

Modulaarisen kiväärintukin sovite **Suunnittelu ja kustannusarviointi**

Sameli Rinta-Hirvelä

Opinnäytetyö
Marraskuu 2020
Liiketalouden ala
Tradenomi (AMK), Tietojenkäsittely

Tekijä(t) Rinta-Hirvelä, Sameli	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Marraskuu 2020
	Sivumäärä 25	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Modulaarisen kiväärintukin sovite Suunnittelu ja kustannusarviointi		
Tutkinto-ohjelma Tietojenkäsittely		
Työn ohjaaja(t) Kiviaho, Niko		
Toimeksiantaja(t) Tukkipojat		
Tiivistelmä <p>Oikeanlaiset kiväärintukin säädöt ovat osuman edellytys. Useita aseita omistavalle eri kokoonpanojen jatkuva kalibrointi käy kuitenkin työstä, ja ongelmaan täytyy löytää edullinen ja ennen kaikkea modulaarinen ratkaisu. Tarvetta paikkaamaan kehitettiin niin ikään modulaarinen kiväärintukijärjestelmä, jonka soviteosaa ei kuitenkaan toistaiseksi oltu konkretisoitu.</p> <p>Tavoitteena oli perehtyä teollisen tuotannon käytänteisiin ja niitä mukailien tuottaa malli kiväärintukin soviteosasta. Työn tutkimusosuus toteutettiin kehittämistutkimuksena, sillä hankkeen ytimessä oli aineellisen hyödykkeen kehitystyö ja sen ongelmat. Tutkimuksessa perehdyttiin erilaisiin 3D-skannauksen teknologioihin, käytiin läpi työn laadullisia vaatimuksia, pohdittiin eri raaka-aineiden mahdollisuuksia sekä tutustuttiin jyrstään työstömenetelmänä. Näiden lisäksi käytetyn ohjelmiston valintaa perusteltiin suunnittelun sujuvuuden näkökulmasta.</p> <p>Työn lopputuotteena syntyi malli kiväärintukin soviteesta. Lisäksi tutkimus tuotti toimeksiantajalle uutta tietoa erilaisten kappaleiden digitoinnista ja sen kustannuksista. Työn johtopäätöksiä saatiin selville, että digitalisointi maksaa strukturoidun valon menetelmällä toteutettuna keskimäärin 200-400 euroa. Mittaustietoja käyttäen tehty mallinnus voitiin jaotella lukkorungon ja leikkurikappaleiden tekoon, rakenteen keventämiseen ja pyöritykseen sekä viimeistelyyn. Huomioitaviksi asioiksi suunnittelun aikana todettiin kestäväyyden varmistaminen, jyrstän suunnitteluperiaatteiden noudatus ja yhteensopivuuden varmistus.</p>		
Avainsanat (asiasanat) CAD, 3D, Tuotekehitys, Muotoilu, Kivääri		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Rinta-Hirvelä, Sameli	Type of publication Bachelor's thesis	Date November 2020 Language of publication: Finnish
	Number of pages 25	Permission for web publication: x
Title of publication Adapter for modular rifle stock Design and cost estimation		
Degree programme Business Information Technology		
Supervisor(s) Kiviaho, Niko		
Assigned by Tukkipojat		
Abstract <p>Correct adjustments made to rifles stock are a must if one wishes to hit their target. For those owning multiple firearms constant calibrations become a chore and finding an affordable and modular solution would be preferable. To remedy this a modular stock system was developed, yet the adapter part has not been concretized so far.</p> <p>The objective was to get acquainted with the practices of industrial production and model the adapter based on their general principles. Research was conducted as design-based research since production of physical goods and solving related challenges were the focus of the project. The study looked at various 3D-scanning technologies, qualitative requirements, different raw materials, and machining as production method. Additionally, the choices which led to the selection of modeling software were assessed.</p> <p>As the final product a model of the rifle stock adapter was created. Furthermore, the research resulted in data regarding digitalization and its costs for the assignee to utilize. It was concluded that 3D-scanning, on average, costs roughly 200 to 400 euros when acquired as a service utilizing the Structured-Light method. When designing the adapter, it was observed that the modeling process could be roughly categorized to three distinct phases: replicating the receiver and creating cutting objects, lightening and rounding of structures and applying the finishing touches. Factors to be considered during design process were identified as ensuring the parts structural integrity, adhering to the basic design principles of CNC milling, and checking the compatibility with other components.</p>		
Keywords/tags (subjects) Computer-Aided Design, 3D, Product development, Design, Rifle		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	2
2	Hankkeen taustat ja tavoitteet	3
2.1	Opinnäytetyön aihe, tavoite ja rajaus	3
2.2	Tutkimus- ja kehittämismenetelmät sekä tietoperusta	3
2.3	Tutkimuskysymykset	4
3	Kappaleiden digitalisointi	4
4	Sovite kehittämisen kohteena	7
4.1	Toimintaperiaate	7
4.2	Laadun vaatimukset	8
4.3	Suunnitteluohjelmisto	9
4.4	Metallin työstö jyrsimällä	10
4.5	Design For Manufacturing	11
4.6	Prototyypointi 3D-tulostamalla	11
5	Suunnittelu ja mallinnus	12
5.1	Digitalisoinnin tarjouspyyntö	12
5.2	Pohjan mallinnus	13
5.3	Lukkorungon rekonstruktio	14
5.4	Kevennykset ja pyöritykset	15
5.5	Prototyypin 3D-tulostus	17
5.6	Viimeistely	19
6	Tutkimustulokset ja johtopäätökset.....	21
7	Pohdinta.....	22
	Lähteet	23
	Liitteet.....	25

1 Johdanto

Suomessa on yli 600 000 aseluvan haltijaa, joista suurin osa on metsästäjiä. Ei ole siis ihme että rekisteristä löytyy noin 1,5 miljoonaa erilaista ampuma-asetta, noin kaksi ja puoli luvanhaltijaa kohden. (Metsästys- ja aseharrastus selittää aseiden suuren määrän, n.d.) Kuten harrastajiakin, erilaisia kokoonpanoja on lukemattomat määrät ja vain harva pystyy tehokkaasti käyttämään toiselle henkilölle mitoitettua asetta. Ongelmaa on pyritty ratkaisemaan muun muassa tuomalla markkinoille pikasäädettäviä ja pikavaihdettavia aseentukkeja. Tämän seurauksena aktiiviset ampumaharrastajat joutuvat kuitenkin varastoimaan, kuljettamaan, kalibroimaan ja huoltamaan pahimmillaan tusinoittain yhteensopimattomia ja kalliita kokoonpanoja.

Jyväskyläläinen startup-yritys Tukkipojat pyrkii vastaamaan tähän visiolla universaalista, modulaarisesta ja ennen kaikkea edullisesta kiväärintukista. Järjestelmän ydin on alumiinista koneistettu vaihdettava sovite joka liittyy saumattomasti koivulaminaattiseen runkoon. Vastaavanlaista rakennetta ei ole tietävästi aikaisemmin yritetty toteuttaa käytännössä, mistä syystä hanke luo täysin uudenlaista suuntaa ampuma-aseiden muotoilun saralla.

Itse tukkiosaa on suunniteltu jo usean kuukauden ajan. Kokonaisuuden keskeisimmästä osasta, sovitteesta, ei kuitenkaan ole tehty toimivaa prototyyppiä. Tästä syystä toimeksiantajalla ei juurikaan ole konkreettista tietoutta lopullisen kokoonpanon valmistuksesta, kustannuksista tai kestävydestä. Näistä ongelmista tunnistettiin opinnäytetyön aloittamiseen johtanut kehitystarve. Pitkään jatkuneen projektin parissa työskentelyn johdosta opinnäytetyön tekeminen samasta aiheesta tuntui luonteelta osalta kehitysjatkoa. Aihe on erityisen kiinnostava koska se yhdistelee sopivissa määrin käyttäjäkeskeistä tuotesuunnittelua, 3D-mallinnusta, prototypointia sekä liiketoimintaa.

2 Hankkeen taustat ja tavoitteet

2.1 Opinnäytetyön aihe, tavoite ja rajaus

Opinnäytetyön kehittämiskohteena on modulaarinen kiväärintukin soviteosa sekä sen suunnitteluun liittyvät haasteet. Tavoitteena on suunnitella korkealaatuinen sovite mahdollisimman kustannustehokkaasti sekä optimoida se valmistusprosesseja, henkilötyötunteja sekä tuotantomenetelmiä silmälläpitäen.

Työn tulokset ovat toimeksiantajalle tärkeitä koska ilman kokonaisvaltaista arviota suunnittelun kustannuksista tarvittavaa rahoitusta on vaikea hahmottaa.

Mikroyritykselle tarkka alkuvaiheen budjetointi on elinehto, sillä ylimääräiset investoinnit ovat aina pois jostain muusta.

2.2 Tutkimus- ja kehittämismenetelmät sekä tietoperusta

Koska opinnäytetyö keskittyy aineellisten hyödykkeiden tuottamiseen, suoritetaan tutkimusosuus kehittämistutkimuksena. Kehittämistutkimus on nimensä mukaan kehitystyötä ja tutkimusta yhdistelevä menetelmäjoukko, jolle on ominaista muutostarpeesta alkaminen sekä jonkin tuotoksen syntyminen (Kananen 2012, 19).

Työn alkupisteenä ja lähtökohtana on aikasemmin tuotettu malli tukista sekä etukäteen valittu kiväärimalli jolle sovite räätälöidään. Tutkimusotteena toimii parhaiden ominaisuuksien löytäminen kappaleelle valmistuksen, yritysliiketoiminnan sekä loppukäyttäjän näkökulmasta. Työn teoreettinen osuus pohjautuu vahvasti erilaisiin teollista valmistusta ja digitointia käsitteleviin julkaisuihin. Lopullisena tuotteena on itse sovite jota kehitetään teorian ja käytännön vuorovaikutuksessa.

2.3 Tutkimuskysymykset

Tavanomaisesta poiketen työllä on neljä tutkimuskysymystä; yksi pääkysymys ja kolme tarkentavaa kysymystä.

Kuinka rakentaa mallinnus modulaarisen kiväärintukijärjestelmän soviteelle?

- *Mitä lukkorungon digitalisointi maksaa?*
- *Mitä vaiheita soviteen mallinnus sisältää?*
- *Mitä sovitetta mallintaessa täytyy ottaa huomioon?*

3 Kappaleiden digitalisointi

Suunnittelutyö on aikaavievä prosessi, joka vaatii jatkuvaa mallikappaleen rakenteen tutkimista ja mittailua. Työkuorman helpottamiseksi hankkeessa hyödynnetään 3D-skannausta, jota on pitkään käytetty apukeinona modernissa teollisessa muotoilussa. Yhteen lauseeseen tiivistettynä 3D-skannaus tarkoittaa fyysisen kappaleen pinnalta tapahtuvaa spatiaalisen datan keruuta sen tarkan muodon selvittämiseksi ja digitalisoimiseksi (What is 3D scanning?, n.d).

Nykyisin käytettävissä on useita eri tapoja skannata esineitä ja asioita. Valinta eri digitalisointimenetelmien välillä ei kuitenkaan ole itsestäänselvyys, sillä kaikkien tekniikoiden ominaisuudet sekä rajoitukset eroavat jonkin verran toisistaan. Parhaan käyttökustannusten, tarkkuuden ja mittausnopeuden suhteen löytämiseksi eri skannaustapoihin perehtyminen on välttämätöntä. Tähän osioon on kerätty joitain yleisimpiä kaupallisesti käytettyjä teknologioita sekä lyhyt kuvaus niiden toimintaperiaatteista.

Koskettavat

Manuaalinen mittaus

Vertailukohtana mainittakoon mahdollisuus käsin tehtävään mallikappaleen digitalisointiin, jossa kappale yksinkertaisesti rakennetaan ohjelmistoon työntömitalla saatujen mittojen perusteella. Menetelmä ei vaadi itse työntömittaa lukuunottamatta laitteistollisia investointeja, mutta pikkutarkkaan työskentelyyn kuluu helposti kymmeniä kalliita henkilötyötunteja. Lisäksi saadut mitat ovat usein karkeita pyöristyksiä, ja muistiinpanoja tehtäessä inhimillisten virheiden mahdollisuus kasvaa eksponentiaalisesti.

Koordinaattimittauskone

Koordinaattimittauskoneessa liikkuva anturi myötäilee kappaleen muotoja, jotka yleensä korjataan ohjelmallisesti ja tallennetaan sitten koordinaattipisteiksi. Anturi voi olla kosketus- valo- tai laserpohjainen. Laitteistolla voidaan päästä jopa 0,0001 millimetrin tarkkuuteen, mutta mittausnopeus on erittäin hidas ja vaatii paljon manuaalista työtä. (Keinänen & Järvinen 2014, 164-166.)

Käsivarsiskanneri

Käsivarsityyppisessä skannerissa mitta-anturi kiinnittyy kiinteiden kiskojen sijaan liikuteltavaan käsivarteeseen. Kosketuksen lisäksi ohjelmisto tarkkailee nivelten asentoja. Kuten tavallisessa koordinaattimittauskoneessakin pään anturi voi olla myös optisesti kosketuksen tunnistava. Käsivarsimittauksen suurin etu on pääsy hankaliinkin paikkoihin, mutta toisaalta saatujen mittojen tarkkuus voi vaihdella suuresti. (Keinänen & Järvinen 2014, 166-168.)

Ei-koskettavat

Laserskannaus

Laserskannaus on optinen ei-koskettava menetelmä, jossa skannauslaite analysoi kohdetta laservalon avulla. Laite voi olla kaappimallinen, telineeseen asennettu keilain, kiinteällä lukijalla varustettu pyörivä pöytä tai käsissä pideltävä skanneri. Menetelmät voidaan edelleen jakaa datankeruutavan mukaan muun muassa vaihe-erolasereihin, aikaerolasereihin ja trianguloiviin lasereihin. Kaikille menetelmille on yhteistä jopa 0,0001 millimetrin tarkkuus ja vähintään keskinkertainen mittausnopeus. (Keinänen & Järvinen 2014, 169-170.)

Strukturoitu valo

Strukturoidun valon (Structured-Light) perustana on nimensä mukaan digitoitavan kappaleen pintaan projisoitu valokuvio. Koska pintaa vasten vääristyvän kuvion alkuperäiset mittasuhteet tiedetään, voidaan erillisten kamerayksiköiden ottamista kuvista päätellä trianguloinnilla kappaleen mitat. Tyypilliseen mittauslaitteeseen kuuluu yksi valoprojektori ja kaksi tai useampaa kameraa joka on asetettu erisuuruisiin kulmiin (Peng 2007, 4-5). Menetelmän etuja laserskanneriin verrattuna ovat parempi liikuteltavuus, nopeampi skannaustahti sekä halvempi laitteen hinta (Peng 2007, 5-7).

Fotogrammetria

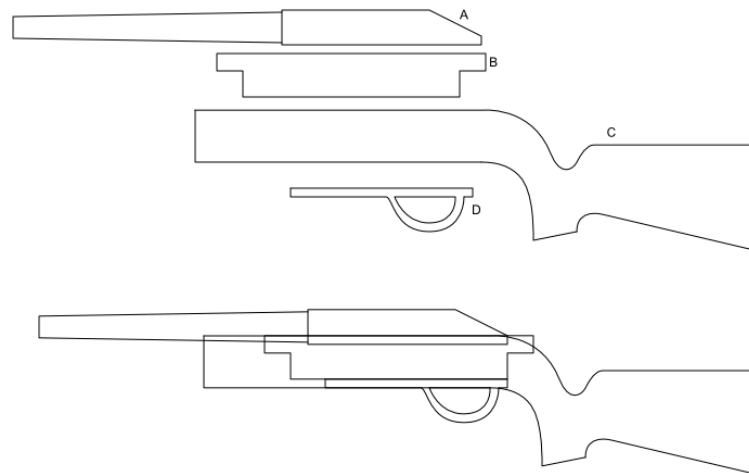
Ohjelmisto tunnistaa kappaleesta otettujen kuvien sarjasta vastaavuuspisteitä, joiden perusteella se parsii kolmiulotteisen pistepilven (What is 3D scanning?, n.d). Saadun mallin resoluutio vaihtelee käytetystä ohjelmistosta sekä kuvien lukumäärästä ja tarkkuudesta riippuen. Vaikkei fotogrammetria aina yllä tarkkuudessa muiden skannausmenetelmien tasolle, kuvaus voidaan suorittaa nopeasti ja ilman erikoisvarusteita.

4 Sovite kehittämisen kohteena

Tukki vaimentaa ammunnan aiheuttamia tärähdyksiä, tukee ampuma-asentoa ja toimii käyttäjän ja laukaisukoneiston rajapintana (Campbell 2017). Oikein mitoitettulle ja kalibroidulle tukille nämä toiminnot ovat itsestäänselvyksiä, joiden olemassaolon tiedostaa vasta silloin kun ne eivät suoriudu tehtävästään odotetulla tavalla. Modulaarisessa järjestelmässä ongelmat korostuvat entisestään, ja siksi on tärkeää että sovite toimii saumattomasti osana kokonaisuutta tuotannon alkumetreiltä käyttöihin päähän.

4.1 Toimintaperiaate

Sovite toimii samaan tapaan kuin markkinoilta jo löytyvät metalliset petauskappaleet, mutta sen pääasiallinen tarkoitus on toimia adapterina tukin ja erimallisten lukkorunkojen välillä.



Kuva 1: Sovitteen toimintaperiaate.

Sovite (b) asetetaan tukin (c) avoimeen yläpuoliskoon ja kiristetään kahdella koneruuvilla. Sovitteen ollessa paikoillaan lukkorunko (a) ja liipaisinkaari (d) voidaan kiinnittää tavalliseen tapaan. Kokonaisuus on niinsanotusti vapaastivärähtelevä, eli

kiväärin piippu ei ole kosketuksissa etutukkiin. Tällaisen rakenteen suurin etu on ettei tarkkuus juurikaan laske mahdollisen puuosien ilmastokosteudesta johtuvan turpoamisen ja kutistumisen seurauksena.

4.2 Laadun vaatimukset

Laatu kuvaa sitä, mikä on kohteelle ominaista, ja erityisesti sellaista, mikä koetaan hyvänä. Kun jokin asia yhdistetään laatuun, halutaan tuoda esille asian myönteisiä piirteitä. Laatu on hyvän ja onnistumisen käsite. (Anttila & Jussila 2016)

Toisin kuin esimerkiksi ohjelmistokehityksessä jossa vain asiaan perehtynyt henkilö ymmärtää tuotteen rakenteen, verrattain kokematonkin havainnoitsija kykenee kertomaan aineellisen hyödykkseen ominaisuuksista suhteellisen tarkasti.

Toimeksiantajan kanssa tehtyjen tapaamisten aikana luotiin lista laadullisista ominaisuuksista jotka toimivat mittarina tuotekehityksen onnistumiselle.

Ominaisuudet asetettiin seuraavanlaiseen tärkeysjärjestykseen:

1. Kestävyys

Suomen ilmasto-oloissa ampuma-ase joutuu käytössä jatkuvasti ääriolosuhteiden armoille. Suurten lämpötilavaihteluiden, kosteuden ja kolhujen yhteisvaikutus haurastuttaa nopeasti liian ohuen tai vääränlaisesta materiaalista tehdyn rakenteen. Näinollen kestävyden varmistamisessa on kyse myös käsittelyn turvallisuudesta.

2. Valmistettavuus

Valmistuksen helppous vaikuttaa epäsuorasti myös muihin vaatimuksiin. Kestävyys, hinta ja yhteensopivuus ovat kaikki sidoksissa tuotantoprosessin sujuvuuteen. Jotta korkea valmistettavuus saavutetaan täytyy kappale optimoida sen valmistusmenetelmää varten.

3. Yhteensopivuus

Modulaarista tuotearkkitehtuuria edustavalle hyödykkeelle yhteensopivuus muiden valmistajien standardeihin on erityisen tärkeää. Mitä useampi ase saadaan käyttämään samaa ratkaisua, sitä laajempi on myös potentiaalisten käyttäjien määrä.

4. Esteettinen miellyttävyys

Vaikkei laminaattitukki ylläkkään hienoudessa laajalti arvostetun aidon pähkinäpuun tasolle myös ulkonäköseikat tulee valmistettaessa ottaa huomioon. On olennaista että tuote viestii edullisuudestaan huolimatta laadusta myös ulkoisesti.

4.3 Suunnitteluohjelmisto

Suunnitteluun oli alun perin määrä käyttää RS Componentsin ja SpaceClaim Corporationin ilmaista DesignSpark Mechanical -sovellusta. Tukin muotoilun aikana huomattiin kuitenkin useita vakavia puutteita jotka lopulta johtivat ohjelmiston vaihtoon. Tilalle hankittiin Autodeskin tilauspohjainen Fusion 360.

Toisin kuin useimmat CAD-ohjelmistoratkaisut, Fusion 360 tukee sekä perinteistä parametristä mallinnusta että niinkutsuttua Direct Modelingia. Direct modelingissa kappaleen geometriaa muokataan sellaisenaan, eikä muoto ole sidottu monimutkaisiin pohjapiirrustusten välisiin suhteisiin. Näin meneteltäessä hävitään jonkun verran mittatarkkuudessa, mutta vapaa suunnittelu ja mahdollisuus nopeaan prototypointiin voittavat usein haittapuolet (Alba 2018). Tukki ja siihen liittyvät osat sisältävät paljon epäsäännöllisiä pintarakenteita joiden luominen pelkästään kaksiulotteisten piirrostensa pohjalta olisi tarpeettoman haastavaa ja aikaavievää. Direct Modeling kuitenkin mahdollistaa pintojen rakentamisen ja muokkaamisen kolmiulotteisessa koordinaatistossa tehden mallinnusprosessista paljon sulavamman.

4.4 Metallin työstö jyrsimällä

Valmistusmateriaalin valinta on kriittisimpiä tuotekehityksen vaiheita. Projektin alkuvaiheessa käytiin keskustelua erilaisten komposiittien ja muovien mahdollisuuksista materiaalina, mutta korkeat ruiskuvalumuottien kustannukset söivät halvan yksikköhinnan hyötyjä. Sovite päätettiin sittemmin valmistaa paremmin kuumutta kestävästä metallista.

Valintaa rajattiin tuhansista kaupallisesti saatavilla olevista seoksista ruostumattomaan teräkseen, alumiiniiniin (6061) ja messinkiin (keltainen) niiden lujuuden, työstettävyyden ja korroosiokestävyyden vuoksi. Lopulliseksi valinnaksi muodostui alumiini sen muista materiaaleista edukseen erottuvan keveyden perusteella. (Metal Strength Chart, 2020.) Kevyestä materiaalista on etua erityisesti seisaalta ammuttaessa, jolloin ampuja joutuu kannattelemaan aseensa painoa ilman tukea. Lisäksi metallin pinnalle luonnollisesti muodostuva oksidikerros tekee siitä erityisen korroosiokestävää, eikä erillisiä passivointi- tai pinnoituskäsittelyjä tarvita (Huhtaniemi 2006, 8-12).

Koska alumiinista on jo olemassa useita erityisesti jyrsintää varten luotuja seoksia, päätettiin menetelmää käyttää tukin ohella myös sovitteen valmistukseen. (Huhtaniemi 2006, 169). Jyrsintä on lastuava työstömenetelmä, jossa monipäinen pyörivä terä poistaa materiaalia kappaleesta halutun muodon saavuttamiseksi (Ronquillo, n.d.). Moniakselisesta CNC-jyrsinnästä on tullut yksi tärkeimmistä teollisuuden valmistustekniikoista: osien massatuotettavuus, äärimmäinen tarkkuus, minimaalinen materiaalihävikki sekä alhaiset käyttökustannukset edustavat vain pientä osaa sen monista hankkeelle edullisista ominaisuuksista. (The Advantages of Multi-Axis CNC Machining, n.d).

4.5 Design For Manufacturing

Teollinen tuotanto on useita eri työvaiheita käsittävä monimutkainen prosessi joka vaatii toimiakseen tiettyjen periaatteiden sekä laitteistollisten rajoitusten noudattamista. Design For Manufacturing, tai lyhyemmin DFM, tarkoittaa näiden periaatteiden ja rajoitteiden huomioimista mahdollisimman aikaisessa vaiheessa suunnittelua ja siten tuottaa halvempia ja helpommin valmistettavia tuotteita (Poli 2001, 2). Koska korkea valmistettavuus on yksi hankkeen päätavoitteista DFM-menetelmällä on keskeinen rooli sovitteen suunnittelussa. Jyrsinnässä muun muassa teränvaihdot, osan käännökset ja irroitukset, syvät sisennykset sekä pitkät kierteet vaikuttavat työstön toteutettavuuteen. DFM-periaatteen mukaan optimoitu osa voitaisiin parhaassa tapauksessa valmistaa alkumuokkauksesta viimeistelyyn pysäyttämättä ohjelmaa.

4.6 Prototypointi 3D-tulostamalla

Täysin digitaalisessa suunnitteluympäristössä työskennellessä tuotteen ominaisuuksista on vaikea saada todenmukaista tietoa sillä hyödyke on vielä toistaiseksi aineeton. Suunnittelun tukena käytetäänkin usein prototypointia: prosessia, jossa koekappaleita tuotetaan testattavaksi ennen lopullisen muodon saavuttamista muotoilun tai suunnitelman kehittämiseksi (Erickson 2019). Koska prototyypin idea on olla helposti ja nopeasti tuotettavissa, valmistusmenetelmänä toimii monesti kolmiulotteinen tulostus. 3D-tulostus on joukko lisäävän valmistuksen tekniikoita, joissa tulostinlaite rakentaa halutun osan digitaalisen mallin perusteella kerroksittain. Yleisin käytetty tekniikka on niinsanottu Fused Filament Fabrication, jossa kestopuovista lankaa sulatetaan ja pursotetaan muotoon. (Horvath & Cameron 2020)

5 Suunnittelu ja mallinnus

5.1 Digitalisoinnin tarjouspyyntö

Toiminnallisten aseenosien luvaton hallussapito on Suomen lainsäädännön mukaan rikos (Ampuma-aselaki 1/1998, 87 §), joten tilapäinenkään luovuttaminen suunnittelua varten ei tule kyseeseen. Lakiselkkausten välttämiseksi aseesta skannataan luvanhaltijan läsnäollessa digitalisoitu polygonimalli, joka voidaan myöhemmin tuoda CAD-ohjelmistoon ja käyttää eräänlaisena kolmiulotteisena pohjapiirrustuksena. Näin saatu data on useita kertoja tavanomaista mittausta tarkempaa, vaivattomammin saatavilla sekä tehokkaammin hyödynnettävissä. (Keinänen & Järvinen 2014, 157.)

Eri puolella Suomea sijaitseville 3D-mittauspalveluita tarjoaville yrityksille lähetettiin tarjouspyyntöjä joissa pyydettiin erittelemään käytössä oleva laitteisto, mittaustarkkuus sekä palvelun keskimääräinen toimitusaika ja hinta. Yrityksiltä saatujen vastausten perusteella koottiin seuraavanlainen hintataulukko:

Laitteisto	Tyyppi	tarkkuus mm	hinta alkaen	toimitusaika
(käsinnmittaus)	(-)	(~ 0,5)	(0€)	(~ 2 Viikkoa)
Creaform Handyscan	Strukturoitu valo (laser)	0,1	450€	?
Atos Core	Strukturoitu valo + koordinaattimittaus	± 0,005	200€	1 Viikko
Creaform Metrascan	Strukturoitu valo (laser)	0,025	500€	1 Päivä

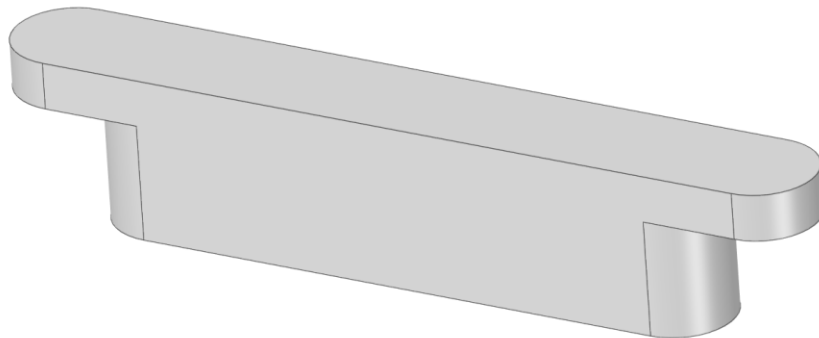
3D Structured Light Scanner Pro S3	Strukturoitu valo + kääntöpöytä	0,05	560€	1 Päivä
---	------------------------------------	------	------	---------

5.2 Pohjan mallinnus

Pohjakappale on samanlainen kaikkien eri malleille yksilöityjen sovitteiden välillä. Kappaleesta tehtiin mahdollisimman yleismallinen ja karkea vedos, jota voidaan aina tarvittaessa muokata kunkin lukkorungon mittoja vastaavaksi.

Kappaleen sivuprofiilista tehtiin levennetyn T:n mallinen jotta kiinnityspinta-ala olisi painoon verrattuna mahdollisimman suuri. Ruuvien täytyy kyetä vastaanottamaan ja siirtämään rekyyliä rikkoutumatta asean kiinnityksen ollessa kitkaa lukuunottamatta pääosin niiden varassa.

Click an object. Double-click to select an edge loop. Triple-click to select a solid.



10mm

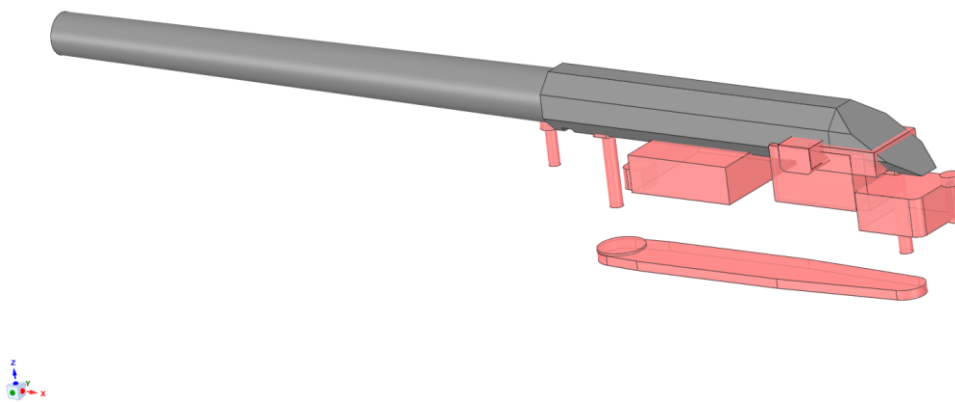
Kuva 2: Sovitteen pohjakappale

5.3 Lukkorungon rekonstruktio

Työntömitalla saatuja arvoja hyväksikäyttäen lukkorungosta rakennettiin kopio jolla pääura leikattiin pohjakappaleeseen. Mittoihin lisättiin mukaan 0.5 millimetrin toleranssi vähentämään jälkityöstön tarvetta. Tulevissa projekteissa käsin mitatut arvot korvattaisiin kokonaan skannatuilla digitaalisilla malleilla työskentelyn tehostamiseksi.

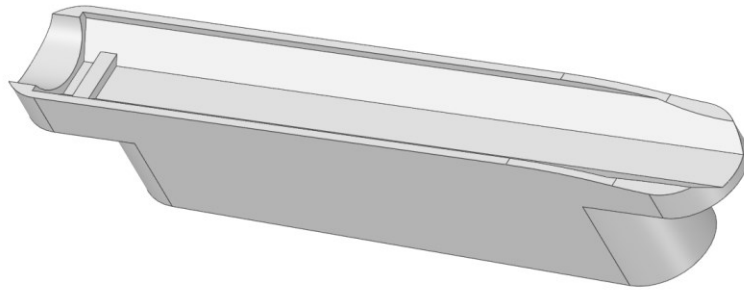
Myös erimallisia kiinnityspisteitä ja toiminnallisia osia edustavia leikkurikappaleita valmistettiin sovitteen räätälöintiä varten. Erillisten kappaleiden käytöstä on etua tehtäessä muutoksia pohjamalliin, sillä tällöin tarvittavat urat voidaan tehdä helposti uudelleen aloittamatta koko prosessia alusta. Malliin tehtiin erilliset lovet muun muassa ruuveille, lukkokammelle, lippaalle, laukaisukoneistolle ja liipaisinkaarelle.

Add or remove objects from the selection



Kuva 3: Lukkorunko (harmaa) ja sen leikkurikappaleet (punainen)

Add or remove objects from the selection



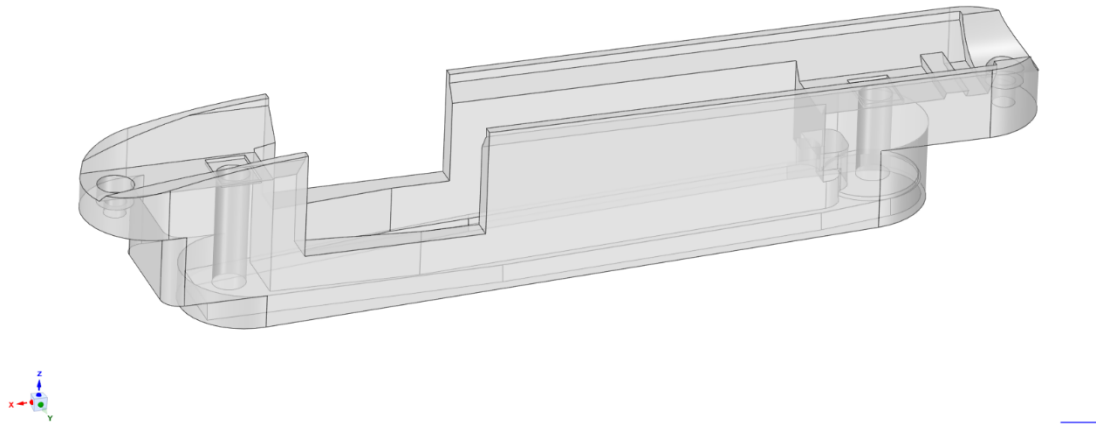
10mm

Kuva 4: Leikkauksen välivaiheita

5.4 Kevennykset ja pyöristykset

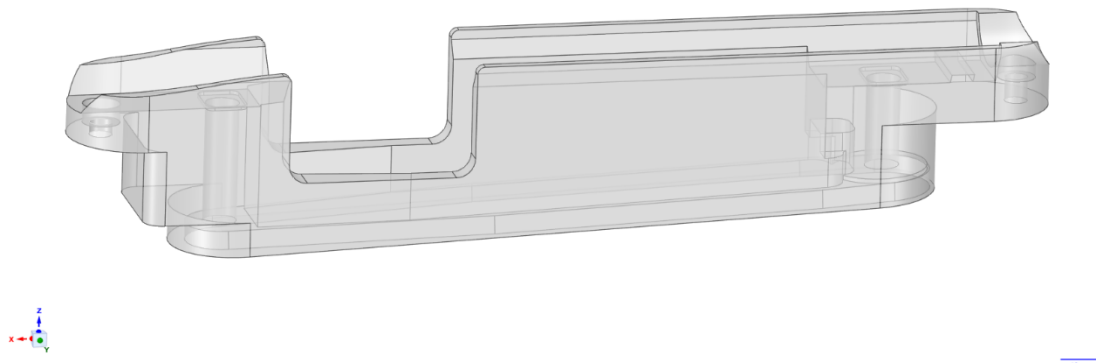
Koska jyrshintä perustuu pyörivällä terällä tehtävään materiaalin poistoon, kulmaprofiilista tulee käytännössä aina ympyrän muotoinen. Tästä syystä täysin suorien kulmien teko on haastavaa ja tulisi jättää mahdollisimman vähälle. Pyöristämisestä on etua myös kestävyuden kannalta, sillä pyöristetyt kulmat eivät ole yhtä alttiita särmämurtumille ja ovat lisäksi huomattavasti turvallisempia käsitellä.

Add or remove objects from the selection



Kuva 5: Erään version muotoilu ennen pyörityksiä

Add or remove objects from the selection



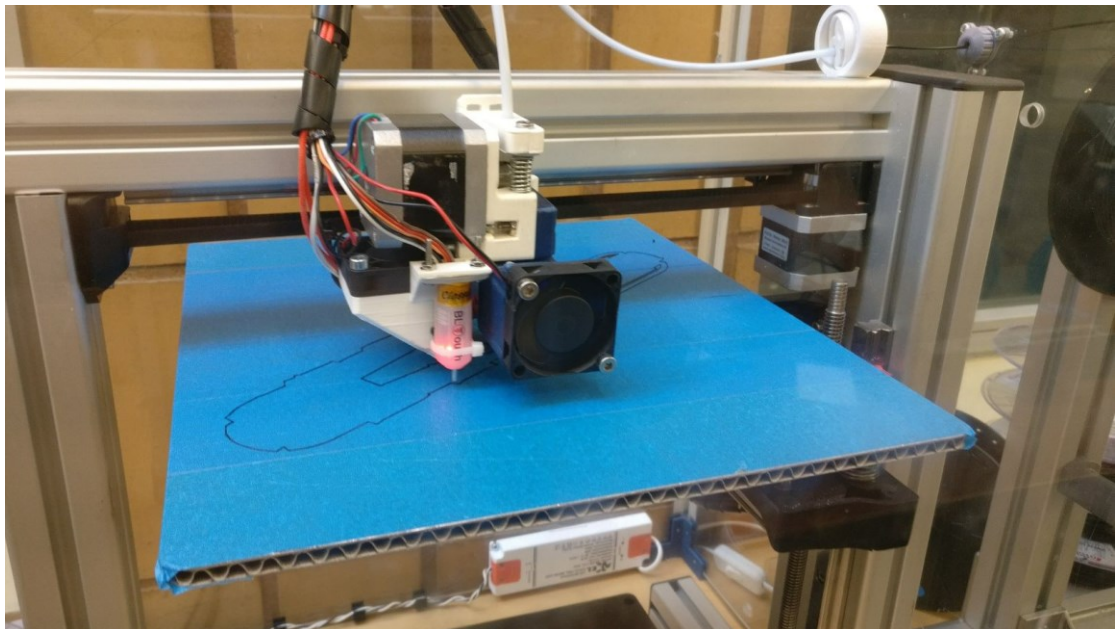
Kuva 6: Sama kappale lovet pyöristettynä

Vaikka alumiini on jo sinällään kevyt metalli, mahdollisimman kevyestä rakenteesta on etua erityisesti jatkuvassa liikkeessä. Liian suuret ja syvät urat voivat kuitenkin heikentää kappaleen vahvuutta, mikä oli yksi huomioonotettavista asioista sovitetta suunniteltaessa. Lisävahvikkeeksi takaosaan mallinnettiin sileä ”iskupinta” jonka tarkoituksena tehostaa rekyylin liike-energian siirtymistä pois lukkorungosta.

5.5 Prototyypin 3D-tulostus

Pyöritysten lisäyksen jälkeen projektin todettiin olevan tarpeeksi pitkällä prototyypin tulostusta varten. Jyväskylän Ammattikorkeakoulun opiskelijoiden käytössä on kaksi FELIX FFF-tulostinta, joten erillisille laitehankinnoille ei ollut tarvetta. Tulostuksessa käytettiin PLA-pohjaista lankaa, sillä se sulaa muita muoveja alhaisemmassa lämpötilassa, on myrkytöntä eikä vaadi lämmitettyä alustaa. Lisäksi PLA (Polylactic Acid) on edullista ja valmistetaan uusiutuvista ja biohajoavista materiaaleista. (Horvath & Cameron 2020)

Malli vietiin suunnitteluohjelmistosta .stl-muodossa avoimen lähdekoodin mallinnusohjelma Blenderiin, jossa pinnan laatu tarkastettiin ja paikkakoordinaatit nollattiin jottei tulostus ala alustan yläpuolelta. Koska laite rakentaa kappaleet kerroksittain, malli viipaloitiin vielä ohjelmallisesti tulostimen omassa käyttöliittymässä. Viipaloinnin ja pursottimen lämpenemisen jälkeen prosessi alkoi automaattisesti.



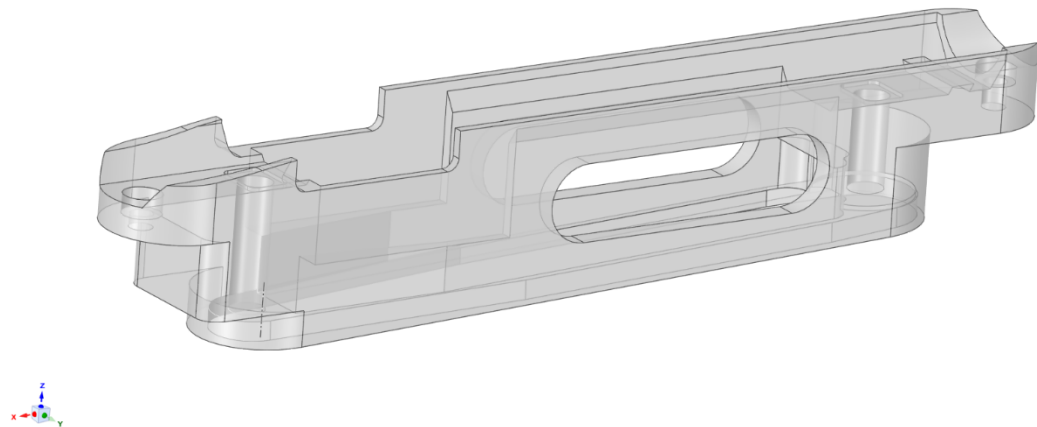
Kuva 7: 3D-tulostus. Tulostin aloittaa piirtämällä ensin kappaleen ääri viivat alustaan.



Kuva 8: Valmis tuloste kiinnitettyä kiväärin lukkorunkoon.

Koekappaleesta saatujen kehitysehdotusten perusteella pystyttiin tekemään tarvittavat korjaukset, jotka olisivat muutoin jääneet huomiotta lopputuotteen valmistukseen asti. Prototyypin avulla havaittiin muun muassa ettei varmistin pystynyt liikkumaan tarpeeksi.

Add or remove objects from the selection



Kuva 9: Prototyypistä saadun palautteen perusteella uusittu rakenne

5.6 Viimeistely

Ulkoasun ja yhteensopivuuden parantamiseksi sovite viimeisteltiin tukin laitojen tasalle asettuvilla sivusiivekkeillä. Lisähyötynä rakenteet jäykistävät ohutta alumiiniseinämää, lisäksi näin koko sovitteen vahvuutta.

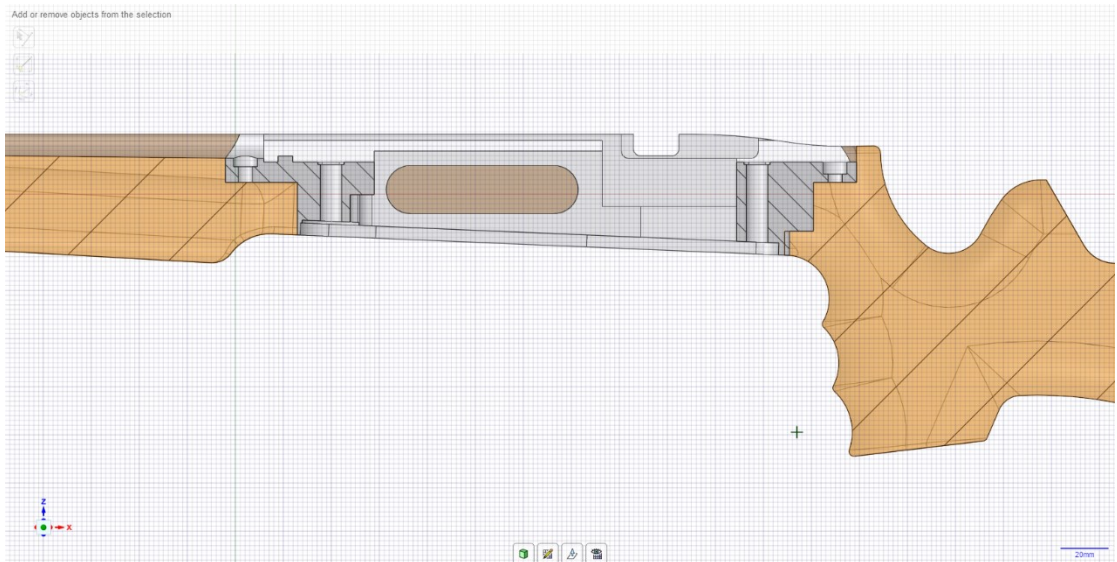
Viimeistelyvaiheeseen kuului myös DFM-periaatteen mukaan tehty työstettävyyden varmistaminen: Sovitteen täytyi olla koneistettavissa yhdestä umpinaisesta alumiinipalasta, ja kaikkien laitojen sisäpuolelle jäävien yksityiskohtien täytyi olla saavutettavissa työstöterällä. Tarkastuksessa ei havaittu ongelmakohtia, joten sovitteesta tulostettiin toinen prototyyppi. Tuloste todettiin tarpeeksi vahvaksi muutaman laukauksen ampumiseen, joten sitä päästiin myöhemmin testaamaan oikeissa olosuhteissa. Ainut periksi antanut osa oli minimaalisen pieni rekyylivaste.

Add or remove objects from the selection



10mm

Kuva 10: Viimeistely sovitte



Kuva 11: Poikkileikkauskuva paikoilleen upotetusta sovitteesta. Päiden kiinnitysruuvit porataan paikoilleen käsin.



Kuva 12: Sovite paikoillaan tukin sisällä. Kevennykset muutettiin ellipseiksi sillä ne voitiin tulostaa ilman erillisiä tukirakenteita.

6 Tutkimustulokset ja johtopäätökset

Työn lopputuotteena syntyi malli alumiinista CNC-jyrsinnällä koneistettavasta modulaarisen kiväärintukin sovitteesta. Sovitteen laadun vaatimuksiksi asetettiin hyvä kestävyys, korkea valmistettavuus, yhteensopivuus moniin eri asemalleihin sekä miellyttävä ulkoasu.

Tutkimuksellisessa osuudessa manuaalista mittausta verrattiin erilaisiin 3D-skannauksen teknologioihin. Vertailua tehdessä havaittiin, että digitalisointi kykenee tuottamaan huomattavasti tarkempaa mittaustietoa kuin käsinmittaus, ja on lisäksi useita kertoja nopeampi toteuttaa. Tarjouspyyntöjen avulla saatiin hyödyllistä tutkimustietoa eri skannausteknologioiden kustannuksista sekä niitä palvelumuotoisesti tarjoavista yrityksistä.

Tuotteen valmistusmateriaaliksi valikoitui alumiini, sillä sen todettiin olevan erityisen kevyttä, kestäväää ja helposti työstettävää. Parhaaksi työstömenetelmäksi puolestaan osoittautui jyrsintä sen tarkkuuden, pienen materiaalihävikin, vähäisten käyttökustannusten ja prosessin toistettavuuden ansiosta. Sekä materiaalin että työstömenetelmän ominaisuuksiin kiinnitettiin suunnittelun aikana erityistä huomiota Design For Manufacturing -menetelmää mukaillen.

Tutkimustyö johti seuraavanlaisiin johtopäätöksiin:

Halvimmillaan digitointi maksaa 200 euroa. Tarjouksessa eriteltiin 0,005 millimetrin tarkkuus joka voitiin toimittaa viikon kuluessa. Ylivoimaisesti tarjotuun skannausteknologia oli strukturoitu valo ja sen johdannaiset, oletettavasti yrityksen kannalta edullisemman laitteiston vuoksi.

Valmiin sovitekappaleen räätälöinti tietyille asemallille voitiin jakaa karkeasti kolmeen osa-alueeseen: Lukkorungon ja leikkurikappaleiden mallinnus, rakenteen kevennys ja pyöristys sekä viimeistely. Työvaiheet pysyvät asean mallista riippumatta pääpiirteittäin samoina, sillä ainoastaan leikkurikappaleiden mittasuhteet eriävät toisistaan.

Huomioonotettaviksi asioiksi havaittiin sovitetta suunniteltaessa erityisesti rakenteellisen kestävyuden varmistaminen (seinämävahvuus), jyrsinän suunnitteluperiaatteiden noudattaminen (kulmat, työstösyvyys) sekä yhteensopivuus (maksimimitat, räätälöinnin helppous).

7 Pohdinta

Saatuja tuloksia tarkastellessa voidaan todeta että käytetty tutkimusmenetelmä soveltui hankkeen tarpeisiin hyvin. Tutkimustietoa pystyttiin käyttämään hyväksi tehtäessä kriittisiä päätöksiä muun muassa materiaalin ja muotoilun suhteen, ja siten välttämään sudenkuoppia työn myöhemmissä vaiheissa. Myös kehittämistutkimukselle ominainen lopputuotteen syntymisen ehto täyttyi sovitteen valmistuttua.

Työn tutkimustuloksia on kuitenkin syytä tarkastella terveellä ennakkoluulolla, sillä moni kuvailtu teknologia edustaa senhetkistä tietoutta sen ominaisuuksista ja perustuu vain muutamasta tuotemallista tehtyihin havaintoihin. Lisäksi tarjouspyynnöt ovat voimassa vain tietyn ajan ja siksi niitä tulisi ajatella lähinnä suuntaa-antavina arvioina. Myös tulosten yleistäminen voi olla haastavaa, sillä hanke fokusoituu yhden uuden innovaation totetusprosessiin. Tietojen soveltaminen muihin samankaltaisiin metalliteollisuuden hankkeisiin voisi kuitenkin olla teoriassa mahdollista sillä tuotannon peruseriaattit pysyvät muuttumattomina.

Näistä seikoista huolimatta saatu data on kuitenkin pienyrityksen kannalta arvokasta ja suureksi avuksi tuotekehityksessä. Lisäksi tietoja voidaan vielä paljon myöhemmin käyttää vertailukohtana tehtäessä uusia hankintoja ja kannattavuuslaskelmia.

Lähteet

- Alba, M. 2018. What's the Difference Between Parametric and Direct Modeling? Verkkootikkeli. Engineering.com.
<https://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/16587/Whats-the-Difference-Between-Parametric-and-Direct-Modeling.aspx>
- Ampuma-aselaki 1/1998. Annettu 9.1.1998. Viim. Muutos 7.6.2019. Viitattu 9.7.2019. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1998/19980001#L7P87>
- Anttila, J. & Jussila, K. 2016. Mitä laatu on? Artikkel. Viitattu 23.6.2019.
https://www.sfs.fi/ajankohtaista/uutiskirjeet/uutiskirjeet_2016/mita_laatu_on_artikkeli
- Campbell, D. 2017. Back to Basics: Rifle Stocks—Part 1. Verkkootikkeli. NRA American Rifleman. Viitattu 26.6.2019.
<https://www.americanrifleman.org/articles/2017/2/15/back-to-basics-rifle-stocks-part-1/>
- Erickson, A. 2019. The Importance of Prototyping. Yritysblogi. Viitattu 19.11.2020.
<https://www.cati.com/blog/2019/05/the-importance-of-prototyping/>
- Horvath, J. & Cameron, R. 2020. Mastering 3D Printing: A Guide to Modeling, Printing, and Prototyping. 2. p. New York: Apress.
- Huhtaniemi, K. 2006. Raaka-ainekäsikirja 5: Alumiinit. Helsinki: Teknologiainfo Teknova.
- Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä – Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Tampere: Tampereen Yliopistopaino.
- Keinänen, T. & Järvinen, M. 2014. Mittaustekniikka. 1. p. Helsinki: Sanoma Pro.
- Laser Scanning vs Digital Photogrammetry. 2008. Perth: Adam Technology. Viitattu 26.6.2019.
<http://archive.amerisurv.com/PDF/LaserScanningVsPhotogrammetry080108.pdf>
- Metal Strength Chart - Mechanical Properties Chart of Different Metal Grades and Alloys. 2020. Ohjeistus materiaalien käytöstä yrityksen asiakkaille. Dongguan: Junying Metal Manufacturing Co. Ltd. Viitattu 7.11.2020.
<https://www.cnclathing.com/guide/metal-strength-chart-mechanical-properties-chart-of-different-metal-grades-and-alloys-cnclathing>
- Metsästys- ja aseharrastus selittää aseiden suuren määrän. n.d. Tiedote vastuualueista Sisäministeriön verkkosivuilla. Viitattu 19.6.2019.
<https://intermin.fi/poliisiasiat/ampuma-aseet>
- Nieminen, S. 2016. Hyvä hankinta – parempi bisnes. Helsinki: Talentum Pro.

Peng, T. 2007. Algorithms and models for 3-D shape measurement using digital fringe projections. Väitöskirja. Maryland: University of Maryland.

Poli, C. 2001. Design for Manufacturing: A Structured Approach. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Ronquillo, R. n.d. Understanding CNC Milling. Viitattu 19.6.2019.
<https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/understanding-cnc-milling/>

The Advantages of Multi-Axis CNC Machining. n.d. Yritysblogi. Toronto: Noble Precision. Viitattu 28.6.2019. <https://www.nobleprecision.com/advantages-multi-axis-cnc-machining/>

What is 3D scanning? n.d. Opas GOM-skannerien jälleenmyyjän tietopankissa. Viitattu 10.11.2020. <https://www.capture3d.com/knowledge-center/blog/what-3d-scanning-definitive-guide>

Liitteet

Liite 1. Eri metallilaatujen ominaisuustaulukko.

Types of Metals	Tensile Strength (PSI)	Yield Strength (PSI)	Hardness Rockwell B-Scale	Density (kg/m ³)
Stainless Steel 304	90,000	40,000	88	8000
Aluminum 6061-T6	45,000	40,000	60	2720
Aluminum 5052-H32	33,000	28,000		2680
Aluminum 3003	22,000	21,000	20 to 25	2730
Steel A36	58-80, 000	36,000		7800
Steel grade 50	65,000	50,000		7800
Yellow Brass		40,000	55	8470
Red Brass		49,000	65	8746
Copper		28,000	10	8940
Phosphor Bronze		55,000	78	8900
Aluminum Bronze		27,000	77	7700-8700
Titanium	63,000	37, 000	80	4500