



Valmistettavuus ja kokoonpantavuus tuotekehitysprojektissa

Armi Aktiivituoli

Petri Sutinen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2015
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tuotekehityksen suuntautumisvaihtoehto

PETRI SUTINEN:

Valmistettavuus ja kokoonpantavuus tuotekehitysprojektissa
Armi Aktiivituoli

Opinnäytetyö 63 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Toukokuu 2015

Tämä opinnäytetyö käsittelee valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden parantamista TamErgo Oy:n tilaamassa Armi Aktiivituolin tuotekehitysprojektissa. Tarkoituksena oli jatkaa jo aiemmin aloitettua tuotekehitysprojektia ja tehdä tarvittavat muutokset tuotekonstruktion. Muutoksilla tavoiteltiin mekanismin helppoa koottavuutta, osien valmistettavuuden parantamista ja korkeaa laatuvaikutelmaa. Tavoitteena oli saada aikaiseksi mekaniikka, joka mahdollistaa uuden, kevyemmän tuolimallin markkinoille tuomisen.

Opinnäytetyön ensimmäinen osa käsittelee yleisellä tasolla tuotekehitysprojektien teoriaa sekä kuinka valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden huomioiminen näkyvät tuotekehitysprojekteissa. Seuraavaksi osiossa perehdytään valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden teoriaan: mitä valmistettavuus ja kokoonpantavuus tarkoittavat, mitkä ovat niiden tavoitteet ja keinot päästä tavoitteisiin. Tavoitteena on antaa lukijalle lähtökohta, jonka avulla on mahdollista ymmärtää tuotekehitysprojektissa tehtyjä päätöksiä ja mitkä niiden vaikutukset ovat valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen.

Työosuudessa määritellään tuotekehitysprojektin nykytilanne ja tuotekonstruktion ongelmakohdat alikokoonpanoittain. Seuraavaksi esitellään tuotekehitysprojektin tulokset alikokoonpanoittain ja perustellaan niihin johtaneet syyt. Nykyistä tuotekonstruktioita verrataan alkuperäiseen tuotekonstruktion huomioiden valmistettavuus ja asennettavuus.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin aikaiseksi parannuksia olemassa olevaan prototyyppiin ja tuotekonstruktion. Osien valmistettavuutta saatiin parannettua ja kokoonpanotyötä helpotettiin. Lisäksi laadittiin valmistusdokumentit uuden mekanismin valmistukseen. Salassapitovelvollisuuden takia tämän työn liitteet pidetään salaisina.

Asiasanat: tuotekehitys, valmistettavuus, kokoonpantavuus, tuotekonstruktio

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering
Option of Product Development

PETRI SUTINEN:

Design for Manufacturing and Design for Assembly in Product Development Project
Armi Aktiivituoli

Bachelor's thesis 63 pages, appendices 0 pages
May 2015

This Bachelor's thesis describes how design for manufacturing and assembly affect a product development project. The objective of the product development project was to produce a design for a new chair model that can be introduced to the markets. The project was commissioned by TamErgo Ltd. There was already one prototype built and the goal was to improve the existing product design by means of design for manufacturing and assembly.

The first part of this thesis deals with the basic principles of product development processes and how design for manufacturing and assembly theories influences these processes. The goal was to make sure that the reader can understand why certain decisions are made in the project and how these changes affect manufacturability and assemblability of the product.

In the practical part of the work the present state of the project and current problems in each of the subassemblies are analyzed and described. The final solutions in subassemblies are described and reasons for these decisions are stated. The old product design is compared to the new one based on manufacturability and assemblability.

As a result of this thesis improvements were made to the prototype and product design. Manufacturability and assemblability of the product were enhanced and manufacturing documents of the product were created. The appendices of this thesis include confidential material and are therefore omitted from the public version of the thesis.

Key words: product development, manufacturability, assemblability, product design

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TAMERGO OY	7
2.1	Yritys	7
2.2	Armi Aktiivituoli	7
3	TUOTEKEHITYSPROJEKTIT YLEISESTI	8
3.1	Tuotekehitysprojektin tavoitteet	8
3.2	Tuotekehitysprojektin vaiheet.....	9
3.2.1	Ongelmien ja tavoitteiden määrittäminen	9
3.2.2	Ratkaisujen luominen.....	10
3.2.3	Ratkaisujen tutkiminen ja valinta.....	12
4	VALMISTETTAVUUS TUOTEKEHITYSPROJEKTISSA	13
4.1	Valmistettavuus lyhyesti	13
4.2	Valmistaminen	13
4.3	DFM:än tavoitteet	14
4.4	Valmistettavuuden neljä tuotetasoa	14
4.5	DFM ja yrityksen kilpailustrategia	15
4.6	Valmistettavuuden arviointi.....	17
4.7	Valmistettavuuden parantaminen	18
4.7.1	Valmistajien ottaminen mukaan tuotekehitykseen.....	18
4.7.2	Konstruktion ja sen komponenttien tolerointi.....	18
4.7.3	Koneistuksen huomioiminen suunnitteluvaiheessa.....	19
5	ASENNETTAVUUS TUOTEKEHITYSPROJEKTISSA.....	21
5.1	Kokoonpantavuus lyhyesti.....	21
5.2	Kokoonpaneminen ja asentaminen	21
5.3	DFA:n tavoitteet	22
5.4	Kokoonpantavuuden arviointi.....	22
5.4.1	Hitachin kokoonpantavuuden arviointi	24
5.4.2	Lucasin DFA menetelmä.....	25
5.4.3	Boothroyd-Dewhurstin DFA-menetelmä.....	29
5.5	Asennettavuuden parantaminen	30
5.6	Kokoonpanotavat	31
5.6.1	Manuaalisen kokoonpanon huomioiminen suunnitteluvaiheessa	32
5.6.2	Automaattisen kokoonpanon huomioiminen suunnitteluvaiheessa	33
5.6.3	Robotisoidun kokoonpanon huomioiminen suunnitteluvaiheessa	35
6	ARMI AKTIIVITUOLIN TUOTEKEHITYSPROJEKTI.....	36
6.1	Projektin lähtökohta.....	36

6.2	Mekanismi	36
6.3	Nivelkulmion lähtötilanne	38
6.3.1	Valmistettavuus.....	39
6.3.2	Kokoonpantavuus.....	39
6.4	Nivelkulmion tuotekehitys.....	41
6.5	Nivelkulmion tuotekehityksen tulos	42
6.6	Lukitusmekanismin lähtötilanne	46
6.6.1	Valmistettavuus.....	47
6.6.2	Kokoonpantavuus.....	48
6.7	Lukitusmekanismin tuotekehitys	49
6.8	Lukitusmekanismin tuotekehityksen tulos.....	51
6.9	Käsituen lähtötilanne	54
6.9.1	Valmistettavuus.....	55
6.9.2	Kokoonpantavuus.....	55
6.10	Käsituen tuotekehitys.....	56
6.11	Käsituen tuotekehityksen tulos	57
6.12	Yhteenveto	60
7	POHDINTA.....	61
	LÄHTEET.....	62

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden parantaminen Armi Aktiivituolin tuotekehitysprojektissa. Armi Aktiivituoli on tamperelaisen TamErgo Oy:n valmistama mekanismituoli. Tuotekehitysprojektin tavoitteena on tuoda markkinoille uusi, markkinoilla jo olevaa tuolia kevyempi ja edullisempi tuolimalli.

Tampereen Teknillisen Yliopiston toimesta on tehty suunnitelma uudesta tuolimallista ja rakennettu yksi toimintaperiaatteen näyttävä prototyyppi. Tämä prototyyppi oli lähtökohtana tuotekehitysprojektin jatkamisessa. Prototyyppiä ja suunnitelmaa tutkimalla oli mahdollista jatkokehittää tuotetta ja poistaa erinäisiä ongelmia tuotteen toiminnassa sekä parantaa valmistettavuutta ja helpottaa tuotteen kokoonpanoa.

Opinnäytetyön tavoitteena on kuvata, kuinka valmistettavuuden ja asennettavuudenhuomioiminen näkyvät tuotekehitysprojektin läpiviennin aikana. Opinnäytetyössä kerrotaan yleisesti tuotekehitysprojektien teoriasta, projektien tavoitteista ja menetelmistä. Opinnäytetyössä kerrotaan lisäksi Armi Aktiivituolin tuotekehitysprojektin lähtökohdista, projektin vaiheista ja lopputuloksesta sekä mitkä asiat ovat johtaneet tehtyihin muutoksiin tuotekonstruktiossa.

2 TAMERGO OY

2.1 Yritys

TamErgo Oy on perustettu vuonna 2010. Yhtiön toimitusjohtajana toimii Petri Palo-oja. Yhtiön toimialana on arkielämää helpottavien sekä kuntouttavien tuotteiden innovointi, suunnittelu, kaupallistaminen, markkinointi ja myynti. TamErgo Oy on myynyt Armi Aktiivituolia yli vuoden ajan. Tuote on myynnissä suoraan TamErgon toimitilojen kautta, mutta lisäksi eri jälleenmyyjien kautta kuten Isku ja Fysioline.

2.2 Armi Aktiivituoli

Armi Aktiivituoli on kansainvälisesti patentoitu mekanismituoli, joka on suunniteltu auttamaan henkilöä nousemaan jalkeille tuolilta (KUVA 1). Käyttövoimana Armi Aktiivituolissa on vain istuja ja hänen liikkeensä. Kuntouttajan, hoitohenkilökunnan tai muun avustajan on kuitenkin mahdollista auttaa henkilöä nousemaan tuolin takana selkänojassa sijaitsevasta kahvasta nostamalla ja painamalla käsitukea alaspäin.



KUVA 1. Armi Aktiivituoli ja sen toiminta (TamErgo Oy, 2014)

Armi Aktiivituolin mekanismin liikeradat ovat suunniteltu niin, että tuolilla istuvan henkilön on mahdollista nousta ylös pienellä voimalla, mutta kuitenkin niin, että samalla on mahdollista vahvistaa heikkoja alaraajalihaksia. Vahvistuneet alaraajalihakset auttavat arkipäivän askareissa ja parantavat itsenäistä liikkumista ja tasapainoa. (TamErgo Oy, 2014.) Tuolin mekanismin valmistaa Kangasalalla sijaitseva Puristeteos Oy. Mekanismin liitetään tuolin puiseen runkoon Virossa Perepuit Oy:n toimesta.

3 TUOTEKEHITYSPROJEKTIT YLEISESTI

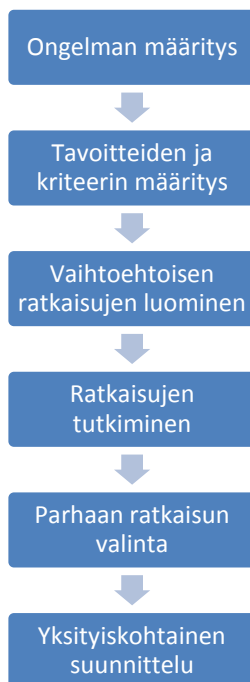
3.1 Tuotekehitysprojektin tavoitteet

Tuotekehitysprojektin tavoitteeksi voidaan määritellä lyhyesti seuraavaa: tuotekehitysprojektista syntynyt tuote täyttää asiakkaiden vaatimukset, se myy ja tekee tarpeeksi voittoa, tuote täyttää sille asetetut tavoitteet kuten valmistuskustannukset ja laadun. Projektin aikana syntynyt tietotaitoa tulee voida hyödyntää jatkossa muissa projekteissa. (Mital, Desai, Subramanian & Mital, 2014, 2.2.)

Ennen tuotekehitysprojektin aloittamista ja sen alussa on tärkeää saada selvitettyä markkinoiden tarve. Analysoimalla markkinat, voidaan määrittää mitä asiakkaat odottavat tuotteelta, mitkä ovat tuotteen välttämättömiä ominaisuuksia ja mistä ominaisuuksista kuluttajat ovat valmiita tinkimään, mitä asiakkaat ovat tuotteesta valmiita maksamaan, mikä on markkinoiden kilpailutilanne ja kuinka markkinoiden oletetaan muuttuvan. (Mital ym. 2014, 2.1.)

3.2 Tuotekehitysprojektin vaiheet

Tuotekehitysprojektin vaiheet voidaan määrittellä monella eri tavalla. Kuviossa 1 on esitetty amerikkalaisen insinöörin ja Arthur D. Hallin määrittelemät ja käyttämät kuusi yleistä suunnitteluprosessin vaihetta (A Methodology for Systems Engineering, 1962). Nämä kuusi kohtaa kuvaavat hyvin perinteistä käsitystä tuotekehitysprojektin eri vaiheista. (Mital ym. 2014, 3.5.2.)



KUVIO 1. Suunnitteluprosessin kuusi yleistä vaihetta (Mital ym. 2014, 3.5.2, muokattu.)

3.2.1 Ongelmien ja tavoitteiden määrittäminen

Mital, Anoop, Subramanian & Mital määrittelevät ongelmaksi täyttämättömän tarpeen (Mital ym., 2014, 3.5.3). Mikäli tarvetta ei määritellä riittävän tarkasti, ei voida muodostaa itse ongelmaa. Ongelman ollessa hämärän peitossa, ei voida etsiä ratkaisua tai varmistua siitä, että ratkaisu poistaa itse ongelman. (Mital ym. 2014, 3.5.3).

Kun ongelma on saatu selvitettyä ja rajattua tulee määritellä tavoitteet ja niiden kriteerit joiden mukaan tavoitteiden saavuttamista voidaan arvioida. Monesti tavoitteet selkiytyvät projektin edetessä samalla kun ongelman käsittäminen paranee. Projektin edetessä tavoitteet usein tarkentuvat tai jakaantuvat uusiin, pienempiin tavoitteisiin. Projektin edetessä tulee varmistua, että tavoitteet määritellään tarkasti ja ymmärrettävästi kaikille projektissa mukana oleville. (Mital ym., 2014, s. 3.5.3.)

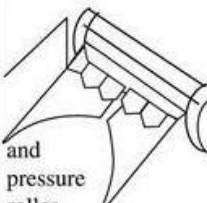
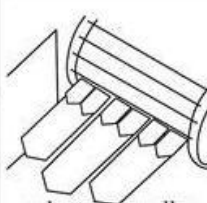
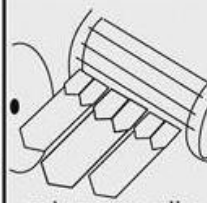
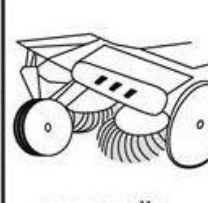
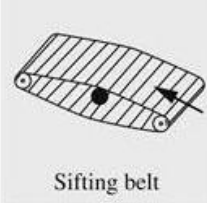
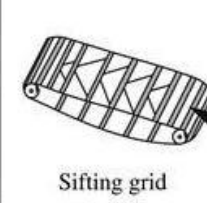


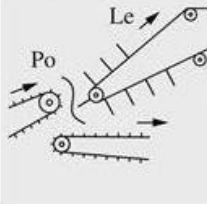
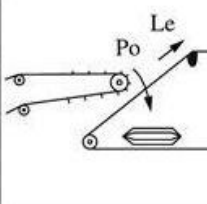
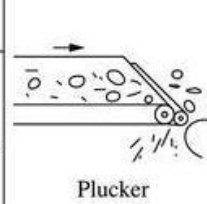
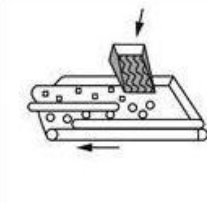
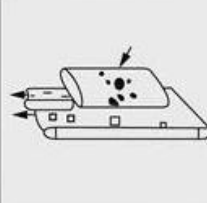
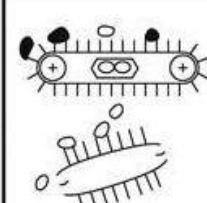
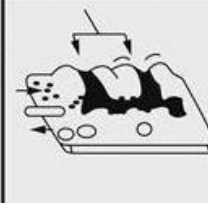
3.2.2 Ratkaisujen luominen

Monesti ongelman voi ratkaista usealla eri tavalla, kuten käytettäviä ratkaisujakin voidaan etsiä monin eri tavoin. Mital ym. mainitsevat kirjassaan, että Jones J.C. on määrittellyt kirjassaan *Design Methods* (1981) 35 erilaista suunnittelutapaa. Suunnittelutavat voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin: luovat suunnittelumenetelmät, luovat vastakkainasettelu –tekniikat ja analyttiset menetelmät. (Mital ym., 2014, 3.5.5.)

Aivoriihi (Brain Storming) on tunnetuin luovan ongelmaratkaisun menetelmä, jonka on kehittänyt Osborn vuonna 1963. Aivoriihin tavoitteena on tuottaa paljon ideoita ryhmässä vetäjän johdolla. Tuotetut ideat kirjataan ylös. Aivoriihen ideana on se, että suuressa määrässä ideoita on todennäköisesti jatkokehittelyyn kelpaavia ideoita, vaikkakin suurin osa ideoista hylätään nopeasti jatkossa. Aivoriihen aikana ei ole tarkoitus arvioida tai arvostella ideoita negatiiviseen sävyyn, mutta parannusehdotuksia voi esittää. (Mital ym., 2014, 3.5.5.1.)

Luovassa vastakkainasettelussa ideat saattavat syntyä täysin huomaamatta. Ongelmanratkaisussa saattaa tulla vastaan hetkiä, joissa kaksi täysin erilaista tilannetta kohtaa ja näiden tilanteiden välillä huomataan analogia. Esimerkkinä Mital antaa 3M:n kehittämän Post-it –lapun (Mital ym., 2014, 3.5.5.2). Esimerkissä erään yrityksen tutkija törmäsi erään liimaa, joka ei ollut tarpeeksi tahmeaa. Samoihin aikoihin hänen kollegansa tuskaili kirjanmerkkien paikallaan pysymisen kanssa. Tämä erä liimaa oli juuri sopivaa pitämään kirjanmerkit paikallaan, mutta kuitenkin riittävän helposti irtoavaa. Tuloksena syntyi kaikkien tuntema Post-it –lappu. Luovassa vastakkainasettelussa ryhmä yhdessä työstää ongelmaa kohti tiettyä ratkaisua. (Mital ym., 2014, 3.5.5.2.)

Analyttisessä menetelmässä pyritään systemaattisesti ratkaisemaan ongelma pilkkomalla se komponentteihin ja kehittämällä näille komponenteilla vaihtoehtoisia ratkaisuja. Jokaiseen ongelman komponenttiin valitaan ratkaisuista paras ja ratkaisut yhdistetään yhdeksi alkuperäisen ongelman ratkaisevaksi konstruktioksi. Kirjassaan Mital esittää matriisin (kuva 2), jossa toisessa sarakkeessa on annettu ongelman komponentit ja riveillä on tiettyyn komponenttiin erilaisia ratkaisuja. (Mital ym., 2014, 3.5.5.3.)

Solutions		Subfunctions			
		1	2	3	4
1	Lift	 and pressure roller	 and pressure roller	 and pressure roller	 pressure roller
		 Sifting belt	 Sifting grid	 Sifting drum	 Sifting wheel
3	Separate leaves	 Le Po	 Le Po	 Plucker	
					
5	Sort potatoes	by hand	by friction (inclined plane)	check size (hole gauge)	check mass (weighing)
6	Collect	Tipping hopper	Conveyor	Sack-filling device	...

↓
Combination of principles

KUVA 2. Analyttinen ongelmanratkaisu (Mital ym., 2014, 3.5.5.3)

3.2.3 Ratkaisujen tutkiminen ja valinta

Kun tuotekehitysprojekti on saanut aikaiseksi useita vaihtoehtoisia ratkaisuja ongelmiin, on tehtävänä valita näistä ratkaisuista paras. Usein valinnan tukena käytetään painoarvotaulukkoa (kuva 3). Tuotekehitysprojektissa on usein monia eri tavoitteita, jotka täytyy arvottaa tietyllä tavalla. Arvottamalla tavoitteet on mahdollista valita ne ratkaisut, jotka parhaiten täyttävät tavoitteet. Tietyn tavoitteen täyttävälle kriteerille annetaan painoarvo ja painoarvo kerrotaan jokaisen ratkaisun saamalla pistemäärällä, näin saadaan vertailukelpoisia tuloksia eri konstruktioiden välille. Konstruktiosta voidaan valita jatkokon parhaan pistemäärän saanut tai sitä voidaan jatkojalostaa tai yhdistää toisen hyvän pistemäärän saaneen konstruktion kanssa yhdeksi uudeksi konstruktioksi. (Mital ym., 2014, 3.5.6)

Design criteria										
Design	Cost			Comfort			Reliability			Total
	W	S	T	W	S	T	W	S	T	
1	0.5	9	4.5	0.3	7	2.1	0.2	8	1.6	8.2
2	0.5	8	4.0	0.3	8	2.4	0.2	8	1.6	8.0
3	0.5	9	4.5	0.3	9	2.7	0.2	9	1.8	9.0

W, weight; S, score; T, W×S.

KUVA 3. Yksinkertaistettu painoarvotaulukko (Mital ym., 2014, 3.5.6)

4 VALMISTETTAVUUS TUOTEKEHITYSPROJEKTISSA

4.1 Valmistettavuus lyhyesti

Valmistettavuus eli Design For Manufacturing (DFM), tarkoittaa tuotteiden valmistettavuutta, valmistettavuuden tutkimista ja parantamista. Kirjassa *Design for Manufacturing A Structured Approach* (Corrado, 2001) Corrado toteaa, että jopa yli 70 % tuotteen valmistuskustannuksista määräytyy jo hyvin aikaisessa vaiheessa tuotteen suunnittelua. Valmistettavuuden huomioimisella aikaisessa vaiheessa voidaan siis vaikuttaa hyvin paljon tuotteen lopullisiin kustannuksiin. Boothroyd, Dewhurst & Knight kertovat kirjassaan englantilaisesta yliopistotutkimuksesta, jossa huomattiin että paikallista tuotantoa olevissa kaasunvirtausmittareissa valmistukseen kuluva työmäärä saattoi olla huonoimman ja parhaimman välillä kuusinkertainen. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 2002, s. 2)

4.2 Valmistaminen

Valmistuksella tarkoitetaan niitä toimenpiteitä, joilla raaka-aineista saadaan tehtyä kuluttajien haluamia tuotteita. Erilaisilla fyysisillä ja kemiallisilla menetelmillä muokatuista raaka-aineista tehdään komponentteja, jotka lopuksi kasataan eri menetelmillä valmiiksi tuotteeksi myytäväksi kuluttajille. Tuotteet on perinteisesti jaettu kahteen eri kategoriaan: kuluttajatuotteet ja tuotantohyödykkeet. Kuluttajatuotteita myydään suoraan kuluttajille kun taas tuotantohyödykkeitä käytetään muiden kuluttajatuotteiden valmistukseen. Valmistusta on yleisesti pidetty välttämättömänä pahana tuotteiden markkinoille saattamiseksi. (Mital ym., 2014, 1.3.)

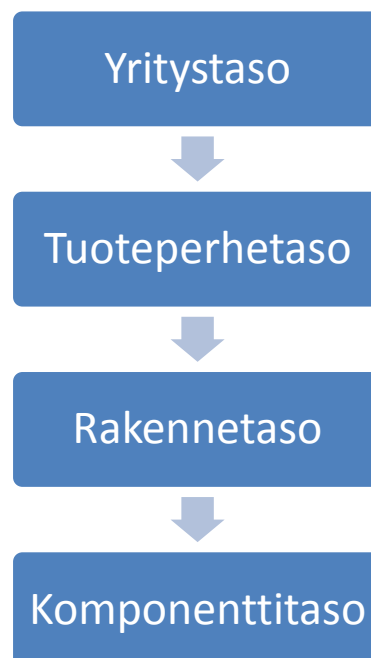
Tässä valossa on selvää, että nykymarkkinoilla ei riitä ainoastaan se, että raaka-aineiden muokkauksella ja lisääntyneellä arvolla voisi kilpailla. Valmistettujen tuotteiden on tärkeä olla haluttuja markkinoilla, niiden valmistuksen tulee olla kilpailukykyistä ja taloudellista. Toisin sanoen tuotteiden valmistuksen tulee olla helppoa ja nopeaa. (Mital ym., 2014, 1.3.)

4.3 DFM:än tavoitteet

DFM:än tavoitteena on antaa työkaluja ja ajatuksia, jotta komponenttien ja tuotteiden valmistus olisi helpompaa ja taloudellisempaa. DFM on systemaattinen tuotekehitysmenetelmä. Valmistettavuus tulisi pitää mukana koko tuotesuunnitteluprojektin ajan. (Corrado, 2001, s. 2) Valmistettavuuden tavoitteena on saada aikaan kustannussäästöjä parantamalla tuotteiden valmistusta huomioimalla tiettyjä rajoituksia ja haasteita jo suunnitteluvaiheesta lähtien. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. iii).

4.4 Valmistettavuuden neljä tuotetasoa

Valmistettavuuteen vaikuttavia päätöksiä voidaan ajatella tehtävän neljällä eri tasolla (kuva 4). Valmistuksen ja tuotesuunnittelun tulee toimia yhdessä, sillä toisen osapuolen päätös vaikuttaa myös toiseen. Monesti tuotekehitysprojektin alkuvaiheessa valitaan käytettävissä olevat valmistusmenetelmät, jolloin konseptisuunnittelussa täytyy huomioida käytettävissä olevat valmistusmenetelmät. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 15)



KUVA 4. Valmistettavuuden neljä tuotetasoa (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 17)

Yritystaso on ylin päätöstaso. Yritystaso on strategista päätöksentekoa, millä varmistetaan se, ettei yrityksessä ole turhaa päällekkäisyyttä valmistuksessa ja että yhtiön tuotteissa olisi mahdollisuuksien mukaan käytössä samoja teknisiä ratkaisuja ja komponentteja. Yritystasolla tehdyt päätökset ohjaavat alempien tasojen toimintaa ja antavat tukea alempien tasojen päätöksenteolle. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 16, 18.)

Tuoteperhetason päätöksillä ohjataan sitä kuinka eri mallit sijoittuvat toisiinsa nähden tuoteperheen sisällä. Tason päätöksillä voidaan määrittää, kuinka paljon voidaan hyödyntää aikaisempia tai rinnakkaisia malleja uusien mallien kehityksessä. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 16)

Rakennetasolla päätetään minkälaisista kokoonpanoista ja rakenteista valmistettavat tuotteet tulevat muodostumaan. Aikaisempia malleja tutkien voidaan keskittää voimavarat kriittisiin vaiheisiin tuotteen valmistuksessa tai kohteisiin joilla on selvä vaikutus tuotteen hintaan tai muihin ominaisuuksiin. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 17.)

Komponenttitasolla on olemassa suuri määrä erilaisia ratkaisuja yhteen ongelmaan, mutta tärkeää olisi keskittyä kriittisiin kohtiin valmistusta ja komponentteja. Kriittiset komponentit voivat olla kalliita tai niiden saatavuus on heikkoa. Tällä päätöstasolla on tärkeää olla tietoinen uusimmista valmistusmenetelmistä ja materiaaleista, jotta voidaan valita paras ratkaisu kullekin komponentille. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 17.)

4.5 DFM ja yrityksen kilpailustrategia

Kirjassaan *Integrating Design and Manufacturing for Competitive Advantage* Gerald Susman antaa yritykselle kolme erilaista kilpailustrategiaa. Ensimmäinen strategia perustuu siihen, että yritys pystyy kilpailemaan useammalla tuotteen ominaisuudella kuten laadulla ja hinnalla. Strategiaa suositellaan käytettäväksi kypsillä markkinoilla, joilla tuotteet ovat arkipäiväisiä kulutushyödykkeitä. DFM pystyy tällöin tarjoamaan mahdollisuudet alempaan hintaan, parempaan laatuun ja nopeampaan markkinoille tuontiin kunhan valmistus otetaan mukaan aikaisessa vaiheessa. (Susman, 1992, s. 17.)

Toinen strategia Susmanin mukaan on kilpailla useammalla markkinasegmentillä. Tuote muokataan sopimaan jokaiseen segmenttiin ja sen asiakkaille. Rääätälöinnillä paranne-

taan tuotteesta saatavaa katetta käyttämällä jokaisessa segmentissä samoja peruskomponentteja. DFM tukee tällöin tuoteperheen, jossa käytetään yhteisiä tai modulaarisia komponentteja, muodostamista ja valmistusta. Autoteollisuus on nykyään hyvä esimerkki tästä kilpailustrategiasta. Yhteiset pohjaratkaisut ja saman automallin sisällä tarjottavat erilaiset voimalinjat tai varustetasot laajentavat asiakaskuntaa suhteellisen pienellä komponenttivalikoimalla. (Susman, 1992, s. 17.)

Kolmas tarjottu strategia on jatkuvan tuotekehityksen malli. Siinä yritys kehittää tuotettaan jatkuvasti tuoden markkinoille jatkuvasti parempia malleja, pitäen näin kilpailijat takanaan. Yrityksen tarjotessa markkinoiden parhaat tuotteet he voivat määrätä tuotteidensa hinnan, sillä kilpailijoiden on vaikeaa päästä samalle tasolle ja myydä tuotettaan halvemmalla. Tässä strategiassa on tärkeää saumaton tuotteiden markkinoille tuonti johon DFM tarjoaa mahdollisuudet. DFM auttaa tuomaan tarvittavat muutokset nopeasti valmistukseen ja lyhentämällä tuotekehitysprojekteja. (Susman, 1992, s. 17.)

4.6 Valmistettavuuden arviointi

Valmistettavuutta voidaan arvioida useilla eri mittareilla. Kokemuksen perusteella voidaan eritellä seitsemän yleisintä mittaria tuotteen valmistettavuudelle (kuvio 2). Näiden seitsemän kohdan perusteella on mahdollista arvioida valmistettavuutta. Muutoksen tapahtuminen yhden kriteerin alueella ei tulisi heijastua muiden kriteerien suorittamiseen. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 20–21).

Laatu	<ul style="list-style-type: none"> • Tuotteen kyky noudattaa tuoteselostetta ja -spesifikaatiota sekä asetettuja vaatimuksia • Puutteet laadussa nähdään laadunvalvonnan ongelmina, korjauksina ja romutuksina
Tuotantokustannukset	<ul style="list-style-type: none"> • Kiinteät kustannukset: Varastointi, laadunvalvonta, ostot ja tilat • Muuttuvat kustannukset: Työvoima, materiaalit
Joustavuus	<ul style="list-style-type: none"> • Kyky siirtää halutut muutokset valmistukseen eli valmiiseen tuotteeseen
Riski	<ul style="list-style-type: none"> • Tuotekonstruktion aiheuttama valmistuksen riskialttius • Tuotantovolyymien muutoksien vaikeus
Läpimenoaika	<ul style="list-style-type: none"> • Kyky saavuttaa nopea läpimenoaika valmistuksessa • Perustuote ja räätälöinti
Tehokkuus	<ul style="list-style-type: none"> • Henkilöstö- ja talousresurssien tehokas käyttö
Ympäristövaikutukset	<ul style="list-style-type: none"> • Materiaalien kierrätys • Valmistusprosessien ympäristövaikutukset • Tuotteen purettavuus ja kierrättäminen

KUVIO 2. Valmistettavuuden seitsemän kriteeriä

4.7 Valmistettavuuden parantaminen

4.7.1 Valmistajien ottaminen mukaan tuotekehitykseen

Ottamalla tuotteen tai komponenttien valmistajat mukaan tuotesuunnitteluun aikaisessa vaiheessa projektia, saadaan heidän mielipiteensä ja tietotaito käyttöön. Näin varmistetaan se, että tuotteet ovat helposti valmistettavia ja valmistajien ehdottamat muutokset ovat helpommin sisällytettävissä tuotteen valmistukseen jo suunnittelun alkuvaiheessa. Tuotekehityksen ja valmistuksen on tärkeää olla jatkuvassa yhteydessä toisiinsa, jotta tavoitteet ja menetelmät niiden saavuttamiseksi ovat selvillä molemmille osapuolille. (Susman, 1992, s. 4–5)

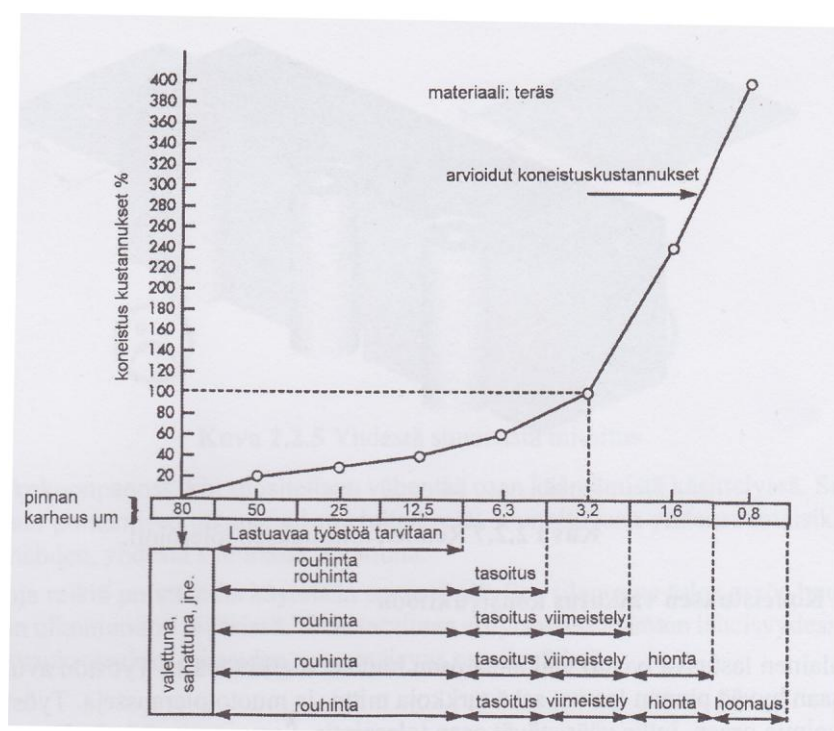
4.7.2 Konstruktion ja sen komponenttien tolerointi

Toleroinnilla suunnittelija määrittää kappaleen tietyn suureen vaihteluvälin, suure voi olla jokin kappaleen mitta kuten reiän halkaisija tai geometrinen suure kuten kappaleen pinnan suoruus. Toleroinnilla varmistetaan tuotteiden oikeanlainen toiminta. Valmistuskustannukset nousevat tiukkenevien vaatimusten myötä. Monesti komponentin korkean hinnan syynä on valmistuskustannusten turha lisääntyminen liian tiukkojen toleranssi-vaatimusten takia. Liian tiukat vaatimukset eivät tuo lisäarvoa komponentille ja sen toiminnalle, mutta nostavat valmistuskustannuksia. (Boothroyd ym., 2001, s. 308–311; Corrado, 2001, s. 13–15.)

Sarjatuotannossa ei ole mahdollista, että kaikki valmistettavat kappaleet täyttäisivät tietyt nimellimitat. Suunnittelijan onkin tärkeää miettiä ja ymmärtää, mitkä mitat ovat toiminnan kannalta kriittisiä. Kriittisten mittojen vaihteluväli täytyy olla sellainen, että tuote toimii odotetulla tavalla määritellyissä käyttötilanteissa. Suunnittelijalla täytyy olla hyvä käsitys eri valmistusmenetelmien yleisistä toleransseista joihin päästään normaaleilla menetelmillä ja työtavoilla. Komponentti on halvin valmistaa kun käytetään sopivia toleransseja ja työmenetelmiä, toleranssit ovat oikeasti tarpeellisia ja ne on helppo tarkistaa. (Corrado, 2001, s. 15–16)

4.7.3 Koneistuksen huomioiminen suunnitteluvaiheessa

Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, tuotteen ja komponenttien tarkkuusvaatimuksilla on suuri vaikutus tuotteen lopulliseen hintaan. Koneistusta tulisi välttää, mikäli komponentti on mahdollista tehdä jollain muulla menetelmällä kuten valamalla tai ohutlevytyönä. Koneistus puolustaa paikkaansa vain kun tarvitaan hyvää pinnanlaatua tai tarkkamittaisia osia (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 63). Koneistusta vaadittaessa tulee toleranssien ja pinnanlaadun vaatimukset pitää mahdollisimman väljinä. Tiukat vaatimukset nostavat kappaleen huomattavasti, kuten huomataan kuvasta 5. Kuvassa on esitetty teräksen suhteellisten koneistuskustannusten hinnankehitys pinnan karheuden funktiona. Kustannusten nousu johtuu käytettävistä syöttönopeuksista, joita täytyy pienentää tavoitellessa parempia pinnanlaatuja. Syöttönopeuksien pienentäminen lisää työstöaikaa mikä nostaa työn hintaa.



KUVA 5. Pinnankarheuden vaikutus osan suhteelliseen hintaan (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 64)

Koneistettavan kappaleen piirteet tulisi määrittellä niin, että niiden työstäminen onnistuu mahdollisimman pienellä määrällä vakiotyökaluja ja niin että poistettavan materiaalin määrä on mahdollisimman pieni. Koneistettavan materiaalin tulisi lisäksi olla mahdollisimman edullista ja yleisesti saatavilla olevassa muodossa kuten standardin mukaisena tankona tai levynä. Osat tulee olla mahdollista koneistaa yhdellä, tukevalla kiinnityksellä. Kiinnityksen vaihto hidastaa prosessia ja aiheuttaa mahdollisesti mitta- ja muotovirheitä. Koneistettavan osan kiinnityksen tulee lisäksi olla mahdollista niin, että komponentin toiminnan kannalta turhia pintoja ei tarvitse koneistaa. (Boothroyd ym., 2001, s. 311–312; Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 65.)

Sorvattaessa nurkkien pyöristyssäde tulisi määrittää samaksi kuin työkalun nirkonsäde ja välttää teräviä reunoja. Sorvattavan komponentin ulkoisten piirteiden tulisi kasvaa sorvin istukkaa kohden mentäessä ja sisäisten piirteiden pienentyä. Näin vältetään turhilta liikeradoilta väistettäessä työkappaletta, mahdollisilta ongelmilta työkalun yletymisessä sorvauspinnalle ja vältetään osumasta työkappaleeseen. (Boothroyd ym., 2001, s. 312; Corrado, 2001, s. 245–246.)

Jyrsittäessä työkappale tulisi olla mahdollista kiinnittää keskenään kohtisuorista pinoista. Jyrsinnässä tulisi välttää komponentissa olevia ulkoisia pyöristettyjä nurkkia, sillä jyrsinnässä terävien nurkkien synty on luonnollista ja nämä piirteet vaativat erikoistyökaluja mikä nostaa hintaa. Sisäisissä piirteissä kulmien pyöristyssäde tulisi olla sama kuin työkalun ja syvennyksissä säteet mahdollisimman suuria, jolloin voidaan käyttää suurempihalkaisijasta työkalua mikä nopeuttaa jyrsintää. (Boothroyd ym., 2001, s. 312; Corrado, 2001, s. 245–246.)

5 ASENNETTAVUUS TUOTEKEHITYSPROJEKTISSA

5.1 Kokoonpantavuus lyhyesti

Kokoonpantavuus tai asennettavuus eli Design for Assembly (DFA), tarkoittaa tuotteiden ja konstruktioiden kokoonpantavuuden arviointia, suunnittelemista ja parantamista. DFA kuten DFM on systemaattinen tuotekehitysmenetelmä. Kokoonpantavuus sisältää asennustyön helppouden sekä tuotteen toiminnallisuuden. DFA on suhteellisen uusi tutkimusalue, mutta jo 1960-luvulla General Electric julkaisi sisäisen valmistettavuuden tuottavuutta koskevan käsikirja. Käsikirjassa ei puhuttu DFA:sta, mutta monet sen nykyisistä periaatteista olivat jo silloin esillä. (Mital ym., 2014.) DFA terminä esiintyi ensimmäisen kerran kirjallisuudessa noin vuoden 1980 tienoilla (Huang, 1996, s. 43).

5.2 Kokoonpaneminen ja asentaminen

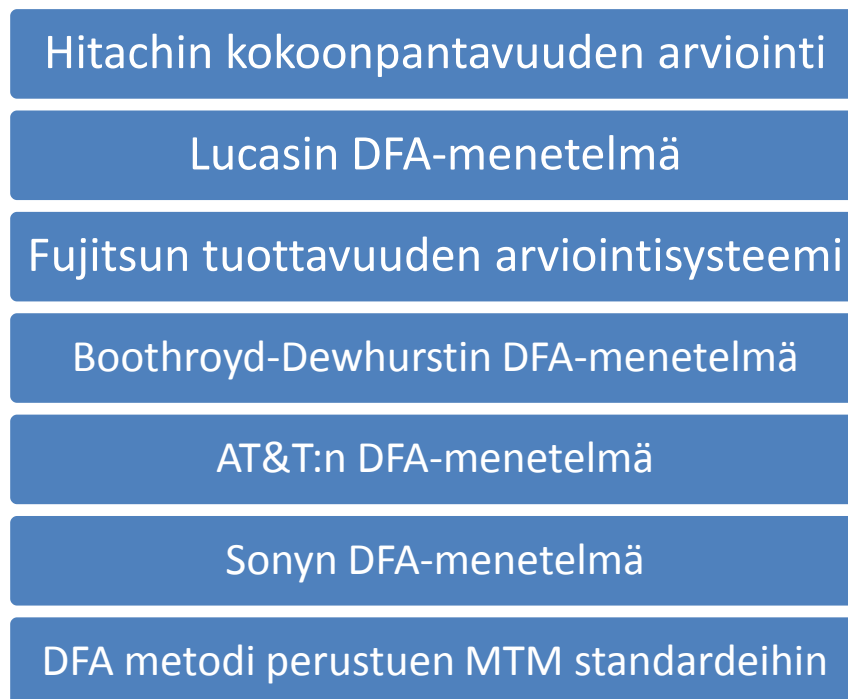
Asentamisessa tavoitteena on muodostaa yksittäisistä komponenteista halutunlainen kokoonpano eli tuote. Kokoonpanossa käytettävillä yksittäisillä komponenteilla on harvoin käyttöä ja toiminnallisuutta yksistään. Vasta tuotteen osana komponenteilla on merkitystä. (Mital ym., 2014, 7.1.1.) Asentaminen jaetaan monesti kahteen eri vaiheeseen: käsittelyyn ja liittämiseen. Käsittely ja liittäminen voidaan kumpikin suorittaa joko manuaalisesti tai automaattisesti. Manuaalinen työ on ihmisen suorittamaa tai ohjaamaa työtä kun taas automaattinen on pelkästään koneen suorittamaa työtä. (Corrado, 2001, s. 253.)

5.3 DFA:n tavoitteet

DFA:n tavoitteena on huomioida ja poistaa kokoonpantavuutta haittaavia tekijöitä suunnitteluvaiheesta lähtien (Lempiäinen & Savolainen, 2003). DFA-menetelmät tarjoavat konkreettisia tuloksia, joiden avulla voidaan arvioida kokoonpantavuutta erilaisien ratkaisujen välillä tuotekonstruktiossa. Menetelmät keskittyvät kokonaiseen tuotteen tai sen alikokoonpanoihin, minkä avulla on mahdollista löytää parannuksia tuotekonstruktioon. (Huang, 1996, s. 43.) DFA pyrkii kustannussäästöihin virtaviivaistamalla ja yksinkertaistamalla kokoonpanoja. Virtaviivaistamisella ja yksinkertaistamisella on myös muita positiivisia vaikutuksia: tuotteen laatu ja luotettavuus paranee, tuotteen valmistuksessa tarvitaan vähemmän työkaluja ja erilaisten osien määrää voidaan vähentää mikä pienentää kuljetus- ja varastointikuluja. (Mital ym., 2014, 7.2.1.) Huomioimalla kokoonpantavuus ja modulaarisuus tuotekehitysprojektissa mahdollistetaan asiakas-kohtainen räätälöinti (ATO, Assemble To Order), jossa asiakkaalla on mahdollisuus tilata perustuotteesta räätälöity tuote (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 69).

5.4 Kokoonpantavuuden arviointi

Asennettavuuden arviointiin on kehitetty useita erilaisia menetelmiä. Ennen kokoonpantavuuden arviointia on tärkeää määritellä kuinka kokoonpano tullaan suorittamaan. Kokoonpanotapa ohjaa paljon, mikä on helposti käsiteltävissä ja asennettavissa. (Boothroyd ym., 2001, s. 85.) Kirjassaan Mital ym. luettelevat 7 erilaista menetelmää asennettavuuden arviointiin (kuvio 3) (Mital ym., 2014, 7.4). Näistä seitsemästä menetelmästä neljä on elektroniikkateollisuudessa toimivan yrityksen (Hitachi, Fujitsu, AT&T ja Sony) kehittämiä kokoonpantavuuden arviointimenetelmiä. Tämä on hyvin ymmärrettävää, sillä elektroniikkateollisuuden alalla tuotantovolyymit ovat tavallisesti suuria, kokoonpanoprosessit ovat pitkälti automatisoituja ja kokoonpanoissa on paljon komponentteja. Tällöin pienilläkin yksittäisillä parannuksilla asennettavuuteen saadaan aikaiseksi huomattavia säästöjä.



KUVIO 3. Kokoonpantavuuden arvioinnissa käytettäviä menetelmiä

Kun kokoonpantavuuteen alettiin kiinnittää huomiota ja menetelmiä kehitettiin, analyysit suoritettiin paperiversioina hyödyntäen erilaisia taulukoita ja työkirjoja. Nykyään tietokonepohjaiset menetelmät ovat pääasiallinen suoritustapa johtuen analyysien raskaudesta etenkin suurissa kokoonpanoissa. Tässä opinnäytetyössä perehdytään tarkemmin kolmeen johtavaan DFA-menetelmään, nämä menetelmät ovat: Hitachin kokoonpantavuuden arviointi, Lucasin DFA-menetelmä ja Boothroyd-Dewhurstin DFA-menetelmä. Menetelmät ovat kaupallisesti saatavilla ja ne ovat yleisesti teollisuuden käytössä. (Huang, 1996, s. 47.)

5.4.1 Hitachin kokoonpantavuuden arviointi

Hitachin arviointimenetelmä on kehitetty vuonna 1976 (Huang, 1996, s. 49). Hitachin arviointi ei ota kantaa kokoonpanon suoritustapaan. Hitachin arviointimenetelmässä tuotekonstruktion arvioidaan kahdella erillisellä pisteytyksellä: asennettavuuden arviointi (E) ja kokoonpanon hinta (K). Menetelmässä pyritään löytämään aikaisessa vaiheessa projektia tuotesuunnitelman ongelmakohtia ja helpottaa näiden ongelmakohtien ratkaisua. Asennettavuuden arviointi perustuu vain komponenttien asettamiseen ja kiinnittämiseen. Nämä työt on jaettu 20 perustehtävään. Analyysi ei ota kantaa osien käsiteltävyyteen. (Huang, 1996, s. 49; Mital ym., 2014, 7.4.1.)

Jokainen komponentti saa asennettavuuden suhteellisesta vaikeudesta riippuen sakkopisteitä väliltä 0...100 ja nämä sakkopisteet vähennetään ideaalisesta kokoonpanosta, jonka pistemäärä on 100. Laskutoimituksen jälkeen jokaisen komponentin pistemäärä lasketaan yhteen ja jaetaan kokoonpanon komponenttien määrällä. (Mital ym., 2014, 7.4.1.) Asennettavuuden arvioinnin tuloksen, E, tavoitearvo on vähintään 80. Suurempi E:n arvo tarkoittaa pienempiä kustannuksia manuaalisessa kokoonpanossa. Suuri E:n arvo kertoo toisaalta sitä että kokoonpanon suoritus on paremmin automatisoitavissa. (Huang, 1996, s. 50.)

Kokoonpanon suhteellinen hinta määritellään arvolla K, sillä E ei ota huomioon osamäärän vähentämisen aiheuttamia hyötyjä. K:n arvo voidaan määrittellä uuden tuotekonstruktion suhteelliseksi arvoksi verrattuna aikaisempaan konstruktion. Tavoitteena kokoonpanon suhteelliselle arvolle pidetään enintään 0,7:ää eli uuden kokoonpanon hinta olisi 30 % vanhaa halvempi. (Huang, 1996, s. 50.)

5.4.2 Lucasin DFA menetelmä

Lucasin menetelmä perustuu kokoonpantavuuden arviointiin suhteellisella pisteytyksellä käyttäen arvoasteikkoja. Arvoasteikko kertoo suhteellisen kokoonpanotyön vaikeuden kokoonpanossa. Kokoonpantavuuden arviointi tapahtuu kolmen erillisen ja peräkkäisen vaiheen kautta, vaiheet ovat: toiminnallinen analyysi, komponenttien syötettävyys tai käsiteltävyys ja komponenttien asennettavuus. (Mital ym., 2014, 7.4.2.)

Toiminnallisessa analyysissä komponentit jaetaan luokkiin A ja B. Luokassa A on komponentit, jotka ovat välttämättömiä tuotteen toiminnan kannalta, eli primääriset komponentit. Ryhmässä B on tuotteen toiminnan kannalta vähäpätöiset osat, sekundääriset komponentit kuten kiinnittimet. Konstruktion tehokkuus (DE, Design Efficiency) saadaan laskettua kaavalla 1. Tavoitearvo on vähintään 60 % (Mital ym., 2014, 7.4.2.) Kuitenkin monesti käytännössä rajana pidetään arvoa 45 %, eivätkä ensimmäisen analyysin tuloksena saatavat 3 % – 12 % arvot ole poikkeuksellisia. (Huang, 1996, s. 51–52.)

$$DE = \frac{A}{(A+B)} \times 100 \quad (1)$$

A = Primääristen komponenttien lukumäärä

B = Sekundääristen komponenttien lukumäärä

Komponenttien syötettävyiden tai käsiteltävyyden arviointi tapahtuu syötettävyys- tai käsiteltävyyssuhteella (feeding/handling ratio). Tämä suhde voidaan laskea kaavalla 2. Syötettävyyttä käytetään kun komponentteja tuodaan asennettavaksi kokoonpanoon koneen avulla kuten syöttölaitteella, ihmisen toimiessa osien tuojana puhutaan osien käsittelystä (Huang, 1996, s. 51). Komponenttien asennettavuussuhde (Fitting ratio) voidaan laskea kaavalla 3. (Mital ym., 2014, 7.4.2.)

$$\text{Käsiteltävyyssuhde} = \frac{\sum (\text{Syötettävyys/käsiteltävyys})\text{indeksit}}{A} \quad (2)$$

$$\text{Asennettavuussuhde} = \frac{\sum \text{asennettavuusindeksit}}{A} \quad (3)$$

Käsiteltävyyssuhdetta laskettaessa tarvitaan käsiteltävyyssindeksi. Käsiteltävyyssindeksi voidaan laskea taulukon 1 pisteytyksen avulla. Indeksi lasketaan kohtien A, B, C ja D summana. Kohdista A, B ja C valitaan yksi vaihtoehdoista ja kohdasta B niin monta kuin kullekin komponentille pätee kuvauksia. (Mital ym., 2014, 7.4.2.)

TAULUKKO 1. Käsiteltävyyssindeksin pisteytykset (Mital ym., 2014, 7.4.2, muokattu)

Käsiteltävyyssindeksi	
A. Osan koko ja paino	Pisteet
Todella pieni / vaatii työkaluja	1,5
Käteen sopiva	1,0
Iso/painava, vaatii useamman käden	1,5
Iso/painava, vaatii nostolaitteen tai toisen ihmisen	3,0
B. Käsiteltävyyden ongelmat	
Rikkoutuva	0,4
Joustava	0,6
Tahmea	0,5
Sotkeutuva	0,8
Pahasti takertuva	0,7
Terävä tai karkea	0,3
Ei voida koskea käsin	0,5
Tarttumisongelma / liukas	0,2
Ei käsiteltävyysongelmaa	0,0
C. Osan orientaatio suhteessa kokoonpanoon	
Ei tarvetta	0,0
Päästä päähän symmetrinen - helppo nähdä	0,1
Päästä päähän symmetrinen - vaikea nähdä	0,5
D. Osan rotaatio asennussuuntaan nähden	
Osa on pyörähdyssymmetrinen	0,0
Vaatii kääntämistä akselin ympäri - helppo nähdä	0,2
Vaatii kääntämistä akselin ympäri - helppo vaikea nähdä	0,4

Asennettavuussuhdetta laskettaessa tarvitaan asennettavuusindeksi. Asennettavuusindeksin laskenta tapahtuu taulukon 2 pisteytyksen mukaan. Indeksilaskenta kohtien A...F summana. Jokaisesta kohdasta valitaan yksi vaihtoehto, paitsi A-kohdassa voidaan valita tarvittaessa jokin lisäkohta kuten ruuvaus. (Mital ym., 2014, 7.4.2.)

TAULUKKO 2. Asennettavuusindeksin pisteytykset (Mital ym., 2014, 7.4.2, muokattu)

<i>Komponentin asennettavuusindeksi</i>	
A. Osan asettaminen ja kiinnittäminen	Pisteet
Itsestään paikalla pysyvä	1,0
Vaatii pitämistä	2,0
Lisäksi:	
Itselukittuva	1,3
Ruuvaus	4,0
Niittäminen	4,0
B. Asennuksen suunta	
Suoraan - ylhäältä alaspäin	0,0
Suoraan - muusta suunnasta	0,1
Ei suora linja	1,6
Taivutus	4,0
C. Asetusten lkm	
Yksittäinen	0,0
Useampi	0,7
Useampi - yhtäaikainen	1,2
D. Luoksepäästävyys ja näkyvyys	
Suora	0,0
Estetty	1,5
E. Kohdistaminen	
Helppoa	0,0
Vaikeaa	0,7
F. Asetusvoima	
Ei vastusta	0,0
Vastustaa	0,6

Viimeisenä analyysin vaiheena on laskea jokaiselle komponentille valmistuskustannukset. Analyysin tarkoituksena on löytää sopiva materiaali ja valmistustekniikka jokaiselle kokoonpanon komponentille. Analyysin on tarkoitus olla vain suuntaa-antava, kaavan 4 avulla saatavalla valmistusindeksillä (M_i) on mahdollisuus vertailla eri ratkaisuja keskenään. Kaavassa neljä esiintyvä R_c on suhteellinen kustannus, joka on avattu kaavassa 5. Kaavassa 5 käytetään suhteellisen kustannuksen kertoimena arvoa C_t :tä tai C_f :ää, kumpi vain on suurempi. Kaavassa 4 esiintyvä M_c , materiaalikustannus, on avattu kaavassa 6. (Mital ym., 2014, 7.4.2.)

$$M_i = R_c \times P_c + M_c \quad (4)$$

R_c = suhteellinen kustannus

P_c = työstökustannus

M_c = materiaalikustannus

$$R_c = C_c \times C_{mp} \times C_s \times (C_t \text{ tai } C_f) \quad (5)$$

C_c = vaikeuskerroin

C_{mp} = materiaalikerroin

C_s = pienin ulottuvuus

C_t = toleranssikerroin

C_f = viimeistelykerroin

$$M_c = V \times C_{mt} \times W_c \quad (6)$$

V = komponentin tilavuus

C_{mt} = materiaalikustannus

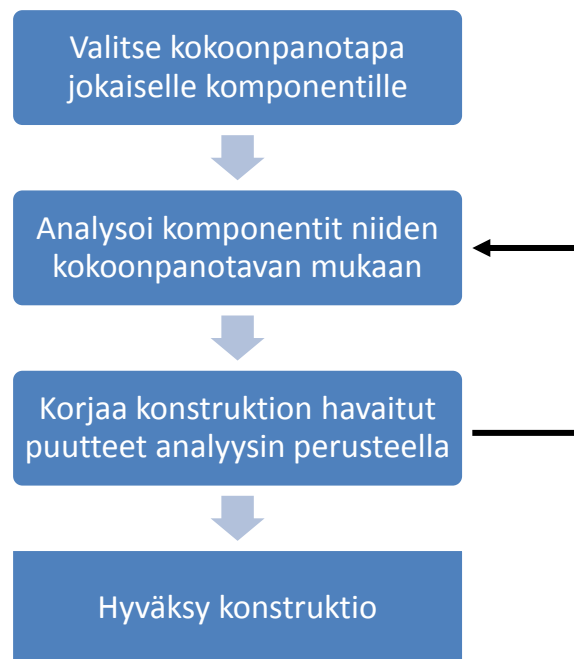
W_c = jätekerroin

Kaavoihin tarvittavat arvot johdetaan tähän analyysiin kehitetyistä taulukoista. Ensimmäisenä valitaan komponentin perustyyppi (sylinterimäinen, särmiö, ohut- tai paksuseinäinen osio). Perustyyppin perusteella voidaan muista taulukoista valita tarvittavat arvot kaavoihin. Taulukoihin ja niiden sisältöön ei perehdytä tarkemmin tämän opinnäytteen sisällössä.

5.4.3 Boothroyd-Dewhurstin DFA-menetelmä

Boothroyd-Dewhurstin DFA-menetelmä perustuu siihen, että määritellään onko komponentin oltava erillinen konstruktiossa sekä arvioidaan käsittely- ja asennuskuluista käyttäen sopivaa kokoonpanoprosessia. Boothroyd-Dewhurstin menetelmä ottaa kattavasti kantaa eri kokoonpanoprosessien erikoispiirteisiin. Menetelmä perustuu olemassa olevaan tuotesuunnitelmaan. Tuotesuunnitelmaa analysoidaan ja parannetaan iteroimalla muutoksia konstruktiossa ja sen komponenteissa kunnes saavutetaan haluttu tavoite. Boothroyd-Dewhurstin menetelmä johtaa helposti konstruktiossa pienempään komponenttimäärään, mikä johtaa usein monimutkaisempiin ja vaikeammin valmistettaviin osiin. (Mital ym., 2014, 7.4.3.)

Suunnitelluille komponenteille valitaan sopiva kokoonpanotapa ja komponentit analysoidaan niiden mukaan. Analyysin tuloksen perusteella tuotekonstruktiota parannetaan. Parannuksien jälkeen konstruktio ja sen komponentit analysoidaan uudelleen, kunnes haluttu tavoite on saavutettu. Analyysin suorittaminen tapahtuu kuviossa 4 olevan kaavion mukaan. (Mital ym., 2014, 7.4.3.)



KUVIO 4. Boothroyd-Dewhurstin DFA-menetelmän suoritusjärjestys

Analyysi voidaan toteuttaa käyttäen hyväksi varta vasten kehitettyjä taulukoita, mutta menetelmän raskaudesta johtuen käytetään yleensä erillistä tietokoneohjelmaa. Taulukoissa on määritelty komponentin ominaisuuksien perusteella kokoonpanon suorittamiseen kuluvat asettelu- ja kiinnitysajat. Taulukossa erilaisille komponenteille voidaan löytää nämä ajat 2-numeroisen koodin avulla. Koodi muodostuu komponentin käsittelystä ja asennettavuudesta. (Mital ym., 2014, 7.4.3.)

5.5 Asennettavuuden parantaminen

Asennettavuutta ja kokoonpantavuutta voidaan parantaa usein eri tavoin. Kokoonpanotyön hinta määräytyy ajan perusteella. Aikaan vaikuttaa osien määrä sekä kuinka helppoja osat ovat käsitellä ja asentaa. Tällöin voidaan todeta, että monesti helpoin tapa vähentää kokoonpanosta aiheutuvia kustannuksia on vähentää komponenttien määrää. Komponenttien määrän vähentämiseen on useita keinoja. (Corrado, 2001, s. 253)

Komponenttien määrää ja niiden välttämättömyyttä kokoonpanossa voidaan arvioida professori Geoffrey Boothroydin määrittelemillä kolmella syyllä (Boothroyd, ym., 2001, s. 9). Komponentin tulee olla erillinen jos:

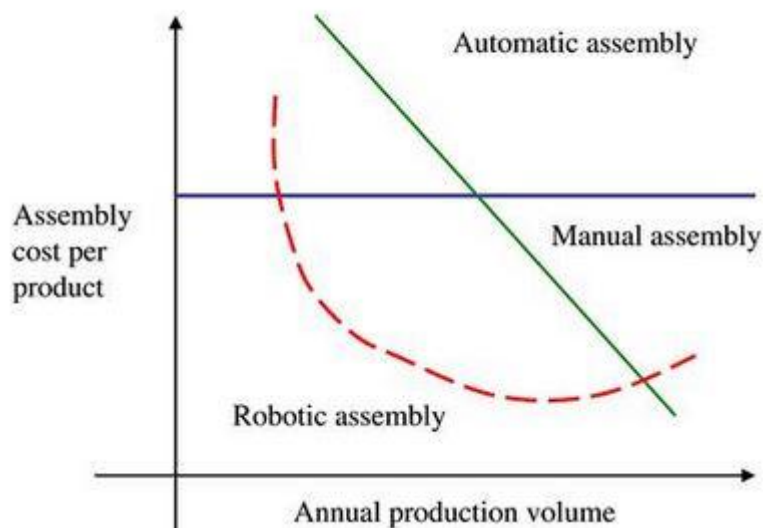
- tuotteen toiminnan kannalta sen on oltava eri materiaalia kuin viereiset osat
- se liikkuu suhteessa viereisiin osiin, eikä tätä liikettä voida toteuttaa materiaalin tai muodon elastisuutta hyväksi käyttäen
- tuotteen kokoonpanon tai purkamisen ei ole muuten mahdollista

Komponenttien määrää voidaan vähentää suunnittelemalla komponentteja, jotka toteuttavat usean eri toiminnon. Kun komponentteja yhdistetään yhdeksi uudeksi osaksi, liitoksien ja erilaisten liitososien käyttö vähenee. Liitosten määrän vähentyessä saadaan tuotteesta luotettavampi ja kokoonpanotyössä jää pois aikaa vieviä työvaiheita. Pois jäävää osaa ei tarvitse suunnitella, valmistaa, ostaa, testata tai asentaa. Komponenttien määrän vähentäminen johtaa todennäköisesti monimutkaisempiin ja kalliimpiin osiin, mutta nykyiset CNC-ohjatut koneet valmistavat monimutkaisemman kappaleen. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 71)

Standardisoimalla komponentteja ja niiden käyttöä talon sisällä, tiettyjen komponenttien ostomääriä voidaan suurentaa kun komponenttia käytetään useissa eri tuotteissa. Näin voidaan piensarjana valmistettava tai tilattava ja sitä kautta kallis komponentti saada edullisemmaksi. (Boothroyd ym., 2001, s.87)

5.6 Kokoonpanotavat

Kokoonpanon suoritus voidaan jakaa kolmeen toisistaan poikkeavaan tapaan. Tavat ovat: manuaalinen kokoonpano, automatisoitu kokoonpano ja robotisoitu kokoonpano. Kokoonpanokustannukset eri tavoilla riippuu paljon tuotteen tuotantomäärästä aikayksikössä (kuva 6) (Mital ym., 2014, 7.2.2.). Kuten kuvasta nähdään, manuaalisen kokoonpanotyön hinta pysyy vakiona riippumatta tuotantovolyyymista. Automatisoidun kokoonpanon hinta putoaa jyrkästi kasvavan tuotantomäärän mukana. Robotisoidun kokoonpanon hinta pienillä määrillä on suuri, mutta putoaa jyrkästi volyymin kasvaessa, kunnes tullaan pisteeseen jossa kustannussäästöjä ei enää saada aikaiseksi.



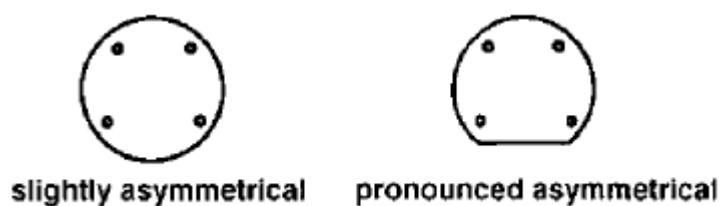
KUVA 6. Kokoonpanon hinta per tuote vuosittaisen tuotantovolyymin funktiona (Mital ym., 2014, 7.2.2)

5.6.1 Manuaalisen kokoonpanon huomioiminen suunnitteluvaiheessa

Manuaalinen kokoonpano on kokoonpanoa jonka työntekijä suorittaa. Työntekijä voi kuitenkin käyttää erilaisia yleistyökaluja. Manuaalinen kokoonpano on joustavin, monipuolisin ja kustannuksiltaan helposti arvioitava tapa suorittaa tuotteen kokoonpano. On kuitenkin hyvä huomioida, että suuremmissa sarjoissa joustavuudesta ei saada enää hyötyä ja kustannukset ovat korkeammat muihin tapoihin verrattuna. (Mital ym., 2014, 7.2.2.)

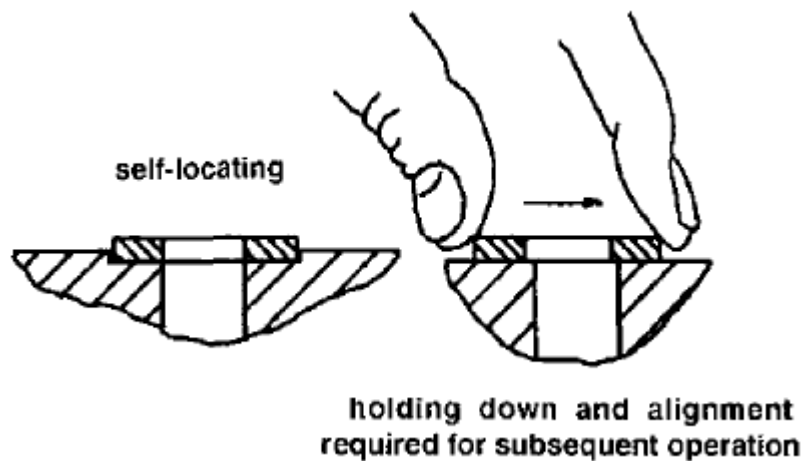
Manuaalisen kokoonpanon helpottamiseksi suunnitteluvaiheessa kannattaa miettiä asennettavuutta työntekijän näkökulmasta. Työntekijän ei tulisi tarvita tehdä erilaisia säätöjä komponentteihin kokoonpanossa ja työntekijällä tulisi olla hyvä näkyvyys ja päästävyys asennustapahtumaan. Työ tulisi olla mahdollista suorittaa ilman kokoonpanon kääntelyä tai liikuttamista. Kokoonpanoa nopeuttaa, jos kokoonpanosuunnat pidetään mahdollisimman vähäisinä ja mielellään ylhäältä alaspäin. (Mital ym., 2014, 7.3.1.)

Komponenttitasolla asennustyötä on mahdollista helpottaa suunnittelemalla komponenteista helposti asennettavia. Nopeinta kokoonpano on kun osamäärää ja -valikoimaa saadaan pienennettyä. Komponentin tulisi olla symmetrinen, jolloin komponentin käsittelyyn ja suuntaamiseen ei kulu ylimääräistä aikaa. Suunnittelussa tulee kuitenkin välttää komponentteja, joissa on pieniä, vaikeasti havaittavia epäsymmetrisiä piirteitä. Tällöin on parasta suunnitella kappaleesta selvästi epäsymmetrinen (kuva 7). (Boothroyd ym., 2001, s.86; Corrado, 2001, s. 259.)



KUVA 7. Korostettu epäsymmetria (Boothroyd ym., 2001, s.86)

Komponentteihin kannattaa suunnitella pieniä muotopiirteitä, jotta: komponentit ovat itsestään keskittäviä, itsestään kiinnittyviä, komponentit eivät takerru keskenään yhteen ja asennuksessa vaadittava voima vähenee. Viisteet ja syvennykset auttavat komponenttien kohdistamisessa ja paikallaan pysymisessä (kuva 8) (Corrado, 2001, s. 259) samoin kuin napsautusliitokset lukitsevat kappaleen paikalleen ilman erillistä kiinnitintä (Mital ym., 2014, 7.3.1).



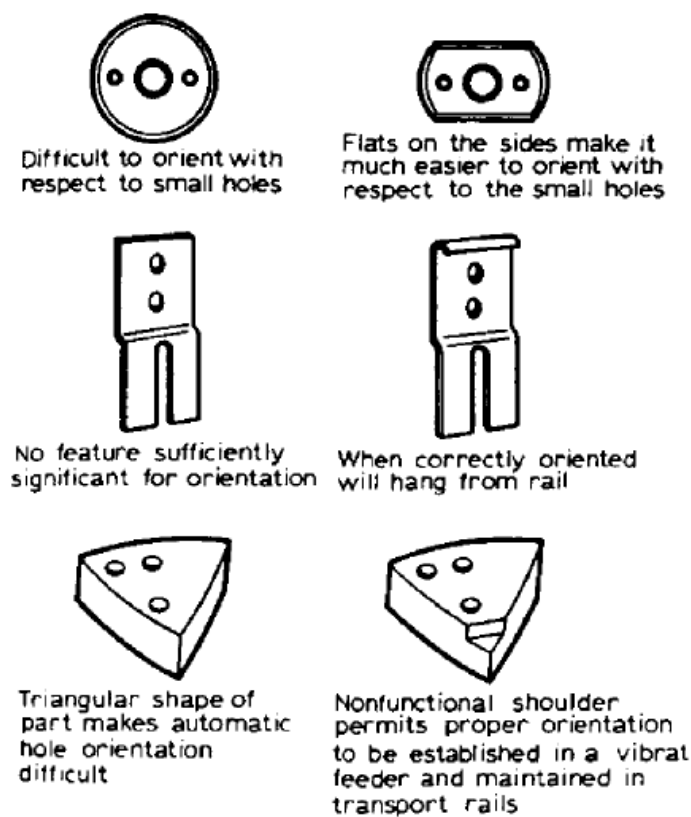
KUVA 8. Itsestään paikoittuva komponentti ja asettamista vaativa komponentti (Boothroyd ym., 2001, s.90)

5.6.2 Automaattisen kokoonpanon huomioiminen suunnitteluvaiheessa

Automaattinen kokoonpano eroaa selvästi manuaalisesta kokoonpanosta. Automaattisessa kokoonpanossa kokoonpanotyön suorittaa eri määrästä yhdessä tai erikseen toimivista koneista koostettu linja. Toisena vaihtoehtona on automaattisessa kokoonpanossa tehtävää varten erikseen rakennettu kone, joka pystyy tuottamaan vain yhtä tiettyä tuotetta. Tällöin puhutaan ”Fixed automation” –termistä. Automatisoidun kokoonpanon aloittaminen vaatii suuria investointeja, mutta investoinnit ovat kannattavia suurilla tuotantovolyymeilla. (Mital ym., 2014, 7.2.2.)

Automatisoitu kokoonpano asettaa käytettävillä komponenteille erilaisia vaatimuksia kuin manuaalinen kokoonpano. Komponentit tulisi syöttää kokoonpanokoneelle valmiiksi oikeassa asennossa asennussuuntaan nähden eivätkä ne eivät saa takertua toisiinsa, sillä se haittaa syöttölaitteiden toimintaa. Erilaiset muotopiirteet auttavat syöttölaitteiden toimintaa ja mahdollistavat kappaleiden tuonnin kokoonpanoon oikeassa asen-

nossa sekä kohdistavat osat keskenään (kuva 9). Kuvassa ensimmäisellä rivillä on näkyvissä huono ja hyvä ratkaisu siihen, kuinka pienet reiät on mahdollista saada käännetyä oikealle kohdalle. Toisella rivillä vasemman puoleista komponenttia on mahdoton kääntää oikeaan asentoon puuttuvien muotopiirteiden takia kun vasemmalla oleva on mahdollista saada roikkumaan syöttökiskoon. Viimeisellä rivillä oleva kolmiomainen kappale, jossa on reikiä epäsymmetrisesti, on ilman ylimääräistä muotopiirrettä hyvin vaikea saada kohdistettua oikein. Hyvin suunniteltujen muotopiirteiden avulla on mahdollista syöttää osia kokoonpanoon ilman erillistä asennuslaitetta. (Boothroyd ym., 2001, s. 201–204; Mital ym., 2014, 7.2.2)



KUVA 9. Muotopiirteitä, jotka auttavat komponentin syöttämistä ja kohdistamista (Boothroyd ym., 2001, s. 207)

Komponentit tulisi pyrkiä asentamaan kerroksittain ylhäältä alaspäin, mutta mikäli tämä ei ole mahdollista konstruktio tulisi jakaa alikokoonpanoihin. Suurinta kokoonpanon kappaletta tulisi hyödyntää runkona muille kokoonpanon osille. Osavalikoima tulisi pitää mahdollisimman pienenä ja yhdenmukaisena, jolloin niiden syöttäminen helpottuu. Osavalikoiman kasvaessa, myös erilaisia syöttölaitteita ja koneita joudutaan lisäämään, mikä nostaa kustannuksia. (Boothroyd ym., 2001, s. 201–204; Mital ym., 2014, 7.2.2)

5.6.3 Robotisoidun kokoonpanon huomioiminen suunnitteluvaiheessa

Robotisoitu kokoonpano muistuttaa automatisoitua kokoonpanoa, mutta se mahdollistaa erilaisten tuotteiden joustavan valmistuksen samalla konekannalla. Robotisoitu kokoonpano on joustava menetelmä, sillä kokoonpano suoritetaan ohjelmoitavilla roboteilla, jolloin erinäiset muutokset valmistukseen on helpompi toteuttaa. Alkuinvestoinnit ovat suuria, mutta muunneltavuuden ansioista menetelmä soveltuu laajalla tuotevalikoimalle jolloin yksittäisen kokoonpanon hinta suhteessa investointeihin laskee. Robotisoidun kokoonpanon kannattava tuotantovolyymi asettuu manuaalisen ja automaattisen kokoonpanon välimaastoon. (Mital ym., 2014, 7.2.2)

Robotisoidun kokoonpanon mahdollistamiseksi tulee suunnittelussa ottaa huomioon erinäisiä rajoituksia. Tietämys siitä, minkälaisella konekannalla kokoonpano tullaan suorittamaan auttaa suunnittelemaan kokoonpanosta sellaisen, että se soveltuu konekannalle. Eniten haasteita tuottavat yksisoluiset työasemat ja sellaiset kokoonpanot jotka vaativat välissä manuaalista kokoamista. Näissä tapauksissa aikaa kuluu siihen, että kokoonpanoa kuljetetaan edestakaisin kokoonpanosolun ja manuaalisen työaseman välillä. Myös erilaisten erikoistyökalujen käyttö kokoonpanotyössä vaikeuttaa yksisoluisen työaseman käyttöä. Monisoluisissa työasemissa näitä ongelmia ei yleensä esiinny, sillä erikoistyökaluja voidaan käyttää ja muita toimenpiteitä tehdä muissa työaseman soluissa. (Boothroyd ym., 2001, s. 209–210.)

Robotisoidussa kokoonpanossa komponenttien tulee olla sellaisia, että mahdollisimman moneen eri komponenttiin soveltuu sama tarttuja tai työkalu sekä komponenttien tulee olla helposti tarttujan saatavilla ja käsiteltävissä. Tarttujan tai työkalun vaihto hidastaa aina kokoonpanoprosessia. Ruuvien kiristäminen vaatii lähes aina erillisen vääntimen, sillä harvat robottien nivelet voivat kääntyä enempää kuin yhden kierroksen. (Boothroyd ym., 2001, s. 213–214; Mital ym., 2014, 7.3.3.)

Komponenttien muotoilun kuten viisteiden tulee edesauttaa komponenttien paikoittamista, sillä paikoituksen toistettavuus on roboteilla monesti huono. Asennussuuntana tulisi olla ylhäältä alaspäin ja komponenttien tulisi olla itsestään paikallaan pysyviä, mikäli niitä ei kiinnitetä heti asettamisen jälkeen. (Mital ym., 2014, 7.3.3; Boothroyd ym., 2001, s. 213–214.)

6 ARMI AKTIIVITUOLIN TUOTEKEHITYSPROJEKTI

6.1 Projektin lähtökohta

Opinnäytetyön kohteena olevan tuotekehitysprojektin tavoitteena on korjata prototyypin toiminnassa huomatu puutteet ja parantaa tuotteen yleistä laatuvaikutelmaa poistamalla erinäisiä äänilähteitä ja välyksiä. Toisena tavoitteena on tehdä kokoonpanosta helpommin kokoonpantava ja sen komponenteista paremmin valmistettavia tuoden näin kustannussäästöjä. Konstruktion tulisi lisäksi olla mahdollisimman pitkälle koottu ennen Virossa Perepuitin suorittamaa loppukokoonpanoa, jotta mekaanista kokoonpanotyötä oli siellä mahdollisimman vähän.

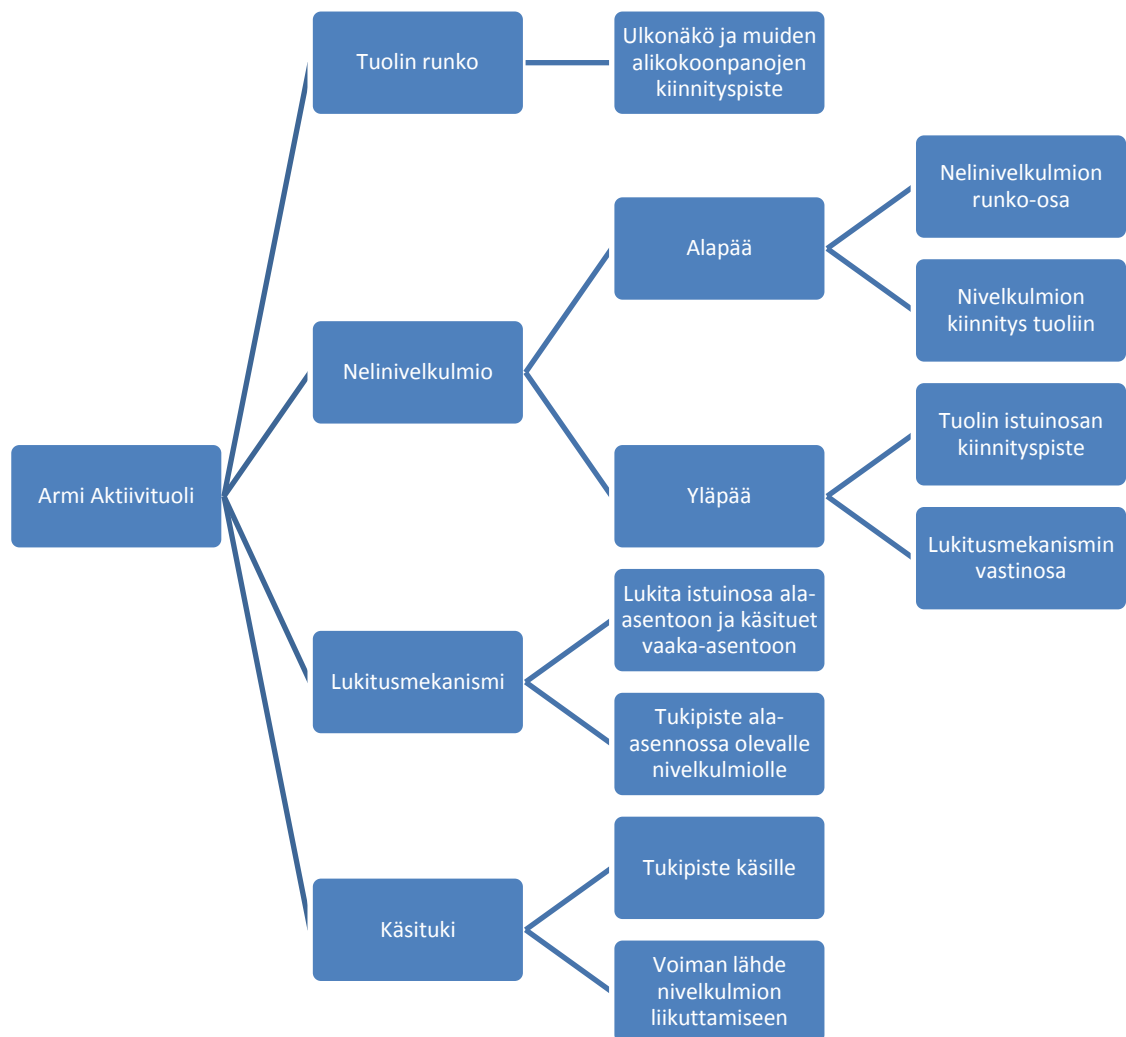
Seuraavissa kappaleissa tapahtuvien vertailujen vuoksi alkuperäiseen suunnitelmaan on lisätty tarpeellisia muutoksia, mitkä vaikuttavat osaluetteloihin. Nämä muutokset on tehty, jotta komponenttien määrää sekä muita arvoja olisi mielekästä vertailla lähtö- ja lopputilanteen välillä. Kaikkia komponentteja ei ole välttämättä näkyvillä kokoonpanokuvissa, mutta ne ovat huomioitu osaluetteloissa.

6.2 Mekanismi

Tuolin mekanismi perustuu nelinivelkulmioon ja liikkuviin käsituikiin, joiden avulla luodaan istuinosaa ylöspäin nostava voima. Nelinivelkulmioon on kiinnitetty tuolin istuinosaa ja vetovarret käsituilta, jotka välittävät käsituilta tulevan voiman. Henkilön noustua seisomaan, istuinosaa laskeutuu takaisin ala-asentoon ja käsinojat lukittuvat takaisin vaaka-asentoon antaen tukea istumaan mennessä.

Tuolin toimintaan liittyy olennaisesti myös lukitusmekanismi. Lukitusmekanismin tehtävänä on lukita käsinojat ja nivelkulmio perusasentoon. Kun henkilö istuu istuimella, hän samalla avaa omalla painollaan lukitusmekanismin mahdollistaen näin nivelkulmion ja käsitukien liikkeen ja ylös nousemisen.

Tuotteen kokoonpano voidaan jakaa neljään isompaan alikokoonpanoon (kuvio 5). Kuviossa on eritelty nämä neljä alikokoonpanoa ja kerrottu niiden toiminnallisuuksista. Tässä opinnäytetyössä keskitytään mekaanisten alikokoonpanojen eli nelinivelkulmion, lukitusmekanismin ja käsituen tuotekehitykseen. Myöskään kappaleiden käsiteltävyyteen ei kiinnitetä suurta huomiota, sillä tuotantomäärät ovat niin pieniä, ettei automatisoitua tai robotisoitua kokoonpanoa ole taloudellisesti kannattavaa käyttää. Manuaalisessa kokoonpanossa komponenttien käsiteltävyys ei ole niin suuri kynnys kokoonpantavuudessa.



KUVIO 5. Alikokoonpanojen jaottelu ja toiminnot Armi Aktiivituolissa

6.3 Nivelkulmion lähtötilanne

Nivelkulmion valmistettavuudessa ja kokoonpantavuudessa oli selvästi parhaat edellytykset parannuksille. Alkuperäisessä kokoonpanossa on yhteensä 46 komponenttia per puoli (taulukko 3). Etenkin aluslevyjen suuri määrä kiinnitti heti huomion osaluetteloa selatessa. Aluslevyjen määrä on noin 22 % kaikista kokoonpanon osista.

TAULUKKO 3. Alkuperäisen nivelkulmion osaluettelo

Nivelmekanismi alapää		Nivelmekanismi yläpää	
Osa	kpl	Osa	kpl
UNP 40x20	1	L-rauta	1
Nivellevy BC	1	L-raudan tukilevy	1
Nivellevy AD	1	Aluslevy	4
Aluslevy	6	Ruuvi - M6x20	2
Tukilevy - Nivelkulmio	1	Mutteri M6	2
Niveltappi	2	Niveltappi	2
Seger-rengas	4	Vetoakseli	1
Huonekaluruuvi	3	Seger-rengas	6
Lyöntimutteri	3	Laakeriholkki	1
Päätylevy	1	Yht.	20
Kevennysjousi	1		
Jousen kiinnitin	1		
Mutteri M8	1		
Yht.	26		

Nivelkulmiosta tehtiin Lucasin DFA-menetelmän toiminnallinen analyysi (taulukko 4), joka paljasti konstruktion ongelmat. Konstruktion tehokkuuden arvo (DE) on vain 28,9 % kun tavoite olisi vähintään 45 % ja suositeltu 60 %. DE on laskettu kaavalla 1. Toiminnallisen analyysin perusteella oli selvää, että sekundääristen osien määrää tuli pudottaa.

TAULUKKO 4. Alkuperäisen nivelkulmion toiminnallinen analyysi

<i>Toiminnallinen analyysi - alkuperäinen nivelkulmio</i>	
Luokka A	Luokka B
UNP 40x20	Aluslevy - 10kpl
Nivellevy BC	Seger-rengas - 10kpl
Nivellevy AD	Päätylevy
Niveltappi - 4kpl	Mutteri M8
L-rauta	Ruuvi M6x20 - 2kpl
L-raudan tukilevy	Mutteri M6 - 2kpl
Vetoakseli	Laakeriholkki
Tukilevy - Nivelkulmio	
A = 11	B = 27
DE	28,9

6.3.1 Valmistettavuus

Valmistettavuuden näkökulmasta kokoonpanon komponenteissa ei ollut suuria ongelmia. L-raudassa oleva aukko lukituskynnelle ja komponenteissa olevat H7-toleroidut reiät niveltapeille ja laakeriholkeille vaativat koneistuksen. H7-toleroituja reikiä voidaan valmistaa kalvamalla (Maaranen, 2004, s. 63), mutta se nostaa komponenttien hintoja. Niveltapin ja vetoakselin ja vetoakselin holkin sorvaaminen eivät tuota vaikeuksia. Niveltapin materiaalina on alumiinipronssi, joka on suhteellisen kallista materiaali ja jonka koneistettavuus ei ole yhtä hyvää kuin normaaleilla teräksisillä akselimateriaaleilla (Oy Johnson Metall AB, 2015).

Nivellevyt, L-raudan tukilevy ja nivelkulmion tukilevy voidaan valmistaa laserleikkamalla ne oikean vahvuisesta teräslevystä ja kalvaa tarvittavat reiät oikeaan mittaan ja toleranssiasemaan. Laserleikkauksen tarkkuus on noin $\pm 0,1$ mm (Matilainen, Parvianen, Havas, Hiitelmä & Hultin, 2011) kun vaatimus reiälle mitalla ja sen toleranssille on $10^{0,015}$ mm. Tarkkuus riittää kuitenkin hyvin siihen, että kalvamista yleensä edeltävä työvaihe, väljentäminen, voidaan jättää pois. Kalvaminen edellyttää noin 0,2 mm työväran jättämistä reikään (Sandvik, 2015), johon laserilla pystytään. Ruuvit, mutterit, Seeger-renkaat ja kevennysjouset ovat standardiosia, joiden saatavuus on hyvä.

6.3.2 Kokoonpantavuus

Nivelkulmion yläpäässä L-rauta ja tukilevy voidaan kasata ennen nivellevyjen ja nivel tappien lisäämistä, mikä helpottaa kokoonpantavuutta hiukan. Ruuveja asentaessa täytyy kohdistaa L-raudan ja tukilevyn reiät keskenään samalla lisäten näiden osien väliin kaksi aluslevyä per ruuvi. Aluslevyt jäävät kokonaan näiden osien väliin, jolloin aluslevyistä on lähes mahdoton pitää kiinni. Lopuksi ruuveihin kierretään mutterit, minkä jälkeen osista voidaan päästää irti. Nivelkulmion alapäässä tilanne on vielä heikompi sillä nivelkulmion alapäätä kasassa pitävät ruuvit ja aluslevyt voidaan asentaa vasta loppukokoonpanossa, koska nivelkulmio kiinnitetään tuolin runkoon samaisilla ruuveilla. Tällöin niveltapit ja -levyt täytyy asentaa ensiksi.

Kokoonpantavuus oli alkuperäisessä nivelkulmiossa heikkoa, kuten edellisestä kuvauksesta voi päätellä. Kokoonpantavuudesta tehtiin Lucasin kokoonpantavuusanalyysi

(taulukko 5). Taulukossa on lueteltu kokoonpanon työvaihe ja karkea kuvaus työvaiheesta. Pisteytys on suoritettu taulukon 2 mukaan. Indeksi on laskettu summaamalla kaikkien työvaiheiden pisteet yhteen ja asennettavuussuhde on laskettu kaavalla 3. Työvaiheissa 1–11 kokoonpannaan nivelkulmion alapää, 12–19 nivelkulmion yläpää ja työvaiheissa 22–27 yhdistetään nämä kaksi alakokoonpanoa nivelkulmioksi.

TAULUKKO 5. Alkuperäisen nivelkulmion kokoonpantavuusanalyysi

Kokoonpantavuusanalyysi - Alkuperäinen nivelkulmio

#	Työvaihe	Pisteet	#	Työvaihe	Pisteet
1	Kiinnitä UNP työtasolle	2	15	Aseta ruuvi 1	3
2	Hitsaa päätylevy	11,3	16	Asenna mutteri ruuvin 1	5,1
3	Asenna nivel tappi 1	2,1	17	Aseta 2kpl aluslevyjä	5,4
4	Asenna Seger nivel tappiin 1	3,7	18	Aseta ruuvi 2	3
5	Aseta nivellevy-BC	1,1	19	Asenna mutteri ruuvin 2	5,1
6	Aseta tukilevy	1,1	20	Aseta nivellevy BC	3,6
7	Asenna Seger nivel tappiin 1	3,7	21	Asenna nivel tappi 3	4,3
8	Aseta nivellevy-AD	5,4	22	Asenna Seger nivel tappiin 3	3,7
9	Asenna nivel tappi 2	4	23	Asenna seger nivel tappiin 3	3,7
10	Asenna Seger nivel tappiin 2	3,7	24	Aseta nivellevy AD	3,6
11	Asenna Seger nivel tappiin 2	3,7	25	Asenna nivel tappi 4	4,3
12	Kiinnitä L-rauta työtasolle	2	26	Asenna Seger nivel tappiin 4	3,7
13	Aseta L-raudan tukilevy	2,1	27	Asenna seger nivel tappiin 4	3,7
14	Aseta 2kpl aluslevyjä	5,4		Indeksi	103,5
				Asennettavuussuhde	7,39

Asennettavuussuhteeksi saadaan analyysillä 7,39. Lucasin teorian mukaan suhteen arvo tulisi olla enintään 2,5, joten nivelkulmion kokoonpantavuudessa ollaan hyvin kaukana ideaalista. Huonoimmat pisteet analyysi tuottaa päätylevyn hitsaamiselle ja aluslevyjen asettamiselle. Päätylevy on tarkoitus hitsata kiinni UNP -palkkiin eli tällöin mekanismin valmistajalta vaaditaan myös hitsauskykyä kuten MIG/MAG-laitteisto ja sen käyttäjä. Hitsaus on yleisesti ottaen kallis liitosmenetelmä kuten Juhani Lempiäinen & Jari Savolainen toteavat yleisen mielipiteen hitsauksesta: ”On myös sanottu, että paras hitsi on hitsi, jota ei ole olemassa ja että hitsi on kaikkein kalleinta olemassa olevaa metallia.” (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 84.)

Työvaiheita on lisäksi paljon (27 kpl), johtuen yksinkertaisesti komponenttien määrästä. Hyvänä ideana prototyypissä niveltapit on valmistettu alumiinipronssista, millä vältytään nivellevyjen erilliseltä laakeroinnilta. Nivel tappien aksiaalinen lukitus on toteutettu Seger-renkailla, joiden asennus on yleensä hankalaa, kuten taulukon 5 pisteytyksestä huomataan. Yhden niveltapin asennuksesta johtuvat pisteet ovat pienimmillään yhteensä 9,5.

6.4 Nivelkulmion tuotekehitys

Nivelkulmion tuotekehitys lähti hyvin nopeasti keskittymään osien määrän vähentämiseen, keskittyen etenkin turhiin liitososiin. Osien määrän vähentäminen parantaa kokoonpantavuutta vähentämällä työvaiheita. Nivelkulmion tuotekehityksessä ensisijaisena tavoitteena oli päästä eroon turhista aluslevyistä, päätylevyn hitsauksesta sekä miettimällä vaihtoehtoja niveltappien aksiaaliselle lukitukselle. Toisena tavoitteena oli parantaa nivelkulmion komponenttien valmistettavuutta.

Nivelkulmion yläpää oli vaikein kohde tuotekehitysprojektissa. Nivelkulmion yläpään on tarkoitus toimia kiinnityspisteenä istuinosaalle, käsituelta tulevalle vetovarrella ja nivellevyjen yläpäille sekä toimia vielä lukituskoukun vastinpintana. Lisähaasteen toi alkuperäiseen suunnitelmaan nähden vetovarren aksiaalisen etäisyyden kasvaminen nivelkulmion yläpäähän nähden. Kasvanut etäisyys lisää nivelkulmion yläpäähän kohdistunutta vääntöä, joka täytyi ottaa huomioon. Lisääntynyt vääntö akselissa aiheutti myös sen, että nivelkulmion yläpäässä sijaitseva laakeriholkin kestävyys pidemmän päälle ei ollut varmaa, sillä pintapaineet ja reunajännitykset kasvoivat laakerissa.

Projektin aikana selvitettiin mahdollisuutta pursottaa alumiinista sopivaa profiilia, jossa olisi ura nivellevyille ja L-profiilin muotoinen kylki johon tuolin istuinosa saataisiin kiinni. Tällöin koneistustarve olisi ollut pieni ja komponentti olisi lisäksi ollut kevyt. Yhteydenotto alumiiniprofiileja valmistavaan Purso Oy:hyn (Sähköpostiviesti ja puhelinsoitto tekniseen myyntiin 13.3.2015) toi selvennyksen pursotuksen käyttömahdollisuuden. Ongelmaksi tuli rajoitus, jossa uran syvyys ei voisi olla enempää kuin 3 kertaa uran leveys. Näin ollen uran leveys olisi kasvanut liian suureksi nykyisille nivellevyille ja suunnitelmasta jouduttiin luopumaan.

6.5 Nivelkulmion tuotekehityksen tulos

Uudessa nivelkulmion kokoonpanossa on 25 osaa per puoli (taulukko 6). Osien lukumäärä on tällöin lähes puolet vähemmän (46 %) kuin alkuperäisessä suunnitelmassa. Osien lukumäärän pieneneminen näkyy myös Lucasin toiminnallisessa analyysissä (taulukko 7). Toiminnallinen analyysi kertoo, että sekundääristä osista on päästy hyvin eroon. Konstruktion tehokkuuden arvoksi tulee 76,9, joka on parempi arvo kuin teorian suosittama.

TAULUKKO 6. Uuden nivelkulmion osaluettelo

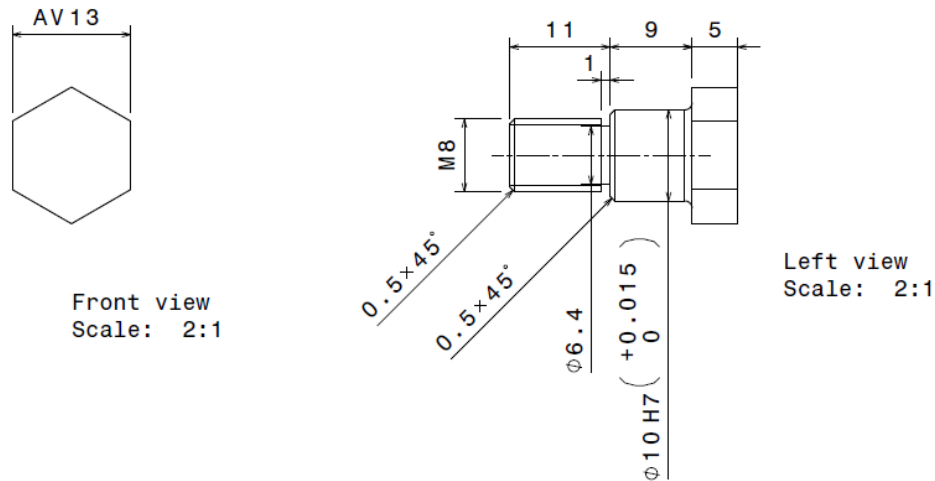
Nivelmekanismi - alapää		Nivelmekanismi - yläpää	
Osa	kpl	Osa	kpl
Nivelkulmion kiinnitys	1	Putkiprofiili	1
Nivellevy BC	1	Tukilevy	1
Nivellevy AD	1	Niveltappi	2
Niveltappi	2	Vetoakseli	1
Huonekaluruuvi	3	Mutteri M8	2
Lyöntimutteri	4	Ruuvi M8x25	1
Kevennysjousi	1	Puuruuvi	2
Jousen säätöruuvi	1	Jousen pidike	1
Yht.	14	Yht.	11

TAULUKKO 7. Uuden nivelkulmion toiminnallinen analyysi

<i>Toiminnallinen analyysi - Uusi nivelkulmio</i>	
Luokka A	Luokka B
Nivelkulmion kiinnitys	Mutteri M8 - 2kpl
Nivellevy BC	Ruuvi M8
Nivellevy AD	
Niveltappi - 4kpl	
Putkipalkki	
Tukilevy	
Vetoakseli	
A = 10	B = 3
DE	76,9

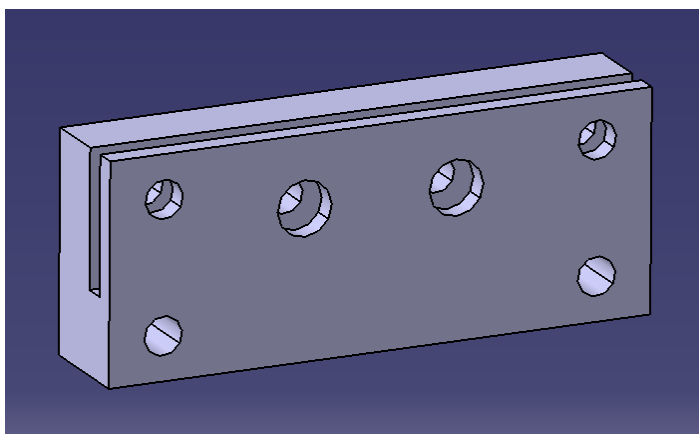
Sekundääristen osien poisto onnistui kolmella muutoksella, jotka olivat niveltappien muuttaminen, nivelkulmion alapään korvaaminen yhdellä osalla ja putkiprofiilin hyödyntäminen nivelkulmion yläpäässä. Niveltapit muutettiin ruuvityyppisiksi (kuva 10), jotka saadaan kiristettyä nivelkulmion kiinnityksessä oleviin kierteisiin. Niveltappeihin ei tällöin tarvita ollenkaan Seger-renkaita tai muita akselivarmistimia. Niveltapin val-

mistukseen tulee lisää työstövaiheita, mutta suhteellinen lisäys komponentin hintaan ottaen huomioon materiaalikustannus on hyväksyttävä. Samaa niveltappia voidaan käyttää sekä nivelkulmion ala- että yläpäässä.



KUVA 10. Niveltappin periaatepiirustus

Nivelkulmion kiinnitys tuolin runkoon on korvattu yhdellä, koneistetulla osalla (kuva 11). Tällöin kokoonpanossa ei tarvita ollenkaan erillisiä komponentteja, joilla saataisiin aikaiseksi nivellevyjien tarvitsema välys. Ura voidaan jyrsiä sopivalla kiekkojyrsimellä 20x40 lattarautaan joka on standardin mukainen profiili. Toisella koneistuskiinnityksellä voidaan koneistaa kaikki reiät ja kierteittää niveltappien kiinnityskohdat. Nivelkulmi- on kiinnityksestä suunniteltiin lisäksi päästä päähän symmetrinen, jolloin osaa voidaan käyttää molemmin puolin tuolia. Komponentin soveltuessa molemmille puolille tuolia, voidaan komponenttia tilata isompia eriä, jolloin hinta on edullisempi sekä osavali- koima ei kasva turhaan.



KUVA 11. Koneistettu nivelkulmion kiinnitys

Nivelkulmion yläpään saatiin aikaiseksi kokoonpanoa ja toimivuutta parantavia muutoksia. L-rauta ja tukilevy korvattiin putkilaserilla suorakaideputkesta leikatuksi profiiliksi ja laserilla leikattavaksi tukilevyksi. Tukilevy saadaan asemoitua tarkasti siinä olevien paikoituskynsien avulla putkiprofiiliin. Alihankkijaksi valikoituneella Puristeteos Oy:llä on putkilaser (Hankwang TL6015), joka on varustettu syöttölaitteella ja makasiinilla. Putkilaserilla on mahdollista leikata erilaisia putkimaisia profiileja ja muotoja näihin profiileihin. (Puristeteos Oy, 2015.) Mikäli niveltappien ja vetoakselin putkiprofiiliin kiinnittäminen tukilevy nähdään tarpeelliseksi lisäksi hitsata putkiprofiiliin, onnistuu se helposti. Hitsattavien osien ainevahvuudet ovat samat, ne ovat tarkasti asemoituna toisiinsa ja niiden mittatarkkuus on hyvä, jolloin hitsauksen suorittaminen ei tule olemaan vaikeaa.

Nivelkulmion yläpäässä niveltapit kiinnitetään muttereilla, joten putkiprofiiliin tai tukilevyyn ei tarvitse koneistaa tarkemman toleranssiaseman reikiä. Laserien hyvä leikkaustarkkuus ja ruuviliitos estävät niveltappien radiaaliset liikkeet. Vetoakseli suunniteltiin sellaiseksi, että siinä on olake, joka tukeutuu putkiprofiilin ulkopintaan ja se voidaan kiinnittää tukilevyn läpi tulevalla ruuvilla. Järjestelyllä saadaan siirrettyä vetovarren ja vetoakselin välinen laakerointi niin, että laakeria rasittaa vain vetorasitus.

Uudistetusta nivelkulmiosta tehtiin Lucasin DFA menetelmällä asennettavuusanalyysi (taulukko 8). Asennettavuussuhteessa ei päästä nykyisessäkään konstruktiossa teorian mukaiseen arvoon 2,5. Parannusta alkuperäiseen kokoonpanoon nähden on selvästi (4,7 < 7,39) ja työvaiheiden määrä putosi 27:stä 15:sta eli työvaiheita on 44 % vähemmän. Eroa kasvattaisi huomattavasti se, jos otettaisiin huomioon alkuperäisen nivelkulmion loppukokoonpano tuolin runkoon. Loppukokoonpanossa täytyisi asentaa 6 kpl aluslevyjä UNP:n ja tukilevyn väliin samalla ruuvaten mekanismi kiinni tuolin runkoon. Näitä ongelmia ei ole nykyisessä konstruktiossa.

TAULUKKO 8. Uuden nivelkulmion kiinnityksen asennettavuusanalyysi

Asennettavuusanalyysi - Uusi nivelkulmio		
#	Työvaihe	Pisteet
1	Aseta osa nivelkulmion kiinnitys työtasolle	1
2	Aseta nivellevy BC	2,1
3	Asenna niveltappi 1	5
4	Aseta nivellevy AD	2,1
5	Asenna niveltappi 2	5
6	Aseta putkiprofiili työtasolle	1
7	Aseta tukilevy	2,6
8	Aseta vetoakseli	2,1
9	Asenna M8-ruuvi	5,1
10	Aseta nivellevy BC	3,6
11	Asenna niveltappi 3	1,8
12	Asenna mutteri niveltappiin 3	5,1
13	Aseta nivellevy AD	3,6
14	Asenna niveltappi 3	1,8
15	Asenna mutteri niveltappiin 4	5,1
	Indeksi	47
	Asennettavuussuhde	4,7

6.6 Lukitusmekanismin lähtötilanne

Alkuperäinen lukitusmekanismi koostuu kolmesta alikokoonpanosta: kahdesta putkipalkista ja niitä yhdistävästä lukitusakselista. Putkipalkit kiinnittyvät tuolin runkoon ja toimivat lukitusakselin sekä ala-asennossa olevan istuinosan tukipisteinä. Lukitusakseli on liukulaakeroitu putkipalkkeihin. Lukitusakselin ja sen lukituskynsien tehtävänä on lukita istuinosaa ja käsitet kun käyttäjän paino ei ole istuinosalla. Alkuperäisessä lukitusmekanismin kokoonpanossa on 28 osaa (taulukko 9). Lukituskokoonpanosta tehtiin toiminnallinen analyysi (taulukko 10). Osaluettelon ja toiminnallisen analyysin perusteella (DE = 44) voidaan sanoa, että kokoonpanossa ei ole toiminnan kannalta paljoakaan turhia komponentteja ottaen huomioon lukitusmekanismin kiinnittämiseen tuolin runkoon tarvittavat komponentit.

TAULUKKO 9. Alkuperäisen lukitusmekanismin osaluettelo

Lukitusmekanismi	
Osa	kpl
Putkipalkki	2
Lukitusakseli	1
Laipallinen laakeriholkki	4
Kaksoisvääntöjousi	2
Lukituskyysi	2
Paikoitusholkki	2
Ruuvi M6	2
Mutteri M6	4
Huonekaluruuvi	8
Lukituslipare	1
Yht.	28

TAULUKKO 10. Alkuperäisen lukitusmekanismin toiminnallinen analyysi

<i>Toiminnallinen analyysi - Alkuperäinen lukitusmekanismi</i>	
Luokka A	Luokka B
Putkipalkki - 2kpl	Huonekaluruuvi - 8kpl
Liukulaakeri - 4kpl	Paikoitinholkki - 2kpl
Lukituskyysi - 2kpl	Ruuvi M6 - 2kpl
Vääntöjousi - 2kpl	Mutteri M6 - 2kpl
Lukituslipare	
A = 11	B = 14
DE	44,0

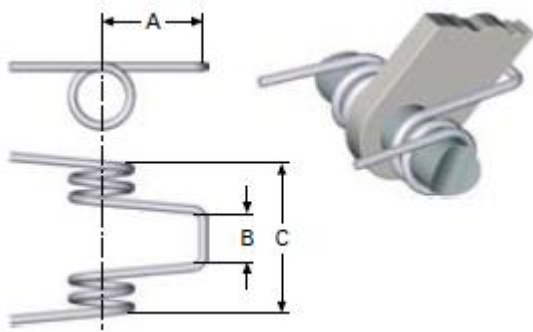
6.6.1 Valmistettavuus

Alkuperäisen lukitusmekanismin valmistettavuudessa löydettiin muutamia parannettava kohteita. Lukitusakseli on hyvin hoikka ja pitkä, akselin halkaisija on paksuimmillaankin vain 12 mm ja akselin pituus hiukan yli 500 mm. Akselin keskiosassa ei kuitenkaan ole työstötarvetta, joten akselin ollessa tuettuna molemmista päistään voidaan akselin molemmat päät (n. 60 mm) sorvata liukulaakereita varten suhteellisen helposti. Tämän jälkeen on koneistettava lukituskoukku varten tasopinta molempiin päihin akselia jyrskoneella.

Putkipalkkia saadaan valmiina profiilina ja se on ennen koneistusta katkaistava määrämittaansa salkopituudesta. Koneistuksena putkipalkkiin tarvitsee jyrsiä aukko lukituskoukun läpiviennille sekä reiät liukulaakereita varten. Liukulaakereiden reikiä koneistettaessa voidaan tehdä samalla kiinnitysruuviin reiät. Läpivientä jyrskittäessä voidaan samalla kiinnityksellä koneistaa reiät M6-ruuvia varten. M6-ruuvit ja niihin tulevat mutterit, kaksoisvääntäjät ja liukulaakerit ovat osto-osia. Lukituskyynsi on parasta valmistaa laserleikkaamalla monimutkaisesta profiilista johtuen. Laserleikkaamalla saadaan mittatarkka ja käyttövalmis komponentti edullisesti.

6.6.2 Kokoonpantavuus

Lukitusmekanismin asennettavuudessa huomio kiinnittyi ensimmäisenä lukitusjousena toimivan kaksoisvääntäjousen sijaistamiseen putkipalkin sisällä. Kaksoisvääntäjousi (kuva 12) on asennettu akselin ympärille ja vääntäjousen päät tukeutuvat putkipalkin sisäpintaan. Jousen keskellä sijaitseva korvake vääntää lukitusakselia kiinni lukituskyynen välityksellä. Ratkaisulla saadaan poistettua nerokkaasti ylimääräiset osat, mutta jousen saaminen pienessä tilassa oikeaan asentoon muiden osien ympärille on hyvin vaikeaa. Lisäksi putkipalkin sisään tulee asentaa lukituskyynen aksiaalisen liikkeen estävä paikoitusholkki.



KUVA 12. Kaksoisvääntäjousi (Lesjöfors, 2013, s. 216)

Liukulaakerit asennetaan putkipalkkiin prässäämällä ylimittainen liukulaakeriholkki H7-reikään. Lukituslipare on hitsattu akselin keskelle, 10 asteen kulmaan akselin päissä oleviin tasopintoihin nähden. Suoran latan hitsaaminen pyöreään akseliin tarkasti ilman hitsausjigiä on vaikeaa. Lisäksi hitsausvaatimus rajaa osan käytettävistä akselimateriaaleista pois kuten automaattiteräkset.

Loppukokoonpanossa lukitusmekanismi asemoidaan putkipalkkien kyljissä olevien reikien ja valmiiksi tuolin runkoihin lyötyjen iskumutterien kanssa kohdakkain ja kiristetään huonekaluruuveilla. Lukitusmekanismia siirrettäessä ja asemoidessa täytyy varoa akselin pois liukumista aksiaalisuunnassa putkipalkeista, sillä akselia ei ole lukittu kuin keskiosan puolella olevilla olakkeilla jotka tukeutuvat laippalaakeriin.

Lukitusmekanismista tehtiin kokoonpantavuusanalyysi (taulukko 11), jonka perusteella asennettavuussuhteeksi saadaan 7,92. Asennettavuussuhteen arvo ei ole kehuttava, haastavimpina työvaiheina on lukituslipareen hitsaaminen akseliin sekä vääntäjousien asentaminen. Analyysin perusteella tuotekehityksessä pyrittiin poistamaan lukituslipareen hitsaus akseliin ja helpottamaan vääntäjousien asentamista.

TAULUKKO 11. Alkuperäisen lukitusmekanismin kokoonpantavuusanalyysi

<i>Kokoonpantavuusanalyysi - Alkuperäinen lukitusmekanismi</i>					
#	Työvaihe	Pisteet	#	Työvaihe	Pisteet
1	Aseta putkipalkki 1 työpöydälle	1	15	Hitsaa lukituslipare akseliin	11,3
2	Asenna liukulaakeri 1	2,9	16	Aseta akseli putkipalkkiin 1	2,1
3	Käännä putkipalkki 1 ympäri	1	17	Asenna lukituskyynsi 1	4,8
4	Asenna liukulaakeri 2	2,9	18	Asenna vääntäjousi 1	6,1
5	Aseta ruuvi 1 putkipalkin 1 reikään	2,8	19	Asenna paikoitusholkki 1	4,1
6	Asenna mutteri 1	5,1	20	Aseta akseli putkipalkkiin 2	2,1
7	Asenna mutteri 2	5,1	21	Asenna lukituskyynsi 2	4,8
8	Aseta putkipalkki 2 työpöydälle	1	22	Asenna vääntäjousi 2	6,1
9	Asenna liukulaakeri 3	2,9	23	Asenna paikoitusholkki 2	4,1
10	Käännä putkipalkki 2 ympäri	1	24		
11	Asenna liukulaakeri 4	2,9	25		
12	Aseta ruuvi 2 putkipalkin 2 reikään	2,8	26		
13	Asenna mutteri 3	5,1	27		
14	Asenna mutteri 4	5,1		Indeksi	87,1
				Asennettavuussuhde	7,92

6.7 Lukitusmekanismin tuotekehitys

Lukitusmekanismin tuotekehityksessä paneuduttiin pääasiassa asennettavuuden parantamiseen, mutta myös valmistettavuuteen tuli hyviä muutoksia projektin loppuvaiheilla. Rakennetun prototyypin perusteella huomattiin pian, että nivelkulmion laskeutuessa alas putkipalkin päälle, metallin osuessa metalliin aiheutuu häiritsevä kolahdus, josta haluttiin päästä eroon. Näistä ongelmista ajateltiin päästävän eroon korvaamalla M6-ruuvit ja mutterit jonkinlaisella kumityynyllä, joka vaimentaa iskuja ja toimii samalla välyksen poistajana lukituskyynen ja nivelkulmion yläpään välistä.

Asennettavuutta haluttiin parantaa siirtämällä vääntäjouset putkipalkin ulkopuolelle. Tällöin akseliin tarvitsee lisätä mahdollisuus lukita vääntäjousen korvake, sekä kiinnittää vääntäjousen päät jotenkin. Toteutustapoina ajateltiin olevan putkisokan tai ruuvin käyttö vääntövartena akselissa. Tällöin akseliin täytyy koneistaa kaksi läpäreikää ja ruuvin tapauksessa mahdollisesti vielä kierteittäviä reiät, jos ei haluta käyttää muttereita ruu-

vien kiinnittämiseen. Vääntöjousien päät olisi voitu lukita käyttämällä lukitusmekanismin lähellä, tuolin rungossa olevaa poikki puuta. Ratkaisun toteuttaminen lisäisi komponenttien määrää ja monimutkaistaa akselin valmistamista, mutta helpottaa reilusti kokoonpanotyötä.

Lukituskyntien ja akselissa olevan, jyrityn tasopinnan valmistusteknisistä syistä johtuen näiden komponenttien välille jää välyys, josta haluttiin eroon. Ongelma korostuisi etenkin siinä vaiheessa, kun vääntöjousi siirretään pois putkipalkin sisältä. Vääntöjousi estää osaltaan lukituskyntien liikkumisen akselilla.

6.8 Lukitusmekanismin tuotekehityksen tulos

Tuotekehitysprojektin tuloksena lukitusmekanismista saatiin poistettua suurimmat valmistettavuutta haittaavat tekijät ja helpotettua kokoonpanotyötä merkittävästi. Komponenttien lukumäärä kasvoi alkuperäiseen suunnitelmaan nähden kahdella (taulukko 12). Tätä voidaan pitää kuitenkin hyvänä suorituksena, sillä samalla lukitusmekanismin toimintaa saatiin parannettua. Lukitusmekanismista tehtiin myös toiminnallinen analyysi (taulukko 13), jonka tulos on 58,6. Analyysin tulos on parempi kuin alkuperäisen ja hyvin lähellä tavoitteellista arvoa 60.

TAULUKKO 12. Nykyisen lukitusmekanismin osaluettelo

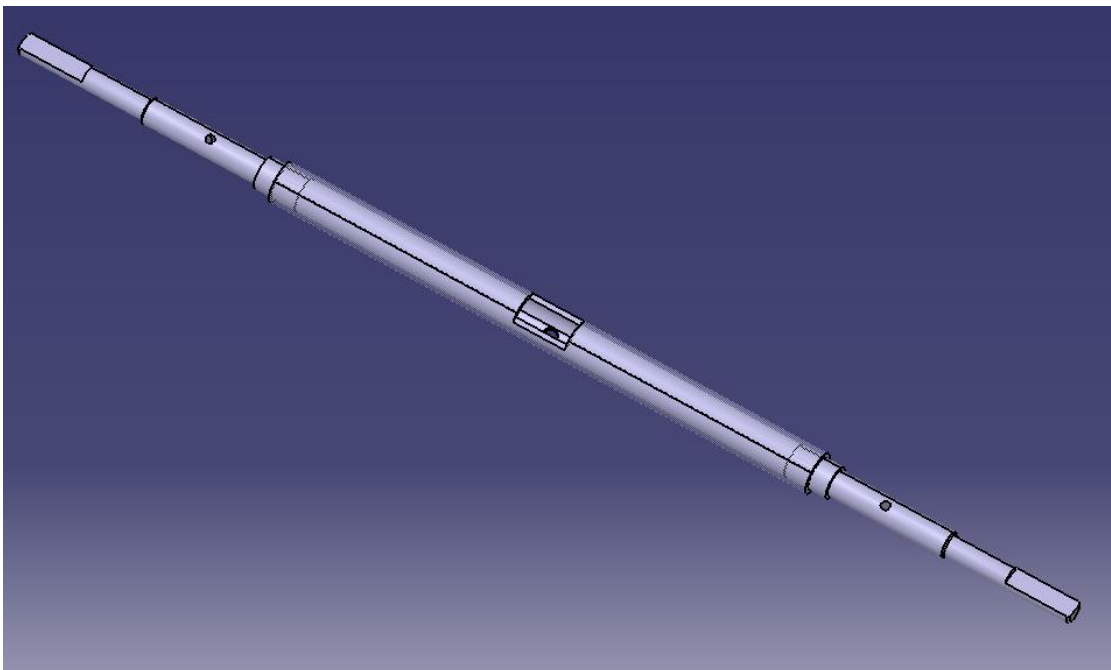
Lukitusmekanismi	
Osa	kpl
Putkipalkki	2
Pyöröputki	1
Lukitusakselin pää - vasen	1
Lukitusakselin pää - oikea	1
Laipallinen laakeriholkki	4
Kaksoisvääntäjousi	2
Lukituskyynsi	2
Asetusruuvi	2
Ruuvi M6	3
Niittimutteri	1
Huonekaluruuvi	8
Kumitulppa	2
Lukituslipare	1
Yht.	30

TAULUKKO 13. Uuden lukitusmekanismin toiminnallinen analyysi

<i>Toiminnallinen analyysi - Uusi lukitusmekanismi</i>	
Luokka A	Luokka B
Putkipalkki - 2kpl	Huonekaluruuvi - 8kpl
Liukulaakeri - 4kpl	Pidätinruuvi - 2kpl
Lukituskyynsi - 2kpl	Niittimutteri
Vääntäjousi - 2kpl	Ruuvi M5 - 1kpl
Lukituslipare	
Kumitulppa - 2kpl	
Lukitusakselin pää - 2kpl	
Ruuvi M5 - 2kpl	
A = 17	B = 12
DE	58,6

Lukituskynteen päätettiin koneistaa kierteitetty reikä kynnen alapinnasta reikään asti. Tähän kierteeseen voidaan kiinnittää tylppäpäinen asetusruuvi, jolla lukituskyntsi saadaan kiristettyä akselin pintaa vasten. Ratkaisulla päästään eroon välyksestä sekä painkoitusholkin käytössä lukituskyntsen aksiaalisen liikkeen estämisessä. Osa laserleikatun komponentin hyödyistä menetetään, kun sitä joudutaan erikseen koneistamaan. Toisaalta lukituskyntsen alapään muoto on mahdollista muokata sellaiseksi, että kynnen aseointi koneistusta varten on helppoa.

Lukitusakseli päädyttiin kasaamaan kolmesta komponentista: keskellä sijoittuvasta pyöröputkesta ja molempiin päihin pyöröputkea hitsattavista lukitusakselin päistä (kuva 13). Ratkaisulla saadaan lyhennettyä huomattavasti sorvattavien akselien pituutta samalla kun mahdollistetaan nopea ja helppo tuolin leveyden säätäminen asiakaskohtaisesti mikäli tällainen tarve tulee. Akselien pituuden lyhentyessä akselit on huomattavasti helpompia valmistaa. Hitsausjigissä akselin päät asennetaan oikealle etäisyydelle toisistaan ja oikeaan kulmaan pyöröputkeen nähden. Pyöröputkeen voidaan putkilaserilla leikata olake lukituslipareille ja reikä niittimutterille, jolla lukituslipare voidaan kiinnittää akseliin ilman hitsausta.



KUVA 13. Lukitusakselin viimeisimmän version 3D-malli

Putkilaser poisti kokonaan jyrinnän putkipalkin valmistuksesta. Tähän päästiin valitsemalla Iguksen tuotevalikoimasta liukulaakeriksi Clip-tyyppinen liukulaakeri (kuva 14) joka on suunniteltu huomioimaan ohutlevytyössä jäävät valmistustoleranssit. Putkilaserilla täytyy lukituskynteen muutoksen takia leikata putkiprofiilin pohjaan reikä, josta asetusruuvi on mahdollista asentaa lukituskynteen. Tämä ei kuitenkaan nosta valmistuskustannuksia lähes ollenkaan.



KUVA 14. Clip-on tyyppinen liukulaakeri (IGUS Eu, s. 627)

Uudesta lukitusmekanismista ja sen kokoonpanosta tehtiin kokoonpantavuusanalyysi (taulukko 14). Kokoonpantavuussuhde on noin puolet pienempi kuin alkuperäisen lukitusmekanismin, mutta suositeltavaan asennussuhteeseen ei vielä päästä. Suurimpina ongelmina nykyisessä mekaniismissa on akselinpäiden hitsaus putkeen ja ruuvien asentaminen lukitusakselille. Voidaan kuitenkin todeta, että uusi mekaniismi paremmin kokoonpantavissa ja komponenttien valmistettavuus on parempi kuin alkuperäisellä.

TAULUKKO 14. Uuden lukitusmekanismin kokoonpantavuusanalyysi

<i>Kokoonpantavuusanalyysi - Uusi lukitusmekaniismi</i>					
#	Työvaihe	Pisteet	#	Työvaihe	Pisteet
1	Aseta putkiprofiili hitsausjigiin	1	13	Asenna liukulaakeri 1 putkipalkkiin 1	1,1
2	Aseta akselinpää 1	1,1	14	Asenna liukulaakeri 2 putkipalkkiin 1	1,1
3	Aseta akselinpää 2	1,1	15	Asenna liukulaakeri 3 putkipalkkiin 2	1,1
4	Hitsaa akselinpää 1	6,6	16	Asenna liukulaakeri 4 putkipalkkiin 2	1,1
5	Hitsaa akselinpää 2	6,6	17	Aseta akseli putkipalkkiin 1	2,1
6	Asenna niittimutteri putkiprofiiliin	2,3	18	Asenna lukituskyntsi 1	4,8
7	Aseta lukituslipare	2	19	Asenna pidätinruuvi	5
8	Asenna ruuvi 1	5	20	Aseta akseli putkipalkkiin 2	2,1
9	Aseta vääntäjousi 1 akselille	1,1	21	Asenna lukituskyntsi 2	4,8
10	Asenna ruuvi 2	5	22	Asenna pidätinruuvi 2	5
11	Aseta vääntäjousi 2 akselille	1,1	23	Asenna kumitulppa 1	1,6
12	Asenna ruuvi 3	5	24	Asenna kumitulppa 2	1,6
				Indeksi	67,1
				Asennettavuussuhde	3,95

6.9 Käsituen lähtötilanne

Käsituen mekanismin lähtötilanne oli alkuperäisen konstruktion perusteella puutteellinen, laakerointiin tai komponenttien paikallaan pysymiseen ei ollut tehty kaikkia mekanismin toiminnan kannalta tarpeellisia rakenteita. Kokoonpano koostuu teräksisestä särmätystä käsituesta, käsituen tukipisteenä toimivasta alumiinisesta neliötangosta ja käsituelta voiman alas nivelkulmiolle välittävästä vetovarresta sekä kahdesta akselistä. Kaikki komponentit ovat hyvin valmistettavia ja yksinkertaisia.

Välyksien poistosta aiheutuneet muutokset mutkistivat valmistettavuutta ja asennettavuutta alkuperäisessä suunnitelmasta niin paljon, että konstruktiota lähdettiin kehittämään reilusti, unohtaen alkuperäiset suunnitelmat. Taulukossa (taulukko 15) on alkuperäisen nivelkulmion osaluettelo, lisättyinä muutamilla muutoksilla, joilla mekanismi toimisi lähes halutunlaisesti. Komponentteja on 17 kpl per puoli. Alkuperäisestä käsituesta tehtiin Lucasin konstruktion tehokkuuden analyysi (taulukko 16), jonka perusteella voidaan todeta tehokkuuden olevan hyvä, muttei erinomainen.

TAULUKKO 15. Alkuperäisen käsituen mekanismin kokoonpanon osaluettelo

Käsituki	
Osa	kpl
Käsituki	1
Käsituen kiinnitys	1
Vetovarsi	1
Käsituen akseli	2
Huonekaluruuvi	2
Iskumutteri	2
Saksisokka	2
Vetovarren paikoitinholkki	2
Segeerengas	1
Liukulaakeri	3
Yht.	17

TAULUKKO 16. Alkuperäisen käsituen toiminnallinen analyysi

<i>Toiminnallinen analyysi -Alkuperäinen käsituki</i>	
Luokka A	Luokka B
Käsituki	Huonekaluruuvi - 2kpl
Käsituen kiinnitys	Lyöntimutteri - 2kpl
Käsituen akseli - 2kpl	Vetovarren paikoitinholkki - 2kpl
Liukulaakeri - 3kpl	Segeerengas
Vetovarsi	Saksisokka - 2kpl
A = 8	B = 9
DE	47,1

6.9.1 Valmistettavuus

Valmistettavuuden näkökulmasta käsituen tilanne oli kaikista alikokoonpanoista paras. Vetovarsi ja käsituen aihio voidaan leikata laserilla teräslevystä ja käsituen akseli on helposti sorvattavissa oleva akseli, johon jyrsitään tasopinnat molempiin päihin. Vetovarteen kalvetaan akseleille H7-toleranssin reiät. Käsituen aihio on yksinkertainen särmätä. Käsituen kiinnitys voidaan valmistaa katkaisemalla neliöpalkki määrämittaan, jyrsimällä yläpään viisteet ja koneistaa läpivienti akselille (poraus, väljentäminen, kalvaminen). Prototyypissä ei kuitenkaan ollut huomioitu laakeroinnin tarvetta, vaan akselointi oli metalli metallia vasten, mikä ei ollut toimiva ratkaisu.

6.9.2 Kokoonpantavuus

Käsituen mekanismin kokoonpano on yksinkertaista: käsituen tuki kiinnitetään tuolin runkoon huonekaluruuveilla ja iskumuttereilla, käsituki akseloidaan tukeen ja akseli varmistetaan saksisokalla. Vetovarsi akseloidaan käsitukeen samalla tavalla ja vetovarsi asemoidaan akselille paikoitusholkeilla. Lopuksi vetovarren toinen pää kiinnitetään nivelkulmiossa olevaan vetoakseliin ja varmistetaan Seger-renkaalla. Saksisokkien asennus on aikaa vievää ja Seger-renkaan asentaminen nivelkulmion alapäässä sijaitsevaan vetoakseliin on vaikeaa, sillä asennus joudutaan suorittamaan alhaalta päin eikä akselin pään ja tuolin rungon välissä ole paljoa tilaa.

Kokoonpantavuudesta tehtiin kokoonpantavuusanalyysi (taulukko 17). Analyysin perusteella voidaan todeta, että suurimmat parannukset kokoonpantavuuteen saadaan poistamalla saksisokat kokoonpanosta, mutta myös laakeroinnin toteutukseen on syytä keskittyä.

TAULUKKO 17. Alkuperäisen käsituen kokoonpantavuusanalyysi

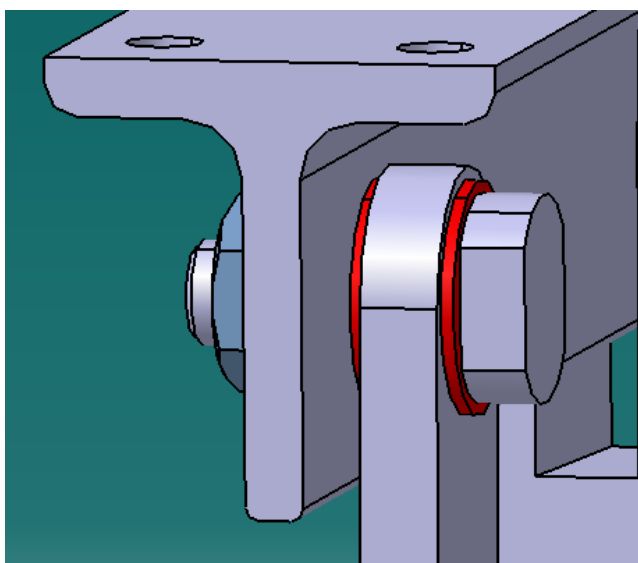
<i>Kokoonpantavuusanalyysi - Alkuperäinen käsituki</i>					
#	Työvaihe	Pisteet	#	Työvaihe	Pisteet
1	Aseta käsituen kiinnitys työtasolle	1	8	Asenna saksisokka 1 akseliin 1	6,3
2	Asenna liukulaakeri 1	2,9	9	Asenna liukulaakeri 3 vetovarteen	2,9
3	Käännä käsituen kiinnitys	1	10	Aseta paikoitinholkki 1	2,1
4	Asenna liukulaakeri 2	2,9	11	Aseta vetovarsi käsitukeen	2,1
5	Kiinnitä käsituen kiinnitys työtasolle	2	12	Aseta akseli 2	3,5
6	Aseta käsituki	2	13	Aseta paikoitinholkki 2	2,1
7	Aseta akseli 1	2,5	14	Asenna saksisokka 3 akseliin 2	6,3
				Indeksi	39,6
				Asennettavuussuhde	4,95

6.10 Käsituen tuotekehitys

Asennettavuudessa parannuskohteiksi otettiin analyysien perusteella saksisokkien ja vetovarren paikoitinholkkien poistaminen vetovarren yläpäästä. Käsituen ja käsituen kiinnityksen väliset aksiaaliset välykset haluttiin minimoida, sillä liike oli prototyypissä liian suuri tuotteen laatuvaikutelman kannalta. Eri komponenttien välisiin laakerointeihin täytyi kehittää toimivat ratkaisut.

Ongelmana käsituen tuotekehityksessä oli se, että kaikki käytetyt ratkaisut tuli olla mahdollista piilottaa käsituen päälle tulevan puisen kädensijan sisään, joten tilaa ei ollut aina käytettävissä haluttua määrää, etenkin kun prototyypissä käytettyä käsituen leveyttä haluttiin kaventaa entisestään. Valmistettavuuden puolesta käsituen komponenteissa ei nähty ongelmia, mutta tuotekehitysprojektin aikana uusia komponentteja suunnitellessa täytyi valmistettavuuteen kiinnittämään huomiota.

Aksiaalisten välysten poistoon olisi voitu käyttää erilaisia holkkeja, akselivarmistimia tai erilaisia lukkoja, mutta lopulta päädyttiin ratkaisuun, jossa laippalaakereilla muodostetaan kappaleiden välille liukupinnat ja samalla laakerilla hoidetaan radiaalinen laakerointi (kuva 15). Kuvassa näkyy periaate, jolla voidaan hoitaa sekä aksiaalinen, että radiaalinen laakerointi laippalaakereilla, laakerit on kuvassa osoitettu punaisella värillä. Aksiaaliset välykset saadaan minimoitua kiristämällä mutteri tai ruuvi niin, että välykset poistuvat, mutta osat kuitenkin pääsevät kääntymään toisiinsa nähden.



KUVA 15. Periaate yhtäaikaiselle laakeroinnille

6.11 Käsituen tuotekehityksen tulos

Käsituen tuotekehitys oli vaikeaa, ulkonäölliset rajoitteet ja tilanpuute sekä tuolin rungosta johtuneet geometriamuutokset aiheuttivat päänvaivaa projektissa. Lopulta konstruktiosta saatiin toimiva. Päätoimintaperiaate pysyi alkuperäisen konstruktion mukaisena, jossa käsituki on akseloitu tukeen, vetovarsi on akseloitu käsitukeen sekä kiinnitetty alas nivelkulmioon. Komponenttimäärä pysyi täysin samana verraten alkuperäiseen kokoonpanoon (taulukko 18), mikä on hyvä suoritus ottaen huomioon, että konstruktiossa poistettiin kasa erinäisiä välyksiä. Kokoonpanosta tehtiin lisäksi toiminnallinen analyysi (taulukko 19). Uuden konstruktion tehokkuus on hyvällä tasolla, yli suosituksen ja etenkin parempi kuin alkuperäisen.

TAULUKKO 18. Nykyisen käsituen osaluettelo

Käsituki	
Osa	kpl
Käsituki	1
Käsituen kiinnitys	1
Olakeruuvi	2
Huonekaluruuvi	2
Laippalaakeri	4
Painelaakeri	1
Akselivarmistin	1
Mutteri M8	1
Yht.	13

TAULUKKO 19. Uuden käsituen toiminnallinen analyysi

Toiminnallinen analyysi -Uusi käsituki	
Luokka A	Luokka B
Käsituki	Huonekaluruuvi - 2kpl
Käsituen kiinnitys	Lyöntimutteri - 2kpl
Olakeruuvi - 2kpl	Akselivarmistin
Liukulaakeri - 4kpl	Aluslevy
Vetovarsi	
Painelaakeri	
A = 12	B = 6
DE	66,7

Käsituen profiiliksi muutettiin L-profiilia muistuttava profiili. Aihio voidaan leikata laserilla ja aihio särmätään. H7-toleranssin reiät kalvetaan liukulaakereita varten. Käsituki ja vetovarsi saadaan sijoitettua toisiinsa nähden keskilinjalle, jolloin akseleissa ei esiinny turhaa taivutusta ja käsituen ulkonäkökin pysyy halutun kaltaisena.

Käsituen akselit muutettiin ruuvityyppisiksi, jolloin käsituen kiinnitykseen koneistetaan kierre ja vetovarren tapauksessa kiinnitys tapahtuu mutterilla käsituen toiselta puolelta. Näillä muutoksilla saadaan pois ylimääräiset aksiaaliset välykset kun ruuvilla tai mutterilla voidaan poistaa kiristämällä hävittää suurimmat aksiaaliset välykset. Välystä jätetään kuitenkin niin että komponentit pääsevät kääntymään toisiinsa nähden. Pienillä komponenttien mittamuutoksilla mahdollistettiin se, että akseleina voitiin käyttää molemmissa kohdissa mekanismia olakeruuveja (kuva 16). Olakeruuvit ovat teollisesti valmistettuja, niiden olakkeen mittatarkkuus ja pinnanlaatu on hyvä. Olakeruuvien etuna on lisäksi se, että olake on karkaistu, mikä on hyvä asia liukulaakerin keston kannalta. Ratkaisulla päästiin eroon käsituen akseleiden valmistuksesta mikä on aina positiivista.



KUVA 16. Olakeruuvi (Kipp, 2015, s. 1)

Käsituen kiinnityksessä päästiin eroon kaikista jyrsinnoista. Käsituki mahtuu kääntymään ilman tangon yläpäässä olevia viisteistä eikä erillistä uraa käsituille tarvitse koneistaa. Yhdellä laippalaakerilla ja painelevyllä saadaan poistettua käsituen aksiaaliset välykset kun käsituki kiristetään olakeruuvilla.

Käsituen kokoonpanosta tehtiin lopuksi kokoonpantavuuden analyysi Lucasin DFA-menetelmällä (taulukko 20). Analyysi näyttää, että kokoonpantavuutta saatiin parannettua lähes kahdella yksiköllä ($3,05 < 4,95$). Analyysin perusteella suurimmat ongelmat nykyisessä kokoonpanossa ovat olakeruuvien ja neljän liukulaakerin asennuksessa, muita suuria ongelmia kokoonpanossa ei ole. Toisaalta liukulaakerit voidaan asentaa vetovarteen että käsitukeen yhdestä suunnasta, ilman tarvetta pääkomponentin kääntämiselle.

TAULUKKO 20. Uuden käsituen kokoonpantavuusanalyysi

<i>Kokoonpantavuusanalyysi - Uusi käsituki</i>					
#	Työvaihe	Pisteet	#	Työvaihe	Pisteet
1	Aseta käsituki työtasolle	1	8	Aseta vetovarsi työtasolle	1
2	Asenna liukulaakeri 1	2,9	9	Asenna liukulaakeri 3	2,9
3	Asenna liukulaakeri 2	2,9	10	Asenna liukulaakeri 4	2,9
4	Kiinnitä käsituen kiinnitys työtasolle	2	11	Aseta vetovarsi käsitukeen	2
5	Kohdista käsituki	2	12	Aseta olakeruuvi 2	1,7
6	Aseta painelaakeri	3,2	13	Aseta aluslevy	1,1
7	Asenna olakeruuvi 1	5	14	Asenna mutteri olakeruuviin 2	6
				Indeksi	36,6
				Asennettavuussuhde	3,05

6.12 Yhteenveto

Tuotekehitysprojektin aikana saatiin parannettua komponenttien valmistettavuutta ja etenkin konstruktion kokoonpantavuutta. Komponenttimäärä ja valikoima pienenivät, sekä osto-osissa löydettiin parempia ja halvempia vaihtoehtoja alkuperäisille valinnoille. Joistakin komponenteista tuli kuitenkin kalliimpia valmistaa, mutta nämä asiat hyväksyttiin laadun ja kokoonpantavuuden paranemisen johdosta. Komponenttimääristä, kokoonpanojen tehokkuudesta ja asennettavuudesta koottiin yhteenvedot (taulukko 21 ja taulukko 22). Mekaanisten kokoonpanojen yhteenlaskettu komponenttimäärä on lähes kolmanneksen pienempi ja kaikkien konstruktion tehokkuus ja kokoonpantavuus ovat paremmat.

TAULUKKO 21. Yhteenveto komponenttien lukumäärästä

<i>Yhteenveto - Komponenttien lukumäärä</i>			
Kokoonpano	Alkuperäinen (kpl)	Uusi (kpl)	kpl/tuoli
Nivelkulmio	46	25	2
Lukitusmekanismi	28	30	1
Käsituki	17	14	2
Yht.	154	108	

TAULUKKO 22. Yhteenveto alikokoonpanojen tehokkuudesta ja kokoonpantavuudesta

<i>Yhteenveto - Konstruktion tehokkuus ja kokoonpantavuussuhde</i>						
Kokoonpano	DE			Kokoonpantavuussuhde		
	Alkuperäinen	Uusi	Tavoite	Alkuperäinen	Uusi	Tavoite
Nivelkulmio	28,9	76,9	60	7,39	4,7	2,5
Lukitusmekanismi	44	58,6	60	7,92	4,0	2,5
Käsituki	47,1	66,7	60	4,95	3,1	2,5

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa uuden Armi Aktiivituolin mekanismin valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta. Parannuksia saatiin aikaiseksi kaikissa alikokoonpanoissa, etenkin nivelkulmiossa ja lukitusmekanismeissa. Käsituen tapauksessa ulkonäköseikat vaikeuttivat tuotekehitystä, mutta myös siinä onnistuttiin.

Tuotekehitysprojektin tavoitteena oli saada aikaiseksi tuotantovalmis mekanismi, joka voitaisiin testauksen jälkeen tuoda markkinoille. Opinnäytetyön valmistumisen aikaan mekanismista ollaan valmistamassa prototyyppiä, jonka toiminta voidaan testata ja lopukokoonpanon jälkeen suorittaa rasiustestaukset ja varmistua mekanismin kestävydestä standardin määräämillä kuormituksilla. Mikäli testauksien jälkeen ei esiinny muutostarpeita, mekanismi on valmis tuotantoon. Suurin työ tuotekehitysprojektissa on takanapäin, mutta on mahdollista, että jotain muutoksia on vielä luvassa komponentteihin tai kokoonpanoon.

Konstruktion parantamiseen jäi vielä varaa. Nivelkulmiossa jatkokehitystä tulisi miettiä etenkin nivelkulmion yläpään kohdalla. Mikäli tuotantomäärät kasvavat, on syytä miettiä sopivan profiilin valmistamista joko ohutlevytyönä tai jonakin pursotuksena. Lisäksi erilaisista ruuviliitoksista kannattaa pyrkiä eroon, mikäli se onnistuu ilman tuotantokustannusten nousua.

Lukitusmekanismeissa tulisi miettiä, onko akselinpäiden kiinnitykselle putkeen jotain muuta mahdollisuutta kuin hitsaaminen, tai onko ylipäätään järkevää käyttää kahta erillistä lukitusmekanismia eri puolilla tuolin runkoa tai onko lukituskynsien pakko olla erillinen komponentti akselilla, vai voisiko se olla jonkinlainen ohutlevykonstruktio.

Käsituen tilanne on nykyisellään suhteellisen hyvä. Mikäli käsitukea halutaan parantaa, kannattaa miettiä käsituen kiinnityksen korvaamista jollakin putkimaisella komponentilla, jolloin säästetään materiaalia ja konstruktiota tulee huomattavasti kevyempi. Komponenttien laakerointiin tulisi selvittää mahdollisuus mittatilausosien teettämiseen, jolloin välttyttäisiin kahdelta laakerilta akselia kohden ja joiden asentamisen takia ei tarvitse koneistaa H7-toleranssin reikiä.

LÄHTEET

Boothroyd, G., Dewhurst, W. & Knight, W. 2001. Product Design for Manufacture and Assembly. 2. painos. New York: Marcel Dekker Inc.

Corrado, P., 2001. Design for Manufacturing. A Structured Approach. Boston: Butterworth-Heinemann.

Huang, G., 1996. Design for X. Concurrent engineering imperatives. Dordrecht: Springer Science & Business Media.

Igus EU. 1. Iglidur plastics –tuoteluettelo. Pdf-tiedosto. Tulostettu 11. 12 2014.
<http://www.igus.eu/Downloads#>

Kipp. 2015. Shoulder screws similar to DIN ISO 7379. K0705-datalehti. Pdf-tiedosto. Tulostettu 15.4.2015.
http://www.kipp.com/xs_db/DOKUMENT_DB/www/KIPP_DE_CH_PL/BEDIENTEILE/DataSheet/en/K07/K0705_Datasheet_14580--en.pdf

Lempiäinen & Savolainen, 2003. Hyvin suunniteltu – puoliksi valmistettu. Helsinki: Hakapaino Oy

Lesjöfors Springs Oy. 2013. Jousiluettelo numero 13. Pdf-tiedosto. Tulostettu 3.12.2014. <http://www.lesjoforsab.com/technical-information/catalogues.asp>

Maaranen, K., 2004. Koneistustekniikat. 5. painos. Porvoo: WS-Boowell.

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Helsinki: Teknologianinfo Teknova Oy

Mital, A., Desai, A., Subramanian, A. & Mital, A. 2014. Product Development. A Structured Approach to Consumer Product Development, Design, and Manufacture. 2. painos. Amsterdam: Elsevier

Oy Johnson Metall AB, tekninen myynti. 2015. Puhelinkeskustelu 17.2.2015. Petri Sutinen.

Oy Johnson Metall AB. 2014. Tuoteluettelo. Pronssihiot ja laakerit. Pdf-tiedosto. Tulostettu 11.12.2014. http://www.johnson-metall.fi/wp-content/uploads/2014/09/Johnson_Tuoteluettelo_FIN_9-2014.pdf

Puristeteos Oy. Suunnittelusta tuotantoon. Www-sivu. Tulostettu 9.4.2015.
<http://puristeteos.fi/index.php/suunnittelusta-tuotantoon/tuotanto>

Purso Oy, tekninen myynti. 2015. Sähköpostiviesti ja puhelinsoitto 13.3.2015. Petri Sutinen.

Sandvik Coromant. Tietotaito, kalvinta, työvara. Tulostettu 14.1.2015.
http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/reaming/how_to_apply/stock_removal/pages/default.aspx

Susman, G. 1992. Integrating Design and Manufacturing for Competitive Advantage. New York: Oxford University Press Inc.

TamErgo Oy. 2014. Armi Aktiivituoli. Www-sivusto. Tulostettu 15.2.2015.
<http://www.armi-aktiivituoli.fi/>