



Karelia-ammattikorkeakoulu
Konetekniikka

CNSU-TELESKOOPIN KOKOON- PANTAVUUDEN ANALYYSINTI

Arttu Heikkilä

Opinnäytetyö, helmikuu 2022

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2022
Koneteknikka

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä(t)
Arttu Heikkilä

Nimeke
CNSU-teleskoopin kokoonpantavuuden analysointi

Toimeksiantaja
Exel Composites Oyj

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli analysoida Exel Composites Oyj:n CNSU-teleskooppia DFMA-metodologian periaatteiden avulla ja etsiä tuotteesta mahdollisia parannuskoh- teita. Mahdollisten parannusten toteuttaminen käytännössä ei kuulunut tähän opinnäyte- työhön.

Aluksi tutustuttiin DFMA-metodologian periaatteisiin ja niitä hyväksi käyttäen tuote analy- soitiin. Tuote jaettiin pienempiin osiin analysointia varten. Analysoinnin jälkeen samoille osille listattiin mahdolliset parannusehdotukset.

Työn tuloksena löydettiin mahdollisia parannusehdotuksia, joilla tuotteen kokoonpanoai- kaa voi lyhentää ja työskentelyergonomiaa parantaa. Analysointi tuotti selviä parannus- kohteita ja työ oli täten onnistunut.

Kieli
suomi

Sivuja 34

Asiasanat
kokoonpantavuus, DFMA, tuotekehitys



THESIS
February 2022
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author (s)
Arttu Heikkilä

Title
Analysing the Ease of Assembly of CNSU Telescope

Commissioned by
Exel Composites Oyj

Abstract

The aim of this thesis was to analyze the ease of assembly of CNSU telescope from Exel Composites Oyj using the principles of DFMA methodology and to find possible improvements in the product. The implementation of possible improvements was not part of this thesis.

First, the principles of DFMA methodology were researched and used to analyse the product. The product was divided in smaller sections for the analysis. After the analysis was complete, improvements were found and listed.

As a result of this work, possible improvements were found that could reduce the assembly time and improve the ergonomics of assembly work. The analysis produced clear areas for improvement and thus was successful.

Language
Finnish

Pages 34

Keywords
ease of assembly, DFMA, product development

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Exel Composites Oyj	5
1.2	Opinnäytetyö.....	5
2	DFMA ja sen perusteet	7
2.1	Yleisesti	7
2.2	DFM (Design for Manufacturing).....	8
2.3	DFA (Design for Assembly)	8
2.4	DFMA (Design for Manual Assembly).....	10
2.5	Manuaalisen kokoonpanon metodeja	16
2.6	DFRA (Design for Robot Assembly)	18
2.7	DFMA-menetelmien hyödyt ja niihin liittyvät ongelmat.....	21
3	CNSU-teleskooppi	22
3.1	Tuotteen esittely	22
3.1.1	Nykytilanne	22
3.1.2	Nykyinen rakenne.....	23
3.2	Teleskooppirakenteen analysointi.....	24
3.2.1	Putket	24
3.2.2	Välikappaleet	24
3.2.3	Telineen kiinnikkeet	25
3.2.4	Teline	26
3.3	Parannusehdotukset.....	28
3.3.1	Putket	28
3.3.2	Välikappaleet	28
3.3.3	Telineen kiinnikkeet	29
3.3.4	Teline	30
3.3.5	Mahdollinen automaatio.....	31
4	Pohdinta.....	31
4.1	Tulokset	31
4.2	Analyysin hyödyt ja jatkotoimenpiteet	33
4.3	Ammatillinen kasvu	34
	Lähteet.....	35

1 Johdanto

1.1 Exel Composites Oyj

Exel Composites Oyj on maailman johtava komposiittituotteiden valmistaja. Yritys on perustettu vuonna 1960 Mäntyharjulla ja alkuperäinen tuote oli sähkönallit, josta myös yhtiön nimi tulee: Explosive Electronics, räjähtävä elektroniikka. Yhtiön päätuotteita ovat pultruusiotekniikalla tuotetut komposiittiputket ja -profiilit. Esimerkkejä tuotteista ovat muun muassa kävely- ja hiihtosauvat. (Exel Composites Oyj 2022)

Yhtiöllä on tuotantotiloja kuudessa eri maassa ja Suomessa tehtaat sijaitsevat Mäntyharjulla ja Joensuun Heinävaarassa. Yhtiön liikevaihto oli 2020 108,59 miljoonaa euroa ja työntekijöitä oli 665 henkilöä. (Kauppalehti 2022)

1.2 Opinnäytetyö

Työn tavoitteena oli selvittää, onko jo pitkään tuotannossa olleen tuotteen kokoonpantavuutta mahdollista parantaa ja näin vaikuttaa kokoonpanotyön ergonomiaan ja myös vähentää tuotteen valmistuskustannuksia. Työn kohteena oli kuvion 1 mukainen Exel Composites Oyj:n komposiittinen teleskooppiputki, jota käytetään esimerkiksi naamiointiverkkojen tukena. Tuote on aikoinaan suunniteltu pienille tuotantomäärille mutta viimeisien vuosien aikana tuotteen kysyntä on kasvanut huomattavasti ja kokoonpanosta on muodostunut pullonkaula.



Kuvio 1: Tuotokuva Exel Composites Oyj:n CNSU-teleskoopista. (Exel Composites Oyj 2022)

Työn tarkoituksena oli suorittaa DFMA-analyysi eli etsiä tuotteesta osia ja työvaiheita, joita on vaikea suorittaa, ja etsiä niiden tilalle vaihtoehtoisia työtapoja esimerkiksi automaation kautta. Työ suoritetaan tällä hetkellä täysin manuaalisesti käsin, mutta automaation käyttö tulevaisuudessa on mahdollinen, joten teoriaosiossa käsitellään, kuinka tuotteita tulee suunnitella ottaen huomioon manuaalisen ja automatisoidun kokoonpanon vaatimukset.

Työssä ei ollut tarkoitus tehdä mallinnuksia tai muuta varsinaiseen suunnitteluun liittyviä toimenpiteitä, vaan työ oli rajattu ainoastaan DFMA-analyysin tekemiseen. Työn suorittamista varten toimeksiantaja antoi kyseessä olevan tuotteen mallikappaleen, jota on hyödynnetty työn tekemisessä.

2 DFMA ja sen perusteet

2.1 Yleisesti

DFMA tulee sanoista Design for Manufacturing and Assembly. Se sisältää kaksi osa-aluetta, jotka ovat Design for Manufacturability eli osan valmistettavuus ja Design for Assembly eli tuotteen kokoonpantavuus. Tuotteen suunnittelussa DFMA:n kannalta tärkeät osa-alueet ovat Pulkkisen ja Huhtalan (2009, 12) mukaan seuraavat:

- tuotettavuuden huomioon ottaminen konseptivaiheessa
- tuotettavuuden ja valmistettavuuden hallinta, kun
 - o tuotteen teknologioissa tehdään muutoksia
 - o materiaaleja muutetaan
 - o käyttäjän ja automaation välisiä työnjakoja muutetaan
 - o valmistus ulkoistetaan tai siirretään erilaiseen yritysverkostoon
 - o valmistus siirretään ulkomaille
 - o valmistuksessa siirrytään erilaiseen prosessiin
- tuotettavuus ja kustannusten kokonaisvaltainen minimoiminen
- innovaatiot ja tuotettavuus
- hiljaisen tiedon hyödyntäminen ja siirtäminen muuttuvassa tilanteessa
- valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden kehittämisessä saavutettujen hyötyjen jakaminen verkostossa
- kehittämisen organisaatiomallit, ohjeistus- ja koulutusmateriaaleineen

Tuotteen ominaisuudet pitäisi miettiä jo tuotteen konseptisuunnitteluvaiheessa, koska nämä vaikuttavat moniin asioihin tuotekehitysprosessin edetessä. (Huhtala P., Pulkkinen A., 12)

2.2 DFM (Design for Manufacturing)

Design for Manufacturing eli valmistettavuus tarkoittaa menetelmiä ja järjestelyjä, jotka yksinkertaistavat tuotteen valmistamista ja alentavat kustannuksia. Valmistettavuuden avulla yritys voi parantaa tuottavuutta ilman kustannuksia optimoimalla valmistustoimintoja tai kehittämällä tuotetta uudelleen valmistettavuuden kannalta paremmaksi. (Leppänen & Savolainen, 13)

Tuotteen osavalmistusmenetelmät tulisi lyödä lukkoon hyvin varhaisessa konseptisuunnittelun vaiheessa. Eri osien valmistettavuutta pitäisi pystyä arvioimaan ennen kuin yhdenkään tuotteen tai sen osan rakenne ja/tai muoto on tiedossa. Tässä vaiheessa ei pitäisi vielä miettiä yksityiskohtaisia ongelmia kuten materiaaleja tai osan valmistustapaa. (Leppänen & Savolainen, 13)

2.3 DFA (Design for Assembly)

Design for Assembly eli kokoonpantavuus on systemaattinen tuotekehitysmenetelmä, jonka tavoitteena on tuotteen rakenteen yksinkertaistamisen kautta yksinkertaistaa sen kokoonpanotyötä. Yleisin tapa saavuttaa tämä on yhdistää osien toimintoja ja vähentää osien lukumäärää. Osan välttämättömyys konstruktiossa voidaan määrittää kolmen ominaisuuden avulla: (Leppänen & Savolainen, 69)

- Kokonaisuuden kannalta on välttämätöntä, että osa on eri materiaalia kuin muut kokoonpanon osat.
- Osa liikkuu muiden osien suhteen eikä liikettä voida saavuttaa esim. elastisuuden avulla.
- Osan on oltava erillinen purkamisen välttämättömyyden takia.

Osien vähentäminen vaikuttaa kokoonpanoon vievään aikaan ja siihen liittyviin kustannuksiin. Mitä vähemmän osia on ja täten työvaiheita, myös sen suorittaminen sujuu nopeammin. Kokoonpanosta poistettu osa vaikuttaa tuotteen kiinteisiin valmistuskuluihin seuraavilla tavoilla: (Leppänen & Savolainen, 69)

- Osaa ei tarvitse suunnitella.
- Osasta ei tarvitse valmistaa prototyyppiä eikä sitä tarvitse testata.
- Osaa ei tarvitse valmistaa tuotteen kokoonpanoa varten.
- Osaa ei tarvitse testata.
- Osaa ei tarvitse seurata tuotannossa.
- Osaa ei tarvitse varastoida.
- Osa ei ole mukana kirjanpidossa.
- Osaa ei tarvitse kierrättää ja lopulta hävittää.
- Osaa ei tarvitse ostaa eikä kuljettaa.

Osien käsiteltävyys on myös tärkeä asia kokoonpantavuuden parantamista. On tärkeää, että kokoonpanoa tekevän työntekijän ei tarvitse tehdä vaikeaa tai turhaa työtä tuotetta kokoonpantaessa, mutta tästä aiheesta kerrotaan tarkemman alaluvussa 2.4. (Leppänen & Savolainen, 70)

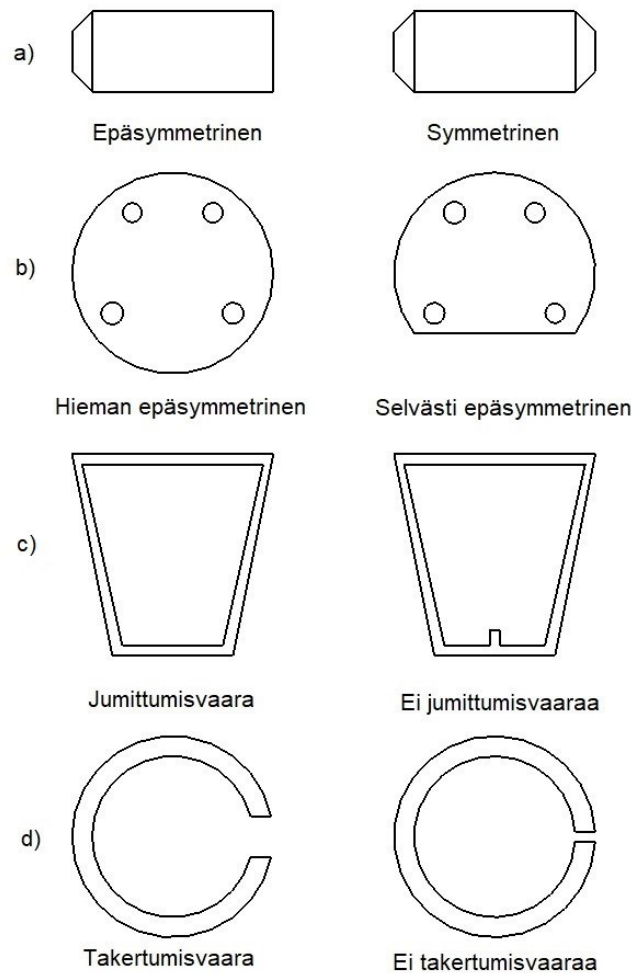
Osien vähentämistä ei kuitenkaan voi viedä myöskään liian pitkälle. Osien liiallinen vähentäminen voi johtaa siihen, että yhdellä liitoksella täytyy yhdistää useampia osia yhteen. Esimerkiksi tuotteessa voi olla liitos, jossa täytyy liittää kolme tai useampi osa yhteen. Kuitenkin ihmisellä on vain kaksi kättä ja työ saattaaakin tässä tilanteessa vaikeutua ja hidastua osien vähentämisen takia. (Leppänen & Savolainen, 71)

2.4 DFMA (Design for Manual Assembly)

Design for Manual Assembly -suunnittelussa pyritään tuotetta suunniteltaessa ottamaan huomioon se, että tuote kokoonpannaan käsin. Käsin kokoonpantavaa tuotetta suunniteltaessa pitää ottaa huomioon kaksi asiaa: osien käsittely sekä osien paikalleen asettaminen ja kiinnittäminen. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 74)

Osien käsittelyssä huomioon otettavat asiat liittyvät käsittelemiseen ja varastointiin. Huomioon otettavat asiat ovat seuraavat ja jotka ilmenevät myös kuvio 2: (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 74)

- Osien tulisi olla symmetrisiä päistä ja sen pyörähdysakselin ympäri, jonka suuntaisesti osat yhdistetään toisiinsa. Tämän ollessa mahdotonta, mahdollisimman suureen symmetriaan tulisi pyrkiä (kuvio 2, kohta a).
- Jos osia ei voi tehdä symmetrisiksi, ne täytyy tehdä selvästi asymmetrisiksi (kuvio 2, kohta b).
- Osiin tulisi suunnitella piirteitä, jotka estävät niitä jumittumasta toisiinsa silloin, kun niitä säilytetään suurissa määrissä (kuvio 2, kohta c).
- Osissa tulisi välttää ominaisuuksia, jotka mahdollistavat niiden tarttumisen toisiinsa varastoidessa (kuvio 2, kohta d).
- Liian pienien, isojen, liukkaiden, hauraiden, joustavien tai vaarallisten osien suunnittelemista tulisi välttää, koska kyseiset osat hankaloittavat kokoonpanijan työtä tai aiheuttavat vaaran.



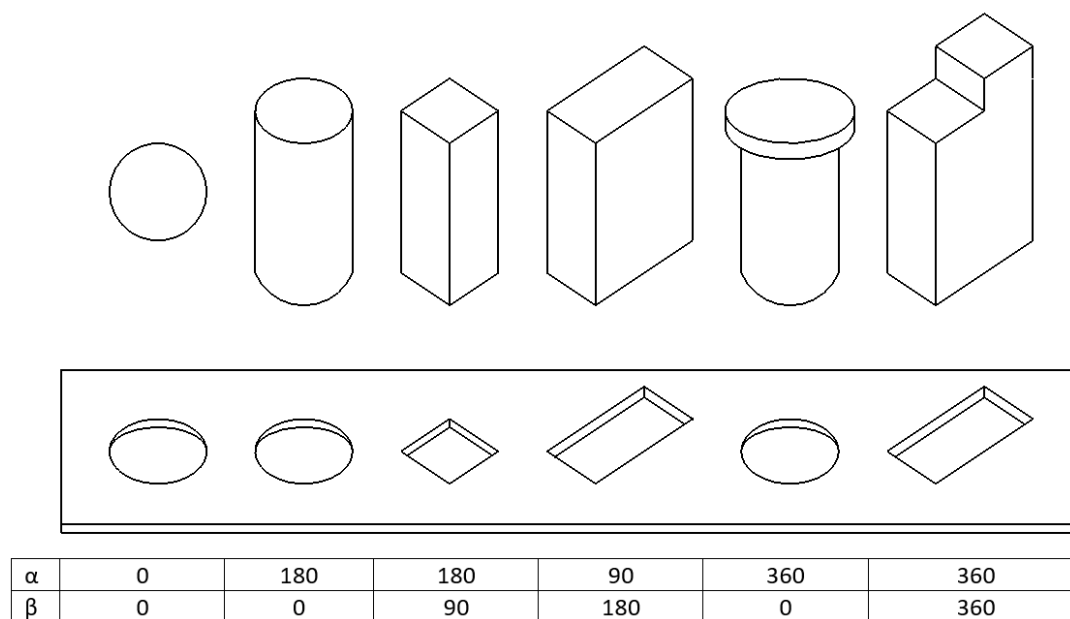
Kuvio 2: Esimerkkejä suunnittelussa huomioon otettavista asioista. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 75)

Osien paikalleen asettamisessa ja kiinnityksessä huomioon otettavat asiat taas liittyvät osien oikeaan paikkaan ja asentoon asettamiseen ja niiden kiinnittämiseen. Kyseisissä asioissa huomioon otettavat asiat ovat seuraavat: (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 74)

- Toisiinsa yhdistettävät osat tulee suunnitella siten, että ne voidaan yhdistää ilman suurta vastustusta. Tämä voidaan saavuttaa joko viisteillä tai tarpeeksi isolla erolla osien mitoissa. Osien mittoja hyväksikäytettäessä täytyy mittojen ero olla juuri sopiva. Ero ei saa olla liian pieni, jottei kitkaa tule liikaa mutta ei myöskään liian iso, että toisen osan sisään laitettava osa ei pääse menemään vinoon ja jumittumaan. Osiin täytyy myös tarvittaessa tehdä erilaisia ohjaimia, jotta asetettavat osat saadaan oikeaan asentoon ja/tai paikkaan.

- Osat tulisi standardoida, mikä mahdollistaa saman komponentin käytön muissa tuotteissa ja täten kokoonpanoprosessin tehokkuutta ja tuotantomäärää voidaan kasvattaa.
- Jos kokoonpanossa täytyy asetella osia päällekkäin, tulisi niiden olla pyramidimaisesti mitoitettu eli suurin osa pohjalle ja muut osat kokojärjestyksessä suuremmasta pienempään.
- Osien pitämistä paikallaan käsin tulisi välttää. Tämä voidaan välttää suunnittelemalla osaan jokin pieni lovi tai syvennys, johon osan voi laittaa ja se pysyy paikallaan kiinnityksen ajan.

Symmetrian vaikutus osien käsittelyaikaan on huomattava. Kokoonpanotyössä on aina vähintään kaksi osaa, jotka yhdistetään toisiinsa: esimerkiksi osa, jossa on reikä, ja siihen asennettava akseli. Osien yhdistäminen kokoonpanossa vaatii aina kiinnitettävän osan asemoimista oikeaan asentoon ja paikkaan. Symmetrian avulla asemointiin käytettävää aikaa voidaan pienentää. Osissa on kaksi symmetrian tasoa: alphasymmetria on kappaleen symmetrisyys kohtisuorasti kiinnitettävän osan akselin suuntaan ja betasymmetria on kiinnitettävän osan akselin suuntaisesti. Symmetriat on helpompi sisäistää kuvioista 3. Tämä symmetria ilmoitetaan asteina siten, että pieni astemäärä tarkoittaa suurempaa symmetriää. Esimerkiksi sylinterimäinen akseli voidaan asentaa ympyrän muotoiseen reikään alphasymmetrian suuntaan kahdessa asennossa kääntämällä akselia 180 astetta eli symmetria-aste on 180° , kun taas betasymmetrian suunnassa muoto on ympyrä, joten sen voi asentaa missä asennossa tahansa ja tällöin symmetria-aste on 0° . Poikkileikkaukseltaan neliön muotoisessa akselissa taas alphasymmetria pysyy edelleen 180° mutta betasymmetria onkin 90° , koska akselin voi asentaa vain neljässä eri asennossa reikään pyöryttämällä sitä aina 90 astetta asennusakselin suuntaisesti. Kappaleen kokonaissymmetria määritellään laskeamalla alpha- ja betasymmetria yhteen. Aikaisemman esimerkin akselin tapauksessa kokonaissymmetria on $180^\circ + 0^\circ = 180^\circ$ ja poikkileikkaukseltaan neliön muotoisessa akselissa kokonaissymmetria on $180^\circ + 90^\circ = 270^\circ$. Kokonais-symmetrioita vertaamalla voidaan siis päätellä se, että sylinterimäistä akselia on helpompi käsitellä ja tämä johtuu siitä, että sitä ei tarvitse asemoida ollenkaan asennusakselin suuntaisesti. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 85)



Kuvio 3: Havainnekuva erilaisten kappaleiden symmetria-asteista. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 86).

Kappaleen asettamista toiseen voi helpottaa viisteillä. Parhaan tuloksen kappaleen asettamisessa saa, kun asetettavassa kappaleessa ja kappaleessa johon toinen asetetaan, on molemmissa viisteet. Jos vain toisessa kappaleessa on viiste, sen tulisi olla enemmän asetettavassa kappaleessa kuin kappaleessa, jota siihen asetetaan. Lisäksi tulee ottaa huomioon yhdistettävien kappaleiden koero. Jos asetettavan kappaleen halkaisija ja kolon/reiän halkaisija, johon se asetetaan, ovat lähellä toisiaan, täytyy viiste olla pidempi, jotta kappale asettuu varmasti suoraan eikä jumitu. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 91)

Kappaleen paksuus ja koko vaikuttavat myös kokoonpanonopeuteen. Ihmisen käsien fysiikan takia ohuita ja pieniä kappaleita on hitaampi käsitellä kuin paksuja ja isompia kappaleita. Tässä yhteydessä iso kappale on pidemmän pituuden osalta noin 10–20 mm, jonka jälkeen kokoonpano alkaa jälleen hidastua hankalan käsittelyn takia. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 88)

Kahden käden käyttäminen kokoonpanossa hidastaa sitä noin 1,5-kertaisesti. Syitä kahden käden käyttämiseen voi olla muun muassa seuraavat: (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 90)

- Kappale on painava eikä sitä jaksa nostaa yhdellä kädellä.
- Kappaleen asettaminen vaatii varovaista käsittelyä tai tarkkuutta.
- Osa on iso tai se on joustava.
- Osassa ei ole ominaisuutta, joka auttaa osia pysymään paikallaan ilman kiinni pitämistä. Esimerkkinä ovat erilaiset syvennykset, johon osan voi paikoittaa ja jossa se pysyy paikallaan itseseen.

Kahden käden tarve hidastaa työtä, koska toisen käden käytön tarve poistaa mahdollisuuden käyttää toista kättä johonkin muuhun, esimerkiksi seuraavaan kokoonpantavaan osaan tarttumiseen valmiiksi. Esimerkkinä kahden käden tarpeesta on tilanne, jossa useampi kappale yhdistetään toisiinsa jollain kiinnikkeellä, esimerkiksi pultilla, ja kappaleita täytyy pitää paikallaan, jotta kappaleissa olevat reiät pysyvät linjassa ja pultin saa työnnettyä kaikkien läpi. Tilanne hankaloituu, jos esimerkiksi kappaleet ovat erikokoisia. Tilannetta pystyy helpottamaan tekemällä kappaleisiin jonkinlaisia uria tms., joiden avulla kappaleet paikoittuvat ja pysyvät oikeissa paikassa vähentäen kiinnipitämisen tarvetta. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 90)

Pinsettien käytön tarve hidastaa kokoonpanoa, joten niitten käyttöä tulisi välttää kokoonpanotyössä. Pinsettien käytön tarve voi johtua seuraavista syistä: (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 90)

- Osa on niin ohut, että siihen on mahdoton tarttua sormilla.
- Osa on niin pieni, että sen asettelu ei onnistu ilman pinsettejä, koska kokoonpanijan sormet estävät näkyvyyden.
- Osaan koskeminen ei ole mahdollista esimerkiksi kuumuuden takia.
- Sormet eivät mahdu paikkaan, johon osa tulisi asentaa.

Toisiinsa sotkeutuvat osat vaativat kahden käden käyttöä ja täten hidastavat kokoonpanoa aikaisemmin mainituista syistä. Kappale tulkitaan pahasti sotkeutuvaksi, jos sen käsittelyyn menee 1,5 sekuntia enemmän kuin normaalin kappaleen käsittelyyn. Esimerkki pahasti sotkeutuvasta osasta on päästä avonainen jousi. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 90)

Kokoonpantavien osien toisiinsa jumittumista kokoonpanon aikana voi ehkäistä oikeanlaisella mitoituksella. Jumittumista tapahtuu yleensä, jos osa jossa on reikä, yhdistetään jonkinlaiseen tappiin. Yleinen esimerkki on pultti, johon laiteetaan aluslevy, joka on vääränkokoinen ja se menee vinoon ja jää jumiin pulttiin. Reiän ollessa liian iso pääsee kyseinen tilanne tapahtumaan. Asetettava kappale pääsee tällöin kääntymään liikaa ja jumittuminen tapahtuu. Reiän täytyy siis olla tarpeeksi pieni, jotta kappale ei pääse vääntymään väärään asentoon. Sama ongelma tulee myös, jos kiekkomainen osa täytyy asentaa reikään. Tällöin asetettava osa voi samalla lailla kääntyä vinoon asentoon ja jäädä jumiin. Jälleen tilanteen pystyy ratkaisemaan oikealla mitoituksella. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 90)

Rajoitettu pääsy ja näkyvyys hidastavat kokoonpanoa esimerkiksi tilanteessa, jossa jonkin seinämän vieressä olevaa mutteria täytyy kiristää. Tällöin tavallinen kiintoavain on huono työkalu työn tekemiseen, koska sillä pystyy tekemään osittaisia kiristysliikkeitä kerralla ja työkaluna täytyy käyttää esimerkiksi räikkäavainta. Lisäksi kyseisessä tilanteessa myös näkyvyys voi olla huono, jolloin työkalun asettamista mutteriin ei näe ja se voi olla hankalaa pelkän tuntemuksen avulla. Siis esimerkiksi kiinnitettävät mutterit täytyy laittaa paikkaan, jossa ne on helppo kiristää. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 98)

Muita kokoonpanotyötä helpottavia suunnittelutoimenpiteitä ovat: (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 110)

- Liittimiä tulisi välttää eli, jos vain mahdollista osat tulisi suunnitella siten, että niiden välille ei tarvitse laittaa liitintä.

- Osat tulisi suunnitella siten, että kaikki mahdolliset kokoonpanotoimenpiteet voi suorittaa rajoittamattomasti ilman fyysisiä tai näköesteitä.
- Säädetäviä osia tulisi välttää eli osat pitäisi suunnitella siten, että ne ovat valmiiksi oikean mittaisia eikä niitä tarvitse säätää pituuteen.

2.5 Manuaalisen kokoonpanon metodeja

Manuaalisen kokoonpanon suorittamiseen on monia metodeja. Yleisin niistä on työpöydällä tehtävä kokoonpanotyö. Työpöydällä tehtävässä työssä kokoonpano ja osien ottaminen eivät vaadi juurikaan kehonliikkeitä. Esimerkkinä tilanne, jossa työntekijä suorittaa jonkin tuotteen kokoonpanoa työpöydän ääressä ja tarvittavat kokoonpanon osat ovat pöydällä laatikoissa ym. astioissa käden ulottuvilla. Toinen variaatio työpöytäkokoonpanosta on moniasemainen kokoonpano, jossa työpöydän vierellä kulkee liukuhihna tai vastaava kuljetin, jota pitkin koottava tuote tulee ja viedään pois kokoonpanopisteeltä. Tällöin tuotetta voi koota useampi työntekijä työvaihe kerrallaan tai samaa työtä voidaan tehdä useammassa identtisessä työpisteessä. Koska työpöytäkokoonpanossa ei tarvitse liikkua, se on tehokasta ajan keskittyessä pelkästään varsinaiseen työn suorittamiseen eikä turhaan liikkumiseen. Tämä metodi soveltuu sellaisten tuotteiden kokoonpanoon, jotka ovat tarpeeksi pieniä mahtumaan työpöydälle ja jossa on tarpeeksi vähän osia, jotta ne kaikki voi sijoittaa työpöydälle kokoonpanoa suorittavan työntekijän käden ulottuville. Lisäksi osien pitää olla tarpeeksi kevyitä, jotta niitä pystyy nostelemaan lihasvoimin. Normaalisissa työpöytätyöskentelyssä kokoonpantavan kappaleen maksimikoko tulisi olla noin 12 tuumaa eli 30,5 cm. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 118)

Modulaarisessa kokoonpanopisteessä työpöydän ympärille voidaan laittaa erilaisia aputasoja, varastolaatikoita ja seinäpaneeleja esimerkiksi työkaluille. Tällaiseen tilanteeseen voidaan päätyä tilanteessa, jossa kokoonpantava tuote on edelleen suhteellisen pieni mutta vaatii paljon osia ja/tai työkaluja kokoonpanon suorittamiseen. Lisäksi kokoonpantavaa tuotetta saattaa joutua kääntelemään tai

vääntämään/taivuttamaan, tai kokoonpanija saattaa joutua kävelemään esimerkiksi työpöydän toiselle puolelle tarvittavan työvaiheen suorittamiseksi. Modulaarisessa työpisteessä työpöydän ympäristöä voi muuttaa tarpeen vaatiessa esimerkiksi, jos kokoonpanopisteellä kootaan erilaisia tuotteita ja ne vaativat erilaisia tasoja yms. Modulaariseen kokoonpanoon soveltuvien kappaleiden koot vaihtelevat aikaisemmin mainitun 12 tuuman eli 30,5 cm ja 35 tuuman eli noin 90 cm välillä. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 119)

Jos kokoonpantava kappale on vieläkin suurempi, tulee tarkoitusta varten rakennettu kokoonpanopiste kyseeseen. Tällaisessa tilanteessa itse tuote kootaan joko työpöydällä tai lattialla ja tarpeelliset osat, työkalut yms. on aseteltu aputasoille ja/tai seinäpaneelille. Kustomoidussa kokoonpanopisteessä itse työskentelyalue on isompi ja aputasot ym. on aseteltu työskentelyalueen ympärille sopivalle etäisyydelle kokoonpantavan tuotteen koon antamien rajoitteiden puitteissa. Tällaisessa tilanteessa kokoonpantavien tuotteiden koot alkavat aikaisemmin mainitusta 35 tuumasta eli noin 90 senttimetrinä. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 119)

Kustomoidusta kokoonpanopisteestä on myös joustava variaatio. Tilanne on muuten sama kuin aikaisemmin mainitussa tilanteessa mutta erilaiset aputasot ja vastaavat ovat liikuteltavia eli niitä voi tarpeen mukaan siirtää paikasta toiseen kokoonpanon eri vaiheiden mukaisesti. Esimerkkinä erilaiset kärryt, joissa voi olla työkaluja tai kokoonpanoon liittyviä osia. Kustomoidussa ja joustavassa työpisteessä voi joutua käyttämään erilaisia mekaanisia apuvälineitä. Tällaisia apuvälineitä voi olla erilaiset nosturit tai pumppukärryt ym. Tällöin työpisteen kokoa voi joutua suurentamaan kyseisten apuvälineiden takia. Tilanteissa, joissa kokoonpantava tuote on iso ja/tai sitä tuotetaan suuria määriä, erilaisten kuljettimien käyttö voi tulla kyseeseen. Esimerkkinä tästä on autoteollisuus, jossa auton runko kulkee kuljetinta pitkin useiden kokoonpanopisteiden läpi.

Muita manuaalisen kokoonpanon tilanteita ovat pienten tuotteiden kokoaminen, joita tehdään pieniä määriä ja asennustöinä tehtäviä kokoonpanoja. Pienikokoisia, pieniä määriä tehtäviä tuotteita, voivat olla esimerkiksi hienovaraiset ja herkät tuotteet. Tällaiset tuotteet saatetaan esimerkiksi tehdä puhdastiloissa. Lisäksi

tuotteen kokoonpanoon saattaa liittyä työvaiheita, joissa täytyy seurata työohjeita kohta kohdalta. Tällaisia tuotteita voi olla esimerkiksi lentokoneiteollisuuden tuotteet, joissa tuotteen kokoonpano täytyy suorittaa ilmailualan säännösten mukaisesti. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 120)

Joitain suuria kokoonpanoja voi joutua suorittamaan muualla kuin tuotteen valmistuspaikassa. Tällaisia kokoonpanotöitä kutsutaan asennuksiksi ja niiden suorittamiseen liittyy omat ominaispiirteet. Asennuksia suoritettaessa kokoonpano suoritetaan väliaikaisessa kokoonpanopisteessä, kaikki osat ja työkalut täytyy kuljettaa paikan päälle. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 120)

2.6 DFRA (Design for Robot Assembly)

Design for Robot Assembly -suunnittelussa pyritään suunnittelemaan kokoonpantava tuote siten, että se on kokoonpantavissa mahdollisimman paljon automatisoidusti robotilla. Robotilla tehtävässä kokoonpanossa on muutama eri vaihtoehtoinen lähestymistapa. Vaihtoehtoina on yksi robottiasema yhdellä tai kahdella robottikädellä tai useampi asema erilaisilla yhdistelmillä robottikäsiä, erikoispäitä ja manuaalisia asemia. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 198)

Yhden robottiaseman järjestelmässä täytyy ottaa huomioon mahdollinen käsin tehtävä osio. Turvallisuuden takia robotin ja ihmisen välissä pitäisi olla jokin siirtoväline, jolla kokoonpantava kappale siirretään robotilta ihmiselle ja takaisin robotille. Nämä ongelmat voidaan ratkaista useamman aseman järjestelmällä, jossa roboteille on suunniteltu kokoonpantavalle tuotteelle sopivat tarttujat jne. Tämän takia suunniteltaessa tulisi miettiä se, että voiko tuotteen panna kokoon kokonaan roboteilla vai onko käsin tehtävä työ välttämätöntä. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 198)

Määriteltäessä tuotteen soveltuvuutta robotilla kokoonpantavaksi täytyy selvittää erikoistarttujen ja muiden vastaavien lisäosien tekemisen ja/tai ostamisen tarve. Robottien käyttöönoton kannattavuus täytyy myös selvittää etukäteen.

Kannattavuuden määrittämisessä täytyy ottaa huomioon seuraavat neljä asiaa: (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 198)

- peruslaitteiston hankintakustannukset eli robotin ja sellaisten tarttujien yms. lisälaitteiden hankinta, joita voi myös mahdollisesti käyttää muissa tuotannoissa
- kyseistä tuotetta varten hankitut osat ja lisälaitteet esimerkiksi erikoistarttijat
- keskimääräinen kiertoaika eli kuinka kauan yhden tuotteen kokoonpanemisessa robotilla menee
- robotin valvomiseen kuluvan työvoiman palkkakustannukset.

Robotilla kokoonpantavaksi tarkoitetun tuotteen suunnittelussa täytyy pääsääntöisesti ottaa samat asiat huomioon kuin manuaaliseen kokoonpanoonkin suunnitellussa tuotteessa. Robotin käytön takia huomioon otettavat asiat liittyvät pääosin kappaleen käsittelemiseen automatisoidusti. Kokoonpantavan tuotteen osat täytyy suunnitella siten, että ne voi koko ajan liikuttaa samalla tarttujalla eri kokoonpanovaiheiden jälkeen, koska tarttujien vaihtaminen kesken työkierron hidastaa sitä. Lisäksi kappaleen asentoa ei pitäisi tarvita muuttaa. Osien pitäisi olla heti robotille syöttämisestä asti oikeassa asennossa varsinkin, jos ne syötetään robotille automaattisesti. Robotilla kokoonpantavien tuotteiden geometria tulisi olla sellainen, että kappaleiden paikoitus tapahtuu mahdollisimman helposti ja itsenäisesti robotin suorittaessa työtä. Esimerkkinä viisteet, jotka ohjaavat esimerkiksi reikään asetettavan tapin oikeaan paikkaan robotin tehdessä asettelua. Tilanne, jossa kokoonpantavaa osaa ei kiinnitetä välittömästi, on itsenäinen paikoitus tärkeää. Yhden robottikäden järjestelmässä osien kiinnittäminen ei ole mahdollista ja kaksikätesessä järjestelmässä myös epäkäytännöllistä, koska robottikäden täytyy vaihtaa työkalua tarttujasta työkaluun, joka pitää osaa paikallaan ja tämä hidastaa työnopeutta huomattavasti. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 203)

Osia suunniteltaessa tulee ottaa huomioon myös mahdollisten syöttölaitteiden aiheuttamat vaatimukset ja rajoitteet. Yleisin ja käytännöllisin syöttölaite on

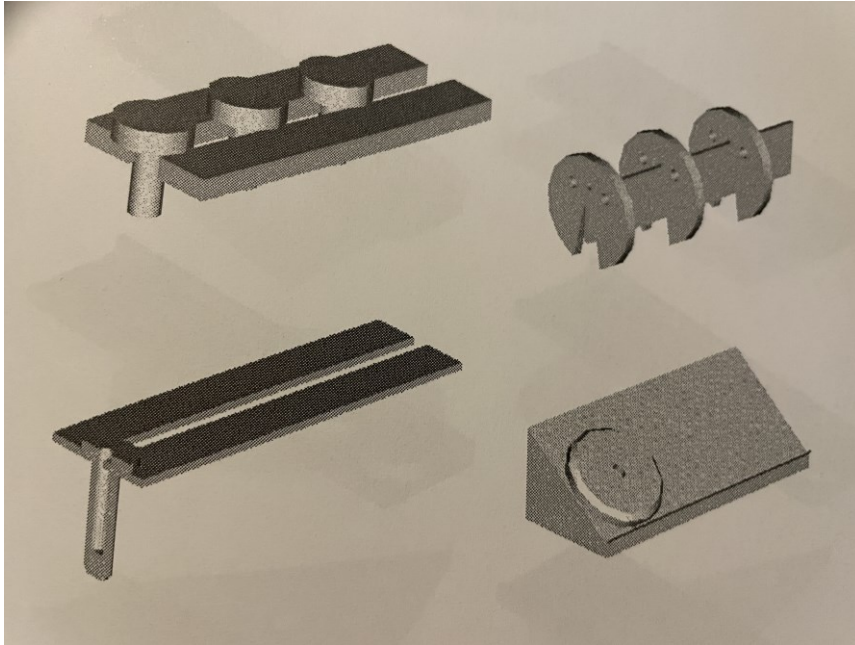
tärymalja eli laite, jossa tuotteet ovat maljamaisessa astiassa, joka tärisee voimakkaasti. Tärymaljassa on yleensä reunassa spiraalin muotoinen reuna, jota pitkin kappaleet kulkevat ylöspäin ja lopulta syötetään robottisolulle. Syöttölaitteiden vaatimukset ovat seuraavanlaisia: (Tärymalja Oy 2022)

- Tuotteet tulisi suunnitella sellaisiksi, että ne eivät sotkeudu toisiinsa. Toisiinsa sotkeutuvia osia on lähes mahdotonta syöttää automaattisesti robottisolulle, koska syöttölaite ei kykene erottelemaan toisiinsa sotkeutuneita osia toisistaan.
- Osien tulisi olla symmetrisiä, jotta osien asento ei ole kriittinen. Esimerkiksi sylinterimäinen akseli voi olla kumminpäin tahansa syöttölaitteessa, jos se on symmetrinen.
- Jos osat ovat epäsymmetrisiä, ne tulisi olla selvästi epäsymmetrisiä. Epäsymmetriset kappaleet tulisi suunnitella siten, että se voidaan paikoittaa oikeaan asentoon jonkin muodon, esimerkiksi loven tai leikatun kulman, avulla.
- Kylkiviisteitä tulisi välttää, koska ne voivat syöttölaitteissa kiivetä toistensa päälle. Tämä voi tapahtua etenkin tärymaljassa, missä kappaleet kulkevat peräjälkeen ja takaa tulevien kappaleiden voima saattaa saada jonkun kappaleen nousemaan toisen päälle viistettä pitkin ja siten tukkimaan syöttölaitteen. Lisäksi kohtisuorille toisiaan vastakkain oleville pinnoille voi kohdistaa paljon voimaa, mikä edesauttaa syöttämistä. Lisäksi viisteisistä reunoista voi robotin tarttujan olla hankala ottaa kiinni. (Leppänen & Savolainen, 125)

Jos tuotetta ei voi suunnitella sellaiseksi, että se soveltuu automaattiseen syöttöön, täytyy ne syöttää robottisolulle niitä varten tehdyillä paleteilla. Paletit ovat yleensä tarjottimen kaltaisia astioita, johon kappaleet jo osan valmistuksessa laitetaan ja josta robotti sitten käy hakemassa tuotteet. Nämä tietenkin vievät huomattavasti enemmän tilaa säilytyksessä. Toinen vaihtoehtoinen syöttötapa on

nauha, jonka avulla kappale syötetään solulle. Nauhan avulla päästään suurempaan asemointitarkkuuteen kuin muissa syöttötavoissa.

Osien orientoinnissa voi käyttää hyödyksi myös painovoimaa. Osia voi riiputtaa esimerkiksi siinä olevasta olakkeesta tai urasta kuvion 4 mukaisesti. (Leppänen & Savolainen, 121)



Kuvio 4: Esimerkkejä painovoiman avulla orientoitavista kappaleista. (Leppänen & Savolainen, 129)

2.7 DFMA-menetelmien hyödyt ja niihin liittyvät ongelmat

DFMA-menetelmien hyödyt yrityksille kulminoituvat tuotteiden yksinkertaisuuteen, niiden luotettavuuteen ja kustannusten alenemiseen. Osien vähentäminen aiheuttaa lumipalloefektin taaksepäin koko tuotantoketjussa, koska vähemmän osia tarkoittaa vähemmän koneistukseen tarvittavaa aikaa, suunnittelijoiden tarvitsee tehdä vähemmän tuotekuvia ja mahdollisesti myös joitain alihankkijoita ei enää tarvitse hyödyntää. DFMA-menetelmien käyttö kannustaa myös kasvattamaan dialogia tuotannon ja suunnittelun välillä, joka mahdollistaa useamman asian tekemisen yhtä aikaa, eikä toisen tarvitse välttämättä odottaa toisen työn valmistumista. (Leppänen & Savolainen, 14)

DFMA-menetelmien ongelmat liittyvät pääsääntöisesti niiden käyttöönottoon ja muutosvastaisuuteen. Yrityksillä saattaa olla valheellinen kuvitelma siitä, että menetelmien käyttöönotosta ei ole mitään hyötyä tai että yritys jo toteuttaa menetelmän ideoita. Myöskin yksi yleinen vastustuksen syy on se, että yrityksen, joka tuottaa pieniä tuotantomääriä, ei kannata ottaa menetelmiä käyttöön joko käyttöönottokustannusten takia tai vaan siksi, koska ”asiat on aina tehty näin”. (Lepänen & Savolainen, 35)

3 CNSU-teleskooppi

3.1 Tuotteen esittely

3.1.1 Nykytilanne

CNSU on lyhenne sanoista camouflage net support unit, naamiointiverkon tukiyksikkö. Teleskooppi on rakenteeltaan kohtuullisen yksinkertainen. Se on suunniteltu puolustusvoimien käyttöön ja täten se on oltava helppo käyttää ja kestää kovaakin käyttöä maasto-olosuhteissa. Teleskooppiputki on tarkoitettu naamiointiverkon pystyttämiseen. Tuote on saatava mahdollisimman pieneen kokoon kuljetusta varten mutta käyttöönoton tulee olla helppoa. Naamioverkko asetetaan yhden tai useamman teleskooppiputken päälle ja sitten nostetaan haluttuun korkeuteen. Tuotteen korkeutta voi säätää portaattomasti ja raja-arvot ovat asiakkaan itsensä määriteltävissä.

Tuote koostuu kolmesta tai neljästä sisäkkäin olevasta komposiittiputkesta, jotka lukitaan haluttuun paikkaan jokaisen putken päässä olevalla kiristimellä. Ohuimman putken päässä on kahdeksikon muotoinen kokoontaitettava teline, jonka varaan naamiointiverkko asetetaan. Teline on nivelletty kiinnityskohdastaan, jotta se voi hieman liikkua naamioverkkoa asetettaessa. Paksumman eli alimman putken päässä on maahan kiinnittämistä helpottava terävä osa.

Tuote on vanha ja se on suunniteltu 1980-luvulla, jolloin suunnittelumetodit ovat olleet erilaiset, eikä DFMA-metodit olleet yleisessä tiedossa. Lisäksi silloin tuotteen tuotantomäärät ovat olleet huomattavasti pienempiä eikä kokoonpanon hitaus ole ollut ongelma.

3.1.2 Nykyinen rakenne

Teleskooppiputki koostuu tällä hetkellä 12 osasta, joista yksi on vaihtoehtoinen. Lisäksi yksi aikaisemmin mainituista osista on oma alikokoonpanonsa, joka koostuu 5 osasta. Vaihtoehtoinen osa on kiinnitysnavu, jolla tuote voidaan tukea maahan teltan pystytysnavua vastaavalla tavalla. Navujakin voi olla useampi riippuen tarpeesta.

Komposiittiputkia on neljä kappaletta, joiden koot ovat: 44 mm, 37 mm, 30 mm ja 23 mm. Seinämänpaksuudet putkilla on 4 mm lukuun ottamatta ohuinta, jossa se on 4,5 mm. Putket ovat liitettynä toisiinsa liittimillä, joissa on ruuvilla avautuva puristin. Liitin on kiinnitetty paksumpaan putkeen kiinteästi ruuvilla kiristetyllä puristeliitoksella ja ohuempaan putkeen käsin avattavalla ja kiristettävällä puristeliitoksella, joka mahdollistaa teleskoopin pituuden säädön. Lisäksi kolmessa ohuemmassa putkessa on toisessa päässä muovinen rengas, joka estää putkia irtoamasta toisistaan. Ohuimman putken päässä on tukirengas, jolla yhdistetään putki ja nivelenä toimiva kumiputki. Kumiputken päässä on kahdeksikon muotoinen teline. Paksumman putken avonaiseen päähän laitetaan metallinen osa, jossa on piikkejä maahan tukemista helpottamaan.

Kahdeksikon muotoinen teline on alihankintana hankittu osa. Se koostuu viidestä osasta ja se on valmistettu ruiskuvalamalla. Telineen muoto on hyvin tarkasti mietitty, koska se on pyritty tekemään mahdollisimman näkymättömäksi tutkissa, mikä on tärkeää, jos teleskoopit täytyy nostaa korkealle. Telineessä on nivelmekanismi, jonka avulla se voidaan taittaa pieneksi teleskoopin sivulle kuljetusta varten.

3.2 Teleskooppirakenteen analysointi

3.2.1 Putket

Putkien määrä on kolme tai neljä ja niiden määrä on lukittu. Putkiin on kuitenkin porattu kaksi reikää. Toinen reikä on pysäyttimenä toimivaa tukirengasta varten ja toinen on välikappaleen kiinnittämistä varten. Näiden reikien poraamista varten on varattu yksi automaattipora, jota valvoo yksi työntekijä. Putkien suhteen ei ole ilmeistä DFMA-metodologian vastaista työvaihetta.

3.2.2 Välikappaleet

Välikappaleet ovat ruiskuvalettuja kappaleita, jotka täytyy ensin asettaa putken päähän ja sitten kiristää ruuvien avulla tiukasti paikalleen (kuvio 5). Välikappaleiden asentaminen putken ympäri tapahtuu levittämällä sitä kärkipihdeillä. Kyseinen toimenpide on fyysisesti rasittava ja epäergonominen, josta on myös aiheutunut terveydellisiä ongelmia työntekijöille. Tässä työvaiheessa on Design for Manual Assembly -metodologian vastainen työvaihe, koska asennus vaatii kahta kättä.



Kuvio 5: Havainnekuva välikappaleesta.

Välikappaleiden kiinnittäminen tapahtuu pultin avulla tehtävällä puristeliitoksella. Ruuvipultti on pieni ja se pitää laittaa pieneen koloon ja pitää sitä paikallaan, kunnes pultti saa kiristettyä akkuporakoneella. Tässä työvaiheessa on kaksi Design for Manual Assembly -metodologian vastaista työvaihetta eli pieni osa ja kahden käden vaatimus.

3.2.3 Telineen kiinnikkeet

Telineen kiinnikkeet ovat ruiskuvalettu tukirengas ja kumikaula. Tukirengas on välikappale ohuimman komposiittiputken ja kumikaulan välissä, ja se on kolmella ruuvilla kiinni putkessa ja kumikaulassa. Ruuvit porataan komposiittiputken ja kumikaulan läpi käsiporalla.



Kuvio 6: Havainnekuva telineen kiinnikkeestä.

Kumikaula on pätkä kumista hydraulikkaputkea. Kumikaula näkyy kuviossa 6 keskellä. Sen läpi poraaminen käsin on voimaa vaativaa ja se aiheuttaa pitkään tehtynä terveydellisiä ongelmia.

3.2.4 Teline

Teline on ruiskuvalettu kahdeksikon muotoinen osa, joka on koottu viidestä osasta. Yksi näistä osista on sarana, jonka avulla muut osat kiinnitetään toisiinsa ja mahdollistaa telineen taittamisen teleskoopin sivulle kuvioden 7 ja 8 mukaisesti. Telineen koko ja muoto on tarkkaan mietitty, jotta se näkyisi huonosti tutkassa. Tässä työvaiheessa DFMA-ideologian vastaista on kahden käden vaatiminen kokoonpanossa ja osien määrä. Kahden käden tarve tulee siitä, että telineessä on neljä osaa, joiden kaikkien läpi täytyy työntää tappi, jolla ne kiinnitetään toisiinsa. Tällaisessa tilanteessa osissa olevien reikien kohdistaminen on haastavaa ja tällaisia kokoonpanotilanteita tulisi välttää. Teline ei suoranaisesti kuulu tämän työn piiriin, koska se tehdään alihankintana. Se käsitellään kuitenkin lyhyesti, koska se on mallikappaleessa mukana.



Kuvio 7: Havainnekuva telineestä avattuna.



Kuvio 8: Havainnekuva telineestä taitettuna sivulle.

3.3 Parannusehdotukset

3.3.1 Putket

Putkien osalta parannusehdotuksia on hankala löytää. Putket itsessään on nopea tehdä ja niitten määrä on perusteltu. Ainoa putkiin liittyvä asia, josta parannusehdotuksia on mahdollista hakea, on niihin porattavat reiät. Kaikkiin putkiin, paitsi ylimpään, tulee ylös reikä, johon välikappaleet lukitaan. Ylimpään tulee ylös kolme reikää, johon ruiskuvalettu tukirengas ruuvataan. Kaikkiin paitsi alempaan putkeen tulee myös alas reikä, joka lukitsee putken ympärille laitettavan muovisen pysäytinrenkaan. Reiät pystyttäisiin teoriassa poistamaan kokonaan, jos välikappaleet ja tukirengas suunnittelee uudestaan muovisen tukirengas saa suunniteltua jotenkin siten, että se ei vaadi reikää. Tämä voi kuitenkin olla vaikeaa, koska putkien välissä on tilaa vähän ja renkaiden pitää pysyä paikoillaan kovasta käytöstä huolimatta. Muoviset kumirenkaat voisi joko liimata paikalleen tai sitten muuttaa ne valetuiksi tuotteiksi, jotka voitaisiin valaa suoraan putkeen kiinni.

Liimaaminen ei todennäköisesti ole todennäköinen ratkaisu kestävyuden kannalta, kun taas suoraan kiinnivalaminen tulee kysymykseen silloin, jos muissakin parannuskohteissa päädytään suoraan kiinnivalamiseen. Muussa tapauksessa se ei ole kannattavaa. Jos kiinnivalaminen voidaan toteuttaa, on mahdollista poistaa kaikki porattavat reiät putkista ja täten yksi työvaihe poistuu kokonaan tuotteen valmistuksesta.

3.3.2 Välikappaleet

Välikappaleiden osalta parannusehdotuksiin on kaksi eri lähestymistapaa. Toinen on nykyisiä osia käyttämällä ja toinen on osia muuttamalla.

Nykyisiä osia käyttämällä välikappaleiden asentamista tulisi helpottaa. Osien asentaminen on fyysisesti raskasta ja vaikeaa, joten jonkinlaisen työkalun tai muun apuvälineen käyttöönotto olisi tarpeellista. Sellaisena voisi olla esimerkiksi jokin tarkoitukseen suunniteltu ja valmistettu työkalu, jolla välikappaletta saa levitettyä tarpeeksi pientä voimaa käyttämällä ja sen saisi lukittua asennuksen ajaksi, jotta jatkuvaa voimaa ei tarvitse käyttää. Tämä voisi olla myös jonkinlainen työpöydällä oleva teline, jonka avulla välikappaletta voisi levittää tarpeeksi ja se pysyisi paikallaan tarpeeksi pitkään.

Toinen lähestymistapa on koko välikappaleiden suunnitteleminen uudestaan. Yksi aikaisemmin mainituista ongelmista on kiristysruuvi, jolla välikappale kiristetään paikalleen. Tämän ruuvin vastinmutteri on pieni ja se pitää laittaa sille varattuun koloon ja pitää paikallaan toisella kädellä kiristyksen ajan. Ratkaisu tähän voisi olla vastinmutterin valaminen suoraan välikappaleen sisälle, jotta sitä ei tarvitsisi pitää paikallaan kiristyksen ajan. Myöskin se vähentäisi osamäärää. Välikappaleisiin liittyvät ongelmat voidaan myös ratkaista osittain sillä, jos kappaleet olisi mahdollista valaa suoraan putken ympärille. Tämä poistaisi kokonaan yhden työvaiheen kokoonpanosta.

Näistä vaihtoehdoista vanhan kappaleen käyttäminen mutta uudella työtavalla on helpoin toteuttaa, kun taas välikappaleiden valaminen suoraan putken ympärille vaatii huomattavasti suunnittelua ja investointeja. Toisaalta jos kiinnivalaminen saadaan toteutettua, on siitä hyötyä myös muissa työvaiheissa.

3.3.3 Telineen kiinnikkeet

Telineen kiinnikkeet ovat parannusehdotusten kannalta hieman monimutkaisia osia. Periaatteessa näissä osissa olisi mahdollisuuksia parannuksiin mutta niiden realistisuus on hieman kyseenalaista.

Ylimpään putkeen ruuvattava tukirengas olisi mahdollista aikaisempien kappaleiden tapaan mahdollista valaa suoraan putkeen ja täten vähentää yksi työvaihe

kokonaan. Tässä tilanteessa tukirengasta pitäisi muuttaa hieman, koska tällä hetkellä tukirenkaan kiinnittävät ruuvit menevät tukirenkaan, putken ja kumikaulan läpi. Rakennetta pitäisi muuttaa siten, että tukirengasta pidennetään hieman ja kumikaula ruuvataan suoraan tukirenkaaseen ilman, että putki on siinä välissä. Näin ruuvauksessa ei tarvitse ruuvata kolmea kappaletta toisiinsa vaan pelkästään kaksi.

Kumikaula on ongelmallinen osa. Se on toisaalta käyttötarkoitukseen sopiva, koska se joustaa mutta ei liikaa eikä nurjahda ja kestää eri sääolosuhteita. Toisaalta sen asentaminen on vaikeaa, koska sen läpi täytyy ruuvata käsiporalla useampi ruuvi ja materiaali on jäykkää. Vaihtoehtoisia materiaaleja ei oikein ole sopivasti joustavan muovin lisäksi ja sekin on huono ratkaisu kestävyysnäkökulmasta.

3.3.4 Teline

Telineessä parannusehdotusten pääpaino on osien määrän vähentämisessä. Itse telineen muotoa ei pysty käyttötarkoituksen mukaisesti muuttamaan, mutta mekanismin osia on mahdollista vähentää. Telineen runkona oleva osa ja toinen lenkeistä ovat erilliset osat, mutta ne ovat tiukasti toisiinsa kiinnitettyjä ja käyttäytyvät kuin yksi osa, joten osat voisi teoriassa valaa yhdeksi osaksi. Tämä vähentäisi kokoonpanosta yhden osan ja todennäköisesti helpottaisi kokoonpanotyötä, koska saranana toimivaa tappia ei tarvitse työntää niin monen osan läpi eikä kokoonpanijan tarvitse myöskään pitää niin monesta osasta kiinni työtä tehdessä.

Lisäksi tulisi miettiä, onko telineen sisin osa mahdollista muokata siten, että se olisi nykyisen kaltainen ja siihen olisi suoraan valettu jostain joustavasta muovista tai vastaavasta kumikaulan korvike. Tämä vähentäisi yhden työvaiheen ja osan kokoonpanosta.

Telineen muodon ja käyttötarkoituksen asettamien rajoitteiden takia osaa on hankala optimoida enemmän, kuitenkin yhdenkin osan vähentämisellä on aina merkitystä.

3.3.5 Mahdollinen automaatio

Opinnäytetyössä oli myös tarkoitus tutkia, onko tuotteen kokoonpanon automaatio mahdollista. Aikaisemmin mainittujen seikkojen takia automaation toteuttaminen ei ole järkevää tai mahdollista. Automaatiota voisi hyödyntää ainoastaan välikappaleiden asentamisessa eli tilanteessa, jossa robotti asentaisi välikappaleen putken päähän. Tässä kuitenkin törmätään samaan ongelmaan kuin kiinnivalamisessa eli vaadittuun kokoamisjärjestykseen. Putkia ei olisi mahdollista laittaa sisäkkäin enää sen jälkeen, kun siihen on asennettu välikappale.

4 Pohdinta

4.1 Tulokset

Työn tavoitteena oli selvittää, onko teleskooppirakenteen kokoonpantavuutta mahdollista parantaa ja täten saavuttaa aikasäästöjä työn suorittamisen suhteen ja onko mahdollista helpottaa kokoonpanoa tekevien työntekijöiden fyysistä rasitusta.

Tämän tuotteen kokoonpanotyön ongelmat ovat pääsääntöisesti työtapoihin liittyviä. Tuotteessa on jo valmiiksi vähän osia, joten niiden vähentäminen on vaikeaa toiminnallisuus säilyttäen. Parannusehdotuksien pääpaino onkin työtapojen parantamisessa. Alla on yhteenveto parannusehdotuksista:

- Putkissa ei ole parannettavaa.
- Välikappaleiden asentamista tulisi helpottaa joko rakennemuutoksella tai kokoonpanotyön helpottamisella esimerkiksi työkalun ja/tai kokoonpanotelineen suunnittelulla.
- Telineen kiinnikkeissä kumikaulan materiaalia tulisi miettiä uudestaan mutta se voi osoittautua hankalaksi. Aiemmin mainitun kokoonpanotelineen suunnittelussa voisi myös ottaa tämän osan

kokoonpano huomioon ja täten helpottaa työvaiheen fyysistä rasitusta.

- Tuotteen kokoonpanon mahdollista automaatiota oli tarkoitus myös selvittää mutta se ei ole mahdollista samasta syystä kiinnivalamisen kanssa.
- Telineessä ei ole parannettavaa.

Erilaisia parannusehdotuksia työn aikana tuli vastaan mutta ne yksi toisensa jälkeen osoittautuivat kannattamattomaksi toteuttaa. Alla on lista ehdotuksista, joista luovuin työtä tehdessä ja niiden syistä:

- Putkien kiinniitinrenkaissa oli mahdollisuuksia niitä varten porattavien reikien poistoon. Tässä ajatuksessa vaihtoehtoina oli vaihtoehtoinen kiinnitys joko liimalla tai suoraan valamalla. Liimaaminen ei kuitenkaan tullut kysymykseen kovan käytön takia ja kiinnivalaminen syistä, jotka kerron tarkemmin välikappaleiden kohdalla.
- Välikappaleiden valaminen suoraan putkeen olisi poistanut kokonaisen työvaiheen kokoonpanosta. Se kuitenkin osoittautui mahdottomaksi kokoonpanon suorittamisjärjestyksen takia. Jos putkeen olisi valettu välikappaleet ja aiemmin mainitut pysäytinrenkaat, ei sitä olisi voinut koota, koska putkia ei olisi saanut sisäkäin.
- Telineen kiinnikkeissä oli mahdollisuuksia hydraulikkaputkesta tehdyn kumikaulan vaihtaminen johonkin toiseen ratkaisuun. Tämä kuitenkin eri vaihtoehtojen läpikäymisen jälkeen osoittautui hankalaksi. Kumikaulan tulee olla tarpeeksi jäykkä mutta myös joustava ja sen pitää kestää aksiaalisia voimia ilman nurjahtamista. Lisäksi rajoitteena on myös käyttöympäristö esimerkkinä rajut lämpötilan vaihtelut. Muita käytännöllisiä materiaaleja kuin kumi ei ole.
- Telineessä parannusehdotukset liittyivät osien määrään ja kokoonpantavuuteen. Telineessä oli mahdollista poistaa yksi osa suunnitteleamalla kaksi osaa yhdeksi. Kuitenkin tarkemmassa

tutkimuksessa ilmeni, että kestävyuden kannalta nämä kaksi osaa ovat perusteltuja omina osinaan.

- Tuote on myös mahdollista suunnitella kokonaan uudestaan, mutta sen kannattavuutta tulisi miettiä tarkasti eikä se todennäköisesti ole järkevää.

Parannusehdotuksen pääpaino on siis välikappaleiden käsittelyn helpottamisessa. Kyseisiä kappaleita on tuotteessa eniten ja suurin osa kokoonpanoon kuluvaista työstä kuluu siihen. Välikappaleiden kokoonpanon tehostamisessa saatu aikahyöty on todennäköisesti pieni, mutta se on silti olemassa.

Työergonomian suhteen parannusehdotukset keskittyvät myös välikappaleisiin. Niitten asentaminen käsin on fyysisesti raskasta ja mahdollisen työkalun tai jonkinlaisen telineen käyttöönotto selvästi helpottaisi kokoonpanoa suorittavan työntekijän fyysistä kuormitusta. Lisäksi myös tämä pienentäisi työntekijöiden välisiä eroja työn suorittamisessa, koska työntekijän fyysisten kykyjen merkitys poistuisi työn teosta ja kaikki olisivat samalla viivalla työtä suoritettaessa. Tämä todennäköisesti tasoittaa työvuorojen välistä eroa tuotannossa.

4.2 Analyysin hyödyt ja jatkotoimenpiteet

Työn aikana löytyneet parannusehdotukset liittyvät työn tehostamiseen ja mahdollisesti kokoonpanoajan lyhentämiseen ja työntekijöiden työolojen parantamiseen. Tämän takia ainakin välikappaleisiin liittyvien parannusehdotusten käyttöönotto olisi kannattavaa, koska yhdellä toimenpiteellä voidaan teoriassa vaikuttaa työn tehostamiseen ja työolojen parantamiseen. Jo pelkästään työolojen parantaminen on kannattavaa, vaikka kävisi niin, että kokoonpanon nopeus ei muutu suuntaan tai toiseen.

Jos työtä haluaa tehostaa lisää, on tuotteen kokonaan uudelleensuunnittelemista harkittava. Tuotteen nykyisen rakenteen takia ei sitä ole mahdollista parantaa enempää muuttamalla rakennetta radikaalisti ja silloin kokonaan uudelleen suunnitteleminen on viisasta.

4.3 Ammatillinen kasvu

DFMA:n periaatteet eivät olleet minulle kovin tuttuja entuudestaan, joten teoriaosio oli itselleni hyvin opettavainen ja olen myös huomannut jo ottavani niitä erilaisissa suunnittelutehtävissä huomioon. Jatkossa osaan varmasti paremmin ottaa huomioon esimerkiksi kokoonpantavuuden merkityksen suunnitteluun.

Suurin oppimiskokemus liittyi ennakoasetelmiin. Itselläni oli työtä aloittaessa suuremmat odotukset sen suhteen, kuinka paljon tuotetta pystyy tämän työn puitteissa parantamaan. Lisäksi olin myös alusta asti ajatellut, että tuote on huonosti suunniteltu ja parannusehdotuksien löytyminen olisi helppoa, mutta tilanne olikin ihan toinen. Tuote osoittautuikin suhteellisen hyvin suunnitelluksi ja parannettavien asioiden etsiminen osoittautui hankalaksi. Opin myös, että omille ideoille pitää olla kriittinen. Monessa kohtaa työn aikana keksin jonkun idean ja pidin sitä loistavana mutta sitten aikani ajateltua totesin niiden olevan kannattamattomia ja ne löytyvätkin listattuna ehdotuksiin, joita ei voinut toteuttaa.

Itselläni on vähän kaksijakoinen tunne siitä, että pidätkö opinnäytetyötä onnistuneena. Toisaalta parannusehdotuksia on vaikkakin pieniä, toisaalta asetin ehkä itselleni liian korkeat tavoitteet työn suhteen. Tästäkin voin oppia sen, että aina ei pidä tavoitella kuuta taivaalta, vaan täytyy olla realistinen.

Lähteet

- Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W. 2011. Product Design for Manufacture and Assembly. CRC Press. Boca Raton, Florida
- Exel Composites Oyj. 2022. Kotisivut.
<https://exelcomposites.com/our-company/>
23.1.2022.
- Huhtala P., Pulkkinen A. 2009. Tuotettavuuden kehittäminen: parempi tuotteisto useasta näkökulmasta. Esa Print Oy. Tampere
- Kauppalehti. 2022. Verkkolehti.
<https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/exel+composites+oyj/10672927>
23.1.2022.
- Lempiäinen, J., Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu – puoliiksi valmistettu. Hakapaino Oy. Helsinki
- Tärylaite Oy. 2022. Kotisivut.
<https://tarylaite.fi/tuotteet/tarykuljetin/>
23.1.2022