



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**TUOTTEEN SUUNNITTELU VALMISTUKSEN JA
KOKOONPANON KANNALTA**

Niko Kreivi

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö

Maaliskuu 2022

TIIVISTELMÄ

Tuotteen suunnittelu valmistuksen kannalta

Niko Kreivi

Oulun yliopisto, Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2023 25 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Heikki Pirkola

Työssä perehdytään erilaisiin metodeihin, joita käytetään tuotteiden suunnittelussa. Työssä esitellään, miksi erilaisia suunnittelumetodeja on olemassa ja mitä niillä tavoitellaan. Menetelmät liittyvät usein varsinkin tuotteiden valmistettavuuteen tai kokoonpantavuuteen, mutta muitakin lukuisia näkökulmia on olemassa. Lisäksi työn lopussa tutustutaan case-tapaukseen, jossa optimoidaan kuntosalilaite DFMA-menetelmän avulla. Case-tapauksessa pureudutaan tarkemmin konkreettisiin DFM- ja DFA-keinoihin, joilla parannetaan tuotetta jatkuvaa valmistusta varten.

Asiasanat: DFA, DFA2, DFM, DFMA

ABSTRACT

Product development at the perspective of manufacturing

Niko Kreivi

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelors's thesis 2023, 25 pp.

Supervisor at the university: Heikki Pirkola

The thesis focuses on different design aspects involving with the product development. Thesis introduces why there exists different design methods and what they are aiming at. Design methods are usually associated with product manufacturing or product assembly but there also exists many other design aspects. In addition at the end of the thesis there is introduced a case-study that shows how gymnasium equipment is optimised with DFMA-method. Case-study shows concrete examples of DFM- and DFA-methods that makes product better for continuous manufacturing.

Keywords: DFA, DFA2, DFM, DFMA

ALKUSANAT

Olen ollut aina kiinnostunut tuotteiden valmistamisesta sekä suunnittelemisesta. Halusin kandidaatintyökseni jonkin asiaan liittyvän aiheen. Tuotteen suunnittelun eri näkökulmiin perehtyminen kuulosti varsin kiehtovalta aiheelta, joten valitsin sen. Parasta aiheessa on vielä se, että pääsin soveltamaan oppimaani asiaa työssä esiteltävässä case-tapauksessa.

Työn ohjaajana yliopistolla toimi Heikki Pirkola. Häntä haluan kiittää kannustuksesta ja hyvästä ohjeistuksesta.

Oulu, 1.3.2023

Niko Kreivi

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

MERKINNÄT JA LYHENTEET

1 Johdanto	7
2 Valmistuksen ja kokoonpanon huomioiva suunnittelu	8
2.1 DFM	9
2.2 DFA	10
2.3 DFMA	11
2.4 DFAA	13
3 Tuotteen valmistuksen kehittäminen DFM- ja DFA-metodeja hyödyntäen	14
3.1 Alkuperäinen tuote	15
3.2 Paksuotekahvan vaatimukset	16
3.3 Kahvan runko	17
3.4 Rungon materiaalivahvuus	19
3.5 Pyörivä kädensija	21
3.6 Tulosten pohdinta	23
4 Yhteenveto	24

LÄHDELUETTELO

LIITEET:

Kuva 1: Erilaisia suunnittelussa käytettäviä näkökulmia (Eskilander 2001)

Kuva 2: Tyypilliset suunnitteluvaiheet DFMA-menetelmää käytettäessä (Boothroyd et al. 2010)

MERKINNÄT JA LYHENTEET

A Pinta-ala

F Voima

τ Leikkausjännitys

σ Jännitys

m Massa

R_e Myötöraja

DFM Design for manufacturing

DFA Design for assembly

DFMA Design for manufacturing and assembly

DFA2 Design for automatic assembly

1 JOHDANTO

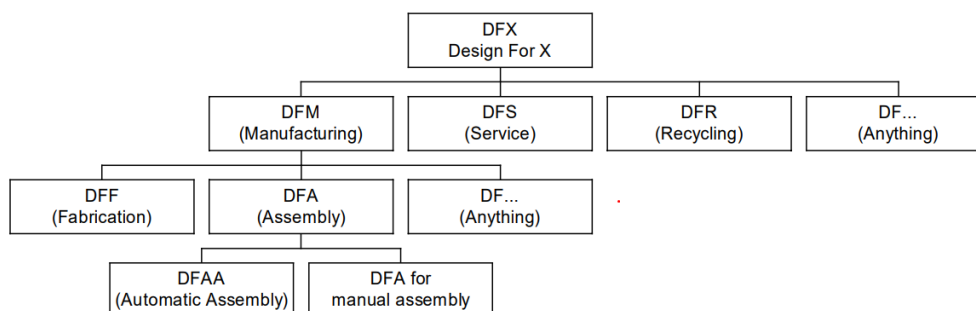
Työn aiheena on tarkastella tuotteen suunnittelua valmistuksen ja kokoonpanon näkökulmasta. Työssä perehdytään siihen mitä eri suunnittelumetodeilla tavoitellaan ja minkälaisin keinoin tuotteista saadaan parempia kokoonpanoa ja valmistettavuutta ajatellen. Teoriaosuuden jälkeen työssä sovelletaan suunnittelumetodeja myös case-tapaukseen, jossa kuntosalilla käytettävä tuote optimoidaan DFA- ja DFM-menetelmiä hyödyntäen. Optimoinnin tarkoituksena on muokata tuote sopimaan paremmin toistuvaan tuotantoon.

Case-tapauksessa analysoidaan aluksi alkuperäinen tuote ja määritellään mitkä tuotteen vaatimukset ovat standardien ja toiminnallisuuksien suhteen. Tämän jälkeen tuotteen teknisiä ratkaisuja lähdetään optimoimaan paremmiksi osatasolta lähtien. Optimoinnissa tulee hienosti esille konkreettisia DFA- ja DFM-menetelmien tapoja, kuinka osista ja niiden muodostamista kokonaisuuksista tehdään parempia tehokkaan tuotannon kannalta.

2 VALMISTUKSEN JA KOKOONPANON HUOMIOIVA SUUNNITTELU

Tuotteiden suunnittelu on mullistunut aikojen saatossa merkittävästi. Aikoinaan suunnittelussa tyydyttiin vain siihen, että suunniteltu tuote sisältää kaikki halutut toiminnallisuudet, on suhteellisen edullinen valmistaa ja on helppo kokoonpanna käsin. Tekniikka on kuitenkin kehittynyt aikojen saatossa ja samalla kilpailu on kiristynyt ja muuttunut globaaliksi. Jotta yritykset menestyisivät nykyaikana, on niiden tuotantolinjojen oltava tehokkuudeltaan huippuluokkaa. Tämä on tuonut lisähaasteita varsinkin tuotekehityksen saralle, sillä tuotteiden suunnitteluvaihe vaikuttaa suuresti valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen (Aaltonen 1997).

Suunnitteluvaihe aiheuttaa suurimman osan tuotteen koko elinkaaren kuluista. Tuotteen suunnittelun vaikutus on suuri, koska se vaikuttaa valmistusprosessin tehokkuuteen, määrittää käytettävät materiaalit ja vaikuttaa tuotteen kokoonpantavuuden tehokkuuteen. Jotta tuotannon tehokkuus saadaan vastaamaan nykyajan vaatimuksia, on suunnitteluvaiheessa onnistuttava. Suunnittelun onnistumiseksi on kehitetty lukuisia erilaisia menetelmiä, jotka keskittyvät tuotteen suunnitteluun, mutta eri näkökulmista. Nämä näkökulmat ovat yleensä DFX-termin akronyynejä, joissa viimeinen kirjain vaihtelee kulloinkin käytettävän näkökulman lyhenteen mukaan. Erilaisia näkökulmia ja niiden jakautumista havainnollistaa (kuva 1). Esimerkiksi termi DFM tulee sanoista design for manufacturing, joka tarkoittaa suomeksi tuotesuunnittelua valmistuksen näkökulmasta (Bralla, 1996).



Kuva 1: Erilaisia suunnittelussa käytettäviä näkökulmia (Eskilander 2001)

2.1 DFM

DFM-menetelmällä pyritään tekemään tuotteen valmistamisesta mahdollisimman helppoa ja edullista. Kun tuotteen suunnittelussa pystytään ottamaan valmistukseen liittyvät lukuisat asiat monipuolisesti huomioon, saadaan aikaan valmistusteknisesti kustannustehokkaita tuotteita ja ratkaisuja. Mikäli suunnittelijat eivät ole riittävän perehtyneitä valmistustekniikkaan, suunnittelupöydän ääressä syntyneet ideat voivat osoittautua pahimmassa tapauksessa todella kalliiksi tai jopa mahdottomiksi toteuttaa valmistusvaiheessa (Laakko ym., 1998).

Yksinkertaistetusti DFM-menetelmä pyrkii siihen, että suunnitellut osat ovat helposti ja edullisesti valmistettavissa. Tällaiseen lopputulokseen voidaan päästä, jos suunnittelussa osataan poistaa tuotteesta kaikki tarpeettomat piirteet ja tiukat toleranssit pois. Tämä on kuitenkin tehtävä siten, että tuotteen toiminnallisuus ei kärsi. Muita suunnittelussa tärkeitä huomioon otettavia asioita ovat muun muassa valmistusmenetelmän valinta ja tuotteen osien kokonaismäärän minimoiminen. Esimerkiksi oikean valmistusmenetelmän valinta nostaa huomattavasti osien valmistuksen kokonaistehokkuutta ja vähentää ylimääräisten lisäprosessien ja työkalujen tarvetta (Laakko ym., 1998). DFM-suunnittelussa huomioon otettavia asioita:

- Osien määrän minimointi
- Standardiosien ja -materiaalien käyttö
- Modulaarinen suunnittelu
- Kiinnityskertojen minimoiminen valmistuksessa
- Tehokkaat valmistusmenetelmät
- Tiukkojen toleranssien minimointi
- Turhien piirteiden välttäminen
- Linkittyvien toleranssien välttäminen

2.2 DFA

DFA tulee englannin kielen sanoista design for assembly ja se tarkoittaa tuotteen suunnittelua kokoonpanon näkökulmasta. DFA-menetelmän tarkoituksena on tehdä kokoonpanovaihe mahdollisimman edulliseksi ja helpoksi suorittaa. Yksinkertaistetusti DFA pyrkii tähän siten, että tuote suunnitellaan mahdollisimman pienellä määrällä osia, käyttäen mahdollisimman vähän erilaisia liitostekniikoita ja ruuveja (e.g. Lai and Gershenson, 2008).

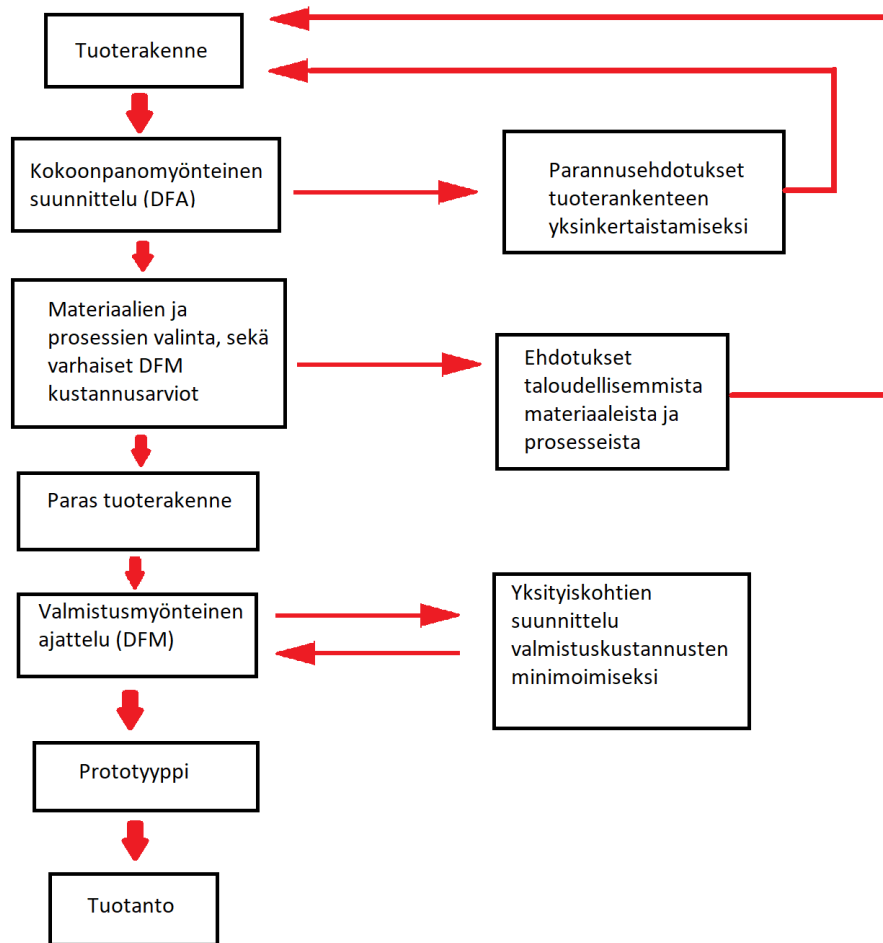
Tapoja kustannusten vähentämiseksi kokoonpanovaiheessa on useita. Kustannuksia voidaan vähentää esimerkiksi suunnittelemalla tuote siten, että siinä käytetään ainoastaan samanlaisia liitostekniikoita. Esimerkiksi pelkästään samoja ruuveja käyttämällä voidaan vähentää tuotteen kokoonpanovaiheessa tarvittavien työkalujen kokonaismäärää. Toinen hyvä esimerkki kokoonpanovaiheen yksinkertaistamisesta on napsautusliitosten käyttö. Napsautusliitosten suorittamiseen ei nimittäin tarvita työkaluja välttämättä ollenkaan. Kokoonpantavuutta voidaan parantaa myös tekemällä osiin piirteitä, jotka helpottavat kohdistamista. Lisäksi parhaimmassa tapauksessa tuotteen osat voidaan suunnitella myös sellaisiksi, että ne ovat symmetrisiä. Tällöin niiden asentaminen väärin tulee mahdottomaksi kokoonpanovaiheessa (Laakko ym., 1998). DFA-suunnittelussa huomioon otettavia asioita:

- Osien määrän minimointi
- Modulaarisuus
- Liitostapojen minimointi
- Napsautusliitosten käyttämien, jos vain mahdollista
- Osien symmetrisyys
- Kokoonpanovirheiden mahdottomaksi tekeminen
- Standardiosien käyttö
- Järkevien toleranssien käyttö
- Kokoonpanosuuntien minimointi

2.3 DFMA

DFMA tulee sanoista design for manufacturing and assembly. Yksinkertaistetusti DFMA on yhdistelmä DFM- ja DFA-menetelmien peruselementtejä. Tämän takia DFMA pyrkiikin samanaikaisesti yksinkertaistamaan tuotetta, parantamaan tuotteen kokoonpantavuutta ja tekemään sen valmistusprosessista helpomman. Monipuolisuutensa ansiosta DFMA-menetelmällä kyetäänkin saavuttamaan tuotteelle kokonaisuudessa edullisempi tuotantotapa ja samalla lyhentämään tuotteen markkinoille viemisen läpimenoaikaa (Boothroyd et al. 2010).

Perinteisesti on ajateltu, että suunnittelijat suunnittelevat tuotteen ja valmistuspuoli hoitaa sen valmistamisen. Tämä on kuitenkin huono tapa, sillä se aiheuttaa suunnittelijoiden ja valmistajien välille niin kutsutun ”näkyttömän muurin”. Muuri saadaan murrettua siten, että suunnittelussa ajatellaan samanaikaisesti valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta. Mutta vaikka suunnittelussa kuinka otettaisiin huomioon kaikki osat, muutostarpeita voi silti ilmetä jossain vaiheessa tuotteen elinkaarta. DFMA mielletäänkin yleensä prosessiksi. Sitä voidaan käyttää missä tahansa vaiheessa olevan tuotteen kehittämiseen. Tuote voi olla esimerkiksi jo tuotannossa tai vasta kehitysvaiheessa. Sen lisäksi DFMA-menetelmän prosessi voidaan suorittaa tuotteelle niin monta kertaa, että tuotteeseen ja sen valmistukseen ollaan tyytyväisiä (Boothroyd et al. 2010). DFMA-menetelmän tyypillisiä vaiheita esittelee (kuva 2).



Kuva 2: Tyypilliset suunnitteluvaiheet DFMA-menetelmää käytettäessä (Boothroyd et al. 2010)

2.4 DFAA

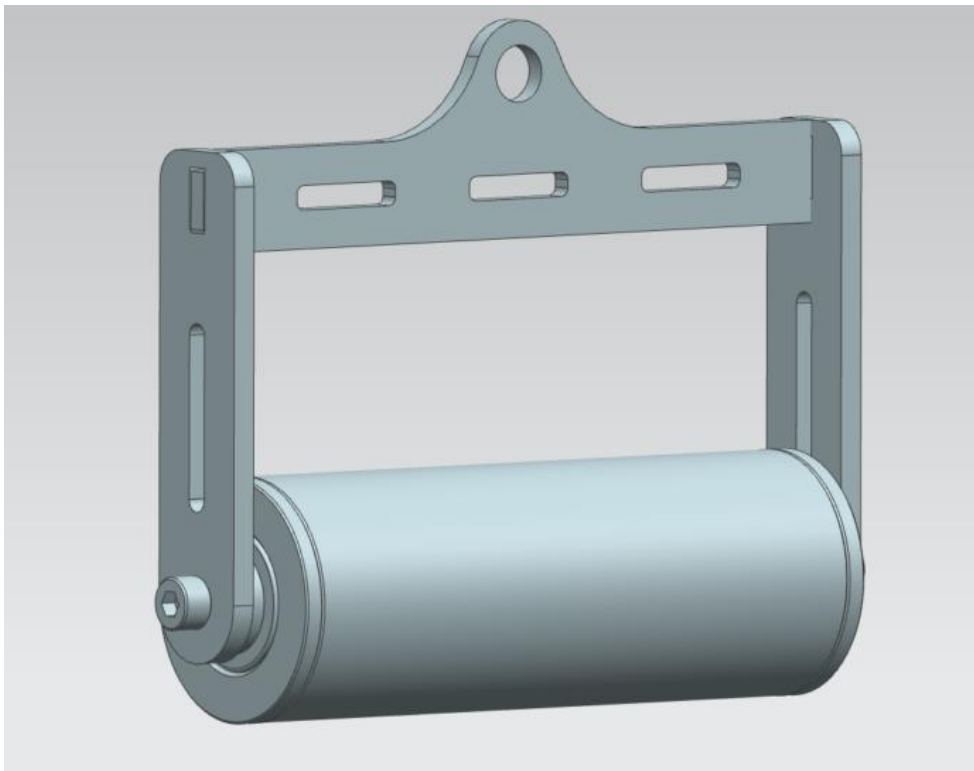
Automaattisessa kokoonpanossa kokoonpanovaihe on täysin automatisoitu. Tämä tuo huomattavasti lisää tehokkuutta verrattuna siihen, että käytettäisiin pelkkää ihmistyövoimaa. Ihmistyövoiman käyttö voi olla joissakin tapauksissa tosin suhteellisen tehokasta, jos kyseessä on hankala kokoonpantava kokonaisuus. Mutta tehokkuusero tulee siitä, että ihmiselle pitää maksaa palkka ja ihminen ei tee työtä taukoamatta kellon ympäri, kuin kone. Muita automatisoinnin hyviä puolia ovat muun muassa tuotannon nopeus ja itsenäinen työskentely (Swift and Redford, 1978).

DFA mielletään usein kattotermiksi tuotteen suunnittelulle, jossa pyritään tekemään tuotteen kokoonpanovaiheesta mahdollisimman kustannustehokasta. DFA-tekniikan voidaan ajatella liittyvän manuaalisen tai automatisoidun kokoonpanovaiheen onnistumiseen. On kuitenkin olemassa DFAA-tekniikka, joka keskittyy pelkästään tuotteen automaattiseen kokoonpanoon. DFAA- eli DFA2-menetelmän etuna on se että, jos tuote on suunniteltu onnistumaan automaattista kokoonpanoa varten, se on todennäköisesti helppo kokoonpanna myös ihmisen toimesta (Maczka 1985).

Tuote on hyvä automaattista kokoonpanoa varten, kun se on mahdollisimman yksinkertainen ja tarvittavat kokoonpanovaiheet ovat minimoitu. Yksinkertaisuus on tärkeää, sillä automaattisen kokoonpanon ongelmat liittyvät lähinnä kappaleiden käsittelyyn. Yleisesti ottaen osia voidaan asettaa kokoonpanoon, jos osia kyetään käsittelemään automaattisesti. Tämän vuoksi tuotteen DFAA-suunnittelussa täytyy pitää erityistä huomiota osien orientoitumisen ja automaattisen syötön suhteen. On olemassa joukko sääntöjä ja suosituksia, joita automaattinen kokoonpano asettaa tuotteelle (Boothroyd 1994).

3 TUOTTEEN VALMISTUKSEN KEHITTÄMINEN DFM- JA DFA-METODEJA HYÖDYNTÄEN

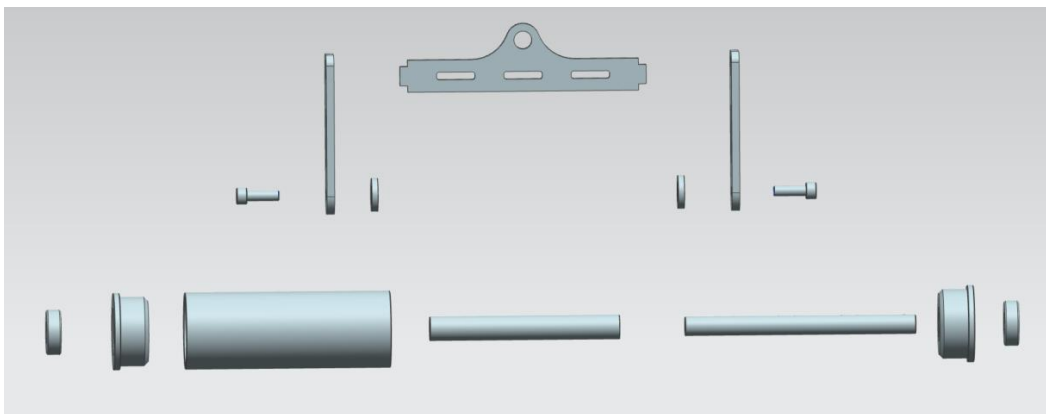
Kehitettävänä tuotteena on alun perin omasuunnittelemani paksuotekahva, jota käytetään otevoiman kehittämiseen (kuva 3). Paksuotekahvoja käyttävät muun muassa otevoimailijat, kädenvääntäjät, kiipeilijät ja lukuisten taistelulajien harrastajat. Paksuotekahva on tyypillisesti paljon kalliimpi tuote kuin tavallinen kuntosalikahva. Paksuotekahvojen hinnat ovat yleensä hieman yli 100 euron luokkaa. Paksuotekahvan erikoisuus käytössä piilee siinä, että kädensija on halkaisijaltaan 60 millimetriä ja se on herkästi laakeroitu. Tämä aiheuttaa sen, että käyttäjän on pakko käyttää ranteiden pieniä lihasryhmiä, jotka ei tavallisessa kuntosaliharjoittelussa aktivoidu. Harjoittelun tuloksena otevoima ja ranteiden lihakset kehittyvät.



Kuva 3: Paksuotekahvan CAD-malli

3.1 Alkuperäinen tuote

Nykyinen tuote koostuu neljästätoista osasta. Se on suhteellisen iso määrä. Kokoonpanon räjäytyskuva nähtävissä alla (kuva 4). Kaikkia osia ei kuitenkaan tarvitse valmistaa itse, vaan laakerit ja ruuvit ovat kaupasta valmiina saatavia osia. Tällöin valmistettavia uniikkeja osia kahvassa on 10 kappaletta. Kahvan runko muodostuu kolmesta vesileikatusta itsensä kohdistavasta osasta ja pyörivä kädensija muodostuu yhdestätoista pyörähdyssymmetrisestä kappaleesta, joista suurin osa pitää valmistaa sorvaamalla. Osia on näin yksinkertaiseksi tuotteeksi suhteellisen paljon ja tätä määrää todennäköisesti voi supistaa.



Kuva 4: Paksuotekahvan räjäytyskuva

Tuotteen lopputulos on tällaisenaan välyksetön, laadukas ja kestävä. Mutta tekniset ratkaisut, joilla tähän on päästy tuottavat ongelmia valmistuksen ja kokoonpanon kannalta. Kahvan runko on hieno ja helppo kasata, mutta se pystyttäisiin toteuttamaan todennäköisesti myös vähemmällä määrällä osia. Pyörivä kädensija taas on suunniteltu aivan liian monimutkaiseksi. Se sisältää peräti kuusi tarkan toleranssin omaavaa sorvattua pintaa. Yksittäistä päätyholkkia varten pitää koneistaa keskiputken pääty, holkin kiinnityskohta ja lopuksi vielä laakerin kiinnityskohta. Valmistusta hankaloittaa myös se, että kaikkia pintoja päätyholkkista ei voida koneistaa kerralla, koska päätyholkki supistuu paljon asennettaessa se paikoilleen. Jos kaikki pinnat sorvattaisiin kerralla valmiiksi, vaarana olisi se, että laakerin kiinnityskohta olisi liian tiukka. Linkittyivistä toleransseista kannattaa ehdottomasti hankkiutua eroon, jos se on mahdollista.

Tuotteen materiaalivahvuksissa on myös parantamisen varaa. Kahvan runko muodostuu 6 millimetriä vahvasta ruostumattomasta teräksestä. Johtuen suuresta paksuudesta runko on painava ja on mitoitettu ylikestäväksi. Lisäksi näin suuri materiaalivahvuus hankaloittaa valmistusta, sillä paksumman materiaalin työstämisessä menee huomattavasti enemmän aikaa verrattuna ohuemman materiaalin työstämiseen. Samat asiat pätevät myös pyörivän kädensijan materiaalivahvuksiin. Sen lisäksi itse materiaalivalinnoissakin on myös syytä tarkasteluun.

3.2 Paksuotekahvan vaatimukset

Paksuotekahvan funktionaalisia vaatimuksina ovat, että kädensijan halkaisijan on oltava 60 millimetriä ja otekohdan leveys on oltava riittävä. Lisäksi kädensijan on pyörittävä herkästi. Nämä ovat perusvaatimuksia paksuotekahvalle. Kahvan on oltava myös turvallinen käytössä standardin ISO 20957-1:2013 mukaisesti, koska se on kuntosaliväline. Standardi vaatii muun muassa, että kahva kestää käytössä tiettyä voimaa turvallisesti ja, että tuotteessa ei ole käyttäjälle vaaraa aiheuttavia teräviä kulmia. Kahvan pitää olla myös sellainen, että sen käyttö on turvallista laitteen koko liikeradalla. Tässä tapauksessa se vaikuttaa siihen, että kädensijan ja rungon välissä on oltava riittävästi tilaa, jotta käsi ei vahingossakaan vastaa siihen.

Standardi ISO 20957-1:2013 vaatii tarkasti, että kehoa tukevat reunat on pyöristettävä säteellä, joka on vähintään 2,5 millimetriä. Tämä vaikuttaa siihen, että pyörivän kädensijan päätyreunoihin on tehtävä standardin mukainen pyöristys. Muut kohdat kahvasta pitää muokata vain sellaisiksi, että niiden reunat ovat joko pyöristettyjä tai niissä on pieni viiste. Kahvan on myös kestävä ulkoista kuormaa, joka lasketaan yhtälön (1) mukaisesti:

$$F_{test} = S \times (W_p + 1,5 \times F_a) \quad (1)$$

Yhtälössä S on laiteluokasta riippuva varmuuskerroin ja se saa arvokseen 4. W_p on käyttäjästä johtuva kuorma ja se saa arvokseen 0, koska kehonpaino ei vaikuta laitteeseen. Luku 1,5 on vakiona pysyvä dynaaminen kerroin. F_a on laitteen sallittu maksimikuorma newtoneina. Maksimikuorman arvona käytetään 2000 N, joka on niin suuri kuorma, että sillä ei tulla kahvaa ikinä kuormittamaan missään liikkeessä. Miesten maailmanennätys vastaavalla kahvalla on vain 130 kg ja se vastaa noin 1300 N. Sijoitetaan kaavaan muuttujat ja lasketaan maksimivoimalle arvo:

$$F_{test} = 4 \times (0 + 1,5 \times 2000 \text{ N}) = 12\,000 \text{ N} \quad (1)$$

Standardin laskukaava vaatii siis, että kahva kestää 12 000 N voiman. Kilogrammoiksi muutettuna voima on 1223,24 kg. Testi ei kuitenkaan ole hetkellinen, vaan kahvaa pidetään kyseisen kuormituksen vaikutuksen alaisena 5 minuuttia. Kun tuotteen materiaalivahvuuksia ja ratkaisuja optimoidaan, on pidettävä huolta, että kahva kestää tämän.

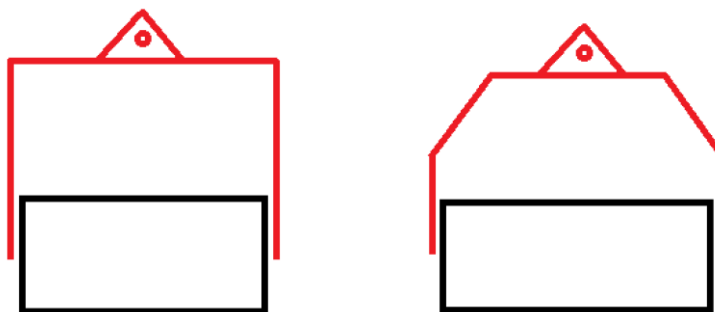
3.3 Kahvan runko

Kahvan runko on alun perin suunniteltu olemaan helposti kokoonpantava. Kokoonpantavuutta helpottaa nykyisessä ratkaisussa se, että osat kohdistavat itse itsensä. Keskiորressa on ulospäin työntyvä geometria, johon sivukappaleiden muodot asettuvat (kuva 5). Tässä ratkaisussa osat lukitaan toisiinsa sulatushitsaamalla lukituskohta ulkopuolelta.



Kuva 5: Geometrinen lukko

Vaihtoehtoisia toteutuksia nykyiselle ratkaisulle ovat kantatut versiot. Hahmotelmat kantatuista vaihtoehdoista alla (kuva 6). Kantatulla kahvan rungolla osia saataisiin vähennettyä kahteen kappaleeseen kolmen sijaan. Kantatussa ratkaisussa hitsauksen merkitys kuitenkin kasvaa, koska kriittinen kiinnityskohta joudutaan hitsaamaan. Alkuperäisessä ratkaisussa riittää, että hitsaus muodostaa jonkinlaisen lukituksen, sillä kahva pysyy koossa jopa ilman hitsejä. Alkuperäinen ratkaisu on myös siinä mielessä hyvä, että kahvan rungon valmistamiseen ei tarvitse muuta välineistöä kuin laserleikkaukseen ja hitsausvälineet. Kantattu vaihtoehto taas tarvitsee hitsaus- ja leikkaukseen lisäksi vielä särmäyskoneen.



Kuva 6: Kantatut runkovaihtoehdot

Pidän kahvan rungon ratkaisun alkuperäisenä. Se on hyvä ja tehokas DFA- ja DFM-menetelmien näkökulmasta. Materiaalivahvuutta ohennetaan kuitenkin minimiin, jotta osat ovat helpompi valmistaa. Ohuemman levyn leikkaamisessa kestää vähemmän aikaa kuin paksun levyn. Lisäksi kahvassa on kevennyksiä. Ne ovat turhia ja tekevät valmistusajasta pitemmän. Tämän vuoksi jätän optimoidusta versioista kevennykset pois kokonaan. Lisäksi geometrisiin lukkoihin teen pienen muutoksen. Tällaisenaan kahvan rungon kokoonpanossa on virheen riski, sillä sivupalat voi laittaa paikoilleen kahdella eri tavalla. Eliminoidaan tämä riski tekemällä geometrisista lukoista epäsymmetriset. Tällöin sivupaloilla on vain yksi tapa, miten ne voi laittaa paikoilleen. Tämä on DFA-ajattelun mukainen ratkaisu.

3.4 Rungon materiaalivahvuus

Rungon alkuperäinen materiaalivahvuus on 6 millimetriä. Se on todennäköisesti ylimitoitettu. Lasketaan uusi materiaalivahvuus. Kokeillaan mitä kahva kestää, jos sen runko on tehty 4 millimetriä vahvasta S355-teräksestä. Tarkastetaan rungosta kolme kriittisintä kohtaa. Tarkastetaan kestävyys sivuosan keskeltä, orren kiinnityskohdasta ja tarkastetaan ruuvien leikkautumiseen tarvittava voima.

Sivuosan poikkileikkauksen pinta-ala on 120 mm^2 . Lasketaan kuormitus mikä poikkileikkauksessa esiintyy, kun kahvaa kuormitetaan $12\,000 \text{ N}$ voimalla. Koska voima jakautuu kahteen sivuosaan, yksittäisessä osassa vaikuttaa 6000 N voima. Lasketaan yhtälöllä (2) poikkileikkauksessa vallitseva vetojännitys:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Yhtälössä σ on vetojännitys, F on voima ja A on poikkileikkauksen pinta-ala. Sijoitetaan yhtälöön (2) arvot ja lasketaan vetojännitykselle arvo:

$$\sigma_1 = \frac{F}{A} = \frac{6000 \text{ N}}{120 \text{ mm}^2} = 50 \text{ MPa} \quad (2)$$

Lasketaan seuraavaksi orren kiinnityskohdassa vaikuttava leikkausjännitys. Poikkileikkauksen pinta-ala on 60 mm^2 . Leikkausjännitys lasketaan yhtälöllä (3):

$$\tau = \frac{F}{A \times \frac{1}{\sqrt{3}}} \quad (3)$$

Yhtälössä τ on leikkausjännitys, F on voima, A on pinta-ala ja luku $\frac{1}{\sqrt{3}}$ on leikkausjännityslaskuissa käytettävä kerroin. Sijoitetaan arvot yhtälöön (3) ja lasketaan leikkausjännitys:

$$\tau_2 = \frac{6000 \text{ N}}{60 \text{ mm}^2 \times \frac{1}{\sqrt{3}}} = 173,20 \text{ MPa} \quad (3)$$

Lasketaan seuraavaksi voima, joka riittää lohkaisemaan palat levystä kiinnityskohtien kohdalta yhtälöllä (3):

$$F = 355 \text{ MPa} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times 4 \times 4 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} = 16396,7 \text{ N} \quad (3)$$

Lasketaan vielä ruuvien kesto. Käytettävät ruuvit ovat M8-ruuveja, joiden lujuusluokka on 8.8. Kyseinen lujuusluokka kertoo, että ruuvien murtolujuus on 800 MPa. Myötölujuus saadaan kertomalla murtolujuus luvulla 0,8. Myötölujuus saa arvokseen siis 640 MPa. Seuraavaksi selvitetään ruuvien poikkileikkauksen pinta-ala. Taulukosta nähdään, että M8-ruuvien sydänhalkaisija on 6,47 mm. Tämän perusteella voidaan laskea ruuvien poikkileikkauksen kantava pinta-ala. Pinta-alaksi saadaan $32,88 \text{ mm}^2$. Sijoitetaan leikkausvoiman yhtälöön myötölujuus, ruuvien poikkileikkauksen pinta-ala ja leikkausjännityslaskuissa käytettävä kerroin ja muokataan yhtälö (3) ratkaisemaan voima:

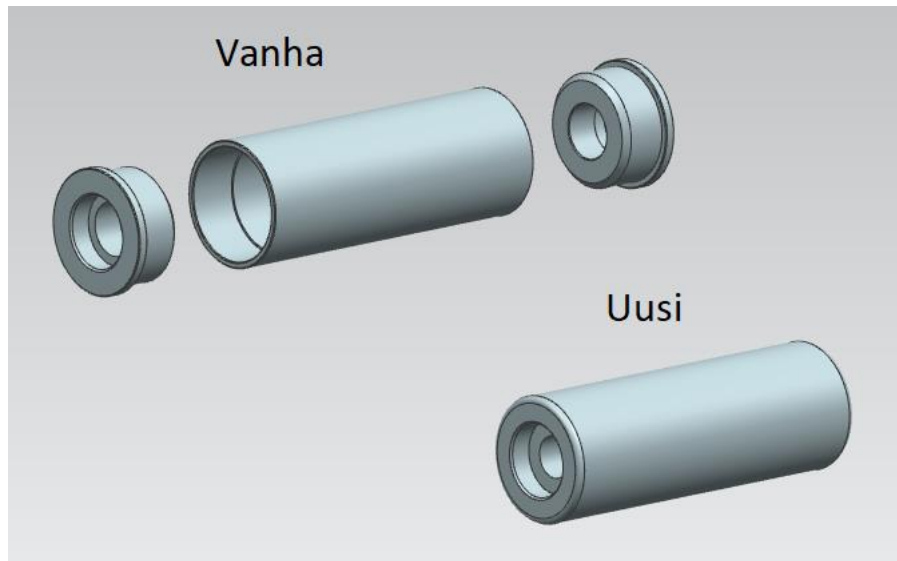
$$F_3 = 640 \text{ MPa} * \frac{1}{\sqrt{3}} * 32,8775 \text{ mm}^2 = 12148,4 \text{ N} \quad (3)$$

Koska ruuveja on kaksi, yhteisvoima on 24296,7 N. Laskelmien perusteella ruuvit kestävät paljon enemmän kuormaa, kuin mitä kahvalla normaalisti nostetaan. Ruuvien kestämisestä ei tarvitse siis olla huolissaan.

Kriittisin kohta kahvan kestämissä suhteen on hitsattavat kiinnityskohdat ja niiden lohkeaminen pois paikaltaan. Standardin määrittelemässä testissä kahvaa kuormitetaan 12 000 newtonilla ja kahvan runko kestää tämän helposti 4 millimetriä vahvanakin. Hyväksytään siis optimoidun tuotteen rungon materiaalivahvuudeksi 4 millimetriä.

3.5 Pyörivä kädensija

Nykyisellä tavalla toteutettuna pyörivässä kädensijassa on tarpeettoman paljon osia. Suuri osien määrä tekee kokoonpanosta monimutkaisemman. Kädensijassa on sen lisäksi useita toisiinsa linkittyviä toleransseja, liittyen laakerointitapaan. Tämä ei ole hyvä asia, sillä valmistuksesta tulee haasteellista ja kallista. Vähennetään kokoonpanon osien määrää vaihtamalla putkimaisesti rakennettu kädensija umpinaiseen versioon. Umpinaisessa versiossa tarvitsee vain koneistaa läpireikä ja sorvata laakerikohdat. Sen lisäksi kiinnitysten määrä vähenee huomattavasti. Vertailukuva vanhan ja uuden ratkaisun välillä alla (kuva 7).

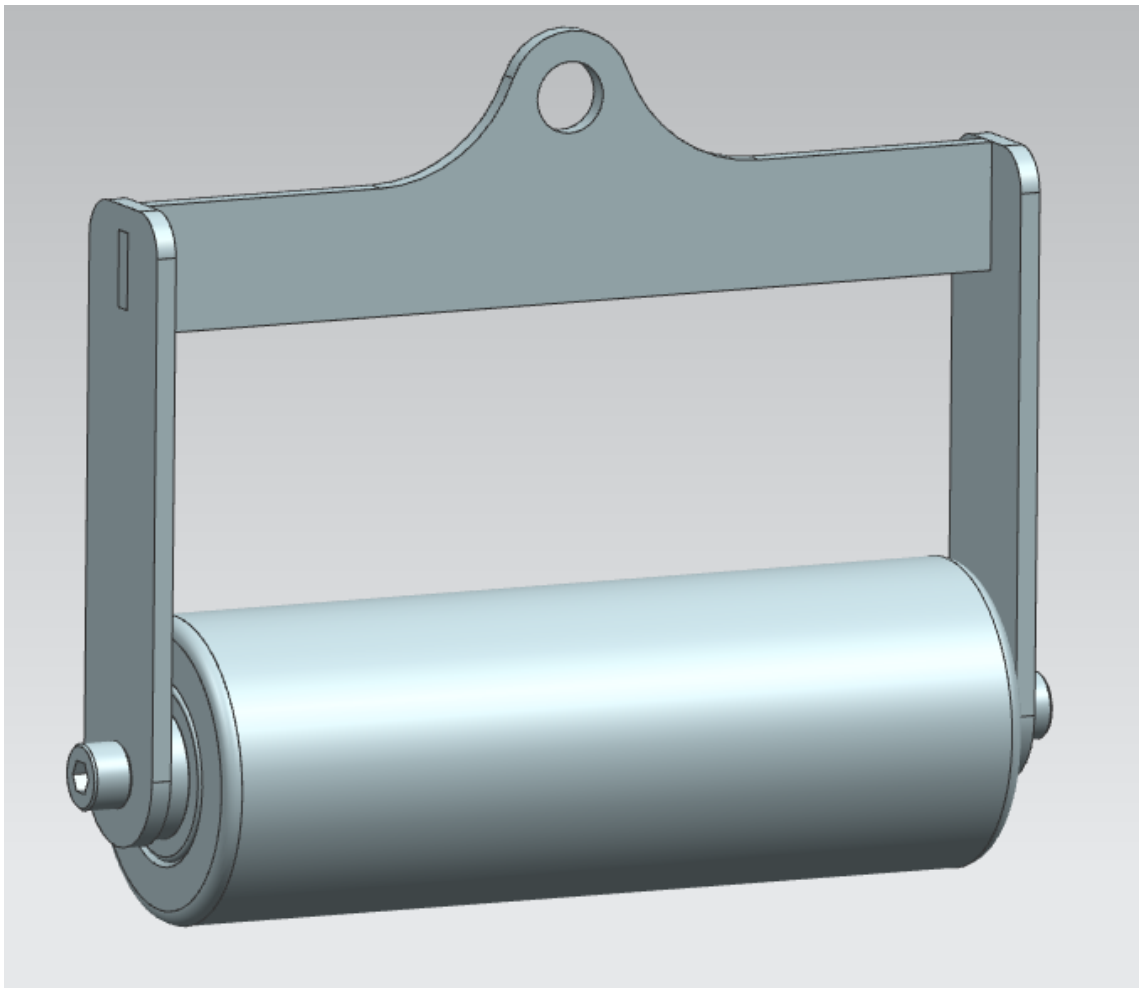


Kuva 7: Kädensijan uusi ratkaisu

Materiaali pitää kuitenkin vaihtaa ruostumattomasta teräksestä alumiiniin. Tuotteen painolla ei sinänsä ole hirveästi merkitystä, mutta tuotteesta ei kannata tehdä kuitenkaan tarpeettoman painavaa. Mikäli rulla olisi terästä se painaisi 3 kg enemmän kuin nykyinen ratkaisu. Alumiinista tehtäessä kahvan painoa saadaan laskettua rutkasti ja sitä on helppo työstää. Alumiinisen kädensijan paino tulee olemaan noin 1 kg. Alumiinia käytettäessä pitää kuitenkin valita jokin sopiva loppukäsittely, sillä puhtaasta alumiinipinnasta jää käteen tummaa likaa eli alumiinioksidia.

3.6 Tulosten pohdinta

Tutkimuksessa syntyi uusi tuote käyttäen DFMA-menetelmän periaatteita (kuva 8). Uusi tuote on yksinkertaisempi kokoonpanna ja valmistaa. Kokoonpanon kannalta tuote on hyvä, koska siinä on vain kaksi kokoonpanosuuntaa ja kokoonpantavia osia on vähemmän kuin alkuperäisessä versiossa. Alun perin valmistettavia osia oli 10. Nyt valmistettavia uniikkeja osia on 8. Valmistus on taas huomattavasti helpompi kuin alkuperäisessä tuotteessa, koska tarkan toleranssin omaavia pintoja on vähemmän. Kokoonpanossa ei voi myöskään juuri sattua inhimillisiä virheitä, koska osat ovat symmetrisiä tai niiden kohdistus on muilla tavoin hoidettu.



Kuva 8: Optimoitu tuote

4 YHTEENVETO

On erittäin tärkeää, että yritysten valmistamat tuotteet ovat laadukkaita ja tehokkaita valmistaa. Nykypäivän markkinoilla ei pärjää, ellei tämä asia ole kunnossa, sillä kilpailijat parantavat jatkuvasti tekemistään. Tuotteen suunnitteluvaiheella on valtava merkitys tuotteen valmistukseen ja kokoonpanoon liittyviin kustannuksiin. Siksi suunnittelussa on onnistuttava, jotta yritys menestyy. Tämän takia suunnittelun tueksi on kehitetty lukuisia menetelmiä, joilla pyritään parantamaan suunnittelun onnistumista. Näitä järjestelmiä on paljon ja niitä kehitellään edelleen, koska yrityksillä on erilaisia tarpeita.

Case-tapaus osoittaa, että DFA- ja DFM-periaatteita käyttämällä tuotteista voidaan muokata parempia monin tavoin. Tuotteista voidaan saada esimerkiksi helpompia valmistaa ja kokoonpanna. Nämä muutokset saavat aikaan runsaasti kustannussäästöjä, vaikka lopputuotteena on toiminnallisuuksiltaan vastaava tuote kuin alkuperäinen versio. Erilaisilla DFX-menetelmillä voidaan korostaa jotain tiettyä näkökulmaa, jos halutaan tietynlainen lopputulos. Suunnitteluvaiheessa käytettävien näkökulmien ja menetelmien tärkeyttä ei voi liikaa korostaa. Ne toimivat hyvänä tukena suunnittelijoilla.

LÄHDELUETTELO

Aaltonen K. & Torvinen S., 1997. Konepaja-automaatio. 1. painos. Porvoo: WSOY, 209 s. ISBN 951-0-21439-6

Bralla, J.G. (1996) Design for Excellence, McGraw-Hill, New York.

Laakko, T., Sukuvaara, A., Borgman, J., Simolin, T., Björkstrand, R., Konkola, M., Tuomi, J. & Kaikonen, H. (1998). Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu (1 p.). WSOY.

Lai, X. and Gershenson, J.K. (2008) 'Representation of similarity and dependency for assembly modularity', The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 37, No. 7-8, pp. 803-827.

Boothroyd, G., Knight, W.A. & Dewhurst, P. (2010). Product Design for Manufacture and Assembly. CRC Press. Boca Raton Florida, USA.

Swift, K. G., Redford, A. H., ” Classification For Automatic Assembly Of Small Products”, CIRP Annals, Vol. 27, No. 1, pp 435-440, 1978

Maczka, W. J., ”Planning For Automated Assembly: The Common Denominators”, Assembly engineering, Nr 2,pp 16-20,1985

Boothroyd, G. et al. Product design for manufacture and assembly. New York 1994 540 s.