

T-ruuvien valmistuksen kehitysprojekti

Sahalta laserille



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Konetekniikka, insinööri (AMK) Riihimäki

Syksy 2022

Simo Pietarila

Konetekniikka, insinööri AMK

Tekijä Simo Pietarila

Työn nimi T-ruuvien valmistuksen kehitysprojekti

Ohjaaja Timo Kärppä

Tiivistelmä

Vuosi 2022

Tämä opinnäytetyö käsittelee Leoko Oy:n painonnosto- ja voimanostotankojen lukoissa käytettävän T-ruuvien lattaosan uudelleen suunnittelua nykyaikaisempia materiaaleja ja valmistusmenetelmiä hyödyntäen. Sen päämääränä on löytää uudenaikaisempi valmistusmenetelmä, muotoilu ja materiaali, jotka nopeuttavat T-ruuvien lattaosan valmistusta ja parantavat sen ulkonäköä kuitenkin heikentämättä mekaanisia ominaisuuksia ja käsiteltävyyttä. T-ruuvien lattaosa sinänsä on pieni ja yksinkertainen, mutta sen on täytettävä varsin tiukat vaatimukset.

Opinnäytetyön on tilannut Leoko Oy, 1976 perustettu, Tampereella sijaitseva painonnosto- ja voimanostovälineitä valmistava yritys. T-ruuvia, jonka lattaosaa kehitettiin tullaan käyttämään useissa Leoko Oy:n tuotteissa.

Tässä työssä luodaan katsaus sopiviin materiaaleihin, tutkitaan mahdollisia valmistusmenetelmiä, arvioidaan niiden ominaisuuksia ja sopivuutta tällaisen osan tuotantoon. Lisäksi esitetään kuvaus 3D-mallinnuksesta ja kehitys- ja muotoiluprosessista.

Tuloksissa todetaan, että tämän projektin puitteissa sopivin materiaali on rakenneteräs ja toimivin tuotantomenetelmä on laserleikkaus. Näillä on mahdollista täyttää mekaaniset ja taloudelliset vaatimukset. Osan esteettiset, kokoonpantavuuteen ja käytettävyyteen liittyvät vaatimukset on täytettävä suunnittelullisin ja muotoilullisin keinoin. Tekniset vaatimukset pystyttiin täyttämään, mutta ulkonäölliset seikat vaativat vielä jatkokehittelyä.

Fyysisenä lopputuloksena on aikaan saatu tuotantoerällinen uudenmallista T-ruuvien lattaosaa, joka on valmistettu myyntituotteiksi. Se on savutettu usean koe-erän kautta kerätyn tiedon pohjalta parannelluista malleista. Koe-erissä havaitut poikkeamat on pystytty pääosin poistamaan, ja jäljelle jääneiden vaikutus on saatu mitätöityä. Kehitysprojektin kautta valmistunutta mallia tullaan käyttämään tuotannossa.

Avainsanat Laserleikkaus, teollinen muotoilu, tietokoneavusteinen suunnittelu, tuotekehitys

Sivut 54 sivua

This thesis is about product development project of a handle part of a T-shaped hand screw, used to lock a collar on sleeve of a sporting barbell, made by Leoko Oy. The goal is to find a more modern method of manufacture, design, and material to streamline production of this handle part and improve its appearance without any detriment to mechanical properties or usability. This part is simple but must meet a rigorous set of requirements.

The project was ordered by Leoko Oy, a company producing weightlifting and powerlifting equipment. It was established in 1976 in Tampere Finland. The developed T-shaped screw is applied to several products of Leoko Oy

This report presents possible materials, research of applicable manufacturing methods and assessments of their properties and their applicability in this case. It also includes an account of the development process, including 3D-modelling and design.

As a result, it was found that structural steel is the most suitable material. The production method applied is laser cutting. Mechanical and economic demands are met easily through material and method selection. The demands of aesthetic, fabrication and usability must be met through design. Technical requirements were met, but some aspects of the products appearance need further development.

This project created a production batch of T-shaped screws with new design. They were refined through data, collected from several small test batches of various designs. It was possible to eliminate the deviations found during this process and thereby create a new model, currently used in production.

Keywords CAD, industrial design, laser cutting, product development

Pages 54 pages

Sisälllys

Termit, lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Opinnäytetyön tausta ja tavoite.....	3
2.1	Leoko Oy.....	3
2.2	Painonnosto ja voimanosto	7
2.2.1	Painonnosto	7
2.2.2	Voimanosto	8
2.3	Tuotekehitysprojektin tavoitteet	10
2.4	Tuotekehityksen syy.....	11
2.5	T-ruuvi tuotekehityksen kohteena.....	14
2.6	Case: Leoko Oy:n painonnosto- ja voimanostotankojen lukoissa käytettävän T-ruuvin lattaosan kehitys opinnäytetyönä	19
3	Teollinen tuotekehitys.....	20
3.1	Tuotekehitysprosessi	20
3.2	Teollinen muotoilu	22
3.3	DFMA ajattelu	23
4	Materiaalit, valmistus- ja suunnittelumenetelmät	24
4.1	T-ruuvin lattaosaan sopivista materiaaleista	24
4.2	T-ruuvin lattaosan valmistusmenetelmiä	25
4.2.1	Kuumataonta.....	25
4.2.2	Valaminen	26
4.2.3	3D-tulostaminen	27
4.2.4	Lävistäminen	28
4.2.5	Plasma- ja polttoleikkaus	29
4.2.6	Vesileikkaus	29
4.2.7	Laserleikkaus	30
4.3	Mallinnus ja siihen käytetyt ohjelmistot.....	30
5	Case: Leoko Oy:n painonnosto- ja voimanostotankojen lukoissa käytettävän T- ruuvin lattaosan kehitys	35

5.1	Uuden osan suunnittelua	36
5.2	Ehdotettuja muotoiluja	37
5.2.1	Vaihtoehto 1, pyöristetty suorakulmio	38
5.2.2	Vaihtoehto 2: ohjausnokat.....	38
5.2.3	Vaihtoehto 3: Kaareva ja lovettu	40
5.2.4	Vaihtoehdot 4.1, 4.2: suorakulmio, lovettu logolla	41
5.2.5	Vaihtoehto 4.3: suorakulmio, lovettu, ilman logoa	42
5.2.6	Vaihtoehto 5: Korotettu, logolla.	43
5.3	Uuden osan valmistus	44
5.3.1	Koesarjat.....	45
6	Löydökset ja suositukset	49
7	Pohdinta	50
	Lähteet.....	53

Termit, lyhenteet

CAD	Lyhenne englannin kielen sanoista: Computer Assisted Design, Tietokoneavusteinen suunnittelu. Yleisnimitys ohjelmistoille, joilla voidaan mallintaa kappaleita ja tuottaa niistä piirustuksia.
Cr 3	Kolmiarvoinen kromi. Yhdisteissä, kuten teollisuuskemikaaleissa esiintyvä kromin muoto, joka ei aiheuta syöpävaaraa.
Cr 6	Kuusiarvoinen kromi. Ihmiselle syöpävaarallinen kromin muoto, joka esiintyy kemiallisissa yhdisteissä
DFA	Design for Assembly, kokoonpantavuuden huomioiva suunnittelu
DFM	Design for Manufacturing, valmistettavuuden huomioivasuunnittelu
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly, valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden huomioiva suunnittelu
IPF	International Powerlifting Federation, kansainvälinen voimanolitio, urheilujärjestö
IWF	International Weightlifting Federation, kansainvälinen painonostoliitto, urheilujärjestö
Linssitarra	Tarra, jonka painettu pinta on suojattu laminoimalla sen päälle linssimäinen, kirkas polymeerikalvo.
Neodyymimagneetti	Niin sanottu supermagneetti, magneetti, jonka vetovoima on erityisen suuri verrattuna vanhanaikaisempiin ferriittimagneetteihin.
Nestaus	Suunniteltujen leikkeiden asettelu levyaihiolle siten, että materiaalia jää mahdollisimman vähän hyödyntämättä.
Nuorrutus	Lämpökäsittely, joka tuottaa erityisen hyvin muodonmuutosta vastustavia kappaleita. Onnistuu vain tarkoitukseen erityisesti seostetuilla teräslaaduilla, eli nuorrutusteräksillä.

Painopakka	Levypainot, joilla painonnostotanko tai voimanostotanko on kuormattu.
Peittäus	Metallin pinnan puhdistus hapettumista, ruosteesta ja epäorgaanisista jäämistä liottamalla kappaletta peittäusnesteessä, joka on useimmiten happopitoista.
Standardi	Suositusluonteinen, yhteisen toimintatavan ohjeistava asiakirja. Standardisoinnilla luodaan määritelmiä, joita noudatettaessa voidaan osoittaa tuotteiden ja prosessien olevan yhden mukaisia ja vertailukelpoisia keskenään. Standardointi lisää tuotteiden yhteensopivuutta ja turvallisuutta, parantaa kuluttajan ja ympäristön suojaa ja helpottaa kaupankäyntiä myös kansainvälisesti.
Valssihilse	Kuumana muokatun teräksen pintaan muodostunut musta oksidikerros.

1 Johdanto

Markkinoilla pitkään olleen tuotteen tuotekehityksen päämäärä on jonkin tuotteen ominaisuuden parantaminen. Se voi tarkoittaa esimerkiksi tuotteen valmistettavuuden, kustannustehokkuuden, käytettävyyden, kestävyiden tai markkinoitavuuden parantamista. Lisäksi voidaan pyrkiä kustannusten, ympäristökuormituksen sekä energiankulutuksen pienentämiseen. Tuotekehityksen saattaa sysätä liikkeelle esimerkiksi materiaalin tai osien saatavuuden heikkeneminen tai lainsäädännön tai viranomais määräysten muutokset. Siitä, mikä ominaisuus on olennaisin tai tärkein ei ole mitään sääntöä, vaan kaikissa tuotteissa on aina jostain näkökulmasta kehitettävää. Kehitettävä ominaisuus vaihtelee aina näkökulman mukaan. Useimmiten mitään tiettyä ominaisuutta ei kannata optimoida muita ominaisuuksia ohittaen. Tämän seurauksena tuotekehityksen lopputulos on aina jonkinlainen kompromissi, jossa painottuu jokin ominaisuus. Onnistunut tuotekehityksen lopputulos on tuote, jonka jotkin ominaisuudet ovat parantuneet, ilman että minkään muun osa-alueen ominaisuudet olisivat heikentyneet.

Tämä opinnäytetyö käsittelee Leoko Oy:n painonosto- ja voimanostotankojen lukoissa käytettävän T-ruuvien lattaosan uudelleen suunnittelua nykyaikaisempia materiaaleja ja valmistusmenetelmiä hyödyntäen. T-ruuvi on alun perin suunniteltu jo 1970-luvulla, jolloin monet nykyään yleisessä käytössä olevat valmistusmenetelmät, kuten vesileikkaus, 3D-tulostus ja laserleikkaus eivät olleet teollisesti hyödynnettävissä. Vaikka T-ruuvi osana sinänsä on rakenteeltaan yksinkertainen, sen ominaisuuksia, muotoa ja mittoja määrittelevät tiukat reunaehdot. Osa reunaehdoista on valmistukseen, osa käyttöön ja osa ulkonäköön liittyviä.

Yksi kehitystyöhön johtanut tarve oli pinnoitusmenetelmän muutos. EU on rajoittanut 6-arvoisen kromin eli Cr6:n käyttöä terveydelle vaarallisena aineena (ECHA, 2022). Sen sijaan on parempi käyttää 3-arvoista kromia eli Cr3:a. Pinnoittaminen sillä on vaikeampaa, koska pinnoitusprosessi vaatii takempaa valvontaa ja säätelyä kuin Cr6-materiaalilla pinnoittaminen ja sitä tehdään vain automaattilinjalla. Alkuperäisestä lattamateriaalista tehdyt T-ruuvit vaativat poikkeuksellisen pitkän esikäsittelyn valssihilseen poistamiseksi. Se oli mahdollista järjestää pienessä pintakäsittelylaitoksessa, jossa työn eri vaiheiden kestoa hallitaan käsityönä, eli tarkastelemalla kappaleiden edistymistä ja tarvittaessa pidentämällä

käsittelyvaiheen kestoa. Leoko Oy:n aiemman alihankkijan ei ollut mahdollista jatkaa pintakäsittelyä, koska Cr6-materiaalin käsittely vaatii erityisluvan, jonka hakeminen on hyvin työläs prosessi (Yksityinen tiedonanto, Murtoniemi 2015). T-ruuvien pintakäsittely siirrettiin isomman yrityksen hoidettavaksi automaattilinjastolle. Tämä uusi menetelmä vaatii pinnoitettavilta kappaleilta hilseetöntä pintaa, koska pienemmän alihankkijan suorittamaa prosessin säätelyä on vaikeaa ja epätaloudellista toteuttaa.

Valmistusmenetelmää ja materiaalia muutettaessa pyritään myös parantamaan osan muotoilua ja lisäämään kuvassa 1 näkyvä Leoko Oy: logo jokaiseen T-ruuviin. Onnistunut tuotekehitysprojekti lisäisi näin tuotteen markkinointiarvoa, näyttävyyttä ja ergonomiiaa.

Kuva 1. Leoko Oy:n logo

The logo for Leoko Oy consists of the word "LEOKO" in a bold, blue, sans-serif font. The letters are thick and blocky, with a slight shadow effect on the right side of each letter, giving it a three-dimensional appearance. The letters are spaced evenly across the line.

Opinnäytetyössä tutkitaan, pystytäänkö valmistusmenetelmää ja materiaalia vaihtamalla olennaisesti parantamaan T-ruuvien lattaosan ominaisuuksia tai valmistettavuutta nykyiseen verrattuna. Suunnittelu tullaan toteuttamaan tietokoneella hyödyntäen erilaisia 3D-mallinnusohjelmistoja ja muita sopivia työkaluja, kuten Microsoft Officea.

Tämän opinnäytetyön päämääränä on selvittää millaisilla keinoilla Leokon tankojen lukon T-ruuvia ja sen valmistusta voidaan nykyaikaistaa. T-ruuvilla tarkoitetaan painon- ja voimanostotangoissa käytettävissä kokonaismassaltaan 2,5 kg painavissa lukkomalleissa lukon putkimaiseen runkoon kiinnitettävää kierreosaa. Keinoilla tarkoitetaan suunnittelu- ja valmistusmenetelmien muutoksia sellaisiin, jotka ovat tehokkella teollisessa käytössä. Nykyaikaistamisella tarkoitetaan materiaalin tai työmenetelmän muutoksia sellaisiin, jotka ovat työn tehokkella hinnaltaan kilpailukykyisiä, yleisesti saatavilla olevia, toimitusvarmuudeltaan luotettavia ja jotka parantavat valmistettavan osan ominaisuuksia, ja joita ei osan alkuperäisenä suunnitteluajankohtana ollut joko taloudellista tai muuten mahdollista käyttää.

Työn alussa esitellään toimeksiantaja, työn kohde ja alkutilanne. Sen jälkeen perehdytään tuotekehitysprosessiin ja sen vaiheisiin. Lisäksi paneudutaan vaihtoehtoisin valmistusmenetelmiin ja materiaaleihin sekä arvioidaan niiden ansioita ja ongelmakohtia. Koska osa on pitkäaikaisen käyttökokemuksen perusteella vähintään riittävän luja tarkoitukseen nähden, katsottiin sen lujuusopillisen tarkastelun olevan tarpeetonta tämän työn osalta.

Lopuksi esitellään työn tuloksia ja kerrotaan, kuinka kehitystä suunnitellaan jatkettavan tästä eteenpäin. Työn konkreettisenä tuloksena syntyy tekninen dokumentaatio, jolla uudistukset voidaan toteuttaa. Dokumentaatio sisältää valmistuspiirustukset, mallinnukset ja työohjeet. Sekä uusilla menetelmillä tuotettuja T-ruuveja, joiden ominaisuuksia voidaan verrata aiemmin valmistettuihin. Tutkimusmenetelmät ovat kvalitatiivisia, sillä työ keskittyy tutkimaan ja parantamaan tuotteen laadullisia ominaisuuksia.

2 Opinnäytetyön tausta ja tavoite

On tärkeää tuntea opinnäytetyön tausta ja sen merkitys tilaajalle. Myös tilaajan esittely tuo laajempaa näkökulmaa työn lähtökohdista ja tavoitteista. Tässä luvussa esitellään työn tilaaja, Leoko Oy, sen perustaja, Leo Koivunen sekä tuotteet. Lisäksi esitellään painonnosto ja voimannosto, urheilulajit, joissa Leoko Oy:n tuotteita käytetään. Luvussa esitellään myös tuotekehitysprojektin tavoitteet, syyt ja esitellään tuotekehityksen kohteena oleva T-ruuvi.

2.1 Leoko Oy

Leoko Oy:n perusti vuonna 1976 tamperelainen valimomies, tekniikko ja keksijä Leo Koivunen. Ennen Leokon perustamista hän oli opiskellut Tampereella tekniikoksi, työskennellyt lentokonetehtaan suunnitteluosastolla ja johtanut veljensä kanssa Tampereen uutta rautavalimoa. Ensimmäiset painonnostopainot hän valmisti jo 1950-luvulla arvokisoissa menestyneen painonnostajan, Juhani Vellamon pyynnöstä. Koivunen oli silloin Vellamon kanssa töissä Lentokonetehtaalla. Painot valmistettiin Tampereen uudessa rautavalimossa, jonka omisti hänen isänsä Kustaa Koivunen. Jotta niiden hinta olisi mahdollisimman edullinen, painot olivat metallipurulla seostettua sementtiä. Kun urheilijat saivat uusia painolevyjä, he alkoivat kysellä myös tankoja. (Hakala, 2017)

Koivunen kehitti urheiluvälineitä yhteistyössä painonnostajien, erityisesti Jaakko Kailajärven ja Eino Mäkisen kanssa. Niitä on ollut koekäytössä Tampereen pyrintön nostajilla Ratinan salilla. Koivusen panos oli merkittävä muun muassa lujan tankomateriaalin löytämisessä ja naisten painonnostotangon tuotekehityksessä. Leoko Oy on ollut myös kansainvälisestikin edelläkävijä kehittäessään 5 kg ja 10 kg levyjä, joiden halkaisija oli 450 mm (Hakala, 2017) Viiden kilon levy on esitelty kuvassa 2 ja kymmenen kilon levy kuvassa 3.

Leo Koivunen oli tunnettu keksijä ja tekniikko. Leoko Oy:lle hän pyrki kehittämään tuotteita, jotka olisivat mahdollisimman kestäviä. Hän vitsailikin usein, että hän ”tekee välineitä, joita käyttäjät yrittävät koko ajan rikkoa.” (Kosonen, 2020) Leoko Oy:n nykyinen omistaja ja toimitusjohtaja, Leo Koivusen tytär Helena Lehtinen on johtanut yritystä vuodesta 1995. Hän on työskennellyt Leoko Oy:ssä vuodesta 1984. Leoko Oy:n tuotannosta vastaa Simo Pietarila. Hän on työskennellyt Leoko Oy:ssä vuodesta 2001.

Kuva 2. 5 kg painonnoston harjoituslevy



Kuva 3. 10 kg painonnostolevy



Leoko Oy on laajalti tunnettu korkeatasoisista välineistään, jotka valmistetaan kansainvälisen painonnostoliiton ([IWF vaatimusten mukaan](#)) (IWF, 2020, ss. 50-55). Sen lisäksi Leoko Oy on Kansainvälinen voimannostoliiton (IPF) [virallisten ja ennätyskelpoisten kisavälineiden toimittajien listalla](#) (IPF, 2021, s. 6). (Hakala, 2017)

Leoko Oy:n arvot ovat kautta vuosien olleet turvallisuus, kotimaisuus ja luotettavuus. Turvallisuudella tarkoitetaan ensi sijassa sitä, että tuotteet ovat käyttäjälle turvallisia, kestäviä ja lujia ja niiden on määrä toimia kovassakin käytössä vuosikausia. Kotimaisuus näkyy siinä, että miltei kaikki alihankkijat ovat Suomessa, eikä yksikään EU:n ulkopuolella. Luotettavuudella tarkoitetaan paitsi toimitusvarmuutta, myös sitä, että tuotteet on tuotettu urheilujärjestöjen vaatimusten mukaisesti. Levyjen, tankojen ja lukkojen massat ovat vaaditussa toleranssissa ja mitoitus vastaa urheilujärjestöjen normeja. (Henk.koht. tiedonanto, Lehtinen 2022)

Leoko Oy on ollut edelläkävijä tuotekehityksessä sekä Suomessa, että kansainvälisesti. Tästä hyvänä esimerkkinä noin kaksitoista vuotta sitten Leoko Oy alkoi merkitä logonsa linssitarralla tangon päätytulppaan, kuvassa 4 näkyvällä tavalla. Nytemmin tällainen

merkintä on käytössä jo miltei kaikilla välinevalmistajilla maailmanlaajuisesti. (Henk.koht. tiedonanto, Lehtinen 2022)

Kuva 4. Linssitarra tangon päässä



2.2 Painonnosto ja voimanosto

Työn merkitystä selventää tieto käyttötilanteista ja käyttäjistä. Kehityksen kohteena olevaa osaa käytetään kahdessa erilaisessa urheilulajissa, joissa on yhteensä viisi erilaista suoritetta. Käyttäjät ovat monesti määrätietoisia ja fyysisesti voimakkaita kilpaurheilijoita. Seuraavissa alaluvuissa kerrotaan painonnostosta ja voimanostosta, lajien ominaispiirteistä, tavoitteista ja niihin sisältyvistä suoritteista.

2.2.1 Painonnosto

Painonnosto on ollut olympialaji jo pitkään. Painonnoston kattojärjestö on IWF, joka on perustettu vuonna 1905 ja siinä on tällä hetkellä 193 jäsenliittoa (IWF, Weightlifting History, 2020). Painonnostossa on kaksi kilpailusuoritusta, tempaus ja työntö.

Tempauksessa nostaja nostaa tempaamalla levypainoin kuormatun tangon maasta suorille käsille pänsä yläpuolelle, samalla syvään kyykistyen ja nousee siitä pystyasentoon, pitäen tankoa kohotettuna siten, että kädet ja jalat ovat täysin ojennettuina. Tavoite on nostaa yhdellä tempauksella suurin mahdollinen kilomäärä painoja. (IWF, Weightlifting the two lifts , 2020)

Työnnössä nostaja nostaa levypainoin kuormatun tangon maasta hartioidensa korkeudelle, samalla jonkin verran kyykistyen ja nousee siitä pystyasentoon, pitäen tankoa hartioiden tasalla. Sitten nostaja kohottaa tangon suorille käsille pänsä yläpuolelle, samalla asettaen jalat pitkän askeleen päähän toisistaan ja nousee siitä pystyasentoon, pitäen tankoa kohotettuna siten, että kädet ja jalat ovat täysin ojennettuina. Tavoite on nostaa yhdellä työnnöllä suurin mahdollinen kilomäärä painoja. (IWF, Weightlifting the two lifts , 2020)

Koska molemmissa suorituksissa tanko pudotetaan lattialle pään yläpuolelta, vaaditaan välineiltä erityistä lujuuutta, joustavuutta ja iskunvaimennuskykyä. Tämän takia painonnostolevyissä on kuminen reuna. Kuvassa 5 on miesten painonnostosetti, kokonaismassa 190 kg, settiin kuuluu tanko ja levypainot. Miesten painonnostotangon akselin halkaisija on 28 mm, pituus 220 ja massa ilman lukkoja 20 kg.

Kuva 5. Miesten painonnostosetti, 190kg



Kuvassa 6 on naisten painonnostosetti, kokonaismassa 140 kg. Naisten painonnostotangon massa on 15 kg ilman lukkoja, akselin halkaisija on 25 mm ja pituus 2010 mm. Painonnoston kilpatangoissa on vierintälaakeroidut putket.

Kuva 6. Naisten painonnostosetti, 140 kg



2.2.2 Voimanosto

Voimanosto on suosittu urheilulaji, joka ei ole urheilijalle teknisesti yhtä vaativaa kuin painonnosto. Voimanoston kattojärjestö on IPF; joka perustettiin 1972 USA:ssa (IPF, THE HISTORY OF THE INTERNATIONAL POWERLIFTING FEDERATION, 2022).

Voimanostossa painoja ei nosteta pään yläpuolelle, kuten painonnostossa. Voimanoston kilpailusuoritteissa nostetaan suurempia kilomääriä kuin painonnostossa. Voimanoston kilpailusuoritteet ovat jalkakyykky, penkkipunnerrus ja maastaveto. Yleensä ne suoritetaan tässä järjestyksessä. (Suomen Voimanostoliitto, 2022, s. 3)

Jalkakyykky on voimanoston kolmesta kilpailulajista se, jossa nostetaan suurimmat kilomäärät. Kyykky suoritetaan laskeutumalla seisonnasta kyykkyyyn painoin kuormattu levytanko hartioilla ja nousemalla siitä takaisin aloitusasentoon. Tavoite on suorittaa yksi kyykky sellaisen tangon kanssa, jossa suurin mahdollinen kilomäärä painoja. (IPF, Powerlifting Dicipines, 2022)

Penkkipunnerrus on teknisin voimanoston kolmesta kilpasuorituksesta. Punnerrus suoritetaan selällään erityisellä penkillä maaten. Painoin kuormattu levytanko lasketaan vaakasuorassa kosketuksiin rintakehän kanssa ja nostetaan siitä, ylös suorille käsille. Tavoite on nostaa yhdellä punnerruksella suurin mahdollinen kilomäärä painoja. (IPF, Powerlifting Dicipines, 2022)

Jalkakyykkyä ja penkkipunnerrusta suoritettaessa tanko otetaan aluksi tarkoitukseen erityisesti valmistetusta telineestä ja koska tanko on nostajan yläpuolella, suoritusta valvovat avustajat, joiden tehtävä on ottaa tanko pois nostajalta, jos nosto epäonnistuu ja nostaja on vaarassa vahingoittua. (Suomen Voimanostoliitto, 2022, ss. 35-36)

Maastaveto on kolmas voimanoston kolmesta kilpasuorituksesta. Maastaveto suoritetaan nostamalla painoin kuormattu levytanko lattiasta noin lantion korkeudelle siten että nostaja seisoo suorassa, ja laskemalla se sitten takaisin maahan Tavoite on suorittaa yksi veto tangolla, jossa suurin mahdollinen kilomäärä painoja. (IPF, Powerlifting Dicipines, 2022)

Kuvassa 7 on voimanostosetti, kokonaismassa on 435 kg, tangon akselin halkaisija on 29 mm, pituus on 220 mm ja massa ilman lukkoja 20 kg. Voimanostotangoissa on liukulaakerointi. Suuremmat massat kertosuorituksissa vaatii tangolta erityistä jäykkyyttä ja lujuutta.

Kuva 7. Voimanostosetti, 435kg



Painonnoston ja voimanoston välineissä on joitakin yhteneväisyyksiä. Kaikkien tankojen kuormattavat putket ovat halkaisijaltaan 50mm. Myös kaikkien levypainojen reikien nimellismitta on 50mm näin ollen painonnostolevyjä voidaan ongelmitta kuormata voimanostotankoon ja päinvastoin. Suurimpien levyjen, eli voimanostossa 25 ja 20 kg valurautalevyjen sekä kaikkien kumilevyjen, 25, 20, 15, 10 ja 5 kg ulkohalkaisija on 450 mm. Myös kaikkia lukkoja voidaan käyttää kaikissa tangoissa. Sekä voimanoston että painonnoston säännöissä lukon massaksi on määrätty 2,5 kg, joten niitä voidaan käyttää myös keskenään ristiin lajista riippumatta.

2.3 Tuotekehitysprojektin tavoitteet

Projektin aluksi asetetaan tavoitteet ja onnistumisen ehdot. Lopputulosta voidaan pitää onnistuneena, kun riittävä määrä ehdoista täyttyy. Tuotekehitysprojektin tavoitteena on nykyaikaistaa Leoko Oy:n painonnosto- ja voimanostotankojen lukoissa käytettävän T-ruuvien valmistusta

Uutta lattaosaa voidaan pitää onnistuneena, jos se on aloitushetken malliin nähden edullisempi pinnoittaa, tehokkaampi valmistaa sekä vähintään yhtä kestävä ja käytettävä. Käytettävyyšnäkökohtia ovat osan sopiva koko ja käsiteltävyys paljain käsin. Uusi osa ei saa olla edeltäjää heikompi, hauraampi tai alttiimpi vaurioille. Jos Leoko Oy:n logo saadaan merkittävä uusiin T-ruuveihin, on se lisäarvoa tuova, suotava ominaisuus. Uuden mallin ulkonäön on oltava yhteensopiva Leoko Oy:n yleiseen linjaan, eli sen tulee tuoda vähän modernimpi ilme, ilman että se poikkeaa liian radikaalisti aiemmin tuotetuista malleista.

Uusien menetelmien ja materiaalien tulee olla taloudellisesti kilpailukykyisiä vanhaan nähden.

Tiivistettynä vaatimukset uudelle osalle voidaan luetteloida seuraavasti:

- enintään 78 mm pitkä
- massan on pysyttävä entisellään
- materiaalin oltava hitsattavaa
- kromattavuuden on parannuttava
- lujuus ei saa vähentyä
- ei saa olla teräviä särmiä
- pitää olla käytettävissä ilman työkaluja
- muotoilun on oltava sopusoinnussa aiempien tuotteiden muotoilun kanssa
- logo jokaiseen kappaleeseen

Kaikki luetellut kohdat ovat niin kriittisiä, että niiden täyttämättä jättäminen voidaan tulkita epäonnistumiseksi. Ainoastaan viimeinen kohta, logon merkintä on ominaisuus, jossa voidaan joustaa.

Tämän raportin osalta olennainen tavoite on esitellä tekijän valmiuksia opiskeltujen tietojen ja hankittujen taitojen soveltamisessa käytännön asiantuntijatehtävässä. Lisäksi tämä raportti luo ajankohtaisen näkemyksen tekijän pätevyyteen teknisessä viestinnässä ja osaltaan tuo ilmi hänen kelpoisuuttaan tekniikan alan asiantuntijatehtäviin.

2.4 Tuotekehityksen syy

Koska mitään jo olemassa olevaa ei kannata keksiä uudelleen, on tärkeää perustella, miksi tässä tapauksessa ei käytetä jotain jo markkinoilla olevaa vaihtoehtoa. Lukon kierre on kuitenkin M16-tyyppinen ja yleisessä käytössä ympäri maailmaa.

M16 kierteellä varustettuja vakiokiinnittimiä on markkinoilla paljon ja niitä on saatavilla. Kuitenkaan niistä ei ole löytynyt vaihtoehtoa, joka olisi sopiva T-ruuvien korvaajaksi. Säädettyvät kiinnitysvivut, kuten [Ganter Norm 125.5](#) (Otto Ganter GmbH & Co. KG, 2022)

ovat järjestään niin pitkiä, että niiden käyttö olisi hankalaa. Tavanomainen siipiruuvi olisi sopivan kokoinen, mutta sitä ei käytetä sen teollisen ulkonäön takia.

Leoko Oy:ssa tehtiin kokeiluja erityyppisille kiinnittimille, joissa testattiin käytännössä kiinnittimien toimintaa. Esimerkiksi kuvassa 10 valmiina ja kuvassa 8 ilman kierresovitetta, vasemmalla olevaa muovista tähtinuppia. Sopivan kokoisessa tähtinupissa oli kierteen koko M10. Se johti siihen, että M16–kierretangosta sorvattiin sovitinkappaleita, joiden toiseen päähän tehtiin M10–kierre. Tällainen sovitinkappale on kuvassa 9. Sovitinkappaleet kierrettiin paikalleen tähtimutteriin ja varmistettiin kierrelukitteella. Tällaisten kierresovitteiden valmistaminen oli hankalaa, koska kierretangosta on vaikea saada pitävää otetta sorvissa vaurioittamatta kierrettä. Sovitinkappaleiden vääntäminen paikalleen oli myös hankala toimenpide, koska kierreosassa ei ollut yhtään pintaa, josta sitä olisi voitu vääntää tavanomaisella työkalulla. Koekäytössä ne hajosivat nopeasti, muoviosat halkeilivat ja lohkeilivat, koska niihin ilmeisesti kohdistettiin iskuja. Lisäksi käyttäjät valittivat, että painonnoston pudotuksen jälkeen kireälle iskeytynyttä ruuvia oli vaikea irrottaa. Myös kuvassa 8 aihiona ja kuvassa 10 valmiina oikealla olevia valurautaisia tähtinuppeja kokeiltiin, mutta niistäkin käyttäjät kertoivat, että niiden käyttö oli vaikeaa käsivoimin. Ilmeisesti irrottaminen olisi mahdollista, jos tähtinuppia olisi väännetty putkipihdeillä tai vastaavalla työkalulla, mutta osa käytettävyyttä on se, ettei erillisiä työkaluja tarvita. Näin ollen molemmat ratkaisut hylättiin.

Kuva 8. Tähtimutterit, vasemmalla muovi, oikealla valurauta



Kuva 9. Kierresovite, M10-M16



Kuva 10. Tähtinuppiruuvit kierresovitteineen, vasemmalla muovi ja oikealla valurauta



Yhdessä vaiheessa lukosta kehitettiin malli, jossa on painopakan kiristykseen sopiva kierteitetty rengas toisessa päässä, tehtiin koesarja lukkoja, joissa ruuvina oli M16–kuusiokolo pidätinruuvi, jonka käyttö vaatii kuusiokoloavaimen. Lukon mukana toimitetun avaimen toinen pää oli sorvattu pyöreäksi, että sillä voidaan vääntää kiristysrengasta. Näillä avaimilla oli kuitenkin voimakas taipumus kadota hyvin pian. Tämä kokeilu vahvisti aiemman oletuksen siitä, että irrallisen kiristimen vaativat ratkaisut eivät ole suositeltavia, vaan lukon

tulee olla käytettävissä ilman irto-osia tai työkaluja. Lisäksi tämä lukkotyyppi oli kalliimpi valmistaa, koska se koostui useasta osasta, joten tuotanto ajettiin alas pian. Kuvassa numero 11 tämän tyyppinen lukko avaimineen. Näin ollen kokemus ja käyttäjien vaatimukset ovat johtaneet siihen, että T-ruuvit tehdään itse.

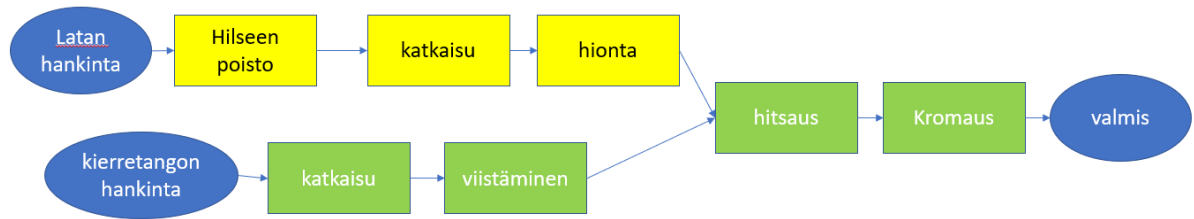
Kuva 11. Avainlukko



2.5 T-ruuvi tuotekehityksen kohteena

T-ruuvien lattaosa valmistetaan 25*8 lattaraudasta (EN 10025, S235JR.). Aluksi siitä on poistettava valssihilse pinnoituksen edesauttamiseksi. Sitten se sahataan määrämitta. Sahauksen jälkeen lattaosien kulmat pyöristetään nauhahiomakoneella. Hiotut palat hitsataan kierreosiin siten, että kierreosa asettuu keskelle latan pitkää, kapeaa sivua ja sen pyörähdysakseli on latan vahvuuden puolella välissä, latan suuremman tasopinnan suuntaisesti kohtisuoraan pitkään, kapeaan sivuun nähden. Viimeinen vaihe on pinnoitus kromaamalla. Pintakäsiteltynä T-ruuvi on valmis käyttöön. Tästä prosessista on kaavio 1, jossa kehityksen alaiset vaiheet on merkitty keltaisiin ruutuihin. Kuva 12 on valmiista, kehityksen kohteena olevasta T-ruuvista.

Kaavio 1. Prosessikaavio T-ruuvin valmistuksesta



Kuva 12. Kehityksen lähtökohtana oleva T-ruuvi



Tällaista T-ruuvia käytetään kolmessa erilaisessa lukossa – peruslukossa, turvalukossa ja magneettilukossa. Alla kuvassa 13 oleva peruslukko on näistä vanhin malli, joka on ollut nykyisessä muodossaan ja tällä T-ruuvilla käytössä jo vuosikymmeniä. Se on kestävä ja edullinen, sekä sopii kaikkiin Leoko oy:n valmistamiin tankoihin.

Kuva 13. Peruslukko



Turvalukko on kehitetty 2000 – luvun alkupuolella, kun voimanostajat toivoivat pidempää putkea voimanostotankoon. Putken pituus oli turvallisuustekijä, koska jalkakyykyssä ja penkkipunnerruksessa suoritusta turvaavat avustajat. Tangon päädyissä olevien avustajien tulee saada tangon päästä kiinni, kun nostaja on vaarassa pudottaa sen. Tällainen suoritus esitetään kuvassa 14. Kuvaan on nuolilla merkitty kaikki viisi avustajaa ja putken pää on ympyröity vihreällä. Kuvassa olevassa suorituksessa nostetaan 340 kg ja putkien päissä on vielä hyvin tilaa. Jalkakyykyssä IPF:n hyväksymä maailmanennätys on yhdysvaltalaisen Sumner Blaine vuonna 1987 nostama 505 kg (IPF, 2022). Kun tankoon kuormataan näin suuri massa, ei putken päähän jää enää juuri lainkaan tyhjää tilaa lukon ulkopuolelle ja avustajien on hyvin vaikeaa ottaa tankoa kiinni.

Kuva 14. Jalkakyykky avustajien valvonnassa



Koska välineiden mitoituksesta päättää IPF eli kansainvälinen voimanostoliitto, tangon putkeen ei ollut mahdollista tehdä muutoksia. Lukon muotoilulle ei ole asetettu yhtä tarkkoja vaatimuksia. Siksi Leo Koivunen ratkaisi ongelman muuttamalla lukon muotoilun putkimaiseksi. Putkimaisen lukon pitkästä päästä saa turvallisen otteen, kunhan lukko on asennettu niin, että tangon putken pää näkyy lukon tarkistusreiästä. Turvalukko, jonka tarkistusreiä on merkitty nuolella, näkyy kuvassa 15. Tätä lukkoa käytetään vain voimanostossa. Sen etu on lisääntynyt turvallisuus, mutta se on kalliimpi valmistaa. Siitä joudutaan sorvaamaan pois enemmän ainetta, kuin peruslukosta, jolloin materiaalihävikki lisääntyy ja työstöaika pitenee.

Kuva 15. Turvalukko



Magneettilukko on kehitetty nopeuttamaan pienien korotusten kuormaamista painonnostossa. Sen toiselle otsapinnalle on jyrsitty kolme upotusta, joihin asennetaan kolme neodyymimagneettia, kuten kuvassa 16 on nähtävissä. Magneetit tarttuvat lukon ulkopuolelle asetettuun metalliseen levyyn, joka voi painaa enintään 2,5 kg. Näin ollen lukkoa ei tarvitse poistaa, kun tehdään korotuksia yhden kilon välein. Se nopeuttaa kuormausta kilpailuissa. Tämä kuvassa 16 näkyvä lukko kehitettiin, kun painonnostajat toivoivat sellaisia levyjä, jotka voidaan kuormata lukon ulkopuolelle noston ajaksi. Kilpailevilla valmistajilla oli silloin markkinoilla lukkoja, joihin voitiin väliaikaisesti kiinnittää mekaanisesti erityiset levyt, ja toisaalta levyjä, jotka pysyivät putkessa paikallaan noston ajan tiivisteellä, joka lisäsi kitkaa putkea vasten. Molemmat näistä ratkaisuista vaativat laajaa uudelleenmuotoilua ja tuotekehitystä. Samalla vanhanmalliset levyt ja lukot eivät enää välttämättä olisi yhteensopivia uusien mallien kanssa. Samaan aikaan markkinoilla neodyymimagneettien hinta laski. Niillä saatiin aikaan riittävän voimakas magneettikiinnitys lukon toiseen päähän. Magneettikiinnitys toimi kokeissa kaikkiin sopivan kokosiin valurauta- ja teräslevyihin, joita silloin valmistettiin, joten niihin ei tarvinnut tehdä mitään muutoksia.

Kuva 16. Magneettilukko



2.6 Case: Leoko Oy:n painonnosto- ja voimanostotankojen lukoissa käytettävän T-ruuvien lattaosan kehitys opinnäytetyönä

Tähän opinnäytetyöhön ja kehitysprojektiin kuului oleellisesti erilaisiin materiaaleihin ja valmistustekniikoihin tutustumista, niiden kokeilua T-ruuvien lattaosan valmistuksessa, kehitys- ja muotoilutyötä, erilaisten teoreettisten tietojen hankintaa ja opinnäytetyön kirjallisen osuuden laadinta. Tuotekehitysprojektista oli käyty keskusteluja Leoko Oy:ssä jo aiemmin useasti. Talvella 2021 saatiin lupa käyttää aihetta opinnäytetyönä. Tuotekehityksen tueksi alettiin keräämään myös teoriatietaa materiaalista ja valmistustekniikoista. T-ruuvien

lattaosan kehitysprojektiin liittyen osasta on projektin aikana tehty kuusi erilaista versiota. Kehitysprojektin aikana luotiin useita dokumentteja, kuten piirustuksia ja mallinnuksia. Kehitystyö on siis tarkasti dokumentoitu.

Opinnäytetyönä kehitysprojekti alkoi edetä toukokuussa 2022 aiheen hyväksyttämällä, jonka jälkeen materiaalia ja tietoa teoreettiseen viitekehykseen alettiin koostamaan. Teoriatiedon tutkiminen opinnäytetyötä varten helpotti myös itse kehitysprojektia, koska uusi tietämys materiaaleista ja valmistusmenetelmistä auttoi myös tuotteen kehittämisessä. Opinnäytetyön kirjoittaminen toteutui heinäkuusta lokakuuhun 2022. Lokakuussa 2022 työ esiteltiin seminaarissa ja palautteen perusteella sitä vielä muokattiin. Työ valmistui Lokakuun 2022 lopussa

3 Teollinen tuotekehitys

Kannattava liiketoiminta on tuotekehitystyön päämäärä. Kannattavan liiketoiminnan pohja on markkinointikelpoinen tuote. Tällainen tuote syntyy, kun onnistutaan yhdistämään teollinen muotoilu tekniseen suunnitteluun. Jos suunnittelussa tapahtuu virheitä, saattaa olla, ettei niitä pystytä lainkaan korjaamaan valmistuksen tai huollon toimesta. (Björk, ym., 2014, ss. 9-11) Tässä luvussa esitellään tuotekehitysprosessi, sen kulku, siihen liittyvä teollinen muotoilu sekä DFMA-ajattelu.

3.1 Tuotekehitysprosessi

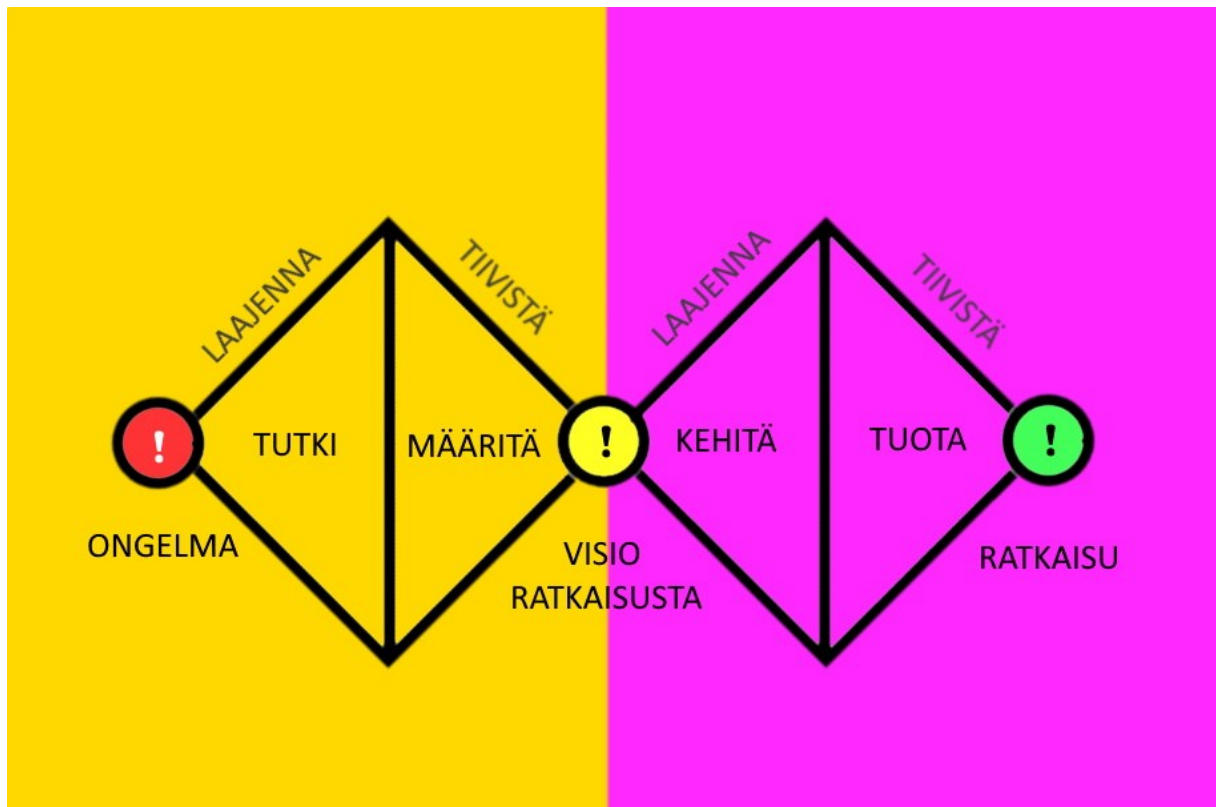
Tuotekehitystä voidaan kuvata kaaviolla 2, jossa tuotekehityksen eri vaiheet lomittuvat ja vaikuttavat toisiinsa. Eri vaiheiden ei voida sanoa rajautuvan tarkasti, vaan ne toteutuvat päällekkäisesti. Myös myöhempien vaiheiden aikana kerätty tieto vaikuttaa aiempien vaiheiden tulosten muokkaamiseen. Opinnäytetyönä toteutetussa Leoko Oy:n painonnosto- ja voimanostotankojen lukoissa käytettävän T-ruuvin lattaosan kehitysprojektissa tuli esiin tämä vaiheiden päällekkäisyys ja vuorovaikutteisuus. Materiaalien ja menetelmien valintaan ja rajaamiseen saatiin lisätietoa, kun valmistettiin koesarjoja. Eli viimeistelyvaiheessa muodostunut tieto vaikutti aiemman vaiheen tuloksiin. Voidaan sanoa, että useita vaiheita toteutettiin samanaikaisesti.

Kaavio 2. Tuotekehitysprosessin kulku (Björk ym. 2014, s.10 mukailtu)



Tuotekehitysprosessia voidaan kuvata myös kaavion 3 mukaisena, British Design Councilin kehittämän ”Double Diamond” mallin mukaisena (British Design Council, 2019). Siinä on kaksi toisiaan seuraavaa laajenevaa ja tiivistävää jaksoa. Ensimmäinen laajeneva osuus on tässä työssä vaihe, jossa kerättiin tietoa materiaaleista ja menetelmistä, ja tiivistävä jakso se vaihe, jolloin näistä valittiin käytettävät. Toinen laajeneva jakso oli monien muotoilujen tuottaminen ja tiivistävä jakso oli näistä muotoiluista toteutettavien valikoiminen ja rajaaminen.

Kaavio 3. Double Diamond malli (British Design Council 2019, mukailtu)



Molemmat kaaviot tuovat esiin tuotekehitystoiminnalle tyypillisiä piirteitä eri näkökulmista ja auttavat havainnollistamaan sitä prosessia, jolla uusia tuotteita kehitetään. Prosessi ei ole lineaarinen, vaan paremminkin syklinen ja aaltoileva.

3.2 Teollinen muotoilu

Teollinen muotoilu voidaan määritellä sovelletuksi taiteeksi, joka on verrattavissa arkkitehtuuriin siinä mielessä, että sekä teollinen muotoilija että arkkitehti joutuvat toteuttamaan näkemyksensä tiettyjen lainalaisuuksien piirissä. Teollisen muotoilijan ilmaisumahdollisuudet ovat siis rajallisemmat kuin vapaan taiteilijan. Usein silti juuri muotoilulla pyritään erottautumaan kilpailijoista. Monasti teollinen muotoilija on osa tuotekehitystiimiä, joka yhteistyössä luo uuden tuotteen. Teollisen muotoilijan tehtävä on yleensä vaikuttaa ennalta määritellyllä tavalla uuden tuotteen käyttäjäkokemukseen ja muokata sen yrityskuvaa positiiviseksi ja arvokkaammaksi. (Design Forum Shop, 2017) Tässä Leoko Oy:n painonnosto- ja voimanostotankojen lukoissa käytettävän T-ruuvien lattaosan

kehitys projektissa varsinaista tiimiä ei ollut käytettävissä, joten insinöörin vastuulle jäi myös muotoilu.

3.3 DFMA-ajattelu

DFM on lyhenne englanninkielisistä sanoista: Design for Manufacturability, valmistettavuutta helpottava muotoilu. Lyhyesti se tarkoittaa systemaattista tuotekehitystä, joka pyrkii ratkaisuihin, jotka helpottavat tuotteen valmistamista ja keventävät tuotteen ympäristökuormitusta. Näin myös tuotteen toimivuus, ulkonäkö ja huollettavuus paranevat. Vaikka samalla tärkein päämäärä on se, että valmistuskustannuksia saadaan alennettua. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 13) DFM-ajattelun mukaisesti on tärkeää ottaa huomioon materiaalien ja valmistusmenetelmien rajoitteet ja mahdollisuudet.

DFA, joka on lyhenne englanninkielisistä sanoista Design for Assembly, eli kokoonpanoa helpottava muotoilu. Se pyrkii osien määrän vähentämiseen, niiden toimintojen yhdistämiseen ja sitä kautta kokoonpantavuuden parantamiseen. Tämänkin on mahdollista tuottaa huomattavia kustannussäästöjä. (Lempiäinen & Savolainen, 2003, s. 69)

DFMA on yhdistelmä kahdesta edellä esitellystä, eli valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta parantava muotoilu. Se yhdistää edellä esitellyt päämäärät ja tehostaa teollista tuotantoa. (Boothroyd; Dewhurst; & Knight, 2011, s. 1)

DFMA ei esiintynyt toimintamallina ennen 70-lukua. Vasta silloin alettiin suunnittelijoille tehdä ohjeistuksia valmistettavuuden kustannustehokkuuden arviointiin. Siihen asti suunnittelijat olivat selvittäneet kustannuksia valmistajilta tilattujen arvioiden perusteella ja oletettiin, että suunnittelija tuntee valmistusmenetelmiä riittävästi osatakseen välttää tarpeettomia valmistuskuluja lisäävien mallien suunnittelun. Nykyään suurimmalla osalla vastavalmistuneista insinööreistä on hyvin vähän kokemusta valmistuksesta tai kokoonpanosta, joten tarvittavat valmiudet on hankittava opiskelemalla. (Boothroyd; Dewhurst; & Knight, 2011, s. 1)

1980-luvulla valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden kustannusvaikutuksista alettiin tehdä teollisuuden rahoittamana tarkempaa tutkimusta eri yliopistoissa, jonka tuloksena muodostui huomattava määrä julkaisuja. Tutkimukset paljastivat, että monet siihen aikaan

valmistuksessa noudatetut nyrkkisäännöt tuottivat usein ratkaisuja, jotka eivät itse asiassa olleet kustannustehokkaita. (Boothroyd;Dewhurst;& Knight, 2011, s. 5)

Tässä Leoko Oy:n T-ruuvin lattaosan tuotekehitysprojektissa suunnittelijalla on pitkä kokemus sekä tämän tuotteen, että käytettyjen menetelmien suhteen, joten näitä periaatteita on mahdollista noudattaa. Usein tilanne ei ole näin hyvä, vaan suunnittelijalla saattaa olla vain niukasti, ei välttämättä lainkaan kokemusta käytettävissä olevista työstömenetelmistä. DFMA-ajattelua edusti tässä tapauksessa näkyvimmin uusi muotoilu, joka helpottaa ruuvin hitsaamista keskelle lattaa.

4 Materiaalit, valmistus- ja suunnittelumenetelmät

Tavoitteiden saavuttamisen kannalta on tärkeää valita oikeat materiaalit sekä suunnittelu- ja valmistusmenetelmät. Seuraavassa kerrotaan näistä ja esitetään perusteluja sille, mitkä valikoituvat tässä tapauksessa sovellettaviksi.

4.1 T-ruuvin lattaosaan sopivista materiaaleista

T-ruuviin kohdistuva suurin rasitus kokemuksen mukaan tulee tilanteesta, jossa nostaja kiristää tai löysentää ruuvia vasaroimalla sitä esimerkiksi 2,5 kg metallilevyllä. Siksi tähän käytettävän materiaalin tulee kestää iskuja. Kun otetaan huomioon lukon rakenne, materiaali ja käyttötilanteet, joudutaan rajaamaan pois käytännössä kaikki muovimateriaalit ja suurin osa kevytmetallimateriaaleista, jotka ovat jäykkyydeltään olennaisesti terästä heikompia. Titaanilla olisi riittävä lujuus ja kestävyys, koska monet kaupalliset titaanilaadut ovat näiltä ominaisuuksiltaan vähintään lujien, nuorrutettujen erikoisterästen tasolla. (Valorinta, 1993, ss. 158, 237) Titaani ei ole taloudellisesti kilpailukykyinen, eikä sen käytön tuoma suurin etu, eli massan keventäminen ole tässä tapauksessa tarpeen. Itseasiassa materiaalin keveys luo tarpeen suurentaa kappaletta niin, että jos koko kappale olisi täyttä titaania eli, titaanilatta hitsattuna titaaniseen kierreosaan, latan mitoiksi sopisi 27*76*15 mm. Jos näihin sopivaa ainetta tilaisi arkkeina, hinnan erotus tähän osaan käytettyyn teräslevyyn olisi 6200 % (Evek GmbH, 2022), (BV-metalli Oy, 2021). Lisäksi titaanisen kierretangon saatavuudesta ei ole tietoa, mutta on uskottavaa, että hinnan ero teräksiseen kierretankoon on myös korkea.

Edellä mainittujen tietojen perusteella on järkevintä rajata uusien materiaalien valikoima teräsmateriaaleihin. Käytännössä rakenneteräsmateriaaleihin, koska tärkeitä vaadittuja ominaisuuksia ovat hitsattavuus, sitkeys, riittävä lujuus, saatavuus ja taloudellisuus. Riittävä lujuus saavutetaan halvimmillakin rakenneteräksillä, koska ohuimmillaankin osa niin paksu, ettei sen muotoa saada lihasvoimin muuttumaan. Teräkseltä ei vaadita lämpökäsiteltävyyttä, joten työkaluterästen tai erityslujien terästen käyttö ei ole tarkoituksenmukaista, eikä kustannustehokasta.

Materiaalia vaihtamalla pyritään parantamaan pintakäsiteltävyyttä, joten valssihilseen peittämät materiaalit eivät tule kyseeseen. Kylmävalssatut levymateriaalit ovat tähän tarkoitukseen sopivampia. Tai sellaiset, joista hilse on poistettu esim. peittaamalla.

4.2 T-ruuvien lattaosan valmistusmenetelmiä

Jos T-ruuvien lattaosan valmistusta muutetaan radikaalisti, esimerkiksi vaihtamalla materiaali tai työstötapa, edellyttää se alihankintaketjun päivittämistä. Jos menetelmä vaatii työkaluinvestointeja, tulee niitä harkita tarkoin, koska volyymit ovat joitain satoja kappaleita vuodessa. Tällainen valmistusmäärä pidentää kalliiden työkalujen takaisinmaksuikää niin, etteivät usean tuhannen euron suuruiset investoinnit ole perusteltavissa. Erityisen hankalaksi kalliiden työkalujen hankinta käy, jos niitä joudutaan sitten myöhemmin muokkaamaan tai tilaamaan koesarjan jälkeen uudet.

Tämän projektin päämääränä ei ole luoda Leoko Oy:lle uutta tuotantokapasiteettia, joilla lattaosa valmistetaan, eli tarkoitus on teettää osat alihankkijalla, jolla on jo olemassa sopiva konekanta näiden valmistamiseen. Näistä ehdoista lähtien seuraavassa pyritään optimoimaan käytettävät valmistusmenetelmät.

4.2.1 Kuumataonta

Taonta on vanha tapa muovata useita metallimateriaaleja. Siinä aihio ensin lämmitetään niin kuumaksi, että siitä tulee muovattavaa. Sitten se pakotetaan joko iskemällä tai puristamalla sopivien erikoistyökalujen välissä haluttuun muotoon. Taonnassa saadaan aikaan monimutkaisen muotoisia kappaleita. Jonkin verran jälkityöstöä tarvitaan useimmissa

muottiin taottujen tuotteiden viimeistelyssä, koska muotin täytyttyä osa materiaalista pursuaa muotin jakolinjaa pitkin harjanteeksi, joka pitää poistaa. Useat rakenneteräsmateriaalit soveltuvat hyvin taottaviksi, ne ovat sitkeitä, eikä niitä ole tarkoitus lämpökäsitellä. Työkalutaannon muotoilua rajoittaa se, että se pitää saada aikaan kaksiosaisella työkalulla, joiden väliin muodostuu parhaassa tapauksessa tasomainen jakopinta. (Boothroyd; Dewhurst; & Knight, 2011, ss. 599-600)

Valmis taos pitää olla sen muotoinen, että se ei takerru kumpaankaan puoleen työkalusta. Nämä rajoitteet eivät T-ruuvien lattaosan tuotekehitysprojektissa ole ongelma. Oikein toteutettuna takomalla saataisiin aikaan sopivia muotoja ja logo saataisiin merkittävästi näyttävästi kohokuviona. Suurin ongelma T-ruuvien lattaosan tuotekehitysprojektissa on suurehko työkalukustannus. Taontatyökalujen pitkäikäisyys vaatii niiltä suurta lujuutta ja kuumankestävyyttä, jotka kyllä nykyaikainen kuumatyöstöteräs tuottaa, mutta työkalujen valmistaminen siitä on kallista. Tällainen investointi on Leoko Oy:n T-ruuvien lattaosan valmistukseen nykyisellään kohtuuttoman suuri, joten taontaa ei lähdetä tutkimaan tämän pidemmälle.

4.2.2 Valaminen

Valaminen on olennainen osa Leoko Oy:n tuotteita. Monet painolevyt ovat harmaavalurautaa (EN-GLJ-350) ja yrityksen alkuaikoina Leo Koivunen entisenä valimonpitäjänä tutki myös lukkojen valmistusta valamalla. Valussa ei muodostu aineen hukkaa juuri lainkaan. Valussa kappaleen muotoilu on mahdollista toteuttaa tässä tapauksessa toivotulla tavalla. Eri valumenetelmillä on hyvinkin vaihtelevat reunaehdot, joiden yksityiskohtainen läpikäyminen olisi tässä yhteydessä epätarkoituksenmukaista.

Hiekkavalussa kappale valmistetaan kaatamalla hiekasta rakennetun muotin sisälle kaavattuun onkaloon sulaa rautaa. Onkalo kaavataan peittämällä lopullisen kappaleen muotoinen, mutta vähän sitä suurempi malli hiekalla ja tiivistämällä hiekka lujaksi sen ympärille. Kun malli otetaan pois muotin sisältä, muodostuu tyhjä onkalo. Valuhiekassa on usein sideainetta lujittamassa muottia. Muotti valmistetaan kaksiosaiseksi, joten kappaleen tulee olla sellainen, että siihen voi muodostaa tasomaisen jakopinnan, josta kaikki jakopintaan nähden kohtisuorat sivut ovat lievässä kulmassa siten, että malli saadaan ulos

muotista muottia rikkomatta. (Boothroyd; Dewhurst; & Knight, 2011, s. 527) Hiekkavalussa ei ole sellaisia rajoitteita, joista olisi haittaa Leoko Oy:n T-ruuvien lattaosan valmistuksessa. Myös logo saataisiin merkittävä näkyvästi kohokuviona.

Työkalukustannus hiekkavaluun siirryttäessä olisi luultavasti joitakin satoja euroja, joten se ei ole kynnyksysymys. Valuraudan hitsattavuus on heikko, koska hitsausaumasta ja sitä välittömästi ympäröivästä aineesta muodostuu helposti kovaa ja haurasta (Valorinta, 1993, s. 200). Siksi hitsattavaa T-ruuvien lattaa ei ole taloudellista valaa. Taloudellisempaa olisi valaa koko T-ruuvikappale. Hiekkavalun epätarkkuus on kuitenkin sen verran suurta, että kierre on työstettävä T-ruuveihin jälkikäteen. Valurautainen kierre ei ole yhtä kestävä, kuin teräksinen, joten se varmasti lyhentäisi T-ruuvien käyttöikä. Näin ollen hiekkavalua ei voida pitää tässä tuotekehitysprojektissa soveltuvana menetelmänä

Myös monia taottavia ja valssattavia teräslaatuja muokataan valamalla. Rakenneteräkset on yleensä valun jälkeen lämpökäsiteltävä niiden lujuusominaisuuksien takaamiseksi, mutta sen jälkeen ne ovat hyvin hitsattavia ja yhdenvertaisia valssattujen materiaalien kanssa.

Teräksen valaminen on kuitenkin kalliimpaa kuin valuraudan, koska se vaatii enemmän energiaa sulaakseen. Lisäksi työkalukustannukset ovat vähintään yhtä suuret kuin aiemmin esitetyn hiekkavalumenetelmän edellyttämät. Teräs ei juokse yhtä hyvin täyttämään muottia kuin valurautaa. Menetelmä on kuitenkin Leoko Oy:lle niin vieras, että prosessin saaminen toimivaksi voi kestää kohtuuttoman pitkään. Näin ollen teräsvalu joudutaan rajaamaan pois käyttökelpoisten menetelmien joukosta tässä tuotekehitysprojektissa.

4.2.3 3D-tulostaminen

Metallien 3D-tulostaminen on tuhansia vuosia vanhoihin menetelmiin, taontaan ja valamiseen verrattuna hyvin moderni menetelmä. Se on ollut teollisessa käytössä vain parikymmentä vuotta. Sen etuna on hyvin vapaa lopputuotteen muotoilu, joka mahdollistaa rakenteiden optimoinnin ja sitä kautta valmiin kappaleen massan pienentämisen. (Delva Oy, 2022, s. 3) Kyseessä olevassa tuotekehitysprojektissa massaa ei ole kuitenkaan tarkoitus keventää.

Muina 3D-tulostuksen etuina voidaan mainita mahdollisuus tehdä yksittäisiä, yksilöllisesti muotoiltuja kappaleita ja hyvin vähäinen aineenhukka. 3D-tulostus ei vaadi tuotekohtaisia

työkaluinvestointeja. Se on kuitenkin edelleen hyvin kallis menetelmä. Alustava kysely osoitti, että laserleikattuun osaan nähden hinnan ero oli luokkaa 1400 % jopa edullisimmassa tapauksessa (Delva Oy, yksityinen tiedonanto 22.8.2022).

3D-tulostus on erinomainen menetelmä prototyyppien tekoon, tai tilanteessa, jossa tuotteesta valmistetaan tilauskohtaisesti vaihtelevia versioita. Mutta näin yksinkertaisten, suurina erinä muuttumattomana valmistettavien kappaleiden tuottamiseen se ei ole hinnaltaan kilpailukykyinen. Näin ollen 3D-tulostuksen edut jäävät saavuttamatta eikä se tuo olennaista etua tämän tuotteen sarjavalmistukseen.

4.2.4 Lävistäminen

Levystä on mahdollista saada toivotun muotoisia osia lävistämällä. Se tapahtuu painamalla valmistettavan osan muotoista lävistintä voimalla sellaisen tyynyn päällä, jossa on lävistimen muotoinen reikä. (Matilainen;Parviainen;Havas;Erja;& Hultin, 2011, s. 179) Suurissa sarjoissa tämä on hyvin käytetty menetelmä, koska varsinkin alle viiden millin levynvahvuuksilla yksi lävistysisku on nopea, jolloin aihioita voidaan valmistaa paljon lyhyessä ajassa. Kahdeksan millin vahvuisen levyn lävistäminen vaatii kuitenkin paljon voimaa.

Lävistykseen vaadittu voima voidaan karkeasti arvioida kaavalla 1.

$$F=l \cdot s \cdot f \cdot R_m \quad (1)$$

missä F on lävistysvoima, l leikkausviivan pituus, s aineenvahvuus, f materiaalitekijä, ja R_m aineen murtolujuus. Materiaalitekijä on teräksen tapauksessa (Matilainen;Parviainen;Havas;Erja;& Hultin, 2011, s. 187, mukailtu) Aine on 8 mm vahvaa rakenneterästä. Alustavat mallinnukset osoittavat, että leikkausviivan pituus on noin 212 mm Kun tämä sijoitetaan kaavaan rakenneteräksen laskennallisen murtolujuuden kanssa, tässä tapauksessa 550 N/mm^2 , vaadituksi lävistysvoimaksi saadaan suunnilleen 933 kN. Tämän suorituskyvyn omaavia lävistyskoneita on saatavilla. (Machinery, 2022).

Hankaluudeksi nousee taas työkalukustannus, koska toivotun mallista lävistin-tyyny paria ei ole olemassa, joten sellainen olisi tilattava erikoistyönä. Leoko Oy:n logo pitäisi tätä menetelmää käytettäessä merkitä jälkikäteen kaikkiin kappaleisiin, ja se vaatisi lisätyövaiheen ja mahdollisesti kuljetuksen. Tämän lisäksi on todettava, että usein

lävistetyillä kappaleilla, etenkin näin vahvasta aineesta valmistetuilla pienillä osilla, on taipumus vääntyä kaareviksi ja niihin voi muodostua lävistimen puoleiselle puolelle jäyste, joka joudutaan poistamaan ennen jatkojalostusta. Näiden poikkeamien korjaaminen saattaa vaatia lisätyövaiheen. Työkalukustannus ja lopputuloksen epävarmuus johtavat siihen, ettei lävistämistä voida pitää optimaalisena menetelmänä, joten sitä ei lähdetä kehittämään.

4.2.5 Plasma- ja polttoleikkaus

Nämä kaksi termistä leikkausmenetelmää voidaan esitellä tässä yhdessä, koska ne ovat suhteellisen lähellä toisiaan, ja niiden ongelmat ovat tässä tapauksessa jokseenkin samankaltaisia. Kumpikin menetelmä polttaa railon leikattavaan levyyn, ja molemmat tuottavat leikkuupintaan paksuhkon oksidikerroksen. Kumpikaan ei ole yhtä mittatarkka kuin laser- tai vesileikkaus, eivätkä näin ollen tuota yhtä laadukasta osaa. Molempien tuottamat kappaleet vaativat usein jälkikäsittelyvaiheita, kuten purseen poiston. Ne soveltuvat paremmin suurempien kappaleiden leikkaamiseen, joten niitä ei kannata soveltaa tässä tapauksessa. (Matilainen;Parviainen;Havas;Erja;& Hultin, 2011, ss. 148,158)

4.2.6 Vesileikkaus

Vesileikkauksessa materiaalia leikataan kapealla, tietokoneohjatulla vesisuihkulla, johon usein lisätään hioma-ainetta leikkuutehon parantamiseksi. Tähän tarkoitukseen käytetty korkeapainepumppu tuottaa jopa 6200 Barin paineen ja aikaansaa ääntä nopeammin kulkevan vesisuihkun. Koska leikkaus on mekaaninen, ei tuota lämpöä eikä vaadi sähkönjohtavuutta, sillä voidaan työstää miltei mitä tahansa kiinteää ainetta. Vesileikkaus ei tuota haitallisia kaasupäästöjä, eikä vaadi haitallisia kemikaaleja. Vesileikkauksen tuottamaa materiaalihukkaa on mahdollisuus säädellä kappaleiden muotoilun ja nestauksen optimoinnilla. (Muototerä, 2020) Vesileikkaus ei sovellu kaiverrukseen tai merkkaukseen. Jos sillä haluttaisiin aikaansaada logoteksti, pitäisi se leikata läpi asti, joten logon merkitseminen vaatisi lisätyövaiheen ja mahdollisesti kuljetuksen. Vesileikkaus on teknisiltä ominaisuuksiltaan kilpailukykyinen, muttei T-ruuvin lattaosan valmistukseen paras vaihtoehto.

4.2.7 Laserleikkaus

Laserleikkaus on terminen leikkausmenetelmä, jossa voimakas, vahvistettu valonsäde, eli lasersäde suunataan kappaleeseen tietokoneen ohjaamana. Laser polttaa kulkemansa reitin muotoisen railon työkappaleeseen. Se soveltuu erinomaisesti useiden eri materiaalien leikkaamiseen ja tuottaa niin laadukkaan leikkausjäljen, ettei jälkikäsittelyä välttämättä tarvita lainkaan. Sen tuottamat muodonmuutokset ovat vähäisiä, joten se soveltuu pienten kappaleiden leikkaamiseen. (Matilainen;Parviainen;Havas;Erja;& Hultin, 2011, ss. 158, 169) Laser soveltuu myös merkitsemiseen ja sillä saadaan toivottu teksti tai kuvio jokaiseen haluttuun tuotteeseen (Epilog Laser, 2019).

Leoko Oy:llä on pitkä kokemus laserleikatuista osista ja valmis yhteistyöverkosto niiden hankkimiseen. Laserleikkaus tuottaa korkealaatuisia ja edustavia osia edullisesti sopivasta materiaalista. Laserleikkaus on näin ollen esitellyistä menetelmistä Leoko Oy:n kannalta paras tähän projektiin.

4.3 Mallinnus ja siihen käytetyt ohjelmistot

Nykyään osia suunnitellaan paljon luomalla niistä malli tietokoneella, josta sitten tietokone tuottaa piirustuksia tarpeelliseksi katsotuista suunnista. Näin luotuja malleja voidaan muuttaa, ja niiden ominaisuuksia voidaan tutkia sekä muokata. Malleja voidaan myös sovittaa tosiinsa ja tutkia niiden toimivuutta ja yhteensopivuutta. Mallinnus T-ruuvien lattaosan tuotekehitysprojektissa suoritettiin kahdella eri ohjelmistolla. Molemmilla tuotettiin useita versioita osasta. Ohjelmistot olivat Creo parametric 4.0 ja Onshape.

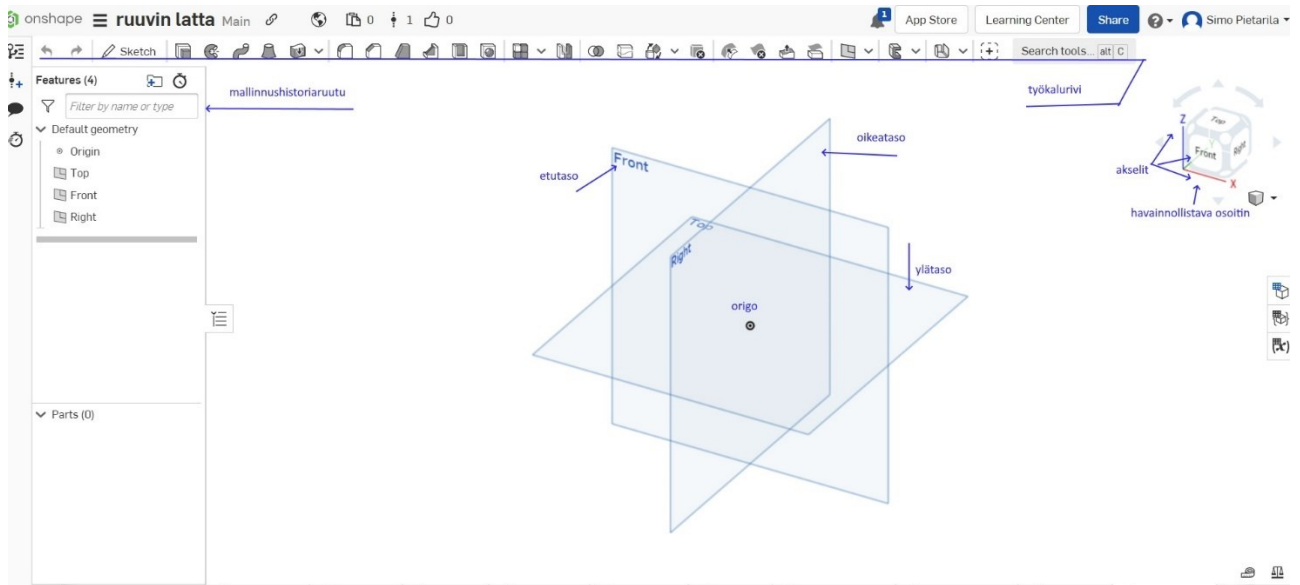
Creo parametric 4.0 on 2017 julkaistu CAD ohjelmisto, joka toimii Microsoft Windows-käyttöjärjestelmän sisällä. Sillä on mahdollista tuottaa malleja monenlaisista kappaleista, sovittaa niitä yhteen kokoonpanoiksi ja tutkia niiden yhteensopivuutta ja yhteistoimintaa, sekä tuottaa niistä piirustuksia ja valokuvamaisen tarkkoja tuotekuvia. Tämä ohjelmisto on Hämeen Ammattikorkeakoulussa ensisijaisesti opetettu mallinnusohjelmisto. Creo on monipuolinen ja toimiva mallinnusohjelmisto.

Onshape on pilvessä toimiva CAD ohjelmisto, jonka ensimmäinen versio julkaistiin vuonna 2015. Sen käyttö tapahtuu internet-selaimen kautta. Tämä toimintamalli mahdollistaa

ohjelmiston käytön laajemmalla valikoimalla tietokoneita, koska se ei ole sidottu mihinkään tiettyyn käyttöjärjestelmään, eikä vaadi suunnittelijan tietokoneelta erityisen suurta suorituskykyä. Kaikki tiedostot tallennetaan lähtökohtaisesti Onshapen omalle pilvipalvelimelle, jossa ne ovat kaikkien valtuutettujen muokattavissa ja tarkasteltavissa. Tämä toimintamalli poikkeaa suuresti perinteisemmästä toimintatavasta, jossa ohjelmisto asennetaan erikseen jokaisen käyttäjän tietokoneelle ja kunkin yksittäisen suunnittelijan tekemät tiedostot on tallennettu ensisijaisesti vain tekijän tietokoneelle, tai yrityksen omalle palvelimelle. Onshapen toimintamalli avaa aivan uusia yhteistyömahdollisuuksia, kun kaikki työryhmän jäsenet voivat yhdessä muokata samaa tiedostoa.

Molemmissa käytetyissä ohjelmistoissa mallinnus tapahtuu karkeasti ottaen samalla tavalla. Tässä esitellään kuvassa 17 Onshapen perustyötila, eli "Part studio", jossa mallinnus aloitetaan. Siinä on keskellä piirtoalue, se toimii kolmiulotteisesti, eli piirtää voi mille tahansa kolmesta näkyvästä tasosta, jotka on nimetty tarkastelusuunnan mukaisesti "Front", "Right" ja "Top" eli "etutaso," "oikeataso" ja "ylätaso". Ajatus siis on, että kun kuvaa tarkastellaan "edestä", etutaso on silloin kohtisuorassa katsojaan nähden. Työtilan oikeassa ylänurkassa on hahmottamista helpottava kuution mallinen osoitin, jonka tahkoille on merkitty tarkastelusuunta. Kuution nurkassa on koordinaatiston akseleiden suuntaa kuvaavat kolme nuolta X, Y ja Z, jotka ovat kohtisuorassa toisiinsa nähden. Kun näkymää pyöritetään, kääntyy tämä osoitin mukana ja jos tätä osoitinta pyörittää, niin näkymä kääntyy vastaamaan osoittimen asentoa. Näin joko näkymää tai osoitinta pyörittämällä voi asettaa tarkastelusuunnan mieleisekseen. Työtilan yläreunassa on työkalurivi, jolla on käytettävissä olevia työkaluja edustavat kuvakkeet, joiden kautta työkaluja pääsee käyttämään.

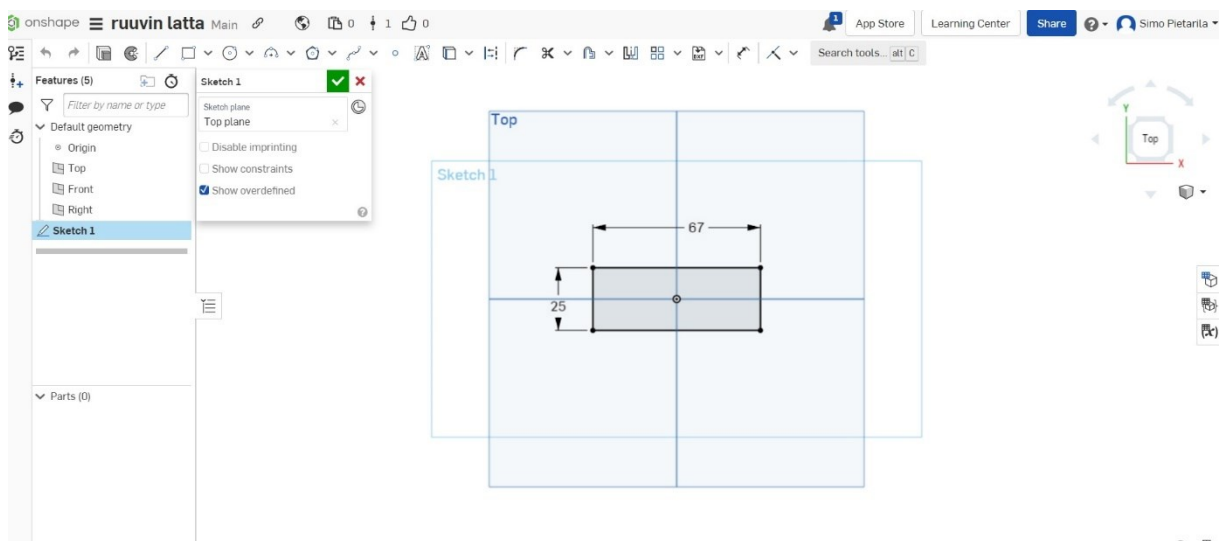
Kuva 17. Onshapen perustyötila



Seuraavaksi esitellään kuvien 18–21 avulla T-ruuvin lattaosan mallinnus vaiheittain. Aluksi T-ruuvin lattaosasta luodaan kolmiulotteinen malli, josta tuotetaan valmistuksessa tarvittavat konepiirustukset.

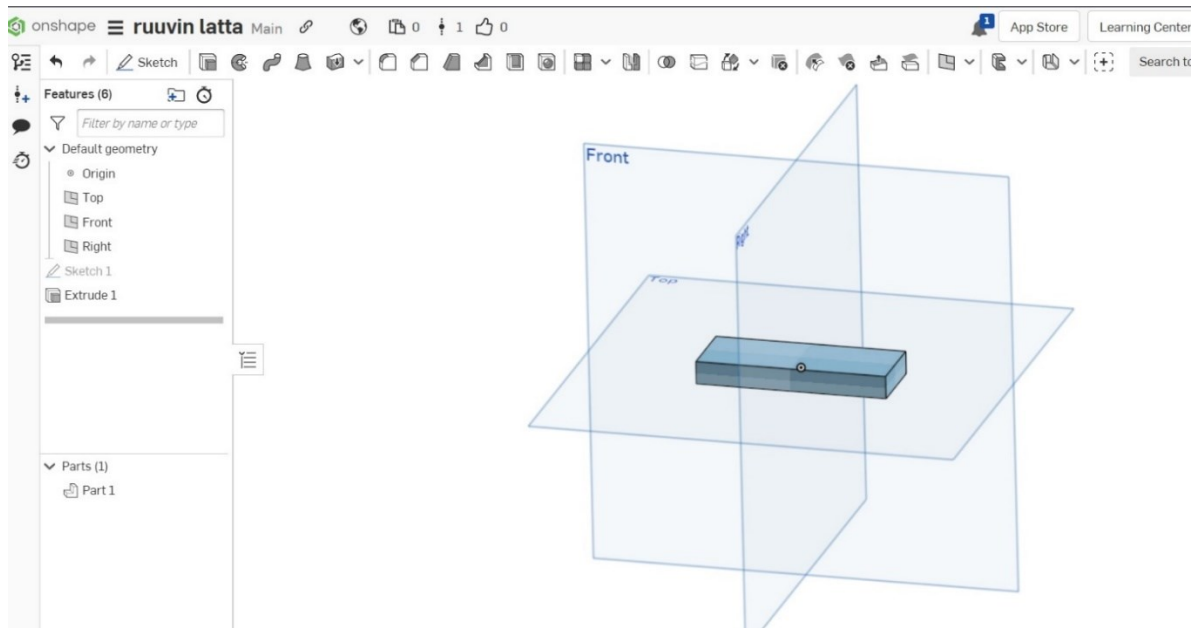
Ensin piirretään karkea kuva toivotusta kappaleesta yhdestä suunnasta katsottuna eli sketsi. Sketsi mitoitetaan, eli sen koko määritellään millimetreinä. Mitoitettu sketsi on esitetty kuvassa 18. Tämä sketsi on ylätasolla, eli tarkastelusuunta on kohtisuoraan ylhäältä alaspäin,

Kuva 18. Sketsi Onshapessa



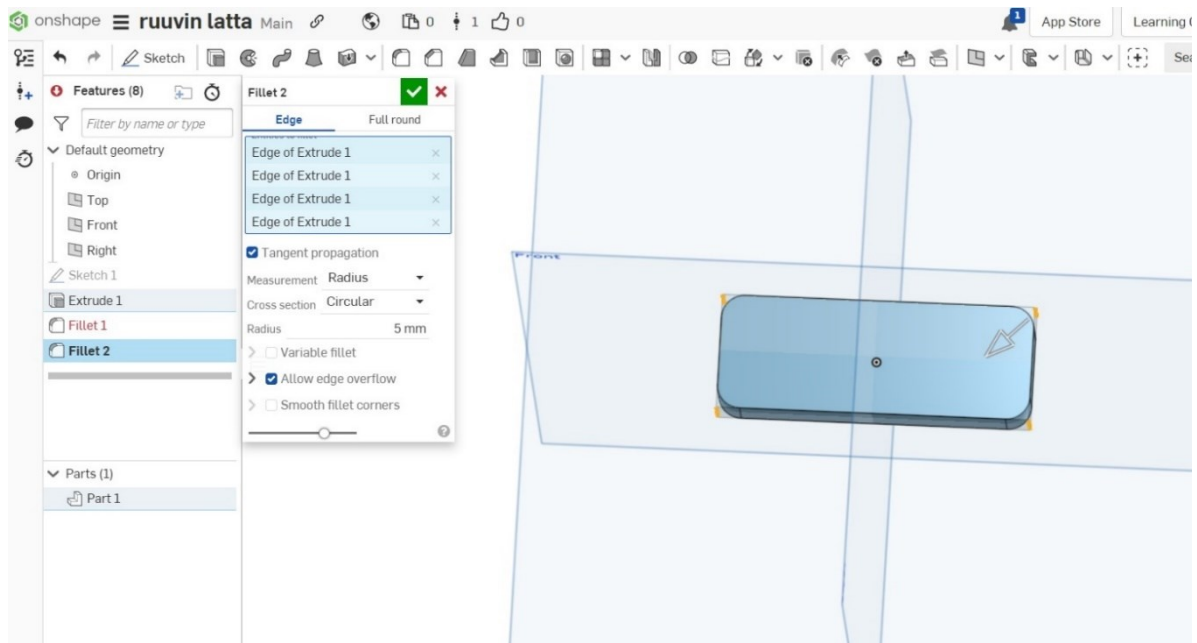
Sitten osalle määritellään vahvuus pursotustyökälulla. Tässä toimenpiteessä tietokoneelle ilmoitetaan, miten vahvaksi sketsi tulee pursottaa. Pursotus lisää kolmannen ulottuvuuden kappaleeseen, kohtisuoraan piirrostasoa vastaan. Edellinen sketsi on pursotettuna kuvassa 19.

Kuva 19. Pursotettu malli



Sitten mallinukseen tehdään muokkauksia, jotta saadaan kaikki halutut muodot. Tarvittaessa tehdään lisää sketsejä, ja pursotetaan ne. Pursottamalla voidaan ainetta lisätä tai poistaa. Tässä mallinnuksessa tehdään vain pyöristykset nurkkiin, kuvan 20 osoittamalla tavalla

Kuva 20. Malli, jonka nurkat on pyöristetty.



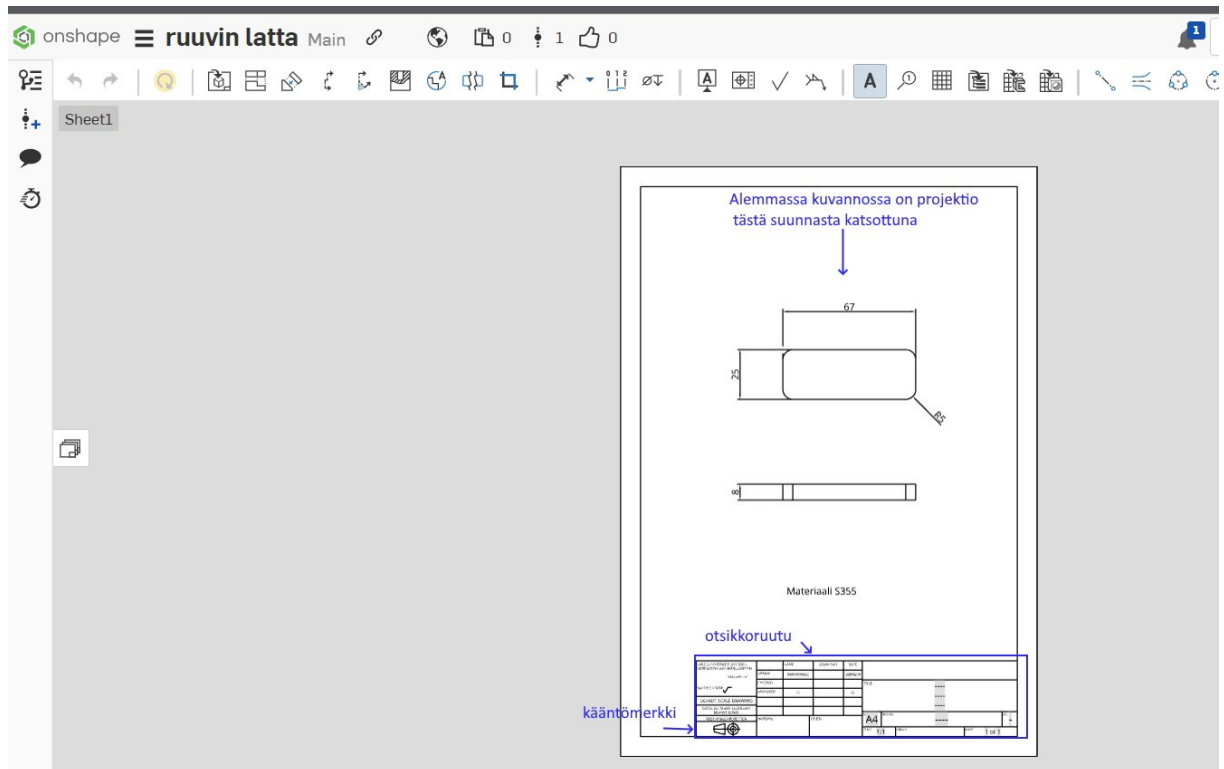
Lopuksi kappaleesta tuotetaan piirustuksia, joilla se voidaan valmistaa. Konepiirustuksissa on yleinen käytäntö esittää kaikki mitat millimetreinä, joten sitä ei tarvitse mainita. Kuvassa 21 on piirustus, johon on tuotettu kaksi kuvantoa äsken mallinnetusta kappaleesta. Ylempi on pääkuvanto, jossa on suurin osa mitoista. Alempi on projektio siitä, ylhäältä päin katsottuna. Piirustuksen alakulmassa olevassa otsikkoruudussa on kääntötapa ilmaiseva merkki. Otsikkoruutuun tulee kirjoittaa osan ja suunnittelijan nimi, piirustuksen numero, osan numero ja mihin se liittyy. Sinne voidaan merkitä myös muita asiaan liittyviä tietoja, kuten pintakäsittelyyn liittyviä ohjeita.

Piirustuksen muoto ja merkinnät ovat tarkkaan määritelty standardeissa. Suomessa on käytössä vuonna 1947 perustetun Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n ylläpitämät ja kansainvälisiin standardeihin perustuvat standardit. Valtaosa niistä on maailmanlaajuisesti tai eurooppalaisten standardointielinten aiemmin vahvistamia standardeja. (Valtanen, 2019, s. 444) Näin ollen piirustusten merkinnät ovat periaatteessa luettavissa ja ymmärrettävissä kaikkialla maailmassa, missä noudatetaan samaa standardia.

Kuvan 21 merkinnät eivät ole standardin mukaisia kaikilta osin. Kuvassa 21 olevat siniset tekstit ja merkinnät ovat vain havainnollistamassa kuvan rakennetta. Niitä ei ole merkittyinä

käytettäviin valmistuspiirustuksiin. Lisäksi siinä on täyttämättä suuri osa otsikkoruudun vaadituista kohdista.

Kuva 21. Piirustus äsken mallinnetusta kappaleesta



5 Case: Leoko Oy:n painonnosto- ja voimanostotankojen lukoissa käytettävän T-ruuvin lattaosan kehitys

Kun osa ja sen käyttö tunnetaan, valmistusmenetelmät ja materiaalit on päätetty ja tavoitteet on asetettu, voidaan niitä alkaa tavoitella. Päämäärien saavuttamiseksi luodaan uusia muotoiluja ja suunnitelmia. Uudet suunnitelmat välitetään alihankkijoille konepiirustuksina. Sitten niitä kokeillaan aluksi pienempinä koesarjoina, ennen kuin uudistettua tuotetta aletaan valmistaa sarjassa. Tässä luvussa kuvaillaan T-ruuvin suunnittelua, eri muotoiluvaihtoehtoja, ja näiden pohjalta valmistettuja koesarjoja.

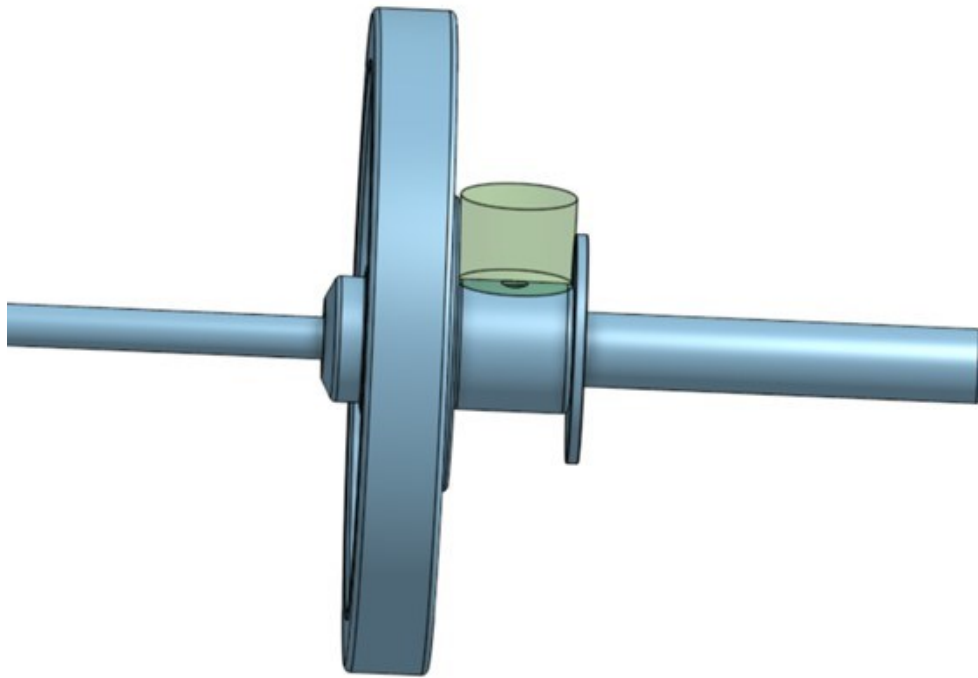
5.1 Uuden osan suunnittelua

Koska suunnittelu määrää kappaleen ominaisuudet, on se tällaisessa projektissa merkityksellisin vaihe. Tuotteen valmistusvaiheessa esiin tulevat haasteet johtuvat nekin usein huonosta suunnittelusta.

Suunnittelun päätyökalut Leoko Oy:n T-ruuvien lattaosan tuotekehitysprojektissa ovat Microsoft Edge- selaimen kautta käytetty Onshape mallinnusohjelmisto ja Creo 4.0 mallinnusohjelmisto. Raportointi ja mahdolliset taulukkolaskelmat suoritetaan Microsoft Officella. Alihankkijat suorittavat leikkaus- ja hitsausvaiheet omilla koneillaan, joiden yksityiskohdat eivät ole tämän opinnäytetyön raportin tekijän julkaistavissa.

T-ruuvien lattaosan mitoitus rajoittaa sen kanssa käytettävien muiden välineiden käytönaikainen sijoittelu ja mitoitus. Kuvassa 22 on Onshapella luotu mallinnus, joka havainnollistaa näitä rajoitteita. Kuvassa näkyy painonnostotanko, jossa on magneettilukko. Tämä siksi, että siinä tulee esiin selkeimmin se rajoitettu tila, missä T-ruuvien tulee noston aikana olla. Tangossa on läpinäkyvänä sylinterimäinen tila, jonka ympäryspintaa, (\varnothing 79mm) ei T-ruuvien latan minkään kohdan tule noston aikana ylittää. Tilavarauksen korkeus, 65 mm, on lähinnä viitteellinen, koska uuden osan massan tulee olla mahdollisimman lähellä vanhan osan massaa. Kun materiaalin vahvuutta ei muuteta 8 mm:stä, leikattavan kappaleen pinta-ala on 25*75 mm, eli noin 1875 neliömillimetriä, jolloin 65 mm korkea, suorakulmainen levy on vain noin 29 mm leveä. Näin korkea ja kapea T-ruuvien lattaosa ei ole enää käyttötarkoituksen mukainen. Jos lattaosa olisi pyöreä, sen halkaisija olisi 48,8 mm. Tämä olisi kuitenkin niin suuri muutos kappaleeseen, että se ei enää sovi Leoko Oy:n visuaaliseen ilmeeseen. Näin ollen pysyttelemme jokseenkin suorakulmaisissa lattaosissa. Jos lattaan leikataan aukkoja, sen ulkomittoja tulee kasvattaa, mutta kaikki aukot, etenkin teräväkulmaiset, tuottavat käytettäessä liiallista epämukavuutta, koska näitä käytetään paljain käsin. Lisäksi kaikki aukot lisäävät kustannuksia, sekä pidemmän leikkuaajan, että niiden tuottaman aineenhukan vuoksi, joten aukkojen leikkuun kynnys on korkea tällaisessa tapauksessa. Näin ollen osasta tulee suunnitella kiinteä kappale, jossa ei ole teräviä kulmia sellaisissa kohdissa, johon käytössä tullaan koskemaan.

Kuva 22. Mallinnettu, kuormattu painonnostotanko



Koska ruuviosa hitsataan lattaosan keskelle, on hyvä, jos sille on sopiva ohjainkolo latan alareunassa, silloin ruuviosan paikoittaminen on helpompaa. Koska hitsisauma ei saa tulla logotekstin päälle, pitää hitsauskohdan ja tekstin välissä olla useita millimetrejä tilaa.

Aiemmin läpikäytyjen tietojen perusteella sopivin materiaali on 8 mm vahva, kylmävalssattu rakenneteräs, joka laserilla leikataan toivottuun muotoon, ja johon kaiverretaan, myös laserilla, Leoko Oy:n logo. Tähän tarkoitukseen sopivaa ainetta on hyvin saatavilla ja sen työstöstä on alihankkijalla paljon kokemusta.

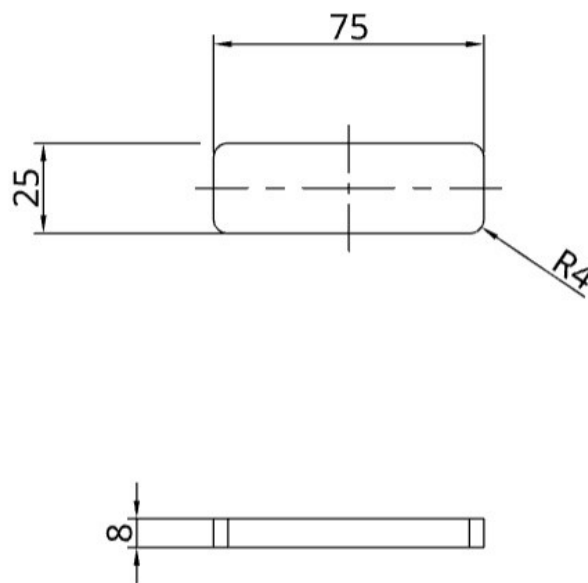
5.2 Ehdotettuja muotoiluja

Seuraavaksi esitellään eri vaihtoehtoja, joita projektin kestäessä on suunniteltu. Vaihtoehdot on nimetty kuvaavasti ja numeroimalla Vaihtoehtoista esitellään konepiirustuksen muotoinen kuva, jossa on kaksi projektiota kappaleesta.

5.2.1 Vaihtoehto 1, pyöristetty suorakulmio

Kuvassa 23 on esitetty ensimmäinen vaihtoehto. Sen etuna on, ettei näitä leikatessa tule juuri aineenhukkaa, jos nämä nestataan vierekkäin. Tämä ei tuo sahattuun latanpalaan juuri muuta lisäarvoa, kuin mahdollisuuden vaihtaa materiaali ja valmiit, tasalaatuiset pyöritykset. Näihin voisi myös merkata Leoko:Oyn logon, mutta koska hitsatessa osa niistä voi mennä väärin päin, ei sitä koettu mielekkääksi. Tämä malli ei tuo kovin suuria etuja alkuperäiseen nähden. Lähinnä materiaalin muutoksen tuoman pintakäsiteltävyyden.

Kuva 23. Vaihtoehto 1: Pyöristetty suorakulmio



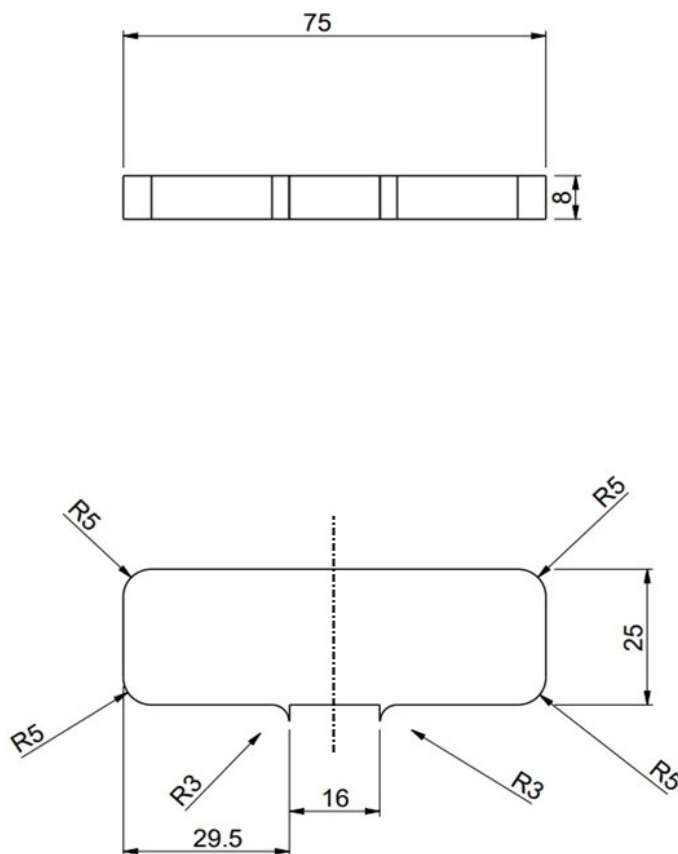
5.2.2 Vaihtoehto 2: ohjausnokat

Kuvan 24 vaihtoehdossa on parannuksena edelliseen ohjausnokat, joiden väliin kierreosa hitsataan. Tähän malliin voisi leimauttaa logon, koska hitsaus tulisi paikoittumaan aina samoin päin. Hankaluuksina tässä mallissa on kuitenkin juuri nokat. Teräväksi ohentuva

särmä on vaikea leikata laserilla niin, ettei se sula. Näin ollen niiden tekeminen epävarma vaihe.

Päämittoja ei muutettu edellisestä, koska nokkien tuoma massan lisäys oli niin vähäinen, ettei sillä ollut käytännön vaikutusta. Tästä mallista tehtiin koe-erä, joka osoitti, että nokkia on vaikea polttaa, ja ne ovat hitsattaessa hankalia. Tästä mallista leikattiin myös koe-erä ruostumattomasta teräksestä, jolloin pintakäsittely jäi tarpeettomana kokonaan pois. Ruostumattoman aineen kilohinnan ero rakenneteräkseen oli n. 300 %, joten se ei ollut taloudellisesti järkevä vaihtoehto materiaaliksi. Aikaansaatu säästö ei mitenkään kattanut kalliimpaa raaka-ainetta.

Kuva 24. Vaihtoehto 2: Pienet ohjausnokat.

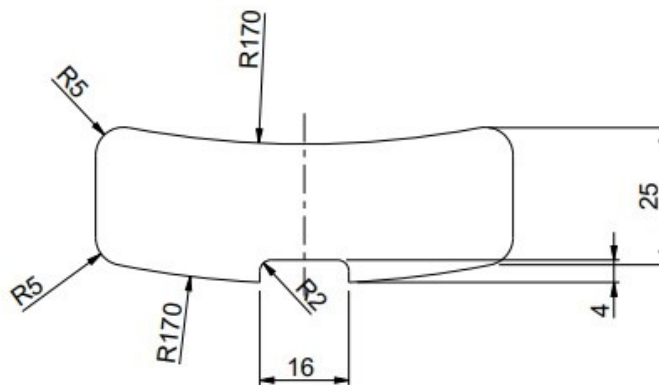
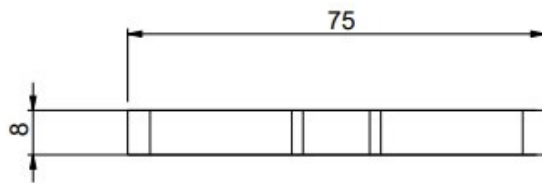


5.2.3 Vaihtoehto 3: Kaareva ja lovettu

Jotta hitsaus saataisiin aina oikeaan kohtaan, suunniteltiin malli, joka on kaareva ja jossa on kierretangolle varattu kolo alareunassa. Tämä vaihtoehto on kuvassa 25. Kaarevuudella pyrittiin pitämään lopputuotteen nurkat entisillä kohdillaan ja laskemaan keskikohtaa loveuksen verran alemmas, jolloin äärimmäiset mitat pysyisivät samoina. Koska ylä- ja alareunan kaari on yhtä suuri, voidaan nämä ainakin periaatteessa nestata puskuun levystä leikatessa.

Tämän mallin suurin ongelma oli liian suuri muutos ulkonäössä, joten kehittelyä ei jatkettu tähän suuntaan tämän enempää. Parannuksina aiempiin olisi ollut hukkaa pienentävä muotoilu ja hitsauskolan sisäkulmien pyöristykset. Kaarre on tehokkaampi muoto leikata laserilla, kuin terävä kulma.

Kuva 25. Vaihtoehto 3: kaareva ja lovettu

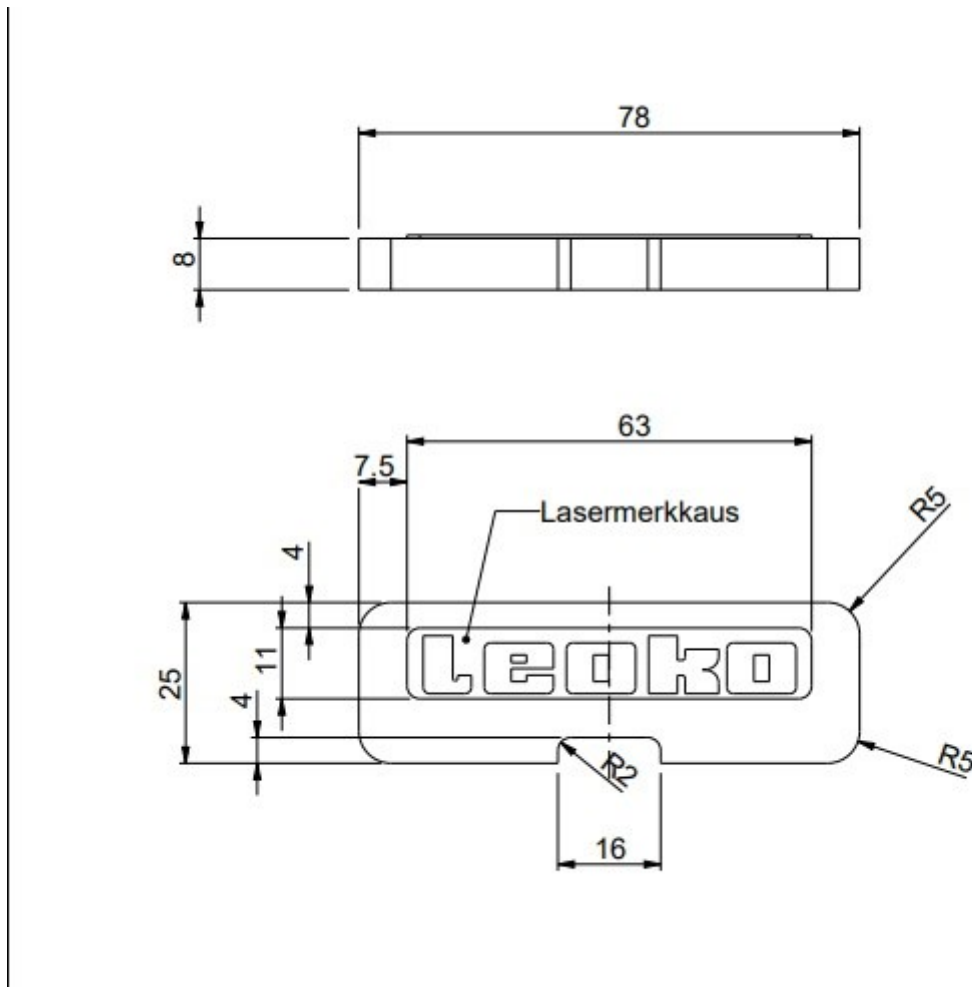


5.2.4 Vaihtoehdot 4.1, 4.2: suorakulmio, lovettu logolla

Tähän vaihtoehtoon lisättiin ensimmäisenä kehystetty logo. Kuvassa 26 se näkyy virheellisesti ylemmässä kuvannossa kohokuviona, mutta se on tarkoitus vain kaivertaa kappaleen pintaan. Logo on lähempänä latan yläreunaa, koska ruuvien liittäminen hitsaamalla muodostaa sauman kolon yläreunaan ja siitä pitää olla riittävä etäisyys tekstiin, ettei hitsaus sotke sitä.

Koe-erän jälkeen poistettiin kehys logon ympäriltä esteettisistä syistä. Kun toinen koe-erä oli valmistettu, todettiin ettei logo ole edukseen epäkeskeisenä lattaan nähden, joten se poistettiin seuraavasta vaihtoehdosta kokonaan.

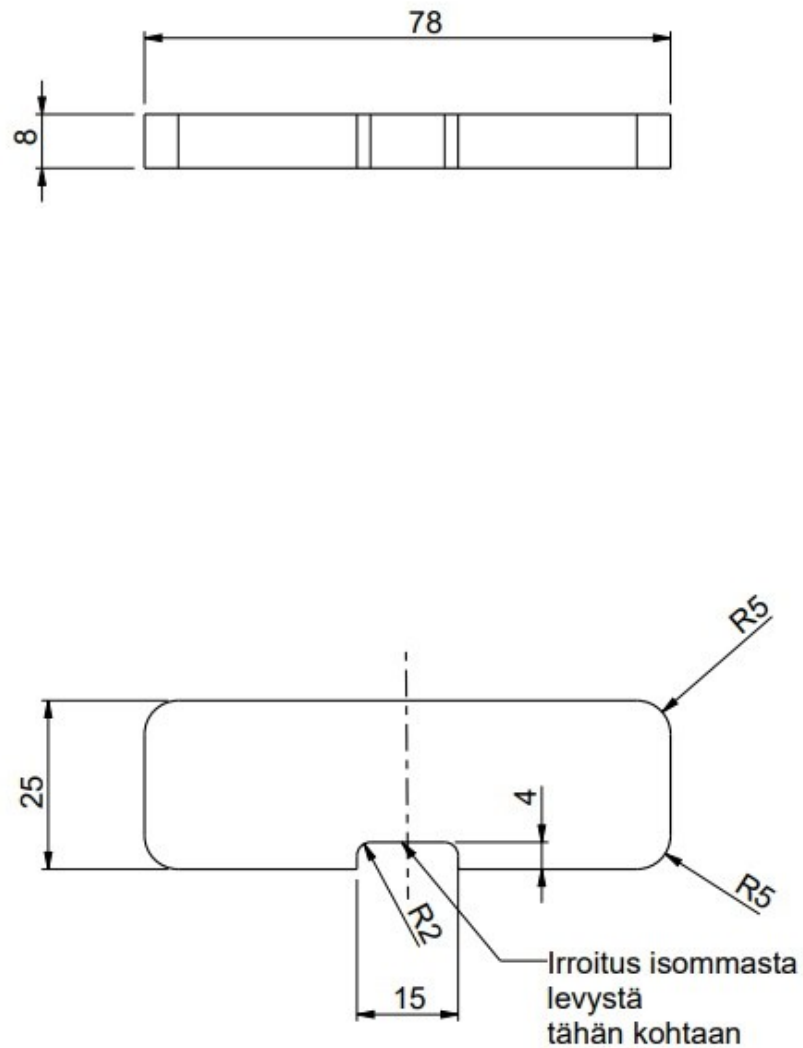
Kuva 26. Vaihtoehto 4.2: Suorakulmainen, lovettu logolla.



5.2.5 Vaihtoehto 4.3: suorakulmio, lovettu, ilman logoa

Edellisen vaihtoehdon toimivuus logoa lukuun ottamatta johti suoraan tähän versioon, joka on kuin vaihtoehto 4.2, mutta ilman logoa. Se on esitelty kuvassa 27. Tähän kuvaan on lisätty koe-erien jälkeen tarpeelliseksi todettu huomautus viimeisestä kiinnityspisteestä. Tästä vaihtoehdosta valmistettiin ensimmäinen tuotantoerän kokoinen erä rakenneteräsosia, jotka jalostettiin myytäväksi asti.

Kuva 27. Vaihtoehto 4.3: Suorakulmainen, lovettu ilman logoa.



5.2.6 Vaihtoehto 5: Korotettu, logolla.

Viimeisin suunniteltu versio on kuvassa 28 esitetyn mukainen, siinä logo on keskellä suorakulmaista lattiaa, jonka alaosaan on lisätty erityinen kannas kierreosan kiinnitystä varten. Tästä ei ole vielä valmistettu koe-erää, mutta muuten tätä pidetään lupaavana jatkoa ajatellen.

5.3.1 Koesarjat

Kaikkiaan näistä osista valmistettiin neljä koesarjaa ja yksi tuotantoerän kokoinen sarja. Niistä on saatu korvaamatonta kokemusta ja niiden perusteella tuotantoa on pystytty jo kehittämään.

Koesarjassa 1 tuotettiin joitakin kappaleita vaihtoehdon 2 mukaisia, ohjausnokallisia osia rakenneteräksestä. Kuvassa 29 on näitä osia ja kuvassa 30 on lähikuvissa tämän koesarjan olennaisin poikkeama, jokaisen kappaleen nurkassa oleva terävä uloke, joka oli syntynyt, kun osat irtoavat aihioista. Tämä havainto johti jatkokehitykseen. Toinen hankaluus tässä mallissa olivat ohjausnokat, jotka käytännössä osoittautuivat liian lyhyiksi ohjaamaan ruuvin kunnolla kohdalleen, ja joiden leikkaaminen oli hankalaa laserilla, koska niissä materiaali oheni teräväksi kiilaksi. Tällaisen kiilan kärki saattaa sulaa leikattaessa. Lisäksi nokka heikensi hitsattavuutta.

Kuva 29. Koesarjan 1 osia



Kuva 30. Koesarjan 1 osia, irrotuskohtaan jäänyt poikkeama lähikuvassa.



Toinen koesarja tehtiin samalla mallilla, mutta materiaaliksi kokeiltiin ruostumatonta terästä. Uusi materiaali poisti kromaamistarpeen, koska korroosio ei aiheuttanut enää ongelmaa. Tämän koesarjan kappaleista valmistettuja, hitsattuja ruuveja on kuvassa 31. Myös näihin muodostui kärkevä uloke nurkkaan, mutta ne poistettiin hiomalla ennen hitsausta.

Ruostumattoman ulkonäkö ei kuitenkaan ollut kovin edustava, kun hitsaus oli polttanut mustan jäämän ympäristöönsä. Mustumat poistettiin peittaamalla, jonka jälkeen ne olivat jokseenkin asiallisen näköisiä. Tämän koesarjan olennaisin havainto oli, ettei ruostumaton ole taloudellisesti kilpailukykyinen vaihtoehto, koska kappalehinta oli materiaalin osalta kolminkertainen rakenneteräksisiin nähden.

Kuva 31. Koesarja 2, ruostumaton teräs



Koesarja 3 tehtiin vaihtoehdon 4.1. mukaisesti, niissä oli kolo ruuvia varten ja logo poltettuna jokaiseen kappaleeseen. Kuvassa 32 on tämän koesarjan osia. Näissä näkyy jokaisen osan vasemmassa yläkulmassa kolo, jonka laser poltti niihin, osan pudotessa irti aihioista. Myös logo todettiin epätydyttäväksi. Sen ympärillä oleva kehys päätettiin poistaa seuraavasta koesarjasta.

Kuva 32. Koesarja 3, jokaisessa kappaleessa on kolo nurkassa



Koesarja 4 tehtiin vaihtoehdon 4.2. mallilla, joka on kuvassa 32, mutta ilman kehystä. tämän koesarjan osista tehtyjä, hitsattuja ruuveja ilman pintakäsittelyä on kuvassa 33. Näissä hitsaus tuli lähelle logoa, muttei peittänyt sitä, joten yhtään alemmas logoa ei voi laittaa. Tämä aiheuttaa kuitenkin sen, että logo ei ole keskellä lattaosaa ja se todettiin epäesteettiseksi, joten logo päätettiin jättää pois kokonaan seuraavasta sarjasta. Tähän koesarjaan oli määritelty irrotuskohdaksi kolon pohja, joten poikkeamat joko voitiin hioa pois, tai ne jäivät hitsin alle, jolloin niistä ei enää tullut ulkonäköhaittoja.

Kuva 33. Koesarja 4 hitsattuna



Viides sarja oli jo tuotantoerän kokoinen. Siinä oli otettu oppia aiempien sarjojen ansioista ja puutteista. Se valmistettiin vaihtoehdon 4.3 mukaisesti rakenneteräksestä ja tämän sarja lopullisia tuotteita, kromattuina ja lähetysvalmiina on kuvassa 34. Pintakäsittely onnistui ja ruuvit istuivat mukavasti koloihin. Näin ollen tuotekehitys tuotti toimivia ratkaisuja.

Kuva 34. Ensimmäinen tuotantoerän kokoinen sarja



6 Löydökset ja suositukset

Tämän projektin tuloksena on muodostunut uuden mallinen lattaosa Leoko Oy:n T-ruuviin, joka valmistetaan uudella menetelmällä ja uudesta materiaalista. Tästä on aikomuksena jatkaa kehitystyötä saatujen kokemusten perusteella. Tähän mennessä valmistetut koesarjat ovat tuoneet esiin monia seikkoja. Laserleikkauksen rajoitteet T-ruuvien lattaosan suhteen tuottivat poikkeamia. Kun rajoitteet otettiin suunnittelussa huomioon, niiden vaikutus lopputuotteeseen saatiin mitätöityä. Tämän perusteella menetelmävaihdoksen voidaan todeta onnistuneen.

Tuotteen hitsattavuus parani. Se voidaan päätellä siitä, että hitsaukseen liittyvät poikkeamat vähenivät. Sitä voidaan pitää onnistumisena.

Pintakäsittelyvyyden kannalta uusi materiaali on olennaisesti parempi. Kromaus Cr3-materiaalilla automaattilinjastolla onnistui ilman erityisjärjestelyjä. Lisäksi hilseenpoistovaihe

jäi kokonaan pois. Kokonaisuutena valmistettavuus parani ja tuotantoa saatiin virtaviivaistettua. Näiltä osin työn lopputulosta voidaan pitää onnistuneena.

Kehityksen eri vaiheissa oli selkeästi havaittavissa, miten herkkä alue muotoilu on, ja miten pienet muutokset voivat olla ratkaisevia, kun ulkonäköä ja markkinoitavuutta pyritään parantamaan. Joskus esteettisten näkökohtien korostaminen voi olla ristiriidassa valmistettavuuden tai teknisten vaatimusten toteutumisen kanssa. Projektin keston aikana logon saaminen jokaiseen kappaleeseen ei onnistunut riittävän laadukkaasti. Tällä alueella kehitystä tulee jatkaa.

Kustannuksiltaan laserleikattu kappale ei ollut kohtuuttomasti kalliimpi. Kun otetaan huomioon menetelmän ja materiaalin vaihtamisen tuomat edut, voidaan osaa pitää kilpailukykyisenä aiempaan versioon nähden.

Koska ehdottomat vaatimukset saatiin täytettyä, voidaan suositella, että tulevaisuudessa tullaan jatkamaan laserleikattujen 8 mm vahvojen rakenneteräsosien käyttöä. Niiden muotoilun kehittämistä on aiheellista jatkaa, koska markkinointiarvoa kasvattava merkintä ei ole vielä onnistunut tyydyttävällä tavalla. Muotoiluvaihtoehto 5 voi tulevaisuudessa osoittautua toimivaksi merkintäongelman ratkaisuksi, mutta sitä ei ole vielä kokeiltu. Jatkotoimenpiteenä suositellaan koesarjan valmistamista vaihtoehto 5 mukaan.

7 Pohdinta

Tämän opinnäyteyönä toteutetun tuotekehitysprojektin aikana opittiin monia asioita. Oivalluksia syntyi esimerkiksi siitä, kun eri tuotantotapojen välisiä kustannuseroja halutaan vertailla realistisesti, kannattaa niitä tutkiessa pyytää tarjouksia asiaan liittyviltä yrityksiltä. Jo alustavilla piirustuksilla saadaan usein riittävän tarkka arvio kustannuksista. Toisinaan riittää puhelinkeskustelu, mutta monesti vasta kirjallinen viestintä tuo tilaajan toiveet riittävän selkeästi esiin.

T-ruuvien tuotekehitysprojektia varten tutkittiin ja opeteltiin kuuden eri mallintamisohjelmiston käyttöä, jolloin karttui laaja näkemys eri ohjelmistojen ominaisuuksista. Niiden näkyvin ero on käyttöliittymissä ja työkalujen nimeämiskäytännöissä. Monien ohjelmistojen toiminta on loppujen lopuksi suhteellisen

samankaltaista. Se, millä nimellä ja mitä kautta toiminnot toteutetaan, on opeteltava kuitenkin jokaisen ohjelman kohdalla erikseen. Tähän opinnäytetyön tuotekehitysprojektiin valittiin mallinnusohjelmiksi Creo ja Onshape, jotka on esitelty tarkemmin luvussa 4.3. Creo ja Onshape ovat tässä suhteessa hyvin erilaisia. Onshapessa mallinnus aloitetaan luomalla sketsi ja sitten sille määritellään toiminto omana vaiheenaan. Creossa valitaan ensin, mikä toiminto halutaan lopputuloksena suorittaa ja sketsit luodaan valitun toiminnon sisäisinä. Kumpikin tapa tuottaa toivotun lopputuloksen eikä näistä kumpikaan ole osoitettavissa objektiivisesti paremmaksi. Tuotekehitysprojektiä tehdessä syntyi oivallus, että monilla mallintajilla on jokin tietty suosikkiohjelmisto, mutta usein syy on tottumuksen tuoma tuttuus tai muuten käyttäjäkohtainen näkemys.

Monet ideat, joita syntyi T-ruuvien tuotekehitysprojektin aikana, päädyttiin hylkäämään jossain vaiheessa niiden kehitystä vaihtelevista syistä. Monet hyvinkin pian niiden esittämisen jälkeen. Tärkeää kuitenkin on, että ideoita riittää, koska niiden tuottaminen on edullista ja suuresta määrästä löytyy usein hyviä ideoita. Yleisemmin ideoita hylättiin kustannussyistä, ajan puutteen takia ja esteettisistä syistä. Yritystoiminnassa on usein tärkeämpää saada aikaan tuloksia, kuin tutkia kaikkia mahdollisia vaihtoehtoja. Ajan ja resurssien rajallisuus on tekijä, jonka kanssa insinöörin on opittava tulemaan toimeen. Mihinkään yhteen ideaan ei pidä jäädä jumiin. Etenkin kun tekee töitä työryhmässä, pitää aina muistaa, että työryhmän voima on juuri siinä, että eri ihmiset näkevät asiat eri tavalla.

Tuotekehitysprojektin aikana kokemus osoitti, että pitää aina varautua siihen, että ylemmältä taholta tulee määräys kohdistaa resurssit tavalla, joka ohjaa projektin eri suuntaan, kuin suunnittelija on aikonut. Tuotekehityksessä voi syntyä myös projektin sisäisiä ristiriitatilanteita, joissa esimerkiksi tuotteen ulkonäköä voitaisiin parantaa käytettävyyden kustannuksella. Tällaisessa tilanteessa pitää vaan päättää, mikä ominaisuus on määräävin, ja millainen kompromissi on saavutettavissa.

Kirjan *Welded design – theory and practice* ensimmäisessä luvussa kirjan kirjoittaja John Hics pohtii insinöörin vastuuta. Hän mainitsee muun muassa, että suunnitellessaan laitteita ja rakenteita insinööri perustaa toimintansa tieteen todeksi osoittamiin seikkoihin maailman toiminnasta ja matematiikan tuottamiin simulointi- ja ennakoitimenetelmiin. Mutta toisin kuin tieteellinen tai matemaattinen tutkimus, jossa pyritään ehdottomaan oikeellisuuteen

sekä täydelliseen tarkkuuteen, ja joka on luonteeltaan päättymätöntä sekä loputtomasti tarkentuvaa, insinööritoiminnassa tuloksia on tuotettava tiettyyn hintaan määrättyssä ajassa. Näin ollen yleensä insinööri ei pysty keräämään, tutkimaan eikä hyödyntämään kaikkea mahdollista tietoa tuotteensa toimintaan vaikuttavista tekijöistä, eikä sen vuorovaikutuksesta ympäristönsä kanssa. Näin ollen insinööri joutuu aina toimimaan jonkinasteisten epävarmuuden vallitessa. Näissä rajoissa insinööri pyrkii varmistamaan, että lopputuote toimii tietyn ajan odotetusti ja määrättyyn hintaan. (Hics, 2001, ss. 1,2)

Insinöörille täydellisyys ei ole kovin monessa tapauksessa mielekäs tai edes saavutettavissa oleva päämäärä. Tällainen väistämätön epätäydellisyys luo tilanteen, jossa tuotteita on aina mahdollisuus parantaa ja kehittää. Tämän työn koko sisältö on käytännössä osoitusta tästä. Myös tässä työssä esitetty lopputulos on epätäydellinen. T-ruuvien lattaosan kehitystä tullaan tulevaisuudessa jatkamaan. Muutokset toimintaympäristössä voivat aikaansaada suuriakin muutoksia tähän tuotteeseen. Tämä projekti on nyt tullut tältä osin päätökseen, vaikka tuote ei ole valmis.

Työnä sinänsä tuotekehitysprojekti tuotti uutta, suoraan hyödynnettävää tietoa Leoko Oy:lle. Uuden mallisia lopputuotteita valmistettiin ja myytiin, joten työllä on ollut myös myönteinen taloudellinen vaikutus. Työ on opettanut insinöörin työssä tarvittavia taitoja, kuten mallinnusta, dokumentointia, raportointia ja yleistä kehitysprojektin hallintaa.

Yleisesti ottaen voidaan tätä työtä ja lopputuloksena syntyneitä tuotteita pitää onnistuneina. Insinöörin työ voi olla onnistunutta, tärkeää ja arvokasta, vaikkei se olisi täydellistä.

Lähteet

- Boothroyd, G.; Dewhurst, P.; & Knight, W. A. (2011). *Product design for manufacture and assembly* (3. p.). Boca Raton, Florida, USA: CRC Press.
- BV-metalli Oy. (2021). Teräslevy 8x1000x2000. Hyvinkää, Suomi. Haettu 3. Syyskuu 2022 osoitteesta <https://www.metallikauppa.fi/tuote/teraslevy-8x1000x2000/>
- ECHA. (06. touko 2022). ECHA substance infocard Cr VI. *Chromium (VI) compounds, with the exception of barium chromate and of compounds specified elsewhere in this Annex*. EU: ECHA -Euroopan kemikaalivirasto. Haettu 28. touko 2022 osoitteesta <https://echa.europa.eu/fi/substance-information/-/substanceinfo/100.240.768>
- Epilog Laser. (2019). laser-marking-meta. Haettu 29.. Heinäkuu 2022 osoitteesta <https://www.epiloglaser.fi/laser-marking-metal/>
- Evek GmbH. (2022). copy of 2. luokan titaanilevy 0.3mm 3,7035 100-1000mm mittoihin leikatut titaanilevyt. Mülheim an der Ruhr, Nordrhein-Westfalen, Saksa. Haettu 3. syyskuu 2022 osoitteesta <https://evек.xyz/luokat/2570-2-luokan-titaanilevy-4-8mm-37035-100-1000mm-mittoihin-leikatut-titaanilevyt-4066435069476.html>
- Hakala, T. (2017). Historia-Leoko. (T. Hakala, Toim.) Kangasala, Suomi: Leoko. Haettu 6.. heinäkuu 2022 osoitteesta <https://www.leoko.fi/historia/>
- IPF. (20. Lokakuu 2021). Approved list of Personal apparel and equipment for use at IPF sanctioned competitions. Luxemburg. Haettu 8. Elokuu 2022 osoitteesta https://www.powerlifting.sport/fileadmin/ipf/data/rules/approved-list/Approved__List_2019-2022_Final-new-1.pdf
- IPF. (2022). POWERLIFTING RECORDS. Strassen, Luxemburg. Haettu 7.. heinäkuu 2022 osoitteesta <https://www.powerlifting.sport/championships/records>
- IWF. (1. Tammikuu 2020). INTERNATIONAL WEIGHTLIFTING FEDERATION 2020 TECHNICAL AND COMPETITION RULES & REGULATIONS. Budapest, Unkari. Haettu 11. Elokuu 2022 osoitteesta https://iwf.sport/wp-content/uploads/downloads/2020/01/IWF_TCRR_2020.pdf
- Jokinen, T. (elokuu 2010). Tuotekehitys. *Tuotekehitys*. (J. Tapani, Toim.) Espoo, suomi: Aalto-yliopisto Teknillinen korkeakoulu. Haettu toukokuu 2022 osoitteesta <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>
- Kosonen, J. (11.. syyskuu 2020). LEOKO ON AINUTLAATUINEN ALALLAAN SUOMESSA – YRITYSKUMMI LÄHTI KIRKASTAMAAN VOIMAILIJOIDEN MERKKIÄ. (K. J., Toim.)

- Tampere, Suomi: Pirkanmaan yrityskummit. Haettu 6.. Heinäkuu 2022 osoitteesta <https://www.yrityskummit.net/ajankohtaista/leoko-on-ainutlaatuinen-alallaan-suomessa-yrityskummi-lahti-kirkastamaan-voimailijoiden-merkkia/>
- Lempiäinen, J.;& Savolainen, J. (2003). *Hyvin suunniteltu- puoliksi valmistettu* (1. p.). Helsinki, Suomi: Hakapaino Oy.
- Machinery. (2022). GEKA PUMA LÄVISTYSKONEET. Machinery . Haettu 19.. heinäkuu 2022 osoitteesta <https://machinery.fi/metallintyosto/levytyo/monitoimileikkurit/geka-puma-lavistyskoneet/>
- Matilainen, J.;Parviainen, M.;Havas, T.;Erja, H.;& Hultin, S. (2011). *Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja* (1. p.). (M. Jorma, Toim.) Tampere, Suomi: Teknologiainfo, teknova .
- Muototerä. (2020). Tietoa vesileikkauksesta. Tampere, Suomi. Haettu 22. Heinäkuu 2022 osoitteesta <https://muototerä.com/fi/ratkaisut/tietoa-vesileikkauksesta/>
- Otto Ganter GmbH & Co. KG. (2022). GN 125.5 Flat Adjustable Stainless Steel Tension Levers. Furtwangen, Schwarzwald, Saksa. Haettu 14. Syyskuu 2022 osoitteesta <https://www.ganternorm.com/en/products/product-family/Stainless-Steel/GN-125.5-Flat-adjustable-Stainless-Steel-Tension-levers-with-threaded-stud>
- Valorinta, V. (1993). *Koneenrakentajan metallioppi* (3. p.). Tampere, Suomi: pressus .
- Valtanen, E. (2019). *Tekniikan taulukkokirja* (Kahdeskymmenestoinen painos p.). Mikkeli, Suomi: Genesis-Kirjat Oy.
- Kaikkien kuvien lähde on Leoko Oy