

Jaakko Louhimo

TUOTTEEN SUUNNITTELU KOKOON- PANTAVUUDEN NÄKÖKULMASTA

Tarkistuslista periaatteiden noudattamista varten

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Eeva Järvenpää
Huhtikuu 2021

TIIVISTELMÄ

Jaakko Louhimo: Tuotteen suunnittelu kokoonpantavuuden näkökulmasta – tarkistuslista periaatteiden noudattamista varten
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Teknisten tieteiden kandidaattiohjelma
Huhtikuu 2021

Tuotekehitysvaiheessa on tärkeä huomioida tuotteen kokoonpantavuus. Tuotteen suunnittelu kokoonpantavuuden näkökulmasta eli DFA (Design for Assembly) on systemaattinen tuotekehitysmetodi, jolla pyritään helpottamaan kokoonpantavuutta erilaisin keinoin. DFA:n avulla pystytään nopeuttamaan kokoonpanoprosessia ja sitä kautta alentamaan merkittävästi kokoonpanokustannuksia. Lisäksi DFA:ta hyödyntämällä kokoonpanossa tarvittavien osien lukumäärää pystytään vähentämään, mikä johtaa myös alentuneisiin materiaalikustannuksiin.

On olemassa erilaisia DFA-periaatteita, jotka toimivat ohjenuorina DFA:n hyödyntämisessä. Työn tavoitteena on koota kyseisiä periaatteita tarkistuslistan muotoon ja muotoilla niistä kysymyksiä. Tarkistuslista toimii suunnittelijan aputyökaluna DFA-analyyseissä.

Työ tehdään kirjallisuusselvityksenä DFA:n yleisen esittelyn sekä periaatteiden etsimisen osalta. Tarkistuslistan muodostamista varten kirjallisuudesta etsitään DFA-periaatteita tutkimalla merkittäviä DFA:n perusteoksia. Tarkistuslista koostuu 72 kysymyksestä, joihin voi vastata joko ”kyllä” tai ”ei”. Listassa ”kyllä” vastaukset tarkoittavat kokoonpantavuuden kannalta hyvää suunnittelua. Näin ollen sen avulla pystyy arvioimaan kyseessä olevan tuotteen suunnitteluratkaisuja kokoonpantavuuden kannalta.

DFA-analyysejä varten on olemassa lukuisia erilaisia ja -tasoisia työkaluja. Tässä työssä laadittava tarkistuslista on yksinkertainen aputyökalu kokoonpantavuuden arviointiin. Yksinkertaisen aputyökalun avulla DFA-periaatteita pystyy kuitenkin noudattamaan huomattavasti paremmin kuin ilman minkäänlaista työkalua. Tarkistuslistan etuja ovat sen helppo käyttöönotto sekä se, että sitä pystyy soveltamaan eri tarkoituksiin helpoilla muutoksilla.

Avainsanat: tuotekehitys, kokoonpantavuus, DFA, DFMA

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. KOKOONPANTAVUUDEN SUUNNITTELU	3
2.1 DFA:n historiaa	3
2.2 DFA osana tuotekehitysprosessia	4
2.3 DFA:n hyödyt	5
3. DFA-PERIAATTEITA	7
3.1 Osien lukumäärän vähentäminen	7
3.2 Modulaarisuus	9
3.3 Osan käsittely	9
3.4 Paikalleen asetus	12
3.5 Osan kiinnitys	16
3.6 Säättäminen	19
3.7 Varmistus ja tarkistus	20
4. TARKISTUSLISTAN ESITTELY	21
5. TARKISTUSLISTAN ANALYSOINTI	24
6. YHTEENVETO	25
LÄHTEET	27
LIITE A: TARKISTUSLISTA	29

LYHENTEET JA MERKINNÄT

DFA
DFM

Design for Assembly
Design for Manufacture

1. JOHDANTO

Perinteisesti tuotekehitysprosessissa suunnittelu- ja kokoonpanoryhmä ovat olleet erillään, eikä tiedonkulkua puolin ja toisin ole nähty tarpeelliseksi. Suunnittelijat suunnittelevat tuotteen parhaaksi katsomallaan tavalla ja kokoonpano pyrkii kokoamaan sen tehokkaasti. Tällä tavalla tulee ongelmia kokoonpanolle, sillä tuotetta ei välttämättä ole helppo koota, kokoaminen vie liikaa aikaa, tai pahimmassa tapauksessa se ei onnistu. Tämän vuoksi on syytä ajatella tuotteen kokoonpantavuutta jo tuotekehitysvaiheessa sekä tuoda suunnittelu- ja kokoonpanoryhmiä enemmän yhteen. Näin pystytään välttämään ongelmat, jotka aiheutuvat tiedonkulun puuttumisesta näiden tahojen välillä. (Boothroyd et al. 2010, s. 8)

DFA (Design for Assembly) tarkoittaa tuotteen suunnittelua kokoonpantavuuden näkökulmasta. Se on systemaattinen tuotekehitysmenetelmä, joka on pääasiassa tarkoitettu tuotteen kokoonpanokustannusten alentamiseen (Tatikonda 1994). DFA:ssa tuotteen kokoonpantavuuden helppoutta mietitään jo tuotekehitysvaiheessa (Cho & Park 2019). Tämän vuoksi se onkin tärkeä osa tuotekehitysprosessia. Selvarajin et al. (2009) mukaan DFA:ta hyödyntämällä voidaan merkittävästi alentaa tuotteen kokoonpanovaiheesta aiheutuvia kustannuksia mahdollistamalla sille lyhyemmät läpäisyajat. Tämän lisäksi tuotteen luotettavuutta saadaan samalla parannettua (Selvaraj et al. 2009).

Työn tavoitteena on laatia kirjallisuudesta löydettyjen DFA-periaatteiden pohjalta tarkistuslista, joka toimii suunnittelijan aputyökaluna DFA-analyyseissä. Lista koostuu kysymyksistä, jotka on muotoiltu DFA-periaatteista. Kysymykset muotoillaan siten, että vastamalla kysymykseen ”kyllä” tai ”ei” suunnittelija tietää, onko kyseinen suunnitteluratkaisu hyvä vai huono kokoonpantavuuden näkökulmasta. Lisäksi kaikki kysymykset ovat muodoltaan sellaisia, että ”kyllä” vastaus tarkoittaa hyvää suunnitteluratkaisua. Näin ollen suunnittelija saa vastausten pohjalta selkeän kokonaiskuvan suunniteltavan tuotteen hyvydestä kokoonpantavuuden näkökulmasta. Työ tehdään kirjallisuusselvityksenä DFA:n yleisen esittelyn sekä periaatteiden etsimisen osalta.

Työn pääpaino on DFA-periaatteiden esittelyssä sekä tarkistuslistan laatimisessa. Työssä keskitytään ainoastaan suunnitteluun kokoonpantavuuden näkökulmasta, eikä tässä käsitellä esimerkiksi tuotteen suunnittelua valmistettavuuden näkökulmasta (Design for Manufacture, DFM), joka yleensä tähän aiheeseen liitetään. Jotkin DFA-periaatteet ovat nimittäin ristiriidassa DFM:n kanssa. Lempiäisen ja Savolaisen (2003, s. 69)

mukaan yleisesti ottaen kokoonpantavuus on valmistettavuutta tärkeämpää, sillä kokoonpano on työvoimavaltaisempaa valmistukseen verrattuna. Käsiteltävät DFA-periaatteet liittyvät manuaaliseen tai automaattiseen kokoonpantavuuteen, mutta suuri osa periaatteista pätee kuitenkin molempiin.

Luvussa 2 esitellään DFA:ta yleisesti. Siinä käydään ensin läpi hieman sen taustaa sekä kehitystä. Tämän jälkeen kerrotaan sen roolista tuotekehitysprosessissa, minkä jälkeen kerrotaan sen pääasiallisista hyödyistä. Luvussa 3 esitellään kirjallisuudesta löydettyjä DFA-periaatteita sekä jaetaan ne kategorioihin helpottamaan niiden lajittelua. Luvussa 4 esitellään periaatteiden pohjalta laadittua tarkistuslistaa nostamalla sieltä esiin muutamia kysymyksiä ja kerrotaan myös listan käyttämisestä. Luvussa 5 analysoidaan tarkistuslistaa sekä käsitellään yleisemmin tarkistuslistan hyviä ja huonoja puolia.

2. KOKOONPANTAVUUDEN SUUNNITTELU

Tässä luvussa käsitellään DFA:ta hieman yleisemmin ennen sen periaatteiden esittelyä. Ensin käydään läpi DFA:n historiaa, jonka jälkeen kerrotaan sen roolista tuotekehitys-prosessissa. Lopuksi tuodaan esille DFA:n oleellisimpia hyötyjä.

2.1 DFA:n historiaa

Bogue (2012) kertoo ensimmäisten DFA:han liittyvien teosten olevan peräisin 1960- ja 1970-luvuilta. Vuonna 1968 Geoffrey Boothroyd ja Alan Redford julkaisivat kirjan koneellistetusta kokoonpanosta. Siinä käsiteltiin muun muassa erilaisia suunnitteluohjeita kokoonpanoa varten. Näinkin aikaisessa vaiheessa he huomasivat, että suunnitteluratkaisut ovat paljon tärkeämpiä tuotteen kustannusten alentamisessa kuin tuotannon koneellistaminen. (Bralla 1999)

DFA:n kehitys alkoi pääasiassa automaattisen kokoonpanon tutkimisella. 1970-luvun alussa julkaistiin kirja, joka listasi syöttö- ja asemointitekniikoita pienille osille. Tämä kirja oli tulosta Boothroydin ja Redfordin vuonna 1963 aloittamasta tutkimuksesta. (Boothroyd et al. 2010, s. 2) Vuonna 1977 Boothroyd kehitti metodin, jota voi hyödyntää tuotteen manuaaliseen kokoonpanoon kuluvan ajan arvioimisessa. Tällöin hän huomasi, että tärkein asia kokoonpanokustannusten minimoimisessa on komponenttien lukumäärän vähentäminen. (Bogue 2012)

DFA:n varsinaiset perusteet luotiin 1980-luvulla ja niitä kehitettiin 1990-luvulla. Tuolloin kehitetyt DFA:han liittyvät asiat ovat merkityksellisiä yhä nykyään. Boothroydia ja Dewhurstia pidetään yleisesti alan merkittävänä edelläkävijöinä. 1980-luvulla he alkoivat julkaista töitä automaattisista ja manuaalisista kokoonpanometodeista. (Kuo et al. 2001; Moultrie & Maier 2014) Samoihin aikoihin Boothroyd kehitti kolme kriteeriä määrittämään, onko jokin osa kokoonpanossa tarpeellinen. Näiden kriteerien hyödyntäminen oli ratkaisevassa asemassa tuotteen yksinkertaistamisessa ja sen avulla saavutetuissa kustannussäästöissä. (Boothroyd et al. 2010, s. 4)

DFA on aiheena sellainen, ettei siinä tapahdu suuria muutoksia ajan kuluessa, joten kovin paljoa uusia löytöjä aiheesta ei ole enää tehty. Näin ollen vanhoista teoksista löytyy asiasta yhä oleellista tietoa. (Ulrich & Eppinger 2000, Moultrie & Maier 2014 mukaan)

2.2 DFA osana tuotekehitysprosessia

Dalgleish et al. (2000) esittävät, että DFA:ta tulisi hyödyntää jo aikaisessa tuotekehitysvaiheessa, jotta siitä saataisiin paras hyöty irti. Lähes valmiiseen suunnittelutyöhön DFA-periaatteet ovat vain reagoivia työkaluja. Valmiin suunnittelutyön kohdalla joitain parannuksia pystytään vielä tekemään, mutta iso osa DFA:n hyödyistä menetetään. Näin ollen DFA-työkalujen täytyisi keskittyä alkuvaiheen suunnitteluun parhaiden suunnitteluvaihtoehtojen löytämiseksi. (Dalgleish et al. 2000)

Sen lisäksi, että suunnittelija määrittää tuotteen kokoonpantavuuden helppouden, hän määrittää myös kokoonpanon automatisointimahdollisuudet. Jos tuotteen suunnittelussa ei ole otettu automaattista kokoonpanoa huomioon, on sen toteutus usein vaikeaa tai mahdotonta. Tämän vuoksi kokoonpantavuus tulisi suunnitella automaation ehdoilla, vaikkei sitä sillä hetkellä vielä käytettäisikään. Näin on myöhemmin helpompi siirtyä automatisoituun kokoonpanoon. Lisäksi automaattisen kokoonpantavuuden näkökulmasta suunniteltu tuote on pääosin helppo koota myös manuaalisesti. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 81)

Suunnittelijoiden ja kokoonpanijoiden välinen yhteistyö mahdollistaa helposti kokoonpantavan tuotteen suunnittelun. Tätä kutsutaan rinnakkaissuunnitteluksi ja sillä vältetään tiedonkulun puuttumisesta aiheutuvat ongelmat. Suunnittelijoiden ja kokoonpanijoiden ryhmä tarvitsee kuitenkin työkaluja, joiden avulla erilaisia suunnitteluvaihtoehtoja voi analysoida. Nämä työkalut kannustavatkin jo aikaisessa tuotekehitysvaiheessa dialogiin suunnittelijoiden, kokoonpanijoiden ja muiden, joilla on vaikutusta tuotteen lopullisiin kustannuksiin, välillä. (Boothroyd et al. 2010, s. 8) Bogue (2012) mukaan noin 70 % tuotteen kustannuksista päätetään jo suunnitteluvaiheessa, joten tässä vaiheessa tehdyillä valinnoilla on suuri merkitys tuotteen lopullisiin kustannuksiin.

Booker et al. (2005) mukaan kaupallisia DFA-työkaluja käyttävät menestyneesti yhä useammat yritykset joko ohjelmisto- tai työkirjaversioina. Joissain yrityksissä DFA:n käyttö onkin pakollinen osa tuotekehitysprosessia. (Arajou et al. 1993, Booker et al. 2005 mukaan) DFA-ohjelmistoilla saavutettavia hyötyjä ovat muun muassa kokoonpanon vaikeuden arviointi, päätöksenteon tukeminen, olemassa oleviin tuotteisiin vertailu, keskittymisen lisäys suunnittelun arviointiin sekä suunnittelun ja valmistuksen yhdistäminen (Boothroyd Dewhurst, Inc).

Ohjelmistomuotoisia kokoonpanon arviointimenetelmiä on olemassa lukuisia. Tunnetuimmat niistä ovat Boothroyd-Dewhurst-, Lucas- ja Hitachi-menetelmät. Ohjelmistot laskevat kokoonpanon kuluvan ajan sekä antavat arvion sen kustannuksista. Näiden avulla voidaan jo hyvin aikaisessa tuotekehitysvaiheessa arvioida kokoonpantavuutta.

(Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 155–156) Tässä työssä ohjelmistomuotoisiin DFA:n arviointimenetelmiin ei kuitenkaan keskitytä tämän tarkemmin.

2.3 DFA:n hyödyt

DFA:n hyödyntämisellä tuotekehitysprosessissa on todettu olevan useita merkittäviä etuja. Selvarajin et al. (2009) mukaan näitä etuja ovat tuotteen osien lukumäärän vähentämisestä aiheutuvat säästöt kokoonpano- ja valmistuskustannuksissa, kokoonpano-ongelmien minimoiminen sekä tuotteen laadun paraneminen. Bralla (1999) kertoo, että usein merkittävimmät hyödyt DFM:ään tulevat juuri DFA:n kautta. Hänen mukaansa yksi syy tähän on se, että loppukokoonpanon työntekijäkustannukset yhdessä yleisten kustannusten kanssa saattavat muodostaa suurimman yksittäisen kustannuksen tuotteen valmistuksessa. Jos näitä kustannuksia saadaan alennettua, ovat saavutetut hyödyt merkittäviä. Myös Boothroydin (1987) mukaan DFA:n hyödyt eivät rajoitu vain kokoonpanokustannusten vähenemiseen, vaan sillä on merkittävä rooli myös valmistuskustannusten vähentämisessä.

DFA:n avulla saavutetaan muitakin hyötyjä kuin kustannussäästöt kokoonpanossa tai valmistusprosessissa kokonaisuudessaan. Kun tuote on suunniteltu kokoonpantavuutta silmällä pitäen, myös tuotteen huolto ja kierrätys on helpompaa. Kun tuote on helppo koota, se on yleensä myös helppo purkaa huoltoon, korjausta tai sen elinkaaren lopussa tapahtuvaa kierrätystä varten. (Bralla 1999) Tuotteen helpon purkamisen merkitys kasvaa koko ajan, koska sillä saavutettavat hyödyt ovat tärkeitä sekä talouden, että varsinkin ympäristön kannalta (Desai & Mital 2021, s. 77). Kuon et al. (2001) mukaan ympäristöön liittyvät huolenaiheet vaativat purettavuuden ja kierrätettävyyden huomioon ottamista jo tuotteen suunnitteluvaiheessa. Mitä paremmin tuote saadaan purettua sen kierrätysvaiheessa, sitä suurempi osa siitä saadaan kierrätykseen (Brennan et al. 1994). Battaia et al. (2018) kuitenkin huomauttavat, että helposti kokoonpantava osa ei aina ole helposti purettava. Luvussa 3.5 käsitellään napsausliitosta, joka on yksi esimerkki tämän kaltaisesta tapauksesta.

DFA:n avulla yksinkertaistettu tuote saadaan markkinoille nopeammin, sillä siinä on vähemmän osia, jotka täytyy suunnitella, valmistaa, tarkastaa ja varastoida. Näin ollen myös myöhästymisiin on pienempi riski. (Bralla 1999) Osien lukumäärän vähentämisellä saavutetaan merkittäviä säästöjä erilaisissa kustannuksissa, sillä kaikki pienetkin kustannussäästöt kertyvät. Kun on vähemmän osia, tarvitaan vähemmän erilaisia dokumentteja, mahdollistetaan pienemmät varastotasot, tarvitaan vähemmän alihankkijoita sekä vähennetään materiaalinkäsittelyä. Nämä kaikki yhdessä vaikuttavat kokonaiskustannuksiin merkittävästi. (Boothroyd et al. 2010, s. 19) Lempiäinen ja Savolainen (2003,

s. 69) lisäävät, että DFA:n avulla tuote saadaan toimimaan paremmin, näyttämään siistimmältä sekä osien määrän vähentämiseen liittyen ympäristökuormitusta saadaan pienennettyä.

3. DFA-PERIAATTEITA

Tässä luvussa esitellään kirjallisuudesta löydettyjä DFA-periaatteita luokiteltuna eri kategorioihin. Pahlin et al. (2013, s. 376) mukaan kokoonpanon keskeiset toiminnot ovat varastointi, käsittely, paikalleen asetus, kiinnitys, säätäminen, lukitus ja tarkistus. Näitä mukaillen periaatteet on jaettu seuraaviin kategorioihin: käsittely, paikalleen asetus, kiinnitys, säätäminen sekä varmistus ja tarkistus. Näiden lisäksi niille periaatteille, jotka eivät suoraan liity tiettyihin kokoonpanon toimintoihin, on omat kategoriansa: osien lukumäärän vähentäminen sekä modulaarisuus.

Periaatteet on jaoteltu kategorioihin sen mukaan, mitä edellä mainittua kokoonpanon toimintoa ne pääasiassa helpottavat. Huomautuksena tähän on, että jotkut periaatteet voivat liittyä useampaan kokoonpanon toimintoon ja ne on täten mahdollista jaotella myös eri tavoin riippuen näkökulmasta. Kuon et al. (2001) mukaan merkittävimmät kokoonpanon kustannuksiin vaikuttavat tekijät ovat tuotteen osien lukumäärän vähennys sekä kokoonpanon toimintojen helpotus.

3.1 Osien lukumäärän vähentäminen

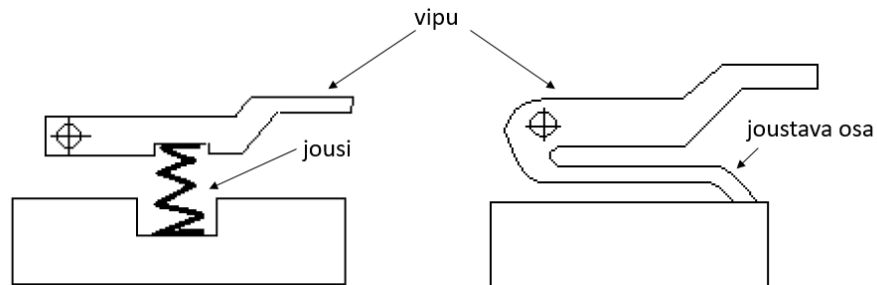
DFA-analysissä hyödyllisin järjestys arvioida tuotetta on tutkia ensin kokoonpanoa kokonaisuudessaan. Näin tekemällä voidaan arvioida, mitkä kokoonpanon osat ovat tarpeellisia ja mitkä voidaan poistaa tai yhdistää toisen osan kanssa. Vasta kun tiedetään mitkä osat jäävät kokoonpanoon, voidaan alkaa yksinkertaistamaan yksittäisiä osia. (Bralla 1999) Boothroyd (1987) on kehittänyt 3 kysymystä helpottamaan osan tarpeellisuuden arviointia:

- Liikkuuko osa suhteessa muihin kokoonpanon osiin?
- Täytyykö osan olla eri materiaalia kuin sitä ympäröivät osat?
- Täytyykö osan olla erillinen, jotta sen kokoaminen ja purkaminen on mahdollista?

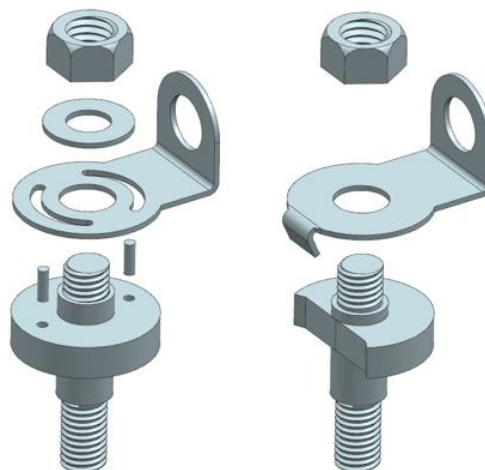
Jos suunnittelija vastaa kaikkiin yllä oleviin kysymyksiin ei, saattaa olla syytä yhdistää kyseinen osa viereiseen osaan tai jättää se kokonaan pois. Boothroydin et al. (2010, s. 82) mukaan näitä kriteerejä oikein käyttämällä tuotetta saadaan yksinkertaistettua siten, että saavutetaan merkittäviä säästöjä valmistus- ja kokoonpanokustannuksissa.

Eräs osien lukumäärän vähennykseen keskittyvä periaate on osien yhdistäminen yhdistelemällä niiden toiminnallisuuksia (Bralla 1999). Kuvassa 1 on esitetty esimerkki tämän periaatteen hyödyntämisestä, jossa vipukokoonpanon erillinen kierrejousoi on korvattu

joustavalla rakenteella vivussa. Alla olevan esimerkin kaltaisissa tilanteissa toimintojen yhdistelemisellä helpotetaan kokoonpanoa huomattavasti, sillä kokoonpanovaiheita saadaan karsittua erillisten osien lukumäärän vähentämisen myötä.



Kuva 1. Sisällyttämällä jousitoiminto vipuun, saadaan erillinen kierrejousi poistettua. (Muokattu lähteestä Bralla 1999)



Kuva 2. Ylirajoitus lisää tarpeettomia osia. (Muokattu lähteestä Boothroyd et al. 2010, s. 112)

Boothroydin et al. (2010, s. 112) mukaan osien ylirajoitusta tulisi välttää. Ylirajoitus aiheuttaa usein ylimääräisten osien käyttöä ja kokoonpanon tarpeetonta monimutkaisuutta. Kuvassa 2 on esimerkki tästä tapauksesta. Vasemman puolen kokoonpanossa joudutaan käyttämään ylimääräisiä osia, sillä se on ylirajoitettu. Oikean puolen tapauksessa ohutlevyosaan on lisätty taivutettu kohta, joka rajoittaa liikettä ja näin ollen tarvitaan vähemmän osia. Lisää osien lukumäärän vähentämiseen liittyviä periaatteita löytyy muun muassa luvusta 3.5, jossa keskitytään kiinnikeosien vähentämiseen eri keinoin.

3.2 Modulaarisuus

Modulaariselle rakenteelle ominaista on vakioitujen rajapintojen käyttö tuotteen eri alikokoonpanojen kiinnityksessä. Tuotekehityksessä vakioituja rajapintoja voidaan hyödyntää, kun suunnitellaan erilaisia tuotevariaatioita. (Sanchez & Mahoney 1996) Lempiäisen ja Savolaisen (2003, s. 81) mukaan modulaarisia alikokoonpanoja tulisi käyttää kokoonpanossa, sillä näin mahdollistetaan tuotteen nopea räätälöinti sekä lyhyet läpäisyajat loppukokoonpanossa. Bralla (1999) lisää, että erityisen hyödyllisiä modulaariset alikokoonpanot ovat silloin, kun niiden kokoonpanoprosessit eroavat merkittävästi loppukokoonpanosta. Kun moduuleja varten on erilliset työpisteet, ne voidaan varustella juuri niillä tehtävien työvaiheiden tarpeiden mukaan. Lisäksi voidaan hyödyntää näihin työvaiheisiin erikoistuneita työntekijöitä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 81)

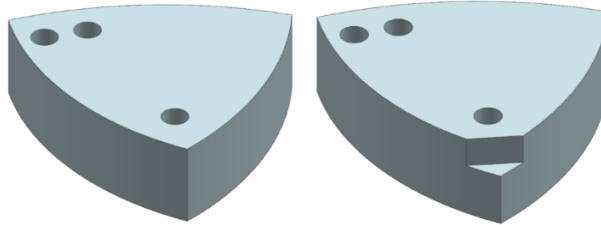
Modulaaristen alikokoonpanojen avulla tuotteen laatu, luotettavuus ja huollettavuus paranevat. Kun moduulit voidaan testata ennen loppukokoonpanoa, voidaan niiden toiminnasta varmistua. Lisäksi moduulit helpottavat huollettavuutta esimerkiksi siten, että hajonneen moduulin tilalle on mahdollista vaihtaa toimiva. (Bralla 1999) Pahlin et al. (2013, s. 378) mukaan tuotevariaatiot tulisi toteuttaa vasta loppukokoonpanon lopussa siten, että variaoinnit tapahtuvat samoissa työvaiheissa. Bralla (1999) kertoo, että useissa tapauksissa samoja moduuleja voidaan käyttää tuoteperheen sisällä. Näin välttyään hieinan erilaisten moduulien valmistukselta, minkä avulla säästetään kustannuksissa. Hän kuitenkin huomauttaa, että tarpeettoman monen tason alikokoonpanoja tulisi välttää, sillä ne lisäävät valmistuksen erittelyä, vievät lattia- ja varastotilaa sekä pidentävät läpäisyajkoja. (Bralla 1999) Tarpeettomuudelle on vaikea antaa yleistä määritelmää tässä tapauksessa, sillä on hyvin tapauskohtaista, kuinka monen tason alikokoonpanot voidaan luokitella tarpeettomiksi.

3.3 Osan käsittely

Osan käsittely sisältää toimenpiteet sen jälkeen, kun se otetaan varastosta. Näitä ovat osan tunnistus ja poimiminen, kuljetus kokoonpanoasemalle sekä kokoonpanoasemalla osan käsittely. (Pahl et al. 2013, s. 376) Tämän kategorian periaatteet keskittyvät osaksi avustamaan automaatiota muun muassa osan asennon tunnistamisessa ja kuljetuksen helpottamisessa. Tämän lisäksi osan manuaalista käsittelyä kokoonpanoasemalla helpottavat periaatteet löytyvät tästä kategoriasta.

Pahlin et al. (2013, s. 384) mukaan automaatiota helpottavia periaatteita ovat stabiilien, ripustettavien ja kieritettävien osien suosiminen. Nämä helpottavat osan automaattista

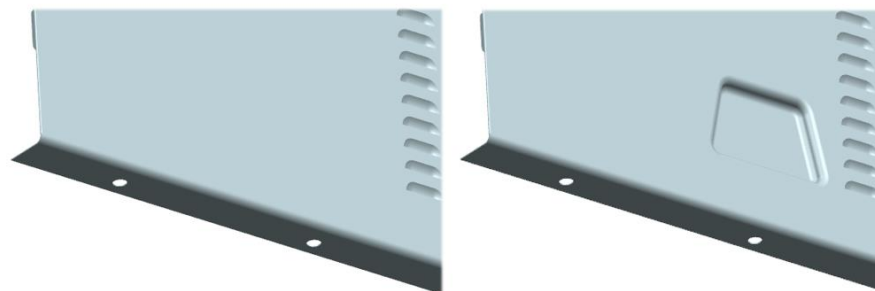
kuljetusta ja tekevät siitä turvallisempaa. Lisäksi asentovihjeiden laittaminen osan ääri-
viivalle helpottaa konenäköä tunnistamaan osan asennon (Pahl et al. 2013, s. 384). Ku-
vassa 3 on havainnollistettu osan ääri-
viivalle sijoitettua asentovihjettä. Asentovihjeet
sekä osien ripustettavuus helpottavat myös niiden manuaalista käsittelyä.



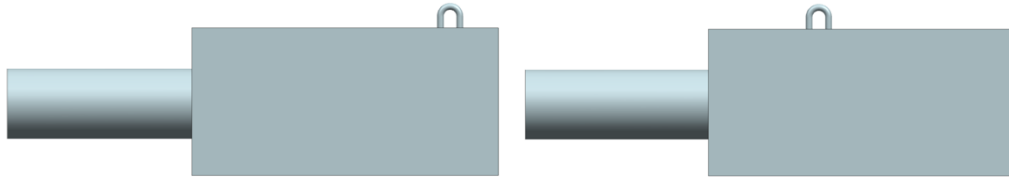
Kuva 3. Asentovihje osan ääri-
viivalla helpottamassa asennon tunnistamista. (Muo-
kattu lähteestä Pahl et al. 2013, s. 384)

Erityisesti manuaalista käsittelyä helpottavat periaatteet keskittyvät pääasiassa kokoon-
panoasemalla osan turvalliseen ja vaivattomaan käsittelyyn. Boothroydin et al. (2010, s.
74) mukaan näitä ovat muun muassa käsittelijälle vaarallisten osien, kuten terävien reu-
nojen ja kärkien, välttäminen. Pahl et al. (2013, s. 380) lisäävät, että nostolenkkien sijoi-
tus osan painopiste huomioiden sekä käsittelyä helpottavien piirteiden, kuten kädensijo-
jen, suunnittelu kappaleeseen ovat tärkeitä periaatteita käsiteltävyyteen liittyen. Näitä
hyödyntämällä vältetään ylimääräisiltä hankaluuksilta osaa käsiteltäessä, mitkä hidasta-
vat kokoonpanoa tarpeettomasti.

Kuvassa 4 on havainnollistettu käsittelyä helpottavien piirteiden hyödyntämistä. Tässä
tapauksessa ohutlevykappaleeseen on painettu kädensija helpottamaan osasta kiinni
pitämistä. Kuvassa 5 puolestaan näkyy osan painopisteen huomiointi nostopisteitä suun-
niteltaessa. Vasemman puolen tapauksessa osa ei pysy tasapainossa sitä nostettaessa,
kun taas oikealla puolella nostolenkki on sijoitettu painopisteen kanssa samalle linjalle.
On tärkeää, että osa pysyy vakaana sitä nostettaessa, sillä muuten sen käsittely vaikeu-
tuu huomattavasti.



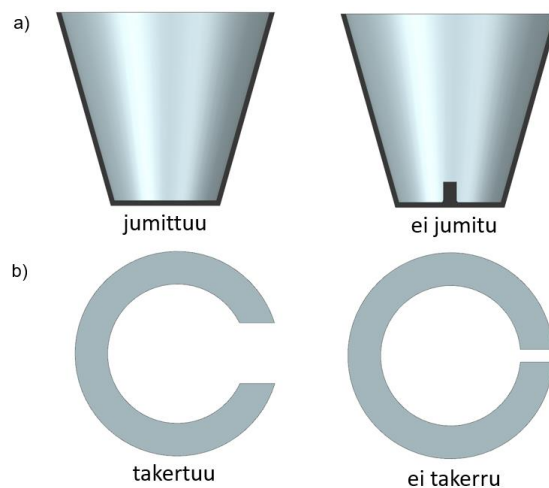
Kuva 4. Osaan painettu kädensija helpottaa kiinni pitoa.



Kuva 5. Nostolenkin sijoitus osan painopiste huomioiden. (Muokattu lähteestä Pahl et al. 2013, s. 380)

Edellisten lisäksi osien käsittelyä helpottavat periaatteet keskittyvät myös ehkäisemään osien toisiinsa jumittumista sekä helpottamaan niiden siirtelyä. Lempiäisen ja Savolaisen (2003, s. 135) mukaan varastoinnin ja liikuttelun helpottamiseksi osien suunnittelussa tulisi pyrkiä huomioimaan niiden pinottavuus. Kun osat pystytään pinoamaan hyvin, ne saadaan mahtumaan pienempään tilaan ja niiden liikuttelu suuremmissa määrissä on helpompaa. Boothroydin et al. (2010, s. 74) mukaan pinottaviin osiin on kuitenkin tärkeä suunnitella sellaisia piirteitä, jotka estävät niiden jumittumisen toisiinsa. Tästä on esimerkki kuvassa 6a, jossa kartiomaisen osan pohjalle on lisätty pysäytin, joka estää pinottujen osien jumittumisen toisiinsa.

Jotkut osat, joilla on avoin geometria, saattavat herkästi takertua toisiinsa isoissa pakkausissa varastoituna. Tämä pitää ottaa huomioon osaa suunniteltaessa tai sitä katalogista valittaessa, sillä takertuneiden osien irrottaminen toisistaan vie ylimäärästä aikaa. (Bralla 1999; Boothroyd et al. 2010, s. 74) Tätä on havainnollistettu kuvassa 6b, jossa osan avoin kohta on tehty mahdollisimman pieneksi.



Kuva 6. Jumittumisen ja takertumisen huomioiminen osan suunnittelussa. (Muokattu lähteestä Boothroyd et al. 2010, s. 75)

Käsittelävyyteen liittyy myös periaatteita, joilla pyritään välttämään vaikeasti käsiteltäviä osia. Tällaisia ovat liukkaat, taipuisat sekä hyvin pienet tai isot osat. Näiden lisäksi myös

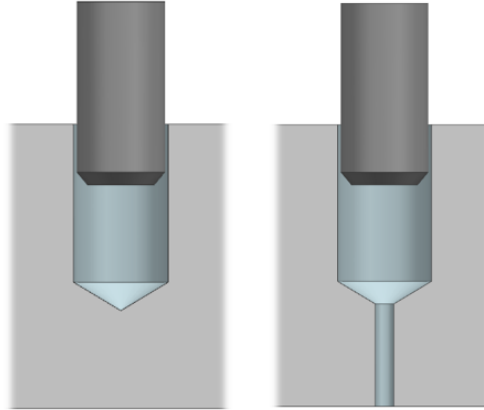
käsittelyssä herkästi hajoavia osia tai alikokoonpanoja tulisi välttää, sillä hajoavat osat lisäävät vain materiaalikustannuksia ja hidastavat kokoonpanoa. (Maynard et al. 2001; Boothroyd et al. 2010, s. 74)

3.4 Paikalleen asetus

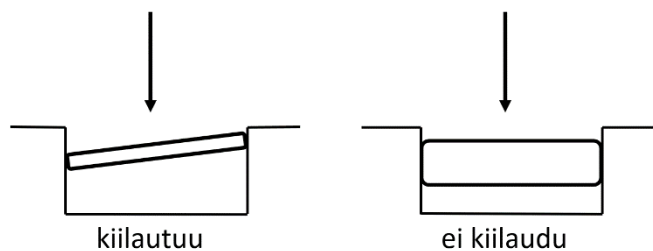
Paikalleen asetus sisältää osan asettamisen kokoonpanoon oikein päin ja sen paikoituksen ennen kiinnitystä (Pahl et al. 2013, s. 376). Tässä luvussa käsitellään periaatteita, joita hyödyntämällä osa saadaan suunniteltua siten, että se on helppo asettaa paikalleen. Suurin osa tämän kategorian periaatteista keskittyvät osan jumittumisen estämiseen, oikein päin asetuksen varmistamiseen, paikoituksen helpottamiseen sekä osan kokoonpanosuuntien yksinkertaistamiseen ja yhtenäistämiseen.

Osan jumittumiseen keskittyvät periaatteet pyrkivät siihen, että osa on nopea asettaa paikalleen ja se ei vaadi ylimääräistä voimaa. Brallan (1999) mukaan reiässä tai siihen asetettavassa osassa on tärkeä käyttää viisteitä, sillä näin vältetään ylimääräinen jumittaminen osaa reikään asetettaessa ja myös kohdistus helpottuu. Lisäksi väljien sovitteiden käyttö on suositeltavaa, jos sovitteen ei ole tarkoitus lukita osia toisiinsa. Tähän liittyen sellaisissa tapauksissa, joissa pultti menee 2 reiän läpi, on suositeltavaa, että toinen reikä on hieman toista isompi. (Bralla 1999)

Umpinaisten reikien tapauksessa ilmataskujen aiheuttamaa jumittamista tulisi välttää suunnittelemalla ilmalle kulkureitti (Boothroyd et al. 2010, s. 76; Pahl et al. 2013, s. 382). Tätä havainnollistetaan kuvassa 7, jossa reiän pohjalle on laitettu ilmankulkureikä osan jumittamista ehkäisemään. Boothroyd et al. (2010, s. 75) lisäävät, että kun kyseessä on kiekkomainen osa, tulisi se suunnitella siten, että se ei kiilaudu reikään asetettaessa. Kuvassa 8 näkyy, kuinka ohut kiekkomainen osa kiilautuu reikään helpommin kuin paksu. Näiden lisäksi yleisenä periaatteena etenkin manuaalisessa kokoonpanossa on osan paikalleen asettamisessa tarvittavan voiman rajoitus (Maynard et al. 2001). Tähän Lempiäinen ja Savolainen (2003, s. 71) tarkentavat, että istumatyössä ylhäältä alas suuntautuvan kokoonpanovoiman tulisi olla maksimissaan 20 N, kun taas seisomatyössä vastaava raja on 50 N.



Kuva 7. Osan jumittaminen vältetään reiän pohjalle lisätyllä ilmankulkureiällä. (Muokattu lähteestä Boothroyd et al. 2010, s. 76)



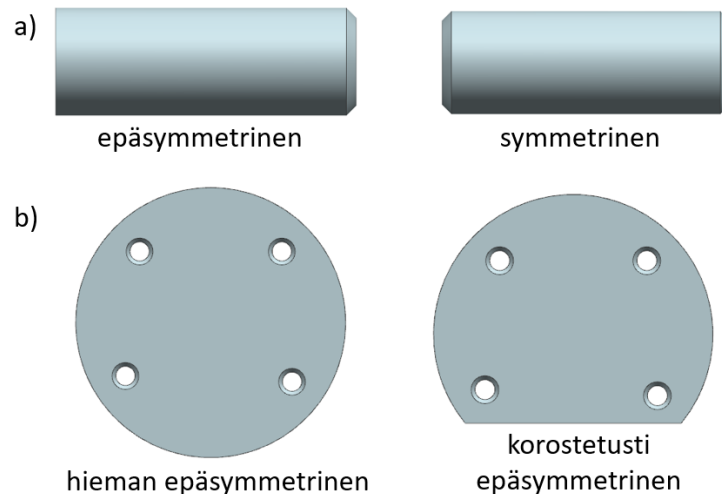
Kuva 8. Kiekkomaisen osan tulisi olla tarpeeksi paksu, jotta se ei kiilaudu reikään asetettaessa. (Muokattu lähteestä Boothroyd et al. 2010, s. 75)

Osan väärin asettamisen ehkäisyyn keskittyvät periaatteet ovat tärkeitä, sillä näin vältetään mahdollisesti isoja ongelmia, joita väärin asennettu osa aiheuttaa. Tästä Lempiäinen ja Savolainen (2003, s. 79) nostavat esiin esimerkin Suomesta, missä väärin päin asennettu polttoainesuodatin aiheutti Hawk-hävittäjän maahan syöksymisen. He kertovat, että suuri osa kokoonpanovirheistä johtuu juuri esimerkin kaltaisista osista, joiden symmetriassa on pieni ero, mutta asennussuunnalla on suuri vaikutus toimintaan.

Osista tulisi suunnitella mahdollisimman paljon alfa ja beeta symmetrisiä. Boothroyd et al. (2010, s. 86) tarkentavat, että alfa symmetrisyys liittyy osan asettamissuunnan akselia kohtisuorassa olevan akselin ympäri pyörähdykseen. Beeta symmetrisyys puolestaan liittyy osan asettamissuunnan akselin ympäri pyörähdykseen. Tätä asiaa on havainnollistettu kuvassa 9a, jossa ensimmäinen osa on 360° ja toinen osa 180° alfa symmetrinen. Molemmat ovat pyörähdyssymmetrisiä osan asettamissuunnan akselin ympäri, eli 0° beeta symmetrisiä. Jos osasta ei ole mahdollista suunnitella symmetristä, on epäsymmetrisyyttä korostettava. (Bralla 1999; Maynard et al. 2001; Boothroyd et al. 2010, s. 86)

Edellisestä tapauksesta on esimerkki kuvassa 9b, jossa kiekosta on leikattu pala pois korostamaan reikien hieman epäsymmetristä asettelua. Bralla (1999) jatkaa, että osaan

tai sen asetuskohtaan on pyrittävä lisäämään sellaisia piirteitä, ettei osaa ole mahdollista asettaa väärin päin. Jos kuvan 9b tapauksessa kiekon asennuskohtaan olisi vielä tehty pois leikattua palaa vastaava piirre, olisi sen oikean asennon löytäminen hyvin nopeaa. Lempiäinen ja Savolainen (2003, s. 80) huomauttavat, että jos osaan ei jostain syystä ole mahdollista lisätä epäsymmetrisyyttä korostavia piirteitä, on asennussuunta merkittävä muuten, esimerkiksi erilaisilla kaiverretuilla merkinnöillä.



Kuva 9. Symmetrisyyden ja epäsymmetrisyyden korostaminen osassa. (Muokattu lähteestä Boothroyd et al. 2010, s. 75)

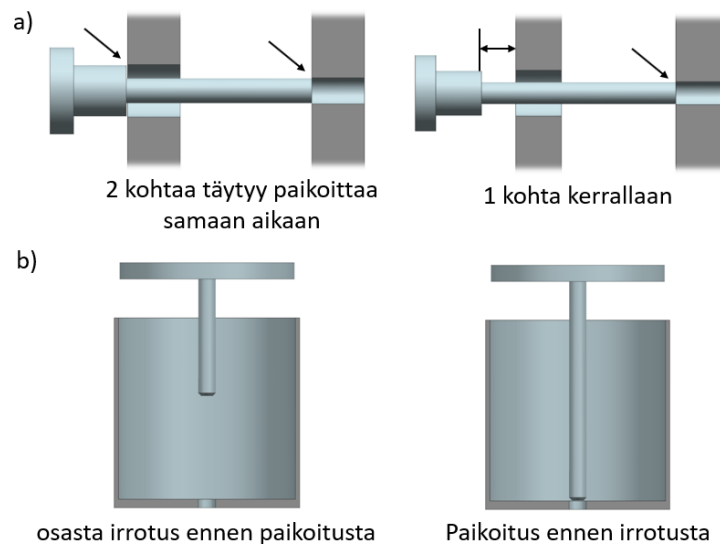
Brallan (1999) mukaan vasemman ja oikean käden osista ja alikokoonpanoista on pyrittävä suunnittelemaan samanlaisia, jos vain mahdollista. Näin vältetään ylimääräisiltä osanimikkeiltä, eikä näiden osien sekoittamisen riskiä tule (Bralla 1999). Pahlin et al. (2013, s. 381) mukaan sellaisia tilanteita tulisi välttää, missä osan istuvuus riippuu kahdesta eri mitasta. Tällöin varmistetaan yksiselitteinen paikoitus ja tiukkojen toleranssien tarve vähenee. Kuvassa 10 näkyy, kuinka toisessa tapauksessa vaaditaan kahden mitan täsmällisyys osan hyvän istuvuuden varmistamiseksi, kun taas toisessa tähän riittää yksi mitta. Kun tämä huomioidaan, vältetään ylimääräisiltä asennusongelmilta ilman liian tiukoja toleransseja.



Kuva 10. Vasemmalla kahden mitan on oltava täsmällisiä, jotta osa istuu hyvin. Oikealla tähän riittää yksi mitta. (Muokattu lähteestä Pahl et al. 2013, s. 381)

Osan paikalleen asetuksessa tärkeää on myös sen helppo paikoittaminen. Tähän keskittyvät periaatteet pyrkivät pääasiassa siihen, että kokoonpanija saa paikoitettua osan nopeasti oikeaan kohtaan. Maynardin et al. (2001) mukaan on tärkeää varmistaa, että kiinnityspinnat tai -reunat voi nähdä osaa paikalleen asetettaessa. Pahl et al. (2013, s. 382) kertovat, että sellaisia tapauksia tulisi välttää, missä osa täytyy paikoittaa tarkasti useammasta kohdasta samaan aikaan. Tätä on havainnollistettu kuvassa 11a, jossa vasemman puolen osa on mitoitettu siten, että se täytyy paikoittaa 2 reiän läpi samaan aikaan. Oikeanpuoleisessa osassa puolestaan riittää paikoittaa 1 reiän läpi kerrallaan.

Hieman edelliseen periaatteeseen liittyen, osan on oltava sellainen, että sen pystyy paikoittamaan ennen siitä irrottamista (Boothroyd et al. 2010, s. 78). Tästä on esimerkki kuvassa 11b, jossa vasemman puolen osa on mitoitettu siten, että siitä joutuu irrottamaan ennen kuin se on mennyt reiästä läpi. Tällä tavalla osaa ei välttämättä saa helposti asetettua reikään. Oikean puolen tapauksessa osa on riittävän pitkä, jotta sen saa asetettua reiän läpi ennen siitä irrottamista.



Kuva 11. Paikoituksen helpottamiseen liittyviä periaatteita. (Muokattu lähteestä Boothroyd et al. 2010, s. 78; Pahl et al. 2013, s. 382)

Boothroydin et al. (2010, s. 74) mukaan osan paikalleen asetuksessa on tärkeää hyödyntää itsekeskittäviä ja -paikoittavia piirteitä, kuten erilaisia viisteitä. Tämän ansiosta paikoitus on helppoa ja suurella varmuudella osa asettuu hyvin paikoilleen. Maynard et al. (2001) lisäävät, että kiinnityspinnoille on hyvä suunnitella paikoitusta helpottavia piirteitä kuten kulmia, reunoja ja erilaisia merkintöjä. Jos osaa ei pystytä heti kiinnittämään, on tärkeää hyödyntää sellaisia piirteitä, joiden avulla se pysyy paikoitettuna kunnes sen

pystyy kiinnittämään (Maynard et al. 2001). Sellaisia ratkaisuja on vältettävä, missä useampi osa täytyy liittää kokoonpanoon saman aikaisesti siten, että ne on myös pidettävä paikoitettuna (Bralla 1999).

Paikalleen asetukseen liittyy myös osan kokoonpanosuuntien huomioiminen. Pahl et al. (2013, s. 379) mukaan etenkin automaattisessa kokoonpanossa on tärkeä suosia yhtenäisiä kokoonpanosuuntia. Boothroyd et al. (2010, s. 77) lisäävät, että kokoonpanon tulisi mieluiten suuntautua ylhäältä alaspäin. Lisäksi kokoonpanossa olisi hyvä olla perusosa, johon muut osat kiinnittyvät (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 82; Pahl et al. 2013, s. 379). Boothroyd et al. (2010, s. 79) kertovat, että osan asennussuunta tulisi pyrkiä suunnittelemaan siten, että kokoonpanon uudelleen asemointia ei tarvita kesken kaiken. Lempiäinen ja Savolainen (2003, s. 82) huomauttavat, että jos kokoonpano tai perusosa täytyy kuitenkin jossain vaiheessa asemoida uudelleen, on sen oltava helposti toteutettavissa. Lopuksi erityisesti manuaalista kokoonpanoa helpottamaan Pahl et al. (2013, s. 379) kertovat, että tuotteessa on tärkeä pyrkiä selkeään kokoonpanojärjestykseen.

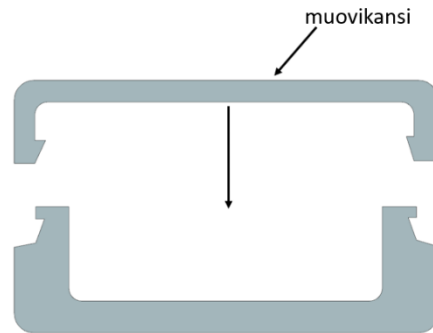
3.5 Osan kiinnitys

Osan kiinnitys sisältää toiminnot, joissa osa kiinnitetään toiseen jollakin kiinnitysmetodilla, esimerkiksi pulttiliitoksella (Pahl et al. 2013, s. 376). Tämän kategorian periaatteet pyrkivät helpottamaan ja sitä kautta nopeuttamaan osien kiinnitystä. Periaatteet keskittyvät muun muassa kiinnitysosien vähentämiseen eri keinoin, ongelmien minimoimiseen kiinnitysvaiheessa sekä kiinnitystoimintojen yksinkertaistamiseen.

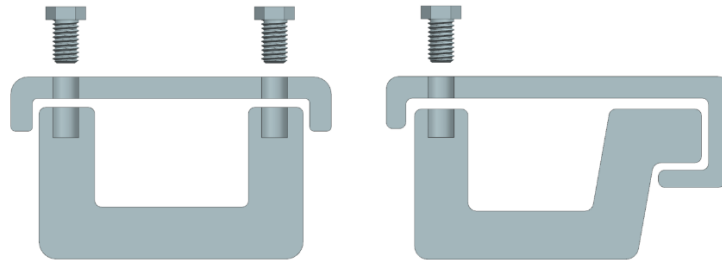
Kiinnitysosien vähennyksellä on merkittävä vaikutus kokoonpano-aikaan. Boothroyd ja Dewhurst (1984) huomauttavat, että kiinnitysosien vähentämisellä on tätä kautta merkittävä vaikutus myös tuotteen kokoonpanokustannuksiin. Pienet osat, kuten pulkit ja mutterit, saattavat tuntua yksittäin merkityksettömiltä, mutta yhdessä ne muodostavat suuren osan kokoonpanokustannuksista. Tämä korostuu automaattisessa kokoonpanossa, jossa jokainen osa tarvitsee muun muassa syöttö- ja orientointilaitteen, työjärjen ja oman työvaiheensa. (Boothroyd & Dewhurst 1984)

Pahl et al. (2013, s. 380) mukaan kiinnityskomponenttien lukumäärää tulisi vähentää käyttämällä esimerkiksi napsausliitoksia. Lempiäinen ja Savolainen (2003, s. 112) tarkentavat napsausliitoksen toimintaperiaatteen muodostuvan materiaalin joustavista ominaisuuksista sekä liitoksen muotoilusta. Napsausliitoksen toimintaa on havainnollistettu kuvassa 12. Bralla (1999) lisää, että myös erilaisia koukkumuotoja voi käyttää korvaamaan erillisiä kiinnityskomponentteja. Tästä löytyy esimerkki kuvasta 13, jossa pulttien lukumäärää on saatu vähennettyä hyödyntämällä osassa koukkumuotoa, joka lukitsee

toisen pään paikoilleen. Bralla (1999) jatkaa, että kokoonpanon nopeuden näkökulmasta on parempi käyttää vähän isoja kiinnityskomponentteja kuin useita pieniä.



Kuva 12. Napsausliitoksen toimintaperiaate. (Muokattu lähteestä Bralla 1999)

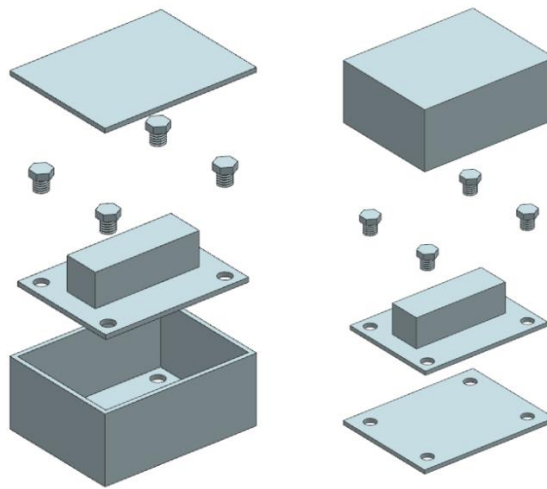


Kuva 13. Kiinnitysosien vähentäminen hyödyntämällä koukkumuotoa. (Muokattu lähteestä Bralla 1999)

Pahlin et al. (2013, s. 380) mukaan erityisesti automaattista kokoonpanoa helpottaa, kun käytetään itselukittuvia kiinnitysosia, jotka hyödyntävät plastista muodonmuutosta. Tästä esimerkkinä on metallilukkomutteri, joka lukittuu kierittäessä kierteelle, eikä se vaadi erillistä lukitusosaa. Yhtenä tärkeimpänä periaatteena kiinnityskomponentteihin liittyen on käyttää mahdollisimman vähän erikokoisia ja -tyyppisiä kiinnitysosia (Bralla 1999; Boothroyd et al. 2010, s. 74; Pahl et al. 2013, s. 380). Lempiäisen ja Savolaisen (2003, s. 81) mukaan ylimääräisiä liitäntöjä osien välillä tulisi välttää. Boothroyd et al. (2010, s. 110) tarkentavat, että jos liitososan ainoa tehtävä on yhdistää osa toiseen, voi olla parempi sijoittaa osat siten, että ne voi yhdistää suoraan toisiinsa. Tästä esimerkkinä voisi olla letkuliitos, jonka voi poistaa sijoittamalla letkulla yhdistettävät osat suoraan toisiinsa kiinni.

Kokoonpanon rakenteen suunnittelussa tulisi huomioida se, että kiinnitystoiminnot saadaan suoritettua helposti ilman ongelmia. Maynardin et al. (2001) mukaan osan kiinnittämisessä käytettäviin komponentteihin on varmistettava riittävä käsiksi pääsy. Kuvassa 14 on esimerkki kiinnitysoseen käsiksi pääsyn varmistamisesta. Vasemman puolen ko-

koonpanossa pultteihin on vaikea päästä käsiksi kotelon pohjalla, kun taas oikean puolen koonpano on toteutettu siten, että pultteihin pääsee hyvin käsiksi. Pahl et al. (2013, s. 382) tarkentavat, että myös asennustyökalulle on jätettävä riittävästi tilaa. Bralla (1999) puolestaan lisää, että nimenomaan konekäyttöisille työkaluille tulisi jättää riittävästi tilaa, sillä niillä asennus sujuu nopeimmin. Etenkin automaattista koonpanoa helpottaman tulisi suosia kiinnitysosia, jotka voi kiinnittää lineaarisella liikkeellä kiertämisen sijaan. Lisäksi sellaisia kiinnittämisiikkeitä tulisi välttää, mitkä vaativat liikettä useamman akselin suuntaisesti. (Pahl et al. 2013, s. 381)



Kuva 14. Osien kiinnitys täytyy huomioida koonpanossa. Vasemmassa koonpanossa pultteihin on vaikea päästä käsiksi. (Muokattu lähteestä Boothroyd et al. 2010, s. 111)

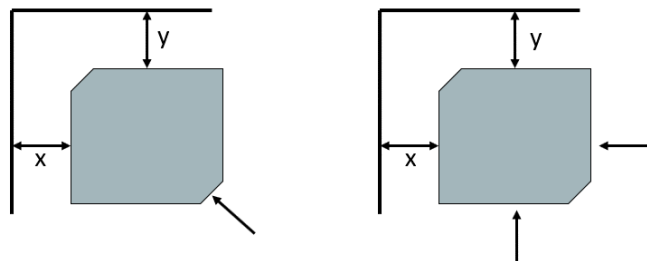
Sellaisia rakenteita on vältettävä, missä osaa täytyy pitää paikallaan sen aikaa, kun toista osaa kiinnitetään. Tästä tilanteesta seuraa helposti laatuongelmia. (Bralla 1999) Pahlin et al. (2013, s. 380) mukaan toleranssien summautumista koonpanossa tulisi välttää. Tämä tarkoittaa sitä, että yhden osan kiinnitykseen varatun toleranssin ylitys vaikuttaa myös viereiseen osaan, mikä puolestaan asettaa sen väärään kohtaan. Tällainen tilanne vaikeuttaa koonpanemista huomattavasti. (Pahl et al. 2013, s. 380)

Pahlin et al. (2013, s. 379) mukaan liitäntäpintoja tulisi vähentää mahdollisuuksien mukaan. Liitäntäpintojen toisiinsa kiinnittäminen vaatii koonpanotyötä ja ne ovat riski vuo-doille, mikäli koonpanon sisällä liikkuu nesteitä. Lisäksi suuret liitäntäpinnat tulisi jakaa pienempiin osiin, mikäli pinta ei ole tiivistävä. Näin osa saadaan kiinnitettyä paremmin paikoilleen. (Pahl et al. 2013, s. 379,382)

3.6 Säättäminen

Säättämisen tarkoituksena on tasata osien toleransseja ja saavuttaa osille haluttu liikkumavara tai minimoida sitä (Pahl et al. 2013, s. 376). Säättämisen tarve riippuu hyvin paljon kokoonpanon tyypistä, joten se ei päde samalla tavalla jokaiseen kokoonpanoon. Säättämisen helpottamiseen keskittyvät periaatteet pyrkivät tekemään säättämisestä nopeaa, tarkkaa ja luotettavaa.

Brallan (1999) mukaan säätöjä tulisi välttää niin paljon kuin mahdollista. Tämän voi tehdä esimerkiksi käyttämällä hieman joustavia osia kohdissa, joissa osia ei muuten saisi täysin sopimaan. Jos osan mitat ovat tarpeeksi tarkat, on pinnasta pintaan paikoitus parempi vaihtoehto kuin säättäminen kesken kokoonpanon. (Bralla 1999) Jos kokoonpanossa on kohta, jossa säättäminen on tarpeellista, tulisi Pahlin et al. (2013, s. 381) mukaan suosia yksinkertaisia säätöjä. Kaikista helpoin tapa on käyttää itsesäätyviä osia, jos vain mahdollista. Säättötoimintojen tulisi olla yksiselitteisiä ja erillisiä muista, mikäli säätösuuntia on enemmän kuin yksi. Tämä tarkoittaa sitä, että yksi säätötoiminto säätää osaa vain yhdessä suunnassa. Tätä on havainnollistettu kuvassa 15, jossa vasemman puolen tapauksessa yksi säätötoiminto muuttaa molempia mittoja, jolloin niitä ei välttämättä saada halutuiksi. Oikean puolen tapauksessa molemmille suunnille on erilliset säätötoiminnot.



Kuva 15. Vasemmalla pysty- ja vaakasuunnan mittoja ei pysty säätämään erikseen, kun taas oikealla pystyy. (Muokattu lähteestä Pahl et al. 2013, s. 381)

Pahl et al. (2013, s. 381) kertovat, että toleranssien kompensoimiseen tulisi tarjota sopivia osia, kuten sovitelevyjä. Jos osa on sellainen, että se täytyy saada kiinnityksen aikana säädettyä oikeaan kohtaan, on jatkuva säättäminen mahdollistettava. Tällöin ei tarvitse mukautua osan huonoon asentoon kokoonpanon aikana, vaan osa on heti kerralla oikeassa asennossa. Lopuksi on tärkeä periaate kaikkia säätöjä koskien: Säädot tulisi suunnitella kokoonpanossa siten, että osien purkamista ei vaadita yhden osan säätämistä varten. (Pahl et al. 2013, s. 381)

3.7 Varmistus ja tarkistus

Tässä kategoriassa varmistus käsittää toimenpiteet, joissa varmistetaan, että osa on hyvin kiinni ja mahdollisesti lukitaan osa paikalleen jollain tavalla. Tarkistukseen puolestaan kuuluu erilaiset osan testaus- ja mittaustoimenpiteet, joilla tarkistetaan osan toiminta ja sen oikein asennus. (Pahl et al. 2013, s. 376)

Varmistukseen liittyen Pahlin et al. (2013, s. 382) mukaan sellaisia lukitusosia tulisi käyttää, mitkä ovat helposti asennettavia. Tästä on etua etenkin automaattiselle kokoonpanolle, sillä pienten vaikeasti asennettavien osien käsittely roboteilla voi olla haastavaa. Suositeltavia lukitusosia ovat erilaiset lukkorenkaat, sillä niiden asennus on helppoa, kun taas sokkien asennus on haastavampaa.

Tärkeänä periaatteena on, että sellaisia ratkaisuja tulee välttää, missä kokoonpanoa joudutaan purkamaan sen toimintojen testausta varten (Pahl et al. 2013, s. 379). Tämä tuottaa turhaa lisätyötä kokoonpanolle. Lempiäisen ja Savolaisen (2003, s. 79) mukaan kokoonpantujen kokonaisuuksien tulisi olla välittömästi testattavissa, jotta kokoonpanija voi todeta sen toimivaksi ennen kuin jatkaa seuraavaan vaiheeseen. Pahlin et al. (2013, s. 379) mukaan kokoonpanossa tulisi mahdollistaa visuaalinen tarkastus, jotta kokoonpanija voi varmistua liitosten ja osien olevan niin kuin pitää. Lisäksi tulisi pyrkiä kokoonpanon tai kokonaisen tuotteen toiminnallisuuksien testaamiseen sen sijaan, että testattaisiin yksittäisiä osia. Näin pystytään varmistumaan kokonaisuuden toiminnasta kerralla. Kun kyse on tuotevarianteista, alikokoonpanot tulisi pystyä tarkastamaan erikseen, jotta voidaan varmistua niiden olevan kelvollisia. (Pahl et al. 2013, s. 378)

4. TARKISTUSLISTAN ESITTELY

Tässä luvussa esitellään DFA-periaatteiden pohjalta muodostettua tarkistuslistaa. Kysymykset on jaettu samoihin kategorioihin kuin periaatteet, eli kokoonpanon toimintojen mukaan ja osien lukumäärän vähentämiseen sekä modulaarisuuteen. Tässä luvussa esitellään vain osa tarkistuslistan kysymyksistä. Kokonainen tarkistuslista löytyy liitteestä A.

Tarkistuslistaa varten kirjallisuudesta on etsitty mahdollisimman paljon eri DFA-periaatteita ja -sääntöjä. Kokonaisuudessaan periaatteita löytyi 111 kappaletta. Nämä on järjestetty listan muotoon, josta on karsittu pois useaan kertaan esiintyvät periaatteet. Karsinnan jälkeen periaatteita jäi jäljelle 72. Tämän jälkeen periaatteista on muodostettu kysymyksiä, joihin voi vastata ”kyllä” tai ”ei”.

Kysymykset on muotoiltu siten, että ”kyllä” vastaus tarkoittaa kokoonpantavuuden kannalta hyvää suunnitteluratkaisua. Näin ollen listan perusteella on mahdollista saada kokonaiskuva tuotteen suunnitteluratkaisujen hyvydestä. Listan kysymykset keskittyvät ainoastaan kokoonpantavuuden suunnitteluun, joten tuotteen suunnittelua ei arvioida kokonaisvaltaisesti. DFM-periaatteet saattavat erota hyvinkin paljon DFA-periaatteista ja täten niitä ei pidä sekoittaa.

Periaatteiden pohjalta laadittuja kysymyksiä on esitelty taulukossa 1. Jokaisesta kategoriasta on poimittu kolme kysymystä oheiseen taulukkoon. Kokonaisessa listassa kysymyksiä on yhteensä 72.

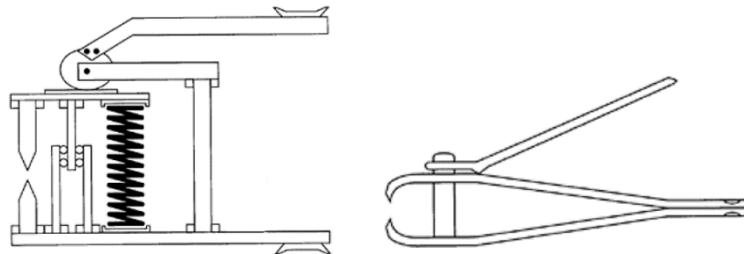
Taulukko 1. *Tarkistuslistasta esille nostettuja kysymyksiä DFA-periaatteiden noudattamisesta.*

Käsittely	Pystyykö osat pinoamaan? Onko pinottavien osien toisiinsa jumittumista ehkäisty? Onko osan painopiste otettu huomioon nostokohtien sijoittelussa?
Paikalleen asetus	Onko rei'issä tai niihin asetettavissa osissa käytetty viisteitä? Onko osista suunniteltu symmetrisiä tai selkeästi epäsymmetrisiä? Onko osan kiinnityspinta mahdollista nähdä paikalleen asetuksessa?
Kiinnitys	Onko kiinnitysosien lukumäärää pyritty vähentämään? Onko käytetty mahdollisimman vähän erityyppisiä ja -kokoisia kiinnitysosia? Onko osan kiinnitykseen vaadittava riittävä käsiksi pääsy varmistettu?
Säätäminen	Onko säätöjen tarve minimoitu? Onko yksinkertaisia säätöjä suosittu? Onnistuuko säätäminen ilman ylimääräistä osien purkamista?

Varmistus ja tarkastus	Pystyykö kokoonpannut asiat testaamaan ilman osien purkamista? Onko kokoonpanon visuaalinen tarkastus mahdollistettu? Pystyykö alikokoonpanot testaamaan erikseen?
Osien lukumäärän vähentäminen	Onko jokaisen osan tarpeellisuus arvioitu? Onko osien toiminnallisuuksia yhdistetty osien lukumäärän vähentämiseksi? Onko ylijarjoitusta vältetty?
Modulaarisuus	Onko modulaarisia alikokoonpanoja hyödynnetty? Onko tuotevariantit toteutettu siten, että variointi tehdään loppukokoonpanon lopussa samoissa kokoonpanovaiheissa? Onko tarpeettoman monen tason alikokoonpanoja vältetty?

Tarkistuslistassa kysymysten perässä olevat lyhenteet AA (automatic assembly) ja MA (manual assembly) tarkoittavat automaattista ja manuaalista kokoonpanoa. Jos kysymyksen perässä on toinen edellä olevista lyhenteistä, keskittyy kysymys enemmän siihen kokoonpanon tapaan. Suurimmassa osassa näitä ei ole eritelty, koska suurin osa kysymyksistä pätee yhtä paljon molempiin kokoonpanon tapoihin.

Kysymykset pätevät monenlaisiin valmistavan teollisuuden tuotteisiin. Jos tuotteessa on enemmän kuin yksi osa, on hyvin mahdollista, että siihen pystyy joitain DFA-periaatteita hyödyntämään. Kun kyseessä on useista osista koostuva monimutkaisempi tuote, pystyy suurempaa osaa periaatteista siihen hyödyntämään. Tarkistuslistan avulla yksinkertaistettava tuote voi olla niinkin arkipäiväinen kuin kynsileikkurit, kuten kuvasta 16 voi nähdä.



Kuva 16. Kynsileikkurin yksinkertaistaminen. (Muokattu lähteestä Bralla 1999)

Tarkistuslistassa osien lukumäärän vähentäminen ja modulaarisuus ovat kategorioina pienimmät sisältäen vain muutaman kysymyksen. Nämä ovat kuitenkin hyvin merkittäviä asioita kokoonpanossa ja niillä on hyvin suuri vaikutus tuotteen kokoonpantavuuteen. Esimerkiksi osien lukumäärän vähentämiseen kuuluu DFA:n peruseriaate, eli osan tarpeellisuuden arviointi. Kun ollaan varmoja, mitkä osat ovat tarpeellisia, voidaan vasta sen jälkeen tarkastella yksittäisten osien rakennetta. Kuvan 16 esimerkin tapauksessa osia on vähennetty huomattavasti, jolloin kustannussäästöt ovat merkittäviä.

Tarkistuslistan kysymykset keskittyvät sekä yksittäisiin osiin, että kokoonpanoon kokonaisuudessaan. Listaa käytettäessä kysymysten muotoilusta käy ilmi, onko kyse yksittäisen osan vai kokoonpanon arvioinnista. Esimerkiksi kysymys ”Onko rei’issä käytetty viisteitä?” viittaa yksittäisten osien suunnitteluun, kun taas ”Onko käytetty mahdollisimman vähän erityyppisiä ja -kokoisia kiinnitysosia?” viittaa kokoonpanoon kokonaisuudessaan.

5. TARKISTUSLISTAN ANALYSOINTI

DFA-periaatteiden etsinnässä on käytetty isoa osaa DFA:n perusteoksista. Näin ollen tarkistuslistaa voi pitää kattavana siinä käsiteltyjen periaatteiden kannalta. Listassa olevat periaatteet on koottu 5:stä eri teoksesta. Teosten välillä löytyi muutamia samoja tai samankaltaisia periaatteita, minkä perusteella on todennäköistä, ettei kovin merkittäviä periaatteita ole jätetty tarkastelematta. Tässä työssä laadittua tarkistuslistaa voi siis pitää luotettavana työkaluna ottaen huomioon tarkistuslistatyökalujen yleisen käyttötarkoituksen.

Listan tuloksia arvioidessa on tärkeä ymmärtää, ettei jokaiseen kysymykseen tarvitse olla vastattuna ”kyllä”. Tuote voi olla suunnittelultaan hyvä, vaikka joihinkin kysymyksiin on vastattu ”ei”, sillä kokoonpantavuus ei ole ainoa huomioitava asia tuotteen suunnittelussa. Vaikka tuote olisi kuinka hyvin suunniteltu, löytyisi sen kohdalla todennäköisesti joitain ”ei” vastauksia. Tämän lisäksi kysymysten tulkinta on aina hieman subjektiivista. Jos kaksi eri henkilöä käyttää listaa saman tuotteen arvioinnissa, on mahdollista, että vastaukset eroavat toisistaan hieman. Näin ollen listan tuloksia on syytä arvioida aina tapauskohtaisesti.

Tarkistuslista ei ole kuitenkaan kaiken kattava työkalu, sillä tässä ei ole painotettu periaatteita niiden tärkeyden mukaan. Edistyneemmillä työkaluilla pystytään paljon tarkemmin arvioimaan kokoonpanon helppoutta ja nopeutta. Tässä työssä laadittua tarkistuslistaa käyttäessä joutuu käyttäjä painottamaan kysymysten tärkeyttä tapauskohtaisesti. Jos tarkistuslistaa kehittäisi eteenpäin, voisi siihen lisätä esimerkiksi jonkinlaisia painotuskertoimia kertomaan eri kysymysten tärkeydestä.

Lempiäisen ja Savolaisen (2003, s. 154) mukaan tarkistuslistatyökalujen etu on siinä, että ne ovat helposti muokattavissa tuoteperhe- ja tuotekohtaisesti. Näin ne soveltuvat hyvin erilaisiin tarkoituksiin kohtuullisen helpoilla muutoksilla. Tarkistuslistatyökalujen etuna on myös se, että niiden käyttöönotto on hyvin helppoa verrattuna monimutkaisempiin tietokoneohjelmiin. Helpon käyttöönoton vuoksi listan käyttöä voi pitää osana päivittäistä tuotesuunnittelua, jolloin DFA-periaatteet jäävät myös paremmin muistiin. Näin ollen ei välttämättä aina tarvita erillistä DFA-analyysiä, kun periaatteiden hyödyntäminen tapahtuu rutiininomaisesti. Tietokoneohjelmistoilla tehtävä DFA-analyysi on enemmän kertaluontoinen tapahtuma, eikä siitä luultavasti samalla tavalla muodostu rutiinia.

6. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli laatia tarkistuslista DFA-periaatteiden noudattamisesta. Työssä koottiin kirjallisuudesta löydettyjä DFA-periaatteita listaksi, minkä jälkeen ne muutettiin kysymysten muotoon. Kysymysten perusteella tuotteen suunnitteluratkaisuja pystyy arvioimaan kokoonpantavuuden kannalta. Periaatteet jaettiin kategorioihin niiden käsitteilyä helpottamaan. Kategorioihin jako tapahtui pääasiassa kokoonpanon toimintojen mukaan, joita ovat käsittely, paikalleen asetus, kiinnitys, säätäminen sekä varmistus ja tarkistus. Näiden lisäksi omat kategoriat ovat osien lukumäärän vähentämiselle sekä modulaarisuudelle. Kysymykset ovat samoissa kategorioissa.

DFA-periaatteita löytyi 111 kappaletta. Koska eri lähteissä esiintyi osittain samoja periaatteita, oli kaksoiskappaleet karsittava. Tämän jälkeen periaatteita jäi jäljelle 72, joista kysymykset myös muodostettiin. Kysymykset ovat muodoltaan sellaisia, että niihin pystyy vastaamaan joko ”kyllä” tai ”ei”. ”Kyllä” vastaukset tarkoittavat kokoonpantavuuden kannalta hyvää suunnittelua. Kysymykset voivat keskittyä joko yksittäiseen osaan, tai kokoonpanoon yleisesti.

Tarkistuslista ei ota sitä huomioon sitä, että jotkin periaatteista ovat mahdollisesti tärkeämpiä kuin toiset. Näin ollen listan käyttäjän on tapauskohtaisesti arvioitava, minkä periaatteiden noudattaminen on etusijalla. Listan avulla saa kuitenkin hyvän yleiskäsityksen siitä, kuinka helposti kokoonpantava tarkasteltava tuote on. Jos tarkistuslistaa haluaisi kehittää, voisi siinä huomioida kysymysten eriarvoisuutta jollain keinolla.

Tarkistuslista vaatii käyttäjältä tulosten pohtimista parhaan hyödyn saamiseksi. Listan tulokset eivät välttämättä suoraan kerro tuotteen hyvästä suunnittelusta, sillä kokoonpantavuus on vain yksi osa tuotteen suunnittelua. Lisäksi kaikkiin kysymyksiin ei tarvitse olla vastattu ”kyllä”, jotta tuotteen voi todeta hyvin suunnitelluksi. Suunnittelussa täytyy tehdä aina hieman kompromisseja ja jotkut niistä tapahtuvat kokoonpantavuuden kustannuksella. On hyvä muistaa, ettei täydellisesti suunniteltua tuotetta luultavasti ole edes olemassa.

Tarkistuslistan avulla suunnittelijan on helpompi arvioida tuotteen kokoonpantavuutta, minkä ansiosta tuotteesta pystyy suunnittelemaan mahdollisimman helposti kokoonpantavan. Tällä tavoin suunniteltu tuote on huomattavasti kustannustehokkaampi sekä nopeampi valmistaa ja koota, mikä antaa tärkeää kilpailuetua nykyajan markkinoilla. Tarkistuslistan helppokäyttöisyyden ansiosta sitä voi hyödyntää päivittäisessä tuotesuunnittelussa. Tarkistuslistasta on suunnittelijalle muutakin hyötyä kuin vain DFA-analyysin

helpottaminen. Kun listaa hyödyntää päivittäin, siinä olevat periaatteet jäävät huomattavasti paremmin muistiin. Näin ollen ei välttämättä tarvitse joka kerta tehdä erillistä DFA-analyysiä, kun suunnittelijalla on periaatteet valmiiksi muistissa. Listan käytöstä on siis hyötyä sekä koko yritykselle, että myös suunnittelijalle itselleen.

LÄHTEET

Battaïa, O., Dolgui, A., Heragu, S.S., Meerkov, S.M. & Tiwari, M.K., 2018. Design for manufacturing and assembly/disassembly: joint design of products and production systems. *International Journal of Production Research*, vol. 56, no. 24, pp. 7181–7189 ISSN 0020–7543. DOI 10.1080/00207543.2018.1549795.

Bogue, R., 2012. Design for manufacture and assembly: background, capabilities and applications. *Assembly Automation*, vol. 32, no. 2, pp. 112–118 ISSN 0144–5154. DOI 10.1108/01445151211212262.

Booker, J.D., Swift, K.G. & Brown, N.J., 2005. Designing for assembly quality: strategies, guidelines and techniques. *Journal of Engineering Design*, vol. 16, no. 3, pp. 279–295 ISSN 0954–4828. DOI 10.1080/09544820500126672.

Boothroyd, G. & Dewhurst, P., 1984. Design for assembly: automatic assembly. *Machine Design*, vol. 56, pp. 87 ISSN 0024–9114.

Boothroyd, G., 1987. Design for assembly—The key to design for manufacture. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 3–11 ISSN 0268–3768. DOI 10.1007/BF02601481.

Boothroyd, G., Dewhurst, P. & Knight, W.A., 2010. *Product Design for Manufacture and Assembly*. Bosa Roca: Taylor & Francis Group ISBN 1420089277.

Boothroyd Dewhurst, Inc. DFMA—Cutting Billions in Manufacturing Costs since 1983. verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.2.2021): <https://www.dfma.com/>

Bralla, J.G., 1999. *Design for manufacturability handbook*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill ISBN 1–280–58695–8.

Brennan, L., Gupta, S.M. & Taleb, K.N., 1994. Operations Planning Issues in an Assembly Disassembly Environment. *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 14, no. 9, pp. 57–67 ISSN 0144–3577. DOI 10.1108/01443579410066767.

Cho, H. & Park, J., 2019. Cost-effective concept development using functional modeling guidelines. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 55, pp. 234–249 ISSN 0736–5845. DOI 10.1016/j.rcim.2018.01.007.

Dalgleish, G.F., Jared, G.E.M. & Swift, K.G., 2000. Design for assembly: Influencing the design process. *Journal of Engineering Design*, vol. 11, no. 1, pp. 17–29 ISSN 0954–4828. DOI 10.1080/095448200261162.

Desai, A. & Mital, A., 2021. *Sustainable product design and development*. Boca Raton, FL: CRC Press ISBN 9780429327803.

Kuo, T., Huang, S.H. & Zhang, H., 2001. Design for manufacture and design for 'X': concepts, applications, and perspectives. *Computers & Industrial Engineering*, vol. 41, no. 3, pp. 241–260 ISSN 0360–8352. DOI 10.1016/S0360–8352(01)00045–6.

Lempiäinen, J. & Savolainen, J., 2003. *Hyvin suunniteltu - puoliiksi valmistettu : lyhyt johdatus tuotteiden valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen*. 2. painos, Helsinki: Suomen robotiikkayhdistys ISBN 951-97329-2-6.

Maynard, H.B. et al., 2001. *Maynard's industrial engineering handbook*. 5th ed. New York: McGraw-Hill ISBN 0071449272.

Moultrie, J. & Maier, A.M., 2014. A simplified approach to design for assembly. *Journal of Engineering Design*, vol. 25, no. 1-3, pp. 44-63 ISSN 0954-4828. DOI 10.1080/09544828.2014.887059.

Pahl, G., Wallace, K., Blessing, L.T.M., Beitz, W. & Bauert, F., 2013. *Engineering Design: A Systematic Approach*. London: Springer London, Limited ISBN 3540199179. DOI 10.1007/978-1-84628-319-2.

Sanchez, R. & Mahoney, J.T., 1996. Modularity, Flexibility, and Knowledge Management in Product and Organization Design. *Strategic Management Journal*, vol. 17, pp. 63-76 ISSN 0143-2095. DOI 10.1002/smj.4250171107.

Selvaraj, P., Radhakrishnan, P., & Adithan, M., 2009. An integrated approach to design for manufacturing and assembly based on reduction of product development time and cost. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 42, no. 1, pp. 13-29 ISSN 0268-3768. DOI 10.1007/s00170-008-1580-8.

Tatikonda, M.V., 1994. Design for assembly: a critical methodology for product reengineering and new product development. *Production and Inventory Management Journal*, vol. 35, no. 1, pp. 31 ISSN 0897-8336.

kiinnitys**kiinnitysosien vähennys ja standardisointi**

Onko kiinnitysosien lukumäärää vähennetty käyttämällä muun muassa napsausliitoksia?

Onko käytetty mahdollisimman vähän erikokoisia ja -tyyppisiä kiinnitysosia?

Onko kiinnitysosia vähennetty käyttämällä vähän isoja monen pienen sijasta?

Onko itselukittuvia kiinnitysosia käytetty? Esimerkiksi metallilukkomuttereita **AA**

Onko ylimääräisiä liitäntöjä osien välillä vältetty?

Onko pulttien käyttöä ainoastaan paikoitusvälineinä vältetty?

asennusongelmien minimointi ja toimintojen helpotus

Onko osan kiinnitykseen vaadittava riittävä käsiksi pääsy varmistettu?

Onko asennustyökalujen tilantarve huomioitu?

Onko lineaarista liittämisliikettä hyödyntäviä kiinnitysosia suosittu kierrettävien sijasta? **AA**

Onko sellaisia liittämisliikkeitä vältetty, jotka vaativat liikettä useamman akselin suunnassa? **AA**

Onko tarpeettoman pitkiä liitäntäpinoja vältetty?

Onko joustaville osille sallittu riittävä toleranssi?

laadukas kiinnitys

Onko toleranssien summautumista vältetty?

Onko suuret liitäntäpinnat jaettu mahdollisuuksien mukaan pienempiin?

Onko liitäntäpintoja mahdollisuuksien mukaan vältetty?

Onko sellaisia tilanteita vältetty, joissa osaa täytyy pitää paikallaan sen aikaa, kun toista kiinnitetään?

säätäminen

Onko säätöjen tarve minimoitu?

Onko itsensäätäviin osiin pyritty? **AA**

Onko yksinkertaisia säätöjä suosittu?

Onko pyritty yksiselitteisiin ja erillisiin säätötoimintoihin?

Onko mahdollistettu käsiksi pääsy säätämiseen ilman osien purkamista?

Onko toleranssien kompensoimiseen soveltuvia osia mahdollisuus käyttää? Esimerkiksi sovittelevyt **MA**

Onko jatkuva säätäminen kiinnityksen aikana mahdollistettu sellaisissa kohdissa, joissa se on tarpeellista?

Onko avoimia uria käytetty reikien sijaan säätämistä helpottamaan sellaisissa kohdissa, joihin ne soveltuvat?

varmistus ja tarkistus

Pystyykö kokoonpannut asiat testaamaan ilman osien purkamista?

Onko kokoonpanon visuaalinen tarkistus mahdollistettu?

Pystyykö alikokoonpanot testaamaan erillään?

Onko kokoonpanon toiminnallisuuksien testaus mahdollista ilman yksittäisten osien testausta?

Onko helposti asennettavia lukitusosia käytetty? Esimerkiksi lukkorenkaita sokkien sijaan **AA**

osien lkm. vähentäminen

Onko jokaisen osan tarpeellisuus arvioitu?

Onko osien toiminnallisuuksia yhdistetty osien lukumäärän vähentämiseksi?

Onko ylijarjoitusta vältetty?

modulaarisuus

Onko modulaarisia alikokoonpanoja hyödynnetty?

Onko tuotevariantit toteutettu siten, että variointi tehdään loppukokoonpanon lopussa samoissa kokoonpanovaiheissa?

Onko tarpeettoman monen tason alikokoonpanoja vältetty?