

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikan insinööri

2025

Taavi Temonen, 2200450

Varaosien 3D-skannattavuus ja 3D-tulostettavuus



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikka

2025 | 36 sivua

Taavi Temonen

Varaosien 3D-skannattavuus ja 3D-tulostettavuus

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää 3D-skannerin ja 3D-tulostimen soveltuvuutta varaosien valmistamiseen. Työ keskittyi varaosiin, joiden hankinta perinteisin keinoin ei välttämättä onnistu. Ongelmana voi olla esimerkiksi varaosan poistuminen markkinoilta, saatavuusongelmat tai vaikea valmistettavuus. Ainetta lisäävä valmistus ja digitaaliset varaosat voivat olla ongelmaan ratkaisu.

Työssä hyödynnettiin kuluttajille suunnattua 3D-skanneria ja 3D-tulostinta. Työn teoriaosuudessa käsiteltiin yleisesti 3D-skannaamisen ja 3D-tulostamisen historiaa, käyttökohteita ja soveltuvuutta varaosien valmistukseen.

Työn tutkimusosiossa skannataan kolme erilaista muoviosaa, jonka jälkeen ne tulostetaan. Muoviosat ovat muodiltaan ja mitoiltaan keskenään erilaisia. Valmiita tulosteita vertaillaan alkuperäisiin osiin ja pohditaan niiden onnistuneisuutta ja soveltuvuutta käyttöön.

Asiasanat:

3D-tulostus, FDM, Reverse Engineering, Laserskannaus

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

2025 | 36 pages

Taavi Temonen

3D Scannability and 3D Printability of Spare Parts

The aim of the thesis was to investigate the suitability of a 3D Scanner and a 3D Printer to produce spare parts. Work focused on spare parts that may not be available through traditional means. The problem may be, for example, the replacement part is no longer available, other kinds of availability problems or difficulty in manufacturing. Additive manufacturing and digital replacement parts may be a solution.

The work utilized a consumer-oriented 3D Scanner and 3D Printer. The theoretical part of the work generally discusses the history, applications, and suitability of 3D Scanning and 3D Printing to produce spare parts.

In the research section of the thesis, three different plastic parts are scanned and then printed. The plastic parts are different in shape and dimensions. The finished prints are compared to the original parts and their success and suitability for use are considered.

Keywords:

3D Printing, FDM, Reverse Engineering, Laser Scanning

Sisältö

1 Johdanto	6
2 3D-tulostus	7
2.1 3D-tulostuksen eri menetelmät	7
2.2 Tulostuksen historia	8
2.3 FDM	9
2.4 Tulevaisuus ja käyttökohteet eri aloilla	10
3 3D-skannaus	12
3.1 Reverse Engineering	12
3.2 Tekniikat 3D-skannauksen takana	13
3.3 Laserskannaus	13
3.4 Strukturoitu valo 3D-skannaus	14
4 3D-tulostamisen ja -skannaamisen soveltuvuus varaosatuotantoon	16
4.1 CAD-ohjelmisto	18
4.2 Buy to Fly	18
4.3 Perinteinen varaosien hankinta	18
4.4 Haasteet perinteisessä hankinnassa	19
5 Tutkimusosio	20
5.1 Pakettiauton ohjaamon valokupu	22
5.2 Klassikkoauton ohjaamon valaisimen kupu	30
5.3 Keittiön sokkelijalan klipsi	33
6 Yhteenveto	35
Lähteet	36

Kuvat

Kuva 1. Pakettiauton kattovalaisimen alkuperäinen kupu	22
Kuva 2. Kupu ja skannerin vertailupisteet	23
Kuva 3. Skannausympäristö	24
Kuva 4. Onnistuneet skannaukset	25
Kuva 5. Skannauksen jälkikäsitteilyä	25
Kuva 6. Skannausten yhdistämistä vertailupisteillä	26
Kuva 7. Siivottu skannaus	26
Kuva 8. Tulostusympäristö	28
Kuva 9. Alkuperäinen ja tulostettu kupu	28
Kuva 10. Mittatarkkuuksia	29
Kuva 11. Käytännön sovitukset	29
Kuva 12. Valiant alkuperäinen kupu	30
Kuva 13. Valiant kupu skannaus	31
Kuva 14. Siivottu skannaus Valiant	31
Kuva 15. Mittatarkkuuksia	32
Kuva 16. Käytännön sovitukset	32
Kuva 17. Sokkelijalan klipsi	33
Kuva 18. Alkuperäinen ja tulostettu klipsi	34
Kuva 19. Tulostettu klipsi	34

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee 3D-skannaamista, skannatun tuotoksen jälkikäsitteilyä ja skannatun osan 3D-tulostamista. Teksti käsittelee myös 3D-skannerin hyödyntämää teknologiaa ja erilaisia tapoja skannata. Opinnäytetyö perehtyy 3D-tulostamisen historiaan, soveltuviin materiaaleihin, käyttökohteisiin, eri alojen hyödyntämisen kohteisiin ja mahdollisiin tulevaisuuden näkymiin.

Opinnäytetyön tutkimuksellinen osuus käsittelee hankalasti hankittavien varaosien valmistamista skannaamalla ja tulostamalla. Tutkimusvaiheessa suoritamme skannauksen ja tulostuksen kolmelle eri osalle ja tarkastelemme loppuvaiheessa niiden onnistuneisuutta mm. mittojen tarkkuutta ja pinnan laatua.

3D-tulostus ja -skannaus ovat nostaneet suosiotaan valtavasti viime vuosina. Tulostimia ja skannereita on saatavilla niin nettikaupoista kuin kivijalkamyymälöistäkin, ja vain ostajan budjetti on rajana. Kuluttajakäyttöön tehtyjä laitteita on valtava kirjo. Hyvä muistisääntö on, että hinnan mukana kasvaa usein myös ominaisuuksien määrä.

Opinnäytetyö pyrkii vastaamaan seuraaviin kysymyksiin: Onko varaosien skannaaminen ja tulostaminen mahdollista? Aiheuttavatko erilaiset materiaalit ja muodot haasteita? Voiko kuluttajatason tuotteilla saada hyvää laatua aikaiseksi?

2 3D-tulostus

3D-tulostus eli lisäävä valmistus engl. Additive Manufacturing tarkoittaa prosessia, jossa tietokoneelle luotu malli tulostetaan kerros kerrokselta fyysiseksi esineeksi. 3D-tulostus on alkujaan kehitetty helpottamaan prototyyppien valmistusta automaation keinoin. Tulostimella on mahdollista valmistaa koruja, tarvikkeita, mekaanisia osia ja paljon muuta. Se soveltuu mainiosti vaikeiden muotojen valmistukseen. 3D-tulostus mahdollistaa kevyen rakenteen ilman, että sille asetetut ominaisuudet ja vaatimukset kärsivät. (Manners-Bell & Lyon 2023, 170.)

3D-tulostus on oiva keino valmistaa räätälöity tuote tai pieni erä esineitä tai esimerkiksi varaosia, joita muilla valmistuskeinolla olisi hankala toteuttaa. Menetelmä tuottaa vain vähän hävikkiä ja on siitäkin syystä monia muita valmistuskeinoja parempi vaihtoehto. (Tukes, 2022.)

2.1 3D-tulostuksen eri menetelmät

3D-tulostus eli lisäävä valmistus pitää sisällään valtavan määrän erilaisia tapoja valmistaa tuote tietokoneelle luodusta mallista. Kyseessä ei siis ole vain yksi valmistusmenetelmä, vaan ryhmä erilaisia menetelmiä, jotka eivät välttämättä edes muistuta toisiaan. (Savonia, n.d.)

- Materiaalin pursotus engl. Material Extrusion
- Materiaalin ruiskutus engl. Material Jetting
- Sidosaineruiskutus engl. Binder Jetting
- Laminointi engl. Sheet Lamination
- Nesteen fotopolymerisointi engl. VAT Photopolymerization
- Jauhepetimenetelmä engl. Powder Bed Fusion
- Suorakerrostusmenetelmä engl. Directed Energy Deposition

2.2 Tulostuksen historia

Idea 3D-tulostuksesta on todella vanha. Mennään ajassa taaksepäin aina vuoteen 1945, jolloin Murray Leinster kirjoitti teoksessaan aiheesta ensimmäistä kertaa. Ensimmäiset patentit 3D-tulostukseen liittyen tulivat kuitenkin vasta 1970-luvulla. (Autodesk, 2021.)

1980-luvulla Japanissa lakimies nimeltään Hideo Kodama esitteli kaksi eri tapaa käyttää lämpökovettuvaa polymeeriä metallin sijasta. Molemmat menetelmät perustuivat Johannes F. Gottwaldin patentissa olleeseen ideaan, jonka avulla nestemäisestä metallista ja tietokoneeseen asetetuista liikeradoista saatiin jähmettymään esine. Johannes F. Gottwald oli mies jo aikaisemmin mainitun 1970-luvun patentin takana. Hideo Kodama sai patentin vuonna 1981, mutta kiinnostus loppui, eikä projekti sen vuoksi enää edennyt. (Autodesk, 2021.)

1980-luvulla ensimmäinen 3D-tulostin patentoitiin. Patenttia haki Chuck Hull, joka keksi SLA tulostimen, jonka toiminta perustuu nestemäisen muovin kovettamiseen keskitetyllä UV-valolla. SLA tulostin tulee nimestä stereolitografinen tulostin. Chuck Hullin patentoimassa tulostimessa paikkatiedot vastaanotettiin digitaalisessa muodossa, jonka jälkeen tulostin muodosti päällekkäin kovettuvia kerroksia, kunnes lopputuotteena saatiin valmis esine. (University of Galway, 2021.)

SLM eli engl. Selective Laser Melting keksittiin suurin piirtein samoihin aikoihin 1980-luvulla. SLM tekniikassa keskitetty laser sulattaa pulverissa olevaa materiaalia kerros kerrokselta ja muodostaa näin esineen. SLM tekniikasta puhutaan myös jauhepetimenetelmänä, joka on menetelmää myös hyvin kuvaava nimi. (Peda, 2022.)

1990-luku ja 2000-luvun alku oli 3D-tulostuksen kannalta vilkasta aikaa. Uudet hyödynnettävät materiaalit nostivat 3D-tulostuksen aivan uudelle tasolle. Mukaan tuli niin muoveja, metalleja kuin komposiittiakin. Pian näiden harppausten ansiosta 3D-tulostusta alettiin hyödyntämään lääketieteessä, autoteollisuuden ja ilmailun parissa. (3DbyJL, n.d.)

1990-luvulla markkinoille tulivat FDM tulostimet. Näiden tulostimien myötä hinnat laskivat ja ihmisillä oli mahdollisuus hankkia oma 3D-tulostin kotikäyttöön, vaikkakin ne olivat aluksi todella kalliita ja vain harvalla oli sellainen. 2010-luvulla tarjonta kasvoi valtavasti, jonka myötä myös hinnat laskivat. Tämän seurauksena ne alkoivat lisääntyä myös yksityiskäytössä. Nykyisin kotikäyttöön hankittavan kohtuu hyvän laitteen saa kaupasta ostettua muutaman sadan euron hintaan. Ammattikäyttöön suunnitellut ja varsinkin teollisuustuotantoon tarkoitettut tulostimet ovat heti huomattavasti kalliimpia. (Peda, 2022.)

2.3 FDM

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä FDM (Fused Deposition Modeling) eli suomeksi materiaalin pursotus on yleisin tulostimien hyödyntämä teknologia. Menetelmä perustuu 1.75 mm tai 2.85 mm vahvuisen muovilangan syöttämiseen kuumen suuttimen läpi. Lanka sulaa ja uudelleen kovettuu tietokoneella ennalta määrättyyn paikkaan ja muotoon. (Maker3D, 2018.)

FDM-tulostuksessa haluttu tiedosto ladataan tulostimelle. Tulostin lukee sen avulla mitat ja muut fyysiset ominaisuudet, joiden avulla se tulostusvaiheessa liikkuu. FDM-tulostimet hyödyntävät tulostuksessa ominaisuuksiltaan erilaisia muovilankoja. Näitä ovat muun muassa PLA, ABS ja PETG. Tulostus alkaa, kun suutin on saavuttanut oikean lämpötilan. Muovia syötetään kohti suutinta, joka sulattaa muovin, jonka jälkeen kolme akselinen järjestelmä liikkuu X, Y ja Z akseleiden mukaisesti ladatun mallin mukaan. (Prolabs Network, n.d.)

PLA-filamentti on yksi käytetyimmistä muoveista 3D-tulostuksessa. Se on helppokäyttöinen ja soveltuu useaan eri käyttökohteeseen. Se on ympäristöystävällinen ja biohajoava muovimateriaali, joka soveltuu hyvin käytettäväksi yhdessä elintarvikkeiden kanssa elintarviketurvallisuutensa vuoksi. (Xometry, 2022.)

ABS muovi filamenttina on myös hyvin käytetty. Se omaa erinomaiset ominaisuudet, sillä se kestää lämpöä ja kovia iskuja. Sen tulostaminen ei

kuitenkaan ole yhtä helppoa kuin PLA:n. ABS-muovi liukenee tietyillä alkoholeilla ja kuten PLA, se on myös elintarviketurvallinen. (Xometry, 2022.)

PETG eli Polyetyleenitereftalaatti filamentti on helppo tulostaa ja se on myös erittäin kestävä materiaali. Se on yksi maailman eniten käytetyistä muoveista. PETG muovia voidaan käyttää myös elintarvikemuovina. (Xometry, 2022.)

2.4 Tulevaisuus ja käyttökohteet eri aloilla

Ainetta lisäävällä valmistusmenetelmällä valmistettujen tuotteiden kysynnän arvioidaan tilastojen mukaan kolminkertaistuvan vuosina 2020–2026. Moni ala on hyötynyt 3D-tulostuksen valtavasta ja vauhdikkaasta kehityksestä, mutta etenkin lääketieteellisyydessä, elektroniikkateollisuudessa sekä ilmailualalla kasvun odotetaan olevan suurinta. (Autodesk, 2021.)

Etenkin autojen valmistuksessa 3D-tulostus voi olla mullistava tekijä. Tuotantoa pystytään hajauttamaan aivan uudella tavalla, jolloin tarve suurille tehtaille vähenee ja mahdollisuus tilausvalmistuksille kysynnän ja asiakkaan toiveiden mukaan suurenee. 3D-tulostus mahdollistaa osien valmistuksen aikaisempaa pienemmällä hiilijalanjäljellä, mutta kuitenkin niin, että osista saadaan kevyempiä, turvallisempia ja kestävämpiä. Tämä johtaa kokonaisuutta ajatellen kustannustehokkaampaan autonvalmistukseen. (Creality, 2025.)

Terveysala on hyötynyt 3D-tulostuksen tuomista mahdollisuuksista. Se on mahdollistanut muun muassa potilaskohtaiset implantit ja nivelet, sen avulla kuluja on saatu karsittua ja se on jopa lyhentänyt potilaiden toipumisaikoja. 3D-tulostamalla on voitu valmistaa tarkkoja ja hyvin istuvia hammasimplantteja. Tutkimustiimit ovat myös valmistaneet aidoilta vaikuttavia replikoita potilaiden sisäelimistä, joiden avulla on voitu harjoitella toimenpiteitä. Myös lääkkeiden jakoon on saatu vaihtoehtoinen ratkaisu 3D tulostamalla. (Raised3D, 2024.)

3D-tulostus on löytänyt tiensä myös avaruuteen. Muun muassa Nasa on hyödyntänyt 3D-tulostusta valmistamalla komponentteja avaruusaluksille ja

kansainvälisille avaruusasemille, vähentääkseen tarvetta varaosavarastoille avaruudessa. (Raised3D, 2024.)

Muotimaailma ja vaatevalmistajat ovat myös kokeillet 3D-tulostamista. Muun muassa New Balance on valmistanut kengät 3D-tulostamalla. jossa on kiinnitetty huomiota istuvuuteen ja käyttäjän kävelytyyliin. Myös koruja ja muita asusteita valmistetaan 3D-tulostamalla. Valmistuksen vähäinen hävikki on vaikuttanut asiakkaiden käyttäytymiseen positiivisesti. (Raised3D, 2024.)

3 3D-skannaus

Ensimmäiset pilkahdukset laserskannauksesta tulivat jo 1960-luvulla, mutta vasta 1990-luvulla sitä alettiin toden teolla hyödyntämään. (Aniwaa, 2021.)

3D-skannaus tarkoittaa kaikessa yksinkertaisuudessaan osan tai esineen muotojen ja mittojen digitaalista taltiointia. Skannattu tiedosto eli digitaalinen osa voidaan muokata, tallentaa ja 3D-tulostaa. Tekniikoita 3D-skannauksessa on monia. Jotkin niistä sopivat parhaiten ympäristön skannaamiseen, ihmisen skannaamiseen ja joku osien skannaamiseen. Jokaisella niistä on kuitenkin omat rajoituksensa, mutta myös etunsa ja hyötynsä. (Aniwaa, 2021.)

Monien alojen ammattilaiset hyötyvät 3D-skannauksesta. Muun muassa ilmailuala, hammaslääketiede, koruteollisuus ja autoteollisuus. Myös elokuva ja pelialalla skannereista on hyötyä. Skannatun datan jälkikäsitteilyn jälkeen digitaalista osaa voidaan käsitellä CAD ohjelmistoilla. CAD ohjelmistolla osaa voidaan tutkia tarkemmin, ymmärtää sen rakennetta ja jopa parannella sitä. Tätä kutsutaan takaisinmallintamiseksi tai käänteiseksi suunnitteluksi eli tutummin engl. Reverse Engineering. (Aniwaa, 2021.)

3.1 Reverse Engineering

Reverse Engineering tarkoittaa käänteistä suunnittelua, jossa jo valmista tuotetta tai osaa analysoidaan ja rakennetta tutkitaan tarkemmin. Pyritään ymmärtämään osan/kappaleen toimintaa, jonka jälkeen se on mahdollista valmistaa tai sen rakennetta voidaan muuttaa ja parannella. Reverse Engineering tekniikkaa hyödynnetään erityisesti vanhentuneille tai harvinaisille varaosille tai tuotteille. (Autodesk Reverse Engineering, n.d.)

Käänteisessä suunnittelussa on yleensä neljä tyypillistä vaihetta. Työ alkaa osan tai esineen skannaamisella, jonka avulla osasta saadaan geometrinen malli, joka sisältää mitat ja muut muodot. Skannaus tuottaa niin kutsutun

pistepilven, josta saadaan aikaiseksi mesh eli verkkomalli. Malli on mahdollista saada aikaiseksi myös valokuvilla. (Autodesk Reverse Engineering, n.d.)

Mesh tarkoittaa 3D mallin rakenteellista kuvaa, josta selviää tarkasti sen rakenne ja muodot. 3D mesh hyödyntää X, Y ja Z koordinaattien referenssipisteitä määrittääkseen osan tai esineen leveyttä, korkeutta ja painoa. Mesh mallissa näkyvät muodot ovat tyypillisemmin nelikulmioita tai kolmioita. (Techtarget, 2024.)

Toisessa vaiheessa aikaisemmin tuotettua mallia käsitellään ja siitä poistetaan virheet. Kolmannessa vaiheessa suunnittelijalla on käsissään jo parametrinen osa/malli. Osa voidaan helposti muokata ja sille voidaan suorittaa erilaisia analyysejä. Neljännessä vaiheessa skannattua mallia verrataan alkuperäiseen osaan, jonka jälkeen voidaan valmistaa fyysisiä paranneltuja prototyypppejä, jos lopputulokseen ollaan tyytyväisiä. (Autodesk Reverse Engineering, n.d.)

3.2 Tekniikat 3D-skannauksen takana

3D-skannerit kaappaavat kappaleen tai osan fyysiset muodot hyödyntämällä erilaisia tekniikoita. Skannauksen tarkkuuteen ja resoluutioon vaikuttavat käytetty skannausmenetelmä ja skannerin tekniset ominaisuudet.

Hyödynnettyjä tekniikoita ovat muun muassa laserskannaus ja strukturoitu valoskannaus (Neuvition, n.d.)

3.3 Laserskannaus

3D-laserskannaus on tekniikka, joka ilman kosketusta ja ilman osan purkamista saa osan muodot ja mitat digitaaliseen muotoon hyödyntäen laservaloa (Laserdesign, 2019).

Laserskannauksella saadaan aikaan tarkkoja mittauksia ja analyyseja todella nopeasti. Se on erittäin käytetty tekniikka useilla teollisuuden aloilla. Laser skannaus tallentaa esineen tai osan fyysiset muodot ja ulkonäön lasersäteiden

avulla. Skannerista lähtee laservaloa, joka liikkuu kohteeseen ja takaisin. Skanneri mittaa tähän kuluvan ajan, jonka avulla se muodostaa kappaleen geometrian tiheällä pistepilvellä. Näillä tiedoilla saadaan aikaiseksi tarkkamittaisia ja yksityiskohtaisia 3D-malleja. (Neuvition, n.d.)

Laserskannauksessa käytetään tyypillisesti LiDAR- tekniikka eli engl. Light Detection and Rangin. Tärkeimpiä osia ovat laserlähde, joissakin malleissa pyörivät peilit, anturit, sekä tiedon käsittelyyn tehdyt ja suunnitellut ohjelmistot. Laser skannausta voidaan hyödyntää muun muassa suorittamalla laajoja korkearesoluutioisia skannauksia kiinteistä maanpäällisistä yksiköistä. Tekniikalla voidaan mitata suuria maanpäällisiä alueita nopeasti käyttämällä apuna lentokoneita ja droneja. Tätä kutustaan nimellä Airborne Laser Scanning. Monimutkaisia ja ahtaita tiloja skannataan usein kädessä pidettävällä laserskannerilla. (Neuvition, n.d.)

Laserskannauksessa suurimpia etuja ovat äärimmäisen korkea tarkkuus, kyky skannata monimutkaisia muotoja sekä nopea tiedonkeruu. Se kykenee luomaan tarkkoja digitaalisia malleja erilasiin tarpeisiin. 3D-laserskannauksen huonoja puolia ovat laitteiden käytön koulutuksen tarve, kalliit alkukustannukset laitteiden hankinnassa, sekä haasteet suurten tietokokonaisuuksien käsittelyssä. Laserskannausta haittaavat myös ympäristötekijät, muun muassa heijastavat pinnat ja kirkas auringonvalo voivat vaikuttaa skannauksen tarkkuuteen. Myös eri materiaalit voivat aiheuttaa hankaluuksia. (Neuvition, n.d.)

3.4 Strukturoitu valo 3D-skannaus

Strukturoitu valo 3D-skannaus tekniikka on menetelmä, jossa valokuvio heijastetaan esineeseen. Esineeseen heijastettu valokuvio kaappaa esineestä muodon, jonka jälkeen erikoisohjelmisto laskee esineen geometrian analysoimalla valokuvion muodonmuutoksia osuessaan esineen pintaan. (Neuvition, n.d.)

Menetelmä soveltuu hyvin tarkkoihin mittauksiin ja yksityiskohtaiseen mallintamiseen sen nopeuden ja suuren tarkkuuden ansiosta. Strukturoitua menetelmää hyödynnetään lukuisilla eri aloilla, muun muassa lääketieteessä, elokuvateollisuudessa sekä esimerkiksi teollisessa valmistuksessa laadunvalvonnassa. (Neuvition, n.d.)

Tekniikka hyödyntää projektoria ja kamerajärjestelmää syvyystietojen tallentamiseen. Strukturoitu 3D-skannaus alkaa sillä, kun projektorilla heitetään ristikko tai raita valokuvio esineeseen, jonka muodonmuutoksia kamera tallentaa. Kameratallenteen avulla saadaan pinnan tarkka geometria selville. (Neuvition, n.d.)

Menetelmän edut ovat ehdottomasti sen suuri tarkkuus, ja nopea tiedonkeruu. Kyseessä on kosketukseton menetelmä, joten skannattu kohde saadaan säilytettyä. Menetelmä soveltuu myös erityyppisille materiaaleille ja pinnoille, pois lukien kuitenkin heijastavat ja läpinäkyvät pinnat saattavat aiheuttaa vaikeuksia. Muita huonoja puolia menetelmässä on sen herkkyys valaistukselle sekä se, että järjestelmä vaatii huolellisen asennuksen ja kalibroinnin. (Neuvition, n.d.)

4 3D-tulostamisen ja -skannaamisen soveltuvuus varaosatuotantoon

3D-tulostaminen mahdollistaa varaosien valmistuksen nopeasti ja laadukkaasti ilman pitkiä toimitusaikoja ja saatavuusongelmia (3Dstep).

3D-tulostettujen osien hyvä puoli on nopea valmistus. Osista saatuun palautteeseen on myös helppo ja nopea reagoida, jolloin muutokset osiin on helppo toteuttaa. 3D-tulostus vähentää myös varastoinnin ja muidenkin logististen toimintojen vaatimuksia, sillä osat saadaan tehtyä lähellä tarvetta. 3D-tulostus mahdollistaa niin sanotut tilaustyöosat, jotka ovat hyvinkin kysytyjä juuri vanhojen ja klassikkoautojen keskuudessa, sillä osia ei saa mistään enää uutena. 3D-tulostus on perinteisiin osien valmistusmenetelmiin verrattuna todella paljon nopeampi ja tehokkaampi, eikä siitä aiheudu juuri ollenkaan hukkamateriaalia. (Uptive, 2024.)

3D-tulostus mahdollistaa mittatilaustyönä tehtyjen auton varaosien pienten erien matalat hinnat. Valmistusmenetelmän sisällyttäminen oman yrityksen toimitusketjuun voi nopeuttaa osien myyntiin saattamista, sillä suunnittelusta tuotantoon kuluva aika laskee ja kuluttajien muuttuviin vaatimuksiin pystytään vastaamaan nopeasti. (Creality, 2025.)

3D-tulostus mahdollistaa yritysten toiminnan myös erilaisten kriisitilanteiden aikana. Esimerkkinä pandemia ja onnettomuus Suezin kanavalla. Tapaukset osoittivat toimitusketjujen heikkouden, kun varaosia ei ole saatavilla. Ainetta lisäävä valmistus on oiva keino yrityksille, jotka haluavat varmistaa kriittisten osien saatavuuden myös poikkeustilanteissa. (Protech, 2025.)

Ongelmana varaosien 3D-tulostuksessa on kuitenkin vielä tällä hetkellä sopivien materiaalien saatavuus. Suosituimpia materiaaleja auton osien valmistuksessa 3D-tulostamalla ovat titaani, hiilikuitu ja polykarbonaatti eli PC filamentti. Jatkuvasti etsitään kuitenkin muita sopivia materiaaleja, joiden saatavuus olisi parempi. Toinen ongelma on 3D-tulostuksen sopivuus massatuotantoon. (Creality, 2025.)

Yksi 3D-tulostettujen osien ongelma on niiden jälkikäsittelyn tarve. Tyypillisempiä jälkikäsittelyistä ovat tukirakenteiden poistaminen, huokoisten kappaleiden täyttäminen jollakin toisella materiaalilla sekä erilaiset lämpökäsittelyt. 3D-tulostus ei välttämättä aina kykene tulostamaan osia, joilla on esimerkiksi riittävän sileä pinnanlaatu tai toleranssivaatimuksia omaavia pintoja. Voidaan joutua työstämään osia esimerkiksi hionnalla tai kiillotuksella. (Alonen, Alonen & Hietikko 2016, 51.)

Delva:n sivuilta löytyi hyvä asiaan liittyvä esimerkkitapaus, joka oli toteutettu yhteistyössä teollisuusyritys Konecranes kanssa.

Vuosia käytössä olleen nostolaitteen kuljetuskelkasta hajosi hammaspyörä. Jarrupaketti oli ostettu yhtenä kokonaisuutena, eikä näin ollen yhteen kyseiseen osaan löytynyt piirustuksia, eikä varaosia ollut saatavilla. Jos piirustus olisi jostain saatu, olisi osa silti ollut hankala valmistaa ja aikaa siihen olisi kulunut aivan liian kauan. Rikkinäinen osa skannattiin, jonka jälkeen siitä luotiin digitaalinen malli, eli tässä tapauksessa digitaalinen varaosa. Kyseisessä tapauksessa hammaspyörästä tehtiin kevyempi ja siitä tuli myös halvempi valmistaa. Uuden kevyemmän rakenteen ansiosta hammaspyörän laakeri kuluu käytössä myös vähemmän. (Delva, 2022.)

3D-skannauksesta on tullut tärkeä osa auton osien valmistusta. Sen avulla saadaan valmistusystävällisiä ja tuotantoon soveltuvia osia. 3D-skannaus helpottaa varaosia valmistavien tahojen toimintaa, etenkin juuri standardien ja muiden vaatimusten kanssa. 3D-skannaus on usein myös hyvä vaihtoehtoinen keino perinteisille mittavälineille saada kappaleen tarkat mitat. (3D Scantech, 2024.)

Haasteita kuitenkin 3D-skannauksessa tuottaa esimerkiksi nopeus ja suuret kappaleet. Varsinkin teollisuudessa nopeus ja tehokkuus on ratkaisevassa roolissa tarkkuudesta tinkimättä. Haasteita esiintyy myös kappaleiden kohdalla, joilla on ahtaita tai vaikeasti saavutettavia muotoja. Tummanpuhuvat pinnat voivat tuottaa ongelmia, samoin kuin kappaleet, jotka heijastavat valoa. (3D Scantech, 2024.)

4.1 CAD-ohjelmisto

Yksi kriittinen osa 3D-tulostettujen varaosien saatavuudessa ja suunnittelussa on CAD-ohjelmistot.

CAD eli engl. Computer- Aided Design on tietokoneavusteinen suunnitteluohjelma. Se on suunnittelijoiden ja insinöörien hyödyntämä 2D ja 3D piirtämiseen tarkoitettu digitaalinen prosessi. Sen avulla voidaan helposti tutkia suunnittelukonsepteja, malleja ja simuloida valmiin tuotteen kykyjä suoriutua kuormituksessa. (Autodesk, 2021.)

4.2 Buy to Fly

Buy to Fly ratio tarkoittaa yksinkertaisimmillaan materiaalin painon vertailua, kun osaa aletaan valmistaa ja kun osa on valmiina. Käytännössä siis kuinka paljon hukkaa syntyy, kun materiaalia työstetään valmiiksi kappaleeksi. Buy to fly ratio on varsinkin ilmailualalla materiaalin hukkaan käytetty mittari. Korkean buy to fly ration ratkaisuksi, lisäävä valmistus on näyttänyt lupaavalta. Hukkaa syntyy vain vähän, sillä materiaalia syötetään vain siihen missä sitä tarvitaan. (SustainAir, 2022.)

4.3 Perinteinen varaosien hankinta

Valtaosa tarvittavista varaosista valmistetaan tai tuotetaan alihankintana perinteisiä valmistusmenetelmiä hyödyntäen. Näistä tietenkin poiketen yritykselle tärkeät ja salassa pidettävät osat, jotka voivat sisältää arkaluontoista tietoa yrityksen liiketoiminnan kannalta. Yrityssalaisuuksia sisältävät osat ja komponentit valmistetaan usein itse. (Digitaaliset varaosat, 2018.)

Varaosatuotantoon liittyy olennaisesti varaosien valmistukseen tarvittavat erikoistyökalut, muotit ja piirustukset. Jos jokin edellä mainituista puuttuu, voi varaosan hankkiminen käydä hankalaksi. Yksittäisiä varaosia, joiden tarve voi olla hyvinkin kiireellinen, valmistetaan itse tai lähellä olevilla alihankkijoilla.

Teollisuudessa laitteisiin asennettavat komponentit voivat olla todella suuria kokonaisuuksia eli kokoonpanoja. Sen takia varaosa on usein myös samainen suuri kokonaisuus, vaikka kokoonpanosta olisi hajonnut vain yksi pieni osa ja tarve olisi vain kyseiselle rikkoutuneelle osalle. (Digitaaliset varaosat, 2018.)

4.4 Haasteet perinteisessä hankinnassa

Jos prosessi tai tuotantolinja pysähtyy ennakoimattomasti komponentin tai osan rikkoutumisen seurauksena, voi yritykselle syntyä suuria tuotantomenetyksiä. Kyseisissä tapauksissa varaosan hinnalla ei ole enää merkitystä, vaan tehdas on saatava takaisin toimintaan mahdollisimman nopeasti, jonka vuoksi toimitusaika on ainut, joka merkitsee. (Digitaaliset varaosat, 2018.)

Yritykset varautuvatkin rikkoutumisiin varastoimalla tietyn määrän tyypillisesti hajoavia ja kuluvia osia. Hankalan tilanteesta tekeekin osan tai komponentin rikkoutuminen, johon ei osattu varautua. Tällaisissa tilanteissa varaosan saaminen voi kestää useita kuukausia, joka usein tarkoittaa tuotannon pysähtymistä ja vahinkoa yritykselle. (Digitaaliset varaosat, 2018.)

Pitkät toimitusajat johtuvatkin usein sarjatuotannosta, sillä yksittäisen osan saaminen voi tarkoittaa toisen osan tuotantoprosessin alasajoa. Toinen mahdollinen vaihtoehto pitkille toimitusajoille on niiden keräily yhdeksi lähetykseksi, jolloin yhden osan myöhästymisen viivästyttää myös muut. (Digitaaliset varaosat, 2018.)

On myös mahdollista, että hankittavalle varaosalle on minimi tilausmäärä. Voi olla esimerkiksi tilanne, jossa kyseistä varaosaa tarvittaisiin vain muutama, mutta toimittajalta saatava minimi tilaus on sata kappaletta. (Digitaaliset varaosat, 2018.)

Nykyisellä mallilla myös varastoihin sitoutuu valtava määrä pääomaa. Suuret yritykset pyrkivätkin pitämään varastonsa maltillisina, mutta kuitenkin hyödyllisinä mahdollisia laitteistojen rikkoutumisia varten. (Digitaaliset varaosat, 2018.)

5 Tutkimusosio

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää 3D-tulostimen ja 3D-skannerin soveltuvuutta varaosatuotantoon. Työssä käytetyt välineet ja tarvikkeet ovat kuluttajille suunnattuja. Työ toteutettiin käyttämällä Crealityn valmistamaa 3D-tulostinta ja 3D-skanneria, sekä niiden omia tietokoneohjelmia.

Työssä keskityttiin varaosiin, joiden saatavuus jälleenmyynnissä on haastavaa. Työhön valikoitui kolme eri muoviosaa, joita on vaikea löytää käytettynä ja lähes mahdotonta löytää uutena. Työtä varten skannattiin ja tulostettiin Plymouth Valiantin ohjaamon kattovalaisimen kupu, vuoden 1997 Toyota Hiacen ohjaamon valaisimen kupu, sekä vanhan rintamamiestalon keittiön sokkeliin kiinnitettävä kalusteklipsi. Kaikki osat ovat muodoiltaan ja kokoluokaltaan toisistaan poikkeavia. Tällä haluttiin selvittää 3D-skannauksen ja 3D-tulostuksen soveltuvuutta haastaviin ja yksityiskohtaisiin muotoihin.

Opinnäytetyössä käytettiin Crealityn valmistamaa K1 Max 3D-tulostinta. Se tarjoaa moneen muuhun kuluttajille suunnattuun tulostimeen verrattuna suuren 300*300*300 tulostusalueen, sekä nopean 600 mm/s tulostusnopeuden. Tulostin tarjoaa myös laajan kirjon tuettuja materiaaleja, muun muassa PLA, ABS, TPU, ASA ja PETG. Tulostin on myös varustettu tekoälypohjaisella kameralla ja LIDAR:illa. (Creality K1 Max, n.d.)

Työn tulostuksessa käytettiin kahta eri merkkistä ja laatuista filamenttia. Molemmat muovit olivat PLA muovia. Toinen muoveista oli valoa läpäisevää ja toinen väriltään valkoista. Muovilankojen paksuus oli 1.75 mm.

3D-tulostamisessa olisi hyvä pyrkiä käyttämään tulostinvalmistajan omia muoveja, sillä niille on saatavana valmiiksi omat tulostusasetukset tulostimen omassa valikossa. Tulostusasetuksissa määritellään siis esimerkiksi tulostuskärjen lämpötilaa, tulostusalustan lämpötilaa, tuulettimia ja muovin lämpötilaa. Muoville on olemassa oma kuivain, jonka kautta muovi syötetään tulostimen kärjelle. Tähän työhön ei onnistuttu saamaan Crealityn omia

muoveja, mutta asetuksia manuaalisesti säätämällä saatiin tulosteet onnistumaan.

Creality K1 Max tulostimen mukana tulee myös tulostusta tukeva käyttöliittymä, jonka avulla pystytään asettelemaan osat tulostusalueelle, sekä määrittämään mahdollinen tukimateriaali. Työ suoritettiin hyödyntämällä tätä tulostusohjelmaa.

Työn skannaaminen suoritettiin Crealityn valmistamalla CR-Scan Raptorilla. Skanneri tarjoaa mahdollisuuden laserskannaukselle, sekä strukturoidulle infrapunavaloskannaukselle. Laitteen käyttö on tehty miellyttäväksi sen kevyen rungon ansiosta. Laite painaa vain noin 370 grammaa. Laitteen skannauksen tarkkuus on jopa 0.02 mm, joten se soveltuu niin pienten kuin isojenkin objektien skannaukseen. Skannatun objektin koko voi vaihdella 5–2000 mm välillä. (Creality CR-Scan Raptor, n.d.)

Skanneri on myös muihin kuluttajakäyttöön suunniteltuihin skannereihin verrattuna varsin nopea, Sen sinivalo skannaus on 60fps ja infrapuna 20fps. FPS (Frames Per Second) tarkoittaa ruudunpäivitysnopeutta.

Skannerin mukana tulee oma käyttöliittymä, jonka avulla skannattua dataa voidaan käsitellä ja muokata. Sen avulla skannatuista objekteista voidaan esimerkiksi poistaa skannauksessa syntyneet virheet tai muut muodot, jotka eivät kuulu haluttuun objektiin. Skannaus suoritettiin hyödyntämällä kyseistä Creality Scan-ohjelmaa.

5.1 Pakettiauton ohjaamon valokupu

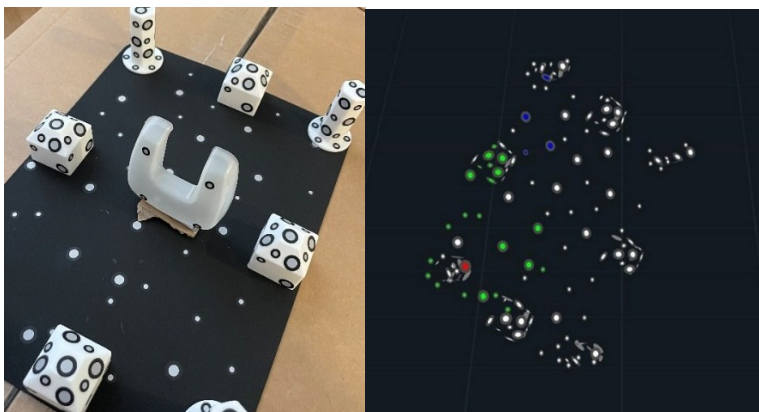


Kuva 1. Pakettiauton kattovalaisimen alkuperäinen kupu

Työn ensimmäinen skannattava objekti oli vuoden 1997 Toyota Hiacen kattovalaisimen kupu. Myöhemmin tekstissä kattovalaisimen kupua kutsutaan esimerkiksi kappaleeksi, objektiksi tai osaksi.

Työ aloitettiin valmistelemalla työtila. Valmistelut alkoivat skannerin kalibroinnilla, joka suoritettiin skannerin omalla kalibrointilaudalla. Kalibroinnilla varmistettiin laitteen toimivuus, sekä muut oikeat asetukset. Skannerin kalibrointi on joissain tilanteissa hyvä suorittaa jokaisen skannattavan objektin kohdalla erikseen. Tähän työhön skannerin kalibrointi suoritettiin vain ensimmäisen objektin kohdalla, jonka jälkeen toimivuutta tarkkailtiin vertailupisteiden oikean sijainnin avulla.

Seuraava vaihe oli skannattavan objektin puhdistus ja skannaus tarrojen eli vertailupisteiden kiinnitys.



Kuva 2. Kupu ja skannerin vertailupisteet

Skannerin vertailupisteet (engl. Reflective markers) ovat mustia liimattavia tarroja, joiden keskellä on pieni, heijastava alue. Nämä vertailupisteet sijoitetaan itse skannattavaan objektiin, sekä sitä ympäröivälle alueelle.

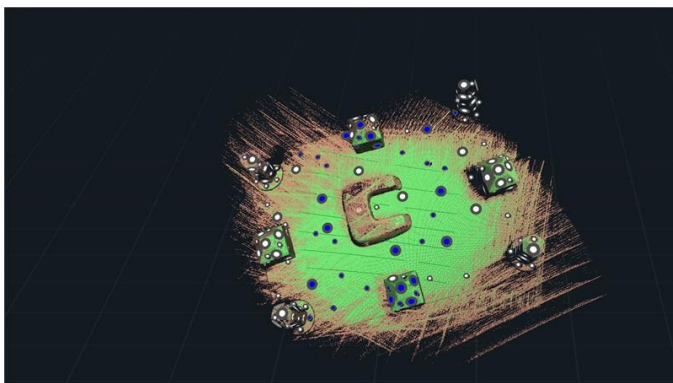
Heijastavien tarrojen ideana on, että 3D-skanneri tunnistaa etäisyyden ja oman sijaintinsa suhteessa skannattavaan kohteeseen. Tarrojen käytöllä mahdollistetaan hyvä skannaustarkkuus esimerkiksi skannatessa suuria kappaleita, sekä ratkaistaan skannerin kohdistusongelmat. (ZG Technology, 2022.)

Vertailupisteiden käytöllä helpotetaan myös työn myöhempää vaihetta, jolloin skannattua dataa yhdistellään. Vertailupisteitä käytetään kohdistamaan eri aikoina tai skannattavan objektin eri kohdista suoritettua skannauksia toisiinsa. Vertailupisteiden avulla voidaan myös tarkkailla skannerin oikeaoppista toimintaa. Jos esimerkiksi huomataan vertailupisteiden leijuvan ilmassa, tai muuten väärissä paikoissa, on hyvä aloittaa skannaus alusta. Tarvittaessa skanneri on hyvä kalibroida uudestaan.

Työ eteni esivalmistelujen jälkeen ensimmäiseen skannaukseen, jolloin valokuvasta saatiin skannattua toinen puolikas. Valokupu asetettiin keskelle skannausalustaa, jonka ympärille oli asetettu vertailupisteitä mahdollisimman tasaisesti ja laajalti. Ensimmäinen skannaus haki paikat vertailupisteille, joiden avulla kohteen sijainti tallennettiin. Työn edetessä oli äärimmäisen tärkeää olla muuttamatta alussa asetettujen vertailupisteiden sijaintia. Jos alussa haettujen

vertailupisteiden paikka muuttui, oli työ käytännössä aloitettava alusta. Alussa löydettyjä vertailupisteitä oli noin 216 kappaletta. Työssä käytetyt vertailupisteet olivat 3–6 mm halkaisijaltaan. Ne sijoitettiin skannattavan valokuvun ulkopinnalle.

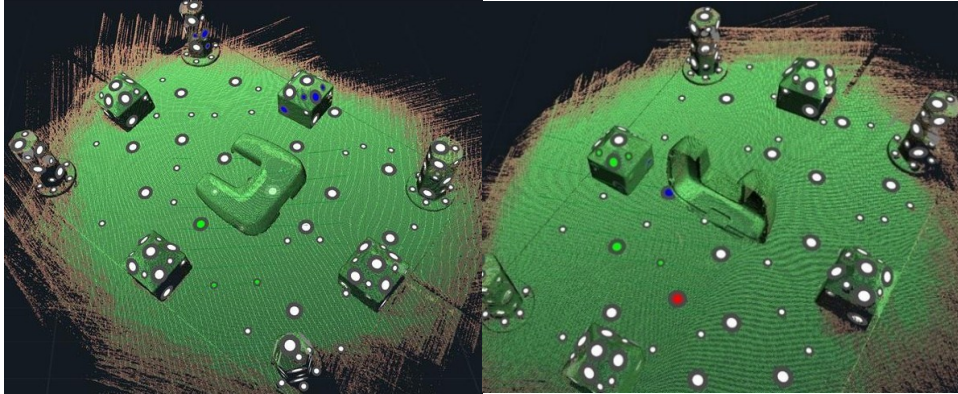
Objektiin sijoitettavia vertailupisteitä tulisi olla vähintään kolme kappaletta. Kun skannauksia yhdistetään vertailupisteiden avulla toisiinsa, paras laatu saadaan, jos näitä vertailupisteistä syntyviä pareja on vähintään kolme. Vaikeiden osien kohdalla, vertailupisteet kannattaisi asetella pareittain kappaleeseen, siten, että tunnistaa itse parilliset vertailupisteet toisistaan.



Kuva 3. Skannausympäristö

Valokupu näkyy kuvassa osittain punaisena, joka tarkoittaa, ettei osaa ole siltä osin vielä saatu taltioitua. Siniset pisteet puolestaan ovat skannerin etäisyyden indikaattoreita, joiden avulla tiedettiin siirtää skanneria lähemmäs tai kauemmas. Vihreä piste symboloi optimaalista etäisyyttä, kun taas vastaavasti punainen tarkoitti skannerin olevan liian etäällä.

Ennen toista skannausta valokupu käännettiin pystyyn, jotta kuvusta saataisiin luotua kokonaisvaltainen skannaus.



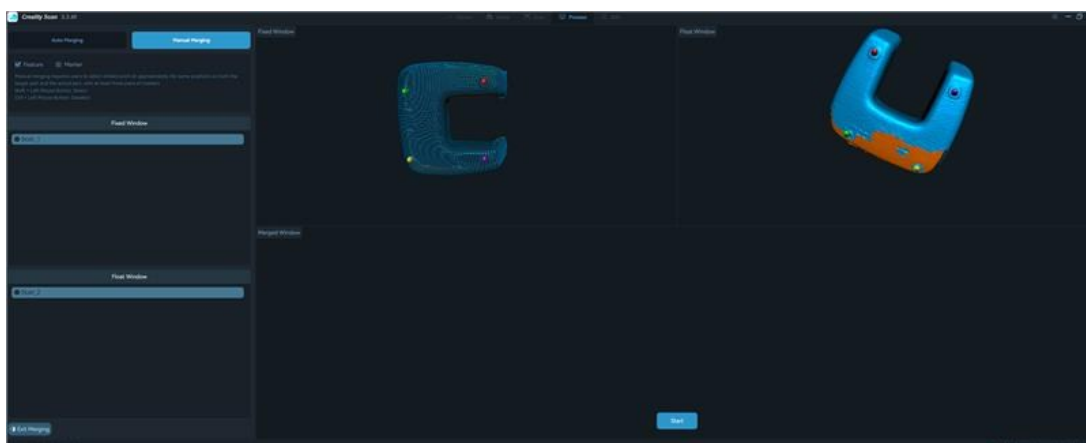
Kuva 4. Onnistuneet skannaukset

Kolmannen ja neljännen skannauksen jälkeen objekti näytti lähes kauttaaltaan vihreältä. Ahtaimmat kulmat aiheuttivat hankaluuksia ja niissä voitiinkin havaita punaisuutta, joka kertoi, ettei skanneri ole saanut taltioitua aivan kaikkea. Nämä ongelmakohdat saatiin kuitenkin ratkaistua vertailupisteitä yhdistämällä, eli käytännössä kaikki skannaukset yhdistettiin yhdeksi kokonaisuudeksi. Ennen skannausten yhdistämistä jouduttiin kuitenkin siivoamaan skannattu materiaali. Tämä tarkoittaa skannatun datan siistimistä ja mahdollisten virheiden poistamista. Kyseinen operaatio oli skannauksen yksi haastavimpia osuuksia. Siivous aloitettiin poistamalla ympäristö objektin ympäriltä. Tämän jälkeen objektia pyrittiin siistimään mahdollisimman tarkasti, kuitenkin niin, ettei objektista poistettu siihen kuuluvia osia.



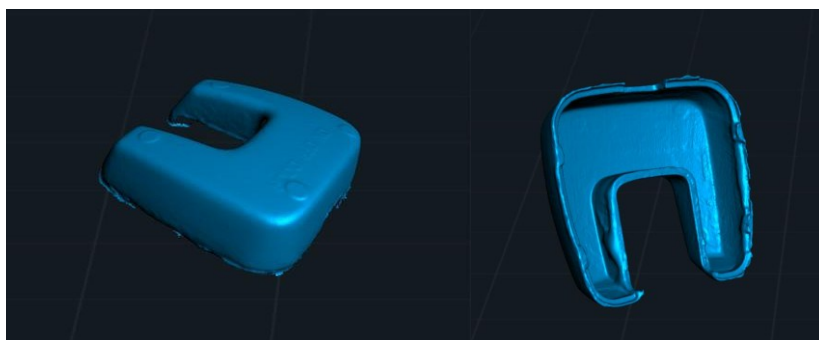
Kuva 5. Skannauksen jälkikäsittelyä

Jokaisesta onnistuneesta skannauksesta suoritettiin oma siistiminen. Tilannetta voitiin ajatella niin, että mitä paremmin hoitaa siistimisen, sitä mukavampi skannauksia on yhdistellä. Tämä taas vaikutti suoraan siihen, millainen osa lopulta saatiin tulostettua. Kun kaikki skannaukset oli saatu siistittyä, oli aika siirtyä yhdistelemään skannauksia.



Kuva 6. Skannausten yhdistämistä vertailupisteillä

Vertailupisteiden avulla eri asennoissa suoritettut skannaukset saatiin yhdistettyä yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi. Työvaiheessa tärkeää oli saada värit kohtaamaan. Samaa väriä edustava pallo tuli siis saada skannauksessa 1 ja skannauksessa 2 samaan kohtaan, jotta niiden avulla eri skannausten virheet ja eroavaisuudet saataisiin poistettua. CreaLityn käsittelyohjelma mahdollistaa virhekohtien ja reikien automaattisen täytön. Tämä ei kuitenkaan aina toiminut halutulla tavalla. Kun värit saatiin yhdisteltyä, hoiti ohjelma työn seuraavan vaiheen, jonka tuotoksena saatiin valmis malli.



Kuva 7. Siivottu skannaus

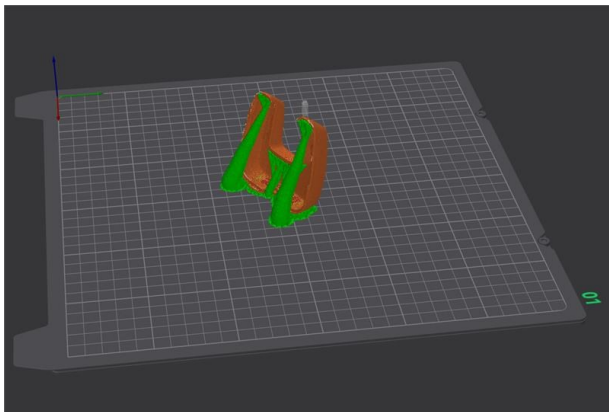
Kuvista on huomattavissa epätasaisuuksia, jotka johtuvat skannatun objektin jälkikäsitteystä. Crealityn ohjelma tarjoaa perustyökalut skannatun datan siistimiseen, mutta sen kömpelyys tulee myös ajoittain esille. Käsitteily olisi vaatinut pääsyyntä erilliseen kuvankäsitteilyohjelmaan, jotta kaikki muodot ja pinnanlaatu olisi tässä vaiheessa saatu siistittyä. Ongelmakohtaisesti paljastui varsinkin alkuperäisen kappaleen kiinnityskohtat, sekä reunojen siistiminen. Työkalu, jonka ohjelma tähän tarjoaa, on hyvä, mutta se vaatisi pidempää totuttelua. Kaiken kaikkiaan skannattu objekti saatiin kuitenkin muistuttamaan alkuperäistä kappaletta.

Seuraavaksi työ eteni tulostuksen valmisteluun. Tähän kuului tulostuslangan vaihtaminen, sekä sen syötön toimivuuden varmistaminen. Crealityn ohjelmat toimivat hienosti yhteistyössä toistensa kanssa. Skannattu ja siistitty tiedosto saatiin tuotua helposti tulostimen alustalle. Tulostusohjelmalla saatiin määriteltyä suuttimen lämpötila, tuulettimien nopeudet, sekä tulostusalustan lämpötila.

Kyseinen filamentti ei ollut Crealityn omaa, vaan kilpailevan valmistajan. Tämä tarkoitti sitä, että asetukset oli määriteltävä pitkälti itse ja siitä syystä tulostuksen onnistumisen mahdollisuus laski. Valmistaja ilmoitti muovin tulostuslämpötilaksi 190–220 astetta, eikä varmuutta sopivasta lukemasta siis ollut.

Tulostusohjelmassa saatiin määritettyä myös kappaleen tukirakenteet, joita tulostuksen onnistuminen vaatisi. Tukirakenteeksi valikoitui ”puu” tyyppinen ratkaisu. Tämä säästää materiaalia, sillä tukirakenne muodostetaan vain kohtiin, jossa sitä kriittisesti tarvitaan. Tämä ratkaisu laski tulostusaikaa noin 30 minuuttia ja tuotti 15 prosentin materiaalisäästöt verrattuna koko kappaleen alueelle tehtävään tukimateriaaliin.

Tulostusohjelmassa saatiin myös määriteltyä tulostettavan kappaleen täyttöaste, tulostusnopeus ja tulostuksen laatu. Pyrimme valitsemaan kappaleen ominaisuuksille tarpeelliset asetukset.



Kuva 8. Tulostusympäristö

Tulostusaika kappaleelle oli noin 1 tunti ja 20 minuuttia. Tulostuksen jälkeen päästiin vertailemaan kappaletta alkuperäiseen osaan.

Kappaleen päämitat ja seinämänpaksuus vastasivat lähes täydellisesti alkuperäisen kappaleen mittoja. Kappale muistuttaakin pääpiirteissään aivan alkuperäistä osaa. Suurin eroavaisuus on kappaleiden pinnanlaadussa. Muovin laatu, ei vastaa alkuperäisen osan laatua. Tulostuksessa on luultavasti tulostuskärjen lämpötila ollut liian korkea kyseiselle muoville. Luultavasti siitä syystä, kappaleen pinnalla on havaittavissa hieman epätasaisuutta. On selvästi nähtävissä, että kappaleen pinta vaatisi jälkikäsittelyä, jotta pinnan laatua voitaisiin pitää alkuperäistä vastaavana. Oletettavasti esimerkiksi hionnalla voisi parantaa laatua. Todennäköisesti tulostetusta kappaleesta olisi tullut parempi, jos filamentti olisi ollut Crealityn omaa.



Kuva 9. Alkuperäinen ja tulostettu kupu

Skannatun kappaleen jälkikäsitteily korostuu valtavasti tulostetussa kappaleessa. Skannatusta materiaalista olisi saatava poistettua kaikki ylimääräinen ja tehtävä siitä mahdollisimman alkuperäistä osaa vastaava. Siihen tarvittaisiin hyvillä ominaisuuksilla varustettu kuvankäsittelyohjelma, jonka ominaisuuksilla esimerkiksi pinta saataisiin silotettua sekä reunan rypyt tasoitettua.



Kuva 10. Mittatarkkuuksia

Tulostettu kappale istuu paikoilleen täydellisesti, huolimatta siitä, että reunat ovat jääneet epätasaisiksi. Osa saadaan lukittua ja irrotettua vastakappaleestaan juuri niin kuin alkuperäinenkin osa.



Kuva 11. Käytännön sovitus

5.2 Klassikkoauton ohjaamon valaisimen kupu

Vastaavanlainen työ suoritettiin Plymouth Valiantin kattovalaisimen kuvulle. Myöhemmin työssä kattovalaisimen kuvusta käytetään muun muassa nimitystä kappale, objekti sekä osa.

Työn kulku vastasi pitkälti edellä kuvattua Toyota Hiacen kuvun skannaamista ja skannatun tiedoston tulostamista. Skannauksen näkökulmasta Valiantin kupu oli hieman yksinkertaisempi. Sen muodot ja kiinnityksen kannalta kriittiset kiinnityskohdat olivat selkeämmin havaittavissa.



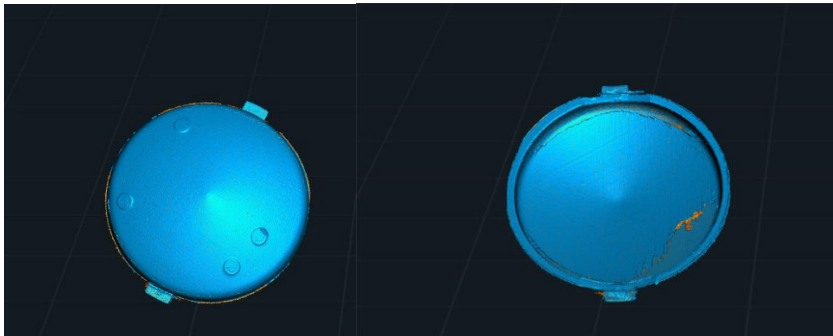
Kuva 12 Valiant alkuperäinen kupu

Ongelmia skannaamisessa tuotti kuvulle parhaan skannaus asennon löytäminen. Kupu asetettiin pystyasentoon, jolloin heijasteita syntyi mahdollisimman vähän. Kuvun sisäpuoli ei aiheuttanut ongelmia, sillä hankalasti saavutettavia kulmia tai muotoja ei juuri ollut. Skannauksen siistiminen oli myös huomattavasti yksinkertaisempaa, sillä skannaukset pystyttiin suorittamaan pystyasennossa, jolloin suurin siistimisen tarve oli ympäristön poistaminen.



Kuva 13 Valiant kupu skannaus

Osa tarvittiin skannata vain kaksi kertaa, joka on puolet vähemmän kuin Hiacen kuvun kohdalla. Osa pyöräytettiin toista skannausta varten ympäri. Kuvassa näkyvät kupuun kiinnitetyt vertailupisteet ovat asetettu kuvun ulkopuolelle, jotta skanneri erottaa helpommin tasaisen ja yksinkertaisen muodon. Vertailupisteet ovat asetettu myös pareittain. Kuvassa alemmat vertailupisteet ovat hieman lähempänä toisiaan kuin ylemmät. Tämä asetelma helpottaa skannauksen 1 ja 2 yhdistämistä toisiinsa, kun suunta on helpompi erottaa.



Kuva 14. Siivottu skannaus Valiant

Ongelmia skannauksen käsittelyssä ilmeni vertailupisteiden poiston aikana. Ohjelma tarjoaa siihen ratkaisun, mutta se ei suostunut tällä kertaa toimimaan. Vertailupisteet olisi saanut poistettua ennen skannausten yhdistämistä. Tämä olisi ollut yksi mahdollinen vaihtoehto, mutta se olisi vaikeuttanut skannausten kohdistamista tarpeettoman paljon. Toinen vaihtoehto olisi ollut erillisen kuvankäsittelyohjelman käyttäminen. Päädymme kuitenkin kokeilemaan

tulostamista, vaikka vertailupisteet olivat erotettavissa. Kyseessä oli kuitenkin vain pieni kosmeettinen vika, eikä se vaikuttaisi osan käyttöön tai sen kestävyys.



Kuva 15. Mittatarkkuuksia

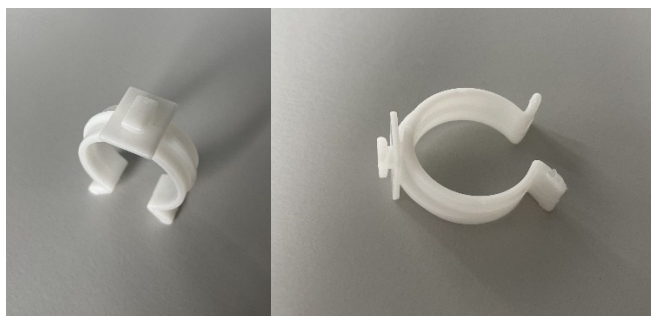
Tulostettu osa vastaa muodoiltaan ja mitoiltaan täysin alkuperäistä osaa. Muovin laadussa huomaa suurimman eroavaisuuden. Toki alkuperäinen osa on noin 60 vuotta vanha ja muovi muuttanut myös ajan saatossa väriään. Tulostettua osaa voisi mahdollisesti parantaa hionnalla ja pinnoitteella. Suurimmat eroavaisuudet ovatkin siis vain kosmeettisia. Jos näille asioille ei anna painoarvoa, on skannattu ja tulostettu osa täysin kelvollinen käyttöön.



Kuva 16. Käytännön sovitus

5.3 Keittiön sokkelijalan klipsi

Työn kolmas ja viimeinen osa on keittiön sokkelijalan klipsi. Työn aikaisempiin skannauksiin verrattuna, sokkeliklipsi on kooltaan ja muodoiltaan varsin erilainen. Työn myöhemmissä vaiheissa sokkeliklipsiä kutsutaan muun muassa sanoilla osa, klipsi, objekti ja palikka.



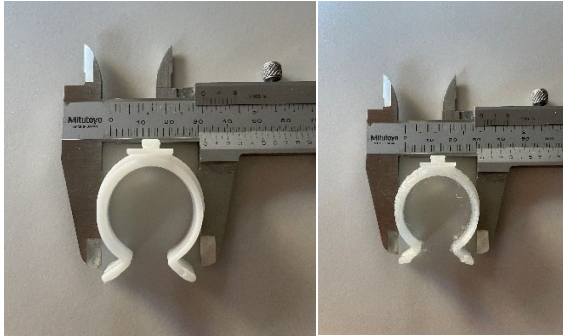
Kuva 17. Sokkelijalan klipsi

Työn eteneminen on pääpiirteissään varsin samanlaista kuin aikaisemmin kuvattujen osien. Kyseisen osan kanssa haasteita tuli kuitenkin huomattavasti enemmän.

Klipsin toiminnallisesti kriittiset muodot ovat kooltaan todella pieniä. Vertailupisteiden asettaminen tuotti suhteellisen paljon hankaluuksia, sillä niitä ei pystytty kiinnittämään pareittain järkevästi. Vertailupisteitä jouduttiin kiinnittämään klipsin sisäpinnoille sekä ulkopinnoille. Tämä aiheutti hankaluuksia skannausten yhdistämisessä. Skanneri ei myöskään aina tunnistanut vertailupisteitä. Klipsin pieni koko aiheutti myös ongelmia, sillä käyttämämme pöytä ei mahdollistanut skannerille sopivaa etäisyyttä suhteessa klipsiin.

Tulostuksen kannalta osa on myös hankala tapaus, sillä sen toinen kaulus aiheuttaa tukimateriaalin tarpeen koko kappaleen matkalle. Kappale olisikin siis järkevää mallintaa uudestaan ja ottaa huomioon osan tulostettavuus. Kappaleen kaulukset voitaisiin asettaa samalla korkeudelle, jolloin tukimateriaalin tarve pienenesi tai poistuisi kokonaan.

Tulostettu kappale vastaa kuitenkin kooltaan ja mitoiltaan lähes täydellisesti alkuperäistä kappaletta. Kappaleen kriittiset kohdat ovat kuitenkin skannauksessa epäonnistuneet. Näihin voitaisiin vaikuttaa skannauksen jälkeisellä käsittelyllä, mutta kyseisellä ohjelmalla se olisi haasteellista.



Kuva 18. Alkuperäinen ja tulostettu klipsi

Tulostetun kappaleen pinnanlaatu on skannauksen takia huono. Toki muovin laadulla on myös osuutta asiaan. Muovilaatua vaihtamalla, voitaisiin päästä parempiin tuloksiin pinnanlaadun suhteen. Tulostuksen lämpötila on myös saattanut olla kyseiselle muoville ja osan muodoille liian korkea.



Kuva 19. Tulostettu klipsi

Kuvista huomataan, että klipsin yläosa on tulostunut lähes umpeen. Se on toiminnallisuuden kannalta ratkaiseva tekijä. Kyseinen klipsi ei siis soveltuisi käyttöön.

6 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää 3D-skannaamisen ja 3D-tulostamisen soveltuvuutta varaosien hankintaan. Työssä pyrittiin selvittämään skannaamisessa ja tulostuksessa esiin nousevia haasteita. Työn tarkoituksena oli myös verrata tulostettuja varaosia alkuperäisiin.

Työn teoriaosuudessa käsiteltäviksi aiheiksi valikoituivat muun muassa 3D-tulostuksen historia, 3D-skannerin toimintaperiaate, ja molempien laitteiden soveltuvuus varaosatuotantoon. Teoriaosuudessa pyrittiin käsittelemään aiheita, jotka tukisivat myöhempää tutkimusosiota. Lähteinä käytettiin saatavilla olevaa kirjallisuutta ja relevantteja verkkolähteitä.

Työn tutkimusosiossa 3D-skannattiin ja 3D-tulostettiin kolme erimuotoista ja kokoista muovivaraosaa, ja testattiin niiden soveltuvuus korvaamaan alkuperäiset osat. Työtä varten tulostetut osat saatiin vastaamaan alkuperäisiä, mutta tutkimuksessa nousi esille myös erilaisia haasteita ja ongelmakohtia.

Tutkimuksessa huomattiin, että skannatun osan jälkikäsitteily vaatii siihen suunnitellun ohjelman ja käyttäjältä kokemusta ja taitoa. Tällä saa varmistettua sen, että tulostettu osa on pinnan laadultaan mahdollisimman siisti ja sileä.

Mielenkiintoinen tutkimusaihe ja sen merkitys tulevaisuuden teollisuudelle tekivät työstä ajankohtaisen ja tarpeellisen. Suoritetuista skannauksista ja tulosteista saatiin arvokasta oppia ja kokemusta, joita voidaan hyödyntää myös jatkossa.

Lähteet

3D Scantech. 2024. [Online] <https://www.3d-scantech.com/advancing-automotive-parts-manufacturing-and-repair-with-3d-scanning/> Viitattu 25.4.2025

3D tulostuksen historia. Peda. 2022. [Online] <https://peda.net/joensuu/jm/lightabot-luonnos/3d-tulostus/3vl/1hlo/3h> Viitattu 8.4.2025

3DbyJL. n.d. [Online] <https://kannet.fi/3d-tulostus-teknologian-kehitys-ja-yrityksen-esittely/> Viitattu 8.4.2025

3Dstep. n.d. [Online] <https://www.3dstep.fi/3dtulostetut-varaosat> Viitattu 9.4.2025

Alonen, A.; Alonen, L.; & Hietikko, E. 2016. Lisäävän valmistuksen perusteet. [Online] https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/338434/lisaavan_valmistuksen_perusteet.pdf?sequence=2&isAllowed=y Viitattu 9.4.2025

Aniwaa. 2021. [Online] <https://www.aniwaa.com/guide/3d-scanners/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/> Viitattu 12.4.2025

Autodesk Reverse Engineering. n.d. [Online] <https://www.autodesk.com/solutions/reverse-engineering> Viitattu 12.4.2025

Autodesk. 2021. [Online] <https://www.autodesk.com/design-make/articles/history-of-3d-printing> viitattu 8.4.2025 Viitattu 8.4.2025

Creality CR-Scan Raptor. n.d. [Online] <https://www.creality.com/products/creality-cr-scan-raptor> Viitattu 26.4.2025 Viitattu 26.4.2025

Creality K1 Max. n.d. [Online] <https://www.creality.com/products/creality-k1-max-3d-printer> Viitattu 26.4.2025

Creality. 2025. [Online] <https://www.creality.com/blog/3d-printing-in-the-automotive-industry> viitattu 9.4.2025 Viitattu 9.4.2025

Delva. 2022. [Online] <https://delva.fi/fi/3d-tulostettu-varaosa/> Viitattu 9.4.2025

Digitaaliset varaosat. 2018. [Online] <https://aaltodoc.aalto.fi/items/dd19342f-9df0-4b19-9d8f-60f701b286e8> Viitattu 16.4.2025

Laserdesign. n.d. 3D Scanning Tecnology. [Online] <https://www.laserdesign.com/what-is-3d-scanning> Viitattu 12.4.2025 Viitattu 16.4.2025

Maker3D. 3D tulostus.fi. 2018. Vertailussa FDM-SLA- ja SLS- teknologiat. [Online] <https://www.3d-tulostus.fi/uutiset/Vertailussa-FDM-SLA-ja-SLS-teknologiat> Viitattu 26.4.2025

Manners-Bell, J. & Lyon, K. 2023. Logistics and supply chain innovation. 2ND Edition. Viitattu 8.4.2025

Neuvition. n.d. [Online] <https://www.neuvition.com/fi/neuvition-how-does-3d-scanning-work/> Viitattu 12.4.2025

Neuvition. n.d. [Online] <https://www.neuvition.com/fi/neuvition-laser-3d-scanning/> Viitattu 12.4.2025

Neuvition. 3D skannaus. n.d. [Online] <https://www.neuvition.com/fi/neuvition-structured-light-3d-scanning/> Viitattu 13.4.2025

Protech. 2025. [Online] <https://www.protech.fi/sovellus/varaosat/> Viitattu 9.4.2025

Protolabs Network. n.d. [Online] <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-fdm-3d-printing/> Viitattu 8.4.2025

Raised3D. 2024. Key Industries Leveraging 3D Printing. [Online] <https://www.raise3d.com/blog/3d-printing-applications/> Viitattu 10.4.2025

Savonia 3D tulostus menetelmät. [Online] <https://3dtulostus.savonia.fi/fi/tietopankki/menetelmat> Viitattu 8.4.2025

Survey2Plan. 2024. [Online] <https://survey2plan.com/history-of-3d-laser-scanning-technology/> Viitattu 13.4.2025

SustainAir. 2022. [Online] <https://www.sustainair.eu/2022/04/21/aerospace-circular-manufacturing/> Viitattu 9.4.2025

Techtarget. 2024. [Online] <https://www.techtarget.com/whatis/definition/3D-mesh> Viitattu 12.4.2025

Tukes. 2022. 3D tulostus yleistyy vauhdilla. [Online] <https://tukes.fi/3d-tulostus> viitattu 8.4.2025

University of Galway. 2021. [Online] <https://openpress.universityofgalway.ie/designingthedigitalworld/chapter/brief-history-3d-printing/> viitattu 8.4.2025

Uptive. 2024. On-demand autoparts. [Online] <https://uptivemfg.com/3d-printing-automotive-and-car-parts/> Viitattu 9.4.2025

Xometry. 2022. [Online] <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/types-of-3d-printer-filaments/> viitattu 8.4.2025

ZG Technology. 2022. [Online] <https://www.3d-zg.com/Everything-About-Reflective-Markers-and-How-They-Help-3D-Scanning-id48116087.html> Viitattu 26.4.2025