

Tuotekehitysprojekti

Tärysyöttimen tuotekehitys

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK), Konetekniikka

2023

Lari Keränen

Tiivistelmä

Tekijä Lari Keränen	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2023
	Sivumäärä 30	
Työn nimi Tuotekehitysprojekti Täräsyöttimen tuotekehitys		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), konetekniikan koulutus		
Toimeksiantajaorganisaatio Tamtron Precision Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä tuotekehitystä toimeksiantajan täräsyötinmallille. Täräsyöttimen kustannuskuluja haluttiin alentaa ja valmistettavuutta sekä toiminnallisuutta kehittää.</p> <p>Opinnäytetyössä perehdyttiin tuotekehitysprojektin vaiheisiin sekä niiden hyötyihin. Täräsyöttimen kehittämiseen hyödynnettiin lujuusoppia, dynamiikkaa sekä geometriaa. Suunnittelun tukena käytettiin tietokoneavusteista suunnittelu- ja lujuuslaskentaohjelmistoa.</p> <p>Tuotekehitysprojektin tuloksena täräsyöttimen ominaismassa sekä osamäärä vähenivät ja materiaalisäiliön tilavuus kasvoi. Kaikkia ominaisuuksia ei pystytty todentamaan, mutta tuotekehitysprojekti katsottiin onnistuneeksi.</p>		
Asiasanat tuotekehitysprojekti, kehittäminen, täräsyötin		

Abstract

Author Lari Keränen	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2023
	Number of Pages 30	
Title of Publication Product development project Product development of vibrating feeder		
Degree, Field of Study Engineer (UAS), Mechanical Engineering		
Organisation of the client Tamtron Precision Oy		
Abstract <p>The purpose of this thesis was to do product development on clients vibrating feeder model. The goal was to reduce the expenses of the vibrating feeder and improve manufacturability and functionality.</p> <p>The thesis examines stages of product development project and the benefits of utilizing them. Theory of strength of materials, dynamics and geometry were utilized in the development of the vibrating feeder. Computer-aided design and strength calculation software were used to support the design.</p> <p>As the results of the product development project, the mass and component quantity of vibrating feeder were decreased, and the volume of material container was increased. All the features of the vibrating feeder could not be validated, but the product development project was considered successful.</p>		
Keywords product development project, development, vibrating feeder		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Tuotekehitysprojekti.....	2
2.1	Tuotekehityksen merkitys ja yleiskatsaus	2
2.2	Käynnistäminen	4
2.3	Luonnostelu	4
2.4	Kehittely.....	10
2.5	Viimeistely	11
3	Tärysyöttimen tuotekehitys	13
3.1	Vaatimusten määrittäminen	13
3.2	Ratkaisuluonnosten tekeminen ja valinta	14
3.3	Kehittely ja optimointi.....	17
3.4	Viimeistely	28
4	Yhteenveto ja pohdinta	29
	Lähteet	30

1 Johdanto

Toimeksiantajan asiakkaalla on tarve uudenmallisiin tärysyöttimiin. Työn toimeksiantaja on kehittänyt asiakasprojektia varten tärysyöttimen prototyypin jauhemaisten materiaalien hallittuun syöttöön sekä annosteluun. Prototyypille on tarve jatkokehittelyyn ja optimointiin.

Työn tavoitteena on onnistua tuotekehityksessä eli siistiä ja kehittää tärysyötintä. Tarkemmin määritettynä työn tavoitteena on optimoida tärysyöttimen teknisiä ominaisuuksia, valmistettavuutta sekä valmistus- ja materiaalikustannuksia.

Tuotteelle tehdään tuotekehitysprojektin mukaiset toimenpiteet. Tuotekehityksessä keskitytään toimivuuden osalta säiliön muotoon sekä laitteen massaan. Hinnan osalta keskitytään osien vähentämiseen sekä materiaalin minimointiin. Valmistuksen osalta keskitytään kokonanon yksinkertaisuuteen ja osien vähentämiseen.

Työn toimeksiantaja on Tamtron eli entinen Lahti Precision (Tamtron b). Tamtron on yritys, jonka tarkoituksena on kehittää teollisuusalan asiakkaidensa kilpailukykyä. Yhtiö tekee pääosin suursäkityasemia, hihnavaakoja sekä annostelujärjestelmiä. Yhtiössä työskentelee 94 henkilöä ja sen päätoimipaikka on Lahti. (Tamtron a.) Tamtronilla on myös kymmenien vuosien kokemus irtomateriaalien annostuksesta, siirrosta sekä käsittelystä (Tamtron b 2023).

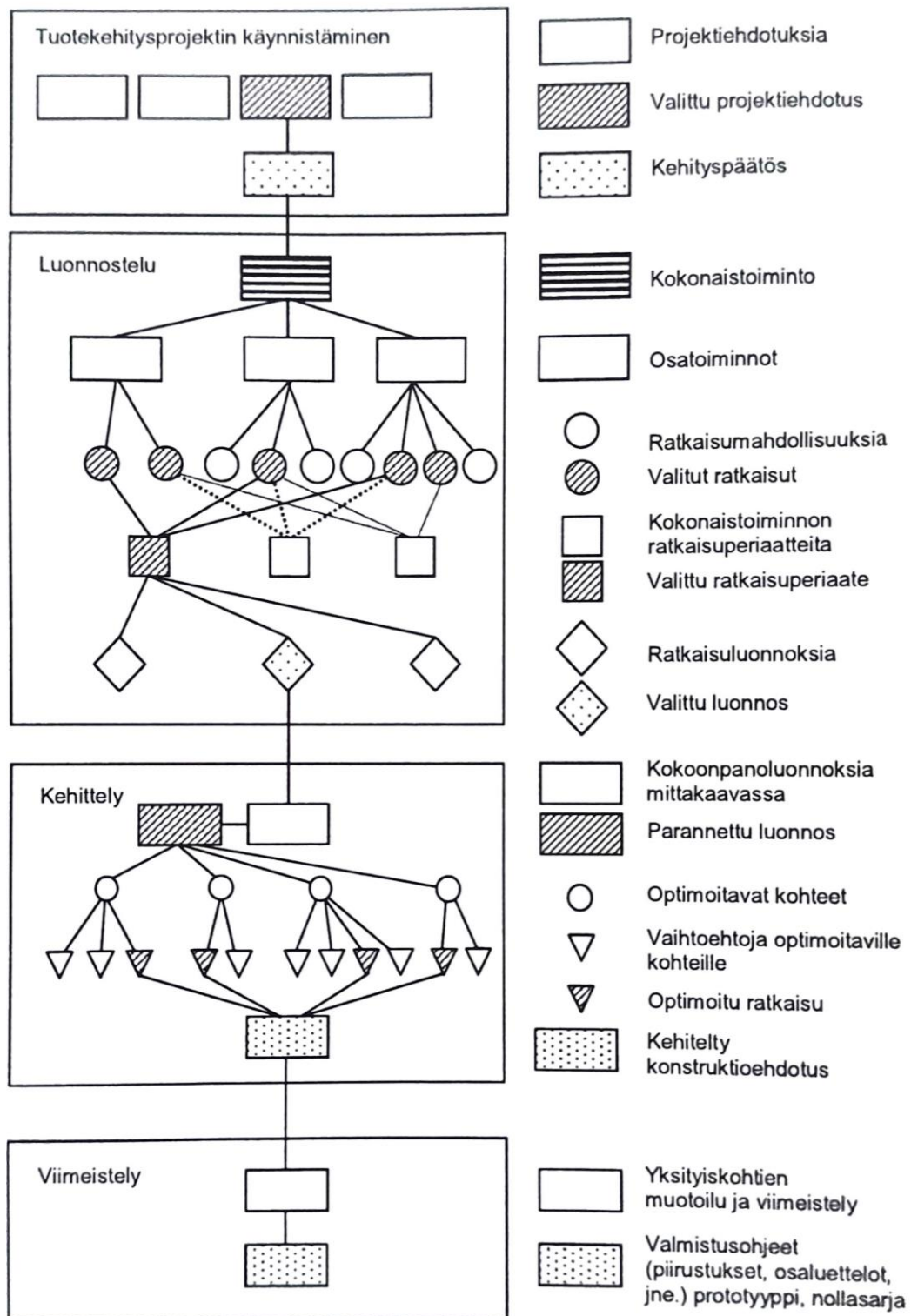
2 Tuotekehitysprojekti

2.1 Tuotekehityksen merkitys ja yleiskatsaus

Onnistunut tuotekehitystoiminta on yrityksen menestymisen yksi edellytys. Yrityksen on kehitettävä tuotteitaan jatkuvasti, muuten myynti vähenee ja viimein loppuu kokonaan. (Jokinen 2001, 9.) Yritys voi kehittää tuotteitaan ja kilpailukykyään alentamalla kustannuksia tai nostamalla laatua. Monesti tuotekehityksessä pyritään molempiin. Maailmanlaajuisesta markkinaosuudesta kilpaillessa yritys, mikä saavuttaa asiakkaan luottamuksen toimittamalla varmatoimisen tuotteen halutussa ajassa on yritys, joka menestyy (Fowlkes & Creveling 2007, xix).

Jokisen (2001, 10–11) mukaan tarve suunnittelumenetelmien kehittämiseen on lisääntynyt, koska tuotteiden elinikä on lyhentynyt. Kiristynyt kilpailu myös edellyttää kehitys- ja valmistuskustannuksien alenemista sekä laadultaan parempia tuotteita. Suunnittelussa pitää huomioida valmistuksen ja markkinoinnin vaatimukset. Jos siinä onnistutaan, tuotteiden kustannukset ja toimitusajat pienenevät eli kilpailukyky kasvaa.

Tuotekehitys voidaan jakaa kuvion (Kuvio 1.) mukaisesti neljään (4) toimintavaiheeseen. (Jokinen 2001, 14). Jos tuotekehitystä tehdään olemassa olevalla tuotteelle, kaikkia työvaiheita ei tarvitse suorittaa, sillä ne ovat huomioitu jo tuotetta tehdessä. Jos esimerkiksi ratkaisuperiaate on jo valittu ja päätetty tuotteen osalta, silloin ratkaisumahdollisuuksien pohjittaminen jätetään tekemättä ja siirrytään suoraan ratkaisuluonnoksien tekemiseen.



Kuvio 1. Tuotekehitysprosessin toimintavaiheet (Jokinen 2001, 16)

2.2 Käynnistäminen

On hyvin oleellista, että tuotekehityshankkeiden käynnistäminen tapahtuu oikein perustein. Ennen lopullista päätöstä on selvitettävä kustannukset, markkinointinäkömät, saatavat tuotot sekä työterveydelliset ja ympäristönsuojelulliset asiat. (Jokinen 2001, 14.)

Tuotekehitystoimintaan osallistuu monen eri alan osajia kuten markkinointi, insinöörit, valmistus ja muotoilijat (Hietikko 2008, 43). Insinöörit eivät välttämättä tiedä nostaako jonkin tietyn ominaisuuden kehittäminen markkina-arvoa riittävästi kustannuksiin nähden ja markkinointi ei välttämättä tiedä, onko jonkin asian kehittäminen mahdollista nykyisellä teknologialla. Tämän takia hyvä päätöksentekijä kuuntelee jokaisen kehitystyöhön liittyvän sektorin asiantuntijan mielipiteitä ja tekee päätöksen sen pohjalta.

Käynnistämisen kannattaa myös selvittää onko kyseiselle tuotteelle oikeasti kysyntää. Tuotetta voi yrittää myydä jo ennen sen kehittämistä mainitsemalla asiakkaille, että tuote on vasta suunnitteilla. (Matricomp).

2.3 Luonnostelu

Myönteisen päätöksen jälkeen aloitetaan luonnostelu. Mahdollisesti kaikki kehitykseen osallistuvat henkilöt ovat uusia, joten luonnosteluvaihe aloitetaan tehtävän analysoinnilla (Jokinen 2001, 14). Työlle kirjataan ylös vaatimukset ja toiveet. Ne voivat olla esim. asiakkaiden, tuotekehityspäätöksentekijöiden, direktiivien tai lakien määrittämiä arvoja. Samaa listaa voi käyttää tarkastuslistana, johon verrataan tuotekehitysprojektista saatuja tuloksia (Matricomp). Listalle halutaan mahdollisimman paljon numeraalisia määritteitä, sillä sanalliset määritteet ovat usein lukijasta kiinni. Esimerkiksi määrite "auton pitää olla nopea" on moniselitteinen. Mutta määrite "auton huippunopeus pitää olla yli 200 km/h" on yksiselitteinen. Numeraaliset määritteet varmistavat sen, että tuotekehitys on juuri sitä, mitä siltä halutaan. Lisäksi epätarkat määritteet ovat myös helppo sivuuttaa ja vaatimuslistasta saattaa tulla merkityksetön (Matricomp).

Vaatimukset kannattaa jakaa kolmeen eri ryhmään arvostelun helpottamiseksi. Ensimmäinen ryhmä on kiinteät vaatimukset, mikä ratkaisun tulee täyttää. Toinen ryhmä on vähimmäisvaatimukset. Vähimmäisvaatimuksilla on raja-arvot, jotka tulee ylittää tai alittaa kuten hyötysuhteen alaraja ja melutason yläraja. Viimeinen ryhmä on toivomukset, jotka huomioidaan mahdollisuuksien salliessa. (Jokinen 2001, 30.)

Vaatimuslistan valmistumisen jälkeen on hyvä aloittaa tehtävän yleistämällä. Tehtävän yleistäminen helpottaa irtautumaan ennakkokäsityksistä. Yleistämävaiheessa yritetään selvittää tehtävän kokonaistoiminto. Sen löydyttyä, se jaetaan vielä osatoimintoihin. (Jokinen

2001, 14–15.) Jos tuotekehityksen kohteena on laakeri, tehtävä voitaisiin yleistää muotoon ”muuttaa liikekitka vierimiskitkaksi”. Kyseinen määrite on yksinkertainen, mutta mahdollisuus uusiin keksintöihin on silti rajallinen, sillä määrite vieläkin rajoittaa ideointia. Jos taas tehtävä yleistetään vieläkin yksinkertaisempaan muotoon ”vähentää kitkaa”, mahdollisuus löytää eri periaatteilla toimivia ratkaisuita kasvaa, esim. magneetti- ja liukulaakeri. Yleistämistä ei kuitenkaan aina kannata tehdä yksinkertaisimpaan mahdolliseen muotoon, vaan sen taso on tapauskohtainen ja riippuu kehitystehtävän yleisyysasteesta (Jokinen 2001, 31). Projektin ollessa uusi, kannattaa yleistäminen tehdä mahdollisimman yksinkertaiseen muotoon. Projektin ollessa kehitystyö tuotteelle, joka on jo olemassa, kannattaa vain osatoiminnot yleistää riittävän yksinkertaisiksi. Esimerkiksi tuotekehityksen ollessa vanhan automallin päivittäminen, kokonaistoiminnon yleistäminen saattaa olla vain harhaanjohtavaa ja siirtää ajatukset täysin muunlaisiin kulkuneuvoihin. Kokonaistoiminnon ratkaisuperiaate on jo hyvin selvä ja tuotekehitystyö kannattaa keskittää yksittäisiin osiin.

Jokisen (2001, 31) mukaan yleistäminen voidaan suorittaa unohtamalla vaatimuslistan toiveet kokonaan ja unohtamalla myös sellaiset vaatimukset, jotka eivät ole täysin välttämättömiä. Määrälliset vaatimukset muutetaan laadullisiksi. Tämän jälkeen määritellään uudelleen ongelman ydin.

Ideoinnin tarkoitus on etsiä ja tuottaa kompromissivapaita ratkaisuperiaatteita, jotka palvelevat asiakasta ja yrityksen imagoa (Koivurova 2021). Ratkaisuperiaatteiden keksimiseen on monenlaisia ideoimismenetelmiä, joita tämän työn yhteydessä ei käsitellä. Sen sijaan katsotaan, mistä kaikesta ideoinnissa voi olla apua, oli ideointimenetelmä sitten mikä tahansa. Apua voi olla omista kokemuksista sekä muiden keksinnöistä. Samaa mekaanista ratkaisua voi mahdollisesti hyödyntää monella eri alalla. Golfpaloissa olevia muotoja voi hyödyntää esimerkiksi autoilussa aerodynamiikan parantamiseksi. Ideoinnissa kannattaa myös miettiä evoluution kehittämiä asioita, kuten linnuilla olevat siivet ja ontot luut, joiden käyttökohteena ovat esim. ilmailu ja 3D-tulostus. Teknistä ongelmaa voidaan ratkoa myös yhtälöiden avulla (Jokinen 2001, 71). Ratkaisujen löytämiseen voi käyttää fysiikan yhtälöitä tai luoda tapauskohtaisesti omia.

Osatoimintojen ratkaisumahdollisuuksien löydyttyä ne arvostellaan asetettujen vaatimusten ja tavoitteiden perusteella. Arvostelussa karsitaan huonot vaihtoehdot pois ja jäljelle jäävät vain vaihtoehdoista parhaimmat. (Jokinen 2001, 73.)

Jokisen (2001, 15) mukaan, osatoiminnoista valitaan teknistaloudellisin perustein parhaimmat vaihtoehdot. Eri vaihtoehtoja yhdistelemällä laaditaan kokonaistoiminnon täyttäviä ratkaisuja. Kyseisiä ratkaisuja verrataan vaatimus- ja toivelistaan, joita arvioidaan sen perusteella. Vähintään yhdestä kokonaisuudesta tehdään ratkaisuluonnos, jotta arviointi olisi

riittävän luotettavaa. Yleensä resurssit riittävät vain yhden ratkaisuluonnoksen kehittämiseen, joten arviointi on suoritettava perusteellisesti.

Osatoimintojen yhdistämisessä voidaan käyttää apuna kuvion (Kuvio 2.) mukaista morfologista analyysiä. Tavassa on tarkoitus tehdä osatoiminnoista matriisi, jossa osatoimintojen ratkaisut laitetaan riveille ja kokonaistoiminnon ratkaisuja etsitään yhdistelemällä osatoimintoja. (Jokinen 2001, 73). Osatoimintojen ja niiden ratkaisujen ollessa määriltään vähäiset morfologisesta analyysistä ei välttämättä ole apua. Jokisen (2001, 74) mukaan, yhdistelmiä karsitaan arvioimalla hyviä ja huonoja puolia. Sellaiset yhdistelmät poistetaan suoraan, jotka eivät selvästi täytä haluttuja tavoitteita. Jäljelle jääneitä ratkaisuperiaatteita työstetään ratkaisuluonnoksiksi.

Arvostelu on haastava tehtävä, koska montaa eri asiaa on vaikea huomioida samanaikaisesti. Arvostelun onnistumisestakaan ei ole täyttä varmuutta, sillä varmuutta kaikkien asioiden huomioimisesta ja niiden vaikutuksesta toisiinsa ei ole. Arvostelun lopputulosta voi parantaa ottamalla arvosteluun useampia henkilöitä. (Jokinen 2001, 75.) Mitä enemmän on arvostelijoita ja mitä kokeneempia he ovat, sitä todennäköisemmin saadaan arvostelu suoritettua perusteellisesti. Arvioinnissa on myös riskinä se, että hyvä idea saatetaan menettää, jos arvostelua ei suoriteta tarpeeksi huolellisesti (Hietikko 2008, 99). Arvosteluperiaatteita on monenlaisia ja tämän työn yhteydessä perehdytään vain taulukossa (Taulukko 1.) olevaan menetelmään.

Arvostelun voi suorittaa yleensä käyttäen järkeä ja hylätä sopimattomat ratkaisut suoraan. Jos ratkaisuvaihtoehtoja on kuitenkin runsaasti, silloin karkean arvostelun taulukosta (Taulukko 1.) voi olla hyötyä. Karkean arvostelun taulukossa on esillä yleisimpiä arvostelukriteerejä, mutta niitä voi muokata tarpeen mukaan. (Jokinen 2001, 76–77.) Karkea arviointi on hyvä huonojen ratkaisujen karsimiseen, sillä siinä vain katsotaan toteutuvatko määritteet. Taulukossa (Taulukko 1.) käytetyt merkit tarkoittavat seuraavaa: kyllä (+), ei (-), tiedon puute (?), vaatimuslista tarkistettava (!) (Jokinen 2001, 77).

Ratkaisuvaihtoehdot	Arvosteluperusteet							Huomautuksia (ohjeita, perusteluja)	Päätös
	A Vastaa tehtävän asetusta	B Täyttää vaatimustilan	C Toteuttamiskelpoisuus hyvä	D Kustannukset kohtuulliset	E Täyttää välittömät turvallisuus vaatimukset	F Soveltuu omaan alaan	G Muuta		
1	+	+	+	?	+	+		D: Lukuisat anturit nostavat hintaa	?
2	+	-						B: Hyötysuhde liian pieni	-
3	+	+	+	+	+	+			+
4	-	-							-
5	+	!	+	+	+	+		B: Vaatimustila tasapainoton ?	!
6	+	+	+	-					-
7	-	-							-
8	+	+	-						-
9	+	+	+	+	+	?		F: Tekninen tieto riittämätön ?	?
10	-	-							-
11	+	+	+	+	+				+
12	+	+	+	-					-

Taulukko 1. Karkean arvostelun taulukko (Jokinen 2001, 77)

Kun luonnostelu on saatettu loppuvaiheeseen ja ratkaisuluonnoksia on yksi tai mahdollisesti kaksi. Aloitetaan yksityiskohtaisempi arvostelu, jossa arvioidaan kuinka hyvin ratkaisu toteuttaa vaatimukset ja tavoitteet. Arvostelussa annetaan painoarvot arvostelukriteereille, jotka määrittävät mitkä asiat tapauksessa ovat tärkeämpiä kuin toiset. Yleensä painoarvot valitaan siten, että niiden summaksi tulee yksi. Painoarvojen päättämisen jälkeen arvostellaan vaatimukset asteikolla 0–4. Pisteiden määrittäminen nousevassa järjestyksessä ovat: hylätty, juuri hyväksyttävä, riittävä, hyvä, erittäin hyvä. Annetut pisteet kerrotaan painoarvoilla ja saatujen tulojen summa merkitään alas. Pistelasku ei ota riittäväällä tarkkuudella huomioon huonoja ominaisuuksia, joten sen tulokset eivät vielä varmaksi kerro vaihtoehtojen paremmuusjärjestyksestä. Ratkaisujen heikot kohdat kehystetään kuten taulukossa (Taulukko 2.) ja nämä kohdat tarkastellaan vielä erikseen. (Jokinen 2001, 78–80.)

Hietikon (2008, 99) mukaan, pisteytyksen jälkeen parhaaksi valittua ratkaisua on tarkoitus kehittää edelleen. On myös mahdollista, että parhain ratkaisu on yhdistelmä arvostelussa olevia ratkaisuita.

Arvostelukriteerio	Painoarvo	Ratkaisu 1			Ratkaisu 2			Ratkaisu 3		
		Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet
Ylikuormitettavuus	0,15	1,5	3	0,45	1,2	2	0,30	2,0	4	0,60
Hyötysuhde	0,05	0,80	2	0,10	0,90	3	0,15	0,95	4	0,20
Paino (kg / kW)	0,15	1,7	3	0,45	2,7	2	0,30	1,5	4	0,60
Osiin lukumäärä	0,05	suuri	1	0,05	pieni	3	0,15	keskinkert.	2	0,10
Ergonomia	0,05	hyvä	3	0,15	hyvä	3	0,15	hyvä	3	0,15
Turvallisuus	0,05	hyvä	3	0,15	hyvä	3	0,15	eritt. hyvä	4	0,20
Valmistus	0,05	helppo	3	0,15	helppo	3	0,15	vaikea	1	0,05
Asennus	0,10	vaikea	1	0,10	helppo	3	0,30	vaikea	1	0,10
Elinikä (vuosia)	0,05	7	1	0,05	15	3	0,15	20	4	0,20
Huollon määrä	0,10	kohtalainen	2	0,20	pieni	3	0,30	pieni	3	0,30
Valmistushinta	0,10	20.000	3	0,30	15.000	4	0,40	25.000	1	0,10
Kehityskustannukset	0,05	pienet	3	0,15	pienet	3	0,15	kohtalaiset	2	0,10
Toimitusaikariski	0,05	ei	4	0,20	ei	4	0,20	on	2	0,10
Yhteensä	1,0		32	2,50		39	2,85		35	2,80

Taulukko 2. Painoarvotaulukko (Jokinen 2001, 79)

2.4 Kehittely

Kehittely aloitetaan luomalla mittakaavassa oleva malli, josta yleensä havaitaan ongelmakohtia. Ongelmakohtia pyritään korjaamaan ideoinnin avulla, näin saadaan useampia parannettuja suunnitelmia. (Jokinen 2001, 15.) Ideointia voi tehdä monin eri menetelmin ja siinä kokemuksella on hyvin suuri rooli. Kokemus tuo nopeasti esille toimivaksi todettuja ratkaisuja, mutta samasta syystä se myös saattaa rajoittaa luovaa ajattelua.

Jokisen (2001, 15) mukaan optimointiin valitaan kokonaisuuden taloudellisesti ja toiminnallisesti merkityksellisimmät osat. Optimoinnissa perehdytään ratkaisuun soveltuviin raaka-aineisiin sekä edulliseen geometriaan. Työmenetelmänä käytetään usein arvoanalyysiä, mutta myös matemaattiset optimointimenetelmät tulevat esille edullisen geometrian etsimisessä.

Tuotekehitysprosessin toimintavaiheiden kuviosta (Kuvio 1.) selviää kehittelyprosessin työvaiheet. Ensiksi tehdään mittakaavassa oleva luonnos. Luonnoksesta valitaan optimoitavat kohdat ja niille mietitään optimointiratkaisuja. Ratkaisusta valitaan parhaat ja niistä syntyy kehitelty konstruktioehdotus. Optimoinnissa voi käyttää hyödykseen matematiikkaa ja luonnontieteitä. Konesuunnittelijalla lujuusoppi, dynamiikka ja geometria ovat isossa roolissa optimoinnissa.

Lujuuslaskennassa tasapainotetaan rakenteen ominaisuudet kestävyuden ja massan välillä. Rakenteen tulee kestää siihen kohdistuvat voimat, mutta liian luja rakenne on turhan

painava ja kallis. Painavat osat ovat huonoja myös liikkuvina osina, sillä hitausvoimat kasvavat hyvin suuriksi. Yksittäisten kappaleiden koko saattaa vaikuttaa myös muihin kappaleisiin. Esimerkiksi jos lentokoneen yhden osan massa kasvaa, tarvitaan isompi moottori, jolle tarvitaan enemmän polttoainetta, jolloin tarvitaan suuremmat siivet ja laskutelineet. (Hietikko 2004, 13–14.) Sama efekti toimii myös päinvastoin, jolloin yhden osan lujuuden optimointi sallii optimoinnin muille osille. Tämän takia on myös suotavaa, että optimointi aloitetaan osista, jotka vaikuttavat muihin esim. ensimmäiseksi toiminnalliset osat ja vasta viimeisenä optimoidaan kannattelevat rakenteet. Hietikon (2004, 67) mukaan yhteiskunnassa tehokkuus ja kilpailukyky ovat merkittäviä asioita, joten kustannusten pienentäminen on keskeinen asia tuotekehityksessä. Suunnitteluun sisältyy paljon huomioitavaa ja optimointi ilman tietokonetta on mahdotonta. Kokemus ja tietotekniikka auttavat optimiratkaisun löytämisessä.

Koneiden suunnittelussa värähtelyjen huomioonottamisesta on tullut edelleen tärkeämpää, kun koneiden käyttönopeudet ovat kasvaneet. Värähtelyt lisäävät osiin kohdistuvaa rasitusta ja pienentävät koneiden hyötysuhdetta. Värähtelyjen huomioiminen on tullut tärkeämmäksi myös rakenteiden suunnittelussa. Materiaalien lujuudet ovat kasvaneet, joka mahdollistaa kevyempien rakenteiden suunnittelu, mikä puolestaan kasvattaa värähtelyherkkyyttä. (Salmi & Virtanen 2006, 373.) Hietikon (2004, 22, 139) mukaan iskumainen voima voi aiheuttaa kaksinkertaisen rasituksen staattiseen kuormaan verrattuna ja pienetkin dynaamiset voimat voivat olla haitallisempia, kuin suuri staattinen voima. Kun kappaleeseen kohdistuu vaihteleva rasitus, sen kestävyys heikentyy ja kappale saattaa murtua tai vaurioitua vaikka oltaisiin reilusti materiaalin myötörajan alapuolella. Tätä kutsutaan väsymisilmiöksi ja se on vielä nykyäänkin selittävää teoriaa vaille. Väsymisen tarkastelussa luotetaan kokeellisiin tuloksiin tai hyvin yksinkertaistettuihin malleihin. Mitoituksessa pitää tietää keskimääräinen jännitys ja jännitysamplitudi. Väsymismurtumat alkavat aina pinnan epäjatkuvuuskohdista esimerkiksi lovista ja olakkeista.

Kun vaatimuslistan asettamat määritteet on saatu täyttymään, silloin kehitetty konstruktioehdotus on valmis. Jos taas vaatimuksia ei tällä ratkaisulla saada täyttymään, on kehittäelyvaihe aloitettava uudelleen jollakin toisella ratkaisuluonnoksella. (Jokinen 2001, 15.)

2.5 Viimeistely

Viimeistely on tuotekehitysprojektin vaihe, jossa tuotteelle laaditaan piirustukset ja ohjeet. Osa- ja kokoonpanopiirustuksien lisäksi voidaan tehdä työselosteita, joissa määritellään tuotteelle esimerkiksi korroosiosuojaus ja pintakäsittely. (Jokinen 2001, 17, 97.) Viimeistelyvaiheessa tilataan myös mahdolliset muotit ja työkalut, jotka ovat valmistuksen kannalta oleellisia (Koivurova 2021).

Sarjavalmistukseen menevistä tuotteista tehdään koekappale, jotta sen ominaisuuksia voidaan tutkia ja varmistua tavoitteiden täyttymisestä. Koekappaleen jälkeen voidaan vielä tehdä nollasarja, jonka avulla testataan valmistusmenetelmiä sekä saadaan lisää tietoa ominaisuuksista ja valmistushajonnasta. Kalliiden tai suurten kokonaisuuksien kohdalla ei välttämättä voida tehdä koekappaletta tai nollasarjaa. Epävarmuutta herättävistä yksityiskohdista voidaan kuitenkin tehdä koekappaleita. (Jokinen 2001, 17.) Tuotteesta voidaan myös valmistaa eriasteisia prototyyppejä, joilla testataan ergonomiaa, valmistettavuutta ja toimivuutta (Koivurova 2021). Viimeistelyvaiheen päätteeksi tehdään vielä lopullinen päätös tuotannon suhteen (Jokinen 2001, 17).

3 Tärjyöttimen tuotekehitys

3.1 Vaatimusten määrittäminen

Työ aloitettiin perehtymällä projektiin liittyvään dokumentaation esim. tarjoukset, palaveri-raportit sekä sähköpostiviestit. Niiden pohjalta luotiin tuotekehitysprojektiin tarvittava vaatimus- ja toivelista. Kaikkia tarvittavia määritteitä ei ollut dokumenteissa. Tällaiset määritteet olivat niin sanotusti itsestäänselvyksiä kuten esimerkiksi se, että runkorakenteen on kestettävä siihen kohdistuvat kuormitukset.

Vaatimusten ja toiveiden kirjaamisen jälkeen niitä muokattiin yksinkertaisemmiksi ja yksiselitteisemmiksi. Vaatimus- ja toivelistaan panostettiin työn alkuvaiheessa, jotta koko loppupuoli tuotekehitysprojektista muuttuisi selkeämmäksi. Jokaiselle vaatimus- ja toivelistan määritteelle pyrittiin asettamaan numeraaliset arvot, mutta kuitenkin kaikille arvoille se ei ollut hyvä ratkaisu. Tällaisia arvoja olivat monet toiveet esimerkiksi ”helposti kokoonpantava” oli parempi pitää kvalitatiivisena määritteenä tämän tuotekehitysprojektin kohdalla. Jos toiveeseen olisi asetettu numeraalinen arvo, kuten kokoonpanon maksimi aika 80 % alkuperäisestä tai kokoonpantava alle 16 tunnissa, siihen keskittymiseen menisi turhaan resursseja. Kyseinen tuote ei ollut tarkoitettu sarjatuotantoon, jolloin kokoonpano ei ollut yhtä tärkeässä roolissa, mutta silti siihen kannatti kiinnittää huomiota.

Vaatimus- ja toivelistaan muodostui määritteitä eri kategorioista. Kategoriat olivat geometriset, toiminnalliset, rakenteelliset sekä taloudelliset ominaisuudet. Geometrisiin ominaisuuksiin kuului määritteet, jotka määrittivät laitteen ulkomittoja ja muotoja. Toiminnalliset ominaisuudet viittasivat laitteen suorituskykyyn. Rakenteelliset ominaisuudet kuvasivat rakenteiden kestävyyttä, kestoikää sekä ennalta määrättyjä materiaaleja. Taloudelliset määritteet sisälsivät valmistuskustannukset ja mahdolliset säästöt. Jokaisen vaatimuksen sekä toiveen osalta vielä varmistettiin, oliko kyseessä vaatimus vai toive.

Vaatimus- ja toivelistan osalta päädyttiin seuraaviin geometrisiin ominaisuuksiin:

- Vaatimus: Painopisteen maksimi etäisyys anturista 200 mm
- Vaatimus: Materiaalin maksimi tiputuskorkeus 300 mm
- Vaatimus: Liityttävä 1480 mm etäisyydellä oleviin 80 mm neliöputkipalkkeihin
- Vaatimus: Maksimi leveys 1500 mm
- Vaatimus: Maksimi korkeus 1000 mm
- Vaatimus: Maksimi pituus 1500 mm
- Vaatimus: Maksimissaan 160 mm asiakkaan rungon alapuolella
- Toive: Helposti kasattava

Toiminnallisiin ominaisuuksiin kirjattiin

- Vaatimus: Massavirta 1450 kg/h
- Vaatimus: Yhden annostuksen aika 5 s

Täräsyöttimen rakenteellisiin ominaisuuksiin saadut arvot olivat

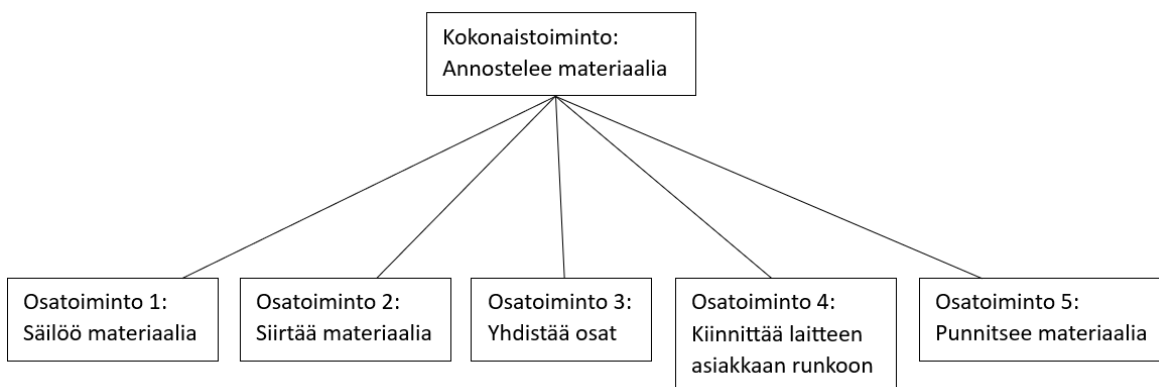
- Vaatimus: Varmuus myötörajaan vähintään 2
- Vaatimus: Säiliön sekä runkorakenteiden kestävä vähintään 10 vuotta
- Vaatimus: Ominaistaajuus vähintään 10Hz yli lineaaritäräyn toimintataajuudesta
- Vaatimus: Kosketuspintojen materiaali AISI 304 tai vastaava

Sekä täräsyöttimen tuotekehitysprojektin taloudelliset määritteet

- Vaatimus: Edullisempi kuin nykyinen täräsyötin
- Toive: Edullisemmat osat
- Toive: Edullisempi kokoonpano

3.2 Ratkaisuluonnosten tekeminen ja valinta

Vaatimus- ja toivelistan valmistumisen jälkeen tuotekehitysprojektin edistämistä jatkettiin tarkastelemalla vanhaa täräsyötintä. Tämän vaiheen tarkoituksena oli kerätä sen osatoiminnot ja niiden ratkaisuperiaatteet, sillä nämä periaatteet säilyvät samana myös tämän tuotekehitysprojektin kohdalla. Laitteelle oli valittu kokonais- ja osatoimintokaavion (Kuvio 3.) osatoiminnoille ratkaisuperiaatteet, jotka olivat säiliö materiaalin säilömiseen, lineaaritärä materiaalin siirtämiseen, punnitusanturi materiaalin punnitsemiseen, liityntärunko asiakkaan runkoon kiinnittymiseen sekä sisärunko kaikkien muiden osien yhdistämiseen.



Kuvio 3. Kokonais- ja osatoiminnot

Tuotekehitysprojektin ollessa jatkokehitystä olemassa olevalle tuotteelle hyvin suuri osa tuotekehitysprojektin työvaiheista ohitettiin ja siirryttiin suoraan tuotekehitysprojektin

toimintavaiheissa (Kuvio 1.) merkittyy valittu ratkaisuperiaate kohtaan. Tässä työvaiheessa osatoimintojen ratkaisuperiaatteille tehtiin useita eri ratkaisuluonnoksia, jotka tuotekehitysprojektin myöhemmässä vaiheessa arvioitiin.

Laitteen osista punnitusanturi sekä lineaaritäry olivat valmiiksi määritettyjä puolivalmisteita, joten niiden kehittämiseen tai valitsemiseen ei keskitytty tässä tuotekehitysprojektissa. Muiden osien kohdalla aloitettiin miettimällä, mitkä kaikki muuttujat vaikuttivat osien toimintaan. Kehittelyssä olevia osia oli vähän ja ne olivat yksinkertaisia, mikä rajasi erilaisten yhdistelmien määrää huomattavasti. Tässä kohtaa projektia huomattiin, että kyseisessä tuotekehitysprojektissa kannatti keskittyä optimointiin ideoinnin sijasta.

Säiliön muuttujina oli erilaiset läpileikkauksien muodot sen eri tasoilla sekä sen suuntaus eli oliko se suora tai johonkin suuntaan kalteva. Yksi yhdistelmä esimerkiksi olisi läpileikkaukseltaan suorakulmiomainen pystysuora säiliö ja toinen taas pyöreä taaksepäin kallellaan oleva säiliö.

Antureita ei kehitelty tässä projektissa, mutta niiden määrällä pystyi vaikuttaa tuotteen hintaan, painopisteen tarpeeseen tai kokoonpanon onnistuvuuteen. Tästä syystä muuttujissa oli mukana anturien lukumäärä, jonka muuttujina olivat kolme tai neljä kappaletta antureita. Neljällä anturilla painopisteen saa sijoitettua helpommin haluttuun kohtaan, mutta neljällä anturilla runko jää helpommin ilmaan yhden anturin kohdalta etenkin hitsatussa rakenteessa. Tästä syystä esimerkiksi kameroiden ja lasermittojen jalustat ovat useasti kolmijalkaisia.

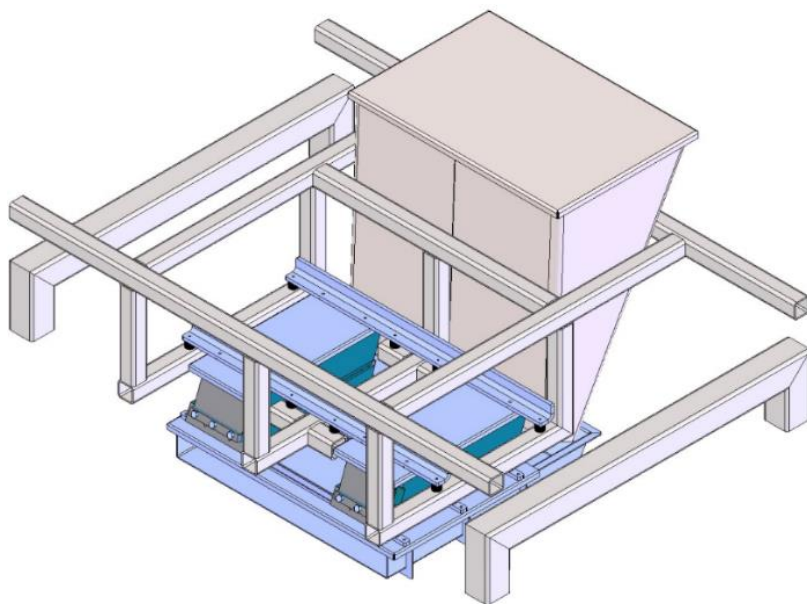
Liityntärungon osalta muuttujina olivat rungon osien määrä sekä muoto. Erilaisia vaihtoehtoja oli esimerkiksi umpinainen yksiosainen runko tai edestä ja takaa avoin kaksiosainen runko. Rungon muoto vaikutti osittain anturien määrään ja tietyt yhdistelmät olivat epäkelvoja.

Sisärungon ollessa erittäin riippuvainen muiden osien muodosta ja koosta olivat sen kohdalla ideointi mahdollisuudet hyvin rajoitettuja. Sisärungon muotoon vaikutti anturien lukumäärä ja säiliön muoto. Joten sisärungon osalta ideointi jätettiin suorittamatta alkuvaiheessa ja sen sijaan ratkaisuluonnoksien malleja tehdessä ideoitiin erilaisia ratkaisuja tapauskohtaisesti.

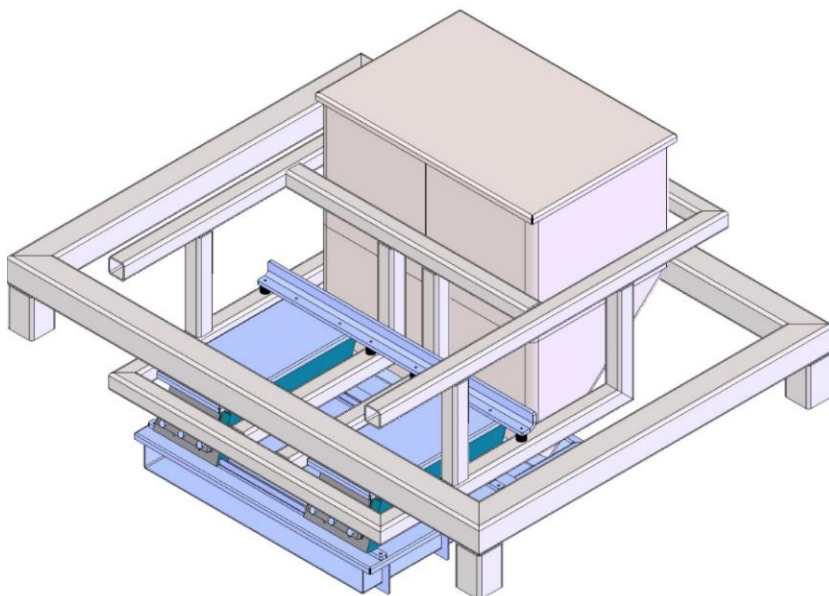
Ideoinnin tuloksia yhdistelemällä luotiin erilaisia ratkaisuluonnoksia. Osa ratkaisuluonnoksista oli suoraan epäkelvollisia esimerkiksi osien yhteensopivuuden tai painopisteen osalta. Tämän tyylliset yhdistelmät hylättiin suoraan. Kirjattu karkea arviointi ohitettiin tuotekehitysprojektin ollessa osatoiminnoiltaan vähäinen ja osiltaan yksinkertainen. Valinnat tehtiin

miettimällä mahdollisia vikoja ratkaisuluonnoksista ja karsimalla epäkelvöllisiä vaihtoehtoja pois.

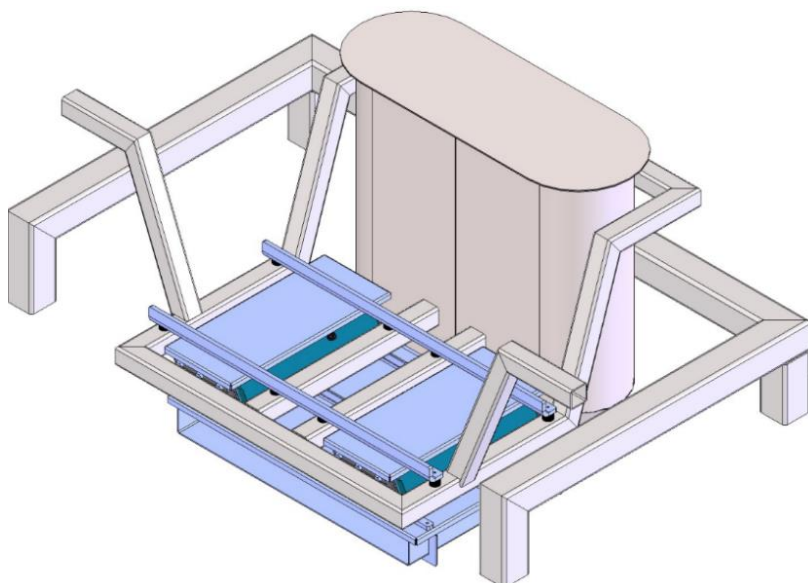
Arviointiin päätyneet ratkaisuluonnokset todettiin parhaiksi jäljelle jääneistä vaihtoehtoista. Valituissa ratkaisuluonnoksissa arvioitiin olevan parhaimmat virtausominaisuudet sekä osien valmistettavuudet. Tarkempaan arviointiin jäi kolme erilaista ratkaisuluonnosta (Kuvat 1–3.) ja ne arvioitiin painoarvotaulukon (Taulukko 2.) mukaan.



Kuva 1. Ratkaisuluonnos 1



Kuva 2. Ratkaisuluonnos 2



Kuva 3. Ratkaisuluonnos 3

Arvioinnista saatiin arviointitaulukon (Taulukko 3.) mukaiset tulokset, joista saatiin laaja yleiskuva ratkaisuluonnosten ominaisuuksista. Ratkaisuluonnos 3 sai parhaat pisteet painoarvoilla sekä ilman. Arvioinnin perusteella ratkaisuluonnos 3 valittiin kehittelyyn ja optimointiin meneväksi ratkaisuksi. Kehittelyyn valitulla ratkaisuluonnoksella oli lähes kaikki ominaisuudet parempia, kuin muilla arvioinnissa olevilla ratkaisuluonnoksilla ja erityisen heikkoja huomiota vaativia epäkohtia ei ollut.

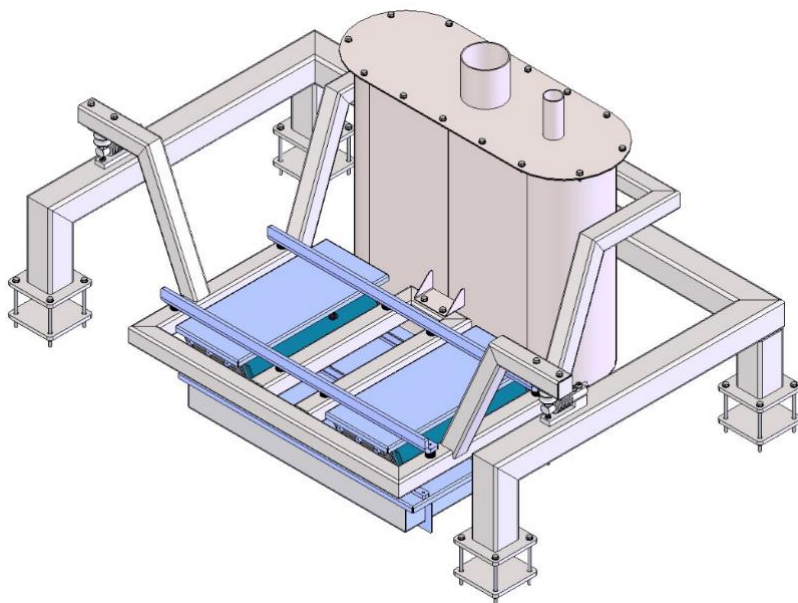
Arvostelukriteeri	Painoarvo	Ratkaisuluonnos 1			Ratkaisuluonnos 2			Ratkaisuluonnos 3		
		Ominaisuus	Pisteet	Painoitettuna	Ominaisuus	Pisteet	Painoitettuna	Ominaisuus	Pisteet	Painoitettuna
Osien lukumäärä	10 %	31	2	0,2	31	2	0,2	29	3	0,3
Valmistus	5 %	Haastava	2	0,1	Keskinkert.	2	0,1	Helppo	3	0,15
Kokoonpano	5 %	Haastava	1	0,05	Keskinkert.	2	0,1	Keskinkert.	3	0,15
Valmistus hinta	15 %	Kallis	2	0,3	Keskinkert.	3	0,45	Edullinen	4	0,6
Massa (kg)	15 %	213	2	0,3	236	2	0,3	195	3	0,45
Painopiste (±mm)	25 %	110	2	0,5	103	2	0,5	41	4	1
Tilavuus (dm ³)	5 %	120	2	0,1	230	3	0,15	110	2	0,1
Kestävyys	20 %	Kestävä	4	0,8	Kestävä	4	0,8	Keskinkert.	2	0,4
Yhteensä	100 %		17	2,35		20	2,6		24	3,15

Taulukko 3. Arviointitaulukko

3.3 Kehittely ja optimointi

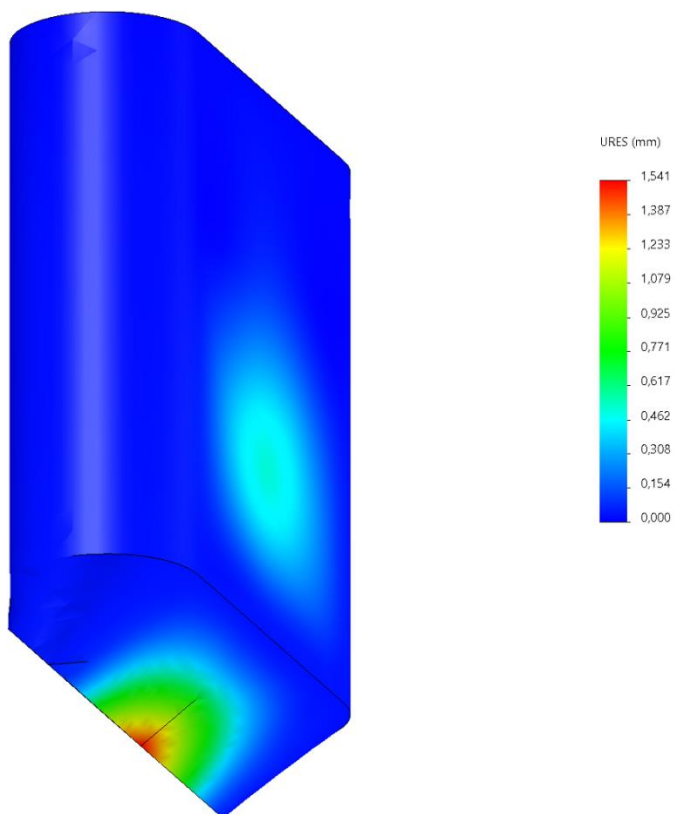
Kehittely aloitettiin tekemällä paranneltu luonnosmalli, johon lisättiin kiinnitykset liityntärungolle, säiliölle sekä lineaaritäryille. Malliin myös lisättiin punnitusanturit ja säiliön kanteen liittyvät syöttö- sekä korvausilmputket.

Parannellun kokoonpanoluonnoksen (Kuva 4.) sekä arviointitaulukon (Taulukko 3.) perusteella valittiin optimoitavat kohteet, joihin tuotekehitysprojektin kehittälyvaiheessa keskityttiin. Optimointiin valituilla ominaisuuksilla oli suurimmat painoarvot arvioinnissa ja optimoitaviksi ominaisuuksiksi valikoitui tärysyöttimen painopiste, kestävyys sekä massa.

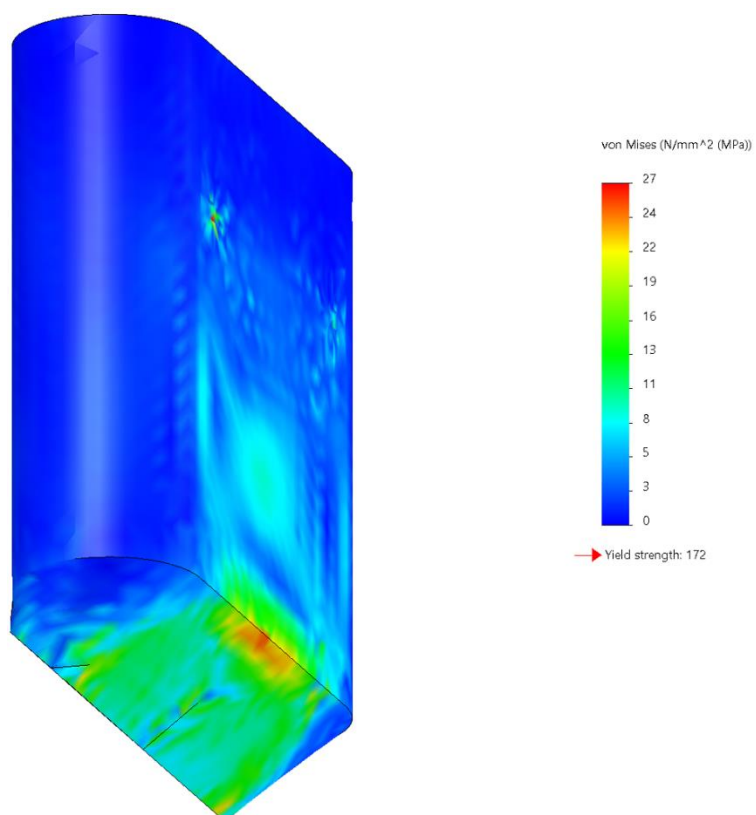


Kuva 4. Paranneltu kokoonpanoluonnos

Tärysyöttimen koolle kirjatut määritteet sallivat säiliön suurentamisen. Säiliön korkeutta kasvatettiin, joka lisäsi säiliön tilavuutta noin 15 %. Suurennetun säiliön kestävyyttä analysoitiin elementtimenetelmää käyttäen. Elementtimenetelmää varten tehtiin yksinkertaistettu malli säiliöstä, jolle asetettiin sen sisäpinnoille täytenä olevan säiliön kuormaa vastaava voima. Voima asetettiin alaspäin mennessä kasvavaksi, kuten hydrostaattinen paine. Elementtimenetelmällä saatuja tuloksia tarkasteltiin ja todettiin valitun ainevahvuuden olevan riittävä staattisen kuorman osalta. Säiliön suurin muodonmuutos (Kuva 5.) oli sen alaosassa, johon suurin osa siirrettävän materiaalin massan aiheuttamasta voimasta kohdistui. Säiliön jännitteet (Kuva 6.) jäivät mataliksi ja suurin jännitys esiintyi sen alaosassa hitsausauman kohdalla. Maksimijännitteet jäivät huomattavasti materiaalin myötörajan alapuolelle ja varmuusluku oli yli 6 materiaalin myötörajaan verrattuna.

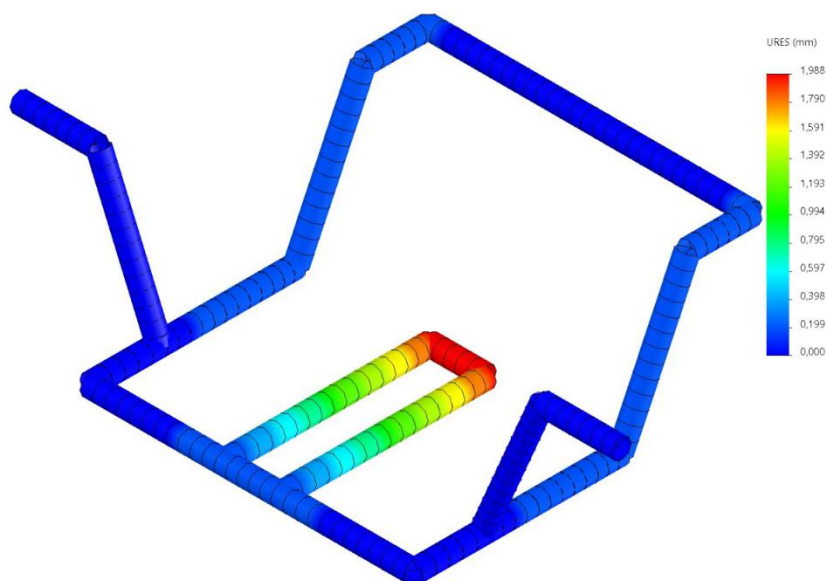


Kuva 5. Säiliön muodonmuutokset

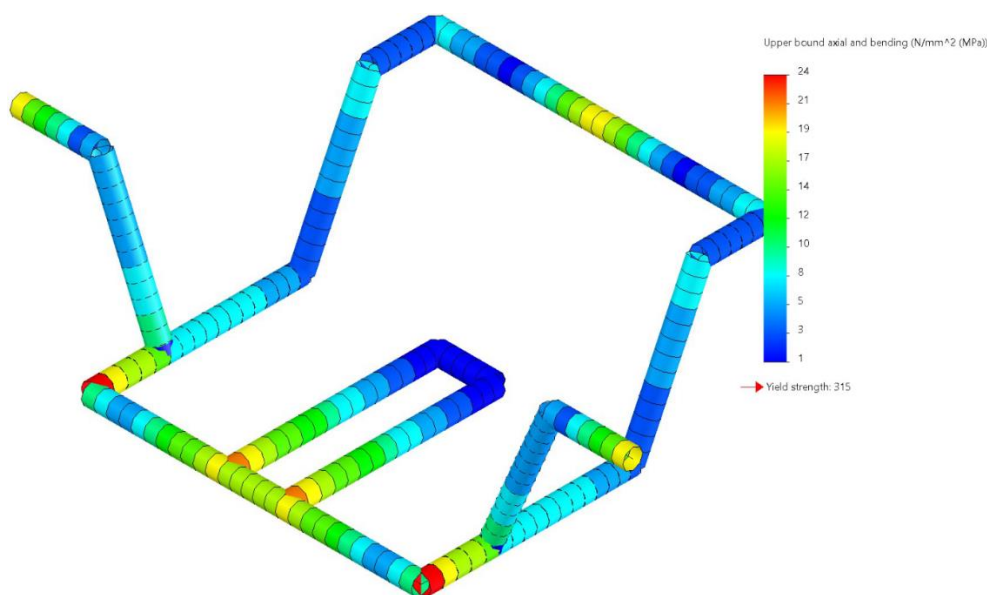


Kuva 6. Säiliön jännitykset

Sisärunkoa simuloitiin elementtimenetelmällä, jossa sille asetettiin kuormat, jotka vastasivat runkoon kiinnitettyjä osia niiden ollessa täynnä annosteltavaa materiaalia. Muodonmuutokseen saaduista tuloksista (Kuva 7.) havaittiin suurimman muodonmuutoksen olevan liian suuri verrattuna palkin pituuteen. Muodonmuutos vaikuttaisi myös lineaaritäryn asentoon, joka taas taaksepäin kallistuessaan vaikuttaisi materiaalivirtaan negatiivisesti. Rungon muissa osissa muodonmuutokset kuitenkin olivat lähes olemattomat. Sisärungon jännitteet (Kuva 8.) olivat hyvällä varmuudella materiaalin myötörajan nähden ja varmuusluvuksi saatiin 13. Sisärunko vaati muutoksia, jotka vähentäisivät sen suurinta taipumaa.

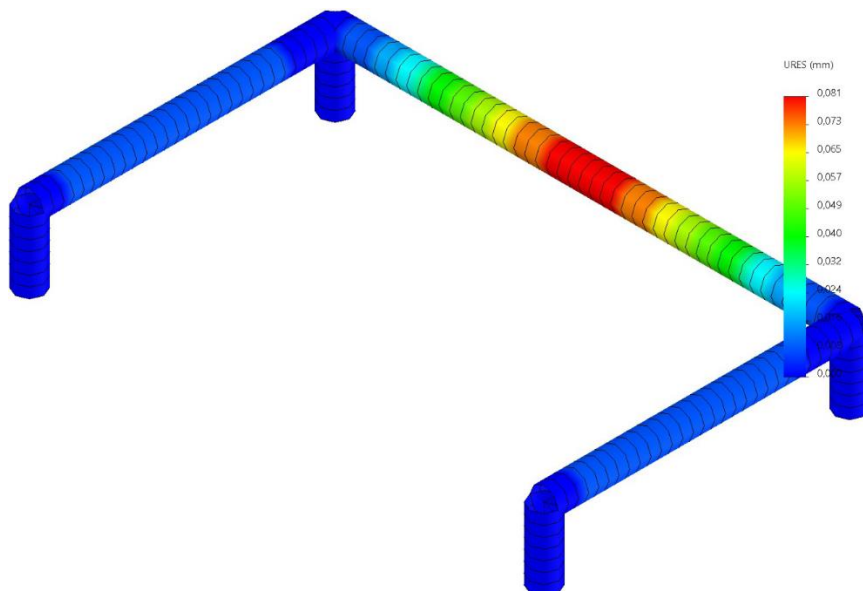


Kuva 7. Sisärungon muodonmuutokset

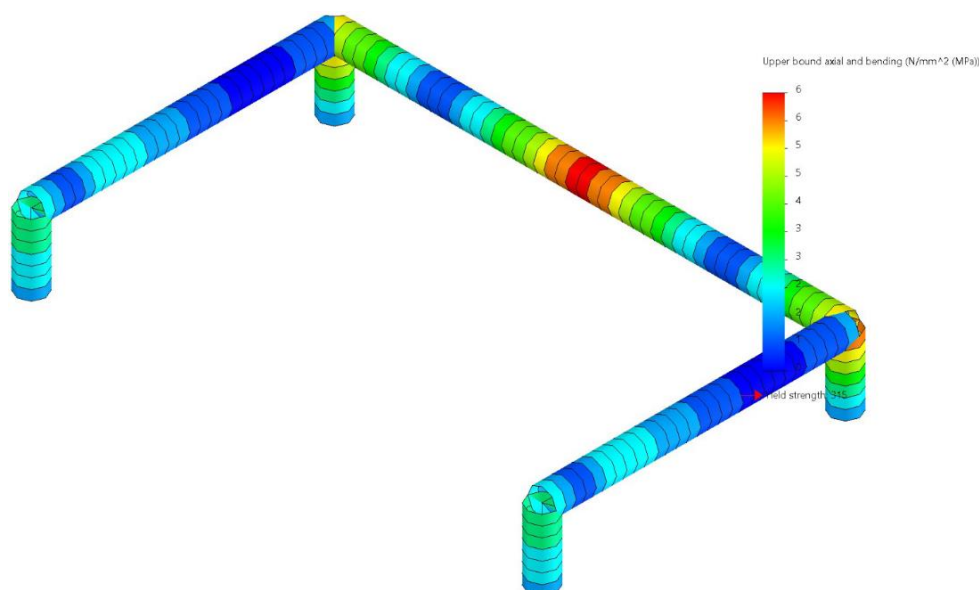


Kuva 8. Sisärungon jännitykset

Liityntärunkoa simuloitiin kahden edeltävän osan tapaan ja saatuja tuloksia analysoitiin. Liityntärungon muodonmuutokset (Kuva 9.) olivat hyvin pienet koko rungossa sekä myös liityntärungon jännitteet (Kuva 10.) jäivät hyvin alhaiselle tasolle. Liityntärungon suurin muodonmuutos jäi alle huomattavasti alle yhden millimetrin ja sen varmuusluku oli yli 50.

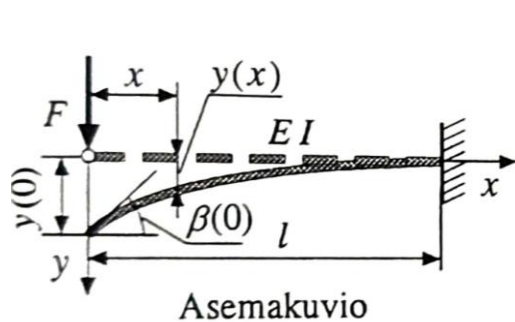


Kuva 9. Liityntärungon muodonmuutokset



Kuva 10. Liityntärungon jännitykset

Elementtimenetelmän saatujen tuloksien perusteella aloitettiin ideointi kehitettäville kohteille. Ideoinnissa käytettiin apuna lujuusopin sekä geometrian kaavoja. Kaavoista sai hyvän peruskäsityksen siitä, millä toimenpiteillä saataisiin muokattua lopputulos halutunlaiseksi. Ensimmäiset kaavat, joita tarkasteltiin, olivat ulokepalkin taipuman sekä momentin (Kuvio 4.) laskemiseen tarkoitetut kaavat.



Ulokekannatin, pistekuormitus

Taipumaviivan yhtälö

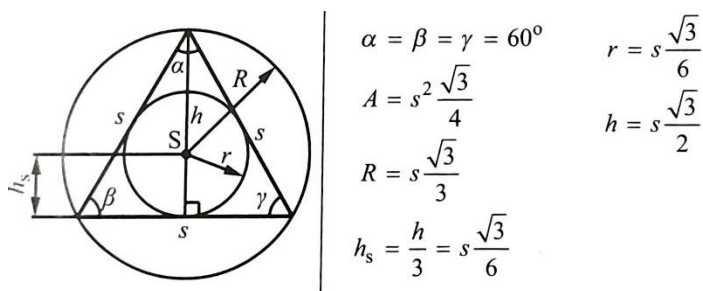
$$y(x) = \frac{F l^3}{6 E I} \left[2 - 3 \left(\frac{x}{l} \right) + \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right]$$

$$y_{\max} = y(0) = \frac{F l^3}{3 E I}$$

Kuvio 4. Ulokepalkin pistekuormitus (Mäkelä yms. 2016, 147)

Maksimitaipumaan pystyy vaikuttamaan muuttamalla voimaa, pituutta, kimmokerrointa tai neliömomenttia. Sisärungon kuormaan ei pystynyt vaikuttamaan riittävästi lineaaritäryjen ollessa ennalta valittu komponentti, jonka paino on kokonaisuudessaan 50 % rungolle kohdistuvasta voimasta. Säiliön seinämäpaksuus vaikutti kuormaan myös, mutta se oli vain 13 % kokonaiskuormasta. Säiliön tilavuutta ei myöskään haluttu pienentää, sillä se oli jo arvioiduista ratkaisuluonnoksista pienin. Vaihtoehdot jäivät pituuteen, kimmokertoimeen sekä neliömomenttiin eli palkin profiiliin. Näistä suurin vaikutus on pituudella, sillä se on asetettu kaavassa kolmanteen potenssiin.

Sisärunkoa tarkasteltiin myös painopisteen optimoinnin osalta. Sisärungon tukipisteiden siirtämisellä pystyi vaikuttamaan sen geometrisen painopisteen paikkaan erittäin helposti. Massan painopiste määritettiin suunnitteluohjelman työkaluilla. Geometrinen painopiste määritettiin tasasivuisen kolmion kaavojen (Kuvio 5.) mukaan. Geometrinen painopiste ja massan painopiste pitivät olla mahdollisimman lähellä toisiaan. Kuorman vaihtuessa täytösykliin mukaan oli geometrinen painopiste paras sijoittaa tyhjennetyin ja täytetyn laitteen massakeskipisteiden väliin.



$$\alpha = \beta = \gamma = 60^\circ$$

$$r = s \frac{\sqrt{3}}{6}$$

$$A = s^2 \frac{\sqrt{3}}{4}$$

$$h = s \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$R = s \frac{\sqrt{3}}{3}$$

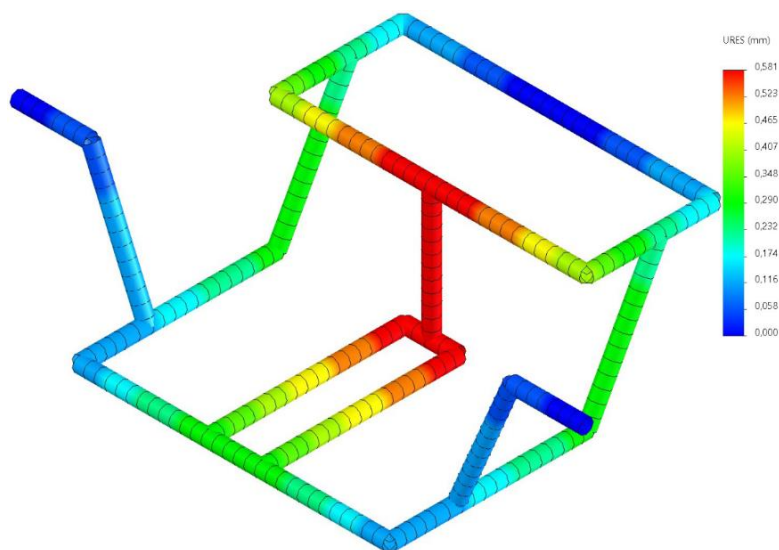
$$h_s = \frac{h}{3} = s \frac{\sqrt{3}}{6}$$

Kuvio 5. Tasasivuinen kolmio (Valtanen 2016, 15)

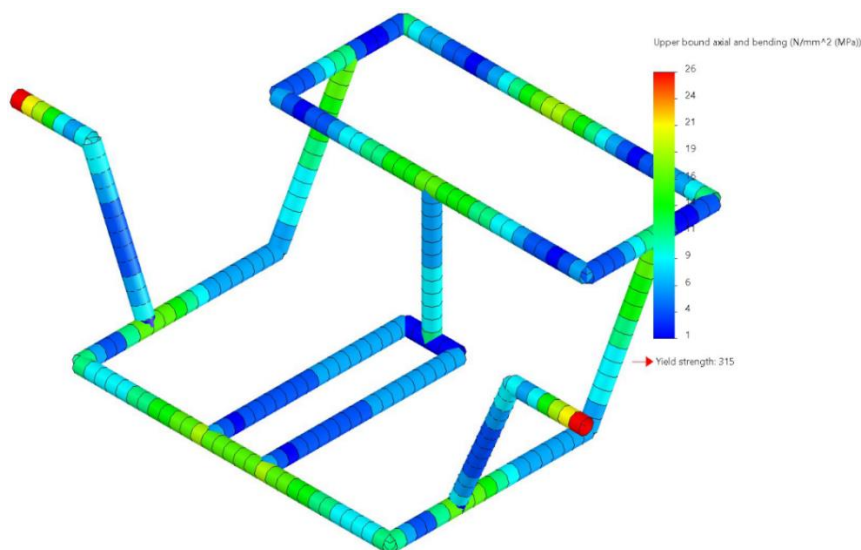
Kerättyjen tietojen perusteella tehtiin muokkaustoimenpiteitä tärysytin osille. Sisärungolle suunniteltiin pystytuki, jonka tarkoituksena oli tukea ja vähentää muodonmuutosta kappaleen kriittisimmästä kohdasta. Sisärungon heikoimman kohdan tukeminen mahdollisti myös neliöputkipalkin profiiliin vaihtamisen kevyemmäksi. Sisärunkoa muokattiin myös

geometrisen painopisteen osalta. Sisärungon kahden jalan paikkaa siirrettiin, jolloin geometrisen painopiste saatiin massakeskipisteiden puoliväliin. Liityntärungon profiilia kevennettiin huomattavasti ja sisärungon jalkojen siirto mahdollisti myös liityntärungon mittojen muuttamisen entistä pienemmäksi.

Staattisen kuorman osalta optimoituja kappaleita tarkasteltiin uudelleen elementtimenetelmän avulla. Tuen lisääminen muutti kappaleen taipuman (Kuva 11.) huomattavasti pienemmäksi. Sisärungon havaittiin olevan jännityksiltään (Kuva 12.) samaa suuruusluokkaa kuin edellinen versio putkipalkin kevennyksestä huolimatta. Kappaleelle aiheutunut jännitys sekä muodonmuutos jakautuivat tasaisemmin koko rungolle.

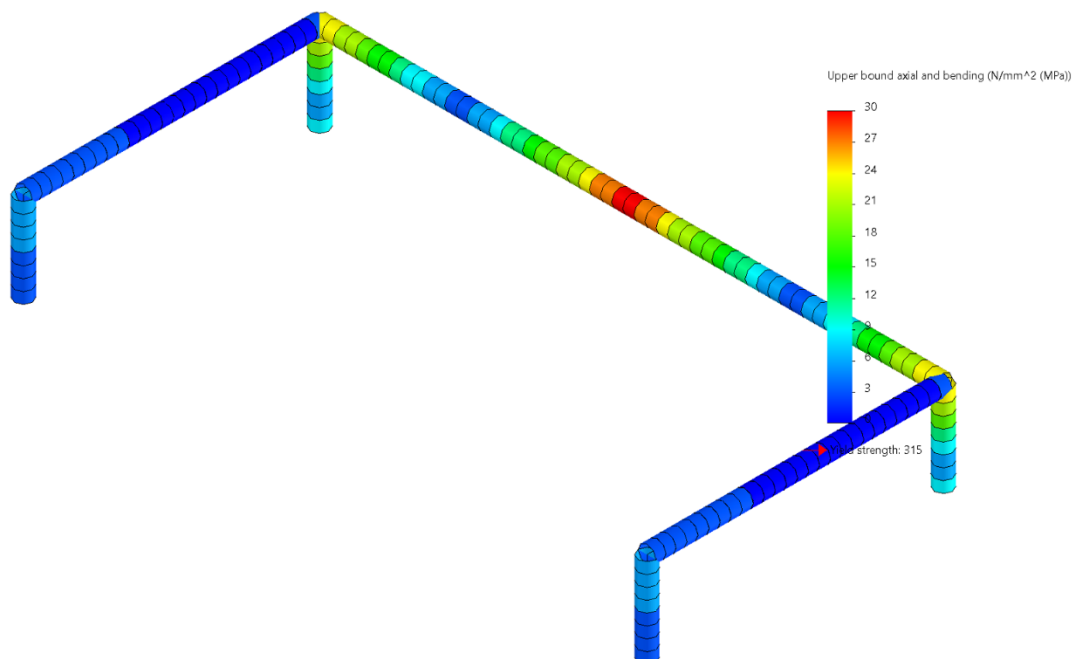


Kuva 11. Muokatun sisärungon muodonmuutokset

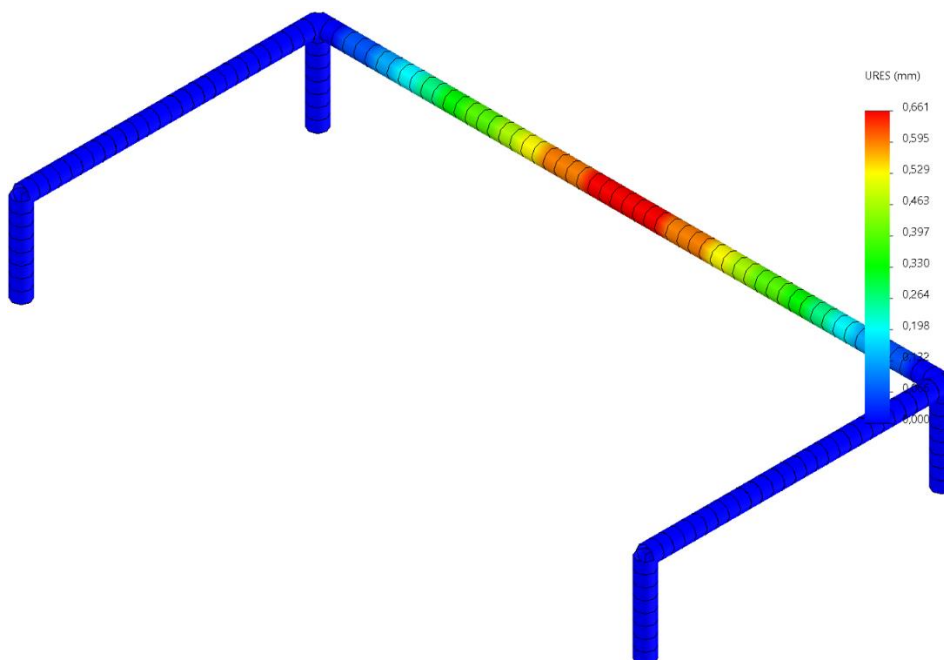


Kuva 12. Muokatun sisärungon jännitykset

Liityntärungon profiilia kevennettiin ja sen pituutta materiaalin syöttösuunnassa lyhennettiin. Liityntärungon kevennykset kasvattivat sen muodonmuutoksen (Kuva 13.) moninker-
taiseksi, mutta muodonmuutoksen arvo silti säilyi riittävän pienenä eli alle yhden millimetrin.
Liityntärungon lyhentäminen lyhensi myös voimien momenttivarsia ja pienensi jännityksiä
(Kuva 14.), mutta sillä ei ollut vaikutusta kappaleen heikoimman kohdan osalta.



Kuva 13. Muokatun liityntärungon muodonmuutokset

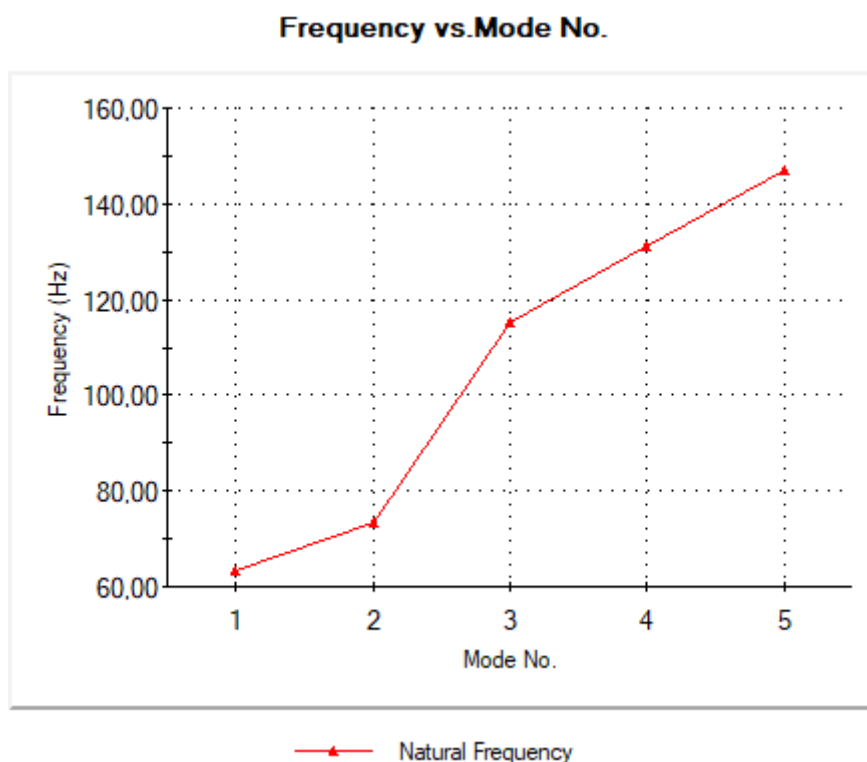


Kuva 14. Muokatun liityntärungon jännitykset

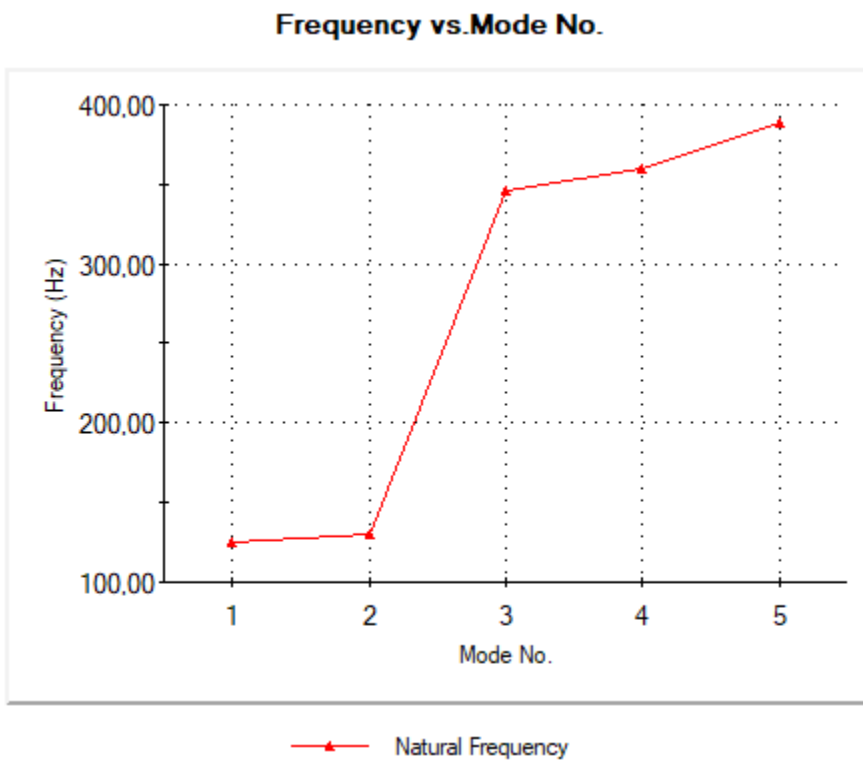
Osien ominaistajuuudet määritettiin suunnitteluohjelman avulla ja saatuja tuloksia verrattiin asetettuihin vaatimuksiin. Vaatimus- ja toivelistan mukaan osien ominaistajuuksien tuli olla 10Hz yli lineaaritäryn toimintataajuudesta. Lineaaritäryn toimintataajuus oli 50Hz, joten osien ominaistajuuksien piti olla yli 60Hz.

Jokaisella kappaleella on monia ominaistajuuksia, jotka liittyvät niihin muotoihin, jonka kappale yrittää omaksua eri taajuuksilla. Kappaleilla on ääretön määrä ominaistajuuksia, mutta useimmissa tapauksissa muutaman ensimmäisen tietäminen riittää. Kuormituksetkin vaikuttavat kappaleen ominaistajuuteen joko nostamalla tai laskemalla kappaleen jäykkyyttä. Kappaleeseen kohdistuvat kuormitukset on myös huomioitava taajuusanalyysiä tehdessä. (Solidworks.)

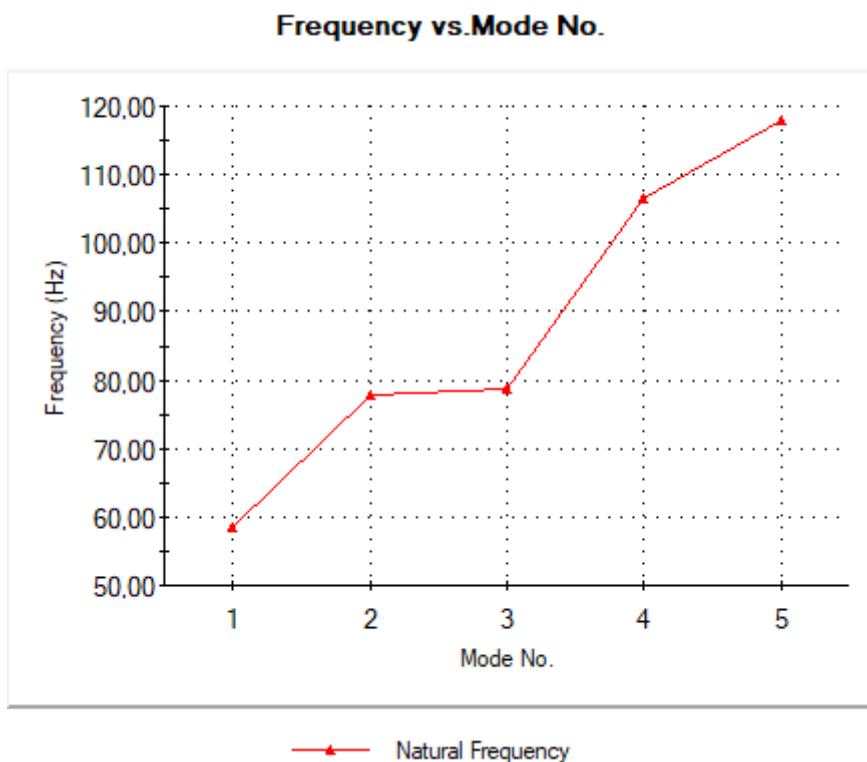
Säiliölle, sisä- sekä liityntärungolle tehtiin taajuusanalyysit suunnitteluohjelman avulla. Säiliön ominaistajuuudet (Kuvio 6.) olivat yli 60Hz, joka oli vaatimuslistan mukainen. Liityntärungon ominaistajuuudet (Kuvio 7.) olivat huomattavasti lineaaritäryn toimintataajuuden yläpuolella. Sisärungon ominaistajuuus (Kuva 8.) jäi alle määritetyn taajuusalueen ja vaati muokkaustoimenpiteitä.



Kuvio 6. Säiliön ominaistajuuudet



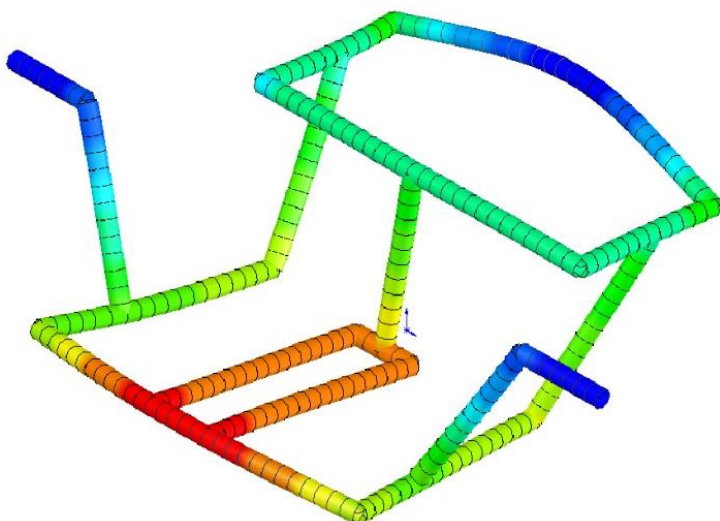
Kuvio 7. Liityntärungon ominaistaajuudet



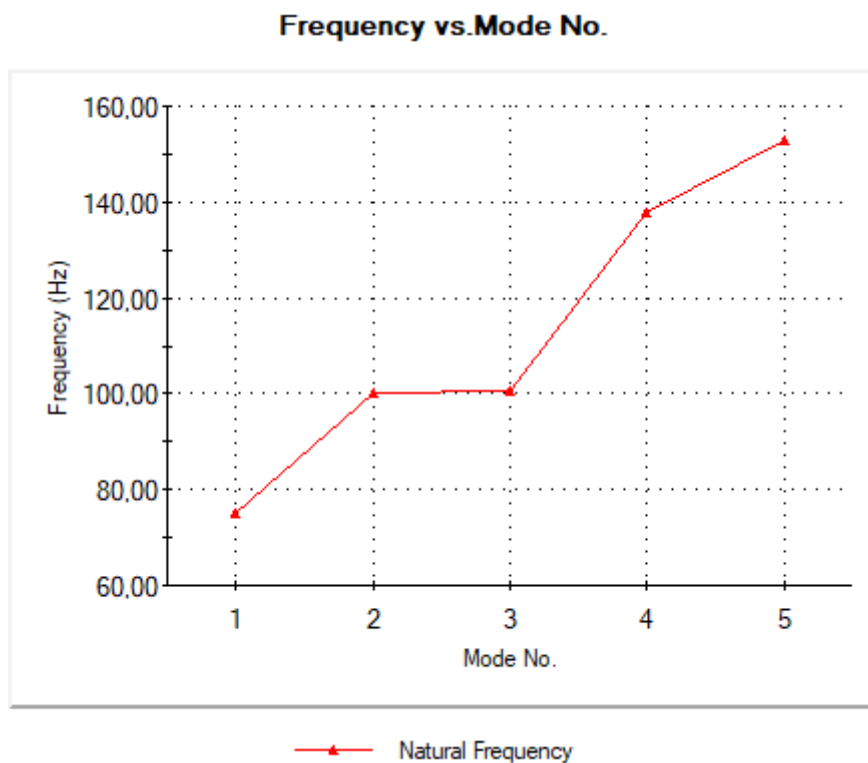
Kuvio 8. Sisärungon ominaistaajuudet

Taajuusanalyysin tuloksista saatiin myös tietää mihin muotoon sisärunko ensimmäisellä ominaistaajuudellaan pyrkii (Kuva 15.) ja tämän muodon estäminen siirtäisi myös

ominaistaajuuksien arvoja. Muotoa tarkasteltaessa havaittiin sisärungon kiinnityskohtien neliöputkipalkkien olevan osat, jotka vaikuttivat siihen, kuinka helposti kappale värinän aiheuttamaan muotoon pääsisi. Kiinnityskohtien neliöputkipalkkien profiilien paksuntamisen arvioitiin ehkäisevän muutosta. Muokkaustoimenpiteet tehtiin sisärungolle ja sen muokatulle mallille tehtiin uusi taajuusanalyysi, jonka tuloksista (Kuvio 9.) havaittiin muutosten olleen onnistuneet. Kiinnityskohtien putkipalkkien profiilin suurentaminen nostatti ominaistaajuuden vaaditun arvon yli.



Kuva 15. Värinän aiheuttama muodonmuutos sisärungossa korostetusti

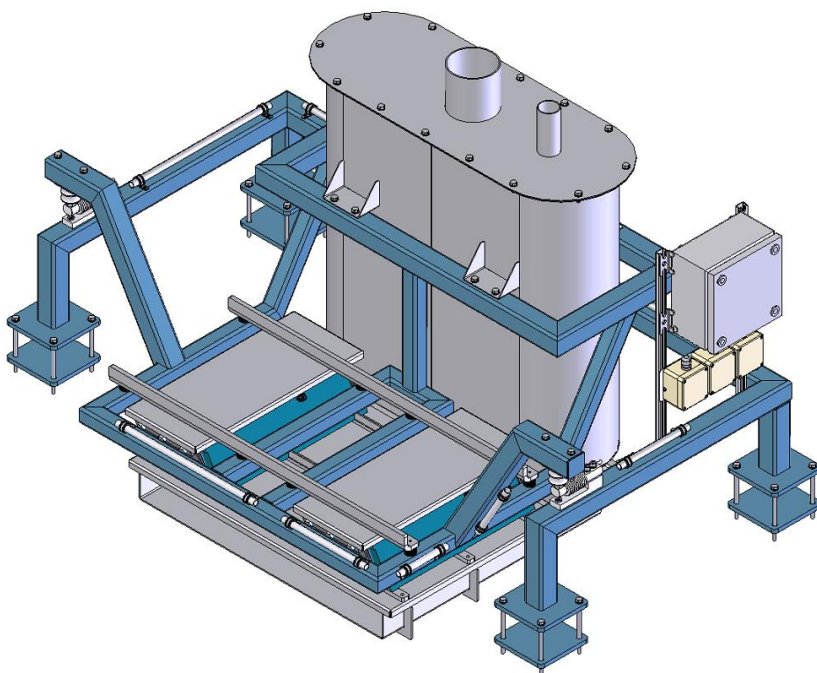


Kuvio 9. Muokatun sisärungon ominaistaajuudet

Muokatuille tärysyöttimen osille tehtiin kestoikäanalyysit, joissa pysyväksi kuormaksi asetettiin siihen liittyvän rungon sekä laitteiston paino. Vaihtuvaksi kuormaksi asetettiin syötetävän materiaalin massan aiheuttama voima. Pysyvien kuormien aiheuttamat jännitteet olivat hyvin matalat koko laitteessa sekä vaihtokuorman aiheuttaman massan muutos oli vähäistä. Kestoikäanalyysien mukaan tärysyöttimen säiliö, liityntä- sekä sisärunko kestävät teoreettisesti äärettömän määrän tyhjennys- ja täyttösyklejä.

3.4 Viimeistely

Tuotekehitysprojektin tässä vaiheessa tärysyöttimeen lisättiin sähkökaappi, kaapeloinnin putkitukset sekä kytkentärasiat. Piirustuksissa ilmoitettiin pinnoitteet sekä värit rakenneteräsosille. Värit lisättiin myös tärykuljettimen malliin (Kuva 16.) ja piirustuksiin lisättiin hitsausmerkit, osaluettelot sekä osanumeroinnit.



Kuva 16. Viimeistelyt tärysyöttin

Tärysyöttimen valmistaminen ei vaatinut erikoistyökaluja kuten hitsausjigä, joten työ ei vaatinut lisäsuunnittelua. Tärykuljetinta tai sen prototyyppiä ei tämän opinnäytetyön aikana valmistettu.

4 Yhteenveto ja pohdinta

Tuotekehitysprojektissa päästiin niihin vaatimuksiin, jotka pystyttiin määrittämään ilman ko-keita. Tärysyöttin oli geometrisilta mitoiltaan raja-arvojen sisällä ja sen rakenteellinen kestävyys oli riittävällä varmuudella myötörajan nähden. Tärysyöttimen rakenteiden ominais-
taajuudet olivat myös riittävän kaukana lineaaritärin taajuudesta. Ja laitteen osat kestivät teoreettisesti äärettömän määrän käytöstä johtuvia kuormituksia. Kaikkia vaatimuksia kuitenkaan ei pystytty todentamaan.

Tärysyöttimen hinnan tarkka tietäminen olisi vaatinut tarjouksia alihankkijoilta, joten todellista hintaa ei saatu selville. Tärysyöttimen kuitenkin arvioitiin täyttävän vaatimus halvemmasta hinnasta, sillä tärysyöttimessä oli vähemmän osia ja materiaalia.

Tärysyöttimen toiminnallisten vaatimusten täytyminen jäi myös tietämättä, sillä niiden arvojen tarkka tietäminen olisi vaatinut mittauksia. Vanhan tärysyöttimen version täyttäessä toiminnalliset arvot oletettiin kehitellynkin version täyttävän ne. Sillä lineaaritärinällä oli vähemmän massaa liikutettavana, joten sen oletettiin toimivan paremmin.

Tuotekehitysprojekti katsottiin onnistuneeksi. Säiliön tilavuus kasvoi noin kahdeksan prosenttia. Osien määrä, johon ei huomioitu ruuveja tai muita kiinnitystarvikkeita väheni 43 %. Tärysyöttimen massa pienentyi 46 %. Geometrisen sekä massan painopisteen välinen suurin etisyys lyheni 57 %.

Kaksi jatkokehitys ideaa nousi esille tuotekehitysprojektin aikana. Kehitysideat löydettiin tuotekehitysprojektissa tehtyjen havaintojen perusteella.

Tärysyöttimen runkorakenteiden jännitteet jäivät hyvin mataliksi. Tämä mahdollistaisi materiaalin vaihdoksen johonkin heikompaan ja kevyempään kuten alumiiniin. Runkorakenteen keventäminen taas saattaisi mahdollistaa kevyemmän lineaaritärin käyttämisen, jolloin runkoa voisi keventää entisestään tai säiliön tilavuutta suurentaa huomattavasti heikentämättä lineaaritärin toimintaa.

Toinen jatkokehitysidea liittyi materiaalisäiliön täyttöön ja sen tilavuuden hyötykäyttöön. Säiliön ollessa kapea sen täyttäminen yhdestä pisteestä jättäisi huomattavan määrän säiliön tilavuutta käyttämättä. Jos taas materiaalin syöttö saataisiin haaroitettua useampaan pisteeseen niin silloin suurempi osuus säiliön tilavuudesta saataisiin hyötykäytettyä. Kehitysidean pystyisi toteuttamaan haaroitusputkella tai -pellillä.

Lähteet

Fowlkes, W. & Creveling, C. 2007. Engineering methods for robust product design. Boston: Addison-Wesley.

Hietikko, E. 2004. Palkki: Lujuuslaskennan perusteet. Helsinki: Otava.

Hietikko, E. 2008. Tuotekehitystoiminta. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä.

Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. Helsinki: Otatieto.

Koivurova, H. 2021. Tuotekehityksen vaiheet. Viitattu 13.10.2023. Saatavissa <https://www.patteristo.fi/ajankohtaista/tuotekehityksen-vaiheet/>

Matricomp. Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä. Viitattu 13.10.2023. Saatavissa <https://matricomp.fi/artikkelit/tuotekehityksen-vaiheet/>

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2016. Tekniikan kaavasto. Tampere: Tammertekniikka.

Salmi, T. & Virtanen, S. 2006. Dynamiikka. Tampere: Pressus.

Solidworks. Frequency Analysis. Viitattu 24.10.2023. Saatavissa https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/cworks/c_Frequency_Analysis.htm

Tamtron a. Tamtron jatkaa voimakasta kasvuaan – ostaa Lahti Precisionin. Viitattu 13.10.2023. Saatavissa <https://tamtrongroup.com/fi/tamtron-ostaa-lahti-precisionin/>

Tamtron b. Yritys. Viitattu 5.10.2023. Saatavissa <https://lahtiprecision.com/yritys/>

Valtanen, E. 2016. Tekniikan taulukkokirja. Jyväskylä: Genesis-Kirjat.