

Essi Lepistö

Tuotantoautomaation huomioiminen tuotesuunnittelussa

Opinnäytetyö

Kevät 2017

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Essi Lepistö

Työn nimi: Tuotantoautomaation huomioiminen tuotesuunnittelussa

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 64

Pienjännitekytkimien tuotesuunnitteluhankkeissa käytetään yleensä valmistettavuus- ja kokoonpantavuusanalyysijä varmistamaan kustannustehokas lopputulos. Analyysissä käytetään pääsääntöisesti toimittajaverkoston osaamista, koska osat valmistetaan alihankintana. Kokoonpanoanalyysit voidaan jakaa loppukokoonpanon ja moduulien/osakokonaisuuksien kokoonpanoanalyysihin. Nämä analyysit tehdään pääsääntöisesti ABB:n tuotannossa ja analyysien tulokset huomioidaan suunnittelussa. Mahdollisuuksien mukaan nämä analyysit tehdään jo suunnittelun alkuvaiheessa, ensimmäisten toiminnallisten protokierrosten yhteydessä. Tällä hetkellä suunnittelijoilla ei ole työkalua käytettävissä, että jo suunnitteluvaiheessa tulisi automaatio huomioitua tuotteen/osien rakenteessa. Tämän tarpeen pohjalta luotiin, mukaillen DFA2-metodia, työkalu, jonka avulla voidaan jatkossa analysoida tuotteen toimivuus automaatioon. Ensimmäisen analyysikierroksen jälkeen voitiin päätellä, että työkalu tulee suunnittelijoille tarpeeseen.

Avainsanat: Tuotantoautomaatio, tuotekehitys

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Essi Lepistö

Title of thesis: Production Automation in Product Development

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2017 Number of pages: 64

When designing low voltage switches manufacturing and assembly analyzes are used to assure a cost effective result. In the analysis the knowhow of the supplier network is used as the production of parts is usually outsourced. The different analyzes can be divided into final assembly and module/subassembly analyzes. These analyzes are mostly made of ABB production and the results are taken into account in design. These analyzes are made as early as possible to the first functional prototype in the beginning of design work.

At the moment the designers don't have any tools to use at the beginning of design work, when they should take into account the possibility of automation in the product or part structure. This need was noticed and the DFA2 method was created to be used as a tool when estimating the functionality of a part or a product in automatic assembly. After the first analysis round it was clear that the tool answered the designers' needs.

Keywords: Production automation, product development

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ.....	3
KUVA-, KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO.....	5
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET	9
1 JOHDANTO.....	10
1.1 Työn tausta	10
1.2 Työn tavoite ja rajaus	10
1.3 Työn rakenne	11
1.4 Yritysesittely.....	11
2 TUOTESUUNNITTELUN YHTEYS KOKOONPANO- AUTOMAATIOON	13
2.1 Automaattinen kokoonpano	13
2.2 Kokoonpanoautomaation edistäminen.....	14
2.3 Tuoterakenteen vaikutus kokoonpanoon	16
3 DESIGN FOR MANUFACTURABILITY ELI DFM	17
3.1 Automaation välttämättömyys	17
3.2 DFM:n vaikutus kustannuksiin	18
3.3 Tuotesuunnittelun ja valmistuksen yhteys.....	19
3.4 Valmistettavuuden parantaminen.....	21
4 DESIGN FOR ASSEMBLY ELI DFA	23
4.1 Osien välttämättömyys.....	23
4.2 Osien kokoonpanosuunnat ja käsiteltävyys	25
4.3 Kokoonpanon laadunvalvonta.....	26
4.4 Syöttömenetelmien vaikutus osan konstruktion	26
4.4.1 Hakautuminen.....	27
4.4.2 Painopisteen käyttäminen erotteluun.....	28
4.4.3 Kiipeämisen estäminen.....	29
4.4.4 Symmetrian hyväksikäyttö	30
4.4.5 Syöttäminen pinosta	33

4.5	Robottiikan käyttö kokoonpanossa	34
5	DESIGN FOR AUTOMATIC ASSEMBLY ELI DFAA.....	36
5.1	Tuotetaso, osien määrän vähentäminen.....	38
5.2	Osataso, automaation mahdollistaminen	42
6	KOKOONPANTAVUUDEN ARVIOINTI (TYÖKALUT)	53
6.1	Suunnittelun säännöt	53
6.2	Tarkistuslistat.....	54
7	TUOTANTOAUTOMAATION TILANNE PROTECTION AND CONNECTIONIN VALMISTUKSESSA.....	56
7.1	Pienten kytkimien kokoonpano	56
7.2	Isompien kytkimien kokoonpano.....	58
8	AUTOMAATION HUOMIOONOTTAMINEN TUOTESUUNNITTELUSSA ESIMERKKINÄ FAST-PROJEKTI	59
9	YHTEENVETO.....	63
	LÄHTEET.....	64

KUVA-, KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Kokoonpanoanalyysien piirrepuu. (Eskilander 2001, 25.)	11
Kuvio 2. Tietovajeen muutos suhteessa tuotteen elämänkaareen. (Austin 1998.)	18
Kuvio 3. Linkki tuotesuunnittelun ja valmistuksen välillä voidaan nähdä useammalla tasolla. (mukailtu Lempiäinen & Savolainen 2003, 17.)	19
Kuvio 4. Valmistettavuuden seitsemän kriteeriä.....	20
Kuvio 5. Hakanen yksittäin ja poimittuna. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 125.)	28
Kuvio 6. Muotosulkeisia rakenteita, joilla hakautuminen voidaan estää. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 126.)	28
Kuvio 7. Osien riiputettavuus parantaa syöttöä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 129.).....	29
Kuvio 8. Tasaisten osien kylkipintojen avulla voidaan estää syötössä kiipeäminen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 130.)	30
Kuvio 9. Lisäpiirre osan ulkopinnalla, jotta orientointi onnistuisi paremmin. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 131.)	30
Kuvio 10. Symmetrian lisääminen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 132.)	31
Kuvio 11. Symmetrian lisääminen syötön helpottamiseksi. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 133.).....	32
Kuvio 12. Epäsymmetrian lisääminen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 134.)	32
Kuvio 13. Kiilautumisen estäminen pinoissa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 135.).....	33
Kuvio 14. Pinoutumisen edistämistä ulkomuodon avulla (Lempiäinen & Savolainen 2003, 137.).....	34

Kuvio 15. Pinoutumisen edistämistä ulkomuodon avulla (Lempiäinen & Savolainen 2003, 136).....	34
Kuvio 16. DFA2-metodin rakenne. (mukaillen Eskilander 2001, 153).....	37
Kuvio 17. Vältä toleranssien ketjuttamista. (Eskilander 2001, 162.).....	42
Kuvio 18. Esimerkki osista, joilla on eri todennäköisyys saada helposti orientoitua. (mukaillen Eskilander 2001, 173.).....	45
Kuvio 19. Alfa- ja beeta-symmetriaa erilaisille osille. (Eskilander 2001, 174.).....	46
Kuvio 20. Eri kokoonpanoliikkeiden nopeuden vertailua. (mukaillen Eskilander 2001, 177.).....	47
Kuvio 21. Kunnolliset viisteet ja ohjaavat pinnat helpottavat automaatiota.	49
Kuvio 22. Napsuliitos. Ensimmäinen ei ole purettavissa, mutta muut ovat. (Eskilander 2001, 183.).....	51
Kuvio 23. Tuotetason DFA2-analyysi, esimerkki.....	54
Kuvio 24. Osien DFA2-analyysi, esimerkki.	54
Kuvio 25. Tuotannon lähestymistapa automaatioon.	55
Kuvio 26. ABB kuormakytkin OT16-32. (ABB kuvapankki.)	56
Kuvio 27. ABB:n pienet OT-kytkimet syötetään linjastolle paletilla. Kuvassa näkyy kytkimen kansi- ja keskiosa. Huomioi paletin pohjassa ohjausmerkintä, joka kertoo asennussuunnan.....	57
Kuvio 28. Kuvassa merkitty punaisella renkaalla suutin, joka puhaltaa väärinpäin olevan kappaleen takaisin pohjalle.	57
Kuvio 29. Erilaisia ratkaisuja täryttimille osien orientointiin.	58
Kuvio 30. Automaattinen verkonvaihtokytkin. Vasemmalla on nykyinen myynnissä oleva ja oikealla ideointi kuva tulevaisuudesta. (ABB kuvapankki)	59

Kuvio 31. Kytkimen navan rakenne. (Protection and Connection OTNA1-200 asennusohje.)	60
Kuvio 32. Napa koottuna kasaan. (Protection and Connection OTNA1-200 asennusohje.)	60
Kuvio 33. Valmis napa asennettavaksi. (Protection and Connection OTNA1-200 asennusohje.)	60
Kuvio 34. Navan moduulin DFA2-analyysi.....	61
Kuvio 35. fAST-navan osien DFA2-analyysin tulos.....	62
Taulukko 1. Laskentaperiaate osien määrän vähentämisestä. (mukaillen Eskilander 2001, 155.)	38
Taulukko 2. Laskentaperiaate uniikkien osien määrästä. (mukaillen Eskilander 2001, 156.).....	39
Taulukko 3. Laskentaperiaate pohjaosan olemassa ololle. (mukaillen Eskilander 2001, 157.).....	39
Taulukko 4. Laskelma pohjaosan suunnittelulle. (mukaillen Eskilander 2001, 159.)	39
Taulukko 5. Laskelma kokoonpanosuunnalle. (mukaillen Eskilander 2001, 159.)	40
Taulukko 6. Laskelma rinnakkaisten operaatioiden pisteytyksestä. (mukaillen Eskilander 2001, 160.)	41
Taulukko 7. Laskelma toleranssien käytöstä. (mukaillen Eskilander 2001, 162.)..	42
Taulukko 8. Osan olemassaolon merkitys. (mukaillen Eskilander 2001, 168.).....	43
Taulukko 9. Vikataajuuden arviointi kokoonpano-osille. (mukaillen Eskilander 2001, 168.).....	44
Taulukko 10. Osien orientaation arviointi. (mukaillen Eskilander 2001, 169.)	44

Taulukko 11. Osien syöttö. (mukaillen Eskilander 2001, 170.).....	44
Taulukko 12. Osien hakautuminen. (mukaillen Eskilander 2001, 171.).....	45
Taulukko 13. Osien painopiste. (mukaillen Eskilander 2001, 172.).....	45
Taulukko 14. Osan symmetrian vertailua. (mukaillen Eskilander 2001, 174.).....	46
Taulukko 15. Osien paino. (mukaillen Eskilander 2001, 175.)	46
Taulukko 16. Osien pituus. (mukaillen Eskilander 2001, 175.).....	47
Taulukko 17. Osiin tarttuminen. (mukaillen Eskilander 2001, 177.)	47
Taulukko 18. Kokoonpanon suunnat. (mukaillen Eskilander 2001, 178.).....	48
Taulukko 19. Kokoonpanon osiin tarttuminen ja tilan takaaminen. (mukaillen Eskilander 2001, 179.)	48
Taulukko 20. Osien asennus viisteiden ja ohjaavien pintojen avulla. (mukaillen Eskilander 2001, 180.)	49
Taulukko 21. Osien toleranssit. (mukaillen Eskilander 2001, 181.).....	50
Taulukko 22. Osien paikallaan pysyminen. (mukaillen Eskilander 2001, 182.).....	50
Taulukko 23. Kiinnitysmenetelmien arviointi. (mukaillen Eskilander 2001, 183.) ..	51
Taulukko 24. Liitokset. (mukaillen Eskilander 2001, 184.)	51
Taulukko 25. Tarkistaminen ja säätäminen. (mukaillen Eskilander 2001, 185.)....	52

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

DFA	Design for Assembly eli automaation huomioiminen suunnittelussa.
DFAA	Design for Automatic Assembly eli automaation huomioiminen kokoonpanon suunnittelussa.
DFA2	Sama kuin edellä.
DFM	Design for Manufacturing eli valmistuksen huomioiminen suunnittelussa.
DFMA	Design for Manufacturing Assembly eli tuotannon kokoonpanon huomioiminen suunnittelussa.
DFX	Design for X eli yleistermi suunnittelun huomioimisesta eri asioissa.
DFS	Design for Service eli huollon huomioiminen suunnittelussa.
DFR	Design for Recycling eli kierrättämisen huomioiminen suunnittelussa.
DFF	Design for Fabrication eli valmistuksen huomioiminen suunnittelussa.
fATS	Fast automatic transfer switch eli nopea automaattinen vaihtokytkin.
OT16	OT16 kertoo kytkinperheen (sulakkeeton) ja ampeerin keston eli tässä tapauksessa kuormakytkin 16 ampeeria.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

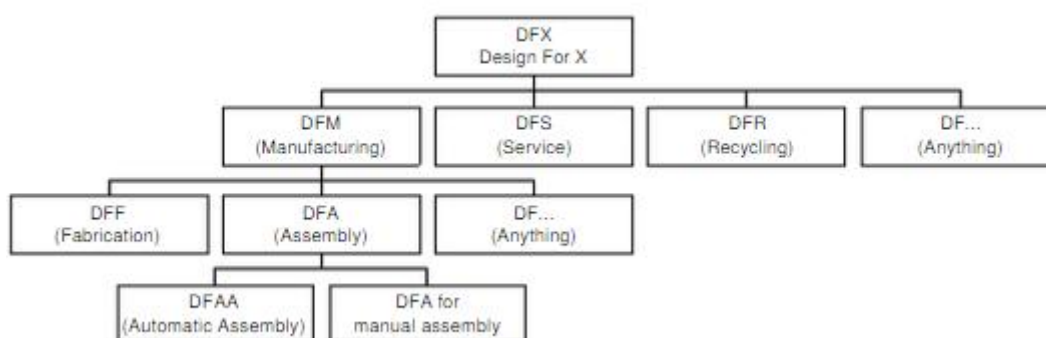
Pienjännitekytkimien ($\leq 1000\text{V}$) tuotesuunnitteluhankkeissa käytetään yleensä valmistettavuus- ja kokoonpantavuusanalyyskejä varmistamaan kustannustehokas lopputulos. Osien valmistettavuusanalyysseissä käytetään pääsääntöisesti toimittajaverkoston osaamista, koska osat valmistetaan alihankintana. Kokoonpanoanalyysit voidaan jakaa loppukokoonpanon ja moduulien/osakokonaisuuksien kokoonpanoanalyysseihin. Nämä analyysit tehdään pääsääntöisesti ABB:n tuotannossa ja analyysien tulokset huomioidaan suunnittelussa. Mahdollisuuksien mukaan nämä analyysit tehdään jo suunnittelun alkuvaiheessa, ensimmäisten toiminnallisten protokierrosten yhteydessä. Tällöin saadaan myös ensimmäiset kustannusarviot, vaikka ensimmäiset prototyypit eivät välttämättä sisällä kaikkia tuotannon kannalta tärkeitä piirteitä.

1.2 Työn tavoite ja rajaus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on laatia tuotesuunnitteluun havainnollinen ja ohjeistava dokumentti, jossa huomioidaan tuotantoautomaation tämän päivän vaatimukset koskien kosketinnapojen ja kytkimien kokoonpanoa. Referenssinä käytetään uusinta vaihtokytkinperheen (fATS, fast Automatic Transfer Switch) projektia. Työssä keskitytään kosketinnapojen ja kytkimen loppukokoonpanoon, ei mekaniikkaan. Tässä vaiheessa projektia oletetaan kosketinnapojen olevan modulaarisia, eli yksi moduuli - yksi kosketinnapa. Kytkimen loppukokoonpano sisältää seuraavat moduulit: mekanismi, kosketinnapa sekä asennonosoitin. Kytkimen loppukokoonpanossa huomioidaan varioinnin mahdollisuus ja varustus.

1.3 Työn rakenne

Työ sisältää aluksi selvitystä suunnittelun ja tuotannon tämänhetkisestä tilanteesta. Sen jälkeen keskitytään teoriaan ja tekniikoihin, miten kokoonpantavuutta ja valmistettavuutta tuotannossa voidaan analysoida. Stephan Eskilander on väitöskirjassaan kuvannut näiden erilaisten analysointitapojen suhdetta puun muodossa. Kuviossa 1 ylätasolta löytyy DFM ja sen alapuolelta esimerkiksi DFA, DFMA ja DFA2. DFA2 on Eskilanderin kehittämä analysointimetodi, jossa tuote lähtökohtaisesti suunnitellaan automatisoitavaksi.



Kuvio 1. Kokoonpanoanalyysien piirrepuu. (Eskilander 2001, 25.)

Lopuksi on esimerkki fATS-projektista, joka on tällä hetkellä tuotantoon vienti vaiheessa. Tähän on sovellettu DFA2-metodia.

1.4 Yritysesittely

ABB muodostettiin tammikuussa 1988 sulauttamalla yhteen ruotsalaisen Asean ja sveitsiläisen Brown Boverin sähkötekniset liiketoiminnot. Se on monikansallinen teollisuuskonserni, jonka pääkonttori sijaitsee Zürichissä Sveitsissä. ABB on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka tuotteet, ratkaisut ja palvelut parantavat teollisuus- ja energiayhtiöasiakkaiden kilpailukykyä ympäristömyönteisesti. ABB toimii yli 100 maassa ja työllistää noin 145 000 henkilöä. (ABB.)

Suomen ABB:n Protection and Connection -yksikkö valmistaa kuormankytkimiä, vaihtokytkimiä, turvakytkimiä, koteloituja kytkimiä, kytkinvarokkeita ja nokkakytki-

miä. Tuotteiden käyttösovelluksia ovat aurinkovoima-, varavoima- ja IT-konesalien sekä teollisuuden sähkönsyötön varmistuksen järjestelmät. Kytkintuotteita käytetään sähköenergian tuottamiseen ja siirtämiseen liittyvissä sovelluksissa. Ne sallivat, erottavat tai estävät sähkövirran kulun energian siirrossa ja käytössä. Tuotteita on moottorien käynnistyksessä ja pysäytyksessä sekä suojauksena ylikuormalta ja oikosuluilta. Niitä käytetään myös energian varasyötön kytkentään. Suomen ABB:n kojetuotteita valmistava tehdas sijaitsee Vaasassa. Vastaavia tehtaita ABB:llä on eri puolilla maailmaa puolenkymmentä. Protection and Connection -yksikkö Suomessa työllistää kaikkiaan noin 250 henkilöä. Se vastaa maailmanlaajuisesti kytkintuotteiden tutkimuksesta ja tuotekehityksestä sekä myynnistä ja markkinoinnista ABB:ssä.

2 TUOTESUUNNITTELUN YHTEYS KOKOONPANO- AUTOMAATIOON

Kokoonpanossa yhdistyvät kaikki mahdolliset organisaation (sisäiset ja ulkoiset) ja tuotteen teknologiaan liittyvät ongelmat. Nämä rajoittavat automaatiotason nostoa. Koska kokoonpano on työvoimavaltaisin alue tuotteen valmistuksessa, tuotteen kokoonpanoon on pyrittävä panostamaan. Se myös linkittyy edeltäviin järjestelmiin, kuten alihankintaan ja välivarastoihin, ja jälkeen tulee pakkaus ja varastointi. Pienetkin häiriöt ketjussa aiheuttavat häiriöitä koko prosessiin. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 43.)

Selviytyäkseen kansainvälisillä markkinoilla yrityksen on tehtävä tuotteita edullisesti vakiolaadulla. Ne täytyy saada nopeasti markkinoille sekä toimitusaikojen tulee olla lyhyet. Kokoonpanojärjestelmän tulee sopeutua nopeasti muutoksiin ja tuotantolinjojen on suunniteltava, niin että niiden osia voidaan käyttää uudelleen linjan muuttuessa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 43.)

2.1 Automaattinen kokoonpano

Automaattinen kokoonpano voidaan jakaa laitetasolla kahteen ryhmään: ”kovaan” ja ”pehmeään” automaatioon. Kovaa automaatiota käytetään silloin, kun volyymit ovat erittäin suuret, sarjat ovat pitkiä, sekä silloin, kun tuotteen elinikä on pitkä. Se liittyy myös osien tai pienien osakokoonpanojen valmistukseen, ei niinkään koko laitteen valmistamiseen. ”Kova” automaatio toteutetaan erikoiskoneilla, jotka on suunniteltu erityisesti tätä tarkoitusta varten. ”Pehmeä” automaatio toteutetaan joustavilla ratkaisuilla, kuten roboteilla ja joustavilla kokoonpanojärjestelmillä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 43–44.)

Manuaalista kokoonpanoa on vaikea korvata automatiikalla, jos tuote ei sitä rakenteeltaan tue. Ihmisen viisi aistia ja 27 vapausasteen käsiä on vaikeaa korvata millään robotilla. Lisäksi miten kone voisi korvata ihmisen kykyä oppia ja siirtää kokemusta sekä kompensoida aikaisemmissa työvaiheissa syntyneitä virheitä? Tuotteen rakenne on tärkein tekijä, kun mietitään automaation tason mahdollista nos-

toa tai mukaan tuontia uudessa tuotteessa. Tuote kannattaa suunnitella automaatiomyönteiseksi, mikä tarkoittaa, että tuotteen suunnittelun kohdalla huomioidaan automaation tarpeet. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 44.)

Automaatiomyönteisyys tarkoittaa seuraavaa (Lempiäinen & Savolainen 2003, 44):

- Komponentit varastoidaan niin, ettei tarvita uudelleen orientointia seuraavassa työvaiheessa.
- Kokoonpanossa tarvittavat osat on voitava tuota työasemille mahdollisimman yksinkertaisilla ja uudelleen ohjelmoitavilla laitteilla.
- Tuote on suunniteltava DFA:n periaatteiden mukaisesti kokoonpanomyönteiseksi.
- Tuotteessa tulisi olla mahdollisimman vähän testattavia kohtia ja osat olisi testattava ennen kokoonpanoa.
- Kun tuote lähtee asiakkaalle, siitä pitäisi olla täydellinen automaattisesti tuotettu dokumentaatio, joka jää tietokantaan.

2.2 Kokoonpanoautomaation edistäminen

Mitä on tehtävissä kokoonpanoautomaation edistämiseksi? Aika paljon. Jos aloitetaan ihan tuoterakenteesta, uuden nimikkeen perustamisessa pitäisi olla varovainen. Jokainen uusi nimike rasittaa tuotantojärjestelmää ja lisää kiinteitä kuluja. Muutamia sääntöjä (Lempiäinen & Savolainen 2003, 46):

- Andersonin laki: **Älä koskaan suunnittele osaa, jonka voit tilata luettelon perusteella.**
- Hyödynnä symmetriaa, ettei tulisi oikea-vasenta versiointia, joiden pienten erojen tunnistus on vaikeaa ja aiheuttaa riskin virheeseen.
- Erityisesti bulkkitarvarassa on oltava tarkkana, ettei varasto pullistele jokkaista ruuvipituutta ja kantamuotoa.
- Pyri ryhmittelemään ja nimeämään osaperheet ja niiden jäsenet siten, että erilaisten tuotteiden välille saataisiin yhtenäisiä osia.
- Päätä liitosmenetelmät jo konseptivaiheessa.

Liitososat voivat muodostaa merkittävän osan koko tuotteen nimikkeistä. Liitososien kirjavuus sotkee kokoonpanotyöpaikkaa ja lisää virheen mahdollisuutta. Erilisten liitostyökalujen käsittely hidastaa kokoonpanotyötä (esim. useampi erilainen ruuviväännin). Työkalut vaativat tilaa tuotteen kokoonpanorakenteessa esim. reunaetäisyys. Liitos pitää olla esillä, että sen onnistumisen voi varmistaa näkö-, kuulo- tai tuntoaistin avulla. Ruuviliitos on yleisin liitosmuoto, mutta myöskin erittäin ongelmallinen lukuisten vaihtoehtojen vuoksi (kanta, aluslaatat, pituus, pintakäsittelyt jne.). Ruuvien luokittelu automaatiossa on oma ongelmakenttensä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 46.)

Tuotteen suunnittelussa kannattaa aina ottaa huomioon mahdollisen automaattisen kokoonpanon ehdot. Tämä tarkoittaa vähän osia ja harvoja kokoonpanosuuntia. Kokoonpanosuunta on mieluiten ylhäältä alas. Tästä on hyötyä myös manuaalisessa kokoonpanossa. Tuote kannattaa moduloida ja niille kannattaa järjestää omat erikoistuneet työpisteet. Tämä nopeuttaa räätälöintiä sekä parantaa läpäisyä varsinkin loppukokoonpanossa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 48.)

Jos mennään tuotteen sisäiseen rakenteeseen, silloin esimerkiksi sisäisten kytkentöjen pitäisi olla sellaisia, että ne eivät hankaloita kokoonpanoa. Lisäksi komponenttien ja osien suunnittelussa niiden syöttöön ja käsittelyyn liittyvät toimenpiteet tulisi huomioida. Kaikilla osilla tulisi olla sama kokoonpanosuunta tai ainakin suuntia tulee olla mahdollisimman vähän. Tuotteen tartuntapinnat, kuten kiinnityspinnat ja kiinnitystavat, tulee standardisoida. Tuote on tyyppillisesti halvempi valmistaa, jos siinä on 10 samanlaista kuin 5 erilaista osaa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 48.)

Logistiikka ei suoranaisesti liity kokoonpanoautomaatioon, mutta osien toimitus tuotantoon on logistisesti kriittinen tekijä tuotannon toimivuudessa. Komponenttien pitäisi olla oikeita ja oikean laatuista sekä oikea määrä oikeassa paikassa, oikeaan aikaan. Toiminnassa on pyrittävä ”tarve-erä”-ajatteluun. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 48.)

2.3 Tuoterakenteen vaikutus kokoonpanoon

Kaiken kokoonpanon lähtökohta pitää olla perustuote. Vasta kokoonpanon loppuvaiheessa tuote tulee räätälöidä asiakaskohtaisesti. Tällöin perustuotteen valmistus voidaan automatisoida eikä perustuotteen kokoonpanotyö häiriidy mahdollisen räätälöidyn tuotteen osista tai niiden puuttumisesta. Tämä myös vapauttaa varastointitilaa, kun kaikkien osien ei tarvitse olla kokoonpanopaikalla. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 46.)

Tuotteen moduloinnilla tarkoitetaan tuotteen jakamista valmistuksen kannalta parhaisiin mahdollisiin osakokoonpanoihin. Lisäksi moduloinnilla pyritään vähentämään tuotteen osia ja käyttämään tuotteessa mahdollisimman paljon samanlaisia osia. Jos tuotetta aiotaan valmistaa nykyisellä tuotannon kalustolla, tuotteen rakennetta miettiessä tulisi ottaa huomioon käytettävät valmistusmenetelmät ja nykyinen konekanta. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 47.)

3 DESIGN FOR MANUFACTURABILITY ELI DFM

DFM tarkoittaa valmistettavuutta. Merkitys sisältää kaikki menetelmät ja järjestelyt, jotka yksinkertaistavat tuotteen valmistusta ja alentavat tuotteen valmistuskuluja. DFM auttaa tuotekehitystiimiä suunnittelemaan tuote siten, että se olisi helpompi valmistaa. Lisäksi DFM auttaa tuotetta toimimaan paremmin ja luotettavammin, näyttämään siistimmältä, helpottamaan tuotteen huollettavuutta ja parantamaan tuotteen ympäristökuormitusta. Tärkeintä on kuitenkin valmistuskulujen alentaminen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 13.)

DFM parantaa valmistuksen aikaansaannoksia ilman investointeja. Jos oletetaan, että tehtaan kaikki osavalmistusprosessit toimivat tehokkaasti sekä katsotaan, että tuotteiden toimivuus ja laatu ovat halutulla tasolla, yritykselle jää kaksi merkittävää keinoa parantaa tuottavuutta ja sitä kautta kilpailukykyään (Lempiäinen & Savolainen 2003, 14):

- Alennetaan työvoimasta muodostuvia kustannuksia optimoimalla olemassa olevaa tuotesuunnittelua tai investoimalla kappaleenkäsittely-, kokoonpano-, testaus-, pakkaus- ja varastointiautomaatioon.
- Arvioidaan uudelleen tuotteen rakenteellinen suunnittelu pitäen painopiste tuotteen valmistettavuuden suunnittelussa.

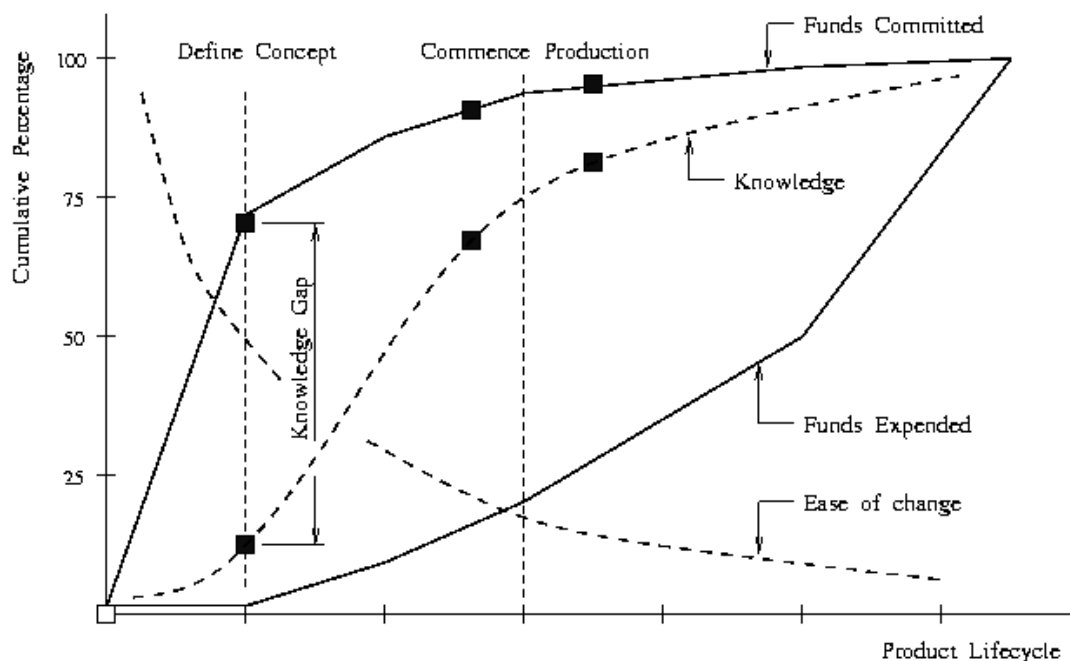
3.1 Automaation välttämättömyys

Viime kädessä painopiste on kuitenkin siirrettävä automaation kehittämiseen. Moni yritys on kuitenkin huomannut, että automaatioon siirtyminen on saanut aikaan tuotantokustannusten siirtymisen muuttuvista kustannuksista kiinteisiin kustannuksiin, eikä riittävää kilpailuetua ole saavutettu. Myöskään pelkkä valmistettavuuden parantaminen ei auta, vaan yrityksen on kehitettävä sekä automaatiota että tuotesuunnittelua. On kuitenkin välttämätöntä, että parannukset rakenteeseen tehdään ennen tuotantoautomaation suunnittelua, eikä sen jälkeen. Keskittyminen valmistettavuuteen suunnittelun alkuvaiheessa ei nosta suunnittelukustannuksia verrattuna perinteiseen tuotekehitysprojektiin. Kun tuotteiden suunnitteluun otetaan mukaan valmistettavuus, se vähentää investointeja automaatioon. Optimoimalla ny-

kyinen tuotesuunnittelu saadaan työvoimakustannukset pidettyä alhaalla. Pelkkä automaatiotason nosto aiheuttaa tuotannon joustavuuden menetystä ja suuria investointeja. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 14.)

3.2 DFM:n vaikutus kustannuksiin

On yleinen totuus, että tuotteen kustannukset alkavat sitoutua kiihtyvällä vauhdilla suunnittelijoiden tekemien päätösten pohjalta. Tutkija W.J. Fabrycky esitti tämän tietovajeen kasvun eron graafisesti vuonna 1994. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 15.)



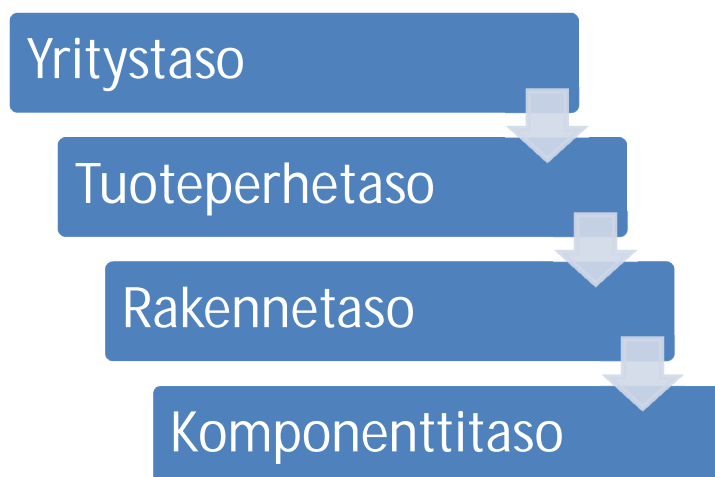
Kuvio 2. Tietovajeen muutos suhteessa tuotteen elämänsykliin. (Austin 1998.)

Hyvin aikaisessa vaiheessa lyödään lukkoon tuotteen osien valmistusmenetelmät. Tästä johtuen DFM:llä on suurin vaikutus konseptisuunnittelussa, eikä niinkään yksityiskohtien määrittelyssä. Tämä merkitsee, että tuotekehityksen täytyy kyetä arvioimaan ja vertailemaan eri vaihtoehtojen valmistettavuutta, ennen kuin yhdenkään tuotteen tai osan rakenne on tiedossa. Ennen siirtymistä varsinaiseen tuotesuunnitteluun pitää tehdä valmistuksen kannalta tärkeitä päätöksiä. Alkumetreillä päätetään tuotteen suunnittelu-, valmistus-, markkinointi-, jakelu- ja huoltomene-

telmät. Yhdessä nämä muodostavat tuotekonseptin. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 15.)

3.3 Tuotesuunnittelun ja valmistuksen yhteys

Yhteys tuotesuunnittelun ja valmistuksen välillä voidaan nähdä usealla eri tasolla. Tutkimuksen alle kannattaa ottaa neljä eri hierarkiatasoa. Kun ymmärretään näiden neljän yhteys tuotetasoon, vältetään epämieluisat yllätykset. Yritystasolla varmistetaan, ettei yritys kehitä ja valmista useassa paikassa päällekkäisiä tuotteita ja että yrityksen eri tuotteissa käytetään samoja teknisiä ratkaisuja (jos mahdollista). Tuoteperhetasolla tutkitaan ja vertaillaan erilaisia tuotemuunnoksia. Tämä taso pitkälti määrää tuotteen eliniän markkinoilla. Tällä tasolla myös rakennetaan pohjaa uusille tuotteille hyväksi todetun tekniikan pohjalta. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 16.)

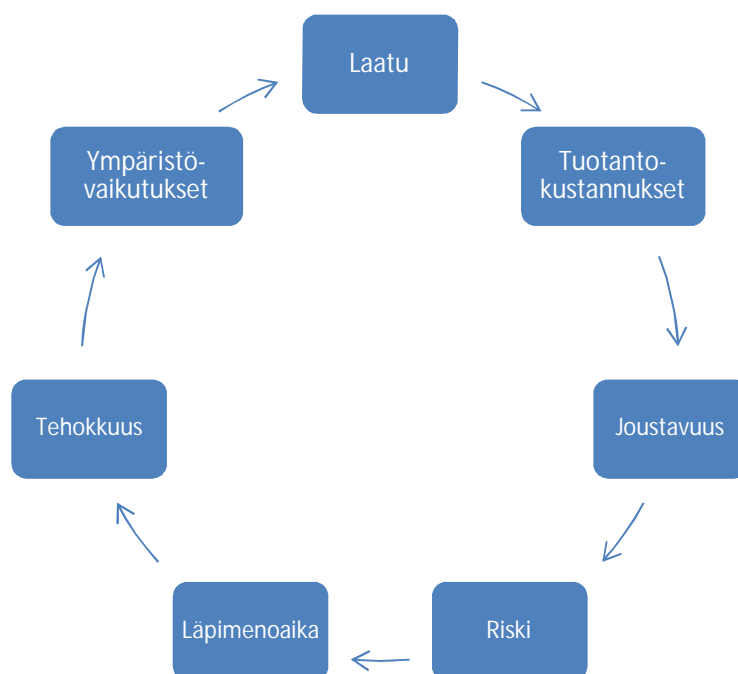


Kuvio 3. Linkki tuotesuunnittelun ja valmistuksen välillä voidaan nähdä useammalla tasolla. (mukailtu Lempiäinen & Savolainen 2003, 17.)

Rakennetasolla pyritään ymmärtämään, miten tuotteen rakenne ja tuotannon tekniikka sopivat toisiinsa. Suunnittelija voi tällä tasolla käyttää lähtökohtana uudelle tuotekonstruktioille tietämiään valmistuksen kriittisiä kohtia. Komponenttitasolla huomion tulisi kiinnittyä kriittisiin komponentteihin (kallis, huono saanto, saataavuus). Tällä tasolla tulisi olla tietoinen menneistä, nykyisistä ja tulevista valmistusmenetelmistä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 16.)

Suunnittelun kompastuskiveksi muodostuu herkästi keskittyminen komponentti-tasoon ja unohdetaan kolme ylempää tasoa. ”Kärjistäen: Hyvä konseptinen suunnittelu johtaa vain välttämättömien osien olemassaoloon, mutta hyvä konseptisuunnittelu ei välttämättä johda kilpailukykyiseen tuotteeseen”. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 18.)

Vaikka kustannukset nähdään valmistettavuuden tärkeimpänä mittarina, vaikuttaa siihen myös moni muu asia. Valmistettavuuden seitsemän kriteeriä (kuviossa 4) on muodostunut mittareiksi DFM:ssä vuosien saatossa: laatu, tuotantokustannukset, joustavuus, riskit, läpimenoaika, tehokkuus ja ympäristövaikutukset. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 20.)



Kuvio 4. Valmistettavuuden seitsemän kriteeriä.

Haastavaksi asiat tulevat, kun on arvioitava jo kehitysprojektin alkuvaiheessa vaihtoehtoisten tuotekonseptien kohdalla valmistusteknisiä asioita. Arviointiin voidaan käyttää edellä mainittuja seitsemää kriteeriä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 22.)

3.4 Valmistettavuuden parantaminen

On olemassa erilaisia tapoja parantaa valmistettavuutta. **Yritetään uudelleen:** Jos suunnitelma ei täytä valmistettavuuden ehtoja, kokeillaan jotain muuta. Tämä on melko kallis tapa parantaa tuotteen valmistettavuutta. **Moniosaava tiimi:** Moniosaavalla tiimillä on vahvuutena suuri osaaminen, mutta ongelmaksi voi muodostua yhteistoiminta, joka ei ole itsestäänselvyys. Isoissa ryhmissä on lisäksi riskinä henkilöiden sitoutuminen. **Eksperttien käyttäminen:** Käyttämällä kokeneita suunnittelijoita vältetään toistamasta vanhoja virheitä. Samalla tulee hiljaisen tiedon jakamista ja tällöin voidaan myös kerätä systemaattisesti parhaat ideat, best practice. Näitä voidaan hyödyntää sitten seuraavassa kehitysprojektissa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 24.)

Benchmark: Verrataan referenssituotteeseen. Toisaalta vertailua voidaan tehdä, kun etsitään uusia ideoita. Mikäli vertailtava tuote on huomattavasti parempi, on syytä tehostaa DFM-ajattelua. Erilaiset suunnitteluperiaatteet: Mikäli prosessissa käytetään jotain erityistä suunnitteluperiaatetta, voi sillä olla vaikutusta muihin prosessissa esiin tuleviin kysymyksiin. Esimerkiksi napsausliitokset voivat olla hyvä ratkaisu automaattisessa kokoonpanossa, mutta ongelmallisia, jos ajatellaan tuotteen huolettavuutta tai purkamista. Lisäksi suunnitteluperiaatteet muuttuvat sitä mukaa kun valmistusolot kehittyvät. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 24–25.)

Tietokonetyökalujen käyttö: Ohjelmistoista voi olla paljon hyötyä arvioitaessa valmistusaikoja ja kustannuksia. Simuloinnin ja erilaisten fyysisten mallien käyttö voi myös auttaa arvioimaan uuden tuotteen valmistettavuutta. Ohjelmat eivät kuitenkaan ole oikotie onneen, vaan siinä yhä edelleen vaaditaan keskinäistä keskustelua tiimin sisällä. Käytetään kehittyneitä suunnittelumenetelmiä: Suunnittelumenetelmien tulisi olla sellaisia, että ne auttavat saamaan mahdollisimman tehokkaasti tuotannosta tietoa nykyisistä tuotteista ja niihin liittyvistä ongelmista. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 25.)

Tehdään oikeita asioita: Suunnittelutyökalut, jotka auttavat tekemään asiat oikein eivät voi koskaan korvata niitä, jotka auttavat tekemään oikeita asioita. Sisällöllisesti asiaa, mutta tämä sisältää kolme syytä, miksi se ei tarjoa oikeaa lähtökohtaa: (Lempiäinen & Savolainen 2003, 26.)

- Muuttuvien kustannusten alentaminen itsessään on melko vähän kiinnostava tekijä, jos siihen liittyy kasvavat kiinteät kustannukset, heikentyvä laatu, pidentyneet läpimenoajat, tuotannon riskialttiuden lisääntyminen, tuotannon joustavuuden lasku jne.
- Osien määrän vähentäminen ei ole tavoite itsessään. Kymmenen samantyyppistä osaa voi johtaa alempiin kokonaiskustannuksiin kuin viisi erilaista.
- Kokoonpanonäkökulma voi olla tärkeä, mutta pitäisi kiinnittää huomiota muihin valmistusprosessin osiin, kuten tuotteen testattavuuteen, pakattavuuteen, ympäristövaikutuksiin jne.

Tuotteen rakennetta ja kokoonpanomenetelmiä ei pidä päättää ennen kuin kytkentä muihin tuotteen tasoihin on tehty. DFM on ajattelutapa ja joukko työkaluja tuotekehitysprosessissa. Sitä ei voi ostaa. Ajattelutapaan sisältyy seuraavat asiat: kiinnitetään huomiota suunnittelun ja valmistusseuraamusten vuorovaikutukseen sekä autetaan tekemään työssä oikeita asioita ennen asioiden tekemistä oikein. (Lempäinen & Savolainen 2003, 37.)

4 DESIGN FOR ASSEMBLY ELI DFA

DFA eli kokoonpantavuus on DFM ohella paljon käytetty apukeino, kun halutaan hyödyntää olemassa olevaa kokoonpanoprosessia. Se tuo esiin kokoonpanon kannalta olennaiset näkökulmat kuten osien takertuvuus, paikoitettavuus, sekaantumisen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 13.) DFA on systemaattinen tuotekehitysmenetelmä, jonka tavoitteena on tuotteen rakenteen ja sitä myöten kokoonpanotyön suorituksen yksinkertaistaminen. Käytännössä tämä tarkoittaa usein tuotteessa toimintojen yhdistämistä ja osien lukumäärän vähentämistä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 69.)

Jos vertaillaan valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta keskenään, voidaan yleisesti todeta, että kokoonpantavuus on tärkeämpää. Tämä johtuu siitä, että kokoonpanotyö on työvoimavaltaisempaa kuin osien valmistus. Kokoonpanotyön vaiheita tarkastellaan eri näkökulmista:

- osien syöttäminen (sis. Orientoinnin ja erottelun)
- kappaleenkäsittely (robotilla tai käsin)
- liitosten toteutus
- kokoonpanotyön suorituksen laadun valvonta. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 70.)

4.1 Osien välttämättömyys

DFMA on Boothroyd-Dewhurst patentoima tuotemerkki. Professori Geoffrey Boothroyd on kehittänyt pitkälle teoriaa liittyen tuotteiden kokoonpantavuuteen. Hän on teoriansa pohjalta kehittänyt kolme teesiä, joilla suunnittelija voi miettiä suunnitteleeko tuotteeseen tarpeettomia osia:

- *Osan on oltava erillinen, jos tuotteen toiminnan kannalta sen on oltava eri materiaalia kuin viereiset osat.*
- *Osan on oltava erillinen, jos osa liikkuu viereisiin osiin nähden eikä tätä liikettä voida aikaansaada osan materiaalin tai muodon elastisuutta hyväksikäyttäen.*

- *Osan on oltava erillinen, jotta tuotteen kokoonpano tai purku ovat mahdollisia.* (Lempiäinen & Savolainen 2003, 70.)

Edellisistä teeseistä voidaan päätellä, että ulkonäköseikkoja tai osien kiinnitystä toisiinsa ei oteta millään tavalla huomioon. Lisäksi ohjeet suunnitteluun tärkeysjärjestyksessä:

- Vähennä osien määrää ja tyyppiä.
- Poista tarve säätää.
- Suunnittele itseasennoituminen ja paikka.
- Tarjoa riittävä näkyvyys ja pääsy.
- Varmista helppo käsiteltävyys kuormasta.
- Suunnittele idioottivarmasti tai eliminoi väärin kokoonpanon mahdollisuus.
- Minimoi uudelleen suuntaus.
- Maksimoi symmetria tai ylikorosta epäsymmetrisyyttä. (Mr. Mark, S. & Curtis, 1997.)

Suunniteltavasta tuotteesta voidaan laskea kokoonpantavuusindeksi. Boothroyd ja Dewhurst ovat kehittäneet tähän laskentakaavan:

$$\mu_{\text{kokoonpantavuus}} = \frac{100 \times N \times 3[\text{sek}]}{T_{\text{kok}}} \quad (1)$$

Missä

N = välttämättömien osien määrä

T_{kok} = tuotteen arvioitu kokonaiskokoonpanoaika

Lisäksi voidaan laskea tuotteelle huollettavuusindeksi Boothroyd ja Abbatiellon mukaan:

$$\eta_{\text{huollettavuus}} = \frac{900 \times N_m}{T_d + T_r} \quad (2)$$

Missä

N_m = teoreettinen pienin irrotettavien osien määrä

T_d = purkuaika

T_r = uudelleen kokoonpanoaika

Tuotteelle voidaan myös laskea purettavuusindeksi (Hammandin mukaan):

$$\mu_{\text{Purettavuus}} = \frac{100 \times N \times 1,5[\text{sek}]}{T_d} \quad (3)$$

Osien määrälle voisi antaa vielä yhden säännön: **yhdistä eri osien toimintoja yhteen samaksi osaksi**. Näin iso määrä osien käsittelyjä ja liitoksia jää kokoonpanosta pois. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 71.)

4.2 Osien kokoonpanosuunnat ja käsiteltävyys

Normaalisti kokoonpanotyö tehdään istumatyönä työpöydän ääressä. Luontainen kokoonpanosuunta niin ihmiselle kuin robotille on ylhäältä alaspäin suuntautuva suoraviivainen kokoonpanoliike. Erilainen kääntely kesken kokoonpanon hankaloiittaa työn tekemistä. Kahta kättä vaativat pujotustehtävät muodostavat lähes aina esteen kokoonpanoautomaation käytölle. Kookkaammille tuotteille toteutetaan seisomatyöpisteet. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 72.)

Jotta kokoonpanotyö on mielekästä, osien käsiteltävyys on oltava helppoa. Likaiset, joustavat, särkyvät, kuumat ja erityisen pienet osat aiheuttavat haasteita kokoonpanotyöhön. Tuotteessa on oltava selkeästi tunnistettava runko-osa, joka pysyy kokoonpanotyössä stabiilina. Osien pesu ja puhdistus eivät ole kokoonpanotyötä. Niiden puhdistus täytyy tapahtua jo ennen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 72.)

Pieneksi osaksi lasketaan kappale, jonka pisin mitta on maksimissaan 6 mm. Kaikki tätä pienemmät osat vaativat tartuntatyökalun. Yksinkertaisimmillaan se on ruuville vääntimen magneettinen kärki. Tartuntaväline saattaa muodostaa suurta haastetta kokoonpanotyöhön, jos pieneen kokoon yhdistyy vielä suurta liittämisen tai kokoonpuristamisvoimaa, esimerkiksi pieni lukkorengas akseliuraan. Osien vähentäminen voi joskus mennä vähän ”yli”. Samanaikaisesti pitäisi yhdellä liitososalla kiinnittää kolmekin osaa yhteen ja ihmisellä on vain kaksi kättä. On vältettävä usei-

ta samanaikaisia sovitustehtäviä, jos kaksi kättä ei luontaisesti riitä. Periaate olisi, että toinen käsi pitää tai säätää kohdalleen ja toinen käsi tekee liitoksen. Robotitkin ovat toistaiseksi yksikätsisiä. Myös puutteellinen näkymä sovitteseen on kokoonpanon tyypillinen ongelmakohta. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 73.)

Kokoonpantavan osan ulkopintaan kannattaa toteuttaa yksinkertaisia apuneuvoja, joilla varmistetaan, että osa tulee kokoonpanoon oikein päin sekä osa luontaisesti ohjautuu oikeaan paikkaan. Apuneuvoja ovat ohjaustapit, sokat, olakkeet, viisteet ja reiät. Irtonaisia kiinnitysruuveja ei tulisi käyttää osien paikoitukseen ainoana välineenä. Tällöin kokoonpano menee sovittamiseksi ja vastinreikien etsimiseksi. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 75.)

4.3 Kokoonpanon laadunvalvonta

Kokoonpanolle ei tarvitse olla eikä ole syytä edes olla erikseen tarkastajaa. Kokoonpanijan tulee pystyä kootessaan varmistamaan, että kokoonpano on onnistunut. Suuri osa virheellisistä kokoonpanoista on peräisin osista, joissa on pieniä eroja toiminnassa. Tällöin tuote toimii melkein oikein tai ei ollenkaan. Osia suunniteltaessa olisi hyvä miettiä jo alustavasti, miten estää väärin kokoaminen sijoittamalla lisäpiirteitä konstruktion. Jos tämä ei ole mahdollista, viimeisenä mahdollisuutena on toteuttaa nuolilla tai oikea/vasen- tai ylös/alas-merkinnöillä ohjaukset kokoonpanoon. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 79–80.) Arkinen esimerkki erään ruotsalaisen huonekalujätin koottavat huonekalut, joissa ohjeen hätäinen lukeminen saattaa aiheuttaa isojakin ongelmia lopussa, kun yksi osa on mennyt väärin päin kiinni alussa. Osa on saattanut näyttää symmetriseltä, mutta ruuvien reiät ovatkin olleet ei-symmetrisesti.

4.4 Syöttömenetelmien vaikutus osan konstruktion

Kokoonpanoautomaatiossa osien syöttö on keskeisessä roolissa automaation luotettavan toiminnan kannalta. Huono syöttöjärjestely on ensimmäinen piste, missä osavalmistuksessa tulleet virheet kohtaavat huonosti virheellisiin osiin mukautuvan automaattisen laitteen. Tästä on seuraamuksena laitteen toiminnan pysähtyminen

ja sitä mukaa koko järjestelmän toimintakyky. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 121.)

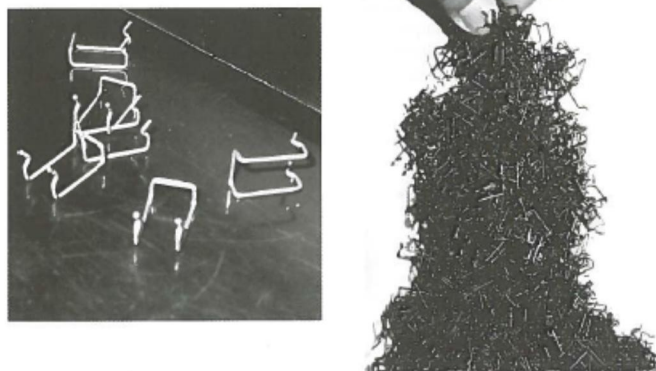
Kokoonpanojärjestelmän syötön kannalta osat jaetaan kolmeen osaan: pienosiin, kokoonpanon piirustuksellisiin osiin ja suuriin piirustuksellisiin osiin. Pienosat ovat ns. ”ämpäritavaraa”, kooltaan noin 100x100x100 mm ja painoltaan maksimissaan 100 g. Useat syöttölaitteet jättävät jälkiä erityisesti muovin pintaan ja muotovirheitä saattaa muodostua osien painon aiheuttaessa muodonmuutoksia heikkoihin muovirakenteisiin. Näissä tapauksissa mahdollinen tärysyöttö ei ole vaihtoehto. Pienosien haaste tulee koosta, ja vieraista osista on päästävä eroon syötössä, tästä esimerkkinä ruiskuvalun valukanavat, vajaat osat, valssausosat tai vajaat kannat. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 121.)

Piirustukselliset osat sijoitetaan jo osavalmistuksessa laatikkoihin tai niille erityisesti suunniteltuihin paletteihin, tarjottimiin tai nauhoihin. Nämä vievät luonnollisesti paljon enemmän tilaa kuin ”ämpäritavara”. Toisaalta näiden paikoitus kokoonpanoon on helpompaa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 121.)

Suuret piirustukselliset osat, jotka eivät mahdu laatikkoihin, siirretään esim. kuormalavalla. Tällöin osiin ei kohdistu kokonsa vuoksi haastavia syöttöjärjestelyjä, koska niitä ei voida osan koon takia edes käyttää. Kuormalava ei yleisesti ottaen ole vaihtoehto kokoonpanon osien syöttöön suuren ja kömpelön kokonsa vuoksi. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 125.)

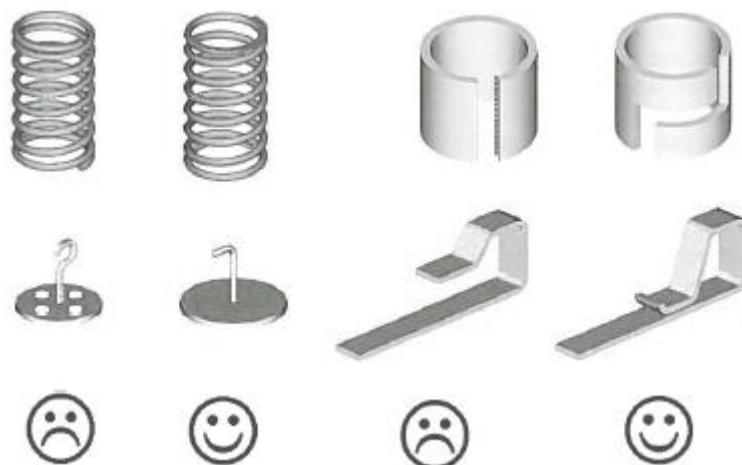
4.4.1 Hakautuminen

Hakautumista esiintyy erityisesti pienosissa, kuten jousissa, hakasissa, lukkorenkaisissa jne. Laatikossa ne sotkeentuvat keskenään herkästi (kuvio 5) ja kokoonpanopisteessä aiheuttavat turhaa työtä. Tästä syystä johtuen hakautuminen on estettävä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 125.)



Kuvio 5. Hakanen yksittäin ja poimittuna. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 125.)

Suunnittelussa hakautuminen voidaan estää muotosulkeisilla rakenteilla, kuviossa 6 oikeanpuoleinen vaihtoehto. Jos tämä ei ole mahdollista, jää kaksi vaihtoehtoa. Joko käytetään erillistä erottelijaa tai valmistaa osat suoraan kokoonpanopaikalla juuri oikeaan tarpeeseen. Lämpökäsittely voi tosin vaatia uuden lisälaitteen kokoonpanopisteeseen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 126.)

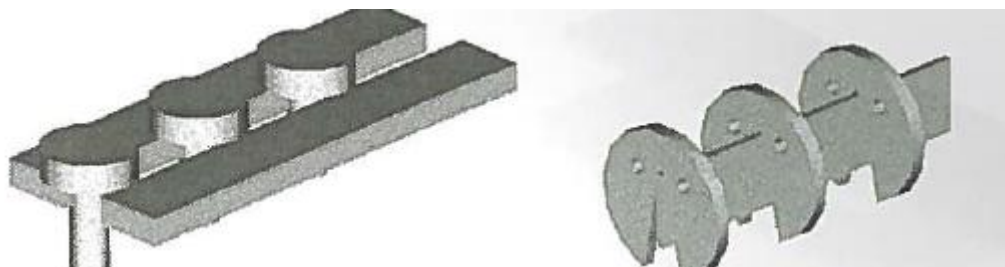


Kuvio 6. Muotosulkeisia rakenteita, joilla hakautuminen voidaan estää. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 126.)

4.4.2 Painopisteen käyttäminen erotteluun

Painopisteellä on merkitystä, kun kappaleenkäsittelyautomaatiossa orientoidaan osia kokoonpanoon. Maan vetovoima toimii orientoinnissa tiettyyn rajaan asti, mutta pienetkin muutokset kitkassa voivat aiheuttaa ongelmia kappaleen syötössä. Sen sijaan orientointiosan painopisteen avulla esim. riiputtamalla olakkeesta, uras-

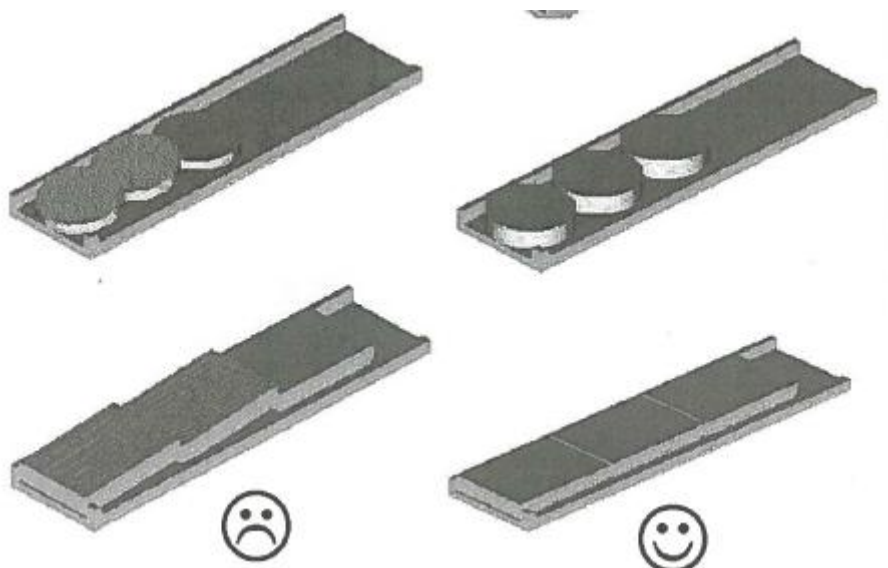
ta, reiästä jne. antavat stabiilin kiinnitysmahdollisuuden esim. maalaukseen tai pintakäsittelyyn. Ohjeeksi voidaan antaa, että ulkoisten ohjaus- ja käsittelypintojen suunnittelu tulisi tehdä selvästi osan painopisteen yläpuolelle, jotta osan riiputettavuus tulisi mahdolliseksi (kuvio 7). (Lempiäinen & Savolainen 2003, 127.)



Kuvio 7. Osien riiputettavuus parantaa syöttöä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 129.)

4.4.3 Kiipeämisen estäminen

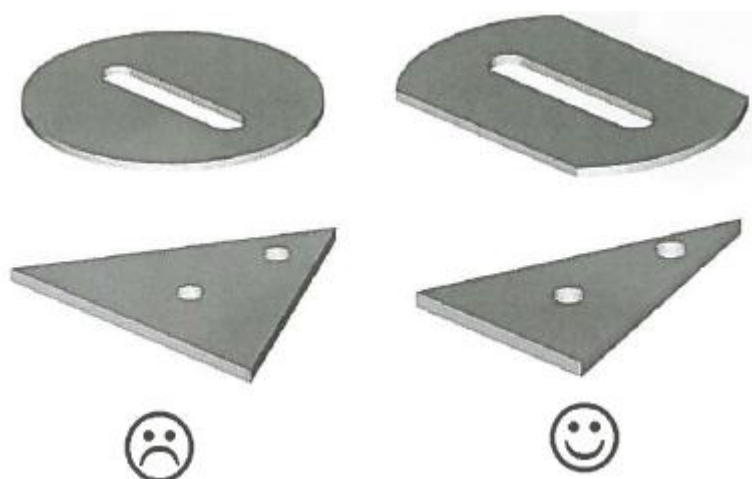
Osien täryttäminen tasossa järjestää syötettävät osat kiinni toisiinsa. Jotta täryttäminen ja osien jonon aiheuttama paine ei nosta osia toistensa selkään tai kiilaa osia urassa poikittain, osien ulkopintojen kohtisuoruus näyttelee tärkeää roolia. Sama asia toisin päin eli osan kohtisuorille vastakkaisille kylkipinnoille voidaan käyttää tartuntaan reilusti voimaa. Yleisesti voidaan sanoa, että osien ohjauspintojen tulee olla niin suuria kuin mahdollista, jolloin osien rotaatiosuuntainen liike saadaan estettyä. Pohjapinnan tulee myös olla mahdollisimman tasainen, ettei täry tai jonon paine aiheuta osien kiipeämistä toisensa ”selkään”. Tätä voidaan ehkäistä suunnittelemalla painopisteen mahdollisimman alas. Usein ura pohjassa kohtisuorana kulkusuuntaa vastaan ehkäisee osien kiipeämistä toistensa päälle. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 129.)



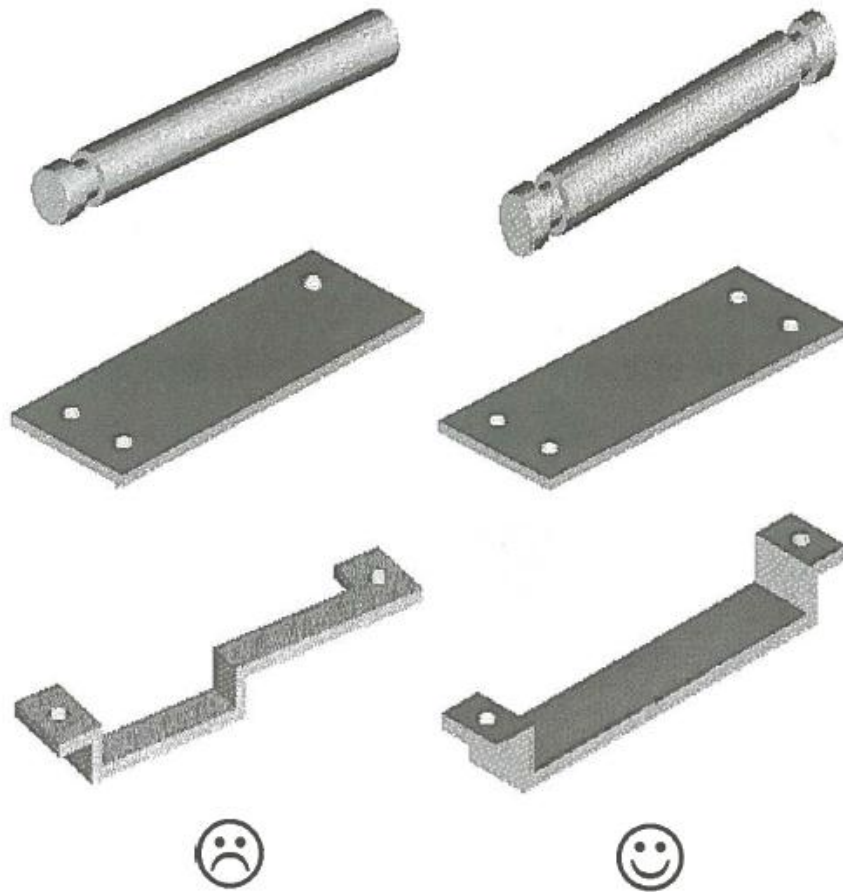
Kuvio 8. Tasaisten osien kylkipintojen avulla voidaan estää syötössä kiipeäminen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 130.)

4.4.4 Symmetrian hyväksikäyttö

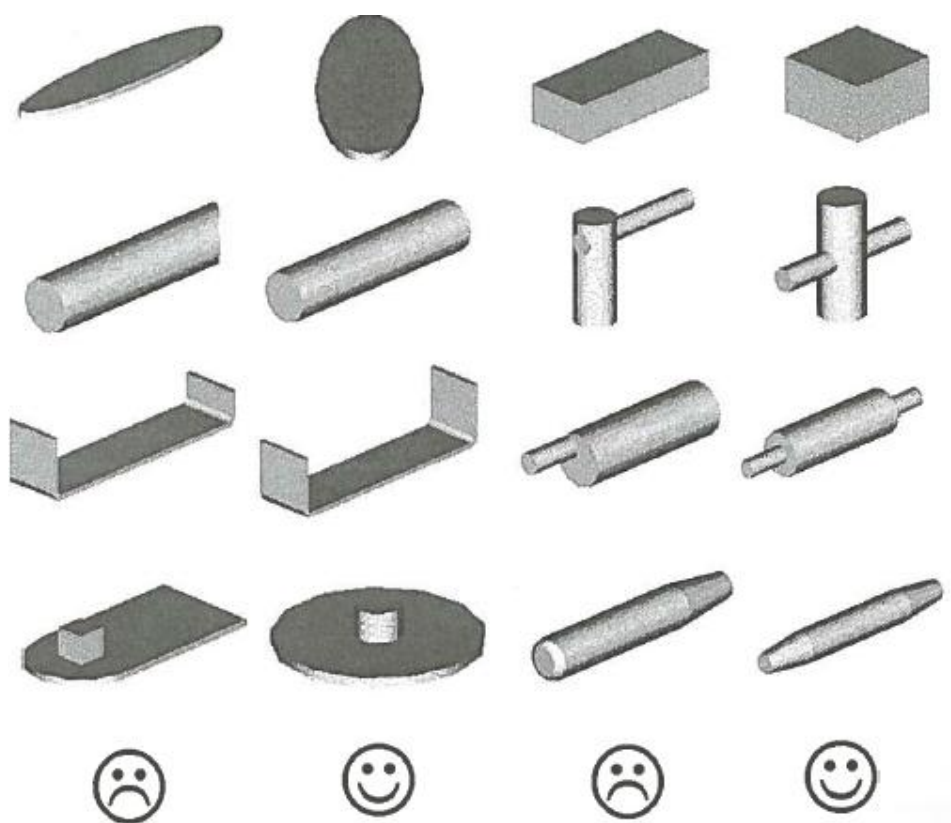
Kokoonpano-osille, jotka orientoidaan tärysytimessä, tarvitaan epäsymmetriapiirteitä. Täysin symmetristä ei tarvitse orientoida. Lievästi epäsymmetrisiä on hankala käsitellä syöttimessä. Mikä symmetrisyys ei ole mahdollista, tulee lisätä epäsymmetrisyyttä liioitellen (kuviot 10-12). Tämä helpottaa luotettavaa tunnistamista näiden piirteiden perusteella. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 131.)



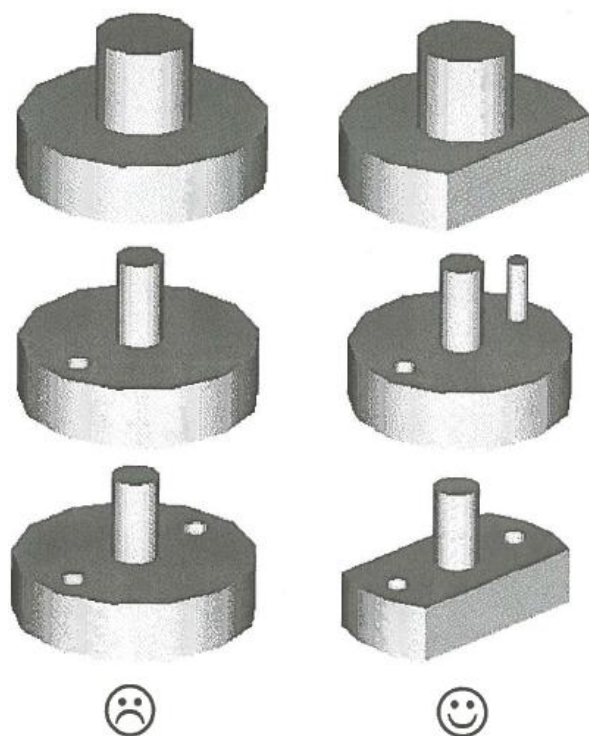
Kuvio 9. Lisäpiirre osan ulkopinnalla, jotta orientointi onnistuisi paremmin. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 131.)



Kuvio 10. Symmetrian lisääminen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 132.)



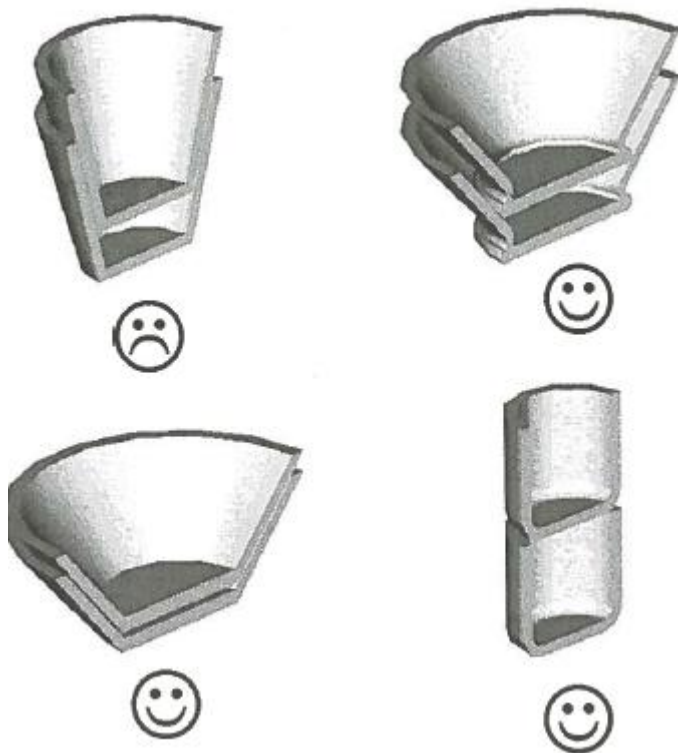
Kuvio 11. Symmetrian lisääminen syötön helpottamiseksi. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 133.)



Kuvio 12. Epäsymmetrian lisääminen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 134.)

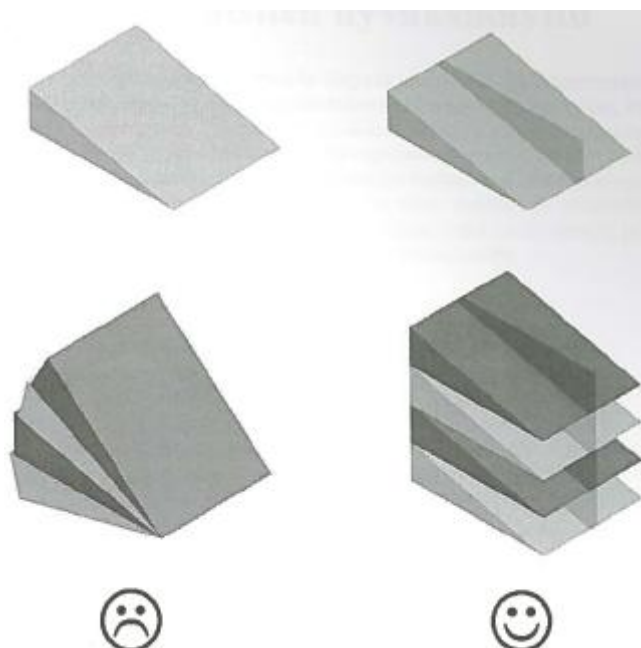
4.4.5 Syöttäminen pinosta

Pino on hyvä tapa järjestää osien syöttö kokoonpanossa, kun pidetään huoli, etteivät osat pääse kiilautumaan sisäkkäin. Kuviossa 13 muutama esimerkki siitä, miten kiilautumista voidaan ehkäistä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 135.)



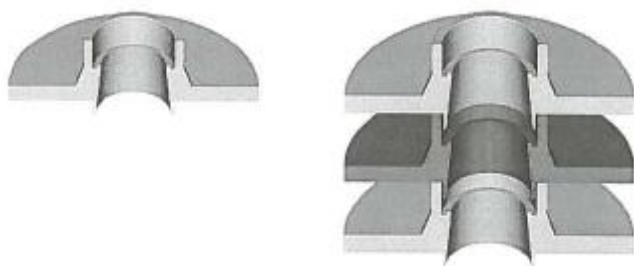
Kuvio 13. Kiilautumisen estäminen pinoissa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 135.)

Pinoaminen on helppo ja tilaa säästävä ratkaisu. Suorat ulkopinnat ja stabiili asento antavat mahdollisuuden toteuttaa pinosta purkua keveille osille pinon alta ja painavammille osille pinon päältä. Automatisoinnissa robotti osaa mukautua pinon alenemiseen, mutta käytännöllisempää on pinon syöttö alta, koska poimintapiste pysyy vakiona. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 135–136.)



Kuvio 14. Pinoutumisen edistämistä ulkomuodon avulla (Lempiäinen & Savolainen 2003, 137).

Osien syöttö pinon alta tulee kyseeseen yleensä vain metallisille osille. Ne kestävät paremmin usean osan päällekkäin vaurioitumatta. Pino voi toimia myös osavalmistuksen ja kokoonpanon välisenä varastointi puskurina. Pinolle on vaihtoehtona puskurointikuljetin. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 136–137.)



Kuvio 15. Pinoutumisen edistämistä ulkomuodon avulla (Lempiäinen & Savolainen 2003, 136).

4.5 Robottiikan käyttö kokoonpanossa

Robottikokoonpanojärjestelmä on järjestelmä, jossa kokoonpano on automatisoitu robotein ja erilaisin automaattioratkaisuin. Tiettyyn pisteeseen asti robotti voidaan

ohjelmoida tekemään ja hakemaan asioita, jos osat on hyvin paikoitettu, mutta loppujen lopuksi tarvitaan erilaista anturointia ja konenäköä.

Robotin liikeradat ja ulottuvuudet ovat rajoittuneet ja tämä tulee ottaa huomioon, kun osia suunnitellaan automaattiseen kokoonpanoon. Kokoamissuunta ei voi olla kuin yhdestä suunnasta, yleensä ylhäältä alaspäin, ja osien sijoittuminen rakenteessa tulee olla helppoa ja "idioottivarmaa". Idioottivarma tarkoittaa, että osien syöttö kokoonpanoon tuo osat juuri oikeassa asennossa robotille ja osien sijoittamista rakenteeseen on helpotettu erilaisin ohjauksin ja viistein.

Esitarkastus osille on ensisijaisen tärkeää. Esimerkiksi muoviosissa ei saisi olla pursejämiä. Jos sovite on tiukka, robotille on haastavaa saada osa paikalleen. Kokoonpanon jälkitarkastus toteutetaan kameroilla vertailemalla hyväksytyyn rakenteeseen tai testataan muilla tavoilla.

Yleisenä sääntönä kaikki osat pitäisi olla tartuttavissa automaattisessa kokoonpanossa. Tarttuja on vähemmän joustava ja vaatii enemmän tilaa kuin ihmisen käsi. Jos osa voidaan asentaa kahden sormen otteella, se pitäisi olla helppo myös kiinnittyä mekaanisella tarttujalla. Havainnollistaakseen tätä robotin tilannetta, kuvittele ihminen kokoonpanotyössä toinen käsi selän takana, sokeana ja vapaana olevassa kädessä on nyrkkeilyhanska. Tarttumat ovat yleensä kalliita, koska ne tehdään juuri siihen kokoonpanotehtävään. Jos mahdollisimman monta osaa voidaan asentaa samalla tarttujalla, siinä säästää rahaa. Osan sisä- ja ulkopiirteet pitäisi olla tarttumisyhtävä. Tarttuminen helpottuu, jos osa on symmetrinen. Koolla on myös väliä. Pienet osat ovat hankalia tarttua ja isommat helpompia. Mutta liian iso ja raskas osa voi vaatia myös paljon robotilta. Osan painopiste pitäisi olla mahdollisimman lähellä tarttumisasentoa. Ruuvit, joissa on pitkä (pituus > 1,5 halkaisija) varsi tai lieriömäinen pää, on helpompi suunnata verrattuna ruuveihin, joissa on lyhyt varsi tai pää, koska se helpottaa asennusprosessia. Vastaavasti suuret osat olisi hyvä kokoonpanna yhdessä sarjassa, koska se vähentää tarttujienvaihtamisen määrää, mikä taas säästää rahaa ja aikaa. Tarttujienvaihtaminen ei lisää arvoa tuotteelle. (Eskilander 2001, 176-177.)

5 DESING FOR AUTOMATIC ASSEMBLY ELI DFAA

Design for Automatic Assembly tarkoittaa tuotesuunnittelua, jonka lähtökohtana on kokoonpanon automatisointi joko enimmältä osin tai kokonaan. Tämän menetelmän sisälle on kehitetty omia metodeja, kuten DFA2, jota tämä kappale käsittelee.

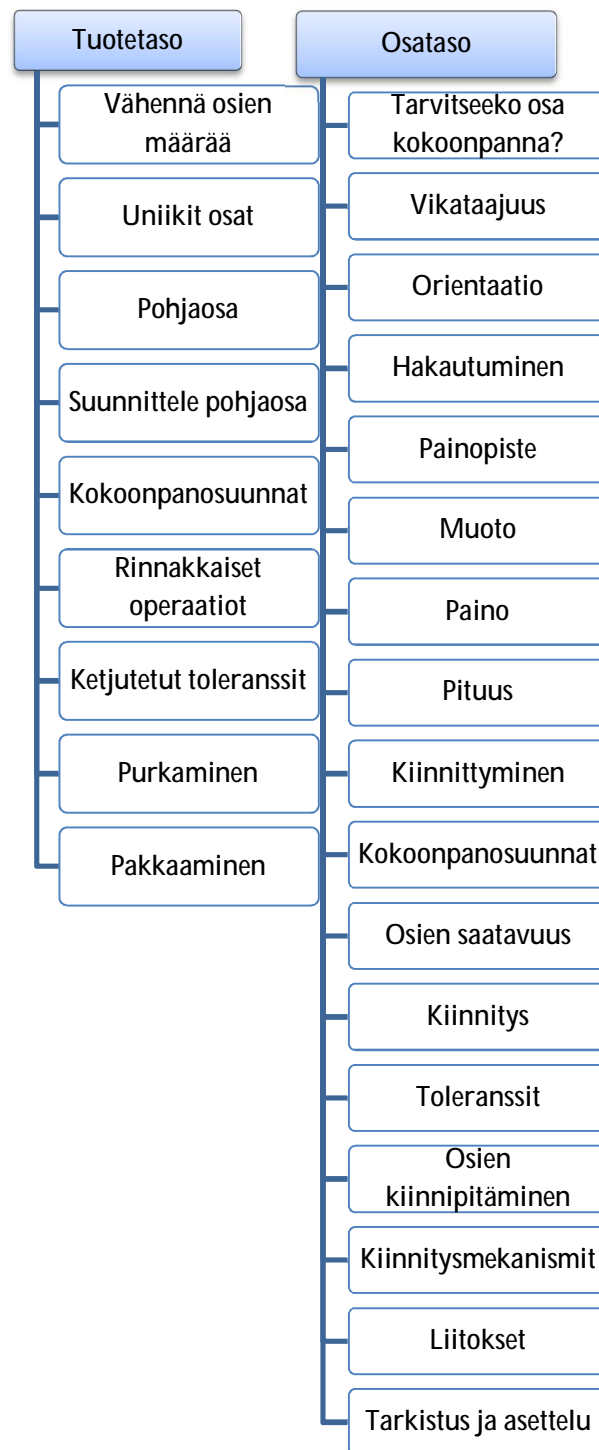
DFA2 on Stephan Eskilanderin kehittämä metodi parantamaan tuotesuunnittelua, jotta lopputoteutus olisi automatisoitavissa. Metodi perustuu eri kriteerien arviointiin pisteyttämällä ne yhdestä yhdeksään. Paras ratkaisu automatisoinnin kannalta on 9 pistettä. Hyvä, mutta ei täydellinen, on 3 pistettä ja ei-haluttu piirre saa yhden pisteen. Lopuksi pisteet lasketaan yhteen ja jaetaan maksimi pistemäärällä. Tuloksena on luku väliltä 11–100 eli DFA2-index (Kaava 4). Mitä pienempi luku, sitä enemmän parannettavaa ja mitä lähemmäksi sataa tullaan, sitä paremmin tuote soveltuu automatisointiin. Piste 100 tarkoittaa täydellisesti automatisoitavaa tuotetta. Tähän arviointiin ei tarvita edes prototyyppiä. (Eskilander 2001, 77–78.)

$$DFA2-index(\%) = \frac{\text{Tuotteen saama pistemäärä}}{\text{Maksimi ideaali pistemäärä}} \times 100 \quad (4)$$

Verrattuna DFMA-metodiin, DFA2 ei anna yhtä paljon liikkumavaraa suunnittelijalle. Tutkimuksessaan Eskilander havaitsi, että samasta suunnittelutehtävästä viisi eri ryhmää sai tulokseksi jonkin verran erilaisia tuloksia (10 % - 42 %). Kun sama tehtävä tehtiin noudattaen DFA2-metodia, vaihteluväli oli pienempi (70 % - 73 %). Arvot eivät ole keskenään vertailukelpoisia, mutta vaihteluvälin pieneneminen kertoo, että DFA2-metodissa tulosten ”subjektiivinen manipulointi” ei ole ihan niin helppoa”. Sinänsä DFMA:n ja DFA2:n metodien vertailu on hyvä tehdä. DFA2 on työläämpi ja sisältää enemmän suunnitteluun sääntöjä, mutta lopputulos on vertailukelpoisempi. (Eskilander 2001, 122.)

DFA2 on jaettu kahteen eri osaan, tuotetasolle ja osatasolle (kts. kuvio 16). Tuotetasolla tarkoitetaan tässä kokonaista tuotetta/tuoteperhettä tai moduulia. Pääperiaatteena on suunnitella tuote, joka on mahdollisimman yksinkertainen (ei-kompleksinen), mikä tarkoittaa, että voidaan käyttää yksinkertaisinta mahdollista kokoonpanoprosessia. Modulaarisemmalla tuotteella ja standardoiduilla osilla pystytään kontrolloimaan tuotevariaatioita. Esimerkiksi autoteollisuudessa auton pe-

rusrunko (eli moduulit) ovat samat, mutta silti asiakas pystyy muokkaamaan autonsa omien tarpeiden mukaan. (Eskilander 2001, 154.)



Kuvio 16. DFA2-metodin rakenne. (mukaillen Eskilander 2001, 153.)

5.1 Tuotetaso, osien määrän vähentäminen

Aluksi on käsiteltävä suunnittelun säännöt koko tuotteelle, moduulille tai muulle kokonaisuudelle. Tarkoituksena on suunnitella tuote niin yksinkertaiseksi, että voidaan myös käyttää mahdollisimman yksinkertaista kokoonpanoa. Modulaarisuudella luodaan standardi moduulit, joista kootaan lopputuote. Se myös mahdollistaa eri variaatiomäärien kontrolloimisen. (Eskilander 2001, 154.)

On tärkeää kontrolloida osien määrää. Vähentämällä kiinnityselementtejä voidaan saavuttaa integroimalla kiinnitysmenetelmiä, esim. napsuliitokset. Kaikki kiinnitysmekanismit pitäisi sisältää muutaman helpon siirron mahdollistaakseen automaattisen kokoonpanon. Jos tuote ei sisällä mitään kiinnitysmekanismia, pitää arvioida uudelleen tuotteen purkaminen, huolto ja ylläpito. Taloudellisesti on mietittävä, onko järkevämpää kehittää erikoistyökaluja kuin vähentää osia integroimalla osia yhteen. Kuviossa 17 on osien määrä pisteytetty DFA2-metodin mukaisesti. (Eskilander 2001, 155.)

Taulukko 1. Laskentaperiaate osien määrän vähentämisestä. (mukaillen Eskilander 2001, 155.)

Vähennä osien määrää jokaisessa modulissa. Suuri määrä osia tuo haasteita modulissa.	
Osien määrä ≤ 20	9 pistettä
$20 < \text{osien määrä} \leq 30$	3 pistettä
Osien määrä > 30	1 piste

Standardiosien käyttö on lisääntynyt. Tästä on paljon etuja, mutta ei ole aina mahdollista tehdä koko tuotetta standardiosista. Oletetaan, että kokoonpanossa on viisi ruuvia. Oletettavasti nämä viisi ruuvia ovat samanlaisia kuin viisi erilaista ruuvia (esim. torx tai kuusiokolo tai pituus). Tämä vähentää tarvetta erilaisiin tarttujiin, syöttöihin ja niin edelleen. Jos standardiosia ei ole käytettävissä, suunnittelun lähtökohtana olisi hyvä olla ajatus siitä, että myös uusi variaatio komponentista olisi automatisoitavissa samalla kokoonpanolinjalla. (Eskilander 2001, 156.)

Taulukko 2. Laskentaperiaate uniikkien osien määrästä. (mukaillen Eskilander 2001, 156.)

Uniikkien osien määrä: Uniikkien osien määrä jaettuna kokonaismäärällä	
Uniikkien osien määrä < 40%	9 pistettä
40% < uniikkien osien määrä ≤ 70	3 pistettä
Uniikkien osien määrä > 70	1 piste

Automaattisen kokoonpanon kannalta on tärkeintä olla ns. pohjaosa eli osa, jonka päälle kootaan loput osat. Hyvässä tapauksessa ei tarvita erillistä asennus jigijä. Ideaalinen pohjaosa on tartuttavissa, siirrettävissä ja toimitettavissa ilman, että se menettää orientaationsa. Pyöritykset ja viisteet tehdään niin, että pohjaosa on helppo asentaa ja pysyy myös varmasti paikoillaan. Pohjaosa muotoillaan tasapainoiseksi, painopiste mahdollisimman alas, tukipisteet mahdollisimman kauaksi toisistaan ja ohjausreikiä/tappeja ohjaamaan osat paikalleen. Tavoitteena on, ettei pohjaosaa tarvitse missään vaiheessa käännellä tai siirtää. (Eskilander 2001, 157.)

Taulukko 3. Laskentaperiaate pohjaosan olemassa ololle. (mukaillen Eskilander 2001, 157.)

Pohjaosa on ensimmäinen osa, jonka päälle kokoonpano voidaan tehdä. Yksinkertainen alusta ja muutama kokoonpano suunta.	
Pohjaosa	9 pistettä
Ei pohja osaa	1 piste

Taulukko 4. Laskelma pohjaosan suunnittelulle. (mukaillen Eskilander 2001, 159.)

Pohjaosan suunnittelu	
Pohjaosa on suunniteltu niin, että ei tarvita jigijä kokoonpanoon. Pohjaosaa ei tarvitse uudelleen asemoida kesken kokoonpanon	9 pistettä
Moduulin kokoonpano vaatii useampia jigijä. Pohjaosaa pitää siirtää tai käsitellä kesken kokoonpanon.	3 pistettä
Modulin kokoonpano vaatii yhden tai useampia jigijä, joilla on useampia siirrettäviä asentoja. Pohjaosan pitää siirtää tai uudelleen asetella kesken kokoonpanon.	1 piste

Tuotteen rakenne pitäisi rakentaa niin, että kaikki kokoonpano tapahtuu yhdestä suunnasta (kutsutaan joko hampurilais-, voileipä- tai pyramidikokoonpanoksi). Al-

haalta ylöspäin suuntautuva on suositeltava kokoonpanosuunta, koska se on helpompi asetella ja voidaan käyttää maan vetovoimaa apuna asetteluun ja kiristämiseen. (Eskilander 2001, 159.)

Taulukko 5. Laskelma kokoonpanosuunnalle. (mukaillen Eskilander 2001, 159.)

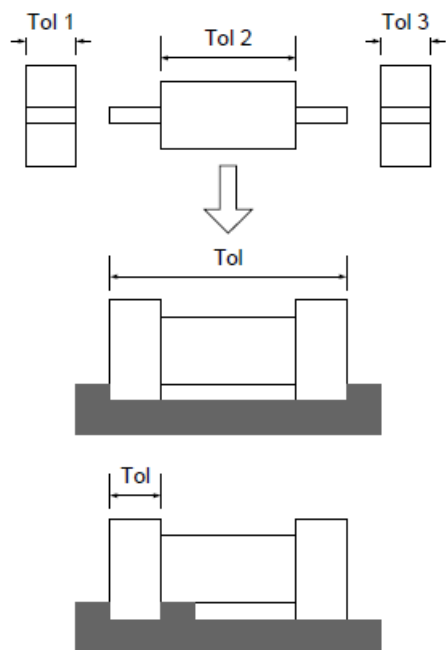
Kokoonpano suunta, kokonaisuus	
Yksi kokoonpano suunta kiinteälle pohjaosalle	9 pistettä
Kaksi kokoonpano suuntaa kiinteälle pohjaosalle (tai yksi kokoonpanosuunta ja käännettävä jigi kahdella kiinteällä suunnalla.)	3 pistettä
Kolme tai useampi kokoonpanosuuntaa. (tai kokoonpano liikuteltavalle pohjaosalle ja useampi kiinteä suunta)	1 piste

Jos osat on koottavissa rinnakkain, kokonaisaika kokoonpanossa voi vähentyä dramaattisesti verrattuna perinteiseen peräkkäiseen kokoonpanoon. Rinnakkaisessa kokoonpanossa muutos osassa ei vaikuta läpimenoaikaan merkittävästi. Alimoduulia tai komponenttia ei tule suunnitella edes hätätapauksessa, kun on ongelmia kokoonpanossa. Kokoonpano tulisi olla suoraviivaista eikä vaatia alikokoonpanoja. Mutta mahdollisuus tehdä osakokoonpanoa rinnakkain taas vähentää läpimenoaikaa. (Eskilander 2001, 160.)

Taulukko 6. Laskelma rinnakkaisten operaatioiden pisteityksestä. (mukaillen Eskilander 2001, 160.)

Rinnakkainen kokoonpano	
<p>Vasemmallä on 7/9 rinnakkaista operaatiota. Oikealla 10/12 rinnakkaista operaatiota</p>	
> 50% rinnakkaista kokoonpanoa	9 pistettä
0% < rinnakkaisia operaatioita ≤ 50%	3 pistettä
Ei rinnakkaisia operaatioita	1 piste

Toleranssien määrittämisessä tulee ottaa huomioon kokoonpano, esimerkiksi kapaleen orientaatio ja asettaminen. Automaattinen kokoonpano sisältää kiinteitä mittoja tarttujille, jigeille jne., mikä tarkoittaa, että toleranssit tulee asettaa tapauskohtaisesti. Jos joku mitta on näiden ulkopuolella, se tarkoittaa kokoonpanon pysähtymistä. Pitää välttää ketjutettuja mittoja, jotka lisäävät riskiä saada ongelmia kokoonpanossa. Katso kuvio 17 (Eskilander 2001, 162.)



Kuvio 17. Vältä toleranssien ketjuttamista. (Eskilander 2001, 162.)

Taulukko 7. Laskelma toleranssien käytöstä. (mukaillen Eskilander 2001, 162.)

Toleranssien ketjutus	
Erilaiset toleranssien ketjut eivät vaikuta kokoonpanon prosessiin. Vain yksittäisten osien toleransseilla on merkitystä.	9 pistettä
On kaksi eri merkityksellistä toleranssia kokoonpanoprosessissa.	3 pistettä
On kolme tai useampaa merkityksellistä toleranssia kokoonpanoprosessissa.	1 piste

Näiden lisäksi tuote- tai moduulitasolla olisi hyvä pohtia mahdollisuutta purkaa tuote tai moduuli. Näihin ei kuitenkaan ole tässä metodissa löydetty riittäviä arviointikriteerejä, jotta voitaisiin suorittaa laskennallinen arviointi. Sama pätee myös tuotteen pakkaamiseen. (Eskilander 2001, 162.)

5.2 Osataso, automaation mahdollistaminen

Kuviossa 16 on osatasolle kirjattuna 18 erilaista kysymystä liittyen kokoonpanoprosessiin. Kysymykset ovat yleisiä, mutta päätavoitteena on suunnitella tuote, joka on mahdollisimman yksinkertainen, mutta täyttää silti halutut ominaisuudet.

Kaikki aika-arviot perustuvat DFMA-metodin määrittämään arvioon kolme sekuntia per osa. Kultainen sääntö voisi olla, että välttä kokoonpanoa, jos mahdollista. Tarkoituksena on minimoida osien määrä. DFMA-metodissa Boothroyd & Dewhurst esittivät kolme kysymystä, joilla määriteltiin osan olemassa olon merkitys: (Eskilander 2001, 166.)

- Liikkuuko osa suhteessa muihin jo asennettuihin osiin normaalissa tilanteessa lopputuotteessa?
- Tarvitseeko osan olla eri aineesta kuin muut juuri asennetut osat tai eristettynä niistä?
- Tarvitseeko osan olla erillinen muista asennetuista osista, koska kokoonpano tai purkaminen on muuten mahdotonta?

Jos yhteenkin kysymykseen tulee kyllä-vastaus, se merkitsee osan kokoonpanoa. Jos kaikkiin tuli vastaukseksi ei, osalle ei ole olemassa ololleen merkitystä ja se pitäisi integroida lähellä oleviin osiin tai poistaa. Kokoonpanon tärkein osa on pohjaosa, jonka päälle kaikki muut osat asetetaan. Joskus osien erillisuus voi johtua huollosta ja ylläpidosta. Myös kokoonpanon rajoitteet voivat aiheuttaa sen, ettei osia voi integroida toisiinsa. Hyvä neuvo on arvioida hyviä ja huonoja puolia poistamalla kokoonpanoa tai kasvattamalla osien määrää. (Eskilander 2001, 166.)

Taulukko 8. Osan olemassaolon merkitys. (mukaillen Eskilander 2001, 168.)

Kokoonpanon tarve	
Osalla on olemassa ololleen syy. (vähintään yksi kyllä kolme kysymykseen)	9 pistettä
Osa pitäisi poistaa tai integroida (kaikkiin kolmeen kysymykseen ei) mutta osa on silti erillinen osa tuotteessa.	1 piste

Ostettujen osien täytyy olla tarpeeksi luotettavia, jotta ne eivät aiheuta turhia pysähdyksiä tuotannossa. Osan hyväksyntä pitäisi arvioida hinnan ja laadun mukaan verrattuna tuotannon pysähdyksiin. Tämä koskee myös yrityksen sisällä tuotettuja osia. Hyväksyttävä raja vikojen suhteen, esim. ruuvit, pitäisi olla alle 0,1 %, jotta se sopisi automaattiseen kokoonpanoon. (Eskilander 2001, 168.)

Taulukko 9. Vikataajuuden arviointi kokoonpano-osille. (mukaiillen Eskilander 2001, 168.)

Vikataajuus osille	
P < 0,1%	9 pistettä
0,1% ≤ P ≤ 1,5%	3 pistettä
P > 1,5%	1 piste

Osien järjestäytyminen tai orientaatio pitäisi minimoida. Jos orientaatio on tarpeen, osat pitäisi suunnitella niin, että ne ovat myös helposti laitettavissa järjestykseen. Tästä suunnittelusta oli tarkemmin luvussa viisi. (Eskilander 2001, 169.)

Taulukko 10. Osien orientaation arviointi. (mukaiillen Eskilander 2001, 169.)

Osien orientaatio	
Ei ole tarvetta	9 pistettä
Osaksi orientoitunut, mutta tarvitsee lopullista järjestämistä	3 pistettä
Osa vaatii uudelleen suunnittelua, orientaatiota tarvitaan, mutta ei onnistu	1 piste

Osien syöttö automaatiolinjalle on usein ongelmallisoin osa-alue. Sanotaan, että jos osien syöttö linjalle toimii, koko linja toimii. Suurin osa ongelmista tulee juuri siitä, että suurinta osaa osista ei suunnitella helposti syötettäväksi. Luvussa viisi on myös käyty tätä asiaa läpi. (Eskilander 2001, 170.)

Taulukko 11. Osien syöttö. (mukaiillen Eskilander 2001, 170.)

Ei rikkoituvien osien syöttö	
Osa ei ole rikkoutuva	9 pistettä
Osa ei saa naarmuuntua	3 pistettä
Osa ei voi tippua ilman vahinkoa	1 piste

Osien hakautuminen on myös haastavaa automaattilinjalle. Luvussa viisi on käyty myös tämä asia läpi, miten suunnitella osa, esim. jousi niin, ettei se hakaudu. Myös materiaaliin on syytä kiinnittää huomiota. Se ei saisi olla tahmea, magneettinen ja niin edelleen. Yksi keino on kopioida elektroniikkateollisuuden idea, jossa pienet komponentit ovat usein nauhoissa tai teipeissä. (Eskilander 2001, 170–171.)

Taulukko 12. Osien hakautuminen. (mukaillen Eskilander 2001, 171.)

Osien hakautuminen	
Osat eivät hakaudu toisiinsa	9 pistettä
Osat hakautuvat ja tarrautuvat toisiinsa	1 piste

Osien painopisteen käyttäminen osien syöttämisessä on yksi tavallisimmista tavoista erotella osat. Tarkoituksena on, että osalla on selkeä "lepoasento", mihin se orientoituu esim. tippuessaan. (Eskilander 2001, 172)

Taulukko 13. Osien painopiste. (mukaillen Eskilander 2001, 172.)

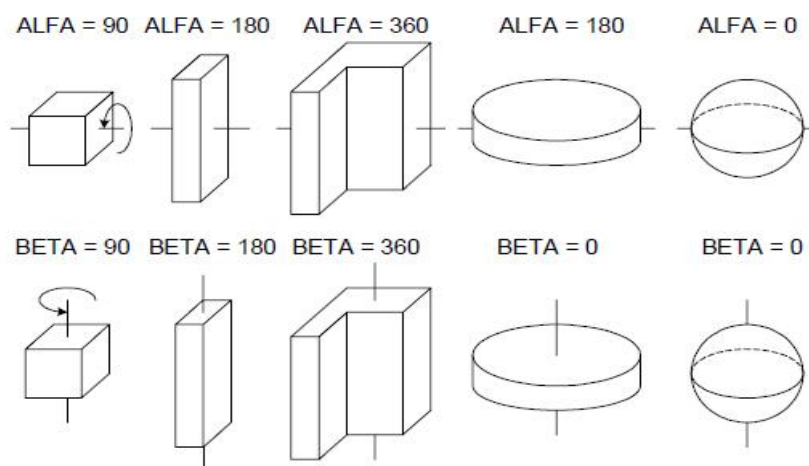
Osan painopiste	
Osalla on selkeä painopiste ja se orientoituu itsekseen oikea puoli ylöspäin	9 pistettä
Osalla on selkeä painopiste, mutta se orientoituu väärä puoli ylöspäin.	3 pistettä
Osalle ei ole selkeää painopistettä ja se orientoituu miten sattuu.	1 piste

Osien orientoitumisena kannalta osan muodolla on merkitystä. Luvussa viisi on myös käsitelty osien muotoja. DFA2-metodissa on hyvä esimerkki siitä, mitä merkitystä on osan muodolla orientaatioon (kuvio 18). Ensimmäisessä osassa orientaation täytyy tapahtua sekä sivun että reiän suhteen. Toisessa pelkästään reiän suhteen eli todennäköisyys 1/6. Seuraavat kaksi ovat jo paljon helpompia ja todennäköisyys on jo 1. (Eskilander 2001, 173.)



Kuvio 18. Esimerkki osista, joilla on eri todennäköisyys saada helposti orientoitua. (mukaillen Eskilander 2001, 173.)

Symmetria voidaan myös jakaa kahteen eri luokkaan, α - ja β -symmetriaan. Alfa-symmetria viittaa siihen, kuinka monta kertaa kappale täytyy kääntää sivun suhteen, että palataan samaan geometriseen tilaan ja beeta viittaa siihen, montako kertaa osa pitää kääntää oman asennusakselin suhteen (katso kuvio 19).



Kuvio 19. Alfa- ja beeta-symmetriä erilaisille osille. (Eskilander 2001, 174.)

Taulukko 14. Osan symmetrian vertailua. (mukaillen Eskilander 2001, 174.)

Osan muoto on alfa ja beeta arvojen summa. Symmetria vähentää tarvetta uniikille orientaatiolle.		man. kokoonpanon vertailu
alfa + beeta < 360	9 pistettä	0 s
360 ≤ alfa + beeta < 540	3 pistettä	0,6 s
540 ≤ alfa + beeta ≤ 720	1 piste	0,9 s

Osien painon minimointi mahdollistaa yksinkertaisimpien ja vähemmän kalliiden kokoonpano välineiden hankinnan. Koska suhde tarkkan, nopeiden liikkeiden, osien painon ja kokoonpanon hinnan on hyvin monimutkainen, voi olla hyvin viisasta välttää painavia osia, jos suinkin mahdollista. (Eskilander 2001, 175.)

Taulukko 15. Osien paino. (mukaillen Eskilander 2001, 175.)

Osan paino		man. kokoonpanon vertailu
0,1g < G < 2kg	9 pistettä	0 s
0,01g < G < 0,1g tai 2 kg < G < 6 kg	3 pistettä	1,5 s
G < 0,01 g tai G > 6kg	1 piste	3 s

Osien pituus vaikuttaa syöttölaitteiden, tarttujien, jigien yms. suunnitteluun. Erittäin pitkät osat voivat vaatia erikoisia ratkaisuja kokoonpanoon. (Eskilander 2001, 175.)

Taulukko 16. Osien pituus. (mukaillen Eskilander 2001, 175.)

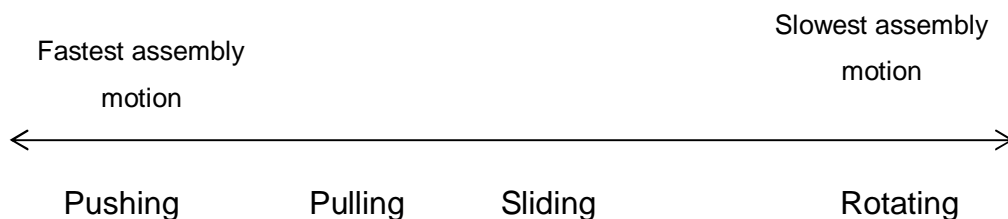
Osan pituus		man. kokoonpa- noon vertailu
5 mm < L < 50mm	9 pistettä	0 s
2mm < L < 5mm tai 50mm < L 200mm	3 pistettä	0,7 s
L < 2mm tai L > 200 mm	1 piste	1,2s

Osiin tarttuminen on olennaisen tärkeää automaattisessa kokoonpanossa. Tarttumat ovat yleensä vähemmän joustavia ja vaativat enemmän tilaa kuin ihmisen käsi. Tarttumat ovat myös kalliita, koska ne räätälöidään tarkoitukseensa. Osat on suunniteltava tarttumiseen ystävälliseksi. (Eskilander 2001, 176.)

Taulukko 17. Osiin tarttuminen. (mukaillen Eskilander 2001, 177.)

Osien tarttuminen		man. kokoonpa- noon vertailu
Osalla on pintaa tarttumiseen ja siihen voidaan tarttua samalla tarttujalla kuin edelliseen osaan.	9 pistettä	0 s
Osalla on pintaa tarttumiseen, mutta se vaatii uuden tarttujan, jota ei ole voitu käyttää edelliseen osaan. Osalla on pintaa johon tarttua, mutta siihen käytetään tarttujaa, jota on käytetty ennemmin, mutta ei edelliseen osaan.	3 pistettä	0 s
Osalle ei ole pintoja mihin tarttua tai pinta on joustava (kumia)	1 piste	1 s

Kaikki osat pitäisi olla kokoonpantavissa yhdellä kädellä. Tämä sääntö on suora vertaus sille, että kokoonpano on automatisoitavissa. Kokoonpanon nopeuteen vaikuttaa osien kokoonpanosuunnat. Kuviossa 20 on vertailtu eri kiinnitysmekanismien nopeutta. (Eskilander 2001, 177.)



Kuvio 20. Eri kokoonpanoliikkeiden nopeuden vertailua. (mukaillen Eskilander 2001, 177.)

Taulukko 18. Kokoonpanon suunnat. (mukaillen Eskilander 2001, 178.)

Kokoonpano suunnat		man. kokoonpa noon vertailu
Kokoonpano sisältää painamista yhdellä osalla, jo asennettuihin osiin.	9 pistettä	0 s
Kokoonpanosuunta sisältää sisältää muitakin liikeratoja kuin painamista yhdellä osalla.	3 pistettä	0,5 s
Kokoonpanosuunta on useamman liikkuvan osan kokoonpanoa, jotka asennetaan yhtä aikaa jo kokoonpantuihin osiin muuten kuin painamalla.	1 piste	0,8 s

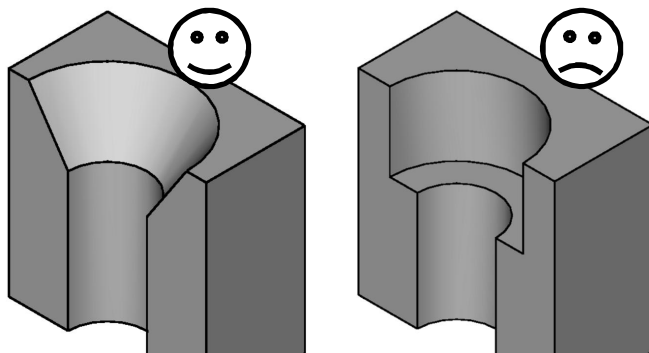
Osan ympärille on muodostettava ”vyöhyke”, että tarttujat ja kokoonpanotyökalut osan ympärillä mahtuvat liikkumaan. Kaikkia esteitä, jotka täytyy kiertää, tulisi välttää, koska ne aiheuttavat turhaa monimutkaisuutta kokoonpanoon ja tätä kautta turhaa ajankulua ja vaikeutta ohjelmoida automatisointia. Erityisesti ruuvikiinnitysten tiellä ei saisi olla mitään ja on elintärkeää taata tila kokoonpanon eteenpäin viemiseen. (Eskilander 2001, 178.)

Taulukko 19. Kokoonpanon osiin tarttuminen ja tilan takaaminen. (mukaillen Eskilander 2001, 179.)

Kokoonpanon esteellisyys, Kokoonpanon osien saatavuutta ei saisi mikään rajoittaa. Kaikki osat pitäisi asentaa samaan suuntaan.		man. kokoonpa noon vertailu
Ei rajoitteita tai ongelmia kurkottaa osiin, kun sovitaan paikalleen.	9 pistettä	0 s
Osien kurkottaminen on rajoittunutta. Eri kokoonpanosuunta kuin edellisellä osalla.	3 pistettä	4,5 s
Osien kurkottaminen on rajoittunutta. Vaatii erikoistyökalun ja tartunnan. Eri kokoonpanosuunta kuin edellisellä osalla.	1 piste	7 s

Osien asennus täytyy tapahtua kerrosmaisesti, sämpylä, pyramidi, voileipä jne., Useiden osien yhtäaikainen asennus ei ole suositeltavaa. Jos useampien osien yhtäaikainen asennus on ”mahdollista”, erilaisten viisteiden ja ohjareiden käyttö on suotavaa helpottamaan asennusta. Osat, jotka ovat symmetrisiä asennusakselinsa ympäri, ovat suotavia, koska tämä eliminoi tarvetta uniikeille orientaatioille

asennuksessa. Myös ohjaustapit yms. ovat helppoja manuaalisessa kokoonpanossa. Automaatiossa näiden käyttö täytyy ohjelmoida, mikä ottaa aikaa. Jotta automaattinen kokoonpano olisi helpompaa, erilaisten viisteiden ja ohjaavien pintojen käyttö on viisaampaa, erityisesti ruuvien kohdalla (kuvio 21). (Eskilander 2001, 179-180.)



Kuvio 21. Kunnolliset viisteet ja ohjaavat pinnat helpottavat automaatiota.

Taulukko 20. Osien asennus viisteiden ja ohjaavien pintojen avulla. (mukaillen Eskilander 2001, 180.)

		man. kokoonpa noon vertailu
Osien asennus tulee yksinkertaistaa.		
Viisteet ovat olemassa yksinkertaistamaan asennusta.	9 pistettä	0 s
Ei viisteitä, mutta on muita ohjaavia pintoja.	3 pistettä	0,2 s
Ei viisteitä eikä ohjaavia pintoja.	1 piste	0,5 s

Tarkkoja toleransseja tulisi välttää, jos suinkin mahdollista. Ne nostavat tuotannollisia kuluja. Tarkat toleranssit lisäävät riskiä asennuksen epäonnistumiseen ja järjestelmä voi pysähtyä. (Estlander 2001, 181.)

Taulukko 21. Osien toleranssit. (mukailten Eskilander 2001, 181.)

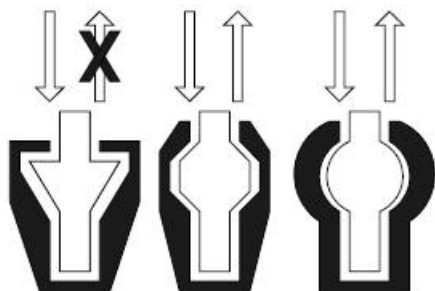
Toleranssit.		man. kokoontalon vertailu
Toleranssi > 0,5 mm	9 pistettä	0 s
0,1 mm ≤ Toleranssi ≤ 0,5 mm	3 pistettä	0,2 s
Toleranssi < 0,1 mm	1 piste	0,4 s

Sen jälkeen, kun osa on asennettu paikalleen, sen tulisi säilyttää paikkansa ilman ulkopuolista avustusta. Tämä on tärkeää erityisesti silloin, kun ylimääräiset tuet vievät tilaa, nostavat kuluja ja laskevat kokoonpanon luotettavuutta. Tuennan tarvetta voi vähentää napsuliitoksilla, painopistettä käyttämällä, tapeilla jne. Väliaikaisten tukien tai pitimien käyttäminen kokoonpanon aikana voi olla kallista. Siksi olisi parasta suunnitella osat tasapainoisiksi ja pysymään ”omin voimin” pystyssä. Osilla pitäisi olla vain yksi vakaa tilapiste. (Eskilander 2001, 181.)

Taulukko 22. Osien paikallaan pysyminen. (mukailten Eskilander 2001, 182.)

Osien paikallaan pysyminen ilman tukea kokoonpanossa.		man. kokoontalon vertailu
Osa pysyy paikallaan heti asentamisen jälkeen.	9 pistettä	0 s
osa pitää asemansa ja paikkansa, mutta ei vakaasti.	3 pistettä	0 s
Osaa pitää pitää kiinni asentamisen jälkeen, jotta se pitää asemansa ja paikkansa.	1 piste	4 s

Kiinnitysmekanismien määrä tuotteessa usein määrittelee tuotteen kokoonpanoajan. Tämän vuoksi suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota kiinnitysmekanismien minimointiin ja integrointiin muihin osiin. Niiden tulisi tukea yksinkertaisuudellaan automaattista kokoonpanoa. Myös napsuliitokset voi suunnitella avattaviksi (kuvio 22). Liitoksissa tärkeintä olisi pysähtyä arvioimaan erikoistyökalun suunnittelun kustannuksia, integroida tai eliminoida osia. (Eskilander 2001, 182.)



Kuvio 22. Napsuliitos. Ensimmäinen ei ole purettavissa, mutta muut ovat. (Eskilander 2001, 183.)

Taulukko 23. Kiinnitysmenetelmien arviointi. (mukaillen Eskilander 2001, 183.)

Kiinnitysmetodit. Analysoi osaa miten se on kiinnitetty?		man. kokoonpanon vertailu
Osa ei kiinnitetä mitenkään. (Osa on joko päällä tai sisällä, jo asennetun osan tai napsu liitoksilla)	9 pistettä	0 s
Ruuvit tai painaminen.	3 pistettä	3 s
Muokkaava kiinnitysmenetelmä, hitsaus, juotos, niittaus.	1 piste	8 s

Kaikki kiinnitysmenetelmät esim. ruuvaaminen, pitäisi suorittaa samasta suunnasta, mieluiten ylhäältä. Painovoima auttaa asettelussa ja kiinnitysprosessissa. (Eskilander 2001, 184.)

Taulukko 24. Liitokset. (mukaillen Eskilander 2001, 184.)

Liitokset. Ylimääräiset laitteet tai työvälineet eivät pitäisi olla tarpeen osien kiinnittämiseen.		man. kokoonpanon vertailu
Ylimääräisiä laitteita tai työkaluja ei tarvita.	9 pistettä	0 s
Ylimääräisiä laitteita tai työkaluja tarvitaan osan paikalleen kiinnittämiseen, mutta kokoonpanosuuntaan.	3 pistettä	2 s
Ylimääräisiä laitteita tai työkaluja tarvitaan osan paikalleen kiinnittämiseen, mutta ei kokoonpanosuuntaan.	1 piste	3 s

Tuote pitäisi suunnitella niin, että kokoonpano alkaa jostain selkeästä peruspisteestä. Peruspiste pysyy koko kokoonpanon ajan ja määrittelee koordinaatiston

ohjelmoinnille. Lisäksi osat suunnitellaan niin, että niitä ei voi asentaa väärin. Pitäisi olla mahdotonta asentaa osaa väärin tuotteeseen. Jos osan voi asentaa väärin, sen pitäisi olla hyvin selkeästi nähtävissä. Tällöin ei tarvita tarkistusta ja säätöä. (Eskilander 2001, 184-185.)

Taulukko 25. Tarkistaminen ja säätäminen. (mukaillen Eskilander 2001, 185.)

Tarkistuksia ja säätöä ei tarvita, jos tuote on suunniteltu "poka yoke" menetelmällä eli on mahdotonta asentaa osaa väärin. Mikään ylimääräinen tarkistelu ei ole hyväksyttävissä.		man. kokoop- noon vertailu
Tarpeetonta tarkistella onko osa paikoillaan.	9 pistettä	0 s
On pakko tarkistaa onko osa paikoillaan tai asennettuna oikein.	3 pistettä	1 s
On pakko säätää ja uudelleen orientoida osaa.	1 piste	2 s

Pisteet kaikista kohdista käydään lopuksi läpi ja tulos jaetaan maksimi pistemäärällä. 100 % tarkoittaa täydellistä soveltuvuutta automatisointiin ja 11 % tarkoittaa, että on paljon parannettavaa tai rakenne ei vain sovellu automatisoitavaksi, vaan on tuotettava manuaalisella kokoonpanolla. Kaikki kohdat, joihin ei tullut 9 pistettä, ovat kehityskohteita.

6 KOKOONPANTAVUUDEN ARVIOINTI (TYÖKALUT)

Kaikki kokoonpantavuuden arviointiin käytettävistä työkaluista ovat ns. kvantitatiivisia eli antavat jonkin suhdeluvun, joka kertoo, miten tuote/osa on kokoonpantavissa. Osa työkaluista keskittyy tilastojen/tietokantojen pohjalta tehtyihin arvioihin ja osa ihan selkeisiin kysymyksiin, joihin etsitään vastausta. Merkittävimpiä arviointityökaluja ei ole montaa ja niistä merkittävimpiä ovat Boothroyd ja Dewhurstin DFMA-metodi, joista löytyy eri versiot manuaaliselle, robotin, automaation ja elektroniikan kokoonpanon analyysiin. Toinen merkittävä Hullin yliopiston kehittämä The Lucas DFA, joka pohjautuu edelliselle metodille. Lisäksi löytyy edellisestä kappaleesta esitelty DFMAA-metodi. Tämän lopputyön tarkoituksena ei ole käyttää kaikkia näitä esiteltyjä työkaluja analysointiin vaan keskittyä uudempaan DFA2-metodiin, joka keskittyy puhtaasti tuotteen automatisointiin.

6.1 Suunnittelun säännöt

Edellisissä luvuissa on esitetty suunnittelulle paljon sääntöjä ja ohjeita. Suurin osa niistä on tiivistettynä DFA2-metodissa ja kuviossa 23 ja 24 on esimerkki tuloksesta, mikä esimerkiksi voisi olla analyysin lopputulos. Esimerkiksi kysymyksessä rinnakkaisista operaatioista tulos on ollut yksi piste. Tämä voisi olla yksi kehityksen kohde, mikäli tuote ei ole niin yksinkertainen, että se sisältää esim. alle 10 osaa.

Tuotetaso									
Tuote/moduli/ osakokonaisuus	Osien määrän vähentäminen	Unikit osat	Pohjaosa	Pohjaosan suunnittelu	Kokoonpanon suunnat	Rinnakkaiset operaatiot	toleranssit	Yhteensä	
Moduli 1	9	3	9	9	9	1	9	77,77777778	%
Moduli 2									
Moduli 3									

Kuvio 23. Tuotetason DFA2-analyysi, esimerkki.

Osataso																				
Materiaalilista, BOM	Kokoonpanon larve	Vikataajuuksille	Osien orientaatio	Erikkoutuvien osien syöttö	Osien hakautuminen	Osien painopiste	Osan muoto/Alfa ja Beeta	Paino	Pituus	Tarttuminen	Kokoonpanosuunnat	Osien ympärillä oleva tila	Osien syöttö	Toleranssit	Osien paikallaan pysyminen	Kiinnitysmenet	Liitokset	Tarkistus ja säätäminen		
Osa1	9	9	3	9	3	1	3		9	9	9	3	3	9	9	9	9	9	124	
Osa2																			162	
Osa3																			162	
																			SUM	448
																			DFA2 index	92,18107 %

Kuvio 24. Osien DFA2-analyysi, esimerkki.

6.2 Tarkistuslistat

Tuotannossa prosessi-insinöörit ovat luoneet oman tarkistuslistansa (kuvio 25), jonka perusteella he käyvät läpi tuotteen soveltuvuuden automaattiseen tai manuaaliseen kokoonpanoon. Lista on kattava ja sisältää hyvin pitkälle samoja asioita, joita DFA2-metodi myös käy läpi, mutta on ehkä enemmän tuotannon kannalta katsottuna. Lista on hyvä lisäys jo olemassa olevaan DFA2-metodiin.

Tuotannonssa kokoonpantavuus	
Mikä on tarve? (myyntivolyymit, hinta...)	
Onko käytetty standardiosia?	
Onko käytetty tuotannossa olevia osia?	
Automaattinen/manuaalinen kokoonpantavuus	
Onko osille määritetty riittävän tarkasti mitat ja toleranssit?	
Onko osan/tuotteen pinta tasalaatuinen (matta, kiiltävä, sileä, karhea jne..)	
Naarmuuntuuko osien pinta helposti?	
Onko osat helposti poimittavissa?	
Onko osa/tuote helppo poimia kuljetuslaatikosta? (Poiminnassa ei nouse monta osaa kerralla)	
Voidaanko osat tuoda täryllä?	
Onko tuotteeseen helppo tarttua kiinni? (Jäysteet, jakosaumat)	
Onko asennussuunta tunnistettavissa? (epäsymmetrinen, tunnistettava muoto)	
Onko riittävästi tilaa työkaluille, asenukselle, kiinnittimille ja robotin tarttuville?	
Onko kokoonpantavien osien lukumäärä minimoitu?	
Joudutaanko tuotteessa käyttämään rasvaa?	
Meneekö osat helposti paikoilleen?	
Voiko osat "tiputtaa" paikoilleen?	
Pysyykö osat asetuksen jälkeen paikoillaan?	
Joutuuko osia/kappaletta kääntämään kokoonpanon aikana?	
Onko sisäkkäin menevillä osilla riittävät ohjausviisteet?	
Onko tarpeettoman tiukkoja ja satunnaisesti määriteltyjä toleransseja?	
Mikä on osien kiinnitys-/lukitusmenetelmä?	
Onko osat helppo kiinnittää toisiinsa?	
Kiinnittykö osat toisiinsa käsivoimin? (Tarvitaanko puristinta tai muita erityislaitteita/koneita)	
Jos käytetään ruuveja niin käytetäänkö automaatiolaitteille soveltuvaa ruuvia?	
Onko kokoonpanon laadunvalvonta helppoa?	
Tunnistustilanteessa tarkasteltavat asiat erotettavissa automaattisesti? (konenäkö, anturointi, laser jne...)	
Onko valmiiseen tuotteeseen helppoa tarttua?	
Kuinka tuote merkitään? (Arvokilpi, brändäys, vaihemerkinnät, jäljitettävyyys ...)	
Voidaanko käyttää olemassa olevia pakkauslaatikoita?	
Voidaanko pakkauslaatikko koota automaattisesti?	
Onko pakkauslaatikoiden määrä minimoitu?	

Kuvio 25. Tuotannon lähestymistapa automaatioon.

7 TUOTANTOAUTOMAATION TILANNE PROTECTION AND CONNECTIONIN VALMISTUKSESSA

Tällä hetkellä tuotannossa ei ole kokoonpanossa yhtään tuotetta, joka olisi sata-prosenttisesti tehty automatisointi mielessä. Yritystä on ollut viimeisimmissä tuotteissa, mutta vasta nykyiset tuotannolliset paineet ovat ehdollistaneet kaikki tahot miettimään, miten tuote tulee tehdä, että se on automatisoitavissa.

Vaikka tuotteita ei ole alun perin ajateltu kokoonpantavaksi automatiikalla, yllättävän hyvin tuotteet on onnistuttu automatisoimaan. Tämä johtune luultavasti tuotteiden yksinkertaisuudesta ja automaation suunnittelijoiden luovuudesta. Automatisoidut tuotteet ovat volyymiltään sellaiset, että ne on ollut jo pakko automatisoida. Esimerkiksi pienet kuormakytkimet OT16-32 (kuviossa 26) on täysin automatisoitu, koska volyymi on vuodessa noin miljoona kappaletta vuodessa.

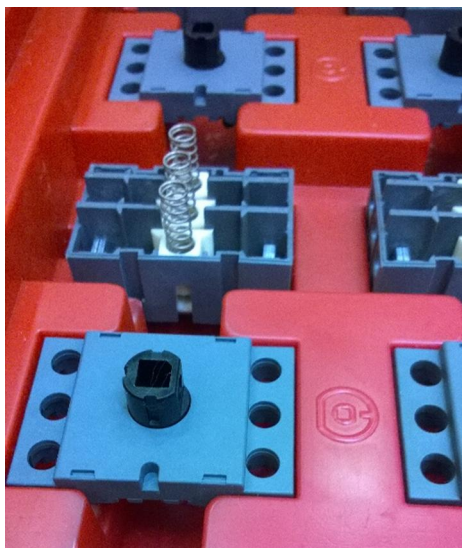


Kuvio 26. ABB kuormakytkin OT16-32. (ABB kuvapankki.)

7.1 Pienten kytkimien kokoonpano

Pienet kytkimet tulevat linjastolle paletilla (kuvio 27). Loput osat tulevat kokoonpanossa täryttimien kautta. Esimerkiksi väännin kuviossa 28 tulee täryttimien kautta kokoonpanoon. Jos väännin on väärinpäin uran lopussa, se puhalletaan pois. Itse kokoonpanon hoitaa ABB:n omat robotit. Myös testaus ja pakkaus hoidetaan

linjastolla. Ihminen hoitaa vain tavaran syötön linjastolle ja pitää huolen, että linjal-
la koneet toimivat tarkoituksenmukaisesti.



Kuvio 27. ABB:n pienet OT-kytkimet syötetään linjastolle paletilla. Kuvassa näkyy
kytkimen kansi- ja keskiosa. Huomioi paletin pohjassa ohjausmerkintä, joka kertoo
asennussuunnan.



Kuvio 28. Kuvassa merkitty punaisella renkaalla suutin, joka puhalttaa väärinpäin
olevan kappaleen takaisin pohjalle.

7.2 Isompien kytkimien kokoonpano

Myös muilla tuotelinjoilla käytetään paljon täryttimiä ohjaamaan osat oikeaan asentoon. Täryttimellä saadaan usein myös hyvin hankalatkin osat orientoitumaan oikeaan asentoon. Kuviossa 29 on kuvakollaasi useasta erilaisesta täryttimestä.



Kuvio 29. Erilaisia ratkaisuja täryttimille osien orientointiin.

8 AUTOMAATION HUOMIOONOTTAMINEN

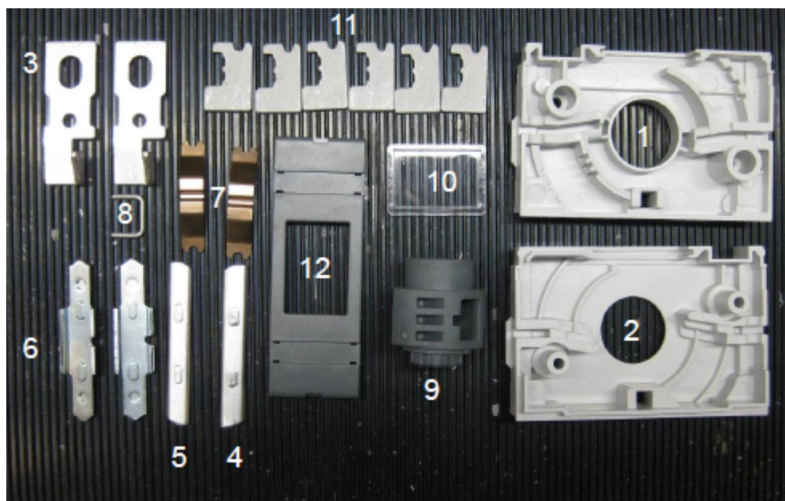
TUOTESUUNNITTELUSSA ESIMERKKINÄ fAST-PROJEKTI

fAST-projektin lopputuloksena tulee vuonna 2017 markkinoille uusi tuoteperhe automaattisista vaihtokytkimistä. Tuotteessa on kehitelty paljon uusia keinoja sammuttaa valokaari-ilmiö ja muutenkin tekniikat ovat kehittyneet. Tästä johtuen tuotteessa on vetämässä useita patenteja ja näistä johtuen kuvien näyttäminen osista ei ole mahdollista. Tämän vuoksi kuvat ovat vanhasta ratkaisusta, mutta navan idea on melkein sama. Kuviossa 30 näkyy vanha ratkaisu. Kytkimessä on kolme napaa ja elektroniikka erikseen liitettynä moottorin yhteyteen.

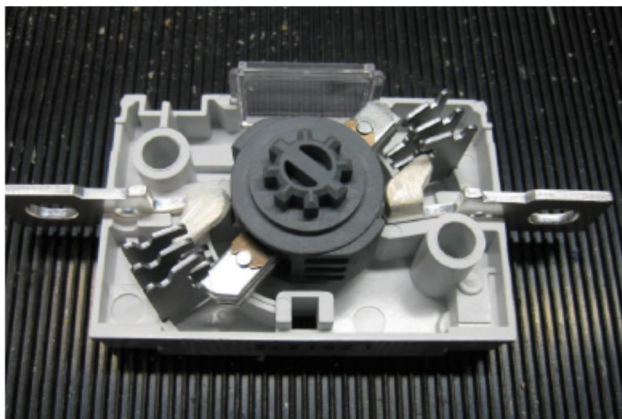


Kuvio 30. Automaattinen verkonvaihtokytkin. Vasemmalla on nykyinen myynnissä oleva ja oikealla ideointi kuva tulevaisuudesta. (ABB kuvapankki)

Napa on se osa, joka katkaisee virran ja kestää vikatilanteet, esim. valokaaren. Sille on paljon vaatimuksia ja automaation tuominen mukaan tuo uuden ja haastavan näkökulman suunnittelijalle. Navan täytyy täyttää standardin vaatimat asiat, mekaaniset ja termiset rasitteet ja lopuksi vielä olla automatisoitavissa. Kuvioissa 31-33 on esitelty vanhan vaihtokytkimen navan rakenne.



Kuvio 31. Kytkimen navan rakenne. (Protection and Connection OTNA1-200 asennusohje.)



Kuvio 32. Napa koottuna kasaan. (Protection and Connection OTNA1-200 asennusohje.)



Kuvio 33. Valmis napa asennettavaksi. (Protection and Connection OTNA1-200 asennusohje.)

Jos tutkittavan kohteeseen verrataan tätä vanhaa mallia, osia on kaksi enemmän. Molemmista löytyvät rungot osat (suluissa olevat numerot viittaavat kuvioon 31: 1 & 2), kiinteät koskettimet (3), liikkuvat koskettimet (4-6), jouset (7 & 8), rulla (9) ja sammutuslevyt (11).

DFA2-metodissa ensin tutkitaan tuote/moduulitaso ja sen jälkeen osatasolla. Tuotetason analysoinnin tulokset näkyvät kuviossa 34. Kuten tuloksista näkyy, vain yksi kohta on saanut yhden pisteen, mikä tarkoittaisi sitä, että siitä pitäisi tehdä kehityskohde. Navassa oli laskujen mukaan yhteensä 54 osaa. Jotta tästä saisi yhdeksän pistettä, niitä pitäisi olla alle 20 kappaletta. Mutta kuten edellä mainittu, tätä tuotetta säätelee moni muukin asia, ja tässä kohdassa vain on hyväksyttävä osien määrän suuruus. On kuitenkin huomioitava, että uniikkien osien määrä on pieni (14 kpl), joten napa on ihan onnistunut kokonaisuus automaation kannalta.

Tuotteen ja osan soveltuminen automaatioon/		Tuotetaso								
			<i>Osien määrän vähentäminen</i>	<i>Unikit osat</i>	<i>Pohjaosa</i>	<i>Pohjaosan suunnittelu</i>	<i>Kokoonpanon suunnat</i>	<i>Rinnakkaiset operaatiot</i>	<i>Toleranssien ketjutus</i>	
	Napa									
			1	9	9	9	9	9	9	Yhteensä
										87,30159 %

Kuvio 34. Navan moduulin DFA2-analyysi.

Osatasolla, kuvio 35, on käsitelty jokainen osa yksilöllisesti läpi. Ensimmäiseksi pitää kiinnittää huomiota ensimmäiseen ja toiseen sarakkeeseen: kokoonpanon tarve ja vikataajuus osille. Näissä sarakkeissa jokainen osa on saanut täydet 9 pistettä, mikä kertoo, että jokaisella osalla on merkitystä kokonaisuudessa ja osat tulevat alihankkijoilta laatutarkistettuina. Suurin osa osista on ominaisuuksiltaan sopivia automatisointiin, mutta muutama osa on erittäin haastava automaation kannalta. Esimerkiksi "Copper Braid" eli kuparipalmikko on nimensä mukaisesti kuparilankaa, joka on palmikoitu. Osa on pehmeä ja taipuisa ja lisäksi palmikon päät tyssätään yhteen. Tämän jälkeen palmikon päät hitsataan "Connection bar"-osaan ja "Contact knife"-osaan. Siihen sisältyy paljon muokkaavia kiinnitysmenetelmiä ja liikkuvia osia. Tämä tekee automatisoinnista haastavaa. Lopputuloksena on indeksi 73 %, mikä ei kuitenkaan ole huono tulos.

Osataso																			
Materiaalilista, BOM																			
	Kokoonpanon tarve	Vikataajuus osille	Osien orientaatio	Erilliskootuivien osien syöttö	Osien hakeutuminen	Osien painopiste	Osan muoto/Ala ja Beeta	Paino	Pituus	Tähtäminen	Kokoonpanosuunnat	Osien ympärillä oleva tila	Osien syöttö	Toleranssit	Osien paikallaan pysyminen	Kiinnitysmetodit	Liitokset	Tarkistus ja säätäminen	
Frame A	9	9	9	9	9	3	1	9	3	9	9	9	9	1	9	9	9	9	134
Frame B	9	9	9	9	9	3	1	9	3	3	9	9	9	1	9	9	9	9	122
Connection bar	9	9	9	9	9	3	1	9	3	9	9	9	3	3	9	1	1	9	114
Copper Braid	9	9	9	9	9	9	9	9	3	1	1	1	3	1	3	1	1	3	90
Contact knife	9	9	3	9	9	3	1	9	3	9	1	9	9	1	1	1	1	1	88
Contact tip	9	9	3	9	9	3	1	9	9	9	1	9	3	3	9	1	3	3	102
Contact iron	9	9	3	9	9	9	1	9	9	9	9	9	3	3	9	9	9	9	136
Contact spring	9	9	3	9	9	9	1	9	9	9	9	9	3	1	9	9	9	9	134
Spring guide	9	9	3	9	1	9	1	9	9	9	9	9	1	3	9	9	9	9	126
Roll	9	9	3	9	9	1	1	9	3	3	1	3	9	1	9	3	9	1	92
Locking piece	9	9	3	9	9	9	1	9	3	9	1	9	3	1	9	9	9	9	120
Fixed contact	9	9	9	9	9	9	1	9	3	9	9	9	9	1	9	9	9	9	140
Arc plate	9	9	3	9	1	3	3	9	3	9	9	9	3	3	9	9	9	9	118
SUM																			1656
DFA2 index																			73 %

Kuvio 35. fAST-navan osien DFA2-analyysin tulos.

9 YHTEENVETO

Maailmassa on paljon työkaluja ja metodeja analysoida tuotetta tai tuotteen osakokonaisuutta. Tässä kohdin myynti ja markkinointi tulevat olennaiseen osaan työkalun valintaa. Yleensä hyvällä myynnillä ja julkisuudella työkalu jalkautuu suuremmalla todennäköisyydellä käyttöön. Vasta pidempiaikainen käyttö kertoo, onko työkalusta hyötyä vai jääkö hyöty olemattomaksi. Jos työkalu on hyödytön, sen käyttö jää vähäiselle ja lopulta vaipuu unholaan.

Kaikissa tässä työssä mainituissa metodeissa on omat hyvät ja huonot puolet. Ongelmallisinta on aina kysymysten asettelu ja tulkinta. DFA2:n kohdalla on vain muutama kysymys, joissa on tulkinnan varaa. Nämä tulee tunnistaa ja rajata. Myös hyvien ja huonojen esimerkkien antaminen auttaa ymmärtämään kysymyksen tarkoituksen. Kokonaisuudessaan DFA2 on käyttökelpoinen työkalu analysoidaan tuotteen kelpoisuutta automatisointiin.

Jatkossa haasteena tulee työkalun implementointi normaaliin prosessiin ja osaksi suunnittelijan arkea. Toimintatapojen muutos on aina haastavaa ja ilman selkeitä toimenpiteitä työkalu saattaa jäädä käyttämättömäksi. Tämän esimerkkiprojektin pohjalta työkalu tullaan esittelemään kaikille suunnittelijoille workshopina. Käytännön esimerkkien kautta DFA2-metodi tulee jäädäkseen ja aktiiviseen käyttöön suunnittelijan työkaluna. Tulevaisuus opettaa kokemuksen kautta, milloin DFA2-indeksi kertoo automaation tason olevan riittävä ABB:n tuotantoon. Sadan prosentin tasoa on vaikea saavuttaa, mutta sopiva taso löytyy kokemuksen kautta ja se voidaan jatkossa asettaa tavoitteeksi niin moduulille kuin osalle.

LÄHTEET

ABB Kuvapankki. [Kuvälähde]. [Viitattu 2.5.2017]. Vaatii käyttöoikeuden.

Austin, M. 1998. Optimization of Engineering Systems tutorial. [Verkkajulkaisu]. Institute for Systems Research, University of Maryland. [Viitattu 30.1.2015]. Saatavana: <http://www.eng.umd.edu/~austin/ence202.d/optimization.html>

Eskilander, S. 2001. Design For Automatic Assembly. [Väitöskirja]. Royal Institute of Technology. [Viitattu 4.3.2016]. Saatavana: <https://www.scribd.com/document/327298911/FULLTEXT01-pdf>

Lempiäinen, J. & Savolainen J. 2003. Hyvin suunniteltu – Puoliiksi valmistettu: Lyhyt johdatus tuotteiden valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen. Helsinki: Hakapaino Oy.

Mr. Mark, S. & Curtis, 1997. DFMA –What, Why, When & How – koulutusmateriaali. Vaatii käyttöoikeuden.

Protection and Connection OTNA1-200 asennusohje. Ei julkaisuaikaa. Vaatii käyttöoikeuden.

VTT. 2008. Lean tuotekehitys – Lean R&D, Lean Product development [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 31.1.2012]. Saatavana: http://www2.vtt.fi/proj/leanver/files/lean_tuotekehitys.pdf