetut osat mahtuvat asennusalustoille ja pöydille. Tästä seurannee se, ettei laitteen suunnittelun muutoksista selvitä ilman muutoksia valmistuslinjaan.

Prototyypimoduuli

Tutkimuksen pääkohteena oli valmistuslinjalla valmistettavan taajuusmuuttajan uusi prototyyppi. Prototyyppiä oli saatavilla vain yksi kappale, eikä sitä purettu jokaista kiinnikettä myöten. Näin ollen tarkempi perehtyminen mittoihin oli hankalaa. Prototyyppiä oli kuitenkin mahdollista mennä tutkimaan tarvittaessa.

3D-ohjelma

Saatavuuden rajoitteista huolimatta prototyyppiin oli mahdollista tutustua myös 3D-ohjelmalla nimeltä Creo viewer. Ohjelmaa käytettiin esimerkiksi kokoonpanon simuloimiseen purkamalla laitteen osia erilleen ja tutkimalla kiinnitysjärjestyksiä. Ohjelmalla oli mahdollista lisäksi mitata osien pituuksia paikoissa, joissa mittaaminen muuten olisi ollut haastavaa.

3 Yhtiö

ABB Oy

ABB on kansainvälinen teknologiayhtiö, joka on johtavassa asemassa energiatehokkaiden tuotteiden ja järjestelmien kehittämisessä ja käyttöönotossa. Kestävä kehitys ja ilmastotietoisuus ovat olleet jo 1800-luvun loppupuolelta ABB:n tavoitteista, mistä kertoo esimerkiksi se, että ABB:n edeltäjäyhtiö oli mukana sähköjunan kehittämisessä Sveitsissä.

ABB (Asea Brown Boveri) syntyi vuonna 1988, kun ASEA (Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget) yhdistyi BBC:n (Brown, Boveri & Cie) kanssa. ABB työllisti tuolloin 160 000 henkilöä ympäri maailmaa.

ABB on käynyt läpi muutoksia, joista viimeisimmässä luovuttiin yhdestä liiketoiminnan osa-alueesta, divisioonasta, kokonaan. Nykyisellään ABB toimii neljällä divisioonalla: sähköistys, teollisuusautomaatio, liike (eng. motion) ja robotiikka. Sähköistys tarjoaa laajan kirjon tuotteita ja digitaalisia ratkaisuja mukaan lukien sähköautojen latausjärjestelmiä ja aurinkoenergiaa. Teollisuusautomaatio palvelee asiakkaita kehittyneillä järjestelmillä. Liike on maailman suurin sähkömoottoreiden ja taajuusmuuttajien tuottaja. Robotiikka kehittää ratkaisuja kappaletavara-automaation tarkoituksiin teollisuuteen. Kaikki neljä divisioonaa työllistivät vuonna 2019 noin 110 000 henkilöä yli sadassa maassa. (The new ABB 2019.)

System Modules

System Modules on Pitäjänmäen Drives-yksikössä toimiva tulosityksikkö, joka valmistaa taajuusmuuttajia erilaisiin sähkökäyttöihin. Tämä insinöörityö tehtiin System Modulesin valmistuslinjalle, jossa valmistetaan yhtä taajuusmuuttajatyyppeä.

4 Valmistuslinjojen historiaa

4.1 Kehitys teollisuudessa

Ennen teollista tuotantoa tuotteiden valmistaminen tapahtui käsityönä kodeissa. Teollinen vallankumous 1700-luvun puolivälistä 1800-luvun alkupuolelle muutti valmistusmenetelmiä ja oli merkittävä vaihe modernille tuotannolle. Silloin alettiin kehittää ensimmäisiä teollisia valmistuslinjoja. (My Life and Work 2005.)

Henry Ford perusti vuonna 1903 ensimmäisen autotehtaan, jossa viiden ensimmäisen vuoden aikana kehitettiin ensimmäinen massatuotettu auto. Ford halusi kehittää tuotantoaan jatkuvasti parempaan ja tehokkaampaan suuntaan ja oli halukas kokeilemaan uusia valmistusmenetelmiä. Tämä johti ensimmäisen liikkuvan valmistuslinjan käyttöönottoon. Sen lisäksi, että valmistuslinjaan tuotanto kehittyi nopeammaksi, työntekijöiden työhyvinvointi parani, onnettomuuksia syntyi vähemmän ja kulut pienenevät. (My Life and Work 2005.)

Ford listasi jo varhaisessa vaiheessa kolme toimintaperiaatetta valmistuslinjoille:

- Aseta työkalut ja työntekijät siten, että jokainen osa kulkee lyhyimmän mahdollisen matkan tuotannon aikana.
- Käytä jotakin kuljetinta siten, että kun työntekijä saa työvaiheensa valmiiksi, hän asettaa kappaleensa aina samaan paikkaan – mikä tulee aina olla kaikista sopivin paikka työntekijälle – ja jos mahdollista, käytä maan vetovoimaa kuljettamaan osaa seuraavaan työvaiheeseen.
- Käytä liikkuvia valmistuslinjoja, missä asennettavat osat kulkevat sopivalla etäisyydellä toisistaan. (My Life and Work 2005.)

Valmistuslinjojen kehittäminen ei ollut nopea prosessi. Vuonna 1913 Ford kokeili ensimmäisen kerran liikkuvaa valmistuslinjaa vauhtipyörän magneetolle. Ajatus liikkuvasta linjastosta tuli Chicagon lihajalostamosta, jossa oli käytössä katossa liikkuvat kannattimet. Aikaa vievien kokeilujen tulokset olivat merkittäviä, sillä niillä saavutettiin parhaimmillaan kahdeksankertainen nopeus aiempaan verrattuna. T-mallin auton alustan kokoonpanoon kului aluksi 12 tuntia 28 minuuttia. Valmistuslinjan kehityksen loppupuolella kokoamisaika oli enää 93 minuuttia. (My Life and Work 2005.)

Avaimena tehokkaampaan tuotantoon oli ajatus, että työntekijällä täytyy olla käytettävissä jokainen tarvittava sekunti, muttei ainuttakaan tarpeetonta sekuntia. Toisin sanoen työntekijän itse työhön käyttämää aikaa lisättiin ja ylimääräistä tavaroiden

hakemista vähennettiin rakentamalla linjat siten, että kaikki tarpeellinen on mahdollisimman lähellä. (My Life and Work 2005.)

4.2 Lean-menetelmä

Yrityksen keskeinen tehtävä on tehdä voittoa, jota mahdollistetaan tuottamalla asiakkaille arvoa täyttämällä heidän tarpeensa. Tuotannossa on kuitenkin paljon toimintoja, jotka eivät suoraan anna lisäarvoa asiakkaan tilaamille laitteille tai palveluille. Työkalujen noutaminen, kokoonpanossa käytettävien osien siirtäminen ja työvaiheiden välinen siirtyminen ovat esimerkki tällaisesta toiminnasta. On siis syytä pohtia sitä, miten tuotannon prosesseja voisi kokonaisvaltaisesti kehittää niin, että ajankäyttö on mahdollisimman tehokasta

Hukan vähentämisen haastetta on selvitetty jo pitkään teollisuudessa. Vuonna 1990 julkaistu Massachusettsin teknologisen instituution toimesta tehty tutkimus Toyotan tehtaan tuotantojärjestelmästä oli merkittävä virstanpylväs hukan löytämisen ja poistamisen menetelmien esittelyssä maailmalle. Toyota oli kehittänyt menetelmän, joka tunnettiin nimellä Toyota Production System (TPS) ja myöhemmin yksinkertaisesti lean-menetelmänä. (Lean manufacturing 2018.)

Lean-menetelmä, tai vain Lean, on hallinnointitapa, joka tukee jatkuvaa parantamista. Lean on koko ajan käynnissä oleva pyrkimys kehittää tuotteita, palveluita ja prosesseja käyttämällä menetelmiä, joilla identifioidaan aikaa, työtä tai rahaa hukkaavia tekijöitä. Tämä saavutetaan tutkimalla prosesseja, analysoimalla tuloksia ja tehostamalla menetelmiä tai leikkaamalla pois vaiheita, jotka eivät tuota arvoa asiakkaille. (Viiden ässän kehitystyökalu 2019.)

Yksi lean-menetelmistä on 5S-malli, jolla vähennetään hukkaa ja lisätään tuottavuutta. 5S tulee sanoista Sort (Lajittelu), Store (Järjestys), Shine (Puhtaus), Standardize (Standardointi) ja Sustain (Ylläpito). Lajittelulla poistetaan kaikki asiat, joita ei tarvita tehtävään työhön. Järjestys tarkoittaa sitä, että asiat ovat omilla paikoillaan ja selkeästi merkittynä, jolloin ne löytyvät aina samalta paikalta. Puhtaus tarkoittaa työalueen pitämistä siistinä. Kaikki laitteet ja työkalut tulee pitää hyvässä kunnossa laadun takaamiseksi. Standardoinnilla ylläpidetään tasoa, jota vaaditaan jokaiselta työpisteeltä niin siisteydessä kuin järjestyksessä. Ylläpito tarkoittaa sitoutumista tapojen noudattamiseen ja ylläpidetään käyttöönotettuja menetelmiä. (Lean management 2017.)

One-piece flow

Yksi Lean-tuotannon avaintekijöistä on One-piece flow (OPF) eli yhden kappaleen työstäminen kerrallaan tietyssä kohdassa valmistuslinjaa. Tästä seuraa esimerkiksi laadun paraneminen, koska keskittyminen yhteen työvaiheeseen lisääntyy. (Achieving one-piece flow 2019.)

5 Muutokset ja niiden vaikutukset valmistuksessa

Muutos on jatkuva prosessi teollisuudessa, ja siinä selviytymisen elinehtona on tarjota jotain parempaa kuin kilpailijat. Tämä voi tarkoittaa nopeampaa palvelua, halvempaa tuotetta tai uusien toiminnallisuuksien lisäämistä.

Laiteuudistuksen tavoitteena oli saada suurempi valikoima vaihtamalla LGBT-puolijohteita, mutta säilyttämällä sama asennusrunko. Toinen tavoite oli laitteen painon vähentäminen. Erityisesti kuparin määrän vähentäminen laitteessa pienensi kokonaismassaa. Kolmantena tavoitteena oli kustannusten pienentäminen, mikä on luonnollinen seuraus käytetyn materiaalin vähentämisestä.

Vanhan laitteen massa on 112 kg (95 kg moduuli + 17 kg jalusta), kun taas uudistetussa laitteessa massaa on vain 80 kg (63 kg moduuli + 17 kg jalusta). Laitteen massaa saatiin pienennettyä 32 kg, mikä on noin 34 % vähemmän vanhaan laitteeseen verrattuna. Laitteen pienempi massa on taloudellisen kannattavuuden näkökulman lisäksi eduksi työturvallisuudelle ja työhyvinvoinnille.

5.1 Muutokset ja vaikutukset osakokoonpanoihin

Muutosten oletetaan vaikuttavan kokoonpanopisteiden työkaluihin, valmistusalustoihin ja puskureihin. Jotkin työpisteet saattavat vaatia enemmän muutosta, mutta on mahdollista, että toiset työpisteet soveltuvat uuden laitteen tuotantoon sellaisinaan. Tärkeintä on saada aikaan sujuva virtaus osakokoonpanon valmistuksen aloittamisesta loppukokoonpanossa tapahtuvaan asennukseen. Tässä tutkimuksessa muutoksia tutkittiin mittaamalla prototyyppiä siinä määrin kuin se oli mahdollista sekä käyttämällä 3D-mallinnusohjelman mittausominaisuuksia ja vertailemalla niitä edeltävän laitteen mittoihin.

Laitteen täysi purkaminen ei ollut mahdollista, joten yksityiskohtaisia kuvauksia laitteen jokaisesta osasta ei voitu tehdä. Kondensaatioyksikön ja ohjausyksikön purkamisen yhteydessä saatiin kuitenkin kaikki laitteen osakokoonpanot näkyville. Tästä voitiin todeta vanhan laitteen työpisteiden työkalujen ainakin suurimmilta osin soveltuvan uuden laitteen kokoonpanoon. On jopa mahdollista, että muutamista työkaluista voidaan luopua kokonaan. Työkalujen tarve on kuitenkin selvitettävä, kun lopullinen versio prototyypistä on saatu valmiiksi.

5.1.1 Jäähdytinelementti

Jäähdytinelementin leveys määräytyy pitkälti siihen kiinnitettävien IGBT-moduulien mukaan, joita kiinnitetään jokaiseen laitteeseen kolme kappaletta, minkä vuoksi valmiin jäähdytinelementin leveys eroaa vain hieman uuden ja vanhan version välillä. Toisaalta uudistettuun elementtiin kiinnitetään aiemmin muualla sijainneita vastuksia, mikä tehostaa tilankäyttöä ja vähentää kokonaispainoa. Tästä johtuen suurin ero uuden ja vanhan jäähdytinelementin mittojen välillä on pituus. Taulukossa 1 on esitetty kriittisimmät mitat sekä uuden että vanhan laitteen jäähdytinelementtien mitoista.

Taulukko 1. Vanhan ja uuden jäähdytinelementin ulkomitat. Mitoissa huomioidaan vain elementti, ei niiden päälle lisättäviä komponentteja. Mitat on ilmoitettu senttimetreinä (cm).

	Vanha elementti	Uusi elementti
Pituus	56	80
Leveys	24,8	20
Korkeus	8,8	8

Työpisteen muutokset

Elementit ovat muodoltaan samantyyppisiä suorakulmioita, joten työpisteessä voidaan käyttää samaa työpöytää. Sen sijaan käytössä olevat ”tarjottimet” eli asennusalustat, joiden päällä elementti kootaan ja liikutetaan, täytyy muokata uuden elementin mitoille sopivaksi. Uusi elementti on 24 cm pidempi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että alustat kannattaa teettää kokonaan uudelleen. Pidempi elementti ei mahdu entisten alustojen päälle, vaan tulee yli reunoista. Tämä aiheuttaa turvallisuusriskin. Alustoissa on lisäksi muoviset tuet, jotka pitävät elementtiä kokoonpanon aikana paikallaan ja nämä tuet on paikoitettava uudelleen.

Vanhassa ja uudessa elementissä käytetyt työkalut ovat samat. Osakokoonpano jatkuu torx-vääntimillä (koot 20 ja 25) tai vaihtoehtoisesti 8 mm ja 10 mm hylsyavaimilla. Käytössä oleva kiinnike sallii molempien väännintyyppien käytön.

Puskurin muutokset

Puskureiden osalta muutos riippuu asennusalustoista. Koska asennusalustat suositellaan tehtäväksi uudelleen, puskuria täytyy leventää uusille alustoille sopivaksi. Mikäli asennusalustoja ei syystä tai toisesta päätetä uudistaa, täytyy uuden elementin pituus ottaa huomioon turvallisuussuunnittelussa.

5.1.2 Kondensaattoriyksikkö

Suurin muutos laitteessa tapahtui kondensaattoriyksikössä. Edeltävässä laitteessa kondensaattorit asetettiin kolmeen riviin. Sen sijaan uudistuneessa laitteessa kondensaattorit asennetaan kahteen riviin. Tästä johtuen uudistetun kondensaattoriyksikön ulkomitat muuttuivat huomattavasti (ks. Taulukko 2). Kokonaispituus kasvoi noin 45 prosenttia, kun taas leveys on alle puolet entisestä. Lisäksi kondensaattoreiden keskinäinen etäisyys uudistetussa laitteessa on aavistuksen pienempi, mikä vähensi tukimateriaalien määrää ja painoa.

Taulukko 2. Vanhan ja uuden kondensaattoriyksikön ulkomitat valmiista osakokoonpanosta. Mitat on ilmoitettu senttimetreinä (cm).

	Vanha malli	Uusi malli
Pituus	56,7	82,2
Leveys	43,7	20,2
Korkeus	18,5	23,3

Työpisteen muutokset

Uutta kondensaattoriyksikköä valmistettaessa on mahdollista hyödyntää jo olemassa olevaa työpistettä, koska valmistuksessa ei käytetä asennusalustaa. Sen sijaan kokoonpanossa käytetään alustapeltiä, joka on samalla osa kokoonpanoa. Uudessa laitteessa alustapelti pienenee reippaasti, mutta sitä on edelleen mahdollista käyttää tukena sekä asennuksessa että yksikköä liikuteltaessa.

Kondensaattoriyksikön osakokoonpanossa on mahdollista hyödyntää kaikkia edellisen laitteen ruuvivääntimiä. Asennukseen tarvitaan tx20-torx -kärki ja 10 mm:n hylsyavain.

Kondensaattoriyksikölle tehdään aina jännitetestit ennen varsinaista rasisajoa. Asennusvirheistä tai materiaaliveioista johtuen jännitetestit ei aina mene läpi, vaan laite joudutaan purkamaan. Tämä vie turhaan aikaa. Tutkimuksen yhteydessä tuli esille mahdollisuus tehdä jännitetestit jo osakokoonpanossa, ennen kuin yksikkö asennetaan laitteeseen. Tämä vähentäisi huomattavasti aikaa, joka kuluu laitteen purkamiseen, uuden kondensaattoriyksikön valmistamiseen ja laitteen uudelleen kokoamiseen.

Puskuri

Uuden yksikön ero edeltävän mallin pituuteen on yli 20 cm, joten puskuri aiheuttaa suurimman muutostarpeen kondensaattoriyksikön osakokoonpanossa. Tämä ei kuitenkaan vaikuttaisi aiheuttavan suuria haasteita, koska puskurin ympäristössä on tilaa. Varteenotettavana vaihtoehtona onkin leventää puskuria tarvittava määrä siten, että kondensaattoriyksikkö saataisiin mahtumaan puskurin poikittain menosuuntaansa nähden. Tämä myös lisäisi puskurin joustavuutta, koska entisen kahden paikan sijaan puskurin mahtuisi kaksi kertaa enemmän yksiköitä.

5.1.3 Ohjausyksikkö

Ohjausyksikön suunnittelutyö oli vielä kesken, joten tässä tutkimuksessa saadut tulokset eivät välttämättä enää päde lopullisessa laitteessa. Ulkomitat ovat kuitenkin karkeasti selvillä, joten niitä vertailemalla voidaan tehdä alustavia johtopäätöksiä. Uusi ohjausyksikkö tulisi tämänhetkisten tietojen perusteella olemaan merkittävästi pidempi ja puolet kapeampi. Taulukko 3 havainnollistaa mittoja.

Taulukko 3. Vanhan ja uuden ohjausyksikön ulkomitat. Uuden yksikön osalta on mitattu prototyyppi. Mitat on ilmoitettu senttimetreinä (cm).

	Vanha	Uusi
Pituus	56,7	80
Leveys	41	17,5

Työpisteen muutokset

Jos ohjausyksikkö ei enää muutu nykyisestä mallistaan, sen valmistaminen on käytännössä samanlaista kuin vanhan mallin, jossa kaikki kootaan yhdelle metallialustalle. Toisaalta työkaluissa tulee suurempi muutos. Tutkimushetkellä käytössä olevan ohjausyksikön kokoonpanossa käytettiin tx20 torx -väännintä, kun taas vanhan laitteen ohjausyksikössä käytettiin 7 mm ja 5,5 mm hylsyavaimia sekä tx10 torx -kärkiä. Näistä kaikista on mahdollista luopua uudistuksen jälkeen.

Puskurin muutokset

Puskurissa sen sijaan täytyy tehdä muutoksia uuden yksikön pituuserojen ja muotojen vuoksi. Vanhassa puskurissa olevat liikuttamiseen tarkoitetut alustat on räätälöity vanhalle yksikölle, mutta ne toimivat samalla tavalla. Tukien muuttaminen edellyttää niiden suunnittelua uudelleen. On kuitenkin järkevää pohtia, aiheuttaako alustaa pidempi yksikkö putoamisvaaran. Sivuttaistukia kannattaa ainakin harkita.

5.1.4 Puhallin ja jalusta

Muutokset eivät tällä hetkellä koske laitteeseen kiinnitettävää puhaltimen sisältävää jalustaa, joten niitä valmistavat työpisteet voidaan jättää toistaiseksi ennalleen. Tulevaisuudessa puhallin saatetaan joutua päivittämään. Tutkimushetkellä asiaan syvempi perehtyminen ei ollut relevanttia, koska tarkempia päätöksiä ei ollut vielä tehty.

5.1.5 Kuristimet

Sähkövirran muutosta hidastavat käämit eli kuristimet ovat melko tilaa vieviä, sillä niitä asennetaan laitteeseen yleensä kolme kappaletta. Laite on myös mahdollista valmistaa

ilman kuristimia. Molemmissa tapauksissa tilaa kuluu yhtä paljon. Vanhan ja uuden kuristinversioiden mitat esitellään taulukossa 4.

Taulukko 4. Vanhan ja uuden kuristinyksikön käämien ulkomitat. Mitat on ilmoitettu senttimetreinä (cm).

	Vanha	Uusi
Halkaisija (pelkkä käämi)	10,3	18,4
Käämin pituus	22,2	7

Muutokset työpisteellä

Uusien ja vanhojen kuristimien koot eroavat merkittävästi toisistaan. Käämin pituus on vajaa kolmanneksen vanhasta mallista ja halkaisija melkein kaksinkertainen. Muutos on kuitenkin suurin kokoonpanossa. Laitteen edeltävässä versiossa, loppukokoonpanon alussa, kuristin oli oma yksikkönsä. Puskurille ei silloin ollut tarvetta. Uuden laitteen myötä kuristimien asennus on vapautettu niin, että kuristimet voidaan asentaa käytännössä missä valmistuksen vaiheessa tahansa. Laitteen paino laski, kun kuristinyksikön komponentteja siirrettiin jäähdytyslementtiin.

5.2 Muutokset ja vaikutukset loppukokoonpanoon

Loppukokoonpanossa materiaaliyhlyissä sijaitsevista osista ja osakokoonpanoista rakennetaan yksi kokonaisuus. One piece flow -linjan mukaisesti kussakin työvaiheessa on yksi laite kerrallaan.

Laiteuudistus vaikuttaa loppukokoonpanon osalta oletettavasti eniten työkaluihin ja siihen, kuinka osakokoonpanot saadaan sujuvasti siirrettyä laitteeseen asennettavaksi. Tämä vaikuttaa väistämättä valmistuslinjan rakenteisiin. Laitteen ulkomitat säilyvät samana, joten kuljettimia voidaan hyödyntää uuden laitteen valmistuslinjassa.

5.2.1 Työpiste 10

Vanhan laiteversion työpisteessä 10 kootaan kuristinyksikkö. Toiseen peltiin kiinnittämisen jälkeen kuristinyksikkö ja pelti muodostavat laitteen kokoonpanon perustan, jonka päälle muut osat asennetaan.

Muutokset työpisteellä

Uudessa laiteversiossa kuristinyksikkö on joko hajautettu muihin työpisteisiin tai siihen käytettävät osat eivät ole enää käytössä. Näin ollen työpisteellä tapahtuva asennustyö on helposti sovellettavissa uudelle versiolle. Toisaalta kuristinkäämit olisi mahdollista asentaa jo tässä työvaiheessa, mutta asennusjärjestyksen kannalta uuden laitteen lopullisessa versiossa parempiakin vaihtoehtoja voi olla.

Käämien pääkiinnike on sama kuin edeltävässä versiossa. Kiinnittämisessä voidaan kuitenkin luopua torx-vääntimestä, koska sillä kiinnitettävät ruuvit eivät enää ole osa kuristimen kokoonpanoa.

5.2.2 Työpiste 20

Työpiste 20 on ainut loppukokoonpanon työpiste, jossa laitteeseen ei asennettu osakokoonpanoa. Sen sijaan siinä asennettiin irtonaisia osia, kuten virtakiskoja, tukia ja johtoja. Myös virtamuuntimet ja laitteen alatuki asennettiin vanhassa versiossa erikseen tällä työpisteellä. Uudessa versiossa ne on yhdistetty samaksi yksiköksi, joka kokonaisuudessaan voidaan asentaa loppukokoonpanoon.

Muutokset työpisteellä

Alatuki-virtamuunninyksikköä kehitetään edelleen, joten muutokset ovat mahdollisia. Yksikköä varten ei liene suunnitella omaa työpistettä, jos lopullisessa versiossa yksikön valmistaminen sujuu myös loppukokoonpanopisteellä. Työkaluissa voidaan jättää vain tx20 torx -väännin, ellei pidemmälle viedyissä suunnitelmissa muuteta loppukokoonpanoa niin, että tarvetta useammalle vääntimelle ilmenee. Uudistetussa versiossa voidaan tätä työpistettä muokata käyttöön sopivammaksi, koska sen ympärillä on tilaa tehdä muutoksia, jos esimerkiksi tulee tarve siirtää osakokoonpanon sijaintia.

5.2.3 Työpiste 30

Ensimmäinen varsinainen osakokoonpano vanhassa laitteessa asennettiin työpisteen 30 kohdalla, jolloin puskurista nostimen avulla siirrettiin jäähdityksikkö paikoilleen. Jäähdytinelementti oli puskurissa 90° väärässä asennossa asennussuuntaan nähden, joten asentamisessa hyödynnettiin kääntyvää asennuspöytää nostimen sijaan.

Muutokset työpisteellä

Uuden version jäähdytinelementti on suorakulmio kuten edeltävässä versiossa. Vanhan version asennustapoja voidaan näin ollen pitkälti hyödyntää uuden laitteen kokoonpanossa. Koska uusi elementti on pidempi, on nostimien rajoja muokattava. Asennuksesta tulee lisäksi yksinkertaisempi, koska kiinnittäminen tapahtuu neljällä 13mm:n pultilla, mikä käytännössä tarkoittaa sitä, että kaikki muut vääntimet voidaan poistaa elementin osalta. Asennus toisaalta vaikuttaa melko nopealta toimenpiteeltä, joten tässä työpisteessä on mahdollista tehdä enemmänkin työvaiheita.

5.2.4 Työpiste 40

Toinen ja painavin osakokoonpano – ainakin vanhan laitteen osalta – on työpisteessä 40, missä asennettiin kondensaattoriyksikkö. Sen nostamiseen käytettiin erityistä kaksivaiheista nostinta. Yksikköä ei voitu asentaa laitteeseen siinä asennossa, missä se oli osakokoonpanon puskurissa.

Muutokset työpisteellä

Uuden version kondensaattoriyksikkö muuttuu sekä fyysisiltä mitoiltaan että asennustavaltaan muihin osakokoonpanojen asennuksiin verrattuna. Uudessa kondensaattoriyksikössä on kaksi tasaista reunaa. Näitä reunoja olisi järkevää hyödyntää uuden valmistuslinjan suunnittelussa, esimerkiksi siirtämisessä ja asentamisessa. Nostimesta olisi mahdollista luopua. Sen sijaan työkaluissa tarvitaan samat vääntimet kuin vanhassa laitteessa.

5.2.5 Työpiste 50

Vanhan ja uuden laiteversioiden todennäköisesti vähiten muuttunut osakokoonpano oli työpisteellä 50 asennettava ohjausyksikkö. Vaikka sen pituus kasvoi merkittävästi, ei sen käytännössä pitäisi vaikuttaa merkittävästi asentamiseen. Tämä johtuu siitä, että asennustapa oli prototyypissä sama kuin aiemmin. Uuden yksikön asennuksessa ei todennäköisesti tarvitse tehdä suuria muutoksia ja laiteuudistuksesta selvittää tältä osin vähemmällä vaivalla. Uudistetussa työpisteessä ei myöskään tarvita ohjausyksikön asentamiseen muita vääntimiä kuin tx20 torx -väännin.

6 Tulosten tarkastelu

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, mitä muutoksia osakokoonpanoissa ja loppukokoonpanon työpisteissä täytyy tehdä, jotta uuden laitteen valmistaminen olisi mahdollista. Muutostarpeita ilmeni lähes jokaisessa työpisteessä. Osa muutoksista tulee vaatimaan enemmän muokkauksia, kun taas joistakin muutoksista selvittää pienillä korjausliikkeillä. Työkalujen osalta voidaan yleisesti sanoa, että suuria muutoksia ei tarvitse tehdä. Uudessa prototyypissä yhtenä tavoitteena oli käyttää niin paljon samoja kiinnikkeitä kun mahdollista. Tässä onnistuttiin tutkimuksen aikaisen prototyypin kanssa varsin hyvin. Prototyyppi pystyttiin purkamaan kahdella torx-kärkisellä ruuvivääntimellä (koot 20 ja 25) niin pitkälle, että käytännössä kaikki tarpeelliset osat olivat näkyvillä.

6.1 Muutostarpeet ja lisäselvitystä vaativat kohteet

Jäähdytinelementti

Jäähdytinelementti kasvaa pituutta yli 20 cm, mikä aiheuttaa muutostarpeen asennusalustoille. Asennusalustojen muutos ei välttämättä tarkoita täysin uusia alustoja, mutta muutoksessa täytyy huomioida putoamisriski, jos elementti ylittää alustan reunan. Mikäli asennusalustat teetetään kokonaan uudelleen, täytyy myös puskuriin tehdä muutoksia.

Kondensaattoriyksikkö

Kondensaattoriyksikön asentaminen on toteutettavissa entisellä työpisteellä. Yksikön siirtäminen työpisteeltä puskuriin ja liikkuminen puskurissa on mahdollista toteuttaa ilman asennusalustoja käyttämällä hyödyksi yksikön kahta reunapeltiä. Asennusalustoja ei tarvitse teettää, kuten ei edeltävässä laitteessakaan, mutta yksikön liikuttelu työpöydällä edellyttää työpöydän liukujärjestelmän muokkaamista. Puskuria täytyy muuttaa, koska edelliseen versioon verrattuna yksikään mitta ei ole yhtenevä.

Tutkimuksessa tuotiin esille myös mahdollisuus tehdä jännitetesti jo osakokoonpanossa. Tämä vähentäisi aikaa laitteen koestuksessa. Koestusprosessin paremmin tuntevien yleinen mielipide aiheeseen oli kuitenkin se, ettei hyöty muutoksesta olisi tarpeeksi suuri. Jännitetestissä on kuitenkin kyse noin 1000 voltin jännitteestä. Vaikka laitteisto olisi turvallinen, se voi väärissä käsissä aiheuttaa vaaratilanteen, esimerkiksi räjähdysvaaran.

Ohjausyksikkö

Ohjausyksikön työstäminen oli tutkimuksen aikana kesken. Tutkimuksen aikaisen version perusteella ohjausyksikön työpisteellä vaaditaan vain asennusalueen tuennan uudelleen suunnittelu. Jos asennusalueet muuttuvat, seuraa siitä väistämättä puskurin uudelleenmitoitus. Toisaalta on mahdollista, ettei alustoja käytettäisi enää uudessa versiossa. Ohjausyksikkö voitaisiin siirtää puskuriin sellaisenaan.

Loppukokoonpanon työpiste 10

Aiemmin työpisteessä 10 asennettuja virtaa kuristavia käämejä ei todennäköisesti enää kiinnitetä uudessa työpisteessä. Tämä johtuu siitä, että kuristimet on suunniteltu uudessa versiossa siten, että ne voidaan asentaa lähes missä tahansa loppukokoonpanon vaiheessa. Niiden tilalla voidaan asentaa uudelle prototyypille relevantimmat osat, kuten virtamuunnin-alustayksikkö.

Loppukokoonpanon työpiste 20

Koska työpisteellä 20 ei ole aiemmin asennettu osakokoonpanoja, uuden laitteen loppukokoonpanossa voidaan hyödyntää tätä pistettä hyvin. Tällä työpisteellä voidaan todennäköisesti asentaa jäähdytinelementti, joten osakokoonpanon siirtämistä lähemmäksi tätä työpistettä sekä tarvetta nostimelle olisi syytä tutkia tarkemmin.

Loppukokoonpanon työpiste 30

Työpisteellä 30 asennettava jäähdytinelementti on lopullisessa versiossa raskaampi kuin edeltävässä laitteessa. Sen vuoksi nostimen käyttöä suositellaan vahvasti. Uusi elementti on myös pidempi, joten nostinta tulee muokata. Tällä työpisteellä toisaalta on mahdollista asentaa kondensaattoriyksikkö, mikäli jäähdytinelementti asennettaisiin työpisteessä 20. Tässä tapauksessa kondensaattoriyksikön siirto puskurista laitteeseen on syytä tutkia tarkemmin.

Loppukokoonpanon työpiste 40

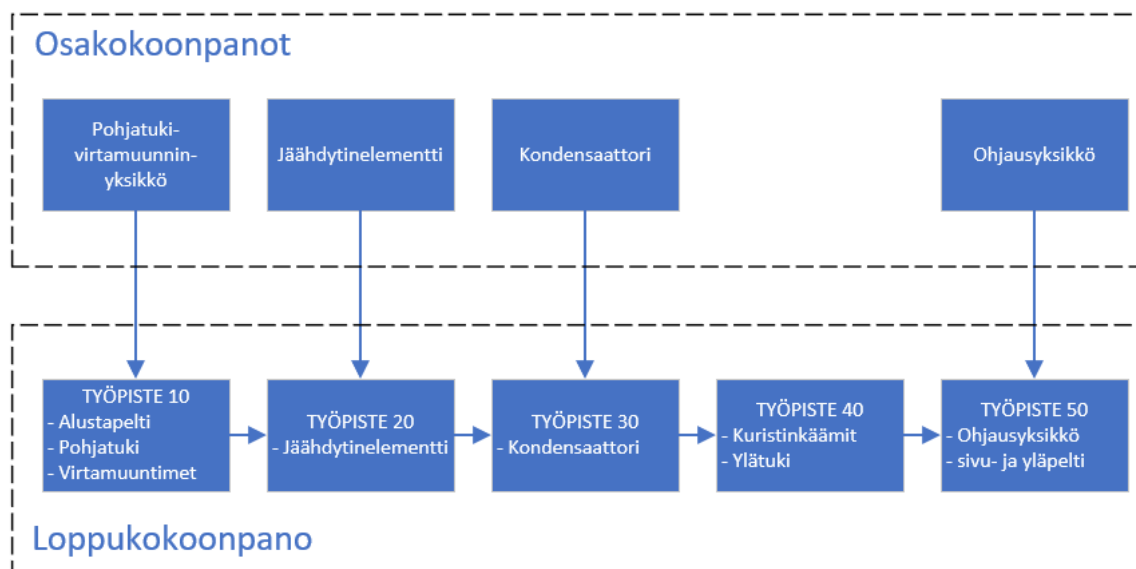
Työpisteessä 40 asennettava kondensaattoriyksikkö muuttui uudessa versiossa huomattavasti. Aiemmassa versiossa kondensaattoriyksikkö oli puskurissa ylösalaisin asennussuuntaan verrattuna. Uudessa versiossa yksikkö voidaan koota ja laittaa puskuriin oikein päin asennukseen nähden, joten aiemmin käytettyä kaksivaiheista nostamismenetelmää ei tarvita. Työpisteellä 40 olisi syytä selvittää, miten kondensaattoriyksikön sivupeltejä voisi hyödyntää sen siirtämisessä asennuskohtaan. Myös nostimen hyödyntämistä suositellaan vahvasti.

Loppukokoonpanon työpiste 50

Työpiste 50 oli loppukokoonpanon vaiheista ainut, joka ei vaadi muutoksia. Prototyyppiversion ohjausyksikkö oli keskeneräisyydestä huolimatta verrattavissa edeltäjäänsä ja asennustavoiltaan hyvin yhtenevä, joten tämän työpisteen osalta on mahdollista selvittää vähällä työmäärällä. Huomioitavaa on kuitenkin se, että prototyyppiversio tulee vielä muuttumaan.

6.2 Kokoonpanojärjestys

Tutkimuksen yhteydessä selvitettiin myös mahdollisia valmistusjärjestyksiä samalla, kun prototyyppiä purettiin ja koottiin. Vaikka itse prototyyppiä ei päästy kasaamaan täysin alusta loppuun, voitiin kokoonpanosta tehdä 3D-kuvien avustuksella suunnitelma. Seuraavassa virtauskaaviossa (ks. Kuva 1) on havainnollistettu yhtä teoriassa toimivaksi havaittua valmistusjärjestystä.



Kuva 1. Kulkukaavio ehdotuksesta laitteen uuden version valmistukseen. Puhallinjalustan kokoonpano ei sisälly kaavioon.

Valmistusjärjestykseen päädyttiin tutkimalla sekä fyysistä prototyyppiä että Creo viewerissä olevia tallennettuja 3D-kuvia. Alatuki-virtamuunnin-yksikön valmistusjärjestys ei ollut täysin varmaa. Mahdollisuuksina olisi pitää se itsenäisenä tai sisällyttää se loppukokoonpanoon. Epävarmuus johtui siitä, että asennusnopeus ei ollut tiedossa.

6.3 Yleistä pohdintaa valmistuslinjan suunnittelusta

Joustavuusmielessä vanhan laiteversion valmistuslinjalla ei voida käytännössä työstää mitään muuta kuin sille tarkoitettua laitetta. Toisaalta herää kysymys, miksi linjastoa tulisi edes suunnitella tulevaisuuden muutoksia varten, koska esimerkiksi Lean-ideologiassa pyritään muun muassa pääsemään eroon tuotannossa ylimääräisistä toiminnoista. (Lean 2019).

Ylimääräinen tila ei tuota asiakkaalle arvoa. Se on niin sanottua hukkaa, jota pyritään vähentämään. Toisaalta taas voidaan ajatella, että tulevaisuuden huomiointi valmistuslinjojen suunnittelussa on fiksua. Jos tiedetään, että laitteisiin tulee muutoksia, voidaan ne huomioida etukäteen varaamalla muutoksia varten esimerkiksi tilaa työpisteiden ympäriltä.

Tulevaisuus tulisi kaikesta huolimatta tiedostaa uusia valmistuslinjoja ja tuotemuutoksia suunniteltaessa. Tutkimuksen aikana havainnoitiin yleisiä seikkoja, joita suunnittelussa

on hyvä ottaa huomioon. Ne listattiin seuraavasti: työturvallisuus ja työhyvinvointi (ergonomia), tuotannon virtaus sekä tulevaisuuden optimointi.

Työturvallisuus ja -hyvinvointi ovat väistämättä yksi tärkeimmistä suunnittelussa huomioitavista tekijöistä. Valmistuslinjalla on yleensä useita liikkuvia osia, jotka aiheuttavat tapaturmariskejä. Niitä on pyrittävä vähentämään. Lisäksi työkalujen ja materiaalien saatavuus tulee olla mahdollisimman lähellä sitä paikkaa, missä niitä tarvitaan.

Tuotannon virtauksessa pyritään pitämään valmistuslinjalla selkeä järjestys ja muodostamaan osista kokonaisuus järjestelmällisesti. Jos virtaus ei ole alusta asti suunnittelussa mukana, lopputuloksena voi pahimmillaan olla jatkuvasti vajaateholla toimiva valmistuslinja. Tämä on erittäin tärkeä vaihe, koska huonolla virtauksella on vaikutusta myös työhyvinvointiin ja työturvallisuuteen. Järkevästi suunnitellulla valmistuslinjalla on helpompaa huomioida vaaratilanteita.

Tulevaisuuden optimointi suunnittelussa käsittää paitsi tilasuunnittelun, myös automaatiomahdollisuudet. Vaikka automaatioinvestointeihin ei sillä hetkellä olisi varaa, mutta ajatus automaatiosta olisi olemassa, alustavia suunnitelmia kannattaa mahdollisuuksien salliessa tehdä. Tarpeellisimmat automaatiokohteet ovat yleensä raskaimmat työvaiheet, kuten tutkimuksessa mainitut kondensaattorikokoonpano sekä jäähdytinelementti.

6.4 Seuraava askel

Tässä tutkimuksessa esitetyjä muutoksia ei päästy kokeilemaan käytännössä, mikä olisi vahvistanut tutkimustuloksia. Erityisesti loppukokoonpanossa olisi ollut toivottavaa, että alustapellin sopivuutta vanhan laitteen valmistuslinjaan olisi päästy testaamaan, joten seuraava työvaihe suunnittelussa on tutkimustulosten testaaminen käytännössä.

Laitteen sujuva virtaus valmistuslinjan läpi on edellytys tehokkaalle työskentelylle. Sujuvuus voidaan taata kellottamalla jokaisessa työvaiheessa kuluva aika ja tasaamalla työvaiheissa kuluvat asennusajat mahdollisimman lähelle toisiaan.

Lähteet

The new ABB. 2019. Verkkoaineisto. ABB Oy. <<https://new.abb.com/about/our-businesses>>. Luettu 10.4.2019.

Assembly line. 2006. Verkkoaineisto. Britannica. <<https://www.britannica.com/technology/assembly-line>>. Päivitetty 22.9.2006. Luettu 9.4.2019.

Dolcemascolo, Darren. Achieving one-piece flow. Verkkoaineisto. <<https://www.reliableplant.com/Read/14703/one-piece-flow>>. Luettu 10.4.2019.

Henry Ford. 2009. Verkkoaineisto. History. <<https://www.history.com/topics/inventions/henry-ford>>. Päivitetty 15.4.2018. Luettu 13.4.2019.

Industrial Revolution. 2009. Verkkoaineisto. History. <<https://www.history.com/topics/industrial-revolution/industrial-revolution>>. Päivitetty 1.10.2019. Luettu 13.4.2019.

Lean. Verkkoaineisto. Sixsigma. <<http://www.sixsigma.fi/fi/lean/>>. Luettu 8.4.2019.

Lean Management. 2017. Blogiteksti. Kanbanchi. <<https://www.kanbanchi.com/lean-management>>. Luettu 29.3.2019.

Mancini, Jeannine. 2019. The History of the Manufacturing. Verkkoaineisto. Sapling. <<https://www.sapling.com/5336403/history-manufacturing-industry>>. Luettu 11.4.2019.

My Life and Work. 2005. Verkkoaineisto. Project Gutenberg. <<http://www.gutenberg.org/cache/epub/7213/pg7213-images.html>>. Luettu 28.3.2019.

Rouse, Margaret. 2018. Verkkoaineisto. Lean manufacturing (lean production). SearchERP. <<https://searcherp.techtarget.com/definition/lean-production>>. Luettu 2.4.2019.

Väisänen, Jouni. 2013. Viiden ässän kehitystyökalu. Sixsigma. <<http://www.sixsigma.fi/fi/artikkelit/viiden-aessaen-kehitystyoeaku/>>. Luettu 8.4.2