



KOKOONPANTAVUUDEN HUOMIOIMINEN MOOTTORIKELKKOJEN SUUNNITTELUSSA

BRP Finland Oy

Niko Köykkä

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020

Ajoneuvotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Ajoneuvotekniikka

KÖYKKÄ, NIKO
KOKOONPANTAVUUDEN HUOMIOIMINEN MOOTTORIKELKKOJEN
SUUNNITTELUSSA
BRP Finland Oy

Opinnäytetyö 34 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Toukokuu 2020

Työn tavoite oli perehtyä Design For Assembly -materiaaleihin sekä kokoonpantavuuteen ja siihen, miten kokoonpantavuutta voitaisiin huomioida tuotannosuunnittelun näkökannalta aikaisemmin jo komponentin suunnitteluvaiheessa. Pyrkimys oli luoda materiaalien pohjalta ideoita sekä esimerkkejä siitä, minkälaisia reunaehdoja voitaisiin moottorikelkka-kokoonpanon tuotannosuunnittelun osalta viedä tuotekehitykseen. Työnaihe tuli BRP Finland Oy:lta. Tarkoituksena oli luoda lista reunaehdoista, jotka toisivat suunnittelijalle esille asioita, joita tuotteen kokoonpantavuus sille asettaa. Esiin tuotiin esimerkiksi se, minkälaiset asiat helpottaisivat tuotteen tuomista kokoonpanoon ja nopeuttaisivat sen kokoonpantavuutta.

Työssä on perehdytty suurimmaksi osin kahteen aihetta käsittelevään kirjaan, Product Design for Manufacture and Assembly ja Product Development. Materiaalien pohjalta loin listan oleellisista reunaehdoista. Kun yritys hyödyntää niitä työssään, on mahdollista parantaa tuotteen kokoonpantavuutta. Lisäksi toin esiin muutamia DFA:han pohjautuvia kehitysesimerkkejä moottorikelkan takajousitusjärjestelmästä. Jousituksessa olevia kohtia uudelleen suunnitteleamalla pystyttäisiin vähentämään järjestelmän osien määrää ja kokoonpanoaikaa, ja siten saavuttamaan pienemmät kustannukset sekä parempi laatu ja tuottavuus tuotannossa.

Työn tarkoituksena on saada vietyä tuotannosuunnittelun näkökannat mukaan tuotekehitysprojekteihin. Yrityksessä pyritään yhä enemmän hyödyntämään DFA:ta osana tuotekehitysprojekteja. Nämä reunaehdot ja kehitysesimerkit ovat hyvä alku prosessin luomiselle. Jatkossa DFA-ajatuksia tulisi saada enemmän mukaan projektien aloituksiin.

Asiasanat: kokoonpantavuus, dfa, moottorikelkka

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Vehicle Engineering

KÖYKKÄ NIKO

How to Pay Attention to Design for Assembly in Snowmobile Product Development
BRP Finland Oy

Bachelor's thesis 34 pages, appendices 1 pages
May 2020

The purpose of this study was to familiarize design for assembly materials and plan how assembly requirements can be taken into consideration earlier at product development projects on snowmobile production. One point of this study was to gather some ideas and examples about what kind of guidelines industrial engineering department can give to product development team. Main purpose of this study was creating a list of guidelines for product designers. Those guidelines should ease bringing the new product on assembly line.

The ideas of guidelines were mainly found and collected from the book of George Boothroyd named Product Design for Manufacture and Assembly. Some of show examples in this study were recognized through the manufacturing of snowmobiles.

In this study it was successfully created list of guidelines for product design. Created list of guidelines shows main points which consider on product development project. The list can simplify and ease bringing new product to assembly. Following those guidelines on product development project can also standardize tooling and fastening items. Examples that were shown in this study can ease sub-assemblies, relive space in the factory and shelves in the assembly line, and lower part count in storage.

Considerably more work will need to be done if design for assembly methods are wanted to use completely part of product development. Also, versatile cooperation between two teams must maintain.

Key words: assembly, dfa, snowmobile

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	VALMISTETTAVUUS	8
	2.1 Historia	10
	2.2 Kokoonpantavuus	12
	2.2.1 Manuaalikokoonpano	12
	2.2.2 Reunaehdot	13
	2.3 Hyödyt	14
	2.4 Mahdolliset haitat	15
	2.5 Poka Yoke	16
	2.6 Osta vai valmista itse	17
3	BRP-BOMBARDIER RECREATIONAL PRODUCTS	18
4	TAKAJOUSITUS	20
	4.1 Rakenne	20
	4.2 Haasteet kokoonpanossa	22
5	TULOKSET	23
	5.1 Reunaehdot tuotekehitykselle	23
	5.2 DFA-kehitysesimerkkejä	24
	5.2.1 Etu- ja takapukit, make or buy	25
	5.2.2 Kiinnitysosien standardisointi	29
	5.2.3 Osien tai työvaiheiden vähentäminen	30
6	POHDINTA	32
	LÄHTEET	33
	LIITTEET	34
	Liite 1. Reunaehdot-lista	34

ERITYISSANASTO

TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
op.	Opintopiste
NPD	New Product Development
DFA	Design for Assembly
DFM	Design for Manufacturing
DFMA	Design for Manufacture and Assembly
PPS	Jousitusjärjestelmän markkinointi nimi

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehdään BRP Finland Oy:lle. Työn tarkoitus on perehtyä kokoonpantavuuteen ja siihen, miten sitä voitaisiin huomioida tuotannosuunnittelun näkökannalta aikaisemmin jo komponentin suunnitteluvaiheessa. Tarkastelu kohteena on moottorikelkan takajousituksen kokoonpantavuus ja mitä sen suunnittelussa tulisi huomioida, jotta uudet mallit sopisivat nykyiseen tuotantoon ongelmitta. Tarkoitus on luoda tuotannosuunnittelun osalta ohjeistus siihen, mitä tuotekehityksen olisi hyvä huomioida kehitysprojektin alkuvaiheissa. Ohjeistus on tarkoitettu siten, että niitä voidaan hyödyntää kaikkeen moottorikelkkaan liittyvään suunnitteluun. Jos tuotekehitys suunnittelussaan huomioisi yhteistyössä tuotannosuunnittelun kanssa tuotannon tarpeet, se helpottaisi uuden komponentin tuomista tuotantoon.

Tarkastelualue on rajattu moottorikelkan takajousituksen kokoonpantavuuteen ja siihen mitä sen suunnittelussa tulisi huomioida. Jotta uudet mallit olisi helppo tuoda tuotantoon ja sopisivat kokoonpanojärjestykseen ongelmitta. Ongelmia, joita halutaan välttää, on esimerkiksi huonolaatu sekä vaativat ja monimutkaiset kokoonpanot.

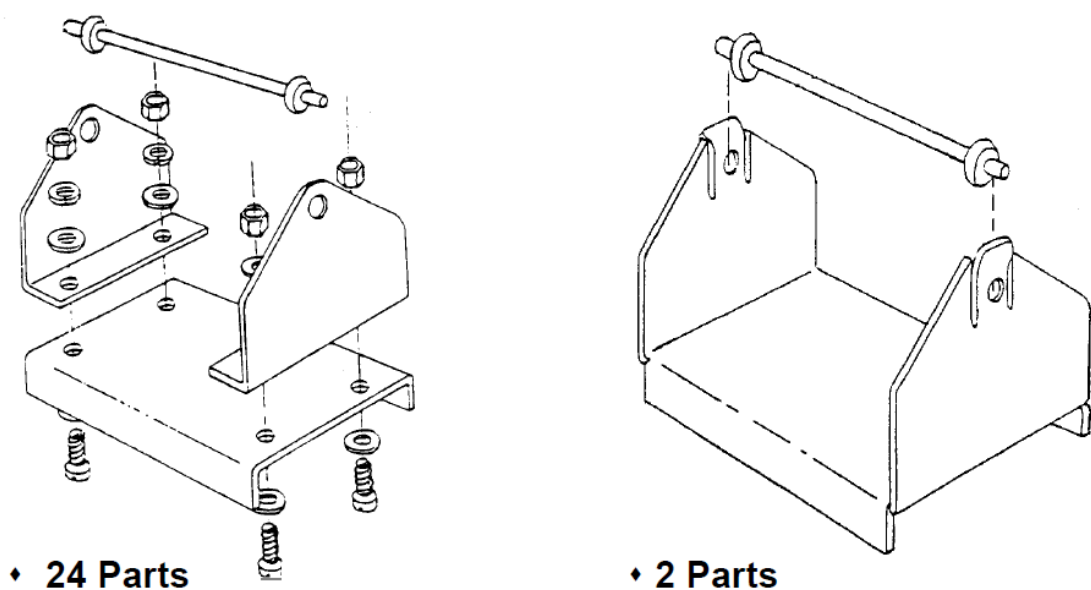
Tällä hetkellä on olemassa joitakin ohjeistuksia siitä, mitä tuotekehityksen tulisi huomioida, kun uusia komponentteja ja kokoonpanoja suunnitellaan. Kun uusia tuotteita lanseerataan koko ajan enemmän sekä nopeammalla tahdilla, se ajaa tarpeen tehokkaaseen tuotteen lanseeraukseen. Myös tämänhetkisten ohjeiden käyttö on ehkä hieman kirjavaa, mikä luo tarpeen parantaa ohjeistusta. Tällä hetkellä tuotannosuunnittelu pääsee tutustumaan uusiin komponentteihin yleensä prototyyppi vaiheessa tai joskus vasta tuotannon esisarjaa tehdessä. Nykytilanteesta haluttaisiin päästä vielä aiemmin mukaan sekä lisätä yhteistyötä tuotekehityksen kanssa, jotta prosessi nopeutuisi.

Opinnäytetyön tavoite on määrittää kuinka tuotannosuunnittelu voisi paremmin tuoda omat huomionsa kokoonpantavuudesta mukaan tuotekehityksen NPD-prosessiin heti sen alkuvaiheilla ja läpi projektin. Tarkoitus on määrittää tuotannosuunnittelun tarpeet ja koostaa niistä ohje- tai reunaehdot -lista tuotekehitykselle. Lista toisi esiin sen, mitä tuotekehitys voisi huomioida tuotteen suunnittelussa.

2 VALMISTETTAVUUS

Design for Assemblyn (DFA) tarkoitus on pyrkiä yksinkertaistamaan suunniteltavan tuotteen muotoilua ja kokoonpanoa niin että tuote olisi helpompi, tehokkaampi ja halvempi kokoonpanna. Samalla monesti onnistutaan parantamaan tuotteen laatua ja luotettavuutta sekä vähentämään kokoonpanoon tarvittavia työkaluja ja pienentämään varastoja. Monesti on jopa huomioitu, että nämä toissijaisesti saatavat hyödyt tuovat enemmän arvoa kuin mitä kokoonpanon helpotuksista on saatu. (Desai, Mital, Aa., Mital, An. & Subramanian, 2008, 136.)

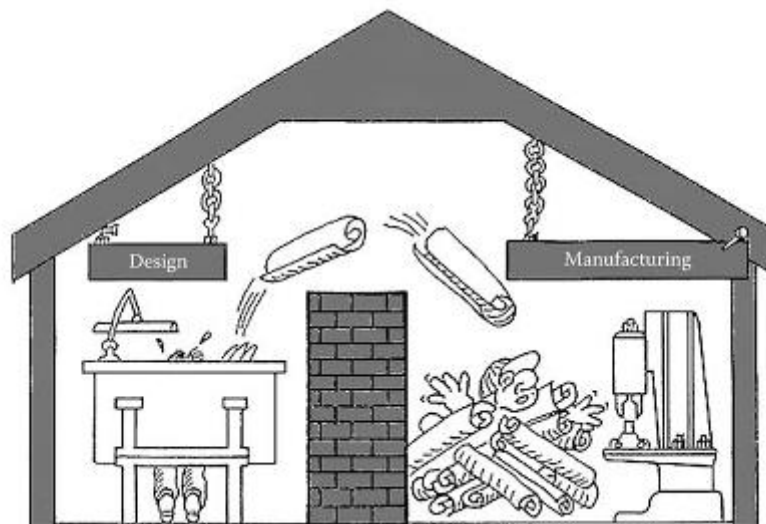
DFA:n pääpiirteitä on tunnistaa tarve analysoida osa sekä koko kokoonpanon kasauksessa ilmenevät ongelmat jo aikaisessa vaiheessa tuotekehitysprojektia. Näin voidaan parhaimmillaan leikata koko prosessin kustannuksia. Design for Assembly voitaisiin myös määritellä prosessiksi parantaa tuotesuunnittelua halvemman ja helpomman kokoonpantavuuden saamiseksi, mihin päästään keskittymällä toiminnallisuuteen ja kokoonpantavuuteen samanaikaisesti. Jos kokoonpanosta on enemmän kuin 1/3 kiinnitystarvikkeita, pitäisi kokoonpanon suunnittelua kyseenalaistaa. (Desai, Mital, Aa., Mital, An. & Subramanian, 2008, 136.) Kuva 1 osoittaa miten paljon kokoonpanon suunnittelua voidaan yksinkertaistaa.



KUVA 1. Havainnekuva rakenteen yksinkertaistamisesta (Stienstra, 2020)

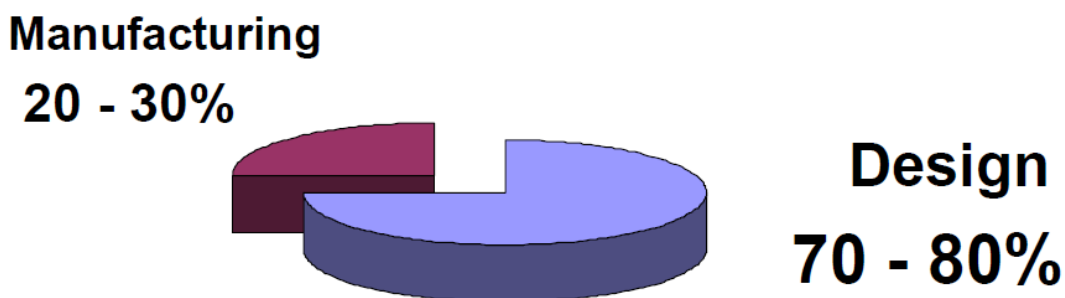
DFA:n käyttäminen osana suunnittelua on kohtalaisen uusi tapa, mutta jotkin yritykset ovat tehneet sitä jo pitkään. Esimerkiksi General Electric julkaisi jo 1960-luvulla sisäisen käsikirjan valmistettavuuden tuottavuuteen liittyen. (Desai, Mital, Aa., Mital, An. & Subramanian, 2008, 136.)

Monesti suunnittelijoiden asenne kuitenkin on, että he suunnittelevat ja tekevät valmistatte. Tätä kutsutaan seinän yli -lähestymistavaksi (Kuva 2), jossa suunnittelija istuu seinän toisella puolella ja heittää sitten valmiit suunnitelmat seinän yli tuotannosuunnittelun hoidettavaksi. Tällöin he joutuvat pärjäämään useiden ongelmien kanssa tuotetta tehdessä. Tilanne voidaan välttää, kun suunnittelija tekee yhteistyötä tuotannosuunnittelun kanssa jo tuotteen suunnittelun alkuvaiheessa. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 2011, 8-9.)



KUVA 2. Suunnittelijan seinän yli -lähestymistapa (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 2011, 9)

Suuri osa tuotteen valmistuskustannuksista synnytetään jo suunnitteluvaiheessa. On karkeasti arvioitu, että jopa 70-80% kustannuksista synnytetään jo suunnitteluvaiheessa (Kuva 3). Tämä kuitenkin vaihtelee paljon tuotteen mukaan. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 2011, 8-9.)



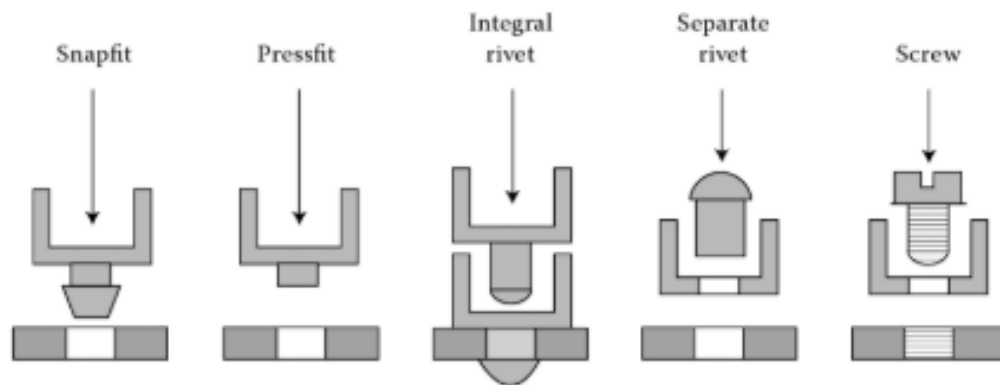
KUVA 3. Suunnittelun aiheuttamat kulut tuotteen valmistukselle (Stienstra, 2020)

2.1 Historia

1970- luvulla Geoffrey Boothroyd julkaisi ensimmäisen käsikirjan Massachusettsin yliopistossa liittyen DFMA:han. Siihen kulminoitui hänen 1963 vuonna aloittamansa tutkimustyö Salfordin yliopistossa Englannissa. Käsikirja käsitteli automaattisen kokoonpanon syöttö- sekä asettelutekniikoita pienille osille. Tätä ennen oli pitkään jo tiedostettu, että suunnittelu helppoon valmistukseen on tärkeässä roolissa tuotteen kehityksessä, mutta mitään kirjallisuutta ei ollut aiemmin saatavilla.

Suunnittelijoiden tulisi antaa lisää huomiota mahdollisille valmistusongelmille ja kitkeä niitä pois. Hyvän suunnittelijan tulisi tietää tuotteen valmistusprosessi välttääkseen lisäämästä ylimääräisiä valmistuskuluja suunnittelullaan. Normaalisti aiemmin odotettiin, että insinöörit käyvät harjoittelemassa tuotannossa ymmärtääkseen valmistuksen periaatteet, mutta esimerkiksi 1960-luvulla Yhdysvalloissa yliopistojen opinto-ohjelmasta poistettiin tuotannossa harjoittelut, koska katsottiin etteivät ne sovi akateemiselle arvolle. Sen takia silloisilla insinööreillä, jotka liittyivät tuotekehityksen tiimeihin, oli hyvin vähän tietotaitoa valmistusprosesseista.

Vuonna 1978 Boothroyd ja Bill Wilson saivat rahoituksen kolmen vuoden tutkintaohjelmalle opetellakseen valmistettavuuden suunnittelun. Boothroyd oli itse kiinnostunut valmistettavuudesta ja yhdessä opiskelijoiden Alan Redford ja Ken Swift kanssa he tutkivat kaasunvirtausmittareiden rakennetta. Kaikilla mittareilla oli samat peruskomponentit ja toimintatapa, ne olivat vain eri tavalla kokoonpantuja. Tutkimuksesta selvisi, että niiden kokoonpanon työmäärä vaihteli erittäin paljon, parhaiten ja huonoiten suunnitellun välillä oli kuusinkertainen kokoonpanon työmäärä. Sama periaate pätee alla olevaan kuvioon. Siinä vasemmalla on nopein kiinnitystapa ja oikealle päin siirryttäessä aina työläämpi tapa (Kuvio 1).



KUVIO 1. Esimerkki kiinnitystavoista, jotka vaikuttavat kokoonpanoon (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 2011, 3)

1970-luvulla julkaistun käsikirjan jälkeen Geoffrey Boothroyd julkaisi useita teoksia liittyen DFM:iin ja DFA:han. Näitä teoksia olivat muun muassa Design for Assembly – A Designer’s Handbook (1980), The Road to Higher productivity (1982) sekä Product Design for Manufacture and Assembly (1989). (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 2011, 1-3.)

2.2 Kokoonpantavuus

Tässä kappaleessa käydään läpi mitä erilaisia reunaehtoja tai rajoitussääntöjä DFA:han kuuluu. Tarkastelun kohteena on manuaalikokoonpanoon liittyvät reunaehdot. Muita kokoonpanotapoja ovat automaattinen, kiinteä automaattinen ja robotti ja kaikille niille on omat reunaehdot. Mutta tässä keskitytään manuaaliseen kokoonpanoon koska sen esiintyminen on suurinta kelkkatuotannossa. (Desai, Mital, Aa., Mital, An. & Subramanian, 2008, 136-140.)

2.2.1 Manuaalikokoonpano

Manuaalikokoonpano on yleinen ja helposti toteutettava kokoonpanon tyyppi. Siihen ei tarvitse alkuun investoida suuria summia rahaa kiinni ja se on joustava sekä helposti muokattavissa. Kokoonpanossa työntekijä ottaa osat kokoonpanopisteelle, tekee työn ja sen jälkeen laittaa lopputuotteen eteenpäin. Apuna tekijä käyttää monesti jonkunlaisia käsityökaluja kuten ruuvivääntimiä. Haittapuolena manuaalikokoonpanossa on rajallinen volyymi minkä lisäksi työntekijöistä aiheutuvat kustannukset voivat nousta suuriksi. (Desai, Mital, Aa., Mital, An. & Subramanian, 2008, 136–140.)

2.2.2 Reunaehdot

Seuraavia reunaehtoja voidaan hyödyntää, kun suunnitellaan manuaalisesti kokoonpantavaa rakennetta.

- Eliminoi päätökset, joita työntekijä joutuisi tekemään kuten lopulliset säädöt. Näin ollen kokoonpanon tarkkuus paranee
- Varmista helppokäyttöisyys sekä myös hyvä näkyvyys
- Eliminoi erikoistyökalujen käyttö ja yksinkertaista osien sopivuus sekä liitokset. Pyri käyttämään pikaliitoksia, jotta erillisistä kiinnitysosista päästään eroon. Näin ollen kokoonpano on tehokkaampaa ja nopeampaa
- Pyri yhdistelemään eri osia yhdeksi, jos se toimivuuden kannalta onnistuu
- Vältä tai minimoi uudelleen kohdistukset. Varmista että kaikkien osien lisäys on yksinkertaista. Pyri hyödyntämään ylhäältä alaspäin asennusta, koska siinä auttaa maanvetovoima. Myös mahdollinen kokoonpanon kääntely kasaus vaiheessa vähenee

(Desai, Mital, Aa., Mital, An. & Subramanian, 2008, 136-140.)

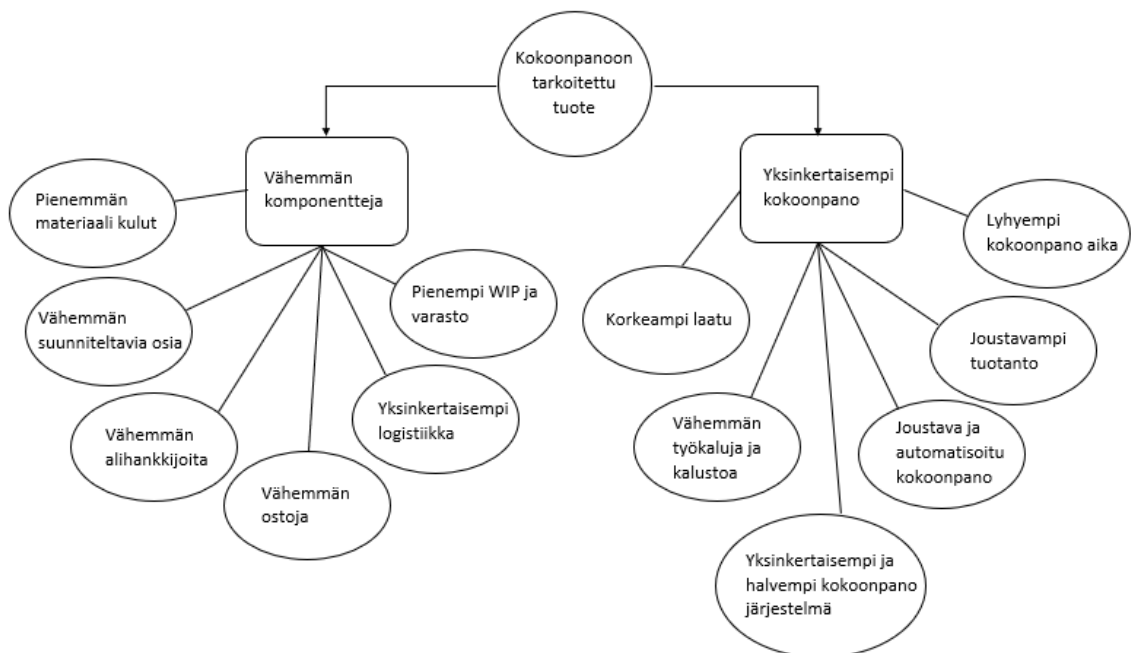
Manuaalisessa kokoonpanossa työntekijä käsittelee osia yleensä paljon. Suunnittelu vaiheessa tulisi huomioida tämä ja saada karsittua osan muotoilulla ylimääräinen käsittely pois. Tämän avulla kokoonpanosta saadaan nopeampi ja tarkempi. Seuraavia reunaehtoja voidaan tämän saavuttamiseksi hyödyntää. (Desai, Mital, Aa., Mital, An. & Subramanian, 2008, 136-140.)

- Kun kappaleesta ei saada symmetristä, pitäisi siitä saada selvästi epäsymmetrinen, jolloin on helpompi hahmottaa sen asennussuunta
- Hyödynnä ominaisuuksia, jotka estävät juuttumisen ja takertumisen
- Liitokset pitäisi olla lähes tai kokonaan kitkattomat, jotta kappaleiden liittäminen on helppoa
- Vältä osia, joita joutuu pitämään paikallaan ennen osan kiinnitystä. Jos tätä ei voi välttää suunnittelulla, tulisi osa kiinnittää mahdollisimman nopeasti asennuksen jälkeen
- Suunnittele osat niin että ne kohdistuvat asennuksessa automaattisesti. Kohdistus asennuksen jälkeen voi aiheuttaa asennusvirheen riskin

- Käytä yleisiä kiinnitystapoja. Ne ovat halvimmasta kalliimpaan listattuna napsausliitos, prässäys, niittausta ja ruuvikiinnitys (Desai, Mital, Aa., Mital, An. & Subramanian, 2008, 136-140.)

2.3 Hyödyt

Kun yritys lähtee toteuttamaan DFA:ta, ei voida varmuudella sanoa, että se parantaa tuotteiden kokoonpantavuutta. Tämä johtuu siitä, koska yritysten kesken on paljon eroja siinä, miten he lähtevät toteuttamaan DFA:ta. Toiset yritykset onnistuvat hyödyntämään käytäntöjä paremmin kuin toiset ja sitä kautta saavat erilaisia hyötyjä. Yleisiä saatuja hyötyjä, joita voi saavuttaa, kun DFA:ta käytetään tuotekehitys projektissa, on esitetty kuviossa 2. (Eskilander, 2001, 28.)



KUVIO 2. Yleiset saadut hyödyt DFA:sta (Eskilander, 2001, 28, muokattu)

2.4 Mahdolliset haitat

On myös mahdollista, että kun DFA:ta toteutetaan, päädytään vain huonoihin tuloksiin. Jakiela, Pearson, Sartorius, & Ulrich (1993, 429-447) tuovat esiin kaksi haittaa ajan ja kustannuksen.

- Aika
 - Tuotteen suunnittelu-aika voi olla pidempi kuin oletettiin, kun käytetään DFA-metodeja. Varsinkin, jos suunnittelija ei ole aiemmin hyödyntänyt DFA:ta
 - Tuotteen markkinoille saanti saattaa viivästyä, jos DFA:ta käytetään väärin ja tuote joudutaan uudelleen suunnittelemaan

- Kustannukset
 - Valmistuskustannukset voivat nousta, jos suunnitellaan yksi monimutkainen osa, verrattuna esimerkiksi neljä yksinkertaista osaa. Toki nämä neljä yksinkertaisempaa osaa tarvitsevat erillisen kokoonpanon
 - Laitte- ja työkalukustannukset voivat nousta monimutkaisen osan takia ja pahimmassa tapauksessa laatuhevikki kasvaa

Nämä yleisimmät haitat voidaan välttää, kun suunnittelija ei pelkästään yksin käytä DFA:ta, vaan suunnittelutiimi sisältää tuotannosuunnittelun ja laadunvalvonnan sekä tarpeen vaatiessa muiden osastojen henkilöitä. (Jakiela, Pearson, Sartorius, & Ulrich 1993, 429–447.)

2.5 Poka Yoke

Poka yoke:a voidaan käyttää DFA:n rinnalla, koska sen tarkoitus on estää inhimillisten virheiden syntyminen ja sitä voidaan käyttää joka paikassa, missä on mahdollista tehdä virhe. Siitä saadaan myös hyötyä kokoonpanossa, kun eritoten vaikeisiin ja tarkkoihin asennuksiin pyritään tekemään poka yoke. (Desai, Mital, Aa., Mital, An. & Subramanian, 2008, 75.)

Poka yoke:n on kehittänyt Toyotan teollisuusinsinööri Shigeo Shingo 1960-luvulla. Se kuuluu osaksi Lean-ajattelumaailmaa. Poka yoke:n tarkoitus on luoda sellaiset olosuhteet, ettei virhettä pääse tapahtumaan. (Kanbanize, 2020.) Esimerkiksi puhelimen SIM-kortti on suorakaiteen muotoinen ja yksi nurkka on viistetty, minkä takia korttia ei voi asentaa puhelimeen väärin (Software testing help 2020). Toinen esimerkki on laitteiden käyttö osana poka yoke:a. Esimerkiksi kuinka Toyotalla valoverho tarkistaa onko kokoonpanija ottanut asennettavan osan laatikosta, jos valoverho ei rikkoudu kokoonpanovaiheen aikana se antaa hälytyksen ja pysäyttää linjan (Liker, 2004, 134). Poka yoke:n avulla voidaan toteuttaa laatua ilman erillistä laadun tarkastus, koska jos jossakin huomataan virheen mahdollisuus, siihen tehdään toimenpiteet, eikä virhettä voi tapahtua uudelleen. (Kanbanize, 2020.)

Jos kokoonpanossa on paljon vaiheita mihin tekijä joudutaan erikseen kouluttamaan, jotta osan asennus onnistuu laadukkaasti, silloin tekijän kouluttamisesta kertyy kustannuksia yritykselle. Sitten kun tekijä lähtee yrityksestä, menetetään yritys kaiken työntekijään sijoitetun koulutuksen. Kun keksitään jo suunnittelu vaiheessa poka yoke:ja komponentteihin helpottamaan asennuksia, vaatii uusi tekijä vähemmän koulutusta ja silloin saadaan hyvällä suunnittelulla säästettyä työntekijöiden kouluttamisesta aiheutuvia kustannuksia. (Machine Design, 1998.)

2.6 Osta vai valmista itse

Osta vai valmista itse -päätös vaikuttaa siihen, että tehdäänkö jokin osa itse omassa tehtaassa vai tilataanko se valmiina alihankkijalta. Päätöksentekoon on monia erilaisia syitä kuten:

- Kustannukset
- Kapasiteetti
- Tietotaito
- Laitehankinnat
- Varastointi
- Tuotteen tärkeys oman tuotannon kannalta

Kun yllä olevia rajoitteita lähdetään painottamaan, päästään päätökseen siitä, onko tuote järkevämpää valmistaa itse vai ostaa valmiina. (Accounting Tools, 2018.)

3 BRP-BOMBARDIER RECREATIONAL PRODUCTS

BRP - Bombardier Recreational Products on maailman johtava motorisoitujen vapaa-ajan laitteiden kehittäjä, suunnittelija, valmistaja ja jakelija. Työntekijöitä on ympäri maailmaa noin 14 000. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Valcourtissa Quebecissä, Kanadassa. Yrityksellä on toimintaa yhteensä 125 eri maassa. Kanadalaisella emoyhtiöllä BRP:llä on pitkä historia kelkkojen valmistuksesta jo vuodesta 1937 asti, jolloin Joseph-Armand Bombardier loi ensimmäisen ”moottorikelkan”. (BRP, 2019.)

Vuonna 1959 Ski-Doo -moottorikelkan sarjatuotanto alkoi, jo ensimmäisessä Ski-Doo:ssa oli Rotaxin valmistama moottori (BRP, 2020). Myöhemmin vuonna 1970 Bombardier hankki Rotax-moottorivalmistajan osaksi yhtiötä. Nykyisin kaikissa konsernin laitteissa käytetään Rotaxin valmistamia moottoreita. Vuonna 2003 Bombardier Inc myi vapaa-ajan yksikön, silloin syntyi nykyinen BRP - Bombardier Recreational Products. (BRP, 2019.)

Tänä päivänä BRP:llä on tehtaita Kanadan ja Suomen lisäksi USA:ssa, Meksikossa ja Itävallassa. Tuotteiden jälleenmyyjiä on noin 4200 ympäri maailmaa. Tuoteperheisiin Lynx ja Ski-Doo -moottorikelkkojen lisäksi kuuluvat Sea-Doo-vesijetit, Evinrude-perämoottorit, Rotax-moottorit, Manitou, Alumacraft ja Telwater-veneet sekä Cam-Am-mönkijät, SSV-, Spyder- ja Ryker-ajoneuvot. (BRP, 2019.)

BRP Finland Oy:n kelkkojen valmistus juontaa juurensa jo vuosikymmenten taakse. Lynx-moottorikelkkojen valmistus on alkanut Etelä-Pohjanmaalla Kurikassa Velsa Oy:ssä vuonna 1967. Sittemmin omistajaksi tullut Valmet Oy siirsi kelkkojen valmistuksen 1970-luvun lopulla Rovaniemelle. Aluksi valmistus tapahtui Rovaniemelläkin Velsa Oy -nimissä, joka myöhemmin muuttui Nordtrac Oy:ksi. Valmet luopui moottorikelkkojen valmistuksessa vuonna 1989, jolloin se myi Nordtrac Oy:n ja Lynx-brändin kanadalaiselle Bombardier Inc:lle. Vuonna 1993 nimeksi tuli Bombardier-Nordtrac Oy. (BRP, 2019.)

Vuonna 2005 nimi muuttui nykyiseen muotoonsa BRP Finland Oy:ksi ja se on 100% BRP:n omistama tytäryhtiö. Vuonna 2008 kelkkatehdas siirtyi uusiin tiloihin, missä se nykyisinkin toimii Isoaavantiellä (Kuva 4). Vuonna 2014 Rovaniemellä aloitettiin myös valmistamaan Cam-am 6x6 -mönkijöitä. Vuonna 2019 tehtaasta valmistui 400 000:s Rovaniemellä valmistettu Lynx. BRP Finland Oy:n pääkonttori sijaitsee Rovaniemellä, missä on noin 450 työntekijää ja se on Rovaniemen suurin yksityinen työnantaja. Rovaniemellä valmistetuista laitteista yli 90% menee vientiin. (BRP, 2019.)



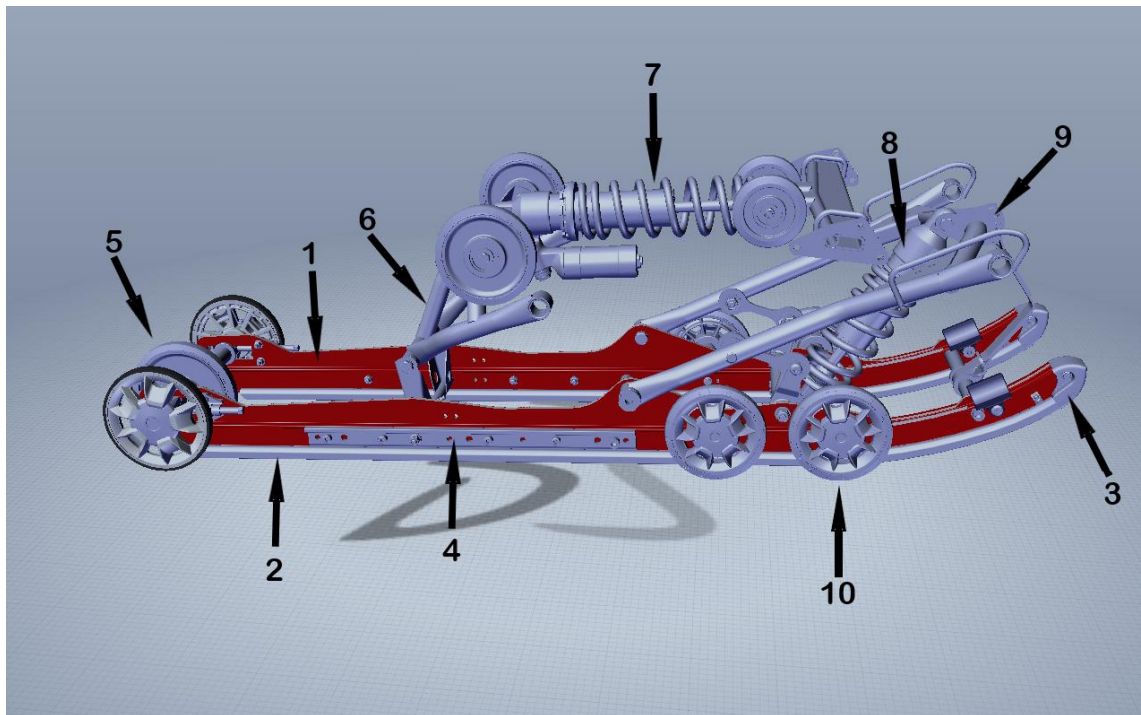
KUVA 4. Rovaniemen tehdas

4 TAKAJOUSITUS

Työssä tarkasteltavaksi alueeksi valikoitui moottorikelkan takajousitusjärjestelmä, koska olin työni puolesta jo perehtynyt järjestelmän kokoonpanoon sarjatuotannossa. Moottorikelkan takajousituksen kokoonpano tuotannossa on haasteellista, koska hallittavien alusta variaatioiden määrä on suuri. Kokoonpanossa on huomioitava monia asioita. Välillä jotkin osat ovat toistensa tiellä, jos ne asennetaan liian aikaisin, tai osat eivät pysy oikeassa paikassa ilman hyvää tukea. Rovaniemellä valmistetaan useampaa tuotemerkkiä minkä takia alustavariaatioita on yli 10 erilaista. Näiden variaatioiden lisäksi alustojen sisällä voi olla omia variaatioita esimerkiksi siitä onko alustassa telapyöriä, jääraapijoita tai liukurungon vahvikkeita.

4.1 Rakenne

Moottorikelkan takajousituksen rakenne on yksi monimutkaisimmista jousituksista, joita moottoriurheilussa on (Snowest, 2013). Sen perusrakenteeseen kuuluu kaksi liukurunkoa, etupukki, takapukki, keski-iskunvaimennin, takaiskunvaimennin ja kääntöpyörät. Rakenteesta on olemassa useita erilaisia variaatioita maailmalla sekä jopa nykyään malleja, joissa on vain yksi liukurunko. Erikoisuuksia lukuun ottamatta yllä listatut asiat löytyvät aina moottorikelkan takajousituksesta.



KUVA 5. Lynx PPS takajousitus

Kuvassa 5 on numeroiduin nuolin osoitettu Lynxin käyttämän PPS-alustan pääkomponentit.

1. Liukurunko
2. Liukumuovi
3. Liukunokka
4. Liukurunkon vahvike
5. Kääntöpyörät
6. Takapukki
7. Takaiskunvaimennin
8. Keski-iskunvaimennin
9. Etupukki
10. Telapyörät

Vastaavia pääkomponentteja löytyy kaikista moottorikelkan alustoista, toki niiden geometriat vaihtelevat eri valmistajien mukaan.

4.2 Haasteet kokoonpanossa

Alustan kokoonpanoa aina samassa työjärjestyksessä vaikeuttaa niiden useat variaatiot. Alustojen rakenteissa on eroja, jollain alustalla iskunvaimentimen asennus ei onnistu samalla tavalla ja samassa järjestyksessä kuin muilla malleilla. Myös jotkin osat estävät muiden osien asennuksia, jos ne asennetaan liian ajoissa. Hyvä esimerkki osien tielle tulemisesta on alustassa olevat pyörät. Ne melkein aina peittävät muiden osien kiinnitysruuvien kantoja, jolloin niiden kiristys ei enää onnistu. Kaikkien alusta mallien kasaus samassa järjestyksessä standardisoisi työvaiheet sekä työjärjestyksen. Standardointi helpottaa työntekijää sekä vähentää ja jopa poistaa asetusajat, kun vaihdetaan mallista toiseen. Myös suuri määrä erilaisia kiinnitysosia ja momentteja tuo suuren variaatioiden määrän kiristyskoneisiin kokoonpanolinjalla sekä mahdollisuuden osien sekaantumiseen.

Tuotemerkkien välillä on eroa työmäärässä, joillakin malleilla etu- ja takapukit kokoonpannaan itse osakokoonpanossa ja joillakin ne tulevat valmiiksi kasattuina. Myös joissakin alustoissa kiinnitys osat on onnistuttu standardisoimaan paremmin kuin joissakin.

5 TULOKSET

Tuotekehitykselle esitetään, että he määrittelevät jo projektin ensimmäisessä portissa DFA:han liittyvät asiat. Ne käydään tuotannonsuunnittelun kanssa läpi, jolloin saadaan kuva siitä, millaisia mahdollisia uusia ongelmia olisi tulossa ja mitä vanhoja voitaisiin välttää sekä parantaa. Kolmanteen porttiin mennessä ongelmista on tehty analyysit ja uudelleen suunniteltu prototyyppi. Tuotannonsuunnittelun pitäisi päästä hyvään vuorovaikutukseen suunnittelijan kanssa heti projektin alussa. Jos tuotannonsuunnittelu tuo omat mielipiteensä ja näkemyksensä vasta tuotannon esisarjaa tehdessä osan muokkaamisesta, toiveita ei välttämättä pystytä toteuttaa tai toteutettaessa siitä syntyy paljon kustannuksia uuden designin suunnittelusta sekä valmistuksen ja hankinnan muokkaamisesta. Seuraavissa kappaleissa esitetään suunnittelijoille laadittuja reunaehtoja sekä mahdollisia kehitys esimerkkejä.

5.1 Reunaehdot tuotekehitykselle

Loin tuotekehitykselle listan (Kuva 6), johon on koottu DFA:n pääpiirteitä. Kun niitä huomioidaan suunnittelun alkuvaiheessa, on mahdollista päästä parempaan lopputulokseen jo ensimmäisillä suunnittelukerroilla eikä designia tarvitse välttämättä muuttaa enää myöhemmin tuotannonsuunnittelulta tulleen palautteen takia. Kuvassa 6 on esitettyä lista huomioista, joita tuotekehityksen pitäisi käydä läpi suunnitteluvaiheessa.

Design for Assembly reunaehdot			
O= Ohitettu			
T=Toteutuu			
O	T	Reunaehto	Kommentit
		1. Rakenne	
		Kokoonpanon osamäärä on pieni mahdollinen	
		Suunnittelussa on vältetty uusien variaatioiden luonti	
		Rakenne modulaarinen	
		2. Liitokset	
		Käytetään yksinkertaisinta mahdollista liitostapaa	
		Kiinnitystarvikkeet ovat standardit muun tuoteperheen kanssa	
		Kaikki kriittiset momentit on dokumentoitu kuviin	
		Kiristystyökalujen sopivuus rakenteeseen on huomioitu	
		Liitoksissa ei tarvitse käyttää liimaa, liukastetta tai lämpöä	
		3. Näkyvyys	
		Ei sokeita pisteitä kokoonpanossa	
		Kokoonpanojärjestys todettu tuotannon laitteilla	
		Kokoonpanoa ei tarvitse käänellä kokoonpanon aikana	
		Vältä uudelleen kohdistamista kokoonpanon aikana	
		4. Osien asennus	
		Osien asennussuunta on huomioitu (suositetaan alhaalta ylöspäin liikettä, hyödynnetään maanvetovoimaa)	
		Ei ylimääräisen voiman käyttöä asennukseen	
		Osaan on suunniteltu viisteitä ja ohjauspintoja asennuksen helpottamiseksi	
		Osa paikoittuu itsellään	
		Letkuihin ja johtoihin on suunniteltu kohdistusmerkit	
		Osien väärin asentaminen on estetty = poka yoke	
		Osa ei voi jumittua asennuksessa	
		Osa kiinnittyy heti asennuksen jälkeen	
		5. Käsiteltävyys	
		Vältä teräviä reunoja	
		Vältä pieniä osia (alle 6mm kooltaan)	
		Kokoonpanon kokonaispaino on huomioitu	
		Onko osan fyysiset mitat huomioitu kokoonpanon kannalta?	
		Suunnitellaan osat ja pakkaus siten, etteivät ne voi takertua tai jumittua toisiinsa laatikossa	
		Osan paikalleen laitto onnistuu yhdellä kädellä	
		Vältetään mekaanisten tukien tarvetta kokoonpanossa	

KUVA 6. Reunaehdot-lista

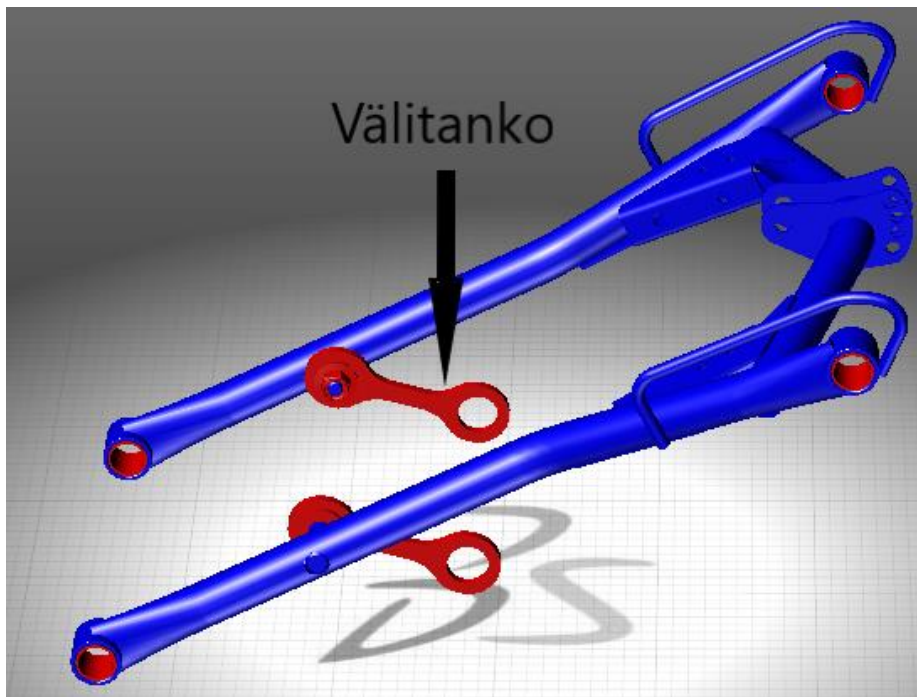
Luotu lista otetaan testikäyttöön tulevissa uusissa projekteissa ja se jaetaan projektin suunnittelijoille.

5.2 DFA-kehitysesimerkkejä

Tässä kappaleessa esitetään esimerkkejä mitä tuotannosuunnittelun näkökannalta on tullut esiin Lynxin PPS-alustan kokoonpantavuudesta, ja miten sitä voisi mahdollisesti parantaa. Ideat ovat ehdotuksia, eikä kaikkia niistä välttämättä voida toteuttaa, kun niitä lähdetään tarkastelemaan kokonaisuuden kannalta.

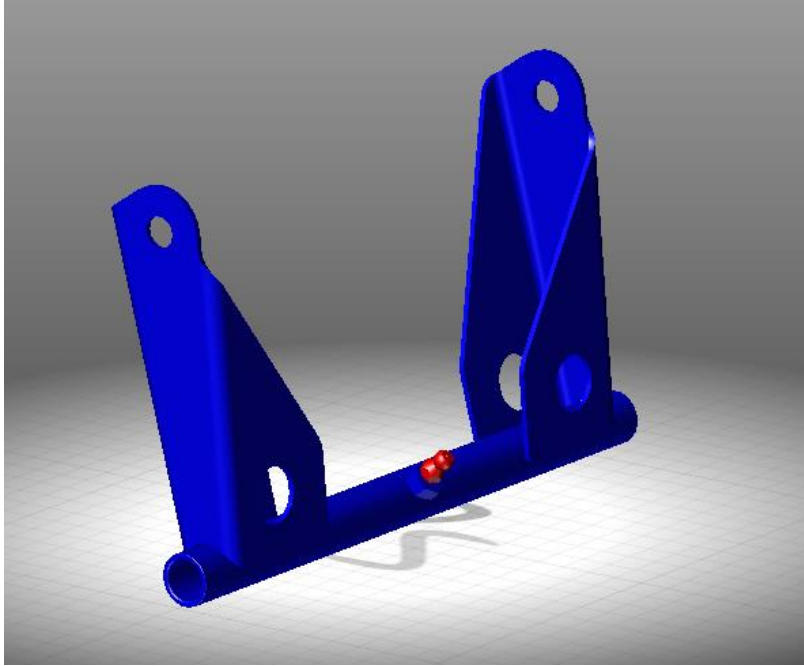
5.2.1 Etu- ja takapukit, osta vai valmista

Tällä hetkellä itsekokoonpantavien etu- ja takapukkien sekä etukeinun osakokoonpano tehtaassa on työläs ja paljon lattiapinta-alaa vievä prosessi. Kokoonpanoja varten tarvitaan useita lavapaikkoja osille sekä useita isoja jigejä, missä kokoonpanot tehdään. Tällä hetkellä esimerkiksi etupukin osakokoonpanossa, etupukkiin prässätään neljä holkkia sekä asennetaan välitangot. Nämä osat voidaan nähdä kuvasta 7 jossa ne on värjätty punaisella. Tämä työ on n.5% koko alustan kokoonpanojasta sekä tarvitsee vähintään kaksi lavapaikkaa, prässäysjigin ja hyllystä neljä laatikkopaikkaa. Tuotannossa on standardi kokoiset hyllyt käytössä, missä yhdessä hyllyssä on 16 laatikkopaikkaa.

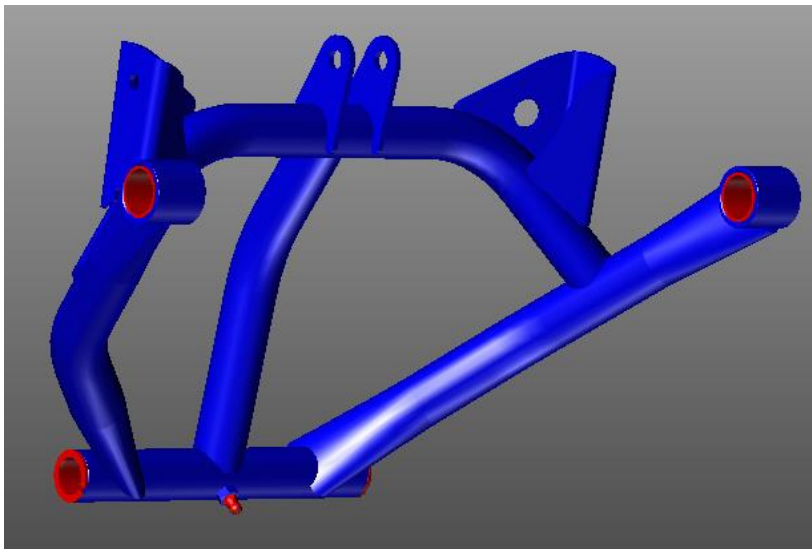


KUVA 7. Etupukin osakokoonpano nykyään

Takapukin osakokoonpano on esimerkissä kahdessa osassa. Alaosan keinuun asennetaan rasvanippa kuten kuva 8 osoittaa, minkä jälkeen keinu asennetaan kokoonpanossa alustaan paikalleen ja vasta sen jälkeen liitetään takapukin yläosa siihen paikoilleen. Takapukin yläosan osakokoonpanossa siihen prässätään kaksi holkkia, asennetaan kaksi muoviholkkia sekä ala-akseliputken sisälle ja kiinnitetään rasvanippa kuten kuva 9 osoittaa. Tämä työ on n.5% koko kokoonpanojasta ja tarvitsee kaksi lavapaikkaa, prässäysjigin sekä hyllystä neljä laatikkopaikkaa.

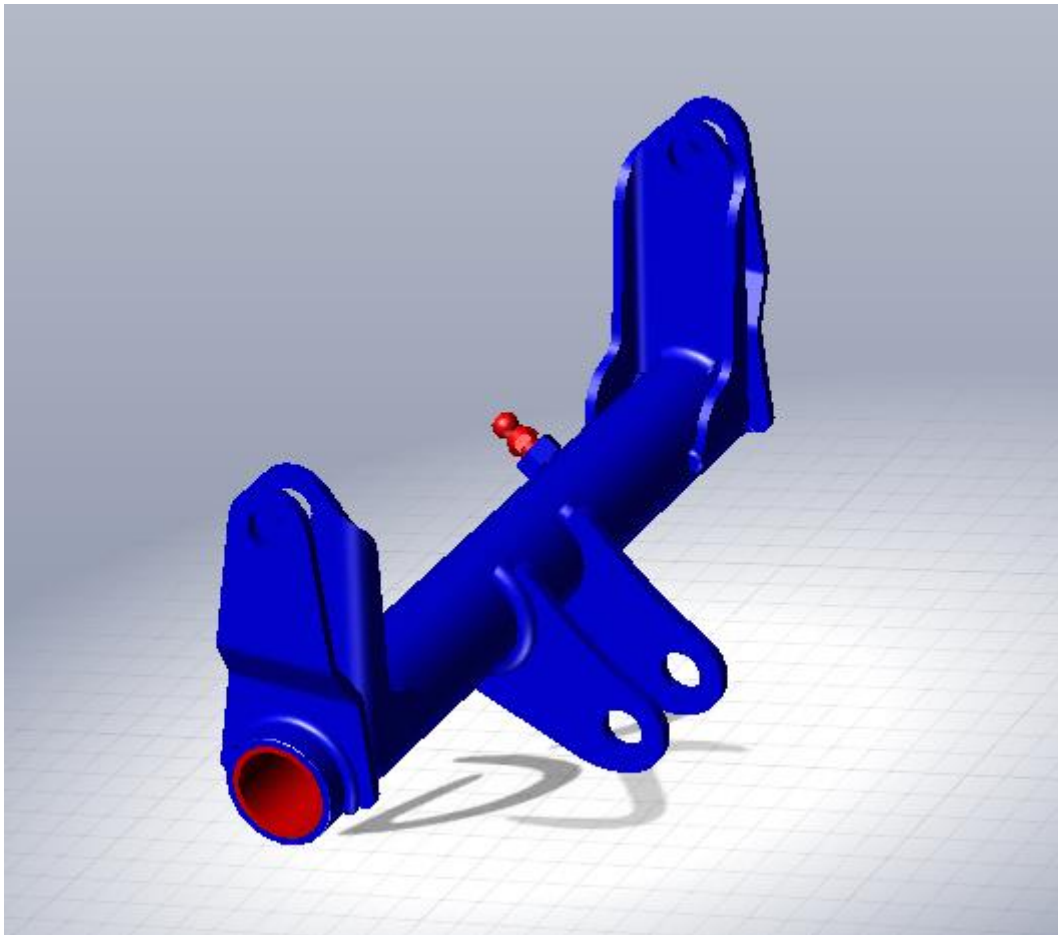


KUVA 8. Takakeinin osakokoonpano



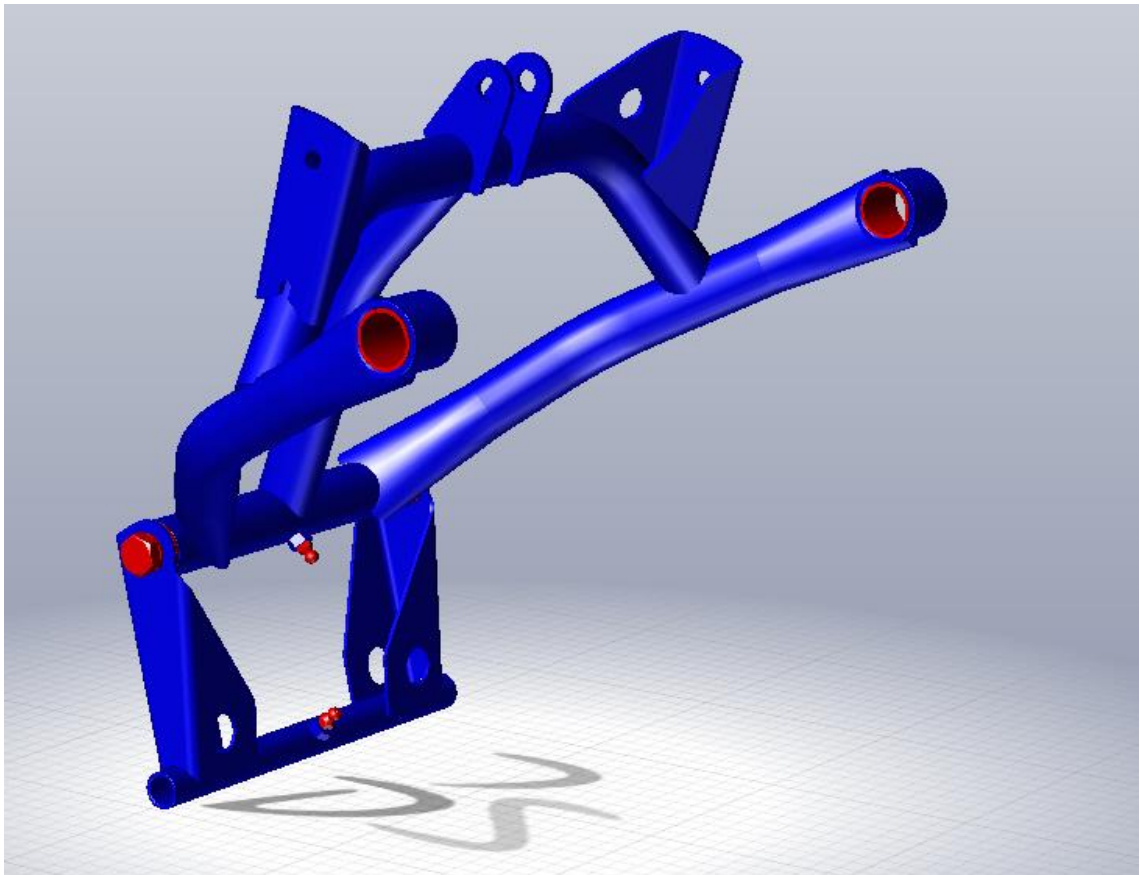
KUVA 9. Takapukin yläosan osakokoonpano

PPS-alustassa on myös etukeinu, johon tehdään osakokoonpano. Siinä prässätään holkit keinin päihin, asennetaan akseli putken sisälle ja asennetaan rasvanippa, kuten kuvasta 10 nähdään. Tämä työ on n.2% koko kokoonpano ajasta ja tarvitsee lavapaikan, prässäysjigin sekä hyllystä kolme laatikkopaikkaa.



KUVA 10. Etureinun osakokoonpano

Näiden osakokoonpanojen toimittaminen valmiina kokoonpanoon toisi monenlaisia hyötyjä. Se vähentäisi työtä ja tasapainottaisi osakokoonpanoa sekä standardisoisi pukien toimitustapaa eri mallien kesken. Etupukki ja keinun osakokoonpano tulisivat samanlaisina kuin miten ne on osakokoonpanossa tehty. Takapukin osakokoonpanoon lisättäisiin pukin ala- ja yläosan yhdistäminen valmiiseen kokoonpanoon, jolloin yhden liitoksen tekeminen poistuisi kokonaan tuotannosta. Valmis kokoonpano olisi kuvan 11 näköinen.



KUVA 11. Valmis takapukin kokoonpano

Myös valmiit kokoonpanot ovat siitä suotuisan mallisia, että niiden vaatima kuljetustila pysyy käytännössä samana verraten siihen, mitä pelkästään isojen lavaosien kuljetus on nyt vienyt. Varaston toimittamien osien määrä tuotantoon vähenee, kun pienosat ovat jo valmiiksi osakokoonpanoissa kiinni. Näin ollen vapautuisi työvoimaa tuotannosta ja varastosta muihin tehtäviin. Myös tehtaan lattiatilaa vapautuisi muille kokoonpanoille. Taulukosta 1 on nähtävissä kootusti saavutettavia hyötyjä. Koko alustajärjestelmän kokoonpanoaika pienenisi 12% valmiilla kokoonpanoilla.

TAULUKKO 1. Saavutettavia hyötyjä

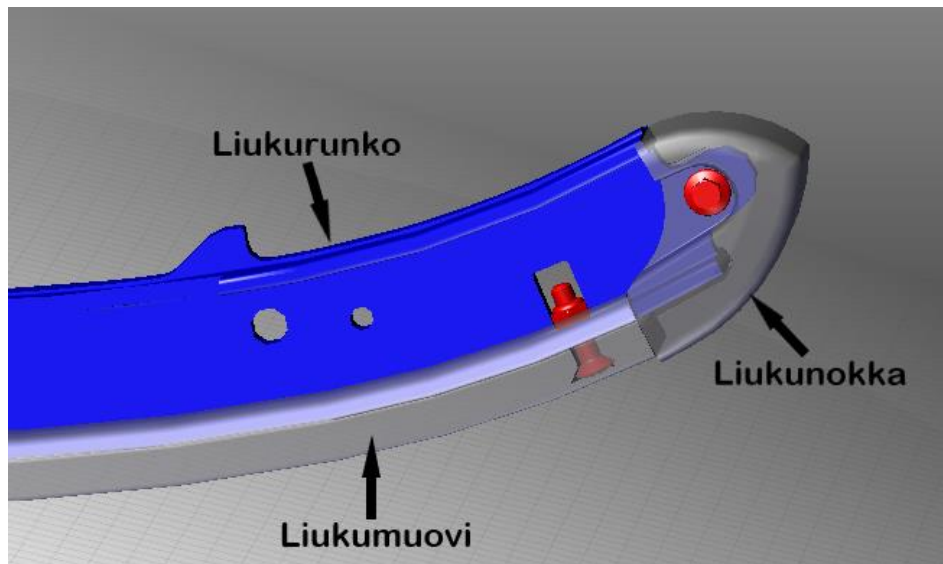
Valmiimpien kokoonpanojen hyödyt		
Jousitusjärjestelmän kokoonpanoajan pienentyminen		
(prosentteina)		
Etupukki kokoonpano	5	%
Takapukki kokoonpano	5	%
Etukeinu kokoonpano	2	%
Yhteensä	12	%
Muita saatuja hyötyjä		
Varastosta vähentyneet nimikkeet	6	kpl
Hyllyistä vapautunut tila	11	Laatikkoa
Lattia pinta-alaa vapautuu noin	12	m ²

5.2.2 Kiinnitysosien standardisointi

Eri alustojen kiinnitysosat pitäisi tarkastella läpi ja standardisoida ne mahdollisuuksien mukaan. Tulisi myös pyrkiä minimoimaan ruuvien erilaiset kannat sekä momentit. Hyvä esimerkki on työssä mallina käytetyn alustan iskunvaimentimien kiinnitysruuvit. Keski-iskunvaimentimella on M10-ruuvit, jossa on 17 millimetrin kuusiokanta, kun taas taka-iskunvaimentimella on M10-ruuvit, jossa on 8 millimetrin kuusiokolokanta. Ruuvien ero johtaa siihen, että kiristystä tehdessä tekijä joutuu vaihtamaan kiristyskoneen tai aputyökalun, mikä on ylimääräistä aikaa kuluttavaa toimintaa kokoonpanossa.

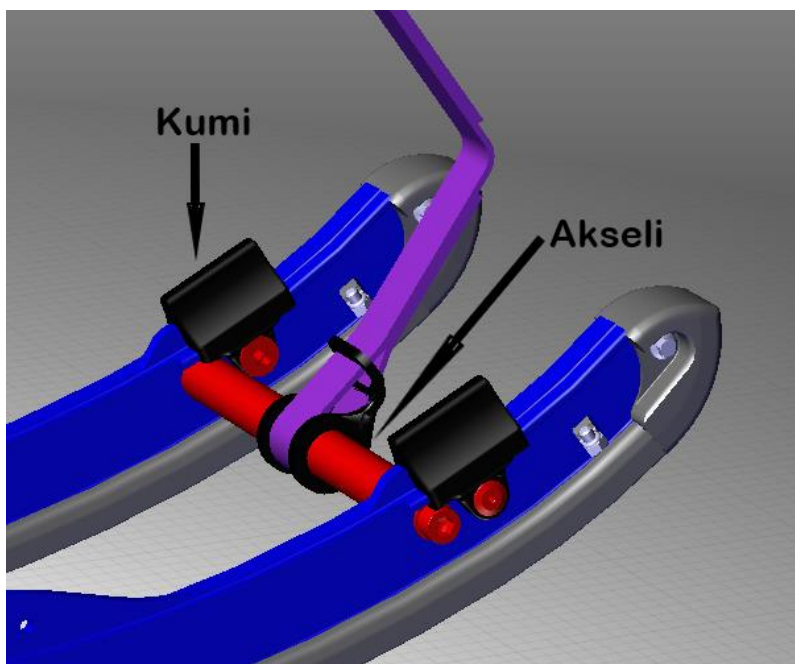
5.2.3 Osien tai työvaiheiden vähentäminen

Kun tarkastelee koko alustan rakennetta, huomaa muutamia paikkoja, joita muuttamalla pystyisi eliminoimaan kiinnitysosien ja vaiheiden määrä. Yksi tällainen paikka on liukurunkoon tulevan liukumuovin ja liukunokan kiinnitys. Nyt muovi ja nokka kiinnitetään molemmat omilla ruuveillaan kuten kuvassa 12 (ruuvit punaisella kuvassa). Onnistuisiko muovin ja nokan kiinnitys pelkästään muovin kiinnitysruuvilla, jos osien designia muokkaisi? Yksi vaihtoehto voisi olla se, että tekisi liukurungon kärjen yläpuolelle haitan, jonka taakse nokan yläosa napsahtaisi paikalleen ja lisäksi jatkaisi nokkaa hieman alapuolelta siten että muovi ja nokka limittyisivät muovin kiinnitysreiän paikalta. Tällöin molemmat kiinnittyisivät nykyisellä liukumuovin kiinnitysruuvilla.



KUVA 12. Nykyinen design

Toinen kohta, jota muokkaamalla voisi vähentää osien määrää rakenteella, olisi rajoitinremmiakselin ja pohjaan lyöntikumin kiinnitys. Kuvassa 13 näkyy akselin ja kumin nykyinen kiinnitystapa. Nyt akseli tulee ruuvilla kiinni molemmista päistä ja kumit niitataan liukurunkoihin kiinni. Osien uudelleen sijoittelulla ja kumin pienellä muokkauksella olisi mahdollista päästä eroon kumien erillisestä niittauksesta, jos ne kiinnitettäisiin samoilla ruuveilla kuin akseli.



KUVA 13. Nykyinen kiinnitystapa

6 POHDINTA

Tässä työssä perehdytään tuotteiden kokoonpantavuuden huomioimiseen suunnitteluvaiheessa. Tavoite oli luoda lista tuotannosuunnittelun näkökannalta oleellisista reunaehdoista, joita tuotekehitys voisi hyödyntää uusien osien suunnittelussa. Työssä perehdyttiin DFA:han liittyviin asioihin ja materiaaleihin. Niiden pohjalta pyrittiin poimimaan tärkeimpiä asioita, joita voitaisiin ottaa huomioon moottorikelkan suunnittelussa ja näin parantaa kokoonpanojen kokoonpantavuutta sekä uusien tuotteiden tuotantoon tuomista.

Tämänhetkinen tilanne tuotannosuunnittelun huomioiden huomioimisessa tuotekehitysprojektien alussa on tunnistettu kehityskohta, ja tämän työn avulla olisi tarkoitus saada vietyä huomioita tuotekehitykselle siitä, mitä kaikkea olisi hyvä huomioida tuotannon kannalta, kun tuotteita suunnitellaan. Työssä otettiin pintaraapaisu verrattuna siihen, mitä DFA:n kokonaisvaltainen käyttöönotto vaatisi.

Työssä keskityttiin moottorikelkan takajousitusjärjestelmän tarkasteluun. Järjestelmästä tuotiin esiin mahdollisia kehityskohteita, joilla onnistuttaisiin vähentämään osakokoonpanoja tuotannosta sekä poistamaan kokoonpanovaiheita kokoonpanosta. Vastaavilla muutoksilla onnistuttaisiin pienentämään kokoonpanoaikaa ja varastoja sekä pitkällä aikavälillä vähentämään variaatioita osissa ja niiden sijainneissa.

Työssä päästiin tavoitteeseen, sillä siinä saatiin muodostettua reunaehdot-lista tuotekehitykselle, jota hyödyntämällä on mahdollista parantaa tuotteiden sopivuutta tuotantoon ja helpottaa kokoonpantavuutta. Haasteena on saada luotua polku tuotannosuunnittelusta tuotekehitykseen ja lähteä viemään suunnittelijoille ajatusta listasta. Listassa on huomioita siitä, mitä kaikkea heidän tulisi ottaa huomioon suunnittelussa.

Design for Assembly:yn liittyvä aineisto oli pitkälti 1980–1990 luvulta ja viimeisen vuosikymmenen ajalta aiheesta ei löytynyt paljonkaan uutta kirjallisuutta. Työssä perehdyttiin suurimmaksi osin Geoffrey Boothroydin tekemään aineistoon.

LÄHTEET

Accounting Tools. 2018. Make or buy analysis. Luettu 17.4.2020.

<https://www.accountingtools.com/articles/make-or-buy-analysis.html>

Boothroyd, G., Dewhurst, P. & Knight, W. A. 2011. Product Design for Manufacture and Assembly. Boca Raton: CRC Press.

BRP. 2019. Yritysesittely 2019. Luettu 26.4.2020.

BRP. 2020. Our story. Luettu 31.3.2020.

<https://www.brp.com/en/about-brp/our-story.html>

Desai, A., Mital, Aa., Mital, An. & Subramanian, A. 2008. Product Development. Oxford: Elsevier.

Eskilander, S. 2001. Design For Automatic Assembly – A Method For Product Design: DFA2. Royal Institute of Technology, Stockholm: A Doctoral Thesis.

Jakiela, M., Pearson, S., Sartorius, D. & Ulrich, K. 1993. Including the Value of Time in DFM Decision Making. Management Science 39 (4), 429-447.

Kanbanize. 2020. What is the Poka Yoke Technique? Luettu 28.3.2020.

<https://kanbanize.com/lean-management/improvement/what-is-poka-yoke>

Liker, J. K. 2004. Toyotan tapaan. Kööpenhamina: A Bonnier Group Company.

Machine Design. 1998. Poka-Yoke Designs Make Assemblies Mistakeproof. Luettu 17.4.2020.

<https://www.machinedesign.com/archive/article/21818661/pokayoke-designs-make-assemblies-mistakeproof>

Snowest. 2013. Snowmobile suspensions. Luettu 17.4.2020.

<https://www.snowest.com/2013/02/snowmobile-suspensions>

Software testing help. 2020. How To Use Poka-Yoke (Mistake Proofing) Technique To Improve Software Quality. Luettu 17.4.2020.

<https://www.softwaretestinghelp.com/poka-yoke/>

Stienstra, D. 2020. Introduction to Design for (Cost Effective) Assembly and Manufacturing.

LIITTEET

Liite 1. Reunaehdot-lista

Design for Assembly reunaehdot		Kommentit
O	T	Reunaehto
		1. Rakenne
		Kokoonpanon osamäärä on pienin mahdollinen
		Suunnittelussa on vältetty uusien variaatioiden luonti
		Rakenne modulaarinen
		2. Liitokset
		Käytetään yksinkertaisinta mahdollista liitostapaa
		Kiinnitystarvikkeet ovat standardit muun tuoteperheen kanssa
		Kaikki kriittiset momentit on dokumentoitu kuviin
		Kiristystyökalujen sopivuus rakenteeseen on huomioitu
		Liitoksissa ei tarvitse käyttää liimaa, liukastetta tai lämpöä
		3. Näkyvyys
		Ei sokeita pisteitä kokoonpanossa
		Kokoonpanojärjestys todettu tuotannon laitteilla
		Kokoonpanoa ei tarvitse käänellä kokoonpanon aikana
		Vältä uudelleen kohdistamista kokoonpanon aikana
		4. Osien asennus
		Osien asennussuunta on huomioitu (suositaan alhaalta ylöspäin liikettä, hyödynnetään maanvetovoimaa)
		Ei ylimääräisen voiman käyttöä asennukseen
		Osaan on suunniteltu viisteitä ja ohjauspintoja asennuksen helpottamiseksi
		Osa paikoituu itsellään
		Letkuihin ja johtoihin on suunniteltu kohdistusmerkit
		Osien väärin asentaminen on estetty = poka yoke
		Osa ei voi jumittua asennuksessa
		Osa kiinnittyy heti asennuksen jälkeen
		5. Käsiteltävyys
		Vältä teräviä reunoja
		Vältä pieniä osia (alle 6mm kooltaan)
		Kokoonpanon kokonaispaino on huomioitu
		Onko osan fyysiset mitat huomioitu kokoonpanon kannalta?
		Suunnitellaan osat ja pakkaus siten, etteivät ne voi takertua tai jumittua toisiinsa laatikossa
		Osan paikalleen laitto onnistuu yhdellä kädellä
		Väitetään mekaanisten tukien tarvetta kokoonpanossa