



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

KATRIINA NURMIKOLU
KOKOONPANON KEHITTÄMINEN LINJATUOTANTOON
SIIRRYTTÄESSÄ

Diplomityö

Tarkastajat: professori Asko Riitahuhta,
tutkijatohtori Mikko Koho.
Tarkastajat ja aihe hyväksytty
Automaatio-, kone ja materiaalitekniikan
tiedekuntaneuvoston kokouksessa 5.
lokakuuta 2011.

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Materiaalitekniikan koulutusohjelma

NURMIKOLU, KATRIINA: Kokoonpanon kehittäminen linjatuotantoon siirryttäessä

Diplomityö, 68 sivua, 6 liitesivua

Joulukuu 2011

Pääaine: Tuotantotekniikka

Tarkastajat: professori Asko Riitahuhta, tutkijatohtori Mikko Koho

Avainsanat: kokoonpantavuus, kokoonpano, DFX, DFA, linjatuotanto, Lean

Tämän työn tavoitteena on käsitellä kokoonpantavuuden ja kokoonpanon käsitteitä ja sitä miten kokoonpantavuutta voidaan parantaa niin uuden tuotteen suunnittelussa kuin jo olemassa olevassa tuotteessa. Työn soveltavassa osassa keskitytään esimerkkituotteen, mikä on kuorma-autoalustaisen nostolavalaitteen varsisto, kokoonpantavuuden kehitykseen sekä kokoonpanolinjan suunnitteluun. Soveltavanosuuden tavoitteena on selvittää mitä pitää tehdä ennen kuin tuotanto voidaan muuttaa paikkakokoonpanosta linjatuotantoon ja pyrkiä löytämään myös ne tärkeimmät kehityskohteet joihin tulevaisuuden tuotteissa tulee erityisesti keskittyä.

Teoria osassa käsitellään kokoonpanon lisäksi DFX:n ja erityisesti DFA:n ja DFMA:n käsitteitä. Lisäksi pohditaan Lean-ajattelun yhteyttä kokoonpanotoimintaan. Erityishuomio tämän työn teoriassa on siinä, kuinka kokoonpantavuutta ja kokoonpanoa on muutettava ja kehitettävä kun kokoonpanojärjestelmä muuttuu paikkakokoonpanosta linjamuotoiseen kokoonpanoon.

Soveltavassa osuudessa esitellään lyhyesti Bronto Skyliftin toimintaa ja tuotteita sekä etsitään tämän hetkisen kokoonpanon ongelmakohtia. Tässä työssä esitellään lisäksi muutamia yksittäisiä ongelmia, jotka vaikeuttavat linjatuotantoon siirtymistä. Työssä esitellään myös sitä, millainen esimerkkituotteen kokoonpanolinja tulee olemaan ja millaisia toimenpiteitä on vaadittu sen aikaan saamiseksi. Projektissa on tehty muun muassa linjamaisen kokoonpanon pilotti, tutkittu linjan toimivuutta tietokonepohjaisen simulointimallin avulla sekä tarkasteltu linjan layoutin toimivuutta pienoismallien avulla.

Tämän työn tärkeimpinä tuloksina voidaan pitää kehityskohteiden löytämistä varsiston kokoonpanosta. Suurimmat kehityskohteet löytyvät varsiston sisään tulevasta energiapaketin asennuksesta ylipäätänsä koko tuotteen kaapelivienneistä. Linjatuotantoon siirtymisen tavoitteena on ollut läpäisyajkojen merkittävä lyhentymisen, mikä näyttäisi tässä projektissa toteutuvan. Tulosten analysointia kuitenkin vaikeuttaa se, että yrityksen tuotantoa ei tämän työn puitteissa vielä muutettu linjamaiseksi. Teoriaosuuden tärkeimpänä tuloksena tunnistettiin lukuisia yleisiä suunnittelusääntöjä, joiden avulla tuotteen kokoonpantavuutta voidaan parantaa ja millaisia periaatteita tulisi noudattaa DFA-filosofiassa. Niin kokoonpantavuudessakin kuin DFA:ssakin kaikki lähtee liikkeelle osien määrän vähentämisestä ja sitä kautta liitosten vähentämisestä.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Material Engineering

NURMIKOLU, KATRIINA: Development of assembly while production is shifting towards assembly line.

Master of Science Thesis, 68 pages, 6 Appendix pages

December 2011

Major: Production engineering

Examiners: Professor Asko Riitahuhta, Research fellow Mikko Koho

Keywords: Assembly, Assemblability, DFX, DFA, C-DFMA, Assembly line

First part of this thesis concentrates on assembly and assemblability and how the assemblability can be improved in designing a new product or product that already exists. The second part of the thesis handles with example product's assembly and assemblability and how to enhance them and how to develop an assembly line. The example product is truck mounted hydraulic platforms and especially it's boom set. The main goal of the second part is to determine which actions are required when production is changed from cell production to line production. Also it's tried to find the most important targets of development to concentrate in the future.

In the first part terms like DFA and DFMA are also discussed. Also connections with Lean and assembly are discovered. Special attention is focused on changing production system from cell assembly to line assembly. What kinds of changes are required in assemblability and assembly?

In the second part there are introduced Bronto Skylift's main functions and products briefly and the main problems are also discovered. Also few individual problems are introduced. Those are things which make production harder to shift towards line production. Later in this thesis it's explained which kind of assembly line it is going to be. In development of assembly line there have been done for example some pilots, simulation and scale models.

One of the most important results of this thesis is to find the most important objects of boom assembly to develop in the future. The major thing is to develop an energy packet assembly inside the boom set. Also whole cabling system is important target for development. The main goal of moving from cell assembly to line assembly is to reduce lead time significantly and it seems like it's going to happen. Because the assembly line isn't working yet, it makes it harder to analyze how the line really works. In the theoretical part of thesis, it's managed to find out many design rules how to make assemblability better. The most important rule is to reduce parts and so reduce number of assemblies.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Bronto Skylift Oy Ab:n Tampereen tehtaalla. Työn tarkastajina toimivat professori Asko Riitahuhta ja tutkijatohtori Mikko Koho. Bronto Skyliftin puolelta työtä ohjasi tuotantopäällikkö Markus Jaatinen.

Haluan kiittää työn tarkastajia työn tekemisen tukemisesta sekä työn ohjaajaa lukuista hyvistä ideoista. Erityiskiitokset myös Tampereen ja Porin tehtaan asentajille, jotka ovat vastailleet kaikkiin typeriinkin kysymyksiini ja siten osaltaan auttaneet minua työn tekemisestä. Kiitos myös kotiväelle kannustuksesta koko opiskeluaikana.

Tampereella 21.11.2011

Katriina Nurmikolu
katriina.nurmikolu@gmail.com

SISÄLLYS

1	Johdanto	1
2	Kokoonpano	3
	2.1 Kokoonpanotekniikat	4
	2.2 Kokoonpanojärjestelmät	5
	2.2.1 Paikkakokoonpano.....	5
	2.2.2 Linjakokoonpano	6
	2.2.3 Paikkakokoonpanosta linjatuotantoon siirtymisen vaatimuksia	8
	2.3 Raskaan tuotteen kokoonpanon erityispiirteet	8
3	Kokoonpantavuus.....	10
	3.1 Liittämismenetelmät.....	14
	3.2 Kokoonpanomyötäinen tuotesuunnittelu	15
	3.2.1 Historiaa.....	16
	3.2.2 Kokoonpano- ja valmistusmyötäisen suunnittelun käyttöönotto ja suunnittelusääntöjä	17
	3.2.3 Valmistettavuus ja kokoonpantavuus konseptisuunnitteluvaiheessa.21	
	3.2.4 Uuden tuotteen suunnittelu kokoonpanomyötäisesti	24
	3.3 Kokoonpantavuuden arviointimenetelmiä	25
	3.3.1 Tarkastuslistat	25
	3.3.2 Boothroyd-Dewhurst menetelmä.....	26
	3.3.3 Hitachin menetelmä	27
	3.3.4 Lucasin menetelmä	28
4	Lean.....	29
	4.1 Leanin välineitä kokoonpanon kehitykseen	31
	4.1.1 Kapeikkoajattelu	31
	4.1.2 5 x Miksi?	31
	4.1.3 Poka-Yoke	32
	4.1.4 Tuotannon tasapainottaminen	33
	4.1.5 5S	33
	4.1.6 Jatkuva parantaminen	34
	4.2 Lean, linjakokoonpano ja kokoonpantavuus.....	35
	4.3 Lean tuotekehitys	36
5	Bronto Skylift Oy Ab	38
	5.1 Historia.....	39
	5.2 Tuotteet	39
6	Nykytilan kartoitus.....	42
	6.1 Varsistokokoonpano.....	42
	6.2 Suunnittelutoiminta.....	44
	6.3 Tärkeimmät kehityskohteet.....	45
7	Varsiston kokoonpanon kehittäminen.....	46
	7.1 Työläimmät vaiheet päälinjalla	47

7.1.1	C-kouru	47
7.1.2	Kaapeliränni.....	50
7.1.3	Kaapeliviennit.....	52
7.2	Isojen komponenttien liitospinnat	54
7.3	Ei-kokoonpanotyöt.....	55
7.3.1	Poraus ja kierteiden avaus.....	55
7.3.2	Korivarren törmäys etunivelessä	55
7.3.3	Suojien sovitukset.....	57
8	Varsiston kokoonpanolinja.....	58
8.1.1	Linjakokoonpanon pilotti.....	59
8.1.2	Linjan simulointimalli.....	62
9	Kehitysehdotuksia tulevaisuuteen	63
10	Päätelmät	66
	Lähteet.....	67
	Liite 1: Valmistusprosessi	
	Liite 2: Kokoonpanon vanha layout	
	Liite 3: Työajantutkimus	
	Liite 4: Kaapelirännin kustannusarvio	
	Liite 5: Kokoonpanolinjan layout	

LYHENTEET, TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

5S	Työkalu hukan poistamiseksi siisteyden ja järjestyksen avulla.
AEM	Assembly evaluation method on Hitachin kokoonpantavuuden arviointityökalu.
BD DFMA	Boothroyd- Dewhurstin Design for manufacturing and assembly on kokoonpantavuuden arviointimenetelmä.
C_DFMA	Conceptual design for manufacturing on menetelmä kokoonpantavuuden ja valmistettavuuden huomioimiselle konseptisuunnittelu vaiheessa.
DFA	Design for assembly on kokoonpantavuuden suunnittelun periaate.
DFMA	Design for assembly and manufacture on kokoonpantavuuden ja valmistettavuuden menetelmä.
DFM	Design for manufacture on valmistettavuuden periaate.
DFX	Design for X on yhteisnimi eri näkökulmat huomioonottaville suunnittelumenetelmille.
Heijunka	Tuotannon tasapainottamisen työkalu.
Jidoka	Leanin periaate, mikä perustuu korkean laatutason tavoitteluun
JIT	Just-in-time Lean ajattelun toinen peruspilari, jolla pyritään siihen, että tuote on juuri oikeaan aikaan oikeassa paikassa.
Kaizen	Jatkuvan parantamisen työkalu
Lean	Johtamisfilosofia, jonka perusajatus on tuottaa asiakkaalle mahdollisimman paljon arvoa mahdollisimman pienillä resursseilla.
Poka-Yoke	Virheiden ehkäisemisen ja löytämisen työkalu.

1 JOHDANTO

Kokoonpano on iso osa tuotteen valmistusta. Kokoonpanossa valmistus, suunnittelu ja logistiikka kohtaavat toisensa muodostaen kokonaisen tuotteen. Tuotteen missä itse suunnitellut ja valmistetut tai muualta hankitut osat ja standardikomponentit liitetään yhteen suunnittelun suunnitteleamalla tavalla. Kokoonpanossa kustannuksia on paljon sidottuna tuotteeseen keskeneräisen tuotannon muodossa, varastoissa, kapasiteetin tarpeessa ja niin edelleen. Ei siis ole samantekevää kuinka osat toisiinsa liitetään.

Kun siirrytään paikkakokoonpanosta linjamaiseen tuotantoon, muuttuvat myös vaatimukset kokoonpanon toimivuudesta. Linjamaisessa tuotannossa eri syistä johtuvat puutteet ja virheet aiheuttavat paljon suurempia ongelmia, kuin paikkatuotannossa. Toisaalta linjatuotannon mahdollisuutena on selkeyttää tuotantoa ja pienentää läpäisyäikää ja siten parantaa tuottavuutta merkittävästi. Tuottavuus kuvaa tuotannon tehokkuutta. Mitä enemmän saadaan vähemmällä työmäärällä aikaan, sitä parempi on tuottavuus.

Diplomityön lähtökohtana on muuttaa varsiston kokoonpano paikkakokoonpanosta linjatuotantoon. Tällainen muutos on jo tehty Bronton Tampereen tehtaalla ja nyt samaan linjaan yhdistetään Porin tehdas. Linjakokoonpanon siirtymisellä tavoitellaan tuottavuuden parantamista läpimenoajan lyhenemisellä sekä työmenetelmien, materiaalinohjauksen kehityksellä sekä vakioinnilla. Tavoitteena on myös nostaa lopputuotteen laatua ja vähentää materiaali- ja riippuvuutta toimittajista vähentämällä alihankkijoiden tekemää työtä. Linjamuotoiseen kokoonpanoon siirtyminen aiheuttaa useita tarpeita koko kokoonpanoprosessille. Materiaalinohjaus, layout, kokoonpanon vaiheistus, tuoterakenne ja niin edelleen, kaikki vaativat muutoksia, jotta linjasta tulisi toimiva.

Tämän diplomityön tavoitteena on teoriaosuudessa tutkia kokoonpanon ja kokoonpantavuuden käsitteitä. Tavoitteena on tuottaa tietoa siitä, miten kokoonpantavuus voitaisiin ottaa huomioon jo tuotteen suunnitteluvaiheessa, mutta pohditaan myös olemassa olevan tuotteen kokoonpantavuuden kehittämistä. Tavoitteena on pyrkiä löytämään suunnittelusääntöjä, joiden avulla tuotteen kokoonpantavuutta ja kokoonpanoprosessia saadaan parannettua ja siten työaika lyhennettyä. Soveltavassa osuudessa tutkitaan varsistokokoonpanoa ja pyritään tunnistamaan kokoonpanon suurimmat ongelmakohdat ja löytämään ongelmille toimivia ratkaisuvaihtoehtoja. Soveltavassa osuudessa pyritään löytämään kohteet joihin erityisesti tulisi kiinnittää huomiota tulevaisuuden tuotteissa teoriaosuudessa havaituilla suunnittelusäännöillä. Tavoitteena on myös pyrkiä tehostamaan koko kokoonpanoa parantamalla tuotteen kokoonpantavuutta ja prosesseja.

Työssä ei oteta juurikaan kantaa siihen kuinka materiaalinohjaukset tulisi linjamuotoisessa kokoonpanossa hoitaa tai siihen, miten varsiston kokoonpano vaiheistetaan, vaikka koko linjatuotantoon siirtymisprosessi niitä edellyttääkin. Työssä tullaan myös keskittymään erityisesti raskaiden tuotteiden kokoonpanoon, koska se eroaa huomattavasti kevyestä kokoonpanosta ja työn esimerkkituotteen kokoonpano on raskasta kokoonpanoa. Työstä rajataan myös pois automaattisen kokoonpanon vaatimusten tarkempi käsittely ja keskitytään mekaanisen kokoonpanoon, koska se on esimerkkituotteen kokoonpanomenetelmä.

Porin tehtaan kokoonpanon tutkiminen on alkanut keräämällä asentajilta tietoa kokoonpanon ongelmankohdista. Mikäli osat vaativat uudelleen suunnittelua, viedään tieto muutoksista suunnitteluun. Apuna tarkastelussa käytetään myös tehtyjä työajantutkimuksia, joista selviää muun muassa mitkä ovat laitteen työläimpiä kokoonpanovaiheita. Lisäksi suunnitellaan samalla linjan layoutia, työnvaiheistusta ja materiaalinohjaukseen liittyviä asioita kuten läpivirtausta. Kun suurin piirtein tiedetään millainen linjasta voisi tulla, kokeillaan työn tekemistä vaiheittain ja samalla kokeillaan myös materiaalin keräilyä asemakohtaisesti. Näitä niin sanottuja pilotteja tulisi tulevaisuudessa tehdä erilaisille laitetyppeille, jolloin pystytään myös selvittämään missä kohdissa erilaiset laitteet toisistaan eroavat. Tietoa siitä millainen linjan tulisi olla, saadaan myös tehdystä tietokonesimulointimallista. Simuloinnilla pyritään erityisesti selvittämään sitä pitääkö linjan asemilla mahdollisesti olla rinnakkaisia paikkoja. Kun tietoa linjan toiminnasta on kerätty riittävästi, voidaan linjaa käyttää käytäntöön.

Työn ensimmäiset luvut käsittelevät työhön liittyvää teoriaa. Luvussa kaksi käsitellään erilaisia kokoonpanotekniikoita, kokoonpanojärjestelmiä, kokoonpanossa käytettäviä liittämismenetelmiä sekä pohditaan myös sitä millaisia erityispiirteitä on raskaan tuotteen kokoonpanossa. Luvussa kolme perehdytään kokoonpantavuuteen ja tiettyjen Design For X menetelmien käyttöön kokoonpantavuuden suunnittelussa. Luvussa käydään läpi muun muassa Design For Assembly järjestelmän peruserätykset. Tutkitaan myös sitä millaisilla menetelmillä kokoonpantavuutta voidaan arvioida. Luvussa neljä esitellään Leanin periaatteita, silmällä pitäen kokoonpanoprosessin kehityksen yhteyttä Leaniin.

Loput luvuista ovat työn soveltavaa osuutta. Luvussa viisi esitellään Bronto Skylift Oy Ab:n toimintaa ja luvussa kuusi käsitellään sitä minkälaisesta alkutilanteesta kehitystyö on aloitettu. Luvussa seitsemän etsitään esimerkkituotteen kokoonpantavuuden kehittämiskohteita ja ratkaisuvaihtoehtoja sekä ratkaisuja kehityskohteille. Luku kahdeksan käsittelee millainen kokoonpanolinja tälle esimerkki tapaukselle on suunniteltu. Luvussa yhdeksän pohditaan tulevaisuuden kehitysehdotuksia ja luku kymmenen kokoaa työn tärkeimmän sisällön ja koko työstä sisältäen myös arviointia siitä, miten työn tavoitteet on onnistuttu saavuttamaan.

2 KOKOONPANO

Kokoonpano on perinteisesti osien liittämistä toisiinsa toimivaksi tuotteeksi tai sen osaksi, mutta kokoonpano on myös paljon muuta. Kokoonpanon perusedellytyksenä voidaan pitää kahta asiaa: 1. osia on oltava saatavilla ja 2. osien on oltava sopivia. Tämän lisäksi edellytetään, että osaavaa henkilökuntaa on käytettävissä ja heille on oikeat työvälineet ja ohjeet työn suorittamiseen. (Tekes 2001, s.6)

Kokoonpanotyö sisältää varsinaisen liittämistyön lisäksi kappaleiden käsittelyä ja siirtämistä paikasta toiseen, varastointia, sovittamista ja tarkastamista. Kaikki muut työt, kuin itse liittäminen, ovat asiakkaan näkökulmasta tuotetta jalostamatonta työtä, jotka eivät nosta millään tavalla tuotteen arvoa, mutta tuovat kustannuksia ja vievät aikaa. Ne voivat olla kuitenkin prosessin kannalta välttämättömiä ja tekevät kokoonpanon mahdolliseksi. Jalostamaton työ voidaan jakaa edelleen välttämättömään jalostamattomaan työhön ja täysin tarpeettomaan jalostamattomaan työhön. Välttämätöntä jalostamatonta työtä syntyykin esimerkiksi tarkastuksista, tuotteen tai materiaalin käsittelyistä, siirroista, valmisteluajasta ja niin edelleen. Tarpeeton jalostamaton työaika syntyy erilaisista häiriöistä, odotuksista ja tavaran etsimisestä. On siis selvää, että jalostamattoman työn osuutta pitää pyrkiä minimoimaan mahdollisuuksien mukaan ja kehitystyö tulee aloittaa tarpeettomasta jalostamattomasta työstä. Kehitettävää kuitenkin löytyy varmasti myös välttämättömästä jalostamattomasta työstä. (Tekes 2001, s. 6-8; Ahokas et al. 2011, s. 9)

Tutkittaessa kokoonpanotyöhön kuluvaan aikaan, neljännes kuluu erilaisiin häiriöihin ja toinen neljännes taukoihin ja odotuksiin eli vain puolet ajasta kuluu varsinaiseen tekemiseen. Jos tähän vielä lisätään se, että jalostavan työn osuus tekemisajasta on vain noin 10–25%, huomataan kuinka pieni osuus itse asiassa käytetystä ajasta on jalostavaa työtä. Jalostavan työn osuuden lisääminen on mahdollista poistamalla turhat materiaalin käsittelyt ja kuljetukset. Tarpeen on myös tehdä asiat kerralla oikein, koska purkaminen ja uudelleen kokoaminen on lopputuotetta jalostamatonta työtä. Kokoonpanossa ei välttämättä ole asetus- tai valmisteluajoja, mutta jos niitä on, tulee niiden kestot saada minimiin. Työpaikan siisteys ja järjestys on myös tärkeää, koska työ nopeutuu kun tavaroita ei tarvitse enää etsiä. Materiaalipuutteet aiheuttavat turhia taukoja ja odotteluja, joista pitäisi todella päästä eroon. Muutenkin työpisteellä tulee olla valmiudet tehdä työtä eli vaaditut työkalut, osat ja työohjeet pitää olla saatavilla. (Tekes 2001, s. 6-8; Ahokas et al. 2011, s. 13-14)

Kokoonpanotyö voi olla jopa 20–40% tuotteen kokonaistyöajasta ja tavallisesti sitä tehdään vain yhdessä vuorossa. Loppukokoonpanossa tuotteeseen kertyy paljon kustannuksia, koska sitoutunutta pääomaa on paljon. Suuri osa tuotantotiloista on myös

kokoonpanon käytössä, joten kokoonpano on merkittävä osa tuotteen valmistusta. Kuitenkin kokoonpanoa on tutkittu paljon vähemmän kuin esimerkiksi valmistusta. (Tekes 2001, s. 7)

Riippuen siitä kootaanko tuote tehtaalla vai vasta asiakkaan luona, puhutaan kokoonpanosta tai asennuksesta. Tuote voidaan myös kokoonpanna tehtaalla, jonka jälkeen se puretaan osakokonaisuuksiin ja asennetaan asiakkaan luona. Tässä työssä keskitytään ainoastaan varsinaiseen kokoonpanoon valmistavassa tehtaassa. (Tekes 2001, s. 6)

2.1 Kokoonpanotekniikat

Yleensä kokoonpanotekniikat jaetaan kolmeen ryhmään: manuaalinen kokoonpano, jäykkä kokoonpanoautomaatio ja joustava kokoonpanoautomaatio. Suurin osa metalliteollisuuden kokoonpanosta tehdään edelleen manuaalisesti, mutta usein kokoonpanojärjestelmä on yhdistelmä manuaalista ja automaattista kokoonpanoa. Niin sanottua sekajärjestelmää käytetään, koska kaiken manuaalisen työn korvaaminen automaattiseksi ei ole usein järkevää tai edes mahdollista. (Lapinleimu et al. 1997, s. 116-119)

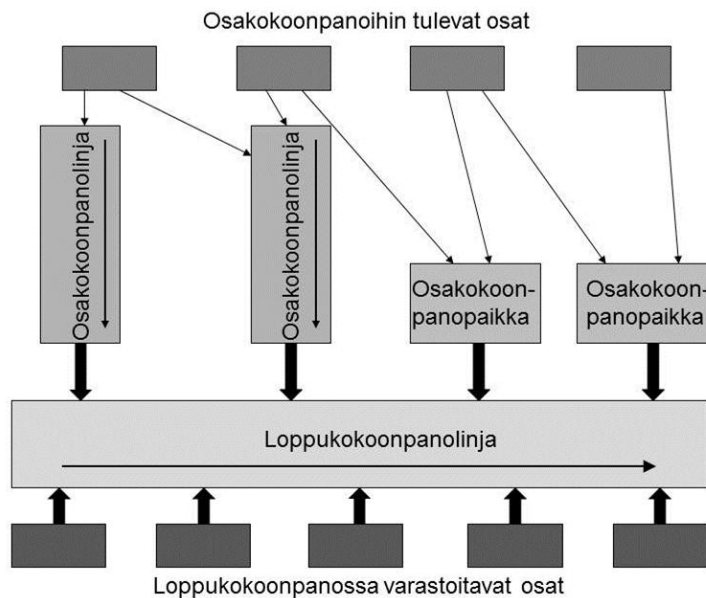
Manuaalinen kokoonpano sopii parhaiten yksittäis- ja pienerätuotantoon sekä tuotteille, jotka ovat hyvin monimutkaisia. Kokoonpano suoritetaan pöydällä, pukeilla tai lattialla tuotteen koosta riippuen. Työntekijällä on käytettävissä yleensä kevyitä ja yksinkertaisia työkaluja ja kokoonpanokiinnikkeitä käytetään vain vähän. Manuaalisella kokoonpanolla kapasiteettia on yksinkertaista lisätä lisäämällä työntekijöitä. Kokoonpanon tehokkuus on paljolti kiinni työntekijän ammattitaidosta ja motivaatiosta sekä muun muassa työpisteen järjestyksestä. (Lapinleimu et al. 1997, s. 116-117)

Kokoonpanoautomaation etu manuaalisen kokoonpanon verrattuna se, että työn laatu ja tehokkuus eivät ole työntekijästä kiinni. Automaattisen järjestelmän hankintakustannukset ovat varsin korkeat. Kun kapasiteettia tarvitsee voimakkaasti kasvattaa ja tuotantokustannuksia laskea, voi automaatio tulla kyseeseen. Lapinleimu (2000) määrittelee, että tällä hetkellä kevyessä tuotannossa, jossa volyymit ovat suuria, on automaatiosta tulemassa normaali kokoonpanotekniikka. Keskiraskaassa kokoonpanossa pitää vuosivolyymien olla tuhansia, jotta automaatio kannattaa ja raskaassa kokoonpanossa automaatio ei kannata lähi vuosina pienten volyymien vuoksi. Jäykässä kokoonpanoautomaatiossa tuote kootaan yhdellä tai useammalla linjassa olevalla koneella. Jäykkä kokoonpanoautomaatio sopii erityisen hyvin suurille volyymeille. Joustavassa kokoonpanoautomaatiossa käytetään moniin kokoonpanotehtäviin soveltuvia joustavia ja räätälöitävissä olevia laitteistoja. Joustava kokoonpanoautomaatio sopii parhaiten saman tuoteperheen tuotteille, joissa variaatiot ovat suhteellisen pieniä. Tuotteita voidaan valmistaa pienissä erissä tai jopa yksittäisinä tuotteina. (Lapinleimu 2000 s. 121)

2.2 Kokoonpanojärjestelmät

Kokoonpanojärjestelmä kertoo sen, kuinka tavara sekä ihmiset liikkuvat tehtaassa kokoonpanon aikana vai pysyvätkö ne kokonaan paikoillaan. Kokoonpanojärjestelmän valinnassa tulee huomioida tuoterakenteen sopiminen kokoonpanojärjestelmään. Jos tuote on vahvasti modulaarinen ja koostuu selkeistä osakokonaisuuksista, jotka voidaan rinnakkain kokoonpanna, tulee kokoonpanojärjestelmässä käyttää sitä hyväksi ja tehdä kokoonpanoon samankaltaisia rinnakkaisia kokoonpanopaikkoja. (Lapinleimu 2000, s. 129)

Yleisesti voidaan sanoa, että on kaksi kokoonpanojärjestelmää; linjakokoonpano ja paikkakokoonpano. Kun kokoonpannaan suuria tuotteita suurilla volyyymeilla, puhutaan kokoonpanotehtaasta. Kokoonpanotehtaassa voidaan yhdistää linja- ja paikkakokoonpanoa. Kuvassa 2.1 on esitetty kokoonpanotehtaan periaatekuva.

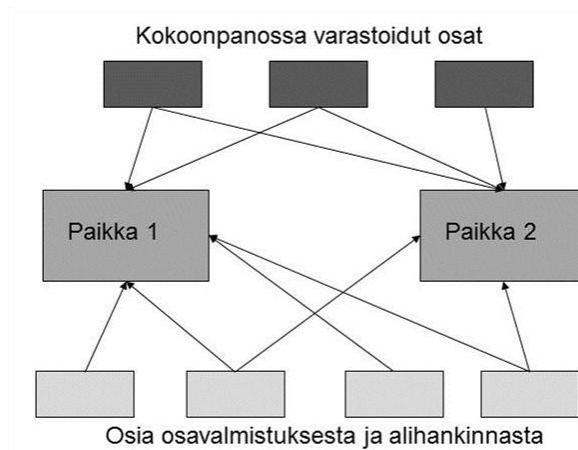


Kuva 2.1. Kokoonpanotehtaan periaate. (Muokattu lähteestä: Lapinleimu 1997, s. 114)

Kokoonpanotehtaalla on osakokoonpanopaikkoja ja/tai – linjoja sekä loppukokoonpanolinja. Materiaaleja tulee osakokoonpanoihin ja sitä kautta loppukokoonpanolinjalle sekä suoraan loppukokoonpanolinjalle. (Lapinleimu 1997, s. 112-114)

2.2.1 Paikkakokoonpano

Paikkakokoonpanossa tuote tehdään yhdellä paikalla alusta loppuun, eikä tuotetta tarvitse siirtää kokoonpanon aikana. Kuvassa 2.2 on karkea hahmotelma paikkakokoonpanosta ja sen materiaalivirrasta.



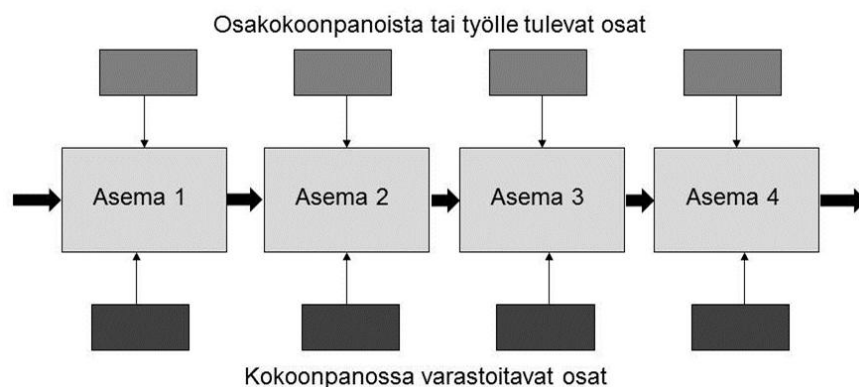
Kuva 2.2. Paikkakokoonpanon periaate. (Muokattu lähteestä: Lapinleimu 2000, s. 129)

Niin kuin kuvasta 2.2 nähdään, materiaalivirta ei ole kovinkaan selkeä. Ongelmaksi monesti nouseekin paikkakokoonpanossa se, että materiaalit ovat liian kaukana kokoonpanopaikalta, jolloin niiden hakemiseen kuluu turhaa aikaa. (Lapinleimu 2000, s. 129)

Paikkakokoonpano sopii hyvin yksittäistuotteille tai pienille erille. Kapasiteettia voidaan kasvattaa kokoonpanopaikkojen lukumäärää kasvattamalla. Kokoonpanopaikalla voi myös työntekijöiden määrä vaihdella kapasiteetin mukaan, jolloin saadaan joustavuutta tuotantoon. Joustavuutta lisää myös mahdollisuus tehdä tuotteita yhtäaikaaisesti monella eri paikalla. Työntekijöiltä vaaditaan paikkakokoonpanossa monialaista osaamista, koska paikalla tehdään tuote alusta loppuun asti. (Lapinleimu et al. 1997, s.112; Lapinleimu 2000, s.129)

2.2.2 Linjakokoonpano

Linjakokoonpanossa tuotteen kokoonpano on vaiheistettu siten, että tietyt tehtävät tehdään aina yhdellä työasemalla, jonka jälkeen tuote siirtyy seuraavalle asemalle. Työntekijät voivat joko siirtyä tuotteen mukana seuraavalle asemalle tai jäädä samalla asemalle kokoonpanemaan seuraavaa tuotetta. Kuvassa 2.3 on linjakokoonpanon periaate.



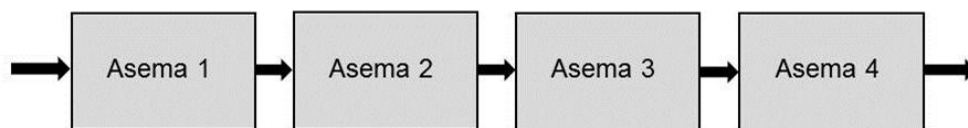
Kuva 2.3. Linjakokoonpanon periaate. (Muokattu lähteestä: Lapinleimu 1997, s. 113)

Materiaalit tulevat varastosta tai osakokoonpanoista aina oikeille asemille. Kokoonpanoasemilla on myös omat varastonsa siellä usein tarvittaville osille. Asemien määrä riippuu hyvin paljon tuotteesta, tuotantotiloista ja työn vaiheistamismahdollisuuksista. (Lapinleimu 2000, s.129-130)

Linjakokoonpanolla saadaan toteutettua tuottavasti suuria volyymeja. Kun linja pyörii virheettömästi ja se on hyvin suunniteltu, läpäisy aika on huomattavasti lyhyempi kuin paikkakokoonpanossa. Tässä työssä läpäisyajalla tarkoitetaan sitä aikaa, mikä kuluu kun alihankkijalta tai varastosta tulevat osat tuodaan kokoonpanoon, siihen kun ne lähtevät kokoonpantuina eteenpäin. Linjakokoonpano on erityisen herkkä virheille, kuten materiaalipuutteille ja virheellisille osille. Kun linjalla yksi asema pysähtyy, seisovat kaikki sitä edeltävät asemat ja siten aiheutuu monen tuotteen myöhästyminen suunnittelusta. (Lapinleimu 2000, s.130)

Linjan suunnittelussa tulee huomioida useita eri asioita. Yksi tärkeimmistä tehtävistä on linjan tasapainottaminen ja työn vaiheistus, jotta pullonkauloja tai pitkiä odotusaikoja ei synny asemien erisuuruisten työmäärien vuoksi. Linjan tahdin määrää sen pisimmän työvaiheen kesto. Linjan tasapainottamisessa työmäärä tulee jakaa mahdollisemman tasaisesti eri asemille, mieluummin niin, että työmäärä hieman pienenee viimeisille asemille mennessä, jolloin on vielä aikaa korjata mahdollisia aiempia puutteita. Jotta työmäärää pystytään arvioimaan, tulee työhön käytetty aika olla suurin piirtein sama työntekijästä riippumatta, joten työmenetelmät tulee olla vakioituja. Suunnittelussa tulee myös huomioida eri tuotteiden sopiminen linjalle ja se miten eri erilaisten tuotteiden vaihekestit vaihtelevat. Voi myös olla, että linjalla kokoonpannaan täysin identtisiä tuotteita, jolloin ongelmaa ei ole. (Lapinleimu et al. 1997, s.112; Ahokas et al. 2011 s. 22)

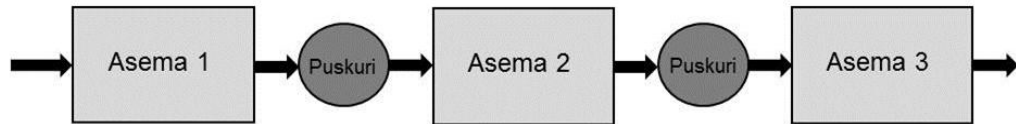
Kokoonpanolinjan suunnittelussa tulee tarkoin myös suunnitella se kuinka materiaali virtaa ja missä ovat varastot. Materiaalivirheistä ja -puutteista tulee aina isoja ongelmia, varsinkin jos kyseessä on tahtilinja. Tahtilinjalla puskuri- eli välivarastoja ei ole vaan tuote siirtyy edelliseltä asemalta suoraan seuraavalle niin kuin kuvassa 2.4 on esitetty.



Kuva 2.4. Tahtilinja. (Muokattu lähteestä: Lapinleimu et al. 1997, s. 81)

Tahtilinjan tahdin määrää linjan hitain vaihe, mikä vaihtelee valmistettavaan tuotteen mukaan sekunneista useisiin päiviin. Kaikki siirrot tapahtuvat viimeisestä asemasta alkaen samanaikaisesti. Myös siirtojen asetajat on muistettava huomioida tahtiajan määrityksessä. (Lapinleimu et al. 1997, s. 81)

Epätahtilinjalla asemien välillä on puskurivarastoja, jolloin pieni asemien eriaikaisuus ja eripituiset vaihekestit eivät haittaa. Kuvassa 2.5 on epätahtilinjan periaate.



Kuva 2.5. Epätahtilinja. (Muokattu lähteestä: Lapinleimu et al. 1997, 83)

Puskurivarasto tulee olla vähintään kahden työkappaleen kokoinen, mutta puskuri kannattaa pitää mahdollisimman pienenä, koska välivarastot kasvattavat keskeneräistä tuotantoa mikä taas sitoo kustannuksia. Lisäkustannuksia tulee myös siitä, että välivarastot syövät tuotantotilaa. Joskus puskurivarastojen käyttö on kuitenkin kannattavaa, jotta linjaan saadaan pientä joustavuutta esimerkiksi linjoilla, joilla valmistetaan erilaisia tuotteita joiden työmäärät vaihtelevat paljon. (Lapinleimu et al.1997, s. 83)

2.2.3 Paikkakokoonpanosta linjatuotantoon siirtymisen vaatimuksia

Linjamuotoinen kokoonpano ei kestä juurikaan virheitä niin kuin paikkakokoonpano ja siksi virheet ja niiden mahdollisuudet tulee tunnistaa hyvinkin tarkasti koko tuotteesta. Linjatuotannossa ei ole pääsääntöisesti aikaa muokkailta osia vaan niiden tulee sopia paikoilleen ilman sovittamista ja parantelua. Yksi suurimmista haasteista on materiaalinohjaus. Oikeiden materiaalien saaminen oikeaan paikkaan ja vielä oikeaan aikaan, on todella tärkeää, koska jos tietyllä asemalla ei voida tehdä kaikkia vaadittavia asennuksia, ei kokoonpanoa voida jatkaa normaalisti. Tällöin tuote joko joudutaan ottamaan pois linjalta, jottei se viivästyttäisi muita perässä tulevia laiteita tai jatkaa kokoonpanoa seuraavilla asemilla, mikäli se on mahdollista ja asentaa puuttunut osa myöhemmin. Työasemilta tulee tarvittavien materiaalien lisäksi löytyä myös oikeat työvälineet. Ylimääräistä tavaraa ei tulisi asemilla olla.

Linjatuotannossa työvaiheiden synkronisointi tulee onnistua ja työ tulee jakaa selkeästi vaiheisiin. Jotta synkronisointi olisi mahdollista, tulee työvaiheiden kestot olla hyvin tiedossa, koska muuten linjalle helposti muodostuu pullonkauloja ja linjaa on vaikeaa tasapainottaa. Työtavat tulee olla tarkoin vakioituja, jolloin työvaiheiden kesto ja tarvittavat työvälineet saadaan myös vakioitua.

Kokoonpanojärjestelmän muuttaminen vaatii lisäksi muutoksia työkuulttuurissa. Paikkakokoonpanossa asentajat saavat tehdä työtä omalla tahdillaan ja omilla työtavoillaan. Linjatuotannossa on selkeät tavoitteet, koska jonkin osakokonaisuuden tulee olla valmis. Linjalla on myös mahdollista erikoistua johonkin tiettyyn työvaiheeseen kun taas paikkakokoonpanossa tulee hallita koko tuotteen kokoonpano.

2.3 Raskaan tuotteen kokoonpanon erityispiirteet

Raskaan tuotteen kokoonpano eroaa huomattavasti kevyen tuotteen kokoonpanosta. Painopiste raskaassa kokoonpanossa on loppukokoonpanon nopeus ja joustavuus. Tilaa ja käsittelyyn tarvittavia apuvälineitä tarvitaan. Suomessa raskasta kokoonpanoa on

tutkittu Tekesin teknologiaohjelmassa ”RASKO - Keskiraskaan ja raskaan kokoonpanotoiminnan kehittäminen” vuosina 1998–2000. Raskaaksi kokoonpanoksi RASKO- projekti määrittelee sellaisen kokoonpanon, missä osien käsittely vaatii apuvälineitä, koska ihmisvoimat eivät käsittelyyn riitä. (Tekes 2001, s. 5)

Erityisen tärkeäksi osaksi raskaassa kokoonpanossa nousee osakokoonpanojen hyödyntäminen. Kun työtä siirretään mahdollisimman paljon osakokoonpanoihin, päälinjan työ nopeutuu huomattavasti. Myös osakokonaisuuksien testaus ja koeajo helpottaa loppukokoonpanon tekemistä. Materiaalin käsittelyyn ja kokoonpanomenetelmien kehittämiseen tulee kiinnittää myös erityishuomiota. RASKO projektissa esille nousee tärkeänä osa-alueena toimittajayhteistyö, sillä päähankkija monesti keskittyy ydinosaamiseensa ja on vain loppukokoonpanija. Osakokoonpanot ja osat tulevat yhä useammin osa- ja systeemitoimittajilta, jolloin yhteistyön on oltava vahvaa. (Tekes 2001, s. 7-8)

Usein raskasta kokoonpanoa on vaikea automatisoida, koska tuotteet ovat monimutkaisia ja tuotanto on monesti yksittäis- tai piensarjatuotantoa. Kalliit automatisointi-investoinnit eivät kannata, koska laitteistot eivät ole kovinkaan joustavia. Automatisointi paineet ovat kuitenkin suuria ja raskaassa kokoonpanossa niitä voidaankin hyödyntää enemmän osakokoonpanoissa, materiaalin käsittelyssä sekä testauksissa. Raskaiden tuotteiden asiakkaiden asettamat vaatimukset ovat usein asiakaskohtaisia. Tästä johtuen tuoterakenteen tulisikin olla hyvin joustava ja moduloitavissa. Tällöin yritys pystyy tarjoamaan asiakkaalle tämän vaatimuksiin sopivan tuotteen jo valmiiksi suunnitelluista rakenteista, eikä tarvitse jatkuvasti valmistaa prototyyppituotteita. Näin tilaus- ja toimitusprosesseista saadaan hallittu kokonaisuus, jossa prosessit ovat tarkoin määriteltyjä ja vaadittavat resurssit ovat valmiina. (Tekes 2001, s. 7-8)

RASKO projektin johtopäätöksinä päädyttiin siihen, että tärkeimpinä huomion kohteina raskaassa kokoonpanossa tulisi pitää seuraavia asioita:

- Toimittajayhteistyön tärkeys.
- Kokoonpanoautomaation käyttö osakokoonpanoissa.
- Modulaarinen tuoterakenne mahdollistaa asiakasräätälöinnin loppukokoonpanossa.
- Tuotetiedonhallinta koko toimittajaketjussa läpi tuotteen elinkaaren.
- Hallittavien toimitusaikojen löytäminen simuloinnin avulla.
- Kokoonpanotyö, sisältäen materiaalin käsittelyn ja testauksen/koeajon, on toteutettava sujuvasti, nopeasti ja rinnakkain.

Erityisesti RASKO projektissa painotettiin kuinka toimittajayhteistyön syventäminen aivan uudelle tasolle on noussut tärkeäksi osaksi monissa yrityksissä projektinaikana. Tiedon siirto yritysten välillä nousee myös entistä tärkeämmäksi. (Tekes 2001, s. 119-120)

3 KOKOONPANTAVUUS

Kokoonpantavuus on ominaisuus, jonka vuoksi tuotteen kokoonpano voidaan toteuttaa laadukkaasti ja tehokkaasti. Kokoonpantavuus kuvaa sitä, kuinka helppo on jonkin tuotteen kokoonpano. Huhtala ja Pulkkinen (2009) määrittelevät kirjassaan Tuottavuuden kehittäminen, että kokoonpantavuus on suhteellinen ominaisuus, niin kuin valmistettavuuskin, joka määräytyy kun tuotantojärjestelmä ja tuote kohtaavat. (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 13)

Suunnittelun rooli kokoonpantavuuden kehityksessä on merkittävä, koska jo suunnitteluvaiheessa määräytyy se kuinka helppoa tuote on kokoonpanna. Niin kuin tässä luvussa tullaan näkemään, suunnittelulla voidaan vaikuttaa muun muassa seuraaviin asioihin:

1. **Osien määrä:** Mitä vähemmän on osia, sitä vähemmän on liitoksia.
2. **Kokoonpanon vaivattomuus:** Mitä vähemmän on kokoonpanosuuntia, sitä yksinkertaisempaa kokoonpano on.
3. **Modulaarinen tuoterakenne:** Helpottaa kokoonpanon osakokoonpanojen määrittämistä.
4. **Osien paikoittaminen:** Paikoittamista voidaan helpottaa lisäpiirteillä ja tekemällä virheiden tekeminen mahdottomaksi.

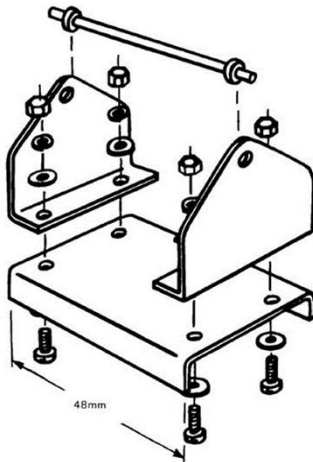
Suunnittelun tärkein tehtävä on tehdä kokoonpanosta tarpeetonta eli vähentää osia ja siten edelleen vähentää tarvittavia liitoksia. Mitä vähemmän osia on, sitä vähemmän on liitospintoja ja käsiteltäviä nimikkeitä. Kun osa voidaan jättää pois, osaa ei tarvitse suunnitella, tehdä prototyyppiä, valmistaa, testata, valvoa, varastoida, kierrättää, kuljettaa, ostaa ja niin edelleen. Boothroyd (1987) löytää osan välttämättömyydelle kolme syytä:

- Osa on oltava erillinen, koska tuotteen toiminnan kannalta sen on oltava eri materiaalia, kuin viereiset osat. Esimerkiksi sähköä eristävä tai johtava materiaali.
- Osa liikkuu viereisiin osiin nähden, eikä liikettä saada aikaan muilla keinoilla. Esimerkiksi pyörivä akseli tai kiinteä liukulaakeri.
- Osa on oltava erillinen, jotta kokoonpano tai purkamisen on mahdollista.

Suunnittelussa tulisi pyrkiä suunnittelemaan sellaisia osia, joissa yhdistyisi mahdollisimman monta toimintoa. Esimerkiksi ruuvissa voi olla valmiina jo aluslevy, jolloin sitä ei tarvitse erikseen liittää kokoonpanossa. Liitoksissa piilee aina laaturiski,

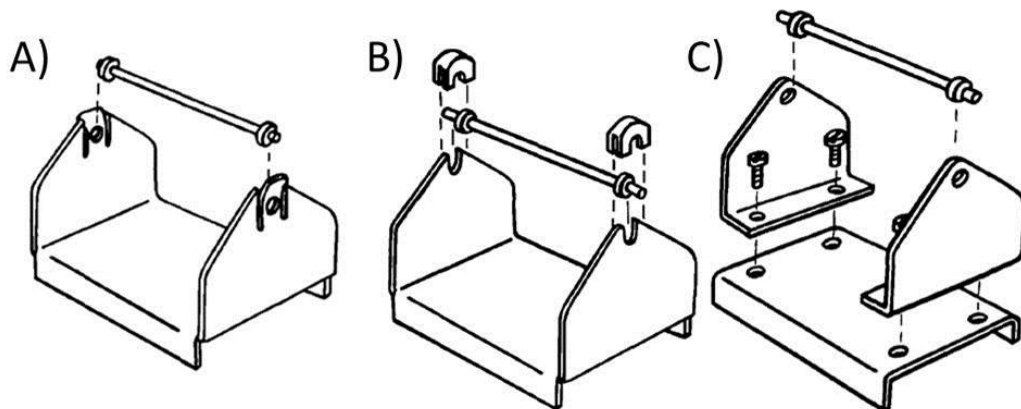
jolloin liitoksia vähentämällä työmäärä ja siten myös virheiden määrä vähenee. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 69-70; Boothroyd 1987, s. 3)

Kuvissa 3.1 ja 3.2 on esitetty esimerkki siitä kuinka paljon osia pystytään vähentämään tuotteesta kun tuote on hyvin suunniteltu.



Kuva 3.1. Neljästä pääkomponentista koostuva osa. (Boothroyd 1987, s.5.)

Kuvan 3.1 osassa on neljän pääkomponenttia: kolme ohutmetalliosaa ja tappi. Liittämiseen on käytetty 20 liitososaa, kuten aluslevyt, ruuvit ja mutterit, eli yhteensä tuotteessa on 24 erillistä osaa. Tuote voisi olla myös toisenlainen, jotta liitososien määrä vähentyisi. Kuvassa 3.2 on kolme vaihtoehtoa rakenteelle.



Kuva 3.2. Vaihtoehtoiset ratkaisut kuvan 3.1 osalle. (Muokattu lähteestä: Boothroyd 1987, s. 6-7)

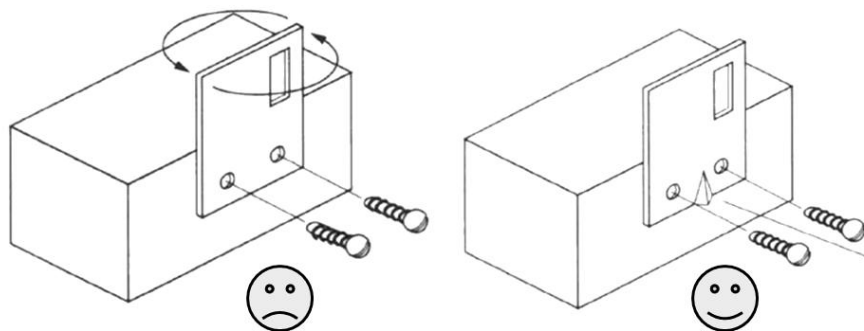
Kuvan 3.2 A kohdassa ohutmetalliosat on kaikki tehty yhtenä monimutkaisempaan osana. Tappi kiinnitetään napsausliitoksilla. Tällöin erillisiä liitososia ei tarvita ja tuote koostuu vain kahdesta osasta. Kohdan B vaihtoehto tulee kyseeseen jos napsausliitosta ei voida jostain syystä käyttää. Ohutmetalliosat tehdään edelleen yhdestä osasta ja kahden pääkomponentin lisäksi ei tarvita kuin kaksi liitososaa eli yhteensä neljä osaa. Valmistusteknisesti ohutlevyosien valmistus yhdestä kappaleesta voi olla hyvin haastavaa, joten valmistus ei välttämättä ole mahdollista nykyisillä työvälineillä ja -menetelmillä. Kohdan C vaihtoehdossa pääkomponentit ovat erillisiä osia niin kuin

alkuperäisessäkin tuotteessa. Liitososia on kuitenkin vain neljä, koska ruuvit laitetaan kierrereikiin eikä ruuvien lisäksi muita liitososia tarvita. Yhteensä C vaihtoehdossa on kahdeksan osaa ja verrattaessa alkuperäisen 24 osaan on tämäkin ratkaisu paljon yksinkertaisempi. Kohdan C kokoonpanosuunta on myös paljon helpompi ylhäältä alas liike kuin mitä on kuvan 3.1 osassa. (Boothroyd 1987, s. 5-7)

Toinen suunnittelun tärkeä tehtävä on pyrkiä yksinkertaistamaan kokoonpanoa. Suunnittelija on se, joka määrää kokoonpanotavan ja kokoonpanon vaivattomuuden. Suunnitteluvaiheessa myös määräytyy se, voiko tuotetta kokoonpanna automaattisesti. Esimerkiksi useat kokoonpanosuunnat tekevät automaation käytön mahdottomaksi. Lapinleimu et al. (1997) määrittelevät, että kaikki uuskonstruktiot tulisi suunnitella automaattisen kokoonpanon ehdoilla, vaikka siihen ei olekaan aikomusta vielä siirtyä. Automaattiseen kokoonpanoon sopivilla tuotteilla pitäisi pyrkiä siihen, että osia ja kokoonpanosuuntia on mahdollisimman vähän. Tämä yksinkertaistaa myös manuaalista kokoonpanoa ja mahdollistaa tulevaisuudessa automaation käyttöönoton. (Lapinleimu 1997, s.115)

Kokoonpantavuuden kannalta tuoterakenteen tulisi olla suunniteltu modulaariseksi siten, että jokainen moduuli olisi selkeä osakokoonpano. Tällöin tuotteiden räätälöinti onnistuisi nopeasti. Moduulien liitospintojen suunnittelu on myös tärkeässä roolissa loppukokoonpanon kannalta. Kun liitokset ovat yksinkertaiset toteuttaa, on tuotteen läpäisy aika loppukokoonpanossa lyhyempi. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 81)

Suunnittelulla voidaan pitkälti vaikuttaa myös siihen kuinka helppoa on osan asettaminen paikoilleen. Esimerkiksi osa voidaan suunnitella siten, että se on mahdotonta asentaa väärinpäin tuotteeseen käyttämällä hyväksi osan symmetriä tai lisäämällä lisäpiirre, niin kuin kuvassa 3.3.

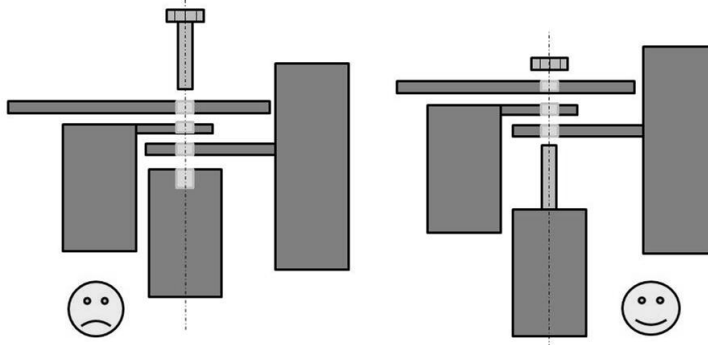


Kuva 3.3. Lisäpiirteen hyödyntäminen kappaleen asennuksessa. (Muokattu lähteestä: Järvenpää 2011, s. 18)

Kuvassa 3.3 vasemmalla puolella on osa, joka voidaan asentaa vahingossa myös väärin päin, mutta oikealla puolella olevaan osaan on tehty lisäpiirre, jonka vuoksi osa ei sovi kappaleeseen väärin päin. (Järvenpää 2011, s. 18)

Kokoonpantavuus kärsii jos yhtäaikaaisesti tarvitsee sovittaa useita osia. Tämä voi olla seurausta siitä, että osien määrän vähentäminen on mennyt liian pitkälle ja samalla liitososalla joudutaan kiinnittämään useita osia. Ihmisellä kun on vain kaksi kättä, on jo kolmen osan yhtä aikainen sovittaminen hankalaa ja lisäkäsistä ei aina ole apua, jos

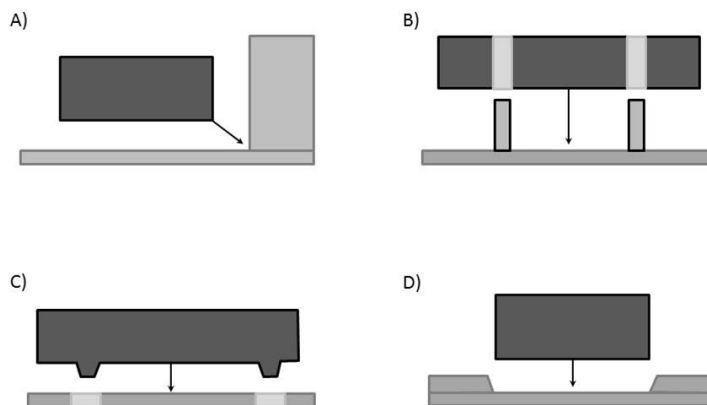
paikka on ahdas. Kuvassa 3.4. näytetään kuinka useita samanaikaisia sovitteita sisältävä liitos voidaan järkevästi toteuttaa.



Kuva 3.4. Monta sovitusta samaan aikaan, voidaan toteuttaa hyvin ja huonosti. (Muokattu lähteestä: Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 73)

Huonosti suunnitellussa liitoksessa joudutaan samanaikaisesti pitämään neljää osaa paikoillaan ja pujottamaan ruuvi ja kiristämään se. Hyvin suunnitellussa liitoksessa voidaan osat pujottaa tappiin yksi kerrallaan ja kiristää vasta sitten, jolloin yhden ihmisen kädet riittävät varsin hyvin. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 73)

Suunnittelussa tulisi huomioida liitoksen paikka, koska mitä tarkempi sovite on, sitä paremmin tulee asentajan nähdä mitä hän tekee. Käsille pitää myös jättää työskentelytilaa. Osien paikoitusta pitää myös pyrkiä helpottamaan mahdollisuuksien mukaan. Kuvassa 3.5 muutama esimerkki osien yksinkertaisesta paikoittamisesta, jolloin osa menee luontaisesti oikealle paikalle.



Kuva 3.5. Osien helppo paikoittaminen. (Muokattu lähteestä: Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 75)

Kuvan 3.5. kohdassa A osa paikoitetaan nurkkaan, jolloin osa saadaan varmasti paikoilleen. B kohdassa tapeilla ohjataan kappale oikeaan paikkaan. C kohdassa paikoitettavaan osaan on tehty olakkeet ja vastinkappaleeseen niihin sopivat reiät. Kohdassa D vastin kappaleelle on tehty viisteet, jolloin osa putoaa paikalleen vaivattomasti. Ruuviliitoksissa irtonaiset ruuvit eivät pitäisi olla ainoa paikoituskeino, koska oikeiden vastinreikien löytäminen ei välttämättä ole yksiselitteistä. Reikiä voi olla

paljonkin, jolloin aikaa kuluu kohtuuttomasti osan sovittamiseen ja oikeiden reikien löytämiseen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 75)

3.1 Liittämismenetelmät

Kokoonpanon tärkein työtehtävä on osien liittäminen toisiinsa, joten ei ole ollenkaan samantekevää, kuinka osat toisiinsa liitetään. Liittämistapa riippuu muun muassa siitä onko tarpeellista pystyä purkamaan liitos myöhemmin huollon takia tai mitkä ovat liitettävät materiaalit. Mahdollisia liittämismenetelmiä ovat ruuvaaminen, niittaaminen, liimaaminen, napsausliitokset, hitsaaminen, puristus- ja kutistusliitokset. Myös uudemmat työtavat, kuten kaksipuoleisen teipin käyttäminen, ovat valtaamassa alaa perinteisemmiltä työtavoilta. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 83-120)

Yleisin tapa liittää kappaleet toisiinsa on ruuvaaminen. Jopa 80 % kaikista liitoksista on ruuviliitoksia. Ruuviliitoksen suurimpana etuna voidaan pitää sitä, että rakenne voidaan purkaa aina vaan uudestaan ja uudestaan helposti. Ruuviliitosten etu on myös tärinälle alttiissa rakenteissa, joissa ruuvin alle voidaan asettaa kumivaimennin joka estää värinän pääsyn rakenteen sisään. Mikäli tärinä on jatkuvaa, täytyy huomioida ruuvien löystyminen ja mahdollisesti lukita ruuvit liiman kaltaisilla ruuvilukitteilla. Ruuviliitosten huonona puolena ovat rakenteeseen tarvittavat reiät. Reikiin tulee aina jännityskeskittymiä, jotka heikentävät rakennetta. Ruuvin reiät lisäävät myös korroosio riskiä puhkaistessaan pintakäsittelyn. Kokoonpanoa ajatellen ruuviliitos on epäedullinen siinä mielessä, että ruuvin lisäksi tarvitaan usein myös aluslevyjä ja mutteri, jotka lisäävät käytettävien nimikkeiden määrää. Ruuveja on saatavana hyvin erilaisilla kannoilla, pituuksilla, pintakäsittelyillä ja niin edelleen. Ruuviliitoksissa olisikin järkevää vakioda esimerkiksi ruuvikanta, jolloin joka ruuville ei tarvitsisi omaa työkaluaan. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 101-107)

Liimaliitos tarjoaa paljon etuja mekaaniseen kiinnittämiseen nähden. Liimaliitoksessa kontaktipintaa on huomattavasti enemmän kuin ruuviliitoksessa ja siten myös kuorma jakautuu suuremmalle pinta-alalle. Liimauksella saavutaan hyviä tuloksia muun muassa taivutus- ja tärinäkuormalla. Liima myös vähentää korroosion vaikutusta, koska se toimii tiivisteinä kappaleiden välissä. Liimaliitos täyttää pienet pinnan epätasaisuudet, jolloin liitoksesta tulee tiiviimpi. Liimaliitoksen huonoihin puoliin kuuluu se, että liimaliitosta ei voida ainakaan helposti purkaa. Kaikki materiaalit eivät välttämättä sovi liimattavaksi, esimerkiksi jotkut muovit, mutta toisaalta liimalla voidaan liittää yhteen täysin toisistaan poikkeavia materiaaleja. Kemikaalien kesto täytyy aina ottaa huomioon liimaliitosta suunniteltaessa. Myös konstruktion pitää tarkoin suunnitella: liimausalueen maksimointi, ei epäkeskeisiä jännityksiä, repeytymisvoimien minimointi ja niin edelleen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s.108-112)

Napsausliitoksissa käytetään hyväksi materiaalin ja muotoilun aiheuttamaa jousivoimaa osassa. Napsausliitoksessa ei tarvita lainkaan erillisiä liitososia tai -aineita. Materiaaleina napsausliitoksissa käytetään yleensä muovia tai metallista ohutlevyä, joissa jousivoima saadaan aikaan materiaalin elastisuutta hyväksi käyttäen.

Napsausliitosten purkaminen voi olla haastavaa rikkomatta osia, mutta onnistuu kyllä jos konstruktio on hyvin suunniteltu. Napsausliitoksia on käytetty paljon esimerkiksi kännyköiden kuorissa, koska ne sopivat hyvin kokoonpanoautomaatioissa käytettäväksi. Napsausliitos vaatii huolellista suunnittelua, eikä sovi käytettäväksi olosuhteissa, joissa muovi vanhenee ja menettää elastisuutensa. Myös aika vaikuttaa liitosten käyttöön, koska jousivoima kuolleentuu ajan kuluessa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s.112-115)

Puristus- tai kutistuliitos on myös yleisiä tapoja liittää yhteen kappaleita. Näissä liitoksissa toleranssit pitää olla kunnossa. Jos kappaleet ovat liian väljät, eivät kappaleet pysy yhdessä riittävän tiukasti ja jos taas kappaleet ovat liian tiukat toisiinsa nähden, kappaleita on mahdotonta liittää yhteen. Liitosta suunniteltaessa pitää huomioida käyttöolosuhteet, koska lämpölaajeneminen vaikuttaa liitoksen pitävyyteen. Apuna voidaan käyttää puristinta, etenkin silloin kun käsivoimat eivät riitä kappaleiden yhteen puristamiseen. Usein voima täytyy kohdistaa juuri tiettyyn kohtaan ja juuri oikeassa suunnassa. Puristuspituus voi olla vaikeaa hallita esimerkiksi muovivasaralla lyödessä, jota puristimella voidaan kontrolloida tarkasti. Puristimen käyttämää voimaa voidaan pienentää huomattavasti käyttämällä hyväksi materiaalin lämpölaajenemista eli lämmittämällä tai jäähdyttämällä toista kappaletta. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s.97-98)

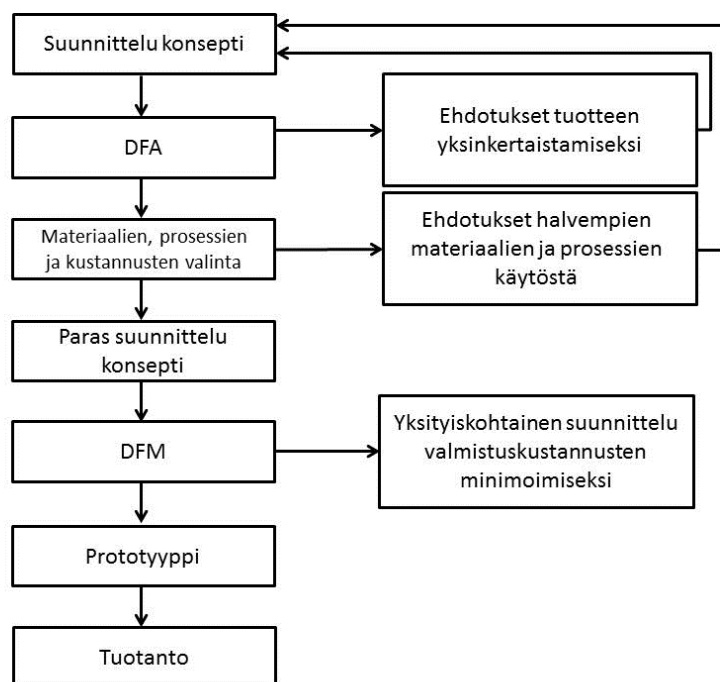
Erilaiset hitsaustavat ovat myös yleinen menetelmä, jolla liitetään osia toisiinsa. Hitsaus vaatii, että liitettävät osat ovat samaa tai hyvin lähellä toisiaan olevia materiaaleja. Pintakäsittely tuhoutuu hitsauksessa ja myös lujuus ja korroosio-ongelmia voi muodostua materiaalin kiderakenteen muuttuessa. Tässä työssä hitsausta ei pidetä kokoonpanolinjalla varteen otettavana liittämismenetelmänä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s.83-96)

Teippiliitos on valtaamassa alaa ruuvi-, niitti- ja hitsausliitoksilta. Yhtenä esimerkkinä kaksipuoleisesta teipistä on 3M:n akryylivaahtoteippi. Valmistaja lupaa, että kaksipuoleista teippiä käyttämällä saa laadukkaamman, lujemman ja ulkonäöllisesti paremman tuotteen, joka kestää paremmin korroosiota ja muita ympäristövaikutuksia. Teippiliitoksen etuihin kuuluu se, että mitään koneita ei asennukseen tarvita, joten investointejakaan ei tarvita. Teippi vaimentaa värähtelyjä ja kun reikiä ei tarvita, ei jännityskeskittymiä pääse syntymään. Liimaliitoksen tavoin myöskään teippi liitosta ei pystytä purkamaan. Teipin huonoihin puoliin kuuluu myös se, että ennen teippausta pitää pinnat olla erityisen puhtaat ja puhdistukseen tarvitaan oma aineensa. Puhdistus tekee muuten varsin nopean kokoonpanoprosessin hitaammaksi. Suunnittelussa tulee myös huomioida teipin kemikaalienkesto ominaisuudet sekä repeytymisvoimien minimointi. (3M- esite)

3.2 Kokoonpanomyötäinen tuotesuunnittelu

Design for x (DFx) – periaatteet ovat systemaattisia tuotekehitysmenetelmiä, joissa suunnittelussa keskitytään erityisesti palvelemaan jotain osa-aluetta, kuten esimerkiksi

huoltoa, ympäristöä tai laatua. Design For Assembly (DFA) on yksi näistä menetelmistä, jossa siis suunnitteluvaiheessa keskitytään erityisesti kokoonpanoon. DFA:ta voidaan jossain määrin pitää myös synonyymina kokoonpantavuudelle. Periaatteen tavoitteena on suunnitella tuote helpommin, halvemmin, yksinkertaisemmin ja luotettavammin parantaen tuotteen kokoonpantavuutta. Design for Manufacturing (DFM) on taas periaate missä tuotteen valmistettavuus on etusijalla tuotteen suunnittelussa. DFA ja DFM menetelmät ovat hyvin lähellä toisiaan ja monesti käytetäänkin käsitettä Design for Manufacturing and Assembly (DFMA), jolloin suunnittelu keskittyy niin valmistettavuuteen kuin kokoonpantavuuteen. Kuvassa 3.6 on esitetty Boothroydin ja Dewhurstin näkemys siitä millaisia vaiheita DFMA prosessin tulisi sisältää.



Kuva 3.6. DFMA prosessinkulku. (Muokattu lähteestä: Edwards 2002, s.652)

DFMA:ssa DFA vaiheessa suunnittelukonsepti on vielä avoin, mutta mentäessä varsinaiseen DFM vaiheeseen konsepti on jo selvillä, mutta valmistusmenetelmien yksityiskohtainen suunnittelu on tärkeää. (Edward 2002, s. 651-652; Whitney 2004, s. 379)

3.2.1 Historiaa

DFA sai alkunsa 1960-luvulla Geoffrey Boothroyd ja hänen kollegoidensa toimesta Englannissa. Aluksi analysoitiin osien syöttömenetelmien kehittämistä, mutta 1970-luvulla huomio keskittyi osien ja työtehtävien luokitteluun. Jokaiselle osaryhmälle, joka luokittelussa saadaan aikaan, suunnitellaan prosessit sekä kustannus- ja aika-arviot, perustuen kokemukseen ja jatkuvaan tiedon keräämiseen. Työmenetelmät, vaadittavat

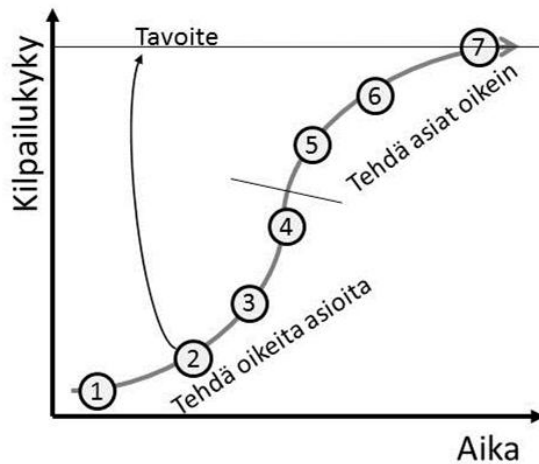
työkalut ja prosessit ovat aina samat ryhmän sisällä, jolloin samoilla koneilla ja asetuksilla voidaan tehdä enemmän ja monipuolisemmin tuotteita. Tämän luokittelun tarkoituksena oli tarjota insinööreille yksinkertaisia tapoja arvioida kokoonpantavuutta. (Whitney 2004, s. 380)

Kun Boothroyd aloitti DFA:n kehittämisen 60-luvulla, hän oletti että, kokoonpanon kustannukset ovat 30–50% koko valmistuskustannuksista. Tämä perustui siihen, että suurin osa tehtaan työntekijöistä teki kokoonpanoon liittyviä työtehtäviä ja vain muutamat työntekijät olivat valmistuspuolella, koska koneet tekivät suurimman osan työstä. Tästä johtopäätöksenä oli se, että osien määrää tuotteessa tulisi vähentää. 1980-luvulla Boothroyd kuitenkin huomasi, että valmistuskustannusten vähentyminen ei johtunutkaan kokoonpanotyön vähentymisestä vaan osien vähentymisestä. Kokoonpanon kustannukset eivät siis olleetkaan 30–50% valmistuskustannuksista vaan paljon vähemmän ja osat itsessään ovat suurempi kustannus. Osien vähentäminen ei ole kuitenkaan niin yksinkertaista ja siinä tulee huomioida koko tuote. Boothroydin huomio keskittyikin nyt yksittäisistä osista kahden alueen hallintaan: 1. kaikkien tuotteen osien samanaikaiseen huomioimiseen ja oikean tuotearkkitehtuurin löytämiseen ja 2. yksittäisten osien valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden parantamiseen. (Whitney 2004, s. 380)

Vaikka kokoonpantavuuden analysointiin on kehitetty tietokoneohjelmia jo kymmeniä vuosia, ei vielääkään ole löytynyt sellaista analyysiä, mikä toimisi yleisesti monissa erilaisissa kohteissa. Kokoonpantavuudessa variantteja on niin paljon, että niitä on kaikkia hankala asettaa mihinkään tietokoneohjelmaan, jos ohjelmasta halutaan kaiken kattava. Yleisesti käytetty ei-tietokone-pohjainen menetelmä kokoonpantavuuden huomioimiseen on rinnakkaissuunnittelu (engl. concurrent engineering). Rinnakkaissuunnitteluun osallistuu yrityksestä ihmisiä eri osastoilta, joilla on tuotteen suunnitteluun yhteyksiä. Tähän kuuluvat muun muassa valmistus, huolto, kokoonpano ja tietysti suunnittelijoita eri aloilta. Kun suunnitteluun osallistuu eri osastojen ihmisiä, saadaan koko suunnittelun ajan mukaan myös erilaisia näkökulmia, jolloin suunnittelusta tulee kokonaisvaltaisempaa. Suunnittelu-aika myös monesti lyhenee, koska asioita tehdään rinnakkain, eikä peräkkäin niin kuin aiemmin on tehty. (Whitney 2004, s. 380-382)

3.2.2 Kokoonpano- ja valmistusmyötäisen suunnittelun käyttöönotto ja suunnittelusääntöjä

Kun yritys on päättänyt hyödyntää suunnittelussa DFMA periaatteita, kuinka menetelmä tulisi ottaa käyttöön? Fabriciuksen kirja Design for Manufacturing (2003) on yksi opas tähän ongelmaan. Kirja perustuu ajatukselle, että ensin on tehtävä oikeita asioita ja sen jälkeen on tehtävä asiat oikein. Kuvassa 3.7. nähdään kirjan periaate.



Kuva 3.7. Design for Manufacturing -kirjan periaate. (Fabricius 2003)

Pääasia on, että aluksi tunnistetaan valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden kannalta kaikkein tärkeimmät asiat, jonka jälkeen kehitetään juuri niitä oleellisimpia asioita ja tehdään niitä asioita oikein. Väärien asioiden tekemisestä ei ole mitään hyötyä koko prosessille vaikka ne tehtäisiin kuinka hyvin tahansa, siihen vain kuluu rahaa ja aikaa. Fabricius esittelee kirjassa seitsemänkohtaisen ohjelman DFM:n toteuttamiseen. Kuvassa 3.7 nähdään eri vaiheiden sijoittuminen koko prosessissa.

1. Analysoi tuotteen valmistettavuutta tällä hetkellä ja vertaa kilpailijoiden tuotteisiin.
2. Aseta DFM:lle tavoitteet eri osa alueille: tuotantokustannukset, laatu, joustavuus, riski, läpäisy aika, tehokkuus ja ympäristövaikutukset.
3. Tunnista tärkeimmät tehtävät.
4. Selvitä miten päätehtävien suunnitteluideoiden arviointi parametrit
5. Konseptuaalinen suunnittelu kerättyjen DFM ideoiden pohjalta voi alkaa.
6. Vertaile konseptisuunnittelun tuloksia kohdassa 2 asetettuihin tavoitteisiin ja valitse paras konsepti.
7. Ota konsepti käyttöön suunnittelussa.

Vaiheissa 1-4 on kyse oikeiden asioiden tekemisestä ja vaiheissa 5-7 aloitetaan asioiden tekeminen oikein. Tavoitteena on että kohdassa 2. asetetut tavoitteet täytyisivät kohdassa 7. valitussa ratkaisussa. (Fabricius 2003)

Whitney on kirjassaan Mechanical Assembly pohtinut kuinka DFA ja DFM menetelmiä tulisi käyttää kun suunnitteluun käytetty aika on kriittinen. Taulukossa 3.1 on listattu näitä tuloksia.

Taulukko 3.1. DFA ja DFM strategioiden käyttö kun suunnittelu-aika huomioidaan.
(Muokattu lähteestä: Whitney 2004, s. 383)

	Alhainen volyyymi	Korkea volyyymi
Suunnittelu-aika: Kriittinen	<ul style="list-style-type: none"> • Vältä pitkäkestoista koneistus • Käytä standardi komponentteja • Minimoi valmistuksen riskit 	<ul style="list-style-type: none"> • Yksinkertaista monimutkaisimpien osien rakennetta • Käytä nopeita koneistus- ja valmistusmenetelmiä monimutkaisissa osissa • Käytä DFM/DFA menetelmiä vähemmän monimutkaisille osille
Suunnittelu-aika: Ei kriittinen	<ul style="list-style-type: none"> • Vältä kallista koneistusta • Käytä standardi komponentteja • Toiset tekijät ovat luultavasti hallitsemisempia kuin suunnittelu-aika 	<ul style="list-style-type: none"> • Integroi osia toisiinsa • Harkitse automaattisen kokoonpanon käyttöönottoa • Käytä DFM/DFA strategioita koko tuotteelle

Niin kuin taulukosta huomataan, puhuttaessa alhaisen volyymin tuotteista ei DFA ja DFM menetelmät sovi niin hyvin systemaattiseen käyttöön. Tietysti alhaisen volyymin tuotteille voidaan käyttää monia yksittäisiä DFA/DFM:n menetelmiä, mutta kokonaisvaltainen perinteinen Boothroydin menetelmä ei sovellu näille tuotteille. Kun aika on kriittinen tekijä ja tuotetta tehdään suuria määriä, pitää DFA/DFM tekniikoissa keskittyä osiin missä suunnittelu-aika ei ole niin kriittinen ja taas toisaalta pitää pyrkiä yksinkertaistamaan kaikkein monimutkaisimpia osia. Kun suunnittelu-aikaa on enemmän käytettävissä, voidaan DFA ja DFM menetelmiä käyttää kokonaisvaltaisesti. (Whitney 2004, s. 383)

Kenneth Crow (1998) on kerännyt kattavan listan siitä, miten DFA:ta ja DFM:ää tulee suunnittelussa huomioida, joista voi yleisesti suunnittelussa hyödyntää seuraavia asioita:

1. Yksinkertaista designia
2. Vakioi osia ja käytä standardiosia
3. Valitse omiin prosesseihin sopivat valmistusmenetelmät
4. Tee virheiden tekeminen mahdottomaksi
5. Minimoi vaikeasti käsiteltävien ja kokoonpantavien osien käyttö
6. Suunnittele työpiste
7. Minimoi kokoonpanosuunnat
8. Suunnittele liittämismenetelmät
9. Suunnittele tuoterakenne modulaariseksi

Ensimmäinen asia Crow mielestä on yksinkertaistaa designia, koska jokainen osa on mahdollinen virheen aiheuttaja. Osa voi olla väärä tai se voidaan asettaa väärin paikoilleen. Suunnittelijan tulee käydä osat yksi kerrallaan läpi ja tutkia onko osa välttämätön tuotteen rakenteen ja toiminnan kannalta tai voisiko sen yhdistää jokin toisen osan kanssa. Osat tulee vakioida, jotta hyllyt eivät ole täynnä kaikkia mahdollisia

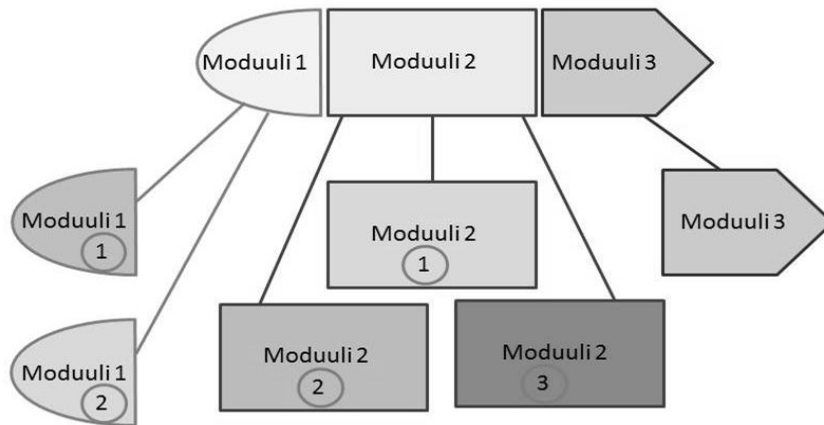
ruuveja, eripituisia ja erilaisilla kannoilla. Pitää pyrkiä käyttämään samoja osia mahdollisimman monissa eri käyttökohteissa. Kun osia on vähemmän varastointi kustannukset pienenevät ja materiaalinkäsittelyt myös vakioituvat. Uniikit osat ovat aina kalliimpia ja usein myös laatu on heikompi kuin vakio-osissa. (Crow 1998)

Jotta tuotteen valmistus olisi helppoa, tulee valmistusmenetelmien olla sopivat käytettäville materiaaleille ja tuotannon volyyymille. Mahdollisuuksien mukaan pitää suunnittelijan pyrkiä minimoimaan prosessointiaika. Prosessin mahdollisuudet tulee tunnistaa. Ei pidä suunnitella niin tarkkoja toleransseja, että niiden toteuttaminen on liian haastavaa omalle prosessille. Liian tiukat toleranssit aiheuttavat turhia tarkastuksia osille, jotta osa on varmasti oikean kokoinen. Toleranssi kertoo kuinka paljon osa voi heittää annetusta arvosta. Kokonaistuottavuuden kannalta tarkkuus ja toleranssit ovatkin tärkeässä roolissa. Mitä tarkempia tarkkuusvaatimukset ovat, sitä kalliimpaa niiden valmistaminen. Toisaalta taas tarkkuuden kasvaessa kokoonpantavuus voi parantua kun sovitteiden hajonta pienenee. Tarkkuuden mukana myös laatuaso monesti nousee. Suunniteltaessa tuotetta pitää huomioida prosessin tai koneen ominaistarkkuus eli se tarkkuusalue, jota karkeammalla työstöllä ei saada kustannuksia pienennettyä ja jota tarkemmalla tarkkuudella valmistus on erittäin kallista. Myös pintakäsittelyt tulee yhden mukaistaa ja tehdä pintakäsittely vain osille ja pinnoille jossa sitä todella tarvitaan. (Lapinleimu 2000, s.169; Crow 1998)

Suunnittelussa tulee suunnitella osia, joita ei voi kokoonpanna väärin vaan kokoonpanon tulee olla yksiselitteistä. Sovitteiden määrää tulee vähentää tai kokonaan poistaa. Paikointus tulee olla yksiselitteistä ja osien olisi hyvä paikoittua luonnollisesti oikealle paikalle. Symmetriaa tulee hyväksi käyttää ja välttää oikea – vasen variaatioita. Suunnittelussa tulee huomioida, että ohuiden, pienten tai helposti hajoavien osien käsittely ja kokoonpano on vaikeaa, joten niiden käyttöä on pyrittävä välttämään. Myös joustavat ja taipuilevat osat ovat aina hankalampia kokoonpanon kannalta kuin jäykät kappaleet. Automaattinen tuotannon mahdollisuus tulee huomioida suunnittelussa. Vaikka tuote suurimmalta osalta valmistetaan ja kokoonpannaan manuaalisesti, voidaan automaatiota mahdollisesti hyödyntää jossain prosessinvaiheessa. (Crow 1998)

Työpisteen suunnittelussa tulee huomioida, että osat eivät saa olla liian kaukana. Kun suunnitellaan kokoonpanoa huomioiden, tulee suunnitella myös kokoonpanosuunnat. Paras kokoonpanosuunta on aina ylhäältä alaspäin ja pitää pyrkiä myös siihen, että kokoonpano suuntia olisi mahdollisimman vähän, mikä mahdollistaa automaation käytön tulevaisuudessa. Osien liittämiseen toisiinsa tulee käyttää standardikiinnikkeitä niin paljon kun on vain mahdollista. Suunnittelussa voidaan tutkia mahdollisuuksia käyttää liitoksia joihin erillisiä liitososia ei tarvita, kuten napsaus ja liimaliitoksia, mikä taas osaltaan vähentää tarvittavien osien määrää. (Crow 1998)

Tuoterakenteen tulee olla modulaarinen. Modulaarisen tuoterakenteen etu on siinä, että moduulit voidaan valmistaa ja testata jo ennen loppukokoonpanoa. Modulaarinen tuoterakenne mahdollistaa sen, että lopputuotteet voivat olla hyvinkin toisistaan poikkeavia, mutta valmistus- ja kokoonpanoprosessit ovat hyvin samanlaisia kaikissa tuotteissa. (Crow 1998) Kuvassa 3.8. on esitetty modulaarisen tuoterakenteen periaate.



Kuva 3.8. Modulaarisen tuoterakenteen periaate.

Kuvan tuotteessa on kolme moduulia. Moduuliksi 1 on kaksi vaihtoehtoa. Moduuliksi 2 on kolme vaihtoehtoa ja moduuliksi 3 on vain yksi vaihtoehto ja on siten aina sama. Näistä moduuleita vaihtelemalla, voidaan tehdä jo kuusi täysin erilaista tuotetta.

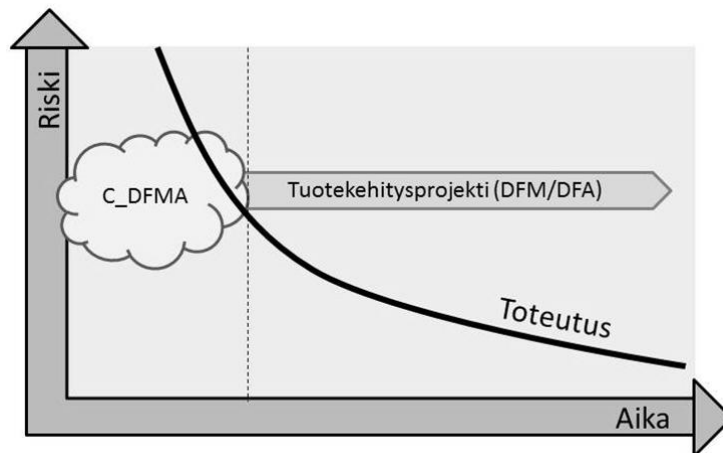
Eteläaho et al.(1999, s. 16) ovat listanneet syitä miksi DFA:n ja DFMA:n käyttöä ei koetta tarpeelliseksi yrityksen toiminnassa. Nämä kohdat on hyvä pitää mielessä siinä kohtaa kun käyttöönottoa suunnitellaan. Suunnittelijoilla on monesti kiire suunnitella uutta tuotetta markkinoille, jolloin ei haluta käyttää ylimääräistä aikaa DFMA:han. Tekniikka ei ole itse suunnittelijoiden kehittämä, joten he saattavat karttaa sitä. Tämä voitaisiin välttää suunnittelijoiden hyvällä motivoinnilla ja mukaan ottamisella jo prosessin varhaisessa vaiheessa. Jos ulkopuolinen tulee suunnittelijalle sanomaan, että tuotetta tulee muuttaa, ei suunnittelija varmastikaan innostu asiasta, vaan mieluummin väittää vastaan. Tästä johtuen suunnittelijoiden pitää olla mukana DFMA projekteissa, jolloin ne voisivat itse tajuta, mitä DFMA on ja miten se voidaan saavuttaa.

Yleinen selitys on myös se, että kokoonpanokustannukset ovat melko pieni osa kokonaiskustannuksista, joten DFMA:ta ei kannata ottaa käyttöön, koska säästöt ovat niin pienet. DFMA:n ajatellaan olevan hyödyllinen vain massatuotantoyrityksissä. Tosiasiassa DFMA:ta voidaan hyödyntää myös yksittäistuotannossa. Vanhat suunnitelmat ovat usein tehty valmistettavuutta silmällä pitäen, jolloin kokoonpano voi olla monimutkaista ja kallista. Vanhaa tapaa on kuitenkin vaikeaa ryhtyä muuttamaan. Lisäksi ajatellaan, että DFMA on pelkkää arvoanalyysiä ja yksi tekniikka muiden joukossa. Voidaan myös ajatella, että DFMA vaikeuttaisi tuotteen huollettavuutta, mikä ei yleensä pidä paikkaansa, koska jos tuote on helppo kokoonpanna, on se myös usein helppoa purkaa. (Eteläaho et al. 1999, s. 17-18)

3.2.3 Valmistettavuus ja kokoonpantavuus konseptisuunnitteluvaiheessa

Tuotekehityksen alkuvaihe on tärkein tuotekehityksen vaiheista ja sillä on eniten vaikutusta tuotekehityksen tuotoksiin. Siksi onkin tärkeää, että jo suunnittelun varhaisimmissa vaiheissa eli jo konseptisuunnitteluvaiheessa huomioidaan kokoonpantavuus ja valmistettavuus. Tästä on syntynyt käsite Conceptual Design for

Manufacturing and Assembly (C_DFMA). Perinteisesti DFM ja DFA metodiikkien käyttö on aloitettu vasta varsinaisen tuotekehitysprojektin aikana kun konsepti on selvillä. Kuvassa 3.9. on esitetty C_DFMA:n painopiste DFM ja DFA:han verrattuna.



Kuva 3.9. C_DFMA:n käyttö verrattuna DFM/DFA:n käyttöön. (Huhtala & Pulkkinen 2009 s.15)

Kuvasta ilmenee myös toteutusprosessin suuret riskit, jos tuotteen toteutus alkaa liian aikaisin. Mitä paremmin tuote on suunniteltu, sitä pienemmät riskit toteuttamisessa on. Perinteisessä valmistus ja kokoonpanomyönteisessä suunnittelussa pääpaino on ollut yksittäisissä osissa ja niiden valmistuksessa tai kokoonpanossa. Ajallisesti näiden huomioiminen on tapahtunut projektin loppuvaiheessa. C_DFMA:n tarkoituksena on huomioida tuote kokonaisvaltaisemmin. Kohteena ei siis ole yksittäiset parannukset vaan koko tuotteisto ja tuotearkkitehtuuri. Mukaan otetaan myös tuotantoverkko ja tuotantoprosessit. (Huhtala & Pulkkinen 2009, s.13-16)

Huhtala & Pulkkinen ovat antaneet 12 teesiä, jotka kiteyttävät C_DFMA ajatusmallin ytimen.

- **Teesi 1 – Keskity tuotteistoon yksittäisen tuotteen sijaan**

Tuotearkkitehtuurista lähtevä kehitys, mahdollistaa koko tuotteiston kehityksen, joka voi muun muassa johtaa tarpeettomien variaatioiden poistumiseen tuoterakenteelta. Rakenteet yhtenäistyvät ja myös osien yhteiskäyttö lisääntyy. Vakioitujen tuoterakenteiden systemaattinen uudelleen käyttö on tärkeää kehityksen nopeuden ja kustannusten vuoksi. Kun tuotteisto suunnitellaan kokonaisuutena, se myös mahdollistaa tuotannon ja tuotantoverkoston systemaattisen kehittämisen.

- **Teesi 2 – Tunnista ja hyödynnä tuotteen liityntöjen ja vuorovaikutuksen eri tasoja**

Tuotteilla tai sen koostumusrakenteilla on liityntöjä muihin tuotteisiin tuotteiston tai tuoteperheen kautta. Esimerkiksi jotain tiettyä osakokoonpanoa voidaan käyttää koko tuoteperheen tuotteille, vaikka se alun perin olisikin suunniteltu vain yhdelle tuotteelle. Liittymien mahdollisuudet pitää vain tunnistaa, jolloin säästetään muun muassa suunnittelukustannuksissa.

- **Teesi 3 – Kasvata tuotteen ja (elinkaari)järjestelmän kohtaamisen aluetta**
Elinkaarijärjestelmät, kuten kehitysjärjestelmä suunnitteluvaiheessa ja tuotantojärjestelmä tuotantovaiheessa, eivät kohtaa perinteisesti juurikaan. Tuotantojärjestelmän ja tuotteiston vuorovaikutuksen tulisi olla laajempaa koko tuotteen elinkaaren ajan, jolloin sekä tuote, että tuotantojärjestelmä ovat paremmin valmistautuneita.
- **Teesi 4 – Arvioi (suunnitelman) tuottavuutta tuotteen, prosessin ja verkon muodostamassa kokonaisuudessa**
Suunnitteluratkaisut vaikuttavat aina tuotteen lisäksi myös prosesseihin ja toimitusverkkoon. Kun verkko ja prosessi otetaan mukaan tarkasteluun, täydentyy ja laajentuu valmistettavuuden näkökulma oleellisesti. Kustannusten arvioinnissa ja ratkaisuja tehdessä, pitää muistaa ottaa huomioon myös muut kuin välittömät kustannukset.
- **Teesi 5 – Siirrä kehitystoiminnan painopistettä aikaisemmaksi**
Tavoitteena on painottaa oikeiden asioiden tekemistä alusta alkaen määrittelemällä vaatimukset tarkasti, konseptuomalla vaihtoehtoja sekä parantamalla ratkaisuja. Konseptitason abstraktit suunnitelmavaihtoehdot tulisi pyrkiä konkretisoimaan mahdollisimman nopeasti, mutta ei välttämättä tarkasti. Jotta tämä teesi olisi mahdollista toteuttaa, tulee Teesin 3 olla toteutunut.
- **Teesi 6 – Eriytä tuotteiston hallinta ja tuotekehitysprojektit omiksi prosesseikseen**
Kun tuotekehitysprojektissa havaitaan usein toistuvia tehtäviä, voidaan nämä eriyttää varsinaisista tuotekehitysprojekteista. Tuotteiston hallinnassa hallitaan ja ylläpidetään näitä toistuvia tehtäviä, jolloin tuotekehityksen tehokkuus paranee. Kun tuotteiston hallinta ja varsinainen tuotekehitysprojekti eriytetään toisistaan, etusijalle pääsevät kriittisimmät projektit, jolloin tuotekehitystoiminta vastaa paremmin liiketoiminnan tarpeisiin.
- **Teesi 7 – Tunne tuotteistosi ja toimintatapasi**
Ymmärrys lähtötilanteesta on edellytys kehittämislle. Pitää tietää missä organisaatio menee verrattuna muihin vastaaviin organisaatioihin tai ympäröivään todellisuuteen. Organisaation sisällä tulisi toimintatavat yhtenäistää, jolloin voidaan varmistaa se, että tehdään oikeita asioita. Toimintatapojen yhtenäistäminen edellyttää vallitsevien toimintatapojen tuntemista. Tuotteiston syvälinen tuntemus edistää järjestelmien ja tuotteiston rinnakkaista kehittämistä.
- **Teesi 8 – Tunnista kehitysharppauksen ja jatkuvan parantamisen ajankohta**
Pitää tunnistaa kuinka suuria kehitysharppauksia tulee ottaa missäkin vaiheessa, mutta vieläkin tärkeämpää on hallita sitä kuinka paljon askel poikkeaa tämän

hetkisestä kurssista. Organisaation tulee olla riittävällä kypsyydellä, jotta muutos pystytään omaksumaan organisaatioon. Kun kehitysharppaus otetaan, tarvitaan sen jälkeen jatkuvaa parantamista, jotta muutos juurtuisi organisaatioon. Jotta kehitys olisi mahdollista, tulee Teesin 7 toteutua.

- **Teesi 9 – Kiihdytä konseptien konkretisointia ja tuotteiden abstrahointia monialaisessa tiimissä**
Jotta suunnitelmat ja yleensäkin tiedonsiirto nopeutuisi, tulee käyttää modernia tekniikkaa sekä monialaisia tiimejä. Monialaisissa tiimeissä saadaan erilaisia näkökulmia, jotka monesti törmäävät, mutta myös täydentävät toisiaan. Monialaisissa tiimeissä myös tieto on yleensä oikea-aikaista, jolloin sitä voidaan hyödyntää paremmin.
- **Teesi 10 – Valjasta koko organisaatio kehittämiseen**
Organisaatiossa kehitystä pitää tapahtua eri organisaatiotasolla ja kaikissa eri toiminnoissa. Eri tasoilla ja toiminnoissa tarvitaan kuitenkin hyvin erilaisia työkaluja kehittämiseen, koska työ on hyvin erilaista. Ylimmällä johdolla on vastuu strategisen prosessin kehittämisestä. Keskijohdolla tehtävänä on operatiivisen toiminnan ohjaus sekä ongelmanratkaisun tukeminen. Operatiivisen tason tehtävänä on vakioda työtä.
- **Teesi 11 – Purkita työtä edistääksesi kommunikointia ja oppimista**
Tiedon purkittamisella pyritään siihen, että pystytään hyödyntämään jo tehtyä työtä pienellä vaivalla. Tietoa voidaan purkittaa esimerkiksi työhjeisiin, kuvauksiin, työkaluihin ja tietovarastoihin, jolloin tiedon jakaminen organisaatiossa on helpompaa. Tietoa tulee myös jatkuvan parantamisen keinoin päivittää ja parannella.
- **Teesi 12 – Hyödynnä tietoa (pelkän) tuottamisen sijaan**
Jokainen uusi nimike, joka tallennetaan tietojärjestelmiin aiheuttaa tuotteiston hallintaan lisäkustannuksia. Siksi pitäisikin pyrkiä tiedon uudelleen hyödyntämiseen. Olemassa olevaa tietoa voi olla vaikeaa löytää, mutta tässä auttaa toimiva tuotetiedonhallintajärjestelmä (Product Data Management, PDM). PDM järjestelmä ei ole kuitenkaan mikään oikotie onnistumiseen, vaan tieto tulee syöttää tarkasti järjestelmään ja järjestelmä tulee myös räätälöidä käyttäjilleen sopivaksi, muuten järjestelmästä ei saada kaikkea hyötyä irti.

Kaiken kaikkiaan voidaan sanoa, että näiden teesien perusteella C_DFMA on muun muassa koko tuotteiston suunnittelua, monialaiset tiimien hyväksikäyttöä, tiedon uudelleen käyttöä, jatkuvaa parantamista ja oman toiminnan tuntemusta (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 59-78)

3.2.4 Uuden tuotteen suunnittelu kokoonpanomyötäisesti

Kun halutaan, että lopputuotteen kokoonpantavuus on parhaimmalla mahdollisella tasolla, tulee kokoonpantavuus ottaa huomioon jo tuotteen konseptin suunnittelussa.

Tällöin saadaan tuotteen koko tuotearkkitehtuuri suunniteltua siten, että se olisi kokoonpanon kannalta hyvä. Yksittäisissä tuotesarjoissa tämä tarkoittaa hyvin modulaarisen tuoterakenteen muodostamista siten, että liitospinnat pysyvät vakioina, mutta asiakaskohtainen räätälöinti on kuitenkin mahdollista. Koko yrityksen tuoteiston kannalta tulee huomioida, että samoja moduuleja voidaan käyttää myös muiden tuotesarjojen moduuleina jolloin vältetään turhaa uudelleen suunnittelua ja pystytään vähentämään erilaisten osien tarvetta. Kehitystyöhön tulee ottaa mukaan koko organisaatio, jolloin paljon erilaisia näkökulmia tulee otettua huomioon. Koko organisaation tulee olla mukana myös koko ajan tapahtuvassa jatkuvassa kehityksessä ja kehitysharppauksissa. Jo konseptisuunnitteluvaiheessa tulee erityisesti keskittyä siihen, että tehdään oikeita asioita. Kun tuotteista ja toiminnasta löydetään ne tärkeimmät kehityksen kohteet, voidaan keskittyä niiden kehitykseen ja oikein tekemiseen.

Jos konseptisuunnitteluvaiheessa on huolella suunniteltu moduulit ja koko tuoteisto, on tuotesuunnitteluvaihe paljon helpompi ja nopeampi prosessi. Kun kokoonpanomyötäisesti tuotetta suunnitellaan, tulee mielessä kuitenkin pitää designin yksinkertaisuus, osien määrän järkevä minimointi ja vakiointi, virheiden tekeminen mahdottomaksi, työpistesuunnittelu ja kokoonpanosuuntien suunnittelu. Jo konseptisuunnitteluvaiheessa tulee omien prosessien vahvuudet ja mahdollisuudet tunnistaa, jotka pitää tuotesuunnittelussa ottaa huomioon, jottei suunnitelmista tule mahdottomia omia prosesseja ajatellen.

3.3 Kokoonpantavuuden arviointimenetelmiä

Kokoonpantavuuden ja valmistettavuuden arviointiin on olemassa monenlaisia menetelmiä. Ohjelmistopohjaisista menetelmistä tunnetuimmat ovat Boothroyd-Dewhurstin DFMA, Hitachin Assembly Evaluation Method (AEM) ja Lucasin DFA. Käytettäessä tällaisia ohjelmistoja, ei fyysistä tuotetta tarvita vaan analyysi voidaan tehdä jo tuotteen suunnitteluvaiheessa. Suunnitteluvaiheessa tulee myös pitää kokoonpantavuuden arviointikokouksia, jolloin kokoonpantavuus pysyy mukana läpi tuotteen suunnittelun ajan. Ohjelmistojen etuna on se, että voidaan helposti vertailla erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Yksinkertaisimmillaan arviointi voi tapahtua tarkastuslistoja apuna käyttämällä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 155)

3.3.1 Tarkastuslistat

Tarkastuslistojen etu ohjelmistoihin verrattuna on niiden rajaton joustavuus. Se on helposti räätälöitävissä yrityksen tarpeisiin ja tuotteisiin sopivaksi. Valmiita tarkastuslistapohjia on olemassa monenlaisia, niin automatisoiduille kuin manuaalisesti valmistetulle tuotteelle. Lempiäinen ja Savolainen (2003) ovat tehneet seuraavanlaisen tarkastuslistan sähkömekaanisen tuotteen kokoonpantavuudelle.

1. Voidaanko osien määrää tuotteessa vähentää?
2. Voidaanko osia yhdistää käyttämällä kehittyneitä tuotantomenetelmiä?

3. Onko tuote jaettu osakokoonpanoihin?
 - a. Millä perusteella jako on tehty?
 - b. Onko osakokoonpanoissa useampi kuin yksi asennussuunta?
 - c. Onko osakokoonpanoissa irtonaisia osia?
4. Voidaanko kaikki osat kokoonpanna suoraviivaisella liikkeellä?
5. Voidaanko kaikki osat kokoonpanna suoraviivaisella liikkeellä ylhäältä-alas?
6. Tarvitaanko erillisiä liitososia?
 - a. Kuinka monta?
 - b. Ovatko ne samanlaisia?
 - c. Voidaanko niiden määrää vähentää?
 - d. Voidaanko ne vaihtaa automaattiseen kokoonpanoon paremmin soveltuviksi?
7. Voidaanko liitosten määrää vähentää?
8. Onko jokaisessa kokoonpanossa selkeä runko-osa?
9. Täytyykö tuote kokoonpanon jälkeen testata?
 - a. Miten testaus suoritetaan?
10. Onko osat mitoitettu siten, että toleranssit eivät summaudu?

Kaikki listan kysymykset ovat hyviä ja sopivat hyvin melko yksinkertaiselle tuotteelle. Puhuttaessa monimutkaisemmista tuotteista, on tarkastuslistojen täyttäminen aikaa vievää työtä. Tosin niitä voidaan käyttää esimerkiksi osakokoonpanoille ja ylemmällä tasolla loppukokoonpanolle. (Lempiäinen & Savolainen 2003 s. 154)

3.3.2 Boothroyd-Dewhurst menetelmä

Boothroyd-Dewhurst DFMA (BD DFMA) menetelmässä keskitytään arvioimaan osien käsittelyn kustannuksia sekä osien välistä kokoonpanoa. Tätä menetelmää voidaan käyttää niin manuaaliselle kuin automatisoidulle kokoonpanolle. Ensimmäinen vaihe menetelmässä on määrittää kokoonpanotekniikka. Toinen vaihe on tutkia osien välttämättömyyttä (katso luku 3) ja poistaa ”turhat” osat tuotteesta yhdistämällä tai kokonaan poistamalla. Kolmas vaihe BD DFMA:ta on arvioida käsittely- ja kokoonpano-olosuhteet. Tietylle työlle lasketaan kokoonpanoaika, mikä koostuu käsittely- ja asetusajasta. Lopuksi vertaillaan toteutuneita aikoja ja kustannuksia ihanteisiin. BD DFMA:n parhaisiin puoliin kuuluu kokoonpanoaikojen tarkka mittaaminen. Aika on yksinkertainen käsite ymmärtää onko kokoonpanotyö vaikeaa vai helppoa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s.160-162)

Boothroyd ja Dewhurst (1989) ovat myös kehittäneet kokoonpantavuuden arvioimiseksi laskentakaavaan, jolla saadaan laskettua tuotteen kokoonpantavuusindeksi, $\mu_{\text{Kokoonpantavuus}}$. Kaavassa $1/N$ on välttämättömien osien lukumäärä ja R on yhden osan minimikokoonpanoaika, joka yleensä oletetaan olevan 3 sekuntia. Se kuinka hyvin tämä 3 sekunti pitää paikkansa raskaassa kokoonpanossa, on

vaikeaa arvioida. Luultavasti kolmen sekunnin arvio on kuitenkin tehty kevyen kokoonpanon mukaan. Tuotteen arvioitu kokonaiskokoonpanoaika on T_{kok} .

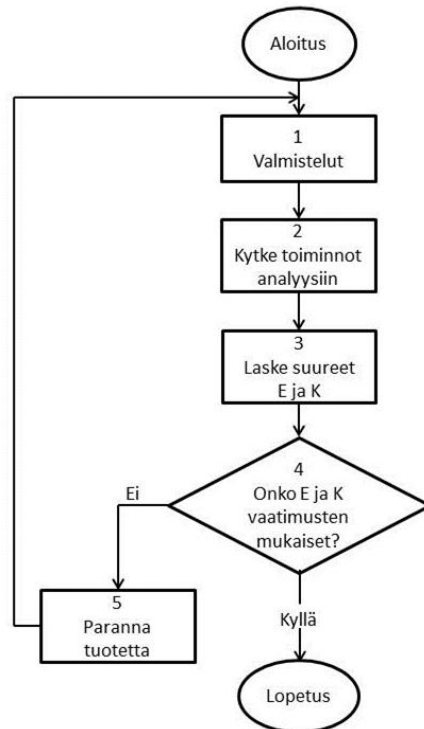
$$\mu_{Kokoonpantavuus} = \frac{100 \times N \times R}{T_{kok}} \quad (1)$$

Tyypillisesti kokoonpantavuusindeksi vaihtelee välillä 10 – 30. (Ulrich & Eppinger 2008, s. 224; Lanz 2010, s. 40)

3.3.3 Hitachin menetelmä

Hitachin AEM menetelmä on ensimmäisen kerran julkaistu jo vuonna 1967. Menetelmä ei ole juurikaan levinnyt maailmalle vaan edelleen sitä käytetään pääasiassa vain sen kotimaassa Japanissa. Menetelmän johtoajatukseksi on, että kokoonpanotyöt tulisi tehdä ylhäältä alas suuntautuvalla liikkeellä. Menetelmässä käytetään kahta pääsuuretta. Ensimmäinen suure arvioi tuotteen kokoonpanonvaikeutta kokoonpanopisteillä (E). Osien vähentämisen hyötyä tarkastellaan toisella suurella, joka kuvaa kokoonpanon kustannussuhdetta (K) eli se vertailee nykyisiä kustannuksia aiemman version kustannuksiin. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s.156-157)

Menetelmässä tuote käydään läpi osa kerrallaan siten, että osan viereen kirjoitetaan kaikki toimenpiteet mitä osalle tehdään kokoonpanossa. Kaikesta muusta kuin ylhäältä-alas suuntautuvasta liikkeestä saa miinuspisteitä taulukoiden mukaan. Ihannetulos on 100 pistettä. Koko tuotteen kokoonpanopisteet (E) lasketaan yksittäisten osien kokoonpanopisteiden keskiarvona. Jos kokoonpantavuus on hyvä, tulee koko tuotteen pisteiden oltava vähintään 80. Kokoonpanon kustannussuhde (K) lasketaan kokoonpanoajan ja sitä kautta kokoonpanon kustannusten muutoksena aiempaan tapaan. Kustannusten tulee vähentyä vähintään 30 %, jotta muutos on hyväksyttävä. Kuvassa 3.10 on esitetty Hitachin AEM:n prosessikaavio.



Kuva 3.10. Hitachi AEM menetelmän prosessi. (Leaney & Witenberg 1992 s. 10)

Vaihe 1 pitää sisällään kaikkien analysoitavien osien ja kokoonpanon piirustusten hankintaa. Toisessa vaiheessa arviointikaavakkeeseen tai ohjelmaan kirjataan osien nimet ja muita perustietoja. Lisäksi ajetaan ohjelmaan tiedot muun muassa osien liittämistiheydestä ja muista kokoonpanossa tehtävistä asioista. Kolmannessa vaiheessa lasketaan kokoonpantavuus pisteet ja kustannussuhteet ensin yksittäisille osille ja sitä kautta koko tuotteelle. Neljännessä vaiheessa vertaillaan saatuja E:n ja K:n arvoja menetelmän antamiin raja-arvoihin. Mikäli raja-arvot eivät toteudu, parannetaan tuotetta ja aloitetaan prosessi alusta. (Leaney & Wittenberg 1992 s. 9-10)

3.3.4 Lucasin menetelmä

Lucasin DFA sopii niin manuaaliselle kuin automatisoidullekin kokoonpanolle. Alkunsu menetelmä on saanut 1980-luvun alussa Iso-Britanniassa. Menetelmät sisältävät kolme eri analyysiä: toiminnallisen analyysin, käsittely- ja syöttöanalyysin sekä sovitusanalyysin. Lucasin menetelmään kuuluu myös kappaleiden käsittelyä ja sovitteiden suunnittelua.

Toiminnallisuusanalyysin avulla osat jaetaan välttämättömiin (A-osat) ja ei-välttämättömiin osiin (B-osat). Suunnittelussa A-osien tavoitemäärä on 60%. Syöttö- ja käsittelyanalyysissä tarkastellaan jokaista osaa tietokantaan verraten. Näin saadaan määrättyä jokaiselle osalle syöttöindeksi, jonka avulla määritellään onko tapahtuma hyväksyttävä vai ei. Sovitusanalyysi tehdään vastaavasti kuin syöttöindeksikin ja tuloksena saadaan sovitusindeksi ja sitä kautta sovitussuhde. Näitä tuloksia verrataan välykseen tai aiemmin määriteltyihin tavoitteisiin. (Lempiäinen & Savolainen 2007, s.157-159)

4 LEAN

Lean filosofia on saanut alkunsa japanilaisen autoteollisuuden parissa kun tutkijat tutkivat japanilaisten autotehtaiden eroja eurooppalaisiin ja pohjoisamerikkalaisiin. Nämä erot tutkijat niputtivat Lean käsitteen alle. Lean filosofia on levinnyt ympäri maailmaa 1990-luvun alusta alkaen. Peruseriaatteena Leanissa tuhlauksen jatkuva eliminointi ja ideaalina pidetään tilannetta missä kaikki toiminta yrityksessä on asiakkaalle arvoa tuottavaa. Womack & Jones (2003) on löytänyt Leanille viisi peruseriaatetta:

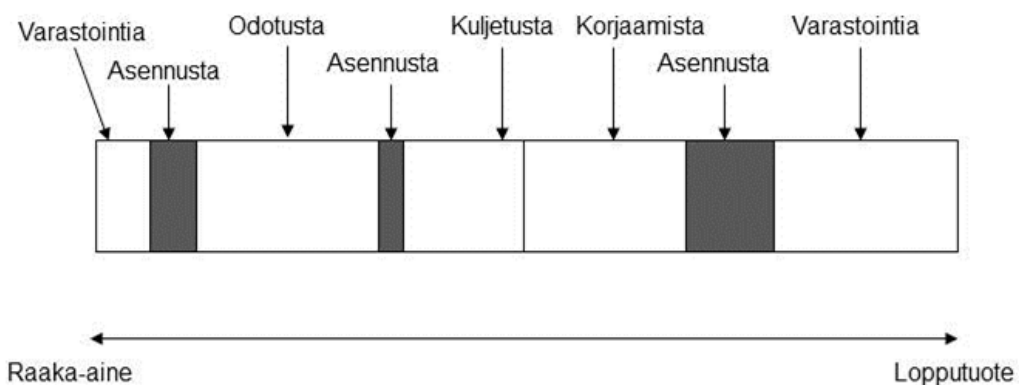
1. **Arvon määrittäminen asiakkaan näkökulmasta.** Pitää tunnistaa ne toiminnot, joista asiakas on todella valmis maksamaan ja toisaalta poistaa toiminnassa piilevä hukka.
2. **Arvovirran tunnistaminen.** Arvovirta käsittää kaikki arvoa tuottavat ja tuottamattomat prosessit, joita nykyisessä prosessissa tarvitaan. Tämän tavoitteena on tutkia kokonaisuuksia ja välttää osaoptimoimista.
3. **Virtauksen toteutus.** Kun hukka on eliminoitu ja arvovirrat tunnistettu, tulee arvon tuottaminen virtauttaa. Virta ei saa missään kohtaa pysähtyä ja tavoitteena on myös, että viiveitä ei synny. Toisin sanoen siis varastot ja odottelut pitää poistaa.
4. **Imun järjestäminen.** Imuohjauksella pyritään siihen, että valmistaminen tapahtuu ainoastaan kysynnästä. Mikäli tuote vain työnnetään tuotantoon, on aina mahdollisuus, että tuote jää varastoihin.
5. **Täydellisyyden tavoittelu.** Kun aiemmat kohdat on toteutettu huomattaen, että korjattava ei lopu ikinä vaan siitä tulee päättymätön korjausten kehä kohti täydellisyyttä. (Katso Huhtala & Pulkkinen 2009 s. 183-186)

Leanilla voidaan ajatella olevan myös kaksi peruspilaria Just-In-Time (JIT) ja Jidoka. JIT:ssä tavoitellaan erilaisilla työkaluilla sitä, että tuotetta ei tehdä varastoon, vaan vain asiakastarpeeseen silloin kun asiakas haluaa, niin paljon kuin asiakas haluaa. JITin toteuttamiseen käytettäviä työkaluja ovat muun muassa imuohjaus ja jatkuvan virtauksen luominen. Jidoka ajattelu pitää taas sisällään korkean laadun tavoittelun ja automaattisen laadunvarmistuksen menetelmiä. Laatu ikään kuin rakennetaan tuotteen sisään. (Liker 2004)

Hukan eliminointi on Leanissa todella tärkeä käsite. On löydettykin kahdeksan yleistä hukan ilmentymää, jota Lean filosofiaa soveltavien yritysten on hyvä tarkastella.

1. **Ylituotanto** eli yritys tuottaa liian paljon tuotteita, mikä aiheuttaa turhaa varastointia ja ylimääräisiä tavaran hallintakustannuksia sekä sitoo resursseja. Syynä ylituotantoon on usein prosessin tai laitteiston epäluotettavuus (tehdään varmuuden vuoksi), toiminnan puutteellinen suunnittelu, heikko kommunikaatio prosessien välillä tai häiriöt.
2. **Odottelua** syntyy materiaalin puutteista, edellisten työvaiheiden myöhästymisestä tai tuotteiden odottamisesta varastossa.
3. **Materiaalin siirrot** eivät tuo lisäarvoa tuotteeseen. Huono layout aiheuttaa pitkiä siirtoja keskeneräisille tuotteille. Tavaran kuljettaminen on aina myös riski tuotteelle ja työntekijälle.
4. **Ylimääräistä prosessointia** tapahtuu kun työohjeet, työn suunnittelu tai kommunikaatio on ollut puutteellista.
5. **Tarpeettomat varastot** syntyvät kun tavaraa jää tarpeen yli tai tavaraa tulee ennen kun sille tulee tarvetta. Liian suurilla varastoilla voidaan piilottaa muita ongelmia kuten pullonkauloja ja tuotannon epätasapainoa.
6. **Tarpeetonta liikkumista** on käytännössä kaikki turha liike työvaiheen aikana. Tavaroiden etsiminen, työvälineiden kurkottelu, epäjärjestys, materiaalien haku ja niin edelleen, kaikki aiheuttavat turhaa työntekijöiden ja materiaalin liikettä.
7. **Virheet ja viat** aiheutuvat virheellisistä materiaaleista tai työohjeista, suurista varastoista, huonoista työkaluista, työntekijän puutteellisesta ammattitaidosta, kommunikointi ongelmista tai hosumisesta.
8. **Resurssien heikko hyödyntäminen** eli henkilöstön kuormitus on epätasaista tai tuhlatua aikaa, ideoita, taitoja, parannus- tai oppimismahdollisuuksia.
(Liker 2004, s. 28-29)

Hukkaa tapahtuu valmistusprosessin kaikissa vaiheissa. Kuvassa 4.1 on kuvattu kokoonpanoprosessin hukan osuutta koko läpimenoajasta.



Kuva 4.1. Hukka kokoonpanoprosessissa. (Muokattu lähteestä: Liker 2004, s. 30)

Niin kuin kuvasta voidaan huomata varsinaisen tuotetta jalostavan ja asiakkaan kannalta tuotteen arvoa nostavan työn osuus on todella pieni. Tätä osaa kuvaa aikajanana tumma

alue. Arvoa tuottamatonta työtä syntyy prosessissa muun muassa varastoinnista, odotuksista, kuljetuksista ja korjaamisesta. (Liker 2004, s. 29-30)

Leanin onnistunut käyttöönotto edellyttää todellista sitoutumista johdolta ja esimiesportaalta. Myös organisaatiokulttuurin on hitaasti, mutta varmasti muututtava. Kun käyttöönotto onnistuu, vähenevät kustannukset, virheet, prosessointiaika, läpimenoaika, tilankäyttö ja tietysti hukka. Samaan aikaan tuottavuus, asiakastyytyväisyys, tulos, asiakastarpeisiin vastaamisherkkyys, kapasiteetti, laatu ja toimitusvarmuus kasvavat. Suurimmat Lean toteutuksen ongelmat ovat liian pintapuolinen toteutus, keskittyminen vain yksittäisten työkalujen käyttöön ja sitoutumisen puute. (Heikkilä-Ilonen 2011; Moisio 2011 s. 4)

4.1 Leanin välineitä kokoonpanon kehitykseen

Vaikka Lean on alun perin kehitettykin valmistuksen menetelmäksi, voi monia Leanin työkaluja ja koko Lean filosofiaa hyödyntää myös kokoonpanossa. Lean filosofia pitää sisällään monia erilaisia työkaluja ja periaatteita, joilla filosofiaa saadaan vietyä käytäntöön. Työkalut eivät ole kuitenkaan itse tarkoitus vaan keino viedä Lean ajattelua eteenpäin. Lean työkaluja tulee aina käyttää tapauskohtaisesti ja mahdollisesti räätälöidä omiin käyttötarkoituksiin. Seuraavaksi esitellään joitain Leanin toteuttamiseen sopivia työkaluja ja periaatteita. (Heikkilä-Ilonen 2011)

4.1.1 Kapeikkoajattelu

Tässä ongelmanratkaisumenetelmässä keskitytään toimitusprosessin heikoimpiin lenkkeihin. Ideana on tunnistaa jokaisen prosessin tai järjestelmän rajoittava tekijä eli pullonkaula. Pullonkaula voi olla pitkä valmistusaika tai työvaiheaika, hidas prosessin vaihe (esimerkiksi kuivaus), laite, jolla on pitkät asetusajat, tiedon saanti, hyväksyntä prosessi, materiaalin toimittaja tai materiaalien toimitusaika ja saatavuus. Kun pullonkaula tunnistetaan tuotantoprosessista, hallitaan tuotantoprosessia paremmin. Pullonkaulojen syyt tulee pyrkiä poistamaan tuotannosta esimerkiksi kapasiteettia lisäämällä, häiriöitä poistamalla tai laitteiden luotettavuutta kasvattamalla. Myös puskurivarasto voi auttaa pullonkaulojen poistamisessa. (Heikkilä-Ilonen 2011)

Kapeikkoajattelun soveltamisella on lähes aina saavutettu merkittäviä tuloksia. Muun muassa läpimenoajan lyhentyminen, keskeneräisen tuotannon väheneminen, varastojen pieneneminen ja tasapainotuksen paraneminen voivat olla seurausta kapeikkoajattelusta. Kapeikkoajattelun käyttöönottoaminen on varsin yksinkertaista, eikä välttämättä vaadi lainkaan investointeja. Tuloksia saavutetaan myös varsin lyhyessä ajassa. (Heikkilä-Ilonen 2011)

4.1.2 5 x Miksi?

5 x Miksi työkalu on varsin yksinkertainen ongelmanratkaisumenetelmä, jolla pyritään löytämään ongelman juurisyyt. Käytännössä menetelmässä kysytään miksi niin monta

kertaa, että löytyy virheen tai ongelman perimmäinen syy. Menetelmän nimessä oleva numero viisi on sinänsä vain periaatteellinen, koska kysymyksiä saatetaan tarvita kaksi tai kymmenen tai jotain siltä väliltä. Menetelmän etuna on se, että pinnallisten korjausten sijaan löydetään ongelman todellinen syy ja korjataan se, jolloin on todennäköisempää, että virhe ei enää toistu. (Liker 2004, s. 252-253)

Taulukossa 4.1 on esitetty yksinkertainen esimerkki menetelmän käytöstä.

Taulukko 4.1. Esimerkki 5 x Miksistä. (Muokattu lähteestä: Liker 2004, s. 253)

	Ongelma	Toimenpide
Miksi?	Lattialla on öljylammikko	Siivoa öljy
Miksi?	Koska koneesta valuu öljyä	Korjaa kone
Miksi?	Koska tiiviste on heikentynyt	Vaihda tiiviste
Miksi?	Koska ostimme huonosta materiaalista valmistettu tiiviste	Muuta tiivisteiden teknisiä ominaisuuksia
Miksi?	Koska saimme sen hyvään hintaan	Muuta hankintakäytäntöjä
Miksi?	Koska ostoja arvioidaan lyhyen aikavälin kustannussäästöjen pohjalta	Muuta arviointikäytäntöjä

Vasemmalla taulukossa on esitetty ongelma ja oikealla ongelman korjaava toimenpide. Esimerkissä alkutilanteen ongelma on öljyä lattialla. Viiden miksi kysymyksen jälkeen päästään tilanteeseen, jossa todellinen syy ongelmaan löytyy ostojen arviointikäytännöistä, joita tulisi siis muuttaa. (Merikallio & Haapasalo 2009, s.23; Liker 2004, s. 253)

4.1.3 Poka-Yoke

Poka-Yoken tarkoituksena on ehkäistä ja löytää virheitä. Virheiden ehkäiseminen on aina tehokkaampaa kuin niiden löytäminen. Virheiden ehkäisyssä tulisi käyttää mistake proof -menetelmiä, jolloin virheiden tekeminen on mahdotonta. Esimerkiksi kokoonpanossa osa voidaan suunnitella siten, että se mahdotonta asentaa väärin symmetrian tai lisäpiirteiden avulla. (Liker 2004, s. 133-134)

Virheiden löytäminen pitäisi tapahtua ideaalisessa tilanteessa samalla hetkellä ja samassa paikassa kun se tapahtuu, mutta viimeistään ennen asiakkaalle luovutusta. Kuvassa 4.2 on kuvattu virheistä johtuvia kustannuksia.



Kuva 4.2. Löytämättömien virheiden kustannukset. (Muokattu lähteestä: Heikkilä-Ilonen 2011)

Mikäli virhe löytyy heti, korjauskustannukset jäävät pieniksi, mutta jos tuote pääsee seuraavaan vaiheeseen, ovat siitä aiheutuvat kulut jo kymmenkertaiset. Lopputarkastuksesta löytyvien virheiden kustannukset ovat satakertaiset ja asiakkaalle asti päässeet virheet tuhatkertaiset siihen nähden, että virheet olisi heti havaittu. Virheiden havaitsemiseen ja eliminointiin voidaan käyttää apuna tarkastuslistoja, rajoittimia ja kytkimiä, automaattisia hälytyksiä ja niin edelleen. (Heikkilä-Ilonen 2011)

4.1.4 Tuotannon tasapainottaminen

Tuotannon tasapaino on yksi Lean filosofian osa-alueista. Tuotannon tasapainottaminen (Heijunka) on siis tuotannon aikataulutuksen työkalu. Pyrkimyksenä Heijunkassa on se, että eri tuotteiden väliset erot tasoittuvat tuotannossa. Edellytyksenä on, että valmistuksen eräkoot ovat pieniä. Tuotannon tasapainottaminen vaatii myös muita Lean työkaluja toimiakseen, mutta se myös tukee muita työkaluja. (Merikallio & Haapasalo 2009, s.18-19)

Heijunkalla saadaan tuotannosta tasoitettua kuormitushuippuja ja alhaisen kuormituksen tiloja, jolloin kuitenkin kapasiteetin tarve pysyy vakiona. Varastot pysyvät koko tehtaassa pienempinä, koska muun muassa välivarastoja ei tarvita. Myös materiaalien tarve pysyy tasaisena, mikä auttaa alihankkijoita, jotka voivat tällöin paremmin vastata yrityksen tarpeisiin. (Liker 2004, s. 140)

4.1.5 5S

5S on työkalu, jonka pääasiallisena tavoitteena on hukan vähentäminen siisteyden ja järjestyksen avulla. Siisteys ja järjestys vaikuttavat tuotteen läpimenoaikoihin, tuottavuuteen, työntekijöiden ergonomiaan, työturvallisuuteen ja niin edelleen. Siisteyden ja järjestyksen avulla saadaan usein myös asiakkaan mielikuvaa yrityksestä parannettua. Taulukkoon 4.2 on koottu 5S menetelmän vaiheet tavoitteineen ja toimenpiteineen.

Taulukko 4.2. 5S:n vaiheet. (Heikkilä-Ilonen 2011)

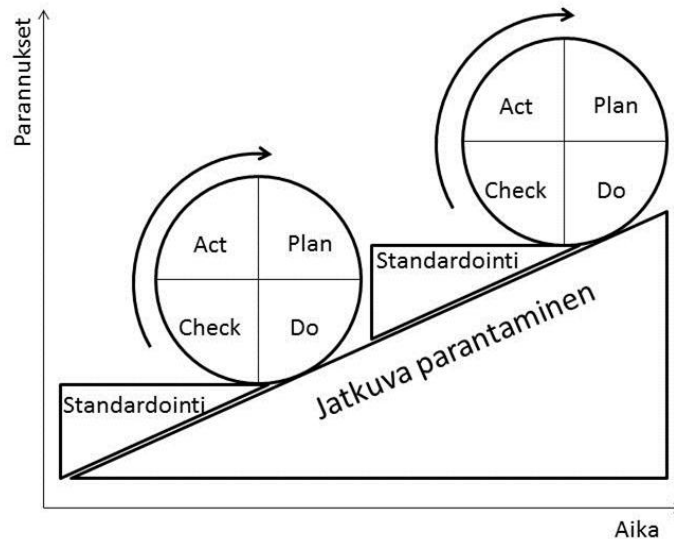
	Tavoitteet	Toimenpiteet
Lajittele (Sort)	<ul style="list-style-type: none"> • Erottaa tarpeelliset tavarat tarpeettomista • Työpisteellä vain ne työvälineet joita tarvitaan 	<ul style="list-style-type: none"> • Erottele välttämätön turhasta • Romuta turhat
Järjestä (Straighten)	<ul style="list-style-type: none"> • Työvälineet löydettävissä 30 sekunnissa 	<ul style="list-style-type: none"> • Määrittele kaikelle oma paikkaansa
Puhdista (Sweep)	<ul style="list-style-type: none"> • Työpiste pysyy siistinä 	<ul style="list-style-type: none"> • Siivoa ja puhdista työpiste säännöllisesti
Standardoi (Standardize)	<ul style="list-style-type: none"> • Rutiinin syntyminen edellisille vaiheille 	<ul style="list-style-type: none"> • Kehitä järjestyksenpidolle rutiinit ja toteuta tinkimättä kolmesta edellisestä vaiheesta
Ylläpidä (Sustain)	<ul style="list-style-type: none"> • Toimintamalli yhteiseksi toimintatavaksi 	<ul style="list-style-type: none"> • Rakenna pelisäännöt, joita noudatetaan jatkuvasti ja kehitetään edelleen • Kouluta ja motivoi henkilöstöä

5S:n toteuttaminen on yksinkertaista ja mahdollista toteuttaa olemassa olevilla resursseilla. Toteuttamisessa oleellista on, että se tehdään todellisessa työpisteessä, oikeiden henkilöiden kanssa. Tuloksia kannattaa myös mitata, jotta todelliset parannukset saadaan esiin. Kun 5S toimii, se tukee muun muassa visuaalista ohjausta ja standardisointia. (Liker 2004 s.150-151; Merikallio & Haapasalo 2009 s. 21)

4.1.6 Jatkuva parantaminen

Yksi tärkeimmistä Lean filosofian tehtävistä on jatkuva parantaminen. Ikinä ei olla niin sanotusti valmiita vaan aina riittää parannettavaa jollain osa-alueella. Yksi tapa toteuttaa jatkuvaa parantamista on Kaizen menetelmä. Kaizenissa pyritään jatkuvasti vähentämään hukkaa pienin askelein tapahtuvassa muutoksessa. Muutokset tehdään systemaattisesti ja suunnitelmallisesti edellyttäen, että koko henkilöstö on mukana prosessissa. Kaizen edellyttää myös, että prosessit ovat standardisoituja. Kun Kaizen ajattelussa löydetään ongelma, ensimmäinen tehtävä on löytää syy ongelmalle esimerkiksi 5 x Miksi menetelmän avulla. (Liker 2004 s. 251-252)

Kaizenia voidaan kuvata myös Demingin PDCA ympyrän avulla niin kuin kuvassa 4.3.



Kuva 4.3. Jatkuva parantaminen PDCA ympyrän avulla. (Muokattu lähteestä: Heikkilä-Ilonen 2011)

Jokainen parannus käy läpi Suunnittele-Toteuta-Tarkasta-Kehitä -prosessin. Kun parannus on saatu valmiiksi, tulee se standardoida, jolloin parannuksesta saadaan pysyvä. Kuvassa tätä on havainnoillistettu kiilalla, joka varmistaa parannuksien pysyvyyden. Jos kiilaa ei laiteta, valuu kehitystyö hukkaan. (Heikkilä-Ilonen 2011)

4.2 Lean, linjakokoonpano ja kokoonpantavuus

Lean ajattelusta on paljon hyötyä linjamaisessa tuotannossa ja sen kehityksessä. Erityisesti tuotannon tasapainottaminen nousee tärkeäksi osa-alueeksi linjan suunnittelussa ja toiminnassa. Ilman tasapainoa on linjan mahdotonta toimia. Jotta linjan toiminta voidaan tasapainottaa, tulee mahdolliset pullonkaulat tunnistaa ja pyrkiä poistamaan kokonaan kokoonpanosta, jolloin linjan tahtiaika ei nouse turhan pitkäksi. Koska linjatuotannossa ei virheitä sallita, tulee ennen linjatuotantoa ja myös toiminnan aikana virheiden ennalta ehkäisemiseen kiinnittää erityistä huomiota. Linjatuotannossa virheiden tekeminen aiheuttaa aina suurempia ongelmia kuin paikkakokoonpanossa. Virheiden juurisyiden löytymiseen apuna voidaan käyttää luvussa 4.1.2 esiteltyä 5 x Miksi työkalua. Kun tuotantolinjaa suunnitellaan ja toteutus alkaa, on epätodennäköistä, että linjan toiminta on heti täydellistä. Kehitystyötä tulee siis edelleen jatkaa ja jatkuva parantaminen nousee todella tärkeäksi menetelmäksi. Työmäärän vakioimiseksi myös Leanin esittämä standardointi on hyväksi, koska jos työtavat saadaan vakioitua, vakioituu myös työhön kuluva aika.

Leania voidaan helposti myös yhdistää DFA ajatteluun, eivätkä ne missään nimessä ole toisiaan pois sulkevia periaatteita. DFA:ssa keskitytään tuotteen rakenteen ja suunnittelun muuttamiseen kun taas Leanissa pyritään kehittämään enemmän prosesseja. Molemmilla on kuitenkin samanlaisia päämääriä: tuotetta jalostamattoman työn osuuden vähentäminen, tuottavuuden parantaminen, varastojen minimointi ja niin

edelleen. Esimerkiksi jalostamattoman työn vähentäminen Leanissa tarkoittaa seitsemän hukan poistamista. Hukista yksi on ylimääräinen materiaalin siirtely ja tarpeeton liikkuminen, mikä tulee esille myös DFA:ssa työpisteen suunnittelussa ja DFA:ssa otetaan kantaa myös siihen millainen siirrettävä tuote on. Työpisteen suunnittelussa voidaan käyttää apuna myös Leanin 5S työkalua.

Ylimääräinen prosessointi on yksi hukista, mikä voi johtua esimerkiksi huonoista työohjeista. DFA:ssa taas työn suoritustavat pyritään vakioimaan ja siten tuottamaan myös selkeät työohjeet työn suorittamiseen. Ylimääräiseksi prosessoinniksi voidaan ajatella myös turhia osien liittämisiä toisiin, jotka poistuvat työajasta kun osia poistetaan tai vähennetään. Myös mistake proof -ajattelu eli virheiden tekemisen mahdottomuus tulee molemmissa menetelmissä esille. Kokoonpanon kannalta tämä tarkoittaa sitä, että tuote tulee suunnitella siten, että se on mahdotonta asentaa väärin.

Jatkuva parantaminen kuuluu myös molempien menetelmien tärkeiksi osa-alueiksi. C_DFMA:ssa jatkuvaa parantamisesta pidetään tärkeänä juuri siksi, että muutokset juurtuisivat toimintaan ja vastaavasti Leanissa pyritään standardoimaan muutokset samasta syystä. Standardointia pyritään myös DFA:ssa käyttämään työmenetelmissä, pintakäsittelyissä, osissa ja niin edelleen.

4.3 Lean tuotekehitys

Leanin periaatteita voidaan huomioida myös tuotekehityksessä. Leanin päätehtävä tuotekehityksessä on oppia kuinka nopeasti tehdään hyviä tuotteita. Tämä juontaa juurensa läpäisyajan lyhentämisestä, mutta jos tuotekehitys tehdään mahdollisimman lyhyessä ajassa, laatu kärsii varmasti. Lean tuotekehityksen tavoitteena on yhdistää ammattitaitoiset ihmiset, teknologiat ja työkalut sekä prosessit toimivaksi kokonaisuudeksi. Taulukossa 4.3 on esitetty Morganin ja Likerin näkemys Leanin keskeisistä periaatteista. Samat periaatteet toimivat myös Lean tuotekehityksen lähtökohtana. (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 194)

Taulukko 4.3. Lean tuotekehityksen keskeiset periaatteet. (Morgan & Liker 2006, Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 194 mukaan)

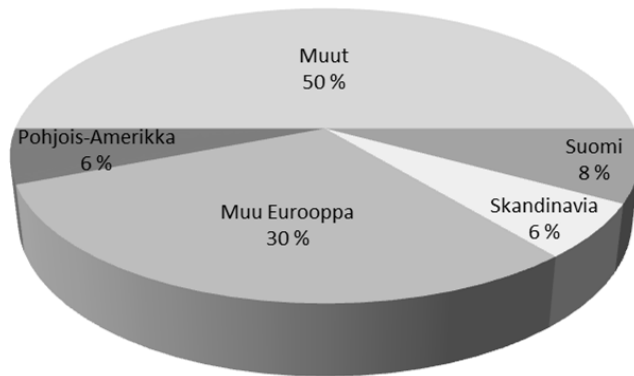
Osa-alue		Periaate
Prosessi	1.	Arvon määrittäminen asiakkaalle.
	2.	Painopisteen siirtäminen kehitysprosessin alkupäähän.
	3.	Tasoitettun virtauksen aikaan saaminen tuotekehitysprosessiin.
	4.	Vakioinnin laajamittainen hyödyntäminen.
Ammattitaitoiset ihmiset	5.	Projektipäällikön tehtävän/roolin kehittäminen.
	6.	Tasapainotus funktioiden osaamisen ja niiden välisen integraation välillä
	7.	Merkittävän teknisen osaamisen kehittäminen kaikilla keskeisillä suunnittelun alueilla.
	8.	Toimittajien täydellinen integrointi osaksi tuotekehitystä.
	9.	Oppimisen ja jatkuvan parantamisen mekanismien sisäänrakentaminen prosessiin.
	10.	Ylivertaista osaamista ja tinkimätöntä parantamista tukevan kulttuurin kehittäminen.
Työkalut ja teknologia	11.	Teknologian soveltaminen ihmisten ja prosessin yhteensovittamiseen.
	12.	Organisaation virtaviivaistuminen yksinkertaisen visuaalisen kommunikaation avulla.
	13.	Tehokkaiden työkalujen hyödyntäminen vakioinnissa ja organisaation oppimisessa.

Tuotannossa ajatellaan, että jos pystytään tekemään kaksi identtistä tuotetta, se on hyvä asia ja luultavimmin työtapa on saatu vakioitua. Jos taas tuotekehityksessä tehdään kaksi samanlaista tuotetta, se on tuhlausta, koska jo tuotettua tietoa ei ole osattu käyttää hyödyksi. Tuotekehityksessä tiedon systemaattinen uudelleen käyttö onkin yksi tärkeimmistä tavoista poistaa hukkaa. Lean tuotekehityksen käyttöönotto on monesti hidas ja monimutkainen prosessi, jonka tulokset eivät heti ole kovinkaan selvät. (Morgan & Liker 2006, Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 194-218 mukaan)

5 BRONTO SKYLIFT OY AB

Bronto Skylift Oy Ab (Bronto) on maailman johtava kuorma-autoalustaisten nostolavalaitteiden valmistaja. Bronto suunnittelee, valmistaa, myy, ja huoltaa nostolavalaitteita sekä myös kouluttaa. Nostolavalaitteita käytetään pelastustoiminnassa, palonsammutuksessa sekä erityyppisissä korkealla tapahtuvissa urakointi, huolto- ja korjaustöissä. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Tampereella, jossa sijaitsee yrityksen hallinto, myynti ja markkinointi, tuotekehitys ja –suunnittelu sekä tuotteiden loppukokoonpano ja laitteiden huoltoa. Porissa yrityksellä on toinen tehdas, jossa on hitsaamo ja koneistamo, sekä laitteiden varsiston kokoonpano. Lisäksi yrityksellä on tytäryhtiöitä Saksassa, Sveitsissä sekä Ruotsissa ja edustajia on noin sadassa eri maassa. Henkilöstöä yrityksessä on tällä hetkellä noin 330, joista 30 työskentelee ulkomailla. Vuodesta 1995 yritys on ollut osa amerikkalaista Federal Signal Corporationia (Bronto Skylift Oy Ab 2011)

Markkina-alue on koko maailma ja kaiken kaikkiaan laitteita on toimitettu yli 120 maahan, yhteensä yli 6000 laitetta. Kuvassa 5.1 on esitetty Bronto Skyliftin markkinoiden jakautuminen vuonna 2010.

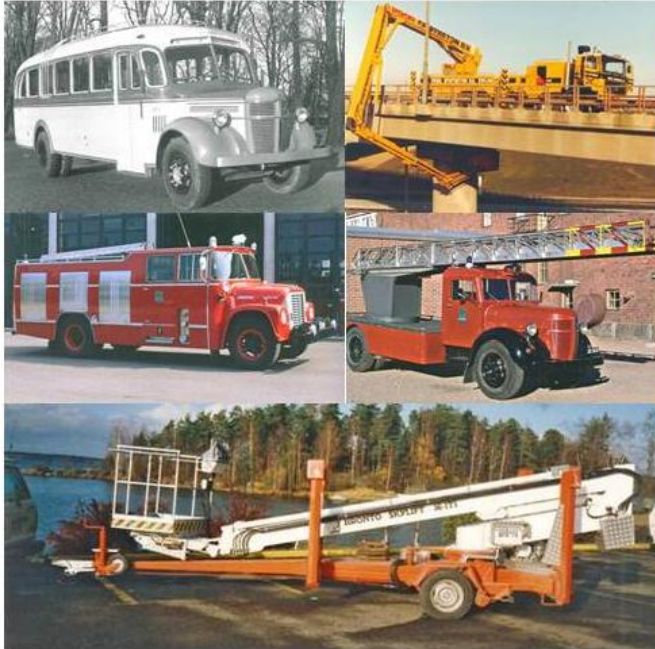


Kuva 5.1. Bronto Skyliftin markkina-alueet vuonna 2010. (Muokattu lähteestä: Bronto Skylift 2011)

Niin kuin kuvasta nähdään 44% eli lähes puolet laitteista menee Eurooppaan ja toinen puolet muualle maailmaan. Suomen osuus markkinoista on 8%. Liikevaihto vuonna 2010 oli 82,3 miljoonaa euroa, mikä huonosta maailmantalouden tilasta johtuen putosi edellisestä vuodesta merkittävästi. Vuonna 2009 liikevaihto oli 114 miljoonaa euroa. (Bronto Skylift 2011)

5.1 Historia

Bronto on aloittanut toimintansa vuonna 1938 bussien valmistuksesta ja nykyisen muodon yritys on saavuttanut vuonna 1972. Historiassa Bronto on valmistanut paloautoja, lentokenttälaitteita, tikasautoja, perässävedettäviä nostolavalaitteita ja niin edelleen. Näitä on esitelty kuvassa 5.2.

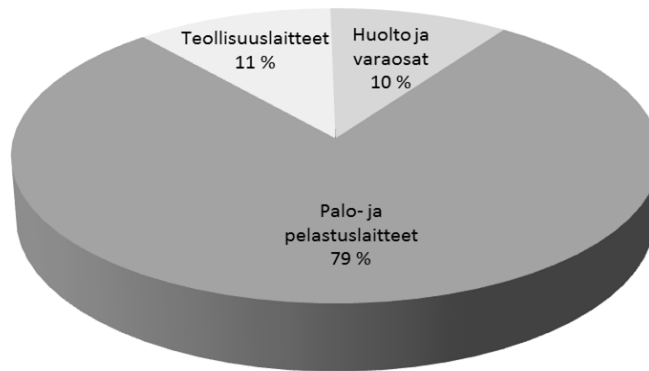


Kuva 5.2. Bronto Skyliftin tuotteita historista. (Bronto Skylift 2011)

Ensimmäiset kuorma-autoalustaiset nostolava-autot tehtiin jo vuonna 1961 ja vuodesta 1996 lähtien toiminta on keskittynyt ainoastaan niihin. Vuonna 1980 nostolavalla päästiin ensimmäistä kertaa 50 metriin ja vuonna 2006 ylittyi jo 100 metrin raja. Vuonna 2010 julkaistiin toistaiseksi korkeimmalle yltävä nostolava-auto, millä päästään jo 112 metrin korkeuteen. (Bronto Skylift 2011)

5.2 Tuotteet

Yrityksen valmistamat nostolavalaitteet voidaan jakaa kahteen pääryhmään käyttötarkoituksen mukaan: palo- ja pelastuslaitteisiin sekä teollisuuslaitteisiin. Kuvassa 5.3 nähdään myynnin jakautuminen vuonna 2010 tuotetyypeittäin.



Kuva 5.3. Bronto Skyliftin myynnin jakautuminen vuonna 2010. (Bronto Skylift 2011)

Niin kuin kuvasta huomataan, palo- ja pelastuslaitteet ovat selkeästi suurin osa-alue (79%). Erilaisia palo- ja pelastuslaitteita on olemassa seitsemää erilaista tuoteperhettä ja lisäksi tuotteisiin on saatavana useita lisävarusteita. Tuotteet ovat siis hyvin räätälöitävissä asiakkaan mukaan. Kuvassa 5.4 on muutamia erilaisia palo- ja pelastuslaitemalleja.



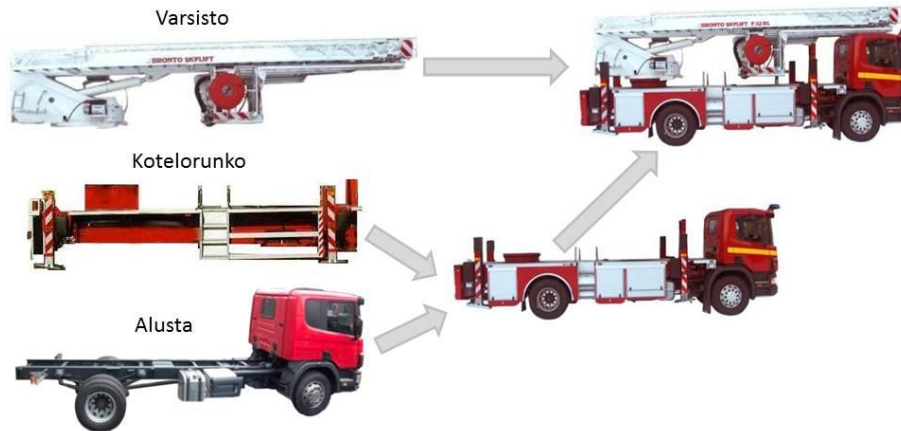
Kuva 5.4. Erilaisia palo- ja pelastuslaitteita. (Bronto Skylift 2011)

Teollisuuslaitteiden osuus on tällä hetkellä 11% yrityksen toiminnasta. Teollisuuslaitteita on olemassa kolme erilaista tuoteperhettä. Kuvassa 5.5 on esitelty erilaisia teollisuuslaitteita.



Kuva 5.5. Erilaisia teollisuuslaitteita. (Bronto Skylift 2011)

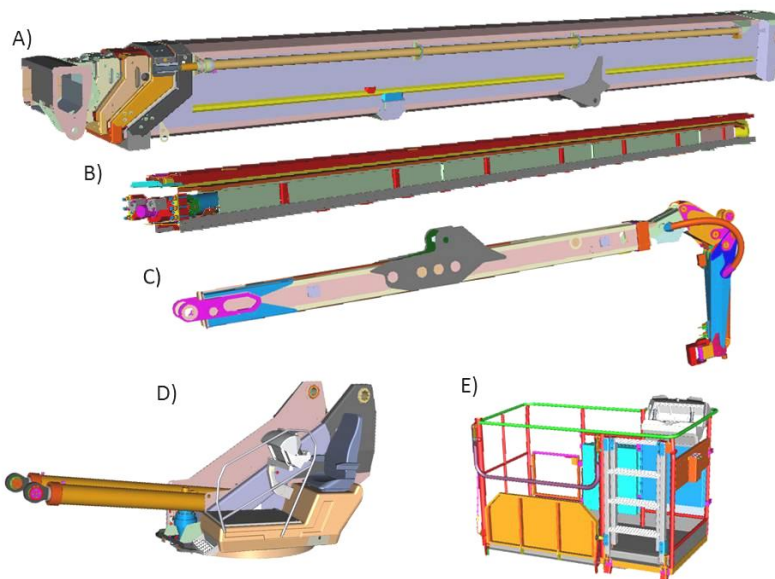
Bronton valmistamat nostolava-autot koostuvat kaikki seuraavista pääosista: kuorma-autoalusta, kotelorunko ja varsisto. Kuvassa 5.6 on esitetty laitteen pääkomponentit.



Kuva 5.6. Nostolava-auton rakenne. (Bronto Skylift 2011)

Porin tehtaalla kokoonpannaan varsisto. Tampereella taas alustan päälle laitetaan kotelorunko ja Porista tuleva varsisto. Tarkemmin koko tuotteen valmistusprosessi on esitetty liitteessä 1. (Bronto Skylift 2011)

Tämä työ keskittyy ainoastaan Porissa valmistettavan varsiston kokoonpanoon. Kuvassa 5.7 on varsiston pääkomponenttien 3d-malleja.



Kuva 5.7. Varsiston pääkomponentit: A) varret, B) energiapaketti, C) korivarsi, D) jalusta ja E) työkori.

Varsiston pääkomponentit ovat työkori, korivarsi, jalusta ja varsiputket sekä varsiston sisään tuleva energiapaketti. Muita mahdollisia isoja komponentteja ovat myös vesiputket sekä tikkaat, joita ei kuitenkaan kaikkiin laitteisiin asenneta.

6 NYKYTILAN KARTOITUS

Nykytilan kartoitus on tehty asentajien, suunnittelijoiden ja muiden työntekijöiden kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta. Hyvänä apuna selvityksessä on ollut myös äskettäin tehty työajantutkimus sekä tuotannon tietokannat. Koska erityisesti kokoonpantavuuden kehityksessä suunnittelun rooli on merkittävä, on tässä luvussa lyhyesti kerrottu myös Bronton suunnittelutoiminnasta.

6.1 Varsistokokoonpano

Nykytilan kartoituksessa on hyvä lähtöä liikkeelle siitä millainen prosessi varsiston kokoonpano on. Varsisto kokoonpannaan soluissa paikkakokoonpanona. Työkorille, jalustalle ja korivarrelle ja energiapakettille on omat solunsa. Varsiputkien kokoonpano ja loppukokoonpano tapahtuvat samassa solussa johon korivarsi, työkori, jalusta ja energiapaketti tuodaan. Kyseessä on siis luvussa 2.2 esitellyistä kokoonpanojärjestelmistä paikkakokoonpano, jossa kuitenkin tuotteen kaikkia osia ei kokoonpanna samalla paikalla.

Kuva nykyisestä layoutista löytyy liitteestä 2. Materiaalin siirtämiseen ei ole juurikaan varattu hallin sisällä tilaa vaan muun muassa osakokoonpanojen tuonti loppukokoonpanoon, lukuun ottamatta energiapakettia, tapahtuu ulkokautta, mikä aiheuttaa etenkin talvella ongelmia. Myös osakokoonpanojen kuten jalustan ja työkorin valmisvarastot sijaitsevat ulkona. Materiaalinvirtaus ei ole kovinkaan selkeää vaan tuotetta voidaan joutua siirtelemään turhaan edestakaisin useita kertoja hallin päästä päähän jolloin myös matkat ovat melko pitkiä hallin ollessa 78 metriä pitkä. Materiaalivarastot sijaitsevat osin soluissa ja osin yhteisessä varastossa ja ulkohalleissa. Asentajat joutuvat kesken asennustyön usein hakemaan jotain osaa jostain toisesta solusta, jolloin aikaa kuluu hukkaan. Suuri osa osista tulee kuitenkin suoraan tietyille työnnumerolle, jolloin ne viedään suoraan kyseiseen soluun.

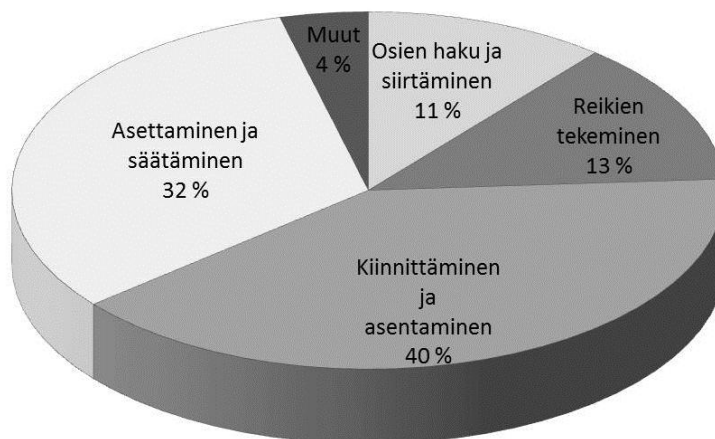
Solut eivät juuri kommunikoi toistensa kanssa vaan valmistavat tuotteita tuotantohjelman mukaisessa järjestyksessä vaiheajoeroista välittämättä. Tästä aiheutuu se, että joitain valmiita osakokoonpanoja joudutaan seisottamaan pitkiäkin aikoja ennen kun ne voidaan viedä loppukokoonpanoon ja taas toisaalta loppukokoonpano voi joutua seisomaan jonkun osakokoonpanon viivästyttyä. Töitä tehdään paljon limittäin. Jos laitteesta puuttuu jokin osa ja työ pysähtyy, aloitetaan seuraavan tuotteen kokoonpano. Tästä johtuen keskeneräisen tuotannon määrä on kokoonpanossa todella suuri ja samaan aikaan on työpisteellä monta eri laitetta keskeneräisenä. Useat laitteet vain odottavat jotain puuttuvaa osaa. Tämä tekee tuotannosta sekavaa ja aiheuttaa sen, että kokoonpanopaikalla on monen eri laitteen osia samanaikaisesti. Tuotantotoiminta on

vaikeaa, koska ei voida tarkasti tietää missä vaiheessa tuotannossa ollaan menossa missäkin solussa.

Kokoonpanossa joudutaan tekemään paljon sovitustyötä ja parantelemaan ja muokkaamaan osia, jotta osat sopisivat paremmin paikoilleen. Osia joudutaan muokkaamaan myös siksi, että osan suunnittelu on jäänyt kesken tai on muuten vain puutteellista. Kokoonpano on toisinaan haastavaa osien huonon paikoilleen sopimisen tai puutteellisten työohjeiden vuoksi. Myös työasennot ja asennuspaikat vaikeuttavat asennustyötä. Eri asentajilla on erilaisia työtapoja, eikä työtapoja ole vakioitu. Eroja tulee esimerkiksi kaapeleiden vienneissä. Tämä vaikeuttaa myöhemmin muun muassa laitteiden huoltoa. Monesti kuuleekin työntekijöiden sanovan, että Brontolta ei koskaan ole valmistunut kahta täsmälleen samanlaista laitetta.

Koko varsiston kokoonpanon läpäisyajat vaihtelevat noin 3 viikosta 10 viikkoon, joskus voi mennä kauemminkin. Työtä tehdään tällä hetkellä pääsääntöisesti yhdessä vuorossa. Työ sisältää paljon jalostamatonta työtä odottelujen takia. Odotusta syntyy kun materiaalia ei ole eli se on unohtunut tilata tai tilattu liian myöhään tai mahdollisesti alihankkija on jättänyt toimittamatta osat ajallaan. Odotuksia syntyy myös nostinten odottamisesta. Nostimia on rajallinen määrä ja nykyiset työtavat vaativat nostimia monissa työvaiheissa.

Varsiston kokoonpanolle on tehty työajantutkimusta. Työajantutkimuksessa on oletettu suoritusasteen olevan 100% vaikka todellisuudessa suoritusaste Brontolla onkin vain noin 40%. Suoritusaste kuvaa varsinaista tekemisaikaa siihen käytetystä työajasta. Erilaisiin odotuksiin ja häiriöihin kuuluu todella paljon aikaa. Tutkimuksessa ei ole huomioitu kaikkia työvaiheita, koska osakokoonpanot puuttuvat tutkimuksesta kokonaan. Seuraavassa kuvassa on tutkittu pienelle, kolmijaksoiselle laitteelle tehtyä työajantutkimusta mekaanisen kokoonpanon osalta.



Kuva 6.1. Työajan jakautuminen yhdessä laitteessa. (Bronto Skylift 2011)

Niin kuin kuvasta 6.1 voidaan nähdä suurin osa tekemisaajasta eli 40% kuluu puhtaasti jalostavan työn tekemiseen eli osien kiinnittämiseen ja asentamiseen paikoilleen. Tämä on sinänsä suuri osuus, jos tavallisesti jalostavan työn osuus tekemisaajasta on vain 10-

25%. Osien paikoilleen asettamiseen ja asemointiin, sekä paikallaan olevien osien säätämiseen kuluu 32% ajasta. Puuttuvien reikien poraamiseen ja kierteiden avaamiseen sekä osien työstöön kuuluu 13% ajasta ja osien ja tarvittavien välineiden hakemiseen aikaa kuluu 12% käytetystä ajasta. Puuttuvien reikien poraaminen sisältää useita eri työvaiheita. Ensin reikien paikat paikoitetaan ja mitoitetaan, sitten merkataan, porataan, kierteytetään ja puhdistetaan syntyneet lastut pois paineilmalla. Etenkin tästä työstä on pyrittävä kokonaan pääsemään eroon siirryttäessä linjatuotantoon. Myös osien hakemisen ja siirtämisen kuluva aikaa on lyhennettävä. Muut osio sisältää muun muassa nivelien rasvauksen, puhdistuksia ja testausta. (Bronto Skylift 2011)

6.2 Suunnittelutoiminta

Kun Brontolle tulee tilaus uudesta laitteesta, joudutaan lähestulkoon aina tekemään asiakaskohtaista suunnittelua uniikkien lisävarusteiden vuoksi. Asiakkaalla on myös valittavanaan kymmenittäin lisävarusteita, joiden asennuspaikat saattavat olla päällekkäisiä. Asiakaskohtainen suunnittelu työllistää suunnittelua ja voi aiheuttaa sen, että ennen laitteen kokoonpanon aloitusta ei kaikkia suunnitelmia ja piirustuksia välttämättä saada valmiiksi. Asiakkaalla tuntuu olevan myös mahdollisuus vaikuttaa lisävarusteisiin kokoonpanon aloituksen jälkeenkin. Suurimmalle osalle optioista on suunniteltu paikat ja kiinnikkeet, mutta on myös niitä joissa asentaja laittaa osan parhaimmaksi näkemäänsä paikkaan. Ongelmia kokoonpanossa aiheuttaa suunnittelupuutokset ja suunnittelun hitaus. On esimerkiksi mahdollista, että jotain osaa muutetaan, mutta siihen liittyviä osia ei ole päivitetty muutosten mukaiseksi, jolloin osat eivät sovi enää yhteen.

Kokonaan uuden tuotteen tai tuoteperheen suunnittelu alkaa markkinoilta tulevan impulssin vuoksi. Uuden tuotteen ongelmana on se, että yleensä ei ehditä kunnolla tekemään yhtä protolaitetta, jonka avulla saataisiin piirustukset valmiiksi. Sen sijaan tehdään montaa uutta laitetta samanaikaisesti vaikka piirustukset ovat vielä kesken.

Suunnittelun resursseista johtuen ei asentajilta tuleviin pienempiin suunnittelumuutosehdotuksiin tahdo riittää aikaa vaan muutostarpeet jäävät monesti roikkumaan. Tarvittaisiinkin systemaattinen tapa, jolla asentajilta tuleva palaute saavuttaisi suunnittelun ja muutokset tulisi tehtyä. Ongelmana on myös se, että kun muutoksia piirustuksiin tehdään ja niistä tiedotetaan alihankkijoille, ei alihankkijalta kuitenkaan saada uuden version mukaisia osia ainakaan nopeasti. Tulisikin varmistaa ja tarkistaa, että alihankkijalle menee tieto perille asti.

Suunnittelussa kokoonpantavuus on jo nyt tärkeässä roolissa ja laitteisiin suunnitellaan osien lisäksi myös niiden kokoonpanoa. Toisaalta taas ei ole tähän päivään mennessä nähty tarpeelliseksi lisätä kaikkia tarvittavia reikiä kuviin, koska ajatellaan, että ne voidaan porata vasta kokoonpanovaiheessa, jolloin reiät tulevat varmasti oikeaan paikkaan. Asentajat pitävät usein niin sanottuja ei-kokoonpanotöitä tavallisina kokoonpanon työtehtävinä. Ei-kokoonpanotöinä tässä työssä tarkoitetaan kaikkia niitä töitä, joissa joudutaan muokkaamaan valmiita osia kokoonpanossa.

Reikien poraukset, kulmien hiomiset, viisteiden tekemiset ja niin edelleen ovat kaikki sellaisia työtehtäviä, joita ei enää kokoonpanolinjalla tulisi tehdä. Tähän asiaan vaaditaankin työkuulttuurin muutosta niin asentajilta kuin suunnittelijoilta, jotta kokoonpanoon kuulumattomat työt saadaan minimoitua kokoonpanosta.

6.3 Tärkeimmät kehityskohteet

Kokoonpanossa on paljon kehitettävää, mutta kaikkein tärkeimpinä kehityskohteina Bronton kokoonpanossa voidaan pitää seuraavia asioita:

- Layoutin toimimattomuus ja ulkokautta tapahtuva materiaalin siirto
- Solujen välisen kommunikaation puute ja siitä johtuva välivarastointitarve
- Keskenäisen tuotannon määrä, joka aiheutuu muun muassa materiaali- ja työvoimavajeista
- Osien varastointi kaukana työpisteiltä ja materiaalin virtaus
- Ei-kokoonpanotöiden määrä
- Suunnittelu- ja työohjeluutteet
- Myöhään tulevat suunnittelumuutokset
- Suunnittelun ja kokoonpanon yhteistyö ja kommunikaatio

Kaikkia näitä kehityskohteita on jossain määrin kehitettävä, että linjan toiminta olisi ylipäättänsä mahdollista. Seuraavissa luvuissa onkin käsitelty muun muassa näitä ongelmia ja ratkaisuja ongelmiin.

7 VARSISTON KOKOONPANON KEHITTÄMINEN

Kokoonpanon kehityksen apuna käytetään eri kokoluokan laitteille tehtyjä työajantutkimuksia. Liitteessä 3 on esitetty kolmejaksoisen laitteen työajantutkimuksen tulokset osa-alueittain. Todellisuudessa tutkimuksessa työ on pilkottu paljon pienempiin osiin, mutta yhteenvedosta näkee selvästi kokoonpanon työläimmät ja pisimpään kestävät vaiheet, jotka mahdollisesti muodostuisivat pullonkauloiksi linjatuotannossa. Tällöin voidaan yhtenä kokonaisuutena keskittyä näiden pullonkaulojen kokoonpanon kehittämiseen. Paljon kokoonpanon tutkimisessa on tehty myös havainnointitutkimusta, jolloin on saatu suoraan palautetta asentajilta kokoonpantavuudesta ja kokoonpanon ongelmista.

Toisena tärkeänä tarkastelukohtana ovat isojen komponenttien liitospinnat, jotka tulevat linjalla olemaan nimenomaan päälinjan vaiheita. Isojen komponenttien liitospinnat tulisi olla mahdollisimman samanlaiset riippumatta siitä millainen laite on kyseessä, jolloin päälinjan työ pysyy mahdollisimman vakiona ja siten myös läpimenoajasta saataisiin vakio.

Kun työläimmät vaiheet ja isojen komponenttien liitospinnat on tutkittu, voidaan keskittyä kaikkiin kokoonpanossa tapahtuviin niin sanottuihin ei-kokoonpanotöihin. Ei-kokoonpanotyöt ovat kaikki tuotetta jalostamatonta työtä, joissa valmista osaa tai tuotetta joudutaan muokkaamaan. Seuraamalla kokoonpanoa voidaan huomata, että asentaja joutuu poraamaan reikiä ja tekemään viisteitä ja loveuksia hyvin monissa eri kohteissa. Tavoitteena on, että piirustuksista löytyisi esimerkiksi kaikki sellaiset reiät, mitä kiinnityksiin tarvitaan, jolloin jo koneistusvaiheessa tehdään reiät osaan ja kokoonpanossa vain kiinnitetään osa. Jokaisen reiän porauksen jälkeen joudutaan puhdistamaan lastut, suojaamaan reikä ja mahdollisesti vielä paikkamaalaamaan. On siis selvää, että osien muokkaaminen kokoonpanossa on voitava kokonaan poistaa. Tällöin kokoonpanosta saadaan paljon sujuvampaa ja työtä saadaan myös huomattavasti vähennettyä, jolloin läpimenoaika lyhenee. Kokoonpantavuuden ja ei-kokoonpanotöiden analysoinnissa esille voi nousta myös kuvissa olevia virheitä, jotka viedään edelleen suunnittelun ratkottavaksi ja korjattavaksi.

Seuraavissa luvuissa käydään varsiston kokoonpanotyön kehittämistä läpi erilaisten esimerkitapausten pohjalta. Tapauksissa etsitään ratkaisuvaihtoehtoja useilla erilaisilla tavoilla. Mukana on niin liittämismenetelmien kehitystä kuin työn siirtämistä aikaisempiin vaiheisiin ja jopa alihankkijalle. Toisaalta pohditaan myös alihankkijan tekemän työn kannattavuutta verrattuna siihen jos työ tehtäisiin kokonaan itse.

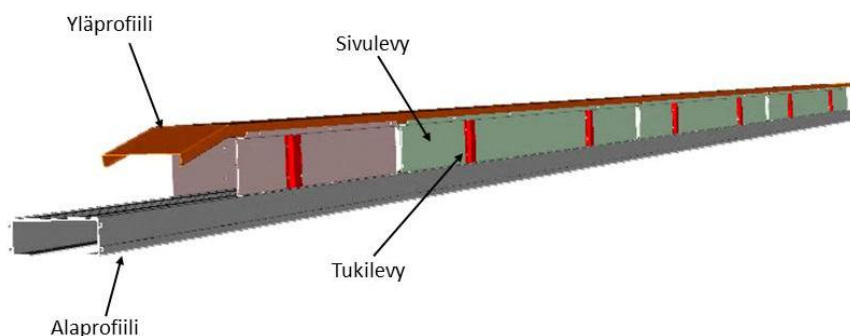
7.1 Työläimmät vaiheet päälinjalla

Työläimmäksi vaiheeksi varsiston kokoonpanossa on osoittautunut sähkötöiden tekeminen osien välille. Työajantutkimuksen mukaan kolmejaksoisen laitteen kokoonpanoajasta kolmannes kuluu erilaisten sähkötöiden tekemiseen. Työajantutkimuksista ja liitteestä 3 selviää, että toinen työläimmistä vaiheista linjakokoonpanossa on energiapaketin asennus varsiston sisään. Koko tutkitusta työajasta noin 12% kuluu energiapaketin ja venytyssylinterin asentamiseen. Tämä johtuu muun muassa siitä, että energiapaketti on taipuileva pitkä osa, jonka asentaminen on haastavaa ahtaan asennuspaikan vuoksi. Toinen työläs vaihe on varsiputkien sisäkkäin laittaminen. Varsiputkien sisäkkäin laittamiseen kuluu käytetystä ajasta 14%. Havainnoitaessa laitteen kokoonpanoa, huomataan, että liukupalojen säätöön, joka on osa varsien sisäkkäin laittamista, kuluu paljon aikaa. Tätä ei kuitenkaan aina tarvitse tehdä. Säätötarve riippuu siitä, kuinka helposti varsiputket saadaan suoraan toisiinsa nähden. Jos putkissa on pieniä virheitä esimerkiksi hitsauksessa ja siksi putket ovat vinossa, ne korjataan säätämällä liukupaloja tarpeen mukaan. Liukupaloja ja säätöruuveja voidaan joutua myös vaihtamaan, jos säätöä tarvitaan enemmän.

Havainnoitaessa kokoonpanoa huomattiin myös, että varsiston sisään tulevat c-kourun ja kaapelirännin kokoonpanot ovat varsin työläitä työvaiheita. Näitä kohteita ei työajantutkimuksessa ole otettu mukaan, joten kestoja muihin työvaiheisiin ei voida verrata. Näistä kohteista työlään tekee satojen reikien poraaminen kokoonpanovaiheessa, jonka vuoksi näille lähdettiin kehittämään parempia liittämismenetelmiä ja kehittämään työmenetelmiä.

7.1.1 C-kouru

C-kouru on yksi energiapaketin osista. Se on varsiston sisään tuleva alumiininen rakenne, jonka tehtävä on kannatella sen sisälle tulevaa venytyssylinteriä ja päälle tulevaa kaapeliketjua. Kuvassa 7.1 on kuva c-kourusta.

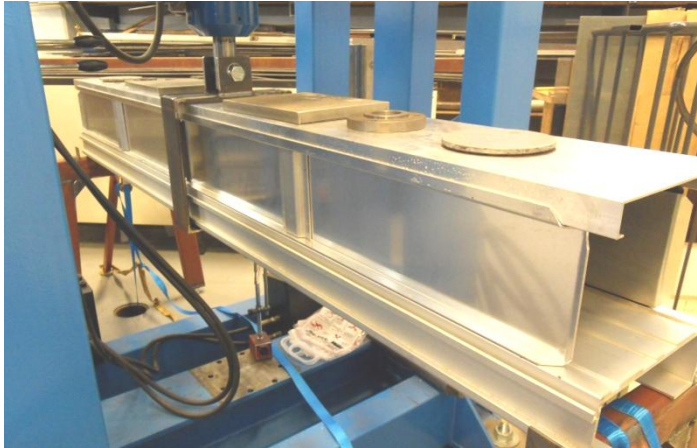


Kuva 7.1. C-kourun 3d-malli.

C-kouru koostuu alaprofiilista, yläprofiilista, sivulevyistä sekä tukilevyistä. Pituutta kourulla on laitteesta riippuen noin 8-12 metriä. Liitokset kourussa tehdään nykyisin niittaamalla ja ruuvaamalla. Kouruun joudutaankin poraamaan yli 120 reikää. Lisäksi

liitokset vahvistetaan vielä polyuretaaniliimalla. Reikien poraaminen on työlästä ja aikaa vievää työtä, joten kourun kokoonpanoa tulisikin miettiä uudestaan ja nimenomaan keskittyä liitosmenetelmien kehittämiseen. Bronton laitteissa käytetään muissakin kohteissa 3M:n kaksipuoleista akryylivaahoteippiä, joten kyseisen teipin käyttöä voitaisiin helposti laajentaa myös kourun tekemiseen.

Koska kyseessä on varsiston sisällä oleva osa, jonka korjaaminen valmiissa laitteissa on melko haastavaa, ei teipin käyttöönottoa voida tehdä ilman kunnan tutkimuksia. Teipatusta kourusta tehtiin normaalia lyhyempi testiversio, jolle tehtiin mekaanisia testejä. Kuvassa 7.2 on esitetty kuva testijärjestelystä.



Kuva 7.2. Lyhyen kourun väsytesti.

Testit olivat väsytestejä sekä lopuksi tutkittiin millä voimalla kouru hajoaa tai siihen aiheutuu pysyviä muodonmuutoksia. Testituloksia verrattiin vastaavaan, perinteisiin menetelmin kokoonpantuun kouruun. Tulokset osoittivat, että teippi kestää hyvin sille asetetut vaatimukset, eikä suurta eroa kourujen kestävydessä ollut. Huomattakoon kuitenkin, että vaatimukset ovat hyvin vaikeita asettaa, koska kourun liikettä varsiston sisällä on vaikea ennustaa. Ensimmäisen testikourun teossa huomattiin myös, että kourun konstruktio ei ole optimaalinen teipin käytölle, mutta se voidaan melko yksinkertaisin muutoksin muuttaa.

Toinen testi tehtiin täysimittaiselle kourulle. Testikappaleen teossa tarkkailtiin kourun tekoaikaa ja kourun kokoonpantavuutta ja resurssien tarvetta. Päädyttiin siihen, että teippiliitokset tulee varmistaa muutamalla poraruuvilla. Poraruuvit, jotka kohteeseen valittiin, eivät olleet toimivia useastakin eri syystä. Ruuveissa on liian lyhyt kierreosa, jolloin ruuviliitoksen kestävyys ei ole hyvä. Itseporautuvilla ruuveilla tavoiteltiin sitä, että ruuveille ei erikseen tarvitse porata reikiä, mutta tämä ei kuitenkaan toteutunut. Ruuveja ei pystynyt poraamaan ilman alkureikiä alumiiniseen kouruun. Kolmantena ongelmana on ruuvien ristipääkanta, mikä ei ole optimaalisin tässä kohteessa.

Perinteisessä menetelmässä käytettävä työaika yhdeltä työntekijältä on noin kahdeksasta tunnista kymmeneen tuntiin. Suurin osa ajasta kuluu kiinnitysreikien poraamiseen. Testikourun perusteella huomattiin, että teipatusta kourussa aikaa kuluu paljon osien huolelliseen puhdistamiseen, jotta teippi saadaan tarttumaan kunnolla.

Aikaa toisen testikourun tekemiseen kului noin neljä tuntia kahdelta henkilöltä. Säästöä työajassa ei tämän kourun teossa siis tapahtunut. On kuitenkin oletettavaa, että kun työntekijät saavat kokemusta ja työtavat saadaan vakioitua, teko aika myös lyhenee huomattavasti.

Kokonaisen kourun kestävyttä testattiin mekaanisilla testeillä. Testissä kourua kuormitettiin eri painoisilla kuormilla kourun keskeltä. Kuvassa 7.3 on esitetty testijärjestely.



Kuva 7.3. Kokonaisen kourun testijärjestely.

Kuormituksessa mitattiin kourun taipumaa sekä tarkasteltiin liitosten kestävyttä. Kouru kesti testin hyvin ja liitoksissa ei juurikaan havaittu muutoksia, ennen kuin kouru hajosi täysin. Hajoaminen aiheutui poraruuveista, jotka väntyivät 2200kg voimasta. Mikäli olisi käytetty pelkästään niittejä teippiliitoksen lisäksi, olisi kouru voinut kestää vielä suurempiakin kuormia. Testin tuloksena voidaan todeta, että kouru kestäi yllättävänkin suuria painoja, verraten siihen mitkä ovat sen vaatimukset. Venytyssylinteri, joka kourun sisään tulee, painaa maksimissaan noin 800kg ja tällöin kuorma on jakautunut paljon tasaisemmin kuin mitä testissä tehtiin.

Kolmas osa mitä kourusta tai oikeammin teippiliitoksesta testataan, on teipin olosuhteiden kestävyys. Varsiston sisällä teippi joutuu kosketuksiin öljyn ja muiden kemikaalien kanssa sekä lämpötilavaihtelut voivat olla varsin suuria. Teipin valmistaja lupaa, että teippi kestäi pitkäaikaisesti 120 °C käyttölämpötilan sekä kestäi öljyä ja muita kemikaaleja hyvin. Teippiä testattiin siten, että testi kappaleina oli niin maalattua metallia kuin eloksoitua alumiinia. Testissä testattiin neljää erilaista olosuhdetta. Yksi ryhmä oli huoneenlämmössä 72 tuntia, toinen 7 päivää vedessä, kolmas suolavedessä 7 päivää ja neljäs 80 °C 72 tuntia, jonka jälkeen kaikista kappaleista tutkittiin leikkauslujuutta. Leikkauslujuus pysyi suurin piirtein samana riippumatta esikäsitelystä. Voidaan siis todeta, että ainakaan tällaiset olosuhteet eivät teipin kestävyteen vaikuta. Sitruunahapon vaikutusta teippiliitokseen tutkittiin myös omana testinä. Testissä todettiin, että ainakaan 40% vahvuisella sitruunahapolla ei ole vaikutusta liitoksen pitävyyteen.

Testien jälkeen ollaan tilanteessa, jossa on valittavana paras vaihtoehto. Yhtenä vaihtoehtona on jatkaa kourun tekemistä perinteisesti. Ruuveille ja niiteille pitää saada kuitenkin valmiit reiät kourun osiin, jolloin työn tekeminen helpottuu, kun reikiä ei enää tarvitse porata. Toinen vaihtoehto on, että teipin käyttö aloitetaan osittain ja osittain

jatketaan kourun tekemistä perinteiseen tapaan. Kourun kylkiin tulevat tukilevyt voitaisiin niittaamisen sijaan teipata, jolloin säästyttäisiin jo yli 50 reiän poraamiselta. Vai voisiko koko tukilevyt korvata muuttamalla sivupeltien rakennetta, jolloin työtä ja osia saataisiin huomattavasti vähennettyä? Arvioidaan tukilevyjen välttämättömyyttä luvussa kolme esitetyillä väittämillä.

- Osan on oltava erillinen, koska tuotteen toiminnan kannalta sen on oltava eri materiaalia, kuin viereiset osat.
 - o Materiaali on sama tuki- ja sivulevyissä.
- Osa liikkuu viereisiin osiin nähden, eikä liikettä saada aikaan muilla keinoilla.
 - o Osa ei liiku viereisiin osiin nähden.
- Osa on oltava erillinen, jotta kokoonpano tai purkaminen on mahdollista.
 - o Tukilevy ei vaikuta millään tavalla kokoonpanon tai purkamisen mahdollisuuteen.

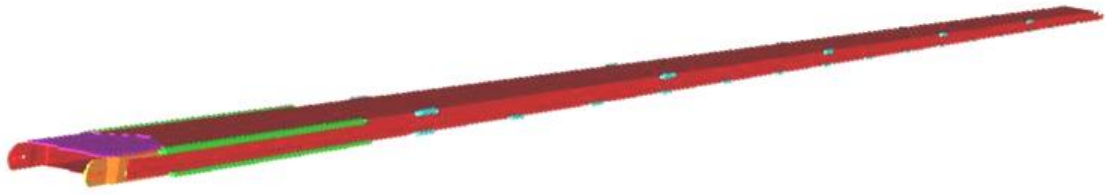
Osa ei täytä mitään Boothroydin osan välttämättömyydelle asettamia vaatimuksia, joten osan poistaminen olisi mahdollista ja jopa suotavaa kokoonpantavuuden kannalta. Toinen asia onkin sitten se onko se kannattavaa, jos valmistusmenetelmä vaikeutuu oleellisesti. Samalla periaatteella voitaisiin myös todeta, että koko kouru olisi järkevää olla valmistettu vain yhdestä yhtenäisestä profiilista.

Kolmantena vaihtoehtona on jatkaa kokonaan teipatun kourun kehittämistä. Etsiä paremmin kohteeseen soveltuvia poraruuveja, käyttää popniittejä tai joitain muita ruuveja valmiiksi porattuihin reikiin. Tämä vaihtoehto edellyttää myös sen, että kourun konstruktioita tulee muuttaa teipin käytön kannalta optimaaliseksi. Vaikka teipattua kourua ei otettaisikaan käyttöön vielä, tulisi ainakin tulevaisuuden tuotteissa huomioida tämän komponentin mahdolliset uudet liittämismenetelmät. Teipin lisäksi kohteeseen voisi soveltua myös pistehitsauksen käyttö.

Testien jälkeen on päädytty siihen, että jatketaan kourun tekemistä samalla tavalla kuin tähänkin asti, koska kourun konstruktion muuttaminen ei ole järkevää. Olisi kuitenkin järkevää, että teippiä tulnaisiin käyttämään tukilevyjen kiinnitykseen jo nykyisessä tuotteessa. Kun uusissa tuotteissa kyseistä osaa suunnitellaan, otetaan huomioon näissä testeissä saadut tulokset ja voidaan suunnitella paremmin teippaukseen soveltuvat osat.

7.1.2 Kaapeliränni

Kaapeliränni on toinen energiapaketin alumiininen rakenne, joka tulee hitsattuna alihankkijalta. Brontolla kaapeliränniin lisätään liukupalat, jolloin kiinnitysreikiä joudutaan poraamaan noin 100 kappaletta, rännin pituudesta riippuen. Kuvassa 7.4 on esitetty kaapelirännin periaatekuva.



Kuva 7.4. Kaapelirännin 3d-malli.

Rännissä kaksi identtistä profiilia hitsataan toisiinsa päällekkäin ja lisäksi päihin hitsataan tukilevyt. Hitsaaminen on sinänsä yksinkertainen työtehtävä ja aikaa kuluukin enemmän liukupalojen kiinnitykseen käytettävien popniittien reikien poraamiseen. Myös itse liukupaloihin, jotka kuvassa 7.5 näkyvät vihreinä ja sinisinä osina, joudutaan kiinnitysreiät poraamaan asennuksen yhteydessä. Jotta liukupalat voidaan pujottaa rännissä olevaan uraan, täytyy myös rännistä jyrsiä pala pois.

Työ haluttaisiin tehdä itse Brontolla, koska toisinaan toimittajalla on ollut ongelmia toimittaa ränni aikataulussa. Kaapeliränni on myös kriittinen komponentti siinä mielessä, että työtä ei voida jatkaa jos ränni puuttuu kokoonpanosta. Kun rännin kokoonpano tehdään itse, ei olla enää riippuvaisia alihankkijan toimista ja voitaisiin saavuttaa myös taloudellista hyötyä. Työn tekeminen kuitenkin vie tilaa, mikä pitää myös suunnittelussa huomata. Kaapelirännin tekemistä kokonaan itse testataan ja tavoitteena on määritellä työn tekemiseen tarvittava aika sekä vaaditut työvälineet. Työajan avulla voidaan laskea, kannattaako rännin tekeminen alihankkijalla taloudellisesti.

Testissä todettiin, että kokonaisen kourun valmistukseen kuluu 7-8h yhdeltä työntekijältä. Kokonaisajasta hitsaukseen kuluu 2-3 tuntia, josta suurin osa ajasta kuluu rännin puhdistamiseen ja eloksoinnin poistoon. Rännin jyrshintää kuluu aikaa noin kaksi tuntia, reikien tekemiseen kaksi tuntia ja liukupalojen kiinnittämiseen popniiteilla noin yksi tunti. Arvioidaan, että työvoiman tuntikustannus olisi noin 32 euroa. Liitteessä 4 on esitetty tarkempi kustannuslaskenta siitä, mistä tuntikustannus muodostuu. Seuraavassa taulukossa on esitetty erilaisia vaihtoehtoja rännin tekemiselle ja niiden kokonaiskustannuksia. Vaihtoehto 2 on laskettu sillä edellytyksellä, että vain yksi työntekijä tekee rännin.

Taulukko 7.1. Valmistusvaihtoehtojen vertailu.

	Alihankkijan tehtävät:	Bronton tehtävät:	Kokonaiskustannus
Vaihtoehto 1 (Nykyinen)	- Hitsaus - Jyrshintä	- Rei'itys - Liukupalojen kiinnitys	381€
Vaihtoehto 2		- Hitsaus - Jyrshintä - Rei'itys - Liukupalojen kiinnitys	253€
Vaihtoehto 3	- Hitsaus - Jyrshintä - Rei'itys	- Liukupalojen kiinnitys	354€

Vuosittain rännejä valmistetaan noin 150 kappaletta, joten vuositasolla saavutettava säästö vaihtoehdolla kaksi olisi noin 19200 euroa. Mikäli päädyttäisiin vaihtoehtoon 2 ja rännin valmistus siirrettäisiin kokonaan itselle, vaatisi se investointeja, joiden kokonaiskustannus olisi noin 33000. Investoinnin takaisinmaksu ajaksi siten tulisi 1,7 vuotta.

Toinen tutkittu vaihtoehto itse tekemisen sijaan, on se missä alihankkija tekisi työtä pidemmälle. Alihankkija tekisi kaiken muun ja Brontolla vain kiinnitettäisi liukupalat. Liukupaloihin tulisi myös saada valmiiksi reiät, jolloin työ olisi mahdollisimman yksinkertainen eikä se sisältäisi lainkaan ei-kokoonpanotyötä. Vaihtoehdolla 3 säästettäisiin vuodessa hieman yli 4000 euroa.

Kaikkein edullisimmaksi vaihtoehdoksi rännin tekemiselle nousi vaihtoehto 2 eli rännin valmistaminen alusta loppuun itse. Tässä vaihtoehdossa joudutaan tekemään merkittäviä investointeja, jotka maksavat kuitenkin itsensä takaisin nopeasti. Vaihtoehto 2:n ongelma on myös suurempi tilantarve, jota ei välttämättä ole jo valmiiksi ahtaista tuotantotiloista heti löydettävissä.

Tulevaisuudessa tulee koko rännin rakennetta pohtia uudestaan, koska se ei ole kokoonpantavuuden kannalta optimaalinen. Ainakin rännin kylkeen tehtävä jyrshintä tulisi pyrkiä poistamaan kokonaan. Voisiko jopa rännin pursottaa kokonaan yhdestä profiilista, jolloin hitsauksen voisi kokonaan välttää?

7.1.3 Kaapeliviennit

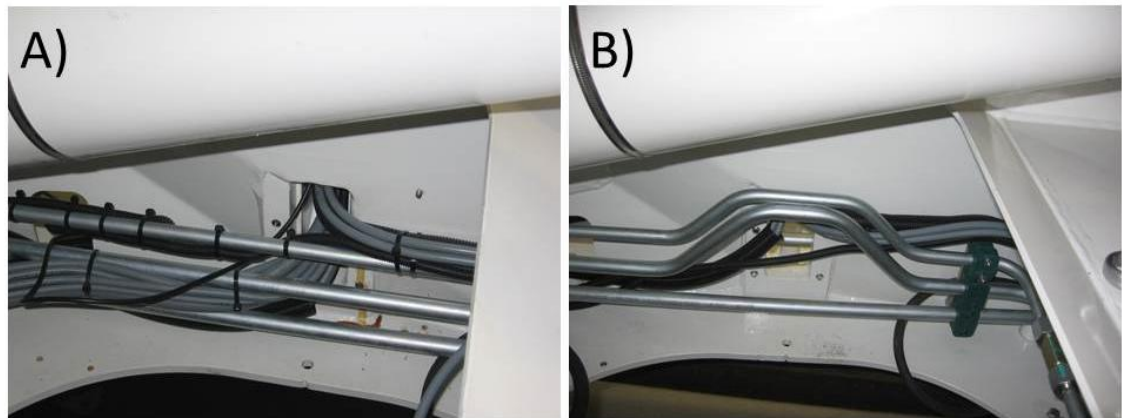
Sähkötöiden tekemiseen kuuluu kokonaistyöajasta 33% työajantutkimuksen mukaan. Tarkasteltaessa tutkimusta tarkemmin huomataan, että lähes puolet sähkötöihin käytetystä ajasta kuluu kaapeleiden kuorintaan, holkitukseen ja liittimien asentamiseen kaapeleiden päähän. Tätä työtä ei voi mitenkään poistaa kokonaan kokoonpanosta, mutta se pitäisi pyrkiä poistamaan kokoonpanon päälinjalta. Koska kaapelien kuorinnan, holkituksen ja liittimien asennuksen osuus tutkitusta kokonaistyöajasta on 16%, voitaisiin päälinjalla saavuttaa merkittäviä säästöjä työajassa.

Jotta kaapelit voidaan valmiiksi katkaista, tulee kaapeleiden mitat selvittää. Valmista tietoa kaapeleiden mitoista ei ole, koska kaapelit on mitoitettu aina paikoilleen laitteen kokoonpanossa. Kaapeleiden mitoittamisessa ongelmana ovat vakioimattomat työtavat, jolloin tekijästä riippuen kaapelien mitat vaihtelevat huomattavasti. Samalla kun kaapelit mitoitetaan tulee myös työtavat dokumentoida, jolloin ne myös voivat vakioitua. Kuvassa 7.5 on esitetty kaksi esimerkkikohtaa laitteesta, jossa kaapeleiden pituus voi vaihdella tekijän mukaan.



Kuva 7.5. Kaapelivientejä laitteen eri osissa.

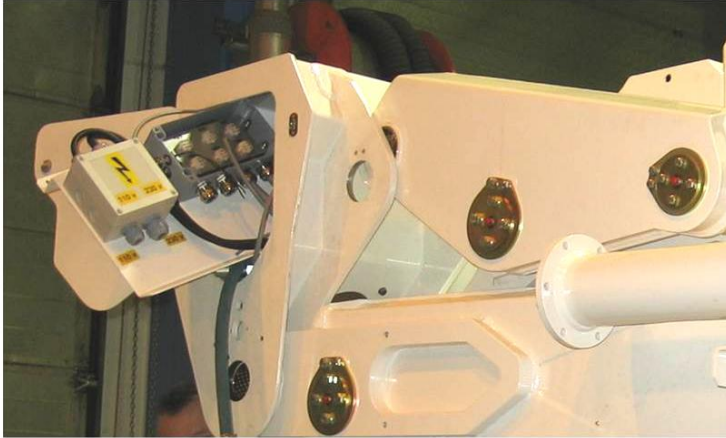
Toinen ongelma on kaapelivientiaukkojen ahtaus. Valmiit liittimet kun eivät välttämättä mahdu kaikista aukoista. Kuvassa 7.6 on esitetty yksi ahdas kaapelien vientipaikka ja ratkaisu ongelmaan.



Kuva 7.6. Putkitusmuutos, jotta kaapelien vienti helpottuisi.

Kuvassa A) on alkuperäinen tilanne, jossa putket peittävät kaapeleiden viennille tarkoitetun aukon. Paikka on ollut ahdas aina ja jos kaapeleiden päihin laitettaisiin valmiiksi liittimet, kaapeleiden pujottamisesta tulee mahdotonta. Ratkaisuksi pohdittiin koko aukon isontamista, mutta se olisi vaatinut muutoksia moniin eri piirustuksiin ja olisi ollut siten varsin työlästä muuttaa. Ongelmaan löytyikin paljon yksinkertaisempi menetelmä, jossa edessä olevat hydrauliputket on taivutettu pois aukon edestä, niin kuin kuvassa 7.6 B). Tällöin työskentely helpottuu ahtaassa paikassa merkittävästi ja liittimetkin sopivat olemaan kaapeleiden päässä kiinni.

Toinen ahdas paikka on laitteen etukotelo, jossa sähkörasiaan tulevat energiapaketilta varsikaapelit ja korivarren kaapelit. Kuvassa 7.7 näkyy etukotelo ja sinne kuuluvat sähköasiat.



Kuva 7.7. Etukotelo ja sen sähköasiat.

Sähkörasian holkit ovat niin pieniä, ettei liittimien vetäminen sen läpi ole edes mahdollista. Muutenkin sähkörasian käyttäminen kyseisessä kohdassa ei ole välttämätöntä ja se olisi mahdollista korvata liittimillä, joiden kytkeminen toisiinsa on paljon yksinkertaisempaa ja nopeampaa ahtaassa tilassa. Liittimiltä vaaditaan muun muassa vesitiiveyttä, häiriösuojauksen jatkuvuutta ja luotettavuutta. Vastaavia liittimiä on aiemminkin pyritty löytämään, mutta sopivia ei ole löytynyt. Nyt sopivia liittimiä on löydetty kaksi erilaista. Koska näiden käyttöä tutkitaan edelleen, on ensiapuna isonnettu sähkörasian holkitusta, jotta liittimet mahtuvat sähkökotelon aukon läpi. Tällä tavoin mahdollistetaan liittimien asentaminen etukäteen kaapeleihin

Kun laitteeseen tulee jokin optio, laitetaan kaapelivientiin optiolle oma ohut kaapelinsa. Ohuet kaapelit joudutaan aina pujottamaan suojaputken sisään, mikä on taas hidasta ja tilaa vievää työvaihe tehdä kun kaapelit voivat olla jopa 100 metriä pitkiä. Paksummat kaapelit kuitenkin kestävät energiapaketissa ilman suojaputkea. Ideaksi nousi se, että kaikki optiot vietäisiin yhdessä paksussa kaapelissa siten, että jokaiselle kaapelin johtimille olisi oma optionsa. Jos optiota ei tule, jätetään johdin vain käyttämättä. Jotta tällainen optiokaapeli toimisi, tulee kaapelin johtimille tarkoin määritellä, mikä optio menee missäkin johtimessa.

7.2 Isojen komponenttien liitospinnat

Isojen komponenttien liittäminen toisiinsa mekaanisesti on yksinkertainen työ. Ainoastaan energiapaketin asentaminen varsiston sisään on mekaanisesti monimutkaisempi työtehtävä, koska kaapeliketjua joudutaan pujottelemaan varsiputkien väliin. Liitokset ovat lähinnä akselien asentamista osien väliin ja suurin osa työstä onkin sähkötöiden tekemistä niin kuin edellisessä luvussa huomattiin.

Koska samalle kokoonpanolinjalle tulee useita erikokoisia laitteita, on tärkeää verrata eri kokoluokan laitteiden kokoonpantavuutta toisiinsa. Pääasiassa laitteiden kokoonpanoilla ei ole kovinkaan suuria eroja, koska pääkomponentit ovat samat. Eroja tulee siitä, että isoissa laitteissa sisäkkäin laitettavia varsijaksoja on enemmän. Pienimmissä koneissa jaksoja on kolme ja suurimmissa kuusi kappaletta. Suurimmissa

laitteissa työtä on siten luonnollisesti enemmän kuin pienissä. Liukupaloja, vajjeripyöriä ja muita vastaavia osia joudutaan kiinnittämään enemmän. Siten myös liukupalojen säätötyötä on enemmän. Tätä eroa ei voida välttää mitenkään, mutta tulee huomioida linjaa rakennettaessa.

Suurempi ero isoissa laitteissa tulee energiapaketin asennuksessa. Pienimmissä 3-jaksoisissa laitteissa, voidaan koko energiapaketti asentaa kokonaisuena laitteen sisään, mutta jo 4-jaksoisessa laitteessa energiaviennin asennus on haastavampi työ. Kaapeliketjuja joudutaan pujottamaan putkien väliin, jolloin työtila on varsin ahdas ja siihen vaaditaan erikoistyökaluja.

7.3 Ei-kokoonpanotyöt

Erilaisia ei-kokoonpanotöitä löytyy runsaasti varsiston kokoonpanosta. Yleisimpiä ei-kokoonpanotöitä ovat hionta, reikien poraus ja kierteytys, paikkamaalaus ja niin edelleen. Lisäksi tässä luvussa käsitellään yksittäistä esimerkkitapausta, jossa kaksi osaa törmäsivät toisiinsa toistuvasti. Useat suojat sopivat myös jatkuvasti huonosti paikoilleen laitetyypistä riippumatta.

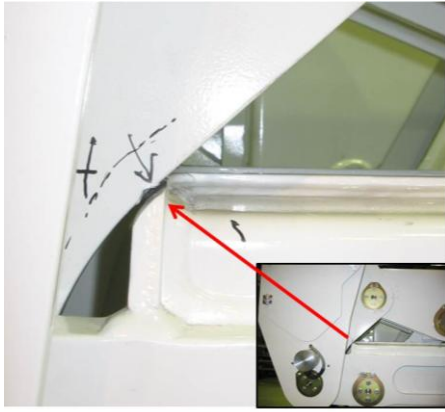
7.3.1 Poraus ja kierteiden avaus

Yleisin ongelma, jonka vuoksi ei-kokoonpanotöitä joudutaan tekemään, on reikien puuttuminen, jolloin reiät porataan osia asennettaessa. Reikien paikkaa ei myöskään ole kuvissa määritelty, vaan reiät tehdään asentajan parhaimmaksi katsomaan paikkaan. Reiät joudutaan usein myös kierteyttämään. Jotkut reiät ovat myös valmiina varsistossa, mutta niitä ei ole suojattu maalilta tai muulta pintakäsittelyltä, jolloin valmiit reiät joudutaan puhdistamaan ja avaamaan kierteet uudelleen. Tämä ei tietystikään ole mitenkään kannattavaa työtä, koska sama työ joudutaan tekemään uudestaan.

Tulevaisuudessa piirustuksissa tulisi olla kaikki vaadittavat reiät siten, että ne voidaan tehdä jo koneistusvaiheessa. Maalauksen jälkeen tulee olla esikäsitelyvaihe, jossa kierteet avataan ja muutkin reiät puhdistetaan maalista. Tämän jälkeen kaikki reiät suojataan jollain tavalla. Koska varsiputkia joudutaan säilyttämään maalauksen jälkeen ulkona ennen kokoonpanoon siirtymistä, on suojaus tärkeää. Vaihtoehtoina on reikien tulppaus, jokin suoja-aine tai mahdollisesti voitaisiin laittaa paikoilleen valmiiksi ruuvit ja akselit, jotka kyseisiin paikkoihin kuuluvat.

7.3.2 Korivarren törmäys etunivelessä

Korivarren törmäys etukoteloon on hyvä esimerkki siitä kuinka luvussa 4.1.3 esiteltyä 5xMiksi menetelmää voidaan käyttää käytännössä. Kuvassa 7.8 näkyy, minkälaisesta törmäyksestä on kyse.



Kuva 7.8. Korivarren ja etukotelon törmäys.

Korivarsi törmää etukotelon korvakeeseen siten, että korivarren osasta joudutaan hiomaan pala pois. Tämä törmäys on ollut hyvin usein toistuva ongelma, jota on yritetty korjata myös suunnittelun toimesta, mutta siinä ei kuitenkaan ole onnistuttu. 5xMiksi ongelmanratkaisumenetelmällä löydettiin ongelmalle juurisyy. Päätelyketju eteni taulukon 7.2 mukaisesti.

Taulukko 7.2. Korivarren törmäys ongelman ratkaisu 5xMiksi- menetelmän avulla.

	Ongelma	Toimenpide
Miksi?	Korivarsi törmää etukotelon korvakeeseen	Tee vaadittavat korjaukset osiin
Miksi?	Koska etukotelon korvake ei ole piirrustusten mukainen	
Miksi?	Koska alihankkija ei ole toimittanut piirrustusten mukaista osaa	Tarkista osien oikeellisuus aina kun ne tulevat alihankkijalta
Miksi?	Koska viimeisin piirustusmuutos ei ole mennyt alihankkijalla osan tekijälle	
Miksi?	Koska kommunikaatio on ollut alihankkijalla puutteellista	Varmista muutosten perille meneminen

Syy osien törmäykselle siis löytyi alihankkijan toimittamasta osasta. Osaan oli tehty muutoksia juurikin osien törmäämisen vuoksi ja alihankkijalla tieto oli tehdyistä muutoksista, jotka kuitenkin eivät tulleet käytäntöön jostain tuntemattomasta syystä johtuen. Oletuksena on, että alihankkijalla kommunikaatio on ollut puutteellista, eikä tieto ole mennyt varsinaiselle osan tekijälle asti. On myös mahdollista, että alihankkijalla tai Brontolla on ollut hyllyssä vanhan piirustuksen mukaisia osia, jotka on ensin käytetty hyllystä pois. Ongelma olisi voitu havaita jo paljon varhaisemmassa vaiheessa jos osat olisi tarkastettu vastaanotettaessa. Olisikin tärkeää, että vastaanotossa tarkastettaisiin ainakin ne osat joihin muutoksia on lähiaikoina tullut, jolloin varmistettaisiin se, että muutokset ovat tulleet käytäntöön asti.

7.3.3 Suojien sovitus

Varren suojat ovat yksi tyypillisimmistä huonosti paikalleen sopivista osista. Suojien asentamisessa lähestulkoon kaikki kiinnitysreiät joudutaan poraamaan kokoonpanossa. Reikiä puuttuu niin suojista kuin niistä osista joihin suoja kiinnitetään. Ongelmana on myös suojien sopimattomuus kohteisiin. Usein osaa joudutaan viistämään joistain kohdista paremmin paikoilleen sopivaksi. Suunnittelussa on jäänyt usein hitsausaummat huomioimatta tai saumat ovat suuremmat kuin saisivat olla. Toisinaan taas suoja on täysin sopimaton kohteeseen ja joudutaan etsimään täysin erilainen suoja, joka voi paremmin sopia paikoilleen. Tällöin kyse on yleensä valmistusrakenteella olevasta virheestä. Ongelmana on myös ollut joidenkin suojien vastinkappaleiden toleranssien summautuminen suunnitteluvirheen takia, jolloin suojan sopiminen paikoilleen on mahdotonta. Kuvassa 7.9 on esimerkki jalustassa olevista muovisuojusta



Kuva 7.9. Jalustan suoja.

Turhaa jalostamatonta työtä tulee tehtyä suojien asennuksessa paljon. Kokoonpanolinjalla tulee suojien sopia paikoilleen ilman sovitustyötä ja valmistusrakenteelta tuleva osa tulee olla oikea. Jotta suojista saadaan paremmin sopivat, ovat suojat tutkittava yksitellen läpi ja korjattava piirustukset ja tuoterakenteet. Suojien asennuksessa haasteita tuo se, että suurin osa suojista on muovista valmistettu, jotka voivat vääntyillä asennettaessa, jolloin reikien mitoitus on hankalampaa.

8 VARSISTON KOKOONPANOLINJA

Varsiston kokoonpanolinjan suunnittelun pohjana on muutos mikä on tehty jo Tampereen Bronton tehtaalla loppukokoonpanon osalta. Vuoden 2010 lopulla Tampereella siirryttiin paikkakokoonpanosta linjakokoonpanoon. Tampereen linjasta saadut kokemukset ovat olleet varsin hyvät muun muassa tuotannon ennustettavuuden ja selkeyden sekä lyhentyneiden läpimenoaikojen vuoksi. Samaan linjaan haluttaan liittää nyt myös Porin tehdas, jolloin koko tuotteen läpäisy aika saadaan kokonaisuudessaan lyhennettyä merkittävästi. Linjasta tulee niin sanottu joustava tahtilinja, niin kuin Tampereellakin oleva linja on, jolloin puskurivarastoja päälinjan asemien välillä ei tarvita. Joustavalla tahtilinjalla tarkoitetaan sitä, että linjalta voi mennä läpi hyvinkin erilaisia tuotteita työmäärältään ja kestoltaan. Joustoa linjaan tuo mahdolliset erot asemien kestoissa, joka tehdään mahdolliseksi rinnakkaisilla kokoonpanopaikoilla tai työntekijöiden määrän vaihtelulla. Vielä ei ole täysin selvää tarvitseeko osakokoonpano paikoissa olla välivarastoja, mutta tavoitteena on, että niitä ei tarvittaisi, koska ne vievät ylimääräistä tilaa ja aiheuttavat keskeneräistä tuotantoa.

Liitteessä 5 on suunnitelma linjakokoonpanon layoutista. Linjalla on kolme asemaa ja kolme erillistä osakokoonpanopistettä. Asemalla 1 varustellaan varsiputkia eli laitetaan kiinni liukupalat, vaijerit, vaijeripyörät ja niin edelleen. Lisäksi asemalla 1 laitetaan pääasiassa kaikki varsijaksot sisäkkäin. Näihin työvaiheisiin on arvioitu käytettävän yhdestä kahteen vuoroa.

Asemalla 2 laitetaan energiapaketti, joka tulee viereiseltä osakokoonpanopaikalta. Asemalla 2 kiinnitetään myös vesiputki ja tikkaat, mikäli ne tulevat. Koska energiapaketin asennusaika vaihtelee kokoluokkien mukaan, pitää asemalla olla ainakin kaksi rinnakkaista paikkaa. Työajat vaihtelevat 2 vuorosta 6,5 vuoroon. Aseman 2 työkuormaa tasoittaa se, että suurimpiin laitteisiin ei tule tikkaita, joiden energiapaketin asennus on taas paljon työläämpi kuin pienillä laitteilla.

Asemalle 3 jää tehtäväksi jalustan ja korivarsi-työkori paketin asentaminen, jotka tulevat viereisiltä osakoonpanopaikoilta. Lisäksi tällä asemalla asennetaan paljon pienempiä osia, kuten raja-antureita ja suoja. Asemalla 3 lisäksi valmistellaan laite testausta ja/tai kuljetusta varten. Suunnitelmien mukaan aseman 3 kesto pitäisi olla noin kahden vuoron mittainen laitteesta riippumatta. Yksi vuoro kuluu jalustan ja korivarsi-työkori paketin kiinnittämiseen ja toinen vuoro testauksen valmisteluun ja viimeistelyyn.

Kokoonpanolinjan suurin ongelma on erilaisten kokoluokkien sijoittaminen samalle linjalle. Tavoitteena on kuitenkin saada linjatuotannon läpi 80% valmistettavista laitteista. Vaikka vaiheet ovat laitteesta riippumatta samat, niiden kestot vaihtelevat

paljon, mikä aiheuttaa taas sen, että linjalla täytyy olla rinnakkaisia kokoonpanopaikkoja ainakin asemalla 2. Rinnakkaisten asemien suunnittelun avuksi otetaan tietokonepohjainen simulointimalli linjan toiminnasta.

Toinen haaste linjan suunnittelussa on osakokoonpanojen tahdistaminen linjan tahtiin siten, että välivarastoja ei tarvitsisi olla ollenkaan. Osakokoonpanojen kesto ei välttämättä ole vakio, koska osakokoonpanoissa tehdään pääosin laitteisiin tulevat asiakaskohtaiset optiot. Optioiden määrä taas voi vaihdella todella paljon. Tähän ongelmaan ratkaisuksi on esitetty sitä, että harvinaisimpia optioita ei tehdä linjan osakokoonpanosolussa vaan niin sanotuissa erikoissolussa, joissa myös kokoonpannaan ne laitteet, jotka eivät linjatuotantoon sovi.

Yhdeksi haasteeksi linjan suunnittelussa on noussut myös laitteen liikkuminen linjalla. On tärkeää, että suunnitellaan myös nostinten käyttötarpeet sekä materiaalien siirtäminen. Nostojen suunnittelun apuna käytetään 1:50 tehtyä pienoismallia linjan toiminnasta. Tavoitteena on päästä tilanteeseen, jossa nosturinostojen määrä saadaan minimiin. Nostimia on kuitenkin tehtaassa käytössä rajallinen määrä.

Varsinaista kokoonpanolinjaa ei ole saatu käytäntöön vielä tämän työn puitteissa, mutta jatkossa tässä luvussa tullaan pureutumaan linjamaisesta pilottikokoonpanosta ja tietokonepohjaisesta simulointimallista saatuihin tuloksiin.

8.1.1 Linjakokoonpanon pilotti

Linjakokoonpanon pilotti tehdään paikkakokoonpanona, mutta suunniteltujen työvaiheiden ja asemien mukaisesti. Pilotissa tehtävä laite on 3-jaksoinen eli pienimmän kokoluokan laite, johon ei tule tikkaita, mutta vesiputkisto tulee. Pilotissa pyritään osia muokkaamaan niin pitkälle valmiiksi kun vain mahdollista. Tulevat piirustusmuutokset kun eivät ole vielä tulleet käytäntöön. Pienkokoonpanoja tehdään valmiiksi ja myös isommat osakokoonpanot ovat valmiina kun päälinjan kokoonpano aloitetaan. Pilotissa pyritään myös kartoittamaan vielä löytämättä olevia ongelmia ja muutostarpeita sekä mahdollisia uusia pienkokoonpanoja, joita voisi tehdä.

Ensimmäisellä asemalla tehtiin varsiputkien valmistelua ja yhdistäminen. Kokonaisuudessaan aikaa kului vain yksi vuoro eli kahdeksan tuntia kahdelta mekaniikka-asentajalta. Lisäksi sähköasentaja teki samanaikaisesti töitä. Aseman työt tehtiin nopeammin mitä oli alun perin suunniteltu. Lisäksi aikaa kului jonkin verran odotteluihin ja ei-kokoonpanotöihin, joten työaika voisi olla vieläkin lyhyempi.

Toisella asemalla kiinnitettiin energiapaketti, c-kouru ja venytyssylinteri sekä vesiputki. Aikaa töiden tekemiseen meni jälleen yksi vuoro. Tällä asemalla ylimääräistä aikaa kului muun muassa vesiputken paikkamaalaamiseen sen huonon kunnan vuoksi sekä ei-kokoonpanotöiden tekemiseen.

Kolmannella asemalla liitettiin varsistoon jalusta ja työkori-korivarsi paketti. Mekaanisen asennuksen kesto oli jälleen noin yksi vuoro, mutta sähköistystä tehtiin vielä yksi vuoro enemmän. Tämä aiheutui osittain siitä, että työkori-korivarsi osakokoonpanon sähköistys ei ollut niin valmis kun olisi pitänyt olla, joten sitä jouduttiin vielä linjallakin tekemään. Pilotissa tuli selväksi, että viimeisellä asemalla

tehtävien sähkötöiden määrä on suuri ja voisi ollakin järkevää, että kolmannella asemalla olisi kaksi sähköasentajaa tekemässä sähköistyksiä yhtäaikaaisesti. Myöskään kaikkia mekaanisia asennuksia ei voida tehdä ennen kuin sähköt ovat kokonaan valmiit.

Jos sähköistys pysyisi muun linjan tahdissa ja kaikki ei-kokoonpanotyöt saadaan linjalta poistettua, on mahdollista, että tällainen pieni laite valmistuisi päälinjalla kolmessa vuorossa. Nykyisin tällaisen laitteen tekeminen kestää keskimäärin noin 8-10 vuoroa. Läpäisy aika lyhentyi siis todella merkittävästi pilottilaitteessa.

Kokonaisuudessaan voidaan olla varsin tyytyväisiä pilottilaitteen kokoonpanoon. Jalostavan työn osuus nousi todella paljon, koska aikaa käytettiin pilotissa vähemmän osien muokkailuun, koska muokkaus oli tehty jo ennen kokoonpanoa ja tulevaisuudessa muokkaamista ei tarvita, koska osat tulevat valmistuksesta jo oikeanlaisena. Käytännössä muokkailu on ollut reikien porausta ja kulmien viilausta. Pilotissa pidettiin huoli myös siitä, että materiaalin puutteista johtuvia odotuksia ei synny, koska kaikki osat olivat paikalla jo ennen kokoonpanon aloittamista.

Asentajat ovat olleet varsin tyytyväisiä kokoonpanon selkeyteen pilotissa. Selkeyttä kokoonpanoon toi muun muassa osien keräilyt, jotka on selkeästi tehty asemittain. Keräilyistä on helppo nähdä mitkä kaikki osat tulisi tietyllä asemalla asentaa. Lisäksi samalla havaittiin valmistusrakenteissa virheitä osien määrissä kun laatikkoihin jäi ylimääräisiä osia. Toinen selkeyttävä tekijä on asemakohtaiset tarkastuspöytäkirjat, joista näkee aseman työtehtävät pääpiirteittäin. Myös ei-kokoonpanotöiden vähentyminen sai varsin positiivista palautetta. Esille nousi muutama mahdollinen pienkokoonpano, jotka eivät aiemmin olleet tullut esille.

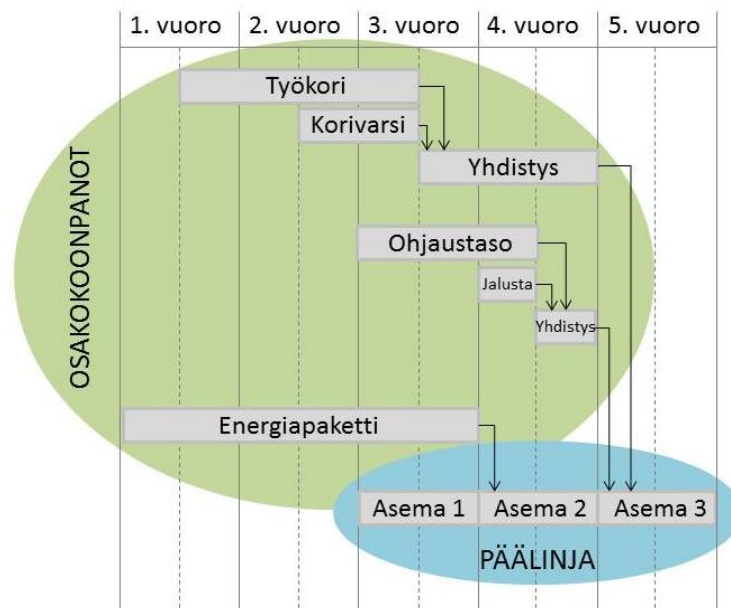
Kokoonpano ei ollut kuitenkaan täysin ongelmatonta. Kokoonpanossa havaittiin muun muassa osakokoonpanojen valmiuden ja tarkastuksen tärkeys. Koska työkorikorivarsi paketin sähköistys oli kesken, viivästytti se koko laitteen valmistumista. Myös jalusta kokoonpanossa oli jäänyt asentamatta joitain sähköosia, jotka jouduttiin turhaan tekemään linjalla. Paikkamaalauksen tarpeen poistamisen tärkeys nousi myös esille pilotissa. Kun paikkamaalausta tehdään linjalla, se keskeyttää työt täysin sillä hetkellä ja jonkun aikaa sen jälkeenkin. Muun muassa pilottilaitteessa korivarsi oli varsin huonossa kunnossa ja vaati paljon maalausta. Jos korivarren heikko kunto olisi huomattu jo osakokoonpano vaiheessa, olisi koko korivarsi voitu viedä uudelleen maalaukseen, mikä ei olisi häirinnyt muuta tuotantoa lainkaan. Kokoonpanossa syntyi odottelua muun muassa nostinten odottamisessa. Linjatuotannossa ei tällainen odottelu ole mahdollista.

Pieneksi ongelmaksi nousi työkori-korivarsi paketin kokoonpano. Perinteisesti varsistoon on ensin asennettu korivarsi ja sitten työkori, joten liittämiseen tarvittava materiaali on ohjattu samaan paikkaan kuin varsiston kokoonpano. Tästä johtuen nyt linjan keräilyissä oli työkori-korivarsi yhdistys vaiheen osia, mitä ei ollut etukäteen huomattu. Tulevaisuudessa työkori-korivarsi yhdistyksen materiaalinohjaus tulisi tehdä jollain toisella tavalla ja mahdollisesti luoda kokonaan oma vaiheensa tälle. Toinen vaihtoehto on liittää yhdistys osat esimerkiksi korivarren keräilyyn.

Kaikki kierteet avattiin varsiputkista ennen kokoonpanoa ja suojattiin voiteluöljyllä. Esivalmistellut putket joutuivat kuitenkin seisomaan ulkona viikonlopun yli.

Viikonlopun aikana kierteet olivat likaantuneet ja ne jouduttiin avaamaan uudestaan kokoonpanossa. Kierteiden avaukseen on löydettävä parempi suoja-aine, harkittava reikien tulppausta tai sitten ruuvata heti kierteiden avauksen jälkeen paikoilleen siihen kuuluva ruuvi. Tämä vähentäisi myös työtä päälinjalla. Toisaalta taas ongelmana on, että välttämättä valmistusrakenteen mukaiset säätöruuvit eivät ole ne mitä todellisuudessa käytetään. Tämä johtuu siitä, että säätöruuveilla korjataan varsiputkien mahdollisia virheasentoja. Toisinaan rakenteella olevat säätöruuvit eivät ole riittävän pitkiä tai ovat liian pitkiä kohteeseen, jolloin ne joudutaan kokoonpanossa vaihtamaan.

Pilottilaitteessa osakokoonpanot jätettiin vielä pienemmälle huomiolle, mutta seuraavassa kaaviokuvassa on otettu huomioon myös ennusteet osakokoonpanojen kestoista pienessä laitteessa.



Kuva 8.1. Pienen laitteen läpäisy aika.

Niin kuin kuvasta 8.1 voidaan huomata, tulee energiapaketin kokoonpano aloittaa ensimmäisenä, koska sen kesto on noin kolme vuoroa ja sitä tarvitaan päälinjan asemalla 2. Työkori on toisena aloitettava osakokoonpano, vaikkakin sen kesto on vain kaksi vuoroa. Tässä tulee kuitenkin huomata, että työkori ja korivarsi liitetään toisiinsa ennen asemalle 3 menemistä. Samoin on myös jalustan ja ohjaustason kohdalla, yhdistys tapahtuu ennen päälinjaa. Kokonaisuudessaan laitteen valmistus olisi mahdollista viidessä vuorossa. Tässä täytyy kuitenkin huomioida se, että osakokoonpanojen kestot eivät ole tarkkoja aikoja vaan asentajilta saatuja arvioita työvaiheiden kestoista.

Kun siirrytään suurempien kokoluokkien laitteisiin, energiapaketin osakokoonpanon työmäärä kasvaa huomattavasti. Sen sijaan jalustan, ohjaustason, työkoriin ja korivarren työmäärä ei ole riippuvainen laitteen kokoluokasta vaan varustelusta. Mitä enemmän on erilaisia optioita, sitä kauemmin kokoonpano kestää. Korivarresta on saatavilla teleskooppaavaa ja kiinteää mallia. Samoin työkorista on

olemassa levitettävää mallia ja perustyökoria. Pilottilaitteessa työkori on perusmallia ja korivarsi on kiinteä. Jos korivarsi on teleskooppaava, työmäärä ainakin kaksinkertaistuisi, kiinteään verrattuna. Päälinjalla isommat laitteet vievät enemmän aikaa asemilla 1 ja 2, mutta aseman 3 työmäärää voidaan pitää melko vakiona.

8.1.2 Linjan simulointimalli

Koska linjalla oletetaan tarvittavan useita rinnakkaisia kokoonpanopaikkoja, todettiin tarpeelliseksi tehdä linjan toiminnasta simulointimalli. Simuloinnin avulla pystytään määrittämään, montako rinnakkaista kokoonpanopaikkaa tulisi kullakin asemalla olla. Samalla pystytään selvittämään myös rinnakkaisten paikkojen tarve osakokoonpanoissa. Simulointimallilla selvitetään lisäksi minkälaisiksi muodostuvat tuotannon läpimenoajat ja minkälaisia mahdollisia jonoja syntyy erilaisilla tuotemixeillä ja mitkä ovat eri asemien ja osakokoonpanopaikkojen käyttöasteet. Simulointimallin pohjatietoina ovat arviot kunkin aseman kestoista kullakin konetyypillä. Simulointimallista ajetaan läpi erilaisia laitteita, joissa kokoluokka ja varustetaso vaihtelevat.

Oletuksena simuloinnissa on, että työtä tehdään kahdessa vuorossa (16tuntia/vuorokausi) ja, että kerran päivässä tulee uusi laite työn alle. Simuloinnissa päädyttiin siihen, että asemalla 1 tulisi olla vain yksi paikka. Asemilla 2 ja 3 tarvittaisiin kaksi rinnakkaista paikkaa, jotta turhia jonotuksia ei pääse syntymään. Osakokoonpanoissa energiapaketti-, jalusta-, työkori ja korivarsipaikoille riittää yksi paikka, mutta korivarren ja työkorin yhdistämiseen tulisi varata kaksi rinnakkaista paikkaa.

9 KEHITYSEHDOTUKSIA TULEVAISUUTEEN

Kun tuotantolinja saadaan tulevaisuudessa toimintaan, on erittäin tärkeää, että kehitystyö ei pysähdy siihen. On selvää, että kokoonpanonlinjan toiminta ei alkuunsa tule olemaan täydellistä, mutta ajan kuluessa linja muokkautuu aina vain paremmaksi. Jotta jatkuva kehitystyö olisi mahdollista, on välttämätöntä, että luodaan systemaattinen tapa, jolla linjalla eteen tulevat ongelmat ja puutteet tulevat huomioitua muuallakin kuin asentajien keskuudessa. Mikäli esimerkiksi tuoterakenteissa tai piirustuksissa tulee virheitä esille kokoonpanossa, pitää tieto saada välitettyä suunnitteluun ja suunnittelun tulee myös mahdollisimman nopeasti reagoida ongelmiin. Tällä hetkellä asentajilla on tiedossa kymmeniä usein toistuvia virheitä niin osissa kuin rakenteissakin, mutta mitään kanavaa tiedon jakamiselle ei ole tai ainakaan tieto ei päädy perille.

Useat suunnitteluvirheet johtuvat siitä, että jotain toista osaa on jostain syystä jouduttu muuttamaan tai toimittaja on omaa osaansa muuttanut, mutta samalla ei ole muutettu siihen liittyviä osia tai jokin on niistä jäänyt huomioimatta. Tällaiset virheet on varsin helppo karsia pois jo suunnittelussa. Kun asiakaskohtaista laitetta suunnitellaan, tulee suunnitelmat ja piirustukset olla valmiina ennen kokoonpanon aloitusta. Olisi siten hyvä asettaa takaraja, jonka jälkeen suunnittelumuutoksia ei enää sallita.

Uusien tuotteiden suunnittelussa tulisi Brontolla huomioida muun muassa luvussa kolme esille tulleita asioita, jotka pyrkivät parantamaan tuotteen kokoonpantavuutta.

- Osia tulisi vähentää osien toimintoja yhdistämällä. Osille tulisi tehdä välttämättömyys pohdintaa esimerkiksi luvussa 3 esitellyllä Boothroydin tavalla. Tutkimuksessa esille on tullut muun muassa luvussa 7.1.1 c-kourun mahdollinen osien vähentäminen esimerkiksi tukilevyt poistamalla.
- Tuotteen designin yksinkertaistaminen vähentää osien tarvetta ja helpottaa kokoonpanoa.
- Kokoonpanosuuntien pohdinta suunniteltaessa on tärkeää. Ylhäältä-alas suunta on yleensä kaikkein helpoin kokoonpanijalle. Tällä hetkellä varsistossa joudutaan kokoonpanemaan monista eri suunnista.
- Modulaarisen tuoterakenteen suunnittelu siten, että moduuli muodostaa aina selkeän osakokoonpanon. Jo nyt tuote on selvästi moduuleiksi jaettu, eikä tätä tulisi tulevaisuudessakaan muuttaa, mutta modulaarisuutta tulisi lisätä ja samalla vähentää asiakaskohtaisia optioita.
- Kokoonpanossa tehtävien virheiden tekeminen mahdolliseksi symmetrian ja lisäpiirteiden avulla. Oikea-vasen variaatiot tulisi myös tuoterakenteista pyrkiä poistamaan esimerkiksi liukupaloista ja jäykisteen suojusta.
- Osien paikoituksen helpottaminen esimerkiksi kuvassa 3.5 esitetyillä tavoilla.

- Liittämismenetelmiä tulisi kehittää, eikä vain tyytyä vanhoihin tapoihin. Muun muassa teippiliitoksia voidaan lisätä luvun 7.1.1 c-kouruun ja muihin uusiin kohteisiin. Toisaalta liitoksia tulisi välttää esimerkiksi luvun 7.1.2 osassa, jonka pursottaminen yhdestä profiilista voisi olla mahdollista.
- Osat tulisi vakioida siten, että tarvittavia nimikkeitä olisi paljon vähemmän varastossa ja välttyttäisiin kalliiden uniikkien osien tekemiseltä. Tämä edellyttää, että samoja osia voitaisiin käyttää mahdollisimman monessa erilaisessa kohteessa.
- Toleranssien summautumista osissa tulee tarkastaa, koska tällä hetkellä toleranssi voivat summautua joissain osissa, esimerkiksi jäykisteen suojissa. Toisaalta tulee tarkastella toleranssien oikeata tarkkuutta suhteessa valmistusmenetelmiin ja vaatimuksiin.
- Taipuilevien kuten ohuiden muoviosien käyttöä tulee välttää, koska ne ovat hankalia asentaa. Muovisia suojia, jotka ovat hyvin taipuisia, tulisi jäykistää jolloin kokoonpano helpottuisi.
- Jo suunnitteluvaiheessa tulee kokoonpantavuutta tarkastella esimerkiksi tarkastuslistojen tai joidenkin ohjelmiston avulla.

Kun uuden tuotesukupolven suunnittelu alkaa, tulee huomio kiinnittää muun muassa varsiston sisään tuleviin osien eli energiapakettien, venytyssylinterin sekä c-kourun asentamiseen. Esimerkiksi luvussa 7.1.1 esitellyssä C-kourussa käytettävä teippiratkaisua kannattaa kehittää edelleen. Teipin käytön laajentamista voisi miettiä myös uusiin kohteisiin. Myös kaapelirännin rakennetta tulisi järkevöittää, jotta kokoonpantavuus paranisi. Tällä hetkellä energiapakettien asennus on päälinjan ehdottomasti hitain vaihe ja se aiheuttaa ongelmia myös työmäärän vaihtelulla eri kokoluokissa. Kun nyt tuote kokoonpannaan niin, että energiapaketti, C-kouru ja venytyssylinteri asennetaan erikseen, niin tulevaisuudessa voisi pohtia mahdollisuutta, jossa osat liitetään valmiiksi nipuksi ja asennetaan kokonaisuutena pakettina varsipaketin sisälle. Tällöin vältettäisiin melko haastava taipuilevan energiapakettien asennus ja mahdollisesti voitaisiin nopeuttaa myös suurimpien kokoluokkien laitteiden kokoonpanoa tältä osin. Kaapelivientien kehitystä tulee myös jatkaa edelleen. Tavoitteena kehitykselle on sähkötoiden vähentäminen päälinjalla tehtävistä työvaiheista.

Asentajat ovat tottuneet työssään siihen, että osia joudutaan muokkailemaan tietyn laitteen tarpeisiin. Heille reikien poraus on täysin normaali työtehtävä kokoonpanossa. Koska kaikista näistä ei-kokoonpanotöistä pyritään pääsemään eroon, vaatii se asennemuutosta myös asentajien keskuudessa, että he pystyvät tunnistamaan ei-kokoonpanotyöt ja vaatimaan muutoksia piirustuksiin. Kun asentajat muutoksia vaativat, tulee muutokset myös tehdä jollain järkevällä aikataululla. Tällöin asentajat tuntevat, että voivat asioihin vaikuttaa ja tulevat tulevaisuudessakin muutos vaatimuksia esittämään. Samaan tapaan on myös suunnittelussa muutettava asennoitumista esimerkiksi sen suhteen, että kaikki reiät tulisi piirustuksista löytyä tulevaisuudessa.

Varsinkin kun aloitetaan uuden tuotesarjaa suunnittelu, tulee heti huomioida nykyiset suunnittelupuutteet, jotta samat virheet eivät uusiutuisi.

Tulevaisuudessa tulee työhjeistuksen laadintaan kiinnittää erityistä huomiota, jotta työtavat saadaan vakioitua. Etenkin optiot, joille ei vielä ole määriteltyä paikkaa, tulee määritellä siten, että kokoonpanossa ei tarvitse enää käyttää aikaa asennuspaikan ja kiinnikkeiden suunnitteluun. Kun työtavat ovat samoja asentajasta riippumatta, tulevat työajat myös vakioitua, mikä on linjan kannalta erityisen tärkeää.

Linjaa rakennettaessa tulee työpisteiden suunnitteluun käyttää myös erityistä huomiota. Työpisteiltä tulee löytyä kaikki tarvittava, mutta ei juuri muuta. Apuna suunnittelussa voi käyttää esimerkiksi luvussa 4.1.6 esiteltyä 5S menetelmää. Kaikille työvälineille tulee löytyä oma paikkansa jolloin tavarat löytyvät helpommin ja etsimiseen ei kulu turhaa aikaa. Työpistesuunnittelussa tulee huomioida myös se, että kun työtavat saadaan vakioitua työhjeistuksella, ei työpisteillä enää tarvita jokaisen asentajan käyttämiä työvälineitä ja osia vaan riittää, että työpisteellä on ainoastaan työhjeen mukaiset tarvikkeet.

10 PÄÄTELMÄT

Kun tuotantojärjestelmä yrityksessä muuttuu, vaatii se paljon muutoksia koko kokoonpanotoimintaan. Muutoksia tarvitaan muuttuvan layoutin lisäksi työmenetelmiin, materiaalinohjaukseen, toimittajayhteistyöhön, kokoonpantavuuteen, tuotteiden suunnitteluun, työntekijöiden asenteisiin ja moniin muihin asioihin. Tuotantojärjestelmän muuttaminen ei siis olekaan vain layoutin ja materiaalin virtauksen muuttamista toisenlaiseksi vaan laaja-alaisia muutoksia läpi yrityksen, mikä on hyvä pitää mielessä missä tahansa yrityksessä kun tuotantojärjestelmää ollaan muuttamassa.

Niin kuin tämän työn teoriaosuudesta käy ilmi, lähtee kokoonpantavuuden parantaminen useimmiten liikkeelle osien vähentämisestä. Yrityksissä tulisikin käydä huolellisesti läpi tuotteen kaikki komponentit yksi kerrallaan tai esimerkiksi osakokoonpanoittain ja tunnistaa niin sanotut turhat osat ja yhdistää osien funktioita mahdollisuuksien mukaan. Samassa tutkimuksessa tulisi pyrkiä havainnoimaan myös osien vakiointi mahdollisuuksia eli pyrkiä käyttämään samaa osaa mahdollisimman useassa eri kohteessa. Samanlaista havainnointia tulee tehdä myös uuden tuotteen kohdalla jo suunnitteluvaiheessa. Linjatuotantoa ajatellen tulee yrityksen myös tehdä työstä yksiselitteistä työohjeiden ja piirustusten avulla, jolloin myös työmäärä ja -aika saadaan vakioitua.

Työajantutkimus on merkittävä apu linjatuotantoon siirryttäessä ja se auttaa muun muassa pullokaulojen löytämisessä ja antaa siten tietoa siitä mistä kehitystyö tulee aloittaa. Työajantutkimus auttaa myös vaiheistuksen tekemistä. Tärkeää on käyttää linjan suunnittelun apuna kokoonpanon asentajilla olevaa hiljaista tietoa ja ottaa myös työn varsinaiset tekijät mukaan linjan suunnitteluun, jolloin näkökulma laajenee oleellisesti.

Koko projektin tavoitteena oli saada tuottavuutta kasvatettua ja läpäisyaikaa lyhennettyä, vaikka numeerisia arvoja tavoitteiden toteutumiseksi ei asetettukaan. Tuloksia koko projektin onnistumisesta ei tähän työhön vielä saatu, koska linjaa ei ole saatu toimintaan. Pilotin ja simuloinnin perusteella voidaan kuitenkin vahvasti uskoa siihen, että koko projektin tavoitteet tulevat täytymään ja läpäisyajkojen lyheneminen tulee olemaan merkittävää. Jo pilottilaiteessa läpimenoaika lyheni nykyiseen kokoonpanoon nähden 5-6 vuoroa. Suunnitelmien mukaan myös suurimpien kokoluokan laitteiden kokoonpano tulee lyhenemään myös merkittävästi. Suunniteltu kuusijaksoisen koneen läpimenoaika on 10 vuoroa, kun nykyisin laitteen kokoonpano on kestänyt 25-30 vuoroa, jolloin läpimenoaika tulee lyhenemään yli 50%.

LÄHTEET

3M-esite. 3M VHB akryylivaaho teipit. [Viitattu 13.10.2011] Saatavissa: http://solutions.3msuomi.fi/wps/portal/3M/fi_FI/Industrial-Adhesives-and-Tapes/IATD/Applications-For/Bonding-with-Tapes/?PC_7_RJH9U5230GE3E02LECIE20OFN7_assetId=1114297592503

Ahokas, P., Tiihonen, J., Neuvonen, J. & Suikki, M. 2011. Työtutkimuksen käsitteitä, menettelytapoja ja käyttökohteita. Teknologiateollisuus ry. 48 s.

Boothroyd, G. 1987. Design for Assembly – The Key to Design for Manufacture. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2, 3, pp.3-11 .

Bronto Skylift. 2011. Extensive presentation.

Crow, K. 1998. Design for Manufacturability/Assembly Guidelines. DRM Associates. [Viitattu: 12.7.2011] Saatavissa: <http://www.npd-solutions.com/dfmguidelines.html>

Edwards, K. 2002 Towards more strategic product design for manufacture and assembly: priorities for concurrent engineering. Materials and Design 23, pp. 651-656.

Eteläaho, P., Ihalainen, P. & Järvelä, P. 1999. DFA suunnitteluapuvälineenä. Tampereen teknillinen yliopisto, Materiaaliopinlaitos, muovitekniikka. Raportti 9/99. 34s.

Fabricius, F. 2003. Design for Manufacture - DFM. The Technical University of Denmark. The Institute for Product Development, IPU. 59p.

Heikkilä-Ilonen, K. 2011. Lean-koulutus 25.1.2011. Talentiimi Oy. Power Point esitys.

Huhtala, P. & Pulkkinen, A. 2009. Tuotettavuuden kehittäminen – Parempi tuotteisto useasta näkökulmasta. Tampere, Teknologiateollisuus ry. 431s.

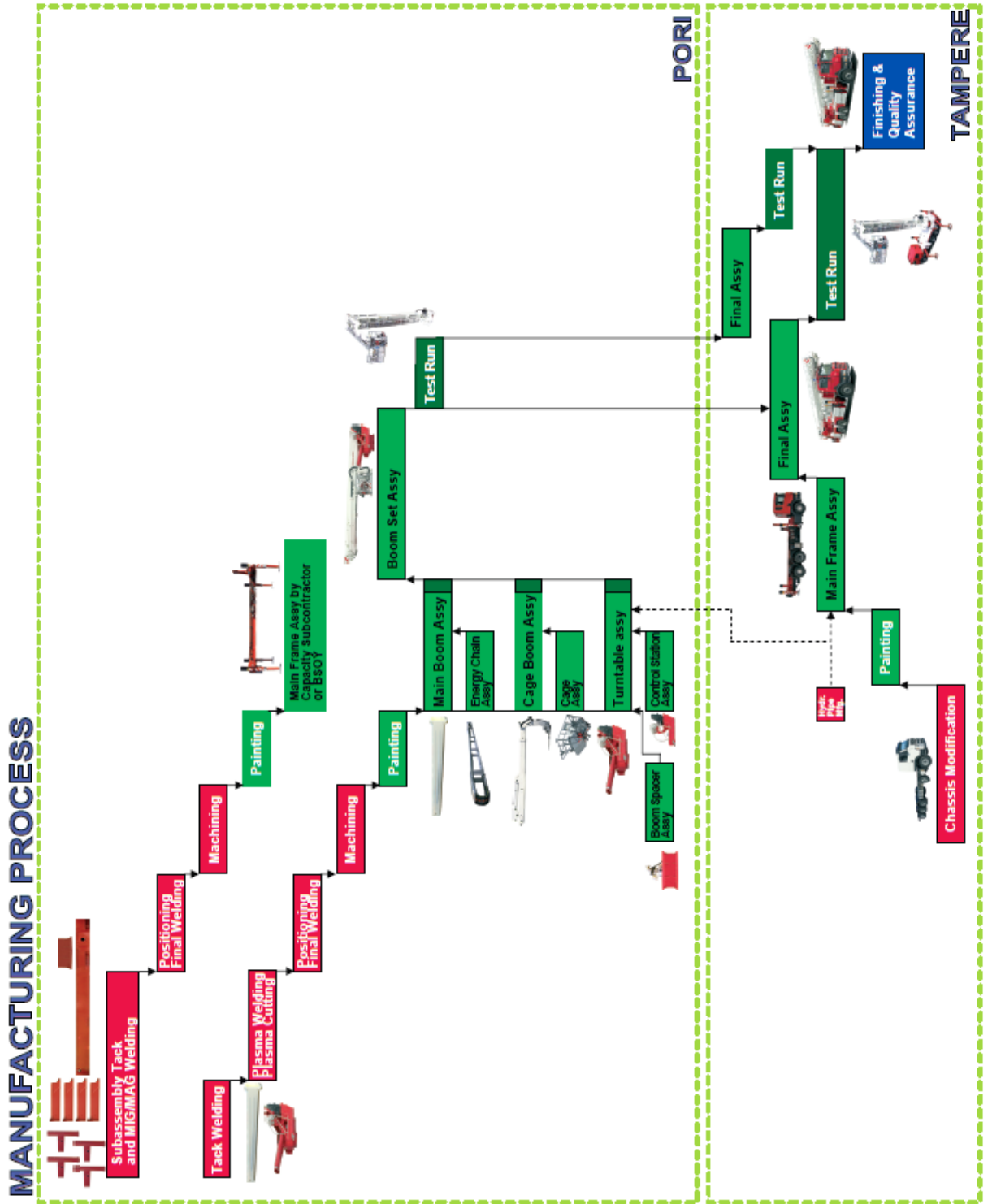
Järvenpää, E. 2011. DFA – Design for assembly. Assembly Technologies and Systems, TTE- 5056, luentomateriaali.

Lanz, M. DFX- Tools & Methods. Tuotettavuuden suunnittelu, DFX, TTE-3200, luentomateriaali.

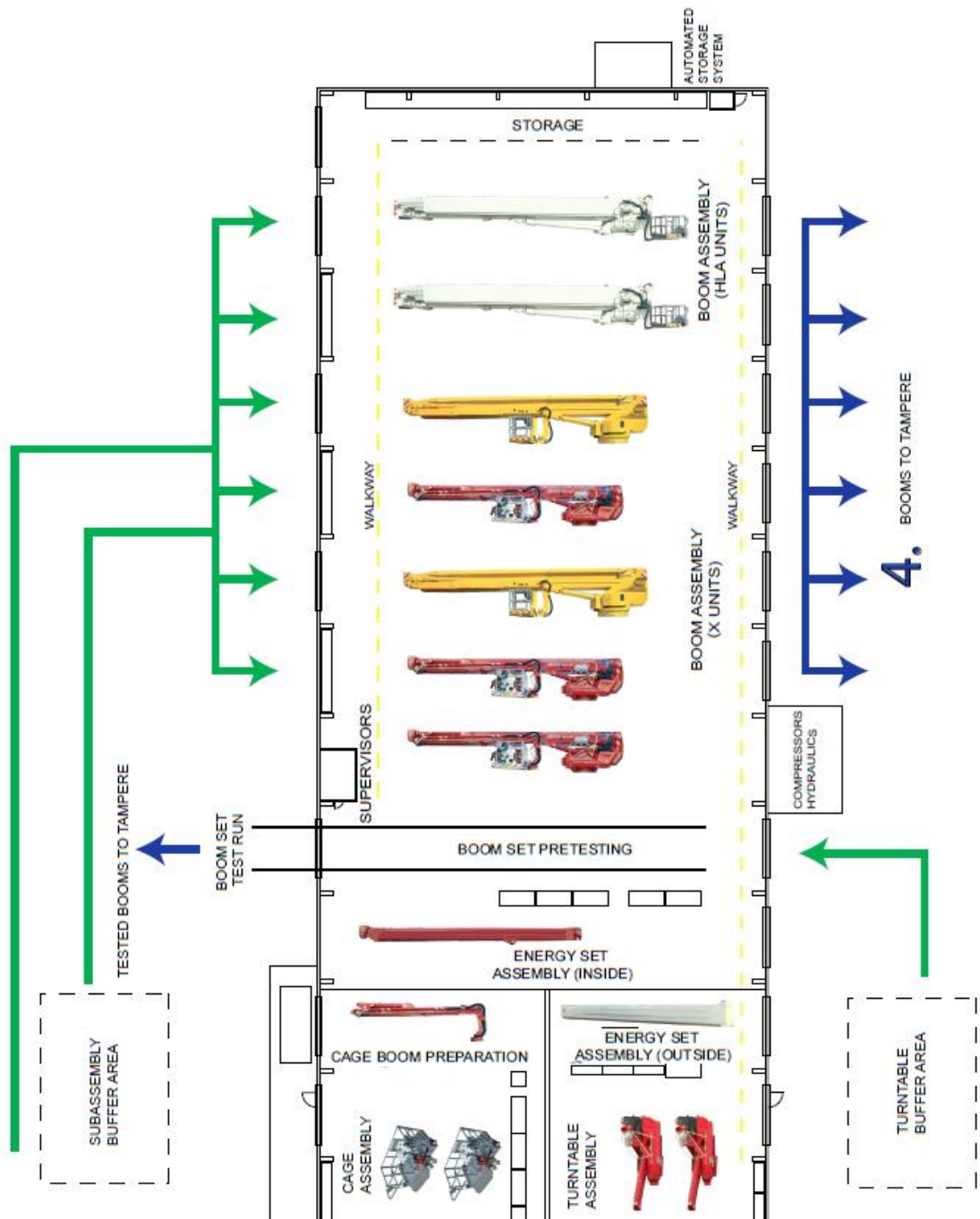
Lapinleimu I. 2000. Ideaalitehdas. 3. painos, Tampereen teknillinen yliopisto, Tuotantotekniikanlaitos, laitosraportti nro. 50. 197s.

- Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. 1997. Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo, WSOY. 398s.
- Leaney, P. & Wittenberg, G. 1992. Design for Assembly – The evaluation methods of Hitachi, Boothroyd and Lucas. *Assembly Automation*, 12, 2, pp. 8-17.
- Lempiäinen, J. & Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu – puoliksi valmistettu. 1. painos. Helsinki, Suomen robotiikka ry. 180s.
- Liker, J. 2004. *The Toyota Way - 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill. 354p.
- Merikallio, L. & Haapasalo, H. 2009. Projektituotantojärjestelmän strategiset kehittämiskohteet kiinteistö- ja rakennusalalla. Talonrakennus ry. 43 s.
- Moisio, J. 2011. Lean – Työkaluja prosessin jatkuvassa kehittämisessä. *Qualitas Fennica Oy*. [Viitattu 19.7.2011] Saatavissa: <http://www.ims.fi/artikkelit/artikkeliluettelo/lean-management>.
- Morgan, J. & Liker, J. 2006. *The Toyota Product Development System: Integrating People, Process, and Technology*. New York. Productivity Press. 400p.
- TEKES. 2001. Keskiraskas ja raskas kokoonpanotoiminta 1998-2000. Teknologia-ohjelmaraportti 2/2001. 131 s.
- Ulrich, K. & Eppinger, S. 2008. *Product Design and Development*. 4.painos. Mc Graw Hill. 368p.
- Whitney, D. 2004. *Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development*. New York. Oxford University Press. 544p.
- Womack, J. & Jones, D. 2003 *Lean Thinking – Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York. MacMillian Press. 352p.

LIITE 1: VALMISTUSPROSESSI



LIITE 2: KOKOONPANON VANHA LAYOUT



LIITE 3: TYÖAJANTUTKIMUS

X-sarja

LAITE YHTEENSÄ -

Palkkaluokk 0 Rahakerroin 0,0000 Hinta 0,0000

laite yhteensä

Aika (h/Laite)

nom: 20,1864

T 23,21436

Toiminta komponentti	Laite		
	kertaa	kohti	aika/h
	1	1	1,77
Valmistelut•Varsikoonta-	Laite		
	3	1	0,4572
Valmistelut•Jakso sisälle-	Laite		
	1	1	0,0874
X-sarja•Esikoonta•Kirstin	Laite		
	12	1	0,3292
X-sarja•Esikoonta•Liukupala	Liukupala		
	1	1	0,0615
X-sarja•Esikoonta•Vaijeriohjain	Laite		
	1	1	0,0616
X-sarja•Esikoonta•Vedonpoistaja	Vedonpoistaja		
	1	1	1,0279
X-sarja•Esikoonta•Venytyssyinteri	Kappale		
	1	1	0,0984
X-sarja•Esikoonta•Vesiputken kannake	Laite		
	1	1	0,3097
X-sarja•3-jakso•Liukupalat, vaijerit	3-jakso		
	1	1	0,2694
X-sarja•3-jakso•Luukku ja suoja	Varsisto		
	1	1	2,5361
X-sarja•Jaksot sisäkkäin•3-2	Laite		
	1	1	0,2831
X-sarja•Jaksot sisäkkäin•(3-2)-1	Jakso		
	1	1	0,0812
X-sarja•1-jakso•Korivarren stoppari	Kappale		
	1	1	0,1927
X-sarja•1-jakso•Kuljetustuen ohjuri ja suoja	Varsisto		

X-sarja

LAITE YHTEENSÄ

-

	1	1	2,3703
X-sarja•Venytysylinteri ja energiapaketti•	Laite		
	1	1	1,0871
X-sarja•Jalusta•	Kappale		
	1	1	0,6044
X-sarja•Korivarsi•	Korivarsi		
	1	1	0,6997
X-sarja•Varsiston vesiputkisto•	Laite		
	1	1	0,9546
X-sarja•Varsiston tikkaat•	Tikkaat		
	1	1	0,3048
X-sarja•Hydrauliikkaliitännät•Korivarsi ja jalusta	Laite		
	1	1	3,5205
X-sarja•Sähkötyöt•Kaapelit	Laite		
	1	1	1,1853
X-sarja•Sähkötyöt•Etunivelen sähköistys	Laite		
	1	1	0,1501
X-sarja•Sähkötyöt•Etuyllitysvalo	Laite		
	1	1	0,4758
X-sarja•Sähkötyöt•Jalustan sähkökeskus	Laite		
	1	1	0,2125
X-sarja•Sähkötyöt•Korivarren venttiilin hatut	Laite		
	1	1	0,3797
X-sarja•Sähkötyöt•Kulma-anturit	Kappale		
	1	1	0,4621
X-sarja•Sähkötyöt•Rajat	Kappale		
	1	1	0,0197
X-sarja•Sähkötyöt•Teleskoopin hätälaskuventtiili	Laite		
	1	1	0,1931
X-sarja•Sähkötyöt•Teleskoopin pituusanturi	Laite		

LIITE 4: KAAPELIRÄNNIN KUSTANNUSARVIO

1. Suora tuntikustannus

14x1,7= 23,80 €/h

Keskituntiansio = 14€/h

Sotu = 1,7

2. Työnjohdonkustannus

Vuosikustannus:
6x2500x1,7x12= 306000 €/v
Työntekijä tunteja:
100x1600= 160000 h/v
Työnjohto kustannuksia per työntekijätunti:
306000/160000= 1,91 €/h

Työnjohtajia = 6kpl
Keskim. palkka = 2500€/kk
Työntekijöitä = 100kpl
Työtunteja = 1600h/v

3. Kiinteistön/tilan kustannus

Tehollinen käyttöaika vuodessa (kahdessa vuorossa):
16h/pv*210pv/v= 3360 h/v
Tehtaan ylläpitokustannukset vuodessa:
273000+563000= 836000 €/v
Tehtaan ylläpitokustannukset tunnille:
836000/3360= 248,81 €/h
Neliölle tuntikustannus:
248,81/5950= 0,042 €/hm²
Tarvittavan tilan vuokra:
140x0,042= 5,88 €/h

Koko hallin pinta-ala = 5950m²

Lämmitys, vesi, sähkö... = 273000€/v

Materiaalit = 563000€/v

Tilan tarve = 140m²

Tuntikustannus

23,00+1,91+5,88= 31,59 €/h

Kourun kustannus (yhdelta tekijältä):

31,59x8= 252,74 €

Kourun kustannus (kahdelta tekijältä):

(23,00+1,91)x8+5,88x4= 222,8 €

Kourun teko aika = 8h

Kourun valmistamiseen vaadittavat investoinnit

15000+18000= 33000 €

Hitsaussolu = 15 000 €

Saavutettavat säästöt vuodessa tekemällä ränni itse

(381-252,74)x150= 19239 €

Työvälineet = 18 000 €

Investoinnin takaisinmaksuaika

33000/19239= 1,7 vuotta

Kouruja vuodessa = 150kpl

Nykyisen kourun kok. hinta = 381 €

LIITE 5: KOKOONPANOLINJAN LAYOUT

