

Mikko Seppälä

3D-skannauksen hyödyntäminen 3D-tulostuksessa

Opinnäytetyö

Kevät 2016

SeAMK Tekniikka

Tietotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Tietotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sulautetut järjestelmät

Tekijä: Seppälä, Mikko

Työn nimi: 3D-skannaamisen hyödyntäminen 3D-tulostuksessa

Ohjaaja: Hellman, Tapio

Vuosi: 2016

Sivumäärä: 46

Liitteiden lukumäärä: 0

Opinnäytetyössä tutustuttiin 3D-skannaus- ja 3D-tulostusteknologioihin. Työssä käytiin läpi erilaiset 3D-tulostusmenetelmät ja esiteltiin erilaisia 3D-skannausmenetelmiä. Lisäksi käytiin läpi 3D-skannaus- ja 3D-tulostusprosessi.

Tavoitteena opinnäytetyössä oli tutkia, kuinka nämä kaksi teknologiaa toimivat yhdessä. Tarkoituksena oli käydä läpi prosessi, jossa fyysinen kappale skannattiin digitaaliseen muotoon, jonka jälkeen se voidaan tulostaa uudeksi fyysiseksi kappaleeksi. Lisäksi tarkoituksena oli löytää kyseiselle prosessille käyttökohteita.

Prosessin tulokset olivat lupaavia ja ylittivät odotukset. Työssä onnistuttiin saamaan fyysinen objekti digitaaliseen muotoon käyttäen Microsoft Kinect-laitetta, sekä 3D-skanneria. Lisäksi skannattu objekti saatiin tulostettua miniFactory 3D-tulostimella uudeksi kappaleeksi.

Avainsanat: 3D-skannaus, 3D-tulostus, 3D-malli, laser-kolmiomittaus, Kinect

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Information Technology

Specialisation: Embedded systems

Author: Seppälä, Mikko

Title of thesis: Utilising 3D scanning within 3D printing

Supervisor: Hellman, Tapio

Year: 2016

Number of pages: 46

Number of appendices: 0

The purpose of this thesis was to explore 3D scanning and 3D printing technologies. The thesis consists of different 3D printing methods and introduces different 3D scanning methods. The process of 3D scanning and 3D printing was also studied.

The aim of this project was to explore how those two technologies work together. The purpose was to go through the process in which a physical object is scanned into a digital file, which can then be printed again into a new physical object. Also, the goal was to find different applications for the process.

The results of the process were very impressive and they exceeded all expectations. Transforming a physical object into a digital file succeeded using a Microsoft Kinect device and a 3D scanner. The scanned object was also printed into a new object with miniFactory 3D printer.

Keywords: 3D printing, 3D scanning, 3D model, laser triangulation, Kinect

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO.....	8
1.1 Työn tausta.....	8
1.2 Työn tavoite.....	8
1.3 Työn rakenne.....	9
2 3D-SKANNAUS.....	10
2.1 Mitä on 3D-skannaus?.....	10
2.2 3D-skannaustyypit.....	10
2.2.1 Ei-koskettava 3D-skannaus.....	11
2.2.2 Koskettava 3D-skannaus.....	12
2.3 3D-skannauksen käyttökohteita.....	13
3 3D-TULOSTAMINEN.....	15
3.1 Mitä on 3D-tulostaminen?.....	15
3.2 3D-tulostustyypit.....	16
3.2.1 SLS (Selective Laser Sintering).....	16
3.2.2 SLA (Stereolithography).....	18
3.2.3 FDM (Fused Deposition Modeling).....	19
3.3 3D-tulostamisen käyttökohteita.....	19
4 LAITTEET JA OHJELMISTOT.....	22
4.1 Laitteet.....	22
4.1.1 miniFactory 3 -3D-tulostin.....	22
4.1.2 BQ Ciclop -3D-skanneri.....	23
4.1.3 Microsoft Kinect.....	24
4.2 Ohjelmistot.....	25
4.2.1 Repetier-Host.....	25
4.2.2 Horus.....	25

4.2.3 MeshLab.....	25
4.2.4 ReconstructMe.....	26
5 TESTIKAPPALEIDEN SKANNAUS JA TULOSTAMINEN.....	28
5.1 BQ Ciclop -skannaaminen	28
5.1.1 Laitteen kalibrointi.....	28
5.1.2 Kappaleen skannaaminen	31
5.1.3 Skannauksen käsitteleminen	33
5.2 Microsoft Kinect -skannaaminen	38
5.3 3D-tulostus.....	38
5.3.1 3D-mallien muuntaminen G-koodiksi	39
5.3.2 3D-mallin tulostaminen	40
6 TULOKSET	41
6.1 3D-skannauksen tuloksia.....	41
6.2 3D-skannauksen ja 3D-tulostamisen käytön yhdistäminen.....	43
7 YHTEENVETO.....	44
LÄHTEET	45

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. 3D-tulostettu nelikopterin propellin pidike	20
Kuva 2. miniFactory 3 -3D-tulostin (miniFactory 2016)	22
Kuva 3. BQ Ciclop -3D-skanneri (DIWO 2015)	23
Kuva 4. ZUM BT-328 ja ZUM Scan Shield (DIWO 2015).....	24
Kuva 5. Pistepilvi nopasta MeshLab-ohjelmassa	26
Kuva 6. ReconstructMe-ohjelma	27
Kuva 7. Väritasapainon säätäminen	29
Kuva 8. Kameran kalibroiminen	29
Kuva 9. Kameran kalibroinnin tulos.....	30
Kuva 10. Laserien kalibrointi	30
Kuva 11. Alustan kalibrointi.....	31
Kuva 12. Esineen skannaaminen.....	32
Kuva 13. Valmis skannaus.....	32
Kuva 14. Pistepilven tuominen MesLab-ohjelmaan	33
Kuva 15. Pistepilven siivoaminen.....	33
Kuva 16. Pisteiden normalisointi 1	34
Kuva 17. Pisteiden normalisointi 2	34
Kuva 18. Pinnan rekonstruktio 1	35
Kuva 19. Pinnan rekonstruktio 2	35
Kuva 20. Mallin esikatselu	36

Kuva 21. 3D-malliksi vienti 1	36
Kuva 22. 3D-malliksi vienti 2	37
Kuva 23. 3D-malliksi vienti 3	37
Kuva 24. Valmis 3D-malli	37
Kuva 25. Pään skannaaminen Kinectillä	38
Kuva 26. 3D-mallit muutettuna G-koodiksi	39
Kuva 27. 3D-mallien tulostaminen	40
Kuva 28. Valmiit kappaleet	41
Kuva 29. Pirstaleinen pistepilvi	42
Kuvio 1. 3D-skannaustyytit	10
Kuvio 2. Time of Flight -skannaus (Archaeology Data Service [Viitattu 5.4.2016]) .	12
Kuvio 3. Toimintakuva SLS (LiveScience 2013)	17
Kuvio 4. Stereolitografian toimintakuva (SolidSmack 2014).....	18
Kuvio 5. Fused Deposition Modeling (Baczuk 2015).....	19
Kuvio 6. Microsoft Kinect -sensorit (Microsoft Developer Network 2016).....	24

Käytetyt termit ja lyhenteet

G-koodi	Numeerisen ohjauksen ohjelmointikieli.
PLY	Pistepilvien yleisesti käyttämä tiedostomuoto.
Pistepilvi	Joukko verteksejä eli pisteitä kolmiulotteisessa avaruudessa.
3D-malli	Tässä yhteydessä 3D-mallilla tarkoitetaan kolmiulotteista kappaletta digitaalisessa muodossa.
STL	STL tulee sanasta stereolitografia ja on yleisesti 3D-tulostimien tukema 3D-mallin tiedostomuoto.
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu.
Nelikopteri	Neljän propellin muodostama kauko-ohjattava lennokki.
Filamentti	3D-tulostuksessa käytettävä nauhamainen materiaalilanka.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

3D-tekniikka on kehittynyt viime vuosien aikana nopeaa vauhtia eteenpäin. Tämän on mahdollistanut uusien tietokoneohjelmien nopea kehitys, sekä uusien laitteiden keksiminen. Tällä hetkellä merkittävässä nousussa on 3D-tulostukseen liittyvä teknologia, jolla voidaan tulostaa haluttu 3D-malli esineeksi. Tämän rinnalle on myös tuotu yksinkertaisia 3D-skannausmenetelmiä, joilla voidaan skannata haluttu esine tietokoneelle 3D-malliksi.

3D-skannaaminen on kuitenkin vielä alkutekijöissä. Tällä hetkellä 3D-mallin aikaansaamiseksi on käytetty perinteistä tietokonemallinnusta erilaisilla mallinnusohjelmilla. Olisiko tämä kuitenkin mahdollista tehdä toisin? Voisiko 3D-skannaaminen korvata mallinnusvaiheen ja helpottaa 3D-mallinen suunnittelua? Missä rajoissa 3D-skannaaminen pystyy toimimaan? Auttaisiko kyseinen teknologia 3D-tulostamisen yhteydessä?

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on tutkia miten 3D-skannaaminen ja 3D-tulostaminen toimivat yhdessä. Työssä kokeillaan erilaisia 3D-skannausmenetelmiä, kuten 3D-skanneria ja Microsoft Kinectiä. Lisäksi pyritään saamaan aikaan 3D-malli skannaamalla ja tarkastellaan mitä erinäisiä toimenpiteitä ja jälkikäsitteilyjä skannatulle objektille täytyy suorittaa. Lopuksi käsitellyt kappaleet tullaan tulostamaan 3D-tulostimella, jonka jälkeen tulostettuja kappaleita verrataan alkuperäisiin.

Lopullinen tavoite työssä on löytää tuloksien pohjalta erilaisia käyttökohteita, joissa 3D-skannausta ja 3D-tulostamista voitaisiin yhdessä hyödyntää. Tekniikat tarjoavat laajassa mittakaavassa lähes rajoittamattomia mahdollisuuksia ja siksi on tärkeää kartoittaa nykytilanne, mitä kaikkea tekniikalla voidaan tehdä. Tulevaisuudessa on odotettavissa, että 3D-tulostaminen ja 3D-skannaaminen yleistyvät entisestään, jolloin myös käyttökohteita tulee entistä enemmän.

1.3 Työn rakenne

Työ koostuu kolmesta vaiheesta: 3D-skannauksesta, 3D-mallin käsittelystä ja 3D-tulostamisesta. Työssä lähdetään liikkeelle valitsemalla erilaisia skannattavia kappaleita, jotka skannataan 3D-skannerilla. Skannatut kappaleet käsitellään skannauksen jälkeen niin, että ne voidaan seuraavaksi 3D-tulostaa. Tällä tarkoitetaan käytännössä sitä, että työssä käytettävän skannerin tuottama pistepilvi käsitellään pistepilveä tunnistavalla ohjelmalla, ja muutetaan näin 3D-malliksi, joka voidaan tulostaa 3D-tulostimella.

3D-skannauksessa käytetään kahta erilaista laitetta: BQ Ciclop -3D-skanneria sekä Microsoftin Kinect-sensoria. Koska laitteet eroavat toisistaan, voidaan helposti vertailla molempien skannausten lopputuloksia. 3D-tulostamisessa puolestaan käytetään miniFactory 3 -3D-tulostinta. Laitteiden lisäksi käytetään niihin tarvittavia oleellisia ohjelmistoja sekä mallin käsittelyyn tarvittavia ohjelmia.

Skannaamisen ja tulostamisen jälkeen verrataan alkuperäisiä ja tulostettuja kappaleita. Esitellään tuloksia ja näiden pohjalta pohditaan, missä näitä kahta tekniikkaa voitaisiin tehokkaasti hyödyntää. Lopuksi tehdään yhteenveto työstä.

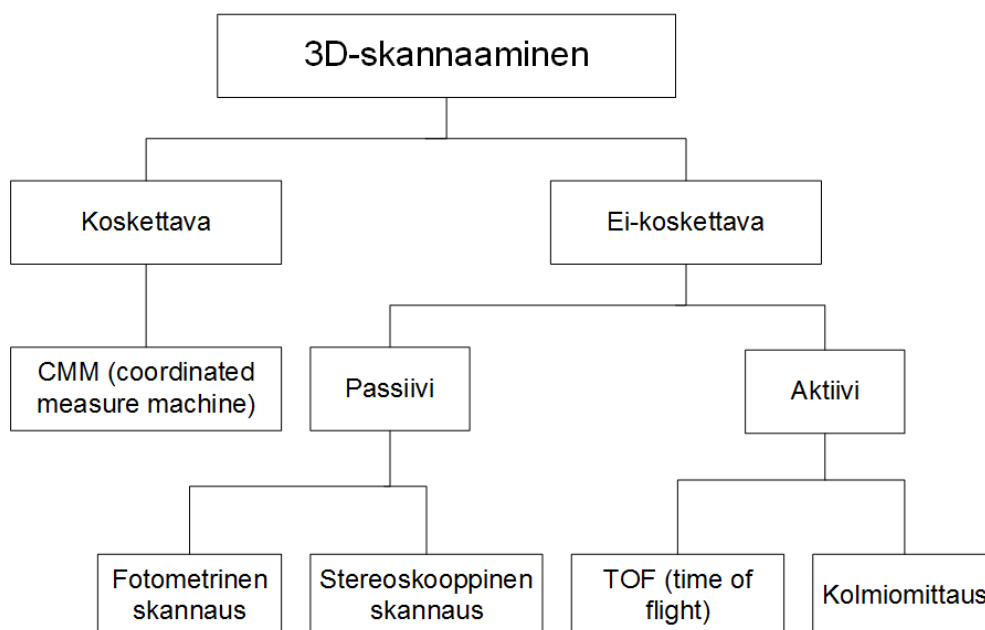
2 3D-SKANNAUS

2.1 Mitä on 3D-skannaus?

3D-skannaaminen on tekniikka, jolla muutetaan fyysinen objekti kolmiulotteiseksi tietokonemalliksi. Tämä voi tapahtua monella eri tapaa, kuten optiikkaa, lasereita tai muita menetelmiä käyttäen. 3D-skannaus on erittäin nopea ja tarkka tapa luoda 3D-malli, jolloin malli saadaan muutamissa minuuteissa siirrettyä tietokoneelle. Tällöin ei tarvitse käyttää perinteisiä CAD-ohjelmistoja 3D-mallin luomiseen. (IHS Engineering360 [Viitattu 22.3.2016].)

2.2 3D-skannaustyytit

3D-skannereita ja skannaustyyttejä on monia erilaisia. Yleisesti ottaen ne voidaan jakaa kuitenkin kahteen luokkaan: ei-koskettaviin sekä koskettaviin skannereihin. Lisäksi ei-koskettavat voidaan jakaa aktiivisiin ja passiivisiin skannereihin. (IHS Engineering360 [Viitattu 22.3.2016].)



Kuvio 1. 3D-skannaustyytit

Tässä osiossa tullaan käymään tarkemmin läpi erilaisia skannereita ja skannaustyyttejä.

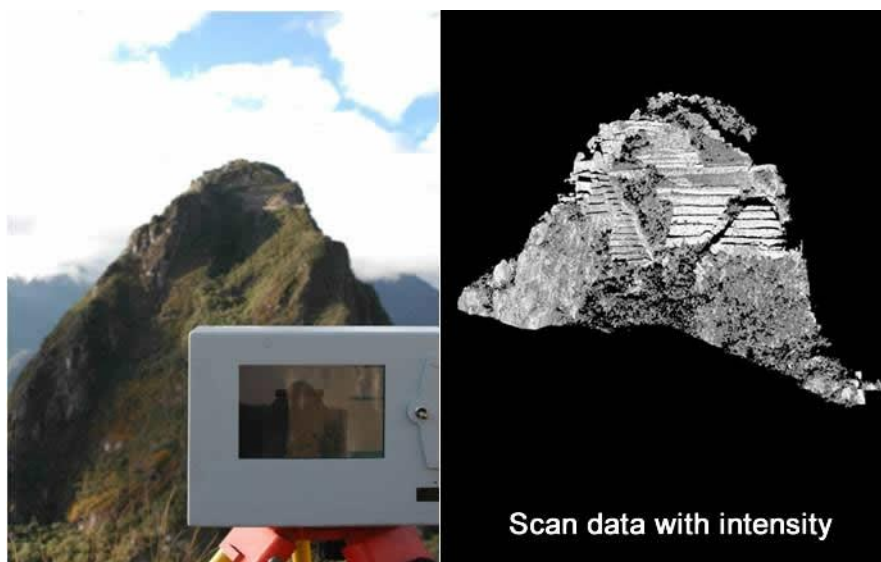
2.2.1 Ei-koskettava 3D-skannaus

Ei-koskettavassa skannaaminen on erittäin nopea 3D-skannaamisen menetelmä. Tällöin skanneri kaappaa hetkessä miljoonia pisteitä skannattavasta kappaleesta X-, Y- ja Z-koordinaatistossa. Tällä tavoin saadaan helposti ja tarkasti tietoon kappaleen koko ja muoto. Ei-koskettava skannaus voidaan jakaa kahteen luokkaan, aktiivi- ja passiiviskannereihin. (IHS Engineering360 [Viitattu 22.3.2016].)

Aktiiviskanneriksi lasketaan 3D-skanneri, joka lähettää skannattavaan kohteeseen jonkinlaista säteilyä tai valoa. Tällöin skanneri havainnoi kohteesta takaisin suuntautunutta heijastusta, minkä pohjalta 3D-mallin raakadata luodaan. Yleisimpiä aktiiviskanneri tekniikoita ovat laser-kolmiomittaus sekä TOF (time-of-flight) eli lentoaikamittaus. (IHS Engineering [Viitattu 22.3.2016].)

Laser-kolmiomittausta hyödyntävät skannerit käyttävät kappaleen skannaamiseen yksittäisiä laserpisteitä tai laserlinjaa. Skannerin sensori havainnoi kappaleeseen kohdistunutta lasersäteiden heijastusta ja laskee tämän avulla trigonometrisesti kappaleen etäisyyden. Etäisyys laserin ja sensorin väliltä pystytään määrittämään erittäin tarkasti kuten myös missä kulmassa ne ovat toisiinsa nähden. Kun laser heijastuu kappaleesta poispäin, voidaan tämän avulla laskea, missä kulmassa heijastus palaa sensorille. Tällöin selviää kappaleen ja sensorin välinen etäisyys. (3D Systems [Viitattu 5.4.2016].)

TOF eli lentoaikamittaus on tekniikka jota käytetään pitkän etäisyyden skannauksissa. Skanneri lähettää tällöin laserilla pulssin joka heijastuu skannattavasta kohteesta ja palaa skannerille. Kohteen etäisyys voidaan laskea pulssin lentoajasta, kun tiedetään valon nopeus. Parhaimmat TOF-skannerit pystyvät skannaamaan jopa yhden kilometrin päässä sijaitsevia kohteita, mutta tyypillinen toimintasäde on välillä 5 m – 300 m. Kohteen tarkkuus taas perustuu siihen, kuinka tarkasti skanneri pystyy laskemaan lentoajan. Tyypillinen tarkkuus TOF-skannereille on 4 – 10 mm välillä. (Archeology Data Service [Viitattu 5.4.2016].)



Kuvio 2. Time of Flight -skannaus (Archaeology Data Service [Viitattu 5.4.2016])

Passiiviskannerit ovat yleensä halpoja, koska ne eivät lähetä valoa, säteilyä tai muuta vastaavaa. Ne perustuvat ainoastaan ympäristön heijastaman säteilyn havainnointiin. Passiiviskannaukseen kelpaa esimerkiksi tavallinen digikamera. Tällöin voidaan käyttää joko stereoskooppista tai fotometrasta skannausmenetelmää. Stereoskooppinen skannaus toteutetaan käyttämällä kahta kameraa, jotka on suunnattu skannattavaan kohteeseen. Tällöin 3D-malli luodaan vertailemalla kahta kuvaa, ja sitä miten kaukana kohde on eri kuvissa. Fotometrisessä skannauksessa taas käytetään vain yhtä kameraa, jolla otetaan kohteesta mahdollisimman monta kuvaa erilaisilla valaistuksilla. 3D-malli muodostetaan kuvien perusteella. (IHS Engineering360 [Viitattu 22.3.2016].)

2.2.2 Koskettava 3D-skannaus

Koskettavassa 3D-skannauksessa 3D-malli luodaan koskettamalla skannattavaa kappaletta. Tätä varten koskettavassa 3D-skannerissa on anturi, joka kerää kappaleesta pisteitä koskettamalla sen pintaa. Kerättyjen pisteiden perusteella muodostetaan 3D-malli kohteesta. (IHS Engineering360 [Viitattu 22.3.2016].)

Tämän tapaisena skannerina tunnetaan mm. CMM-skannerit (Coordinate Measuring Machines). Ne määrittävät nivelvarsilla liikuteltavissa olevalla anturilla pisteitä skannattavasta kohteesta, ja tallentavat ne koordinaatistossa X-, Y- ja Z-akseleille.

Liikkuvat anturit mahdollistavat jopa nanometrien tarkkuuden. Anturin on kuitenkin oltava koko ajan kosketuksessa kohteen kanssa, jotta pisteet voidaan taltioida. CMM-skannerit voivat olla helposti mukana liikutettavia tai ne voivat olla isoja ja paikalleen asennettuja. CMM-skannereihin voidaan myös lisätä ei-koskettavaa skannaustekniikka, jolloin voidaan saada entistä tarkempaa tietoa skannattavasta kohteesta. (3DScanCo [Viitattu 7.5.2016.]

2.3 3D-skannauksen käyttökohteita

3D-skannaaminen kehittyy jatkuvasti ja sen käyttökohteetkin laajenevat koko ajan. Yleisesti teollisuudessa halutaan viedä fyysinen kappale digitaaliseen muotoon, jolloin voidaan joko toteuttaa CAD-mallin avulla toinen kappale tai parannella jo olevaa. Näin voidaan säästää huomattavasti aikaa ja käyttää aika tehokkaammin muissa toimenpiteissä. (Artec 3D 2016.)

Yksi ehkä merkittävimpiä käyttökohteita 3D-skannaukselle on lääketieteessä. Tällöin voidaan skannata tarkasti jonkin henkilön anatomia ja luoda kehon osista 3D-skannattuja malleja. Tämä auttaa esimerkiksi sairauksien hoitamisessa ja hoitotoimenpiteiden suunnittelemisessa. Lisäksi tätä voidaan hyödyntää esimerkiksi proteesien valmistuksessa. (Artec 3D 2016.)

Yksi mahdollisuus 3D-skannaukselle on skannata esimerkiksi tunnettuja artefakteja ja historiallisia esineitä. Tällöin voidaan tutkia niitä ilman että niihin tarvitsee koskea. Tällöin kappaleen 3D-malli voidaan helposti myös lähettää eteenpäin jatkotutkimuksiin eri henkilöille. (Artec 3D 2016.)

3D-skannausta voidaan hyödyntää helposti erilaisissa visualisointia vaativissa tehtävissä. Esimerkiksi ihmisiä voidaan skannata ja luoda heistä 3D-malli, jolle voidaan toteuttaa animaatio. Tämän tapainen tekniikka on käyttökelpoista ja hyödyllistä esimerkiksi elokuvien erikoistehosteena tai videopelien pelihahmoina. (Artec 3D 2016.)

Laserkeilaus on hyvä 3D-skannauksen muoto, koska sillä voidaan skannata kokonaisia alueita kerralla. Tällainen tekniikka on käytössä esimerkiksi Suomen paikkatietokeskuksella. Tällöin ympäristöä skannataan, jotta saataisiin arvokasta paikkatietoa. Skannaukset tallennetaan pistepilvinä ja käsitellään myöhemmin, jolloin

niistä tehdään ympäristöstä kertovia 3D-malleja. Näin voidaan mallintaa helposti esimerkiksi kokonaisia kaupunkeja. (MML Paikkatietokeskus FGI [Viitattu 10.4.2016].)

3 3D-TULOSTAMINEN

3.1 Mitä on 3D-tulostaminen?

3D-tulostaminen on prosessi, jossa digitaalinen 3D-malli muutetaan fyysiseksi objektiksi. Tämä tapahtuu käyttäen 3D-tulostinta, jonka tulostustekniikka valitaan käyttötarkoitukseen sopivaksi. 3D-tulostin ei kuitenkaan suoraan ymmärrä 3D-mallin tiedostomuotoa, joten se on muunnettava sille sopivaksi. Tämä tapahtuu muuttamalla 3D-malli sopivalla ohjelmalla G-koodiksi, joka syötetään 3D-tulostimelle. (Krassenstein 2015.)

G-koodi on numeerista ohjelmointikieltä, jota käytetään tietokoneavusteisessa valmistuksessa. Se on kieli, joka kertoo halutulle koneelle, kuinka liikkua tai liikuttaa jotain haluttua koneen osaa. G-koodi luodaan käyttämällä jotain ohjelmaa, esim. Slic3r tai Cura. Kun G-koodi on luotu, se voidaan lähettää 3D-tulostimelle, joka osaa tulkita kappaleen datan ja tulostaa sen. Tyypillisesti 3D-tulostimet käyttävät tätä tapaa kommunikoidessaan tietokoneen kanssa. Lisäksi G-koodia hyödyntävät mm. CNC-koneet ja laserleikkurit. (Krassenstein 2015.)

3D-tulostimet eroavat toisistaan myös liikeratojensa ansiosta. Yleisesti ottaen jokainen 3D-tulostin käyttää kappaleen luomiseen X-, Y-, ja Z-koordinaatistoa, jossa tulostimet liikuttavat haluttuja osiaan muodostaakseen kappaleen. Yleisimmät koordinaatistot ovat:

- Cartesian
- Delta
- Polar. (Campbell 2015.)

Cartesian-koordinaatistotyyppisiä on sekä vasen- että oikeakätinen, mikä määrittää mikä akseleista on pystyakseli. 3D-tulostimissa Y-akselilla kuvataan yleensä pystyakselia. Cartesian-koordinaatistossa suorakulmaisen muotoista tulostusalustaa ohjataan Y-akselilla, jolloin sitä joko nostetaan tai lasketaan sitä mukaan kun kappale tulostuu. X- ja Z-akselit taas ohjaavat tulostuspäätä. Delta-tyyppisissä X-, Y- ja Z-akselien liikkeet tapahtuvat kaikki tulostuspäässä, jolloin itse tulostusalusta pysyy

paikallaan. Polar-tyyppinen konfigurointi taas on samankaltainen kuin Cartesian, mutta tulostusalue voi olla pyöreä, jolloin myös sitä voidaan pyörittää. (Campbell, 2015.)

3.2 3D-tulostustyypit

3D-tulostamiskeinot ovat tällä hetkellä merkittävässä nousussa. Voidaankin sanoa, että parhaillaan eletään 3D-tulostamisen kulta-aikaa. 3D-tulostin ei kuitenkaan ole uusi keksintö. Ensimmäisen 3D-tulostimen kehitti Charles ”Chuck” Hull jo vuonna 1986. Hullin kehittämää tulostustekniikkaa kutsutaan nimellä stereolitografia ja nykyään Hull johtaa maailman suurinta 3D-tulostinyritystä, 3D Systemsiä. (Krassenstein 2015.)

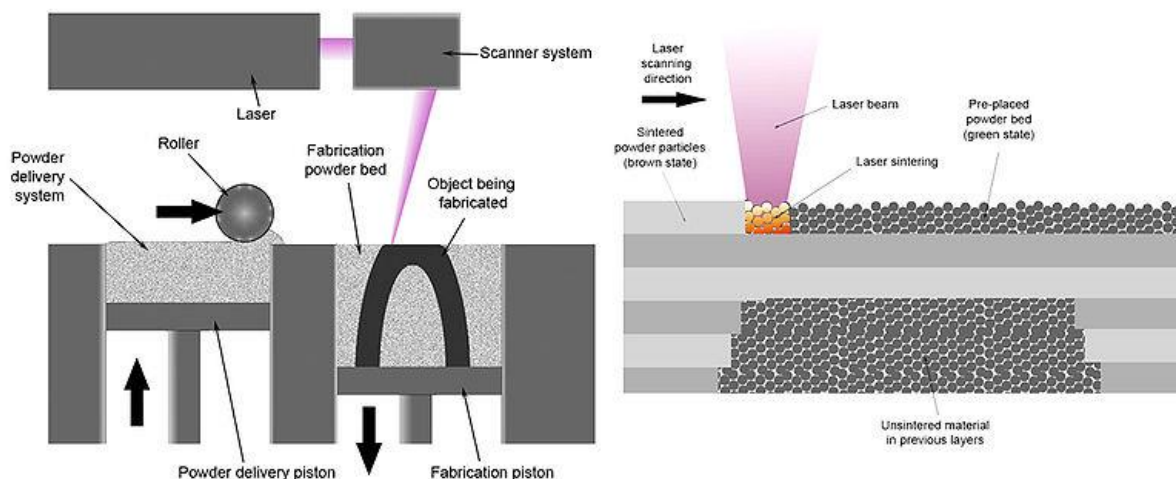
3D-tulostimia on nykyisin erimallisia, ja ne eroavat toisistaan tulostustekniikallaan. Yleisimpiä 3D-tulostustekniikoita ovat:

- SLS (Selective Laser Sintering)
- SLA (Stereolithography)
- FDM (Fused Deposition Modeling). (Hausman 2014, 24.)

Tässä osiossa esitellään tarkemmin yllämainittuja tekniikoita ja niiden käyttökohteita.

3.2.1 SLS (Selective Laser Sintering)

SLS-tekniikan kehittivät Carl Deckard ja Joe Beaman vuonna 1989 perustaen samalla yrityksen nimeltään Desk Top Manufacturing (DTM). Vuonna 2001 DTM kuitenkin myytiin maailman suurimmalle 3D-tulostusyritykselle, 3D Systemsille, joka on tunnettu stereolitografiatekniikastaan (SLA). (Palermo 2013a.)



Kuvio 3. Toimintakuva SLS (LiveScience 2013)

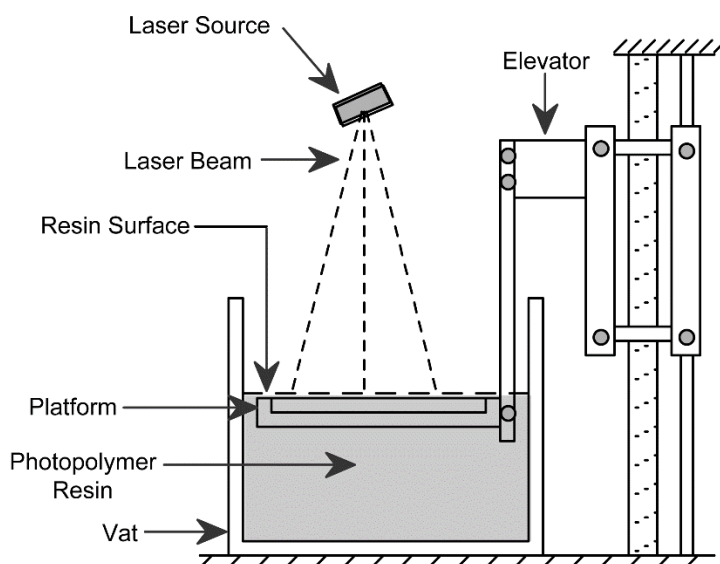
SLS eli selektiivinen lasersintraus on tekniikka, jossa kolmiulotteinen kappale muodostetaan jauhemaisesta materiaalista sulattamalla se yhtenäiseksi suuritehoisilla lasereilla. Mahdollisia materiaalivalintoja ovat muovi, keramiikka tai lasi. Myös metallia pystytään käyttämään materiaalina, jolloin tekniikkaa kutsutaan nimellä Direct Metal Laser Sintering (DMLS). (Palermo 2013a.)

SLS-tulostuksessa materiaali on asetettu koneeseen, jolloin se syöttää kerros kerrokselta jauhemaista materiaalia tulostusalustalle. Tulostusalustaan kohdistetut laserit kuumentavat materiaalin hieman yli tai alle kiehumispisteen, jolloin jauhemaiset hiukkaset sulavat yhtenäiseksi kiinteäksi kappaleeksi. Kun yksi kerros on saatu valmiiksi, pudottaa tulostin tulostusalustaansa alaspäin noin 0,1 mm tai vähemmän, jolloin tulostin syöttää uuden jauhemaisen kerroksen ja toistaa lasersintrauksen. Tätä jatketaan niin kauan, kunnes kappale on valmis. (Palermo 2013a.)

Yksi SLS-tekniikan hyvistä puolista on se, ettei tulostettaviin kappaleisiin tarvitse erikseen tulostaa ns. tukimateriaalia, joka pitää kappaleen kasassa ja tukee sitä tulostamisen ajan. Lisäksi se on hyvin käytännöllinen tekniikka, kun halutaan tulostaa korkealaatuisia kappaleita. SLS-tekniikkaa voidaankin käyttää esimerkiksi lentokoneen osien prototyypivalmistamisessa. (Palermo 2013a.)

3.2.2 SLA (Stereolithography)

SLA-tekniikkaa kutsutaan suomeksi stereolitografiaksi. Tekniikka perustuu fotopolymeeriainesten käyttämiseen, jolloin kappale kovetetaan kiinteäksi nestemäisestä seoksesta. SLA-tekniikkaa käytetään erityisesti silloin, kun on tulostettava erittäin tarkkoja kolmiulotteisia objekteja. (Hausman 2014, 25.)



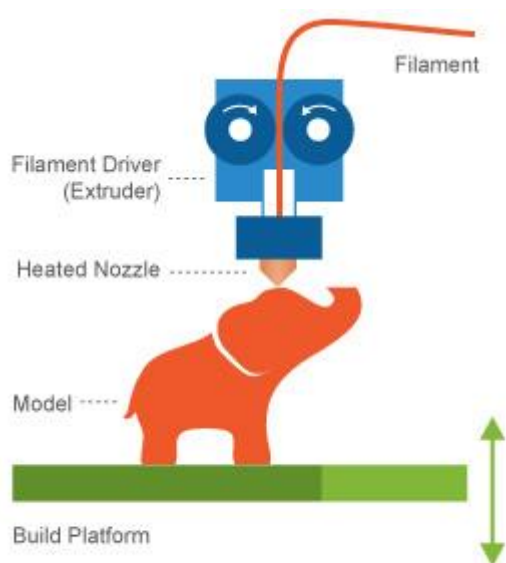
Kuvio 4. Stereolitografian toimintakuva (SolidSmack 2014)

Stereolitografiassa käytetään keskitettyä UV-valoa, joka muuttaa nestemäisen fotopolymeeriseoksen kiinteäksi osuessaan nesteen rajapintaan (kuvio 2). Prosessin edetessä tulostettava objekti muodostuu liikkuvalla alustalle, johon kovettunut muoviseos jää kiinni. Alusta laskeutuu alaspäin sitä mukaan kun muoviseosta on kovetettu kyseisessä kerroksessa halutuilta kohdilta. Usean kovetetun kerroksen jälkeen tulostettava objekti nostetaan ylös fotopolymeeriliuoksesta, jolloin jäljelle jää alustalle muodostunut kovetettu kolmiulotteinen kappale. (Hausman 2014, 25.)

Stereolitografian avulla valmistetut kappaleet ovat yleensä erittäin tarkkoja, sillä fotopolymeerit voidaan kovettaa kerroksittain jopa 0,05 – 0,15 mm tarkkuudella. (Palermo 2013b). Stereolitografian materiaalivalinnat taas puolestaan ovat hyvin rajoitettuja, sillä tekniikalla pystytään 3D-tulostamaan vain fotopolymeeripohjaisia aineita, jotka voidaan kovettaa nestemäisestä olomuodosta kiinteiksi (Hausman 2014, 26).

3.2.3 FDM (Fused Deposition Modeling)

FDM on ehkä tällä hetkellä kaikkein tunnetuin 3D-tulostamismuoto, jonka on kehittänyt Stratasys Ltd 1980-luvun lopulla. FDM-tekniikkaa hyödyntävä tulostin muodostaa kappaleen puristamalla termoplastista muovia pienen suuttimen läpi. Tulostin muodostaa kappaleen sulasta muovista kerros kerrokselta tulostusalustalle, jolloin kappale jäähtyy huoneenlämpöiseksi ja jähmettyy kovaksi. (Hausman 2014, 33.)



Fused Deposition Modeling (FDM)

Kuvio 5. Fused Deposition Modeling (Baczuk 2015)

FDM-tulostamisessa käytetään termoplastista filamenttia joka on ohuen nauhan muodossa. Nauhan paksuus vaihtelee 1,75 ja 3,0 mm:n väliltä. Tulostettavia filamentteja löytyy markkinoilta useita. Näitä ovat muun muassa PLA (Polylactic Acid), ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), Nylon sekä PVA (Polyvinyl Alcohol). (Hausman 2014, 34.)

3.3 3D-tulostamisen käyttökohteita

3D-tulostamiselle on nykyisin useita eri käyttökohteita ja lisää keksitään jatkuvasti. Ensimmäiset käyttökohteet olivat prototyyppien kehittäminen ennen lopullisen tuotteen valmistamista. Tällä tavoin voitiin säästää aikaa ja materiaalia ja testata proto-

tyypin avulla tulostettu kappale toimivaksi. Yleensä lopullinen versio tehtiinkin jostain huomattavasti kalliimmasta aineesta tai metallista. Yhtälailla 3D-tulostamalla voidaan myös toteuttaa lopullinenkin laite. (Hausman 2014, 42 – 43.)



Kuva 1. 3D-tulostettu nelikopterin propellin pidike

3D-tulostusta voi käyttää myös varaosien rakentamisessa. Tällöin, jos varaosaa ei olisi enää markkinoilla, voitaisiin uusi osa mallintaa CAD-malliksi ja tulostaa 3D-tulostimella. Näin voidaan halutessa myös parannella vanhaa osaa paremmaksi, jotta se ei heti rikkoutuisi uudelleen. Voitaisiin jopa ajatella, että varaosamyymälät voisivat tulevaisuudessa tulostaa digitaalisesta varaosakirjastosta asiakkaan haluaman osan. Tällöin itse varaosaa ei tarvitsisi fyysisesti varastoida, vaan se voitaisiin tulostaa tarvittaessa. (Hausman 2014, 45 – 46.)

Ehkä yksi merkittävimmistä käyttökohteista 3D-tulostamisessa on lääketiede. Tällöin voitaisiin tulostaa esimerkiksi lääketieteellisiä implanteja, jotka voivat koostua organisista materiaaleista. Näin voitaisiin korvata ihmisen eri osia 3D-tulostetuilla osilla. Korvattavia osia voisivat olla luut ja jopa sisäelimet. Lisäksi ihmisille voitaisiin tulostaa erilaisia proteeseja, mikäli häneltä kokonaan puuttuu esimerkiksi käsi tai jalka. (Hausman 2014, 54 – 55.)

3D-tulostamalla voidaan tulostaa myös joustavia materiaaleja, mikä taas antaa uudenlaisen näkökulman käyttökohteisiin. Tekstiilejä tai vaatteita voidaan 3D-tulostaa. Tällöin halutun henkilön vartalo skannataan, ja skannausten perusteella voidaan tulostaa hänelle täsmälleen sopivat vaatteet. (Hausman 2014, 56 – 57.)

Suuremmalla mittakaavalla 3D-tulostaminen voi jossain tilanteessa olla korvaamaton ja ainoa mahdollinen tekniikan muoto, jota voidaan hyödyntää. Esimerkiksi armeijat ovat ottaneet käyttöön liikuteltavissa olevan 3D-tulostusjärjestelmän. Tällöin voidaan tulostaa varaosia varusteisiin tai itse varuste tarvitulla hetkellä sotilasleirissä. 3D-tulostaminen voi olla myös hyödyllistä sukellusvenekäytössä, jolloin tarvittua kappaletta ei tarvitse nousta pintaan hankkimaan, vaan se voitaisiin tulostaa veden alla sukellusveneessä. Tämän takia myös NASA on kiinnostunut 3D-tulostustekniikasta, jolloin miehitetyt avaruusasemat voisivat 3D-tulostaa tarvittavat kappaleet. (Hausman 2014, 58 – 59.)

4 LAITTEET JA OHJELMISTOT

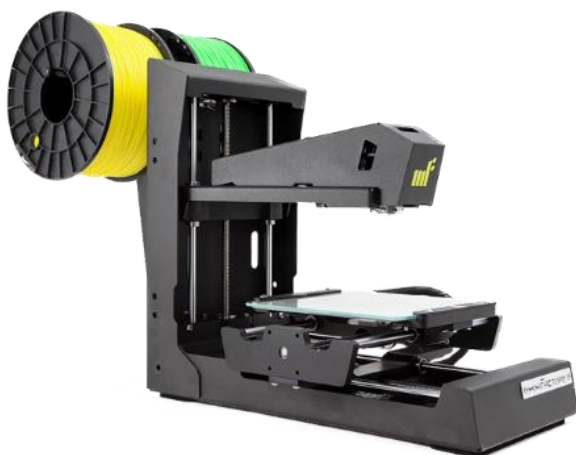
4.1 Laitteet

Tässä osiossa esitellään työssä käytettävät laitteet ja niiden toimiperiaatteet. Tarkoituksena oli kokeilla kahta eri laitetta 3D-mallin skannaamiseen ja skannattu malli tulostaa 3D-tulostimella. Skannaamisen osalta laitteiksi valikoitui 3D-skanneri BQ Ciclop sekä Microsoftin Kinect -sensori. Tulostamisessa käytetään miniFactory Oy:n suunnittelemaa miniFactory 3 -tulostinta.

4.1.1 miniFactory 3 -3D-tulostin

miniFactory 3 on FDM-tekniikkaan pohjautuva 3D-tulostin. Se on Suomessa valmistettu ja siksi myös yleisessä koulutuskäytössä monessa eri oppilaitoksessa. Kahden suuttimen ansiosta sillä voidaan tulostaa kahta eri filamenttia, jolloin toinen voi olla erivärinen tai toimia tukimateriaalina itse tulostukselle. (miniFactory 2016.)

Tulostin tukee STL-tiedostomuotoa, joka syötetään G-koodina Repetier-Host-ohjelmalla. Tulostusalue on suuruudeltaan maksimissaan 150 mm x 150 mm x 150 mm. Lisäksi tulostusalue voidaan lämmitellä. Suutin liikkuu Y-akselin mukaisesti ylöspäin tulostaessa, ja tulostusalue liikkuu X- ja Z-akselien mukaisesti. Akseleita ohjataan askelmoottoreilla, jotka on kytketty trapetsitankoihin. (miniFactory 2016.)



Kuva 2. miniFactory 3 -3D-tulostin (miniFactory 2016)

4.1.2 BQ Ciclop -3D-skanneri

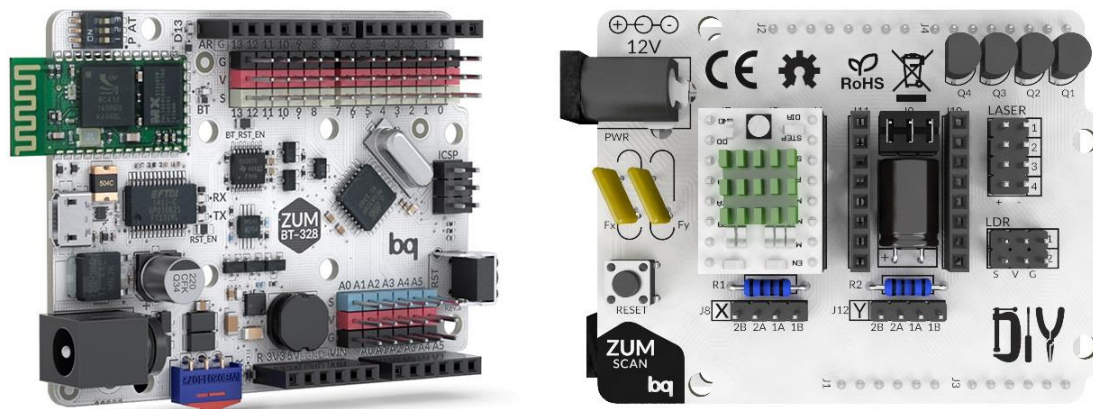
BQ Ciclop on BQ-yhtiön valmistama tee-se-itse 3D-skanneri. Se perustuu avoimen lähdekoodin ja avoimen laitteiston tuotteisiin, jolloin kaikki informaatio laitteesta on julkista ja saatavana suurelle yhteisölle. Sen tarkoitus on edistää 3D-skannaamisen oppimista ja ymmärtämistä, sekä mahdollistaa itse skannerin muokkaamista, parantelua ja kehittämistä. (Arroyo 2015a.)



Kuva 3. BQ Ciclop -3D-skanneri (DIWO 2015)

BQ Ciclop käyttää 3D-skannaamiseen laser-kolmiomittausta (laser triangulation). Laitteen runko on koottu 3D-tulostetuista osista, joiden 3D-mallit ovat vapaasti jaettavissa. Skannausalusta on pyörivä ja päällystetty luistamattomalla pinnalla. Alustassa on 110 mm:n kuulalaakerit, ja pyöritys toteutetaan Nema 17 -askelmoottorilla. (Arroyo 2015a.)

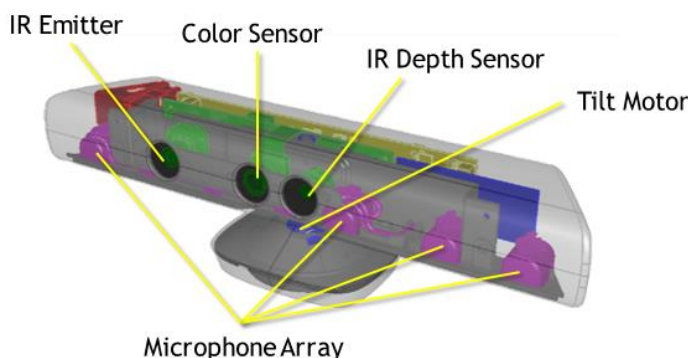
Laitteen sensorit koostuvat keskellä olevasta Logitechin C270 HD -web-kamerasta ja kahdesta sivulla olevasta class 1 -lasermoduulista. Lasermoduulit on kytketty laitteen rungossa olevaan piirilevyyn ZUM BT-328. ZUM BT-328 on Arduino-pohjainen kehitysalusta, joka ohjaa skannausalustan moottoria, sekä molempia lasereita. Piirilevyn päälle on kiinnitetty lisäpiiri ZUM SCAN Shield, jossa on liitännät moottorille, neljälle laserille ja kahdelle fotoresistorille (LDR). (Arroyo 2015a.)



Kuva 4. ZUM BT-328 ja ZUM Scan Shield (DIWO 2015)

4.1.3 Microsoft Kinect

Microsoftin Kinect-sensori on Xbox 360 -pelikonsolille suunnattu liikeohjain. Se koostuu useasta sensorista, joilla voidaan taltioida erilaisia ympäristön tietoja. Keskellä laitetta on RGB-kamera, joka kerää kolmikanavaista dataa resoluutiolla 1280x960. Tämä tekee mahdolliseksi saada värillistä kuvaa. Kinectissä on myös infrapunalähetin sekä infrapunasävyssensori. Infrapunalähetin lähettää infrapunasäteilyä ympäristöön, jolloin infrapunasävyssensori havaitsee takaisin heijastuneet infrapunasäteet ympäristöstä. Tällöin saadaan ympäristössä olevien kohteiden etäisyys selville ja voidaan kerätä kolmiulotteista dataa. Kinectissä on myös neljä mikrofonia äänen havaitsemista ja tallentamista varten. Useamman mikrofoniin ansiosta on mahdollista nauhoittaa ääntä siten, että tiedetään mistä suunnasta ääni tulee. Lisäksi Kinectissä on kolmiakselinen kiihtyvyyssanturi. (Microsoft Developer Network 2016.)



Kuvio 6. Microsoft Kinect -sensorit (Microsoft Developer Network 2016)

4.2 Ohjelmistot

Tässä osiossa esitellään ohjelmistot, joita tarvitaan kommunikointiin tietokoneen ja laitteiden välillä. Lisäksi esitellään ohjelmaa, jolla käsitellään skannattua kappaletta ennen siirtymistä 3D-tulostusvaiheeseen.

4.2.1 Repetier-Host

Repetier-Host on 3D-tulostimien kanssa kommunikoiva ohjelma. Se toimii lähestulkoon kaikkien FDM-tekniikkaa hyödyntävien tulostimien kanssa. Ohjelmassa on tuki useammalle suuttimelle, jolloin voidaan tulostaa samanaikaisesti useampaa filamenttia. Ohjelmalle syötetään haluttu DTL-muotoinen 3D-malli, jolloin se voidaan muuttaa Slicer-toiminnolla G-koodiksi. Ohjelma sisältää kolme erilaista Slicer-toimintoa, jotka ovat Slic3r, CuraEngine ja Skeinforge. Lisäksi ohjelmalla pystytään muokkaamaan itse kappaleen kokoa, asentoa ja sitä miten se tulostetaan. (Repetier [Viitattu 9.4.2016].)

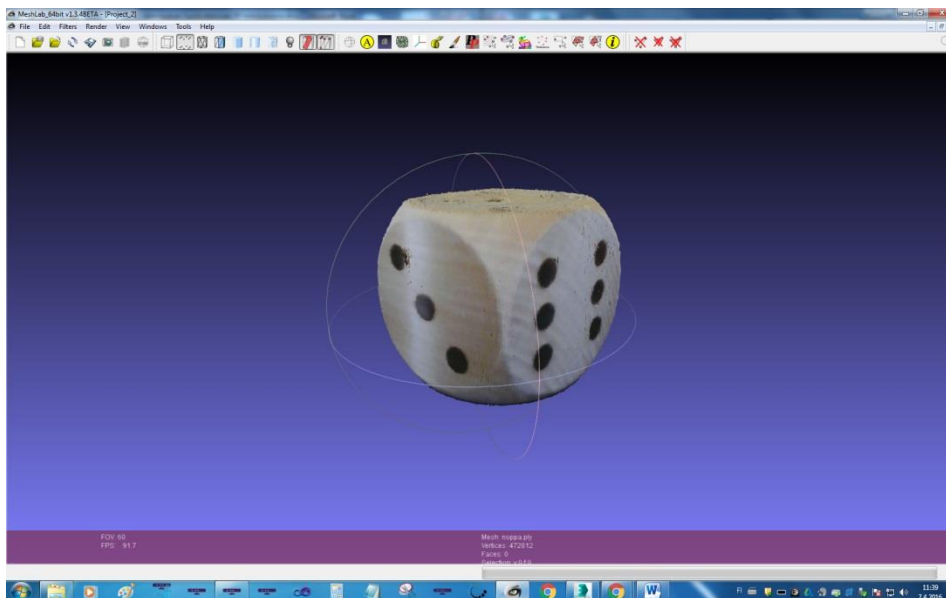
4.2.2 Horus

Horus on monialustainen ohjelma, joka on suunniteltu avoimen lähdekoodin 3D-skannereiden käyttöön. Se koostuu graafisesta käyttöliittymästä, johon on liitetty yhteyshallinta, kuvan prosessointi, datan kaappaaminen ja kalibroinnin hallinta. Se on kehitetty ja optimoitu Linuxin Ubuntu-käyttöjärjestelmälle. Horus on kuitenkin testattu toimivaksi myös Windows- ja Mac-käyttöjärjestelmissä. Horus on koodattu Python-ohjelmointikielellä ja se on avoimen lähdekoodin ohjelma. Lähdekoodi on julkaistu GitHub-sivustolla GBL v2 -lisenssin alla. (Arroyo 2015b.)

4.2.3 MeshLab

MeshLab on avoimen lähdekoodin ohjelma, joka on suunniteltu kolmiulotteisen raakadatan prosessointiin ja editoimiseen. Ohjelma on suunnattu 3D-skannaamiseen,

jolloin se tarjoaa kattavan valikoiman työkaluja 3D-mallien editointiin, puhdistamiseen, parantamiseen, renderointiin sekä muuttamiseen erilaisista raakadatoista, kuten pistepilvistä, valmiiksi malliksi. Ohjelma on saatavilla Windows-, Linux- sekä MacOSX-alustoille. Ohjelmasta on kehitetty myös mobiilialustaversiot iOS- ja Android-käyttöjärjestelmille. (MeshLab [Viitattu 1.4.2016].)



Kuva 5. Pistepilvi nopasta MeshLab-ohjelmassa

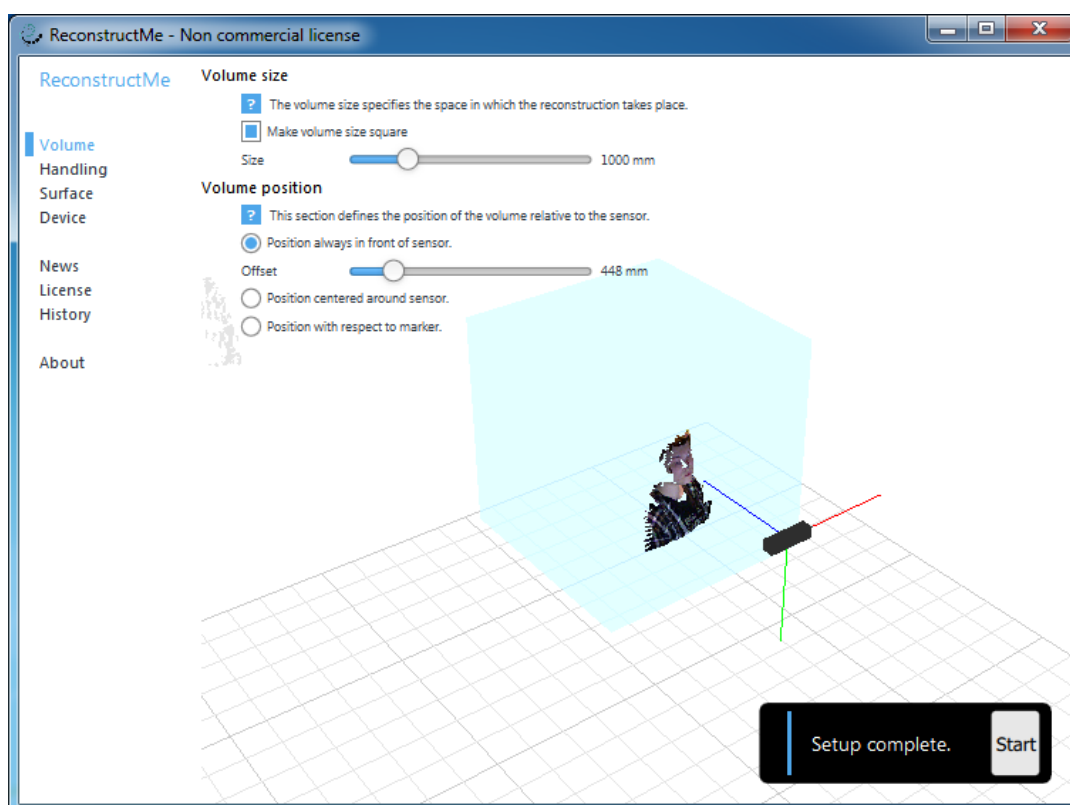
Ohjelman rakenne painottuu paljolti VCG-kirjastoon (Visualization and Computer Graphics), joka on Visual Computing Labin kehittämä. MeshLab-ohjelma kehitettiin vuonna 2005 Pisan yliopistossa Italiassa, ja sen kehitys oli osa kolmiulotteisen grafiikan kattavaa kurssia. Kurssin jälkeen Pisan opiskelijat päättivät jatkaa ohjelman kehitystä, jotta siihen saataisiin yhä enemmän toimintoja. (MeshLab [Viitattu 1.4.2016].)

4.2.4 ReconstructMe

ReconstructMe on ohjelma, jolla voidaan luoda reaaliaikaisesti 3D-malli. Ohjelman kanssa tarvitaan vain havainnoiva sensori, kuten Microsoftin Kinect, jolla voidaan taltioida kolmiulotteista dataa. Skannaaminen ohjelmalla tapahtuu siten, että havainnoivaa sensoria liikutetaan kappaleen ympäri, jolloin sensori havainnoi kolmiulotteisesti ympäristöä. Kerätystä datasta ohjelma muodostaa reaaliaikaisesti 3D-

mallin. Ohjelmalla voidaan skannata myös pitämällä sensori paikalla, jolloin skannattavaa kohdetta pyöritetään esimerkiksi pyörivällä alustalla. (ReconstructMe [Viitattu 1.4.2016].)

ReconstructMe on tarkoitettu ihmisen kasvojen skannauksesta kokonaisuun huoneisiin. Ohjelma skannaa myös tekstuurit, jolloin malliin saa halutessa myös ympäristöstä kerätyn värin. Skannattu 3D-malli voidaan tallentaa pistepilveksi, tai suoraan CAD-formaattiin valmiiksi malliksi, kuten STL. (ReconstructMe [Viitattu 1.4.2016].)



Kuva 6. ReconstructMe-ohjelma

5 TESTIKAPPALEIDEN SKANNAUS JA TULOSTAMINEN

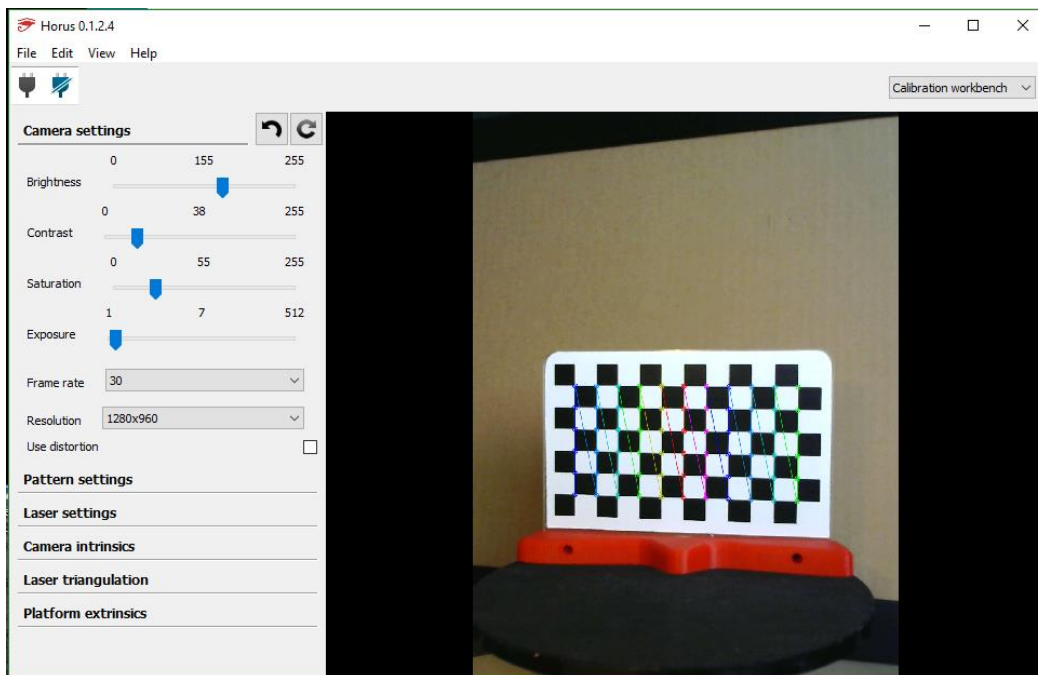
5.1 BQ Ciclop -skannaaminen

Skannaus toteutettiin erilaisilla kappaleilla, jolloin skannaustulokset olisivat mahdollisimman monipuolisia. Skanneri loi pistepilven kohteista ja sen jälkeen ne käsiteltiin MeshLab-ohjelmalla, jolloin kappaleista saatiin umpinaisia 3D-malleja. Käsitteilyn jälkeen kappaleet olivat valmiita tulostettavaksi.

5.1.1 Laitteen kalibrointi

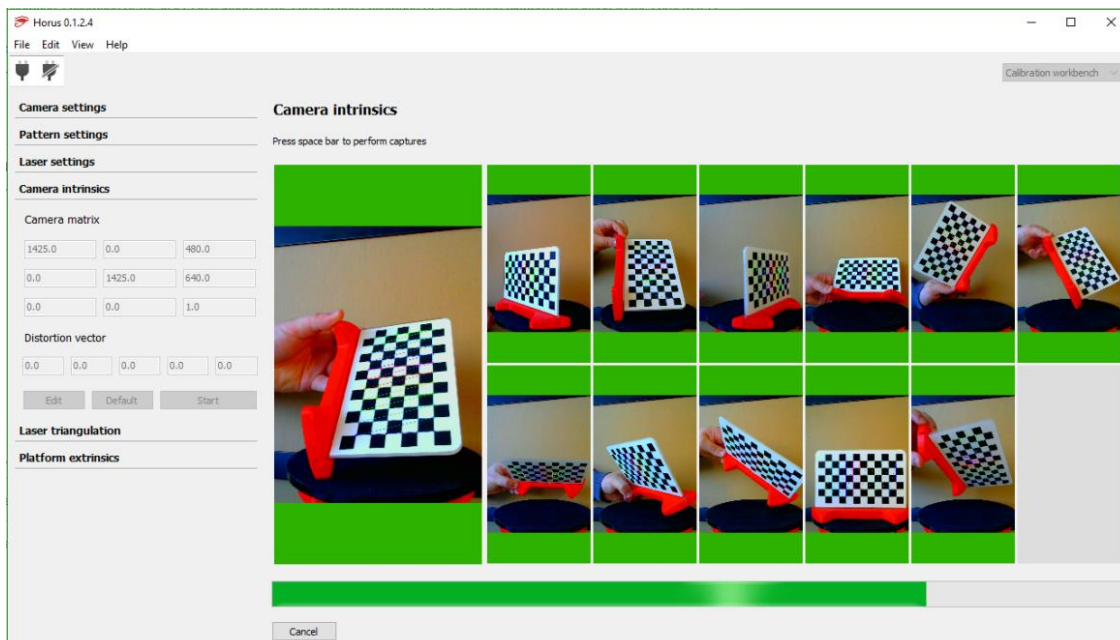
BQ Ciclop voidaan kalibroida Horus-ohjelmalla kahdella tapaa. Ensimmäinen vaihtoehto on ajaa heti ohjelman käynnistyessä automaattinen kalibrointiavustaja. Tällöin käyttäjälle jää tehtäväksi ainoastaan asettaa kalibrointilevy skannausalustalle oikeaan asentoon, ja aloittaa kalibroinnin ajo. Toinen vaihtoehto on kalibroida laite käyttämällä Horuksen edistynyttä kalibrointia, jolle on ohjelmassa oma välilehtensä. Valittaessa tämä vaihtoehto aukeaa erilaisia asetuksia, joilla voidaan kalibroida erikseen haluttuja osia tai toimintoja.

Kalibrointi päätettiin toteuttaa käyttämällä edistynyttä kalibrointia. Tällöin skannauksen lopputulokseen voitiin vaikuttaa huomattavasti paremmin räätälöidyllä säädöillä. Kalibrointi aloitettiin kameran väritasapainon säätämällä oikeiksi (kuva 7), jotta kappaleesta heijastuva lasersäde saataisiin selkeästi taltioitua kameralla. Lisäksi valittiin samassa kohdassa, kuinka monta kuvaa kamera ottaa sekunnissa (Frame rate) sekä millä resoluutiolla skannaus tehdään. Nämä arvot vaikuttavat skannauksen laatuun huomattavasti.



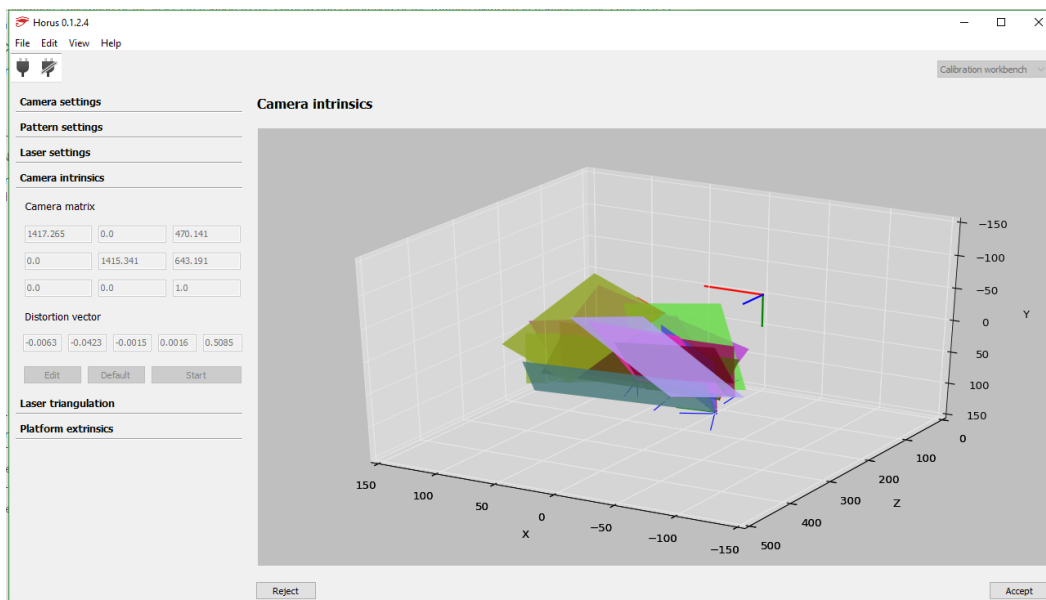
Kuva 7. Väritasapainon säätäminen

Kun väritasapainot oli saatu aseteltua oikein, kalibroitiin itse kamera (kuva 8). Tämä tapahtui siten, että kameralla otetaan monta kuvaa kalibroitilevystä eri kuvakulmista. Kamera tunnistaa missä asennossa levy on ja missä asennossa kalibrointi-ruudut ovat.



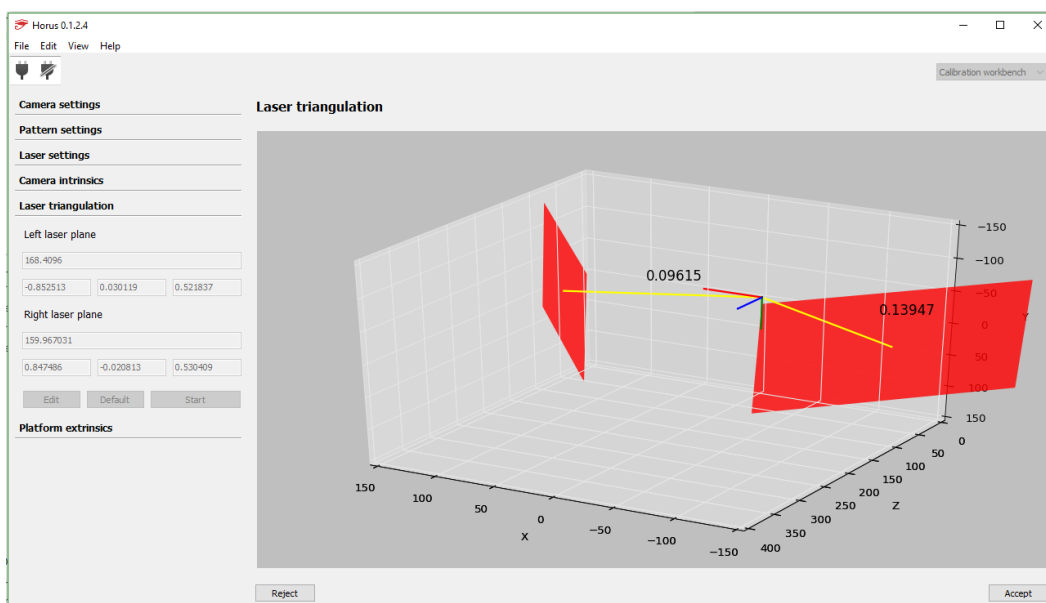
Kuva 8. Kameran kalibroiminen

Kun kamera on kalibroitu, saadaan yhteenvedo suoritetusta kalibroinnista (kuva 9), josta selviää eri kuvakulmat ja etäisyydet. Tämän pitäisi auttaa itse skannausta, jolloin kamera ymmärtää paremmin, kuinka kaukana kappaleet ovat, ja mistä kulmasta heijastukset tulevat.



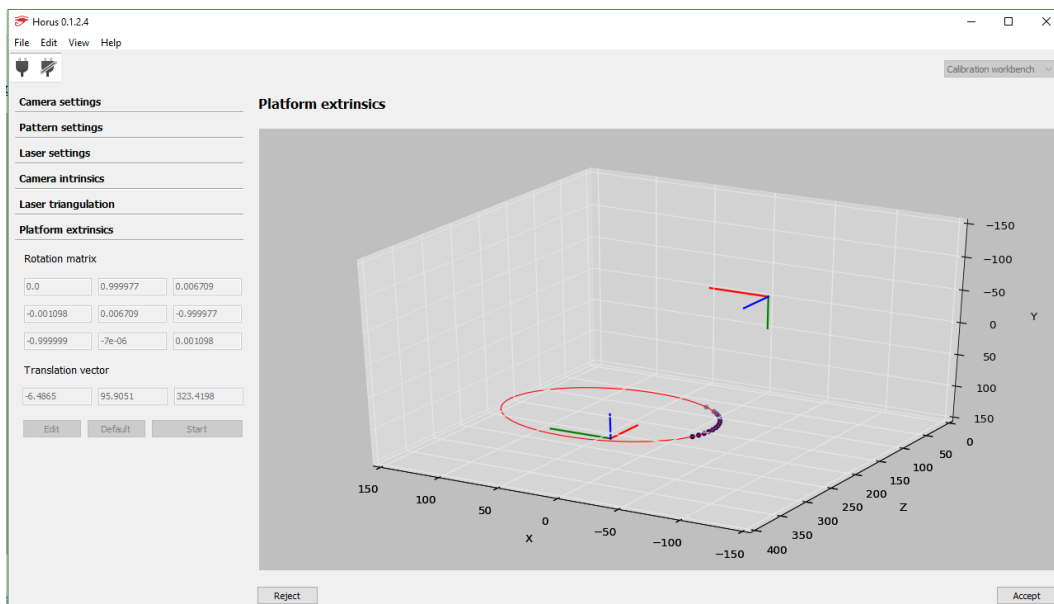
Kuva 9. Kameran kalibroinnin tulos

Seuraavaksi kalibroidaan laitteen laserit. Kalibrointi tehdään kalibrointialustaa käyttäen, jolloin lasersäteet heijastetaan kalibrointialustaa kohti. Tällöin saadaan selville laserien ja kameran keskeiset etäisyydet (kuva 10). Näin onnistutaan saamaan tarkempaa tietoa skannatessa.



Kuva 10. Laserien kalibrointi

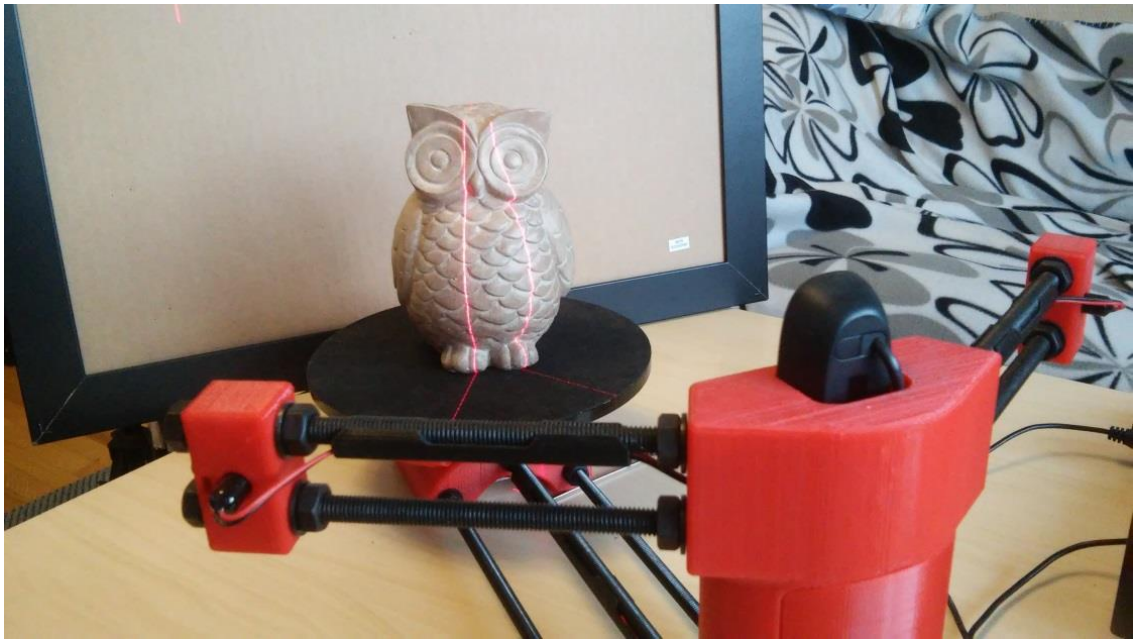
Viimeisenä kalibroidaan vielä laitteen pyörivä aluslevy, jolle haluttu skannattu kappale asetetaan. Tässäkin kalibroinnissa käytettiin kalibrointialustaa, joka pyöri alustalla kierroksen, ja määritteli alustan pyörimisen.



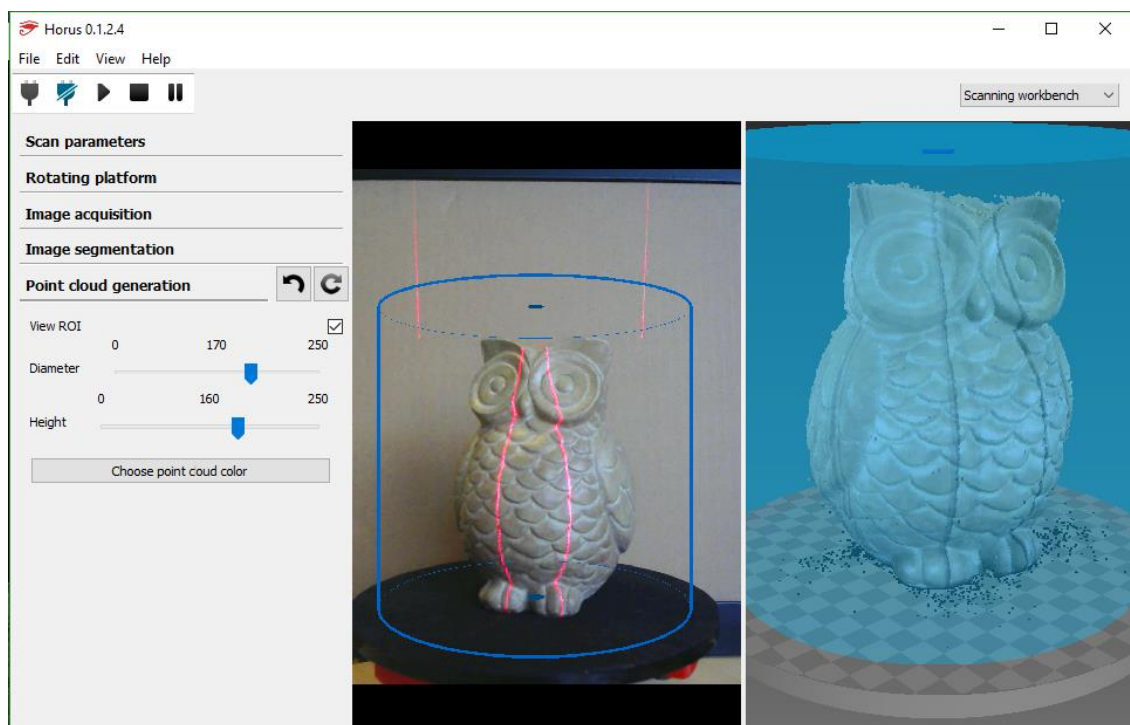
Kuva 11. Alustan kalibrointi

5.1.2 Kappaleen skannaaminen

Kun kalibrointi on suoritettu, voidaan aloittaa itse skannaaminen. Haluttu kohde asetetaan keskelle skannausalustaa, jolloin molemmat laserit osoittavat sitä kohti (kuva 12). Skannausalue määritellään korkeus- ja leveysuunnasta kappaleelle sopivaksi, jolloin voidaan ehkäistä ylimääräisten virheiden skannausta. Kun skannaus on suoritettu (kuva 13), tallennetaan skannattu pistepilvi odottamaan jatkokäsittelyä.



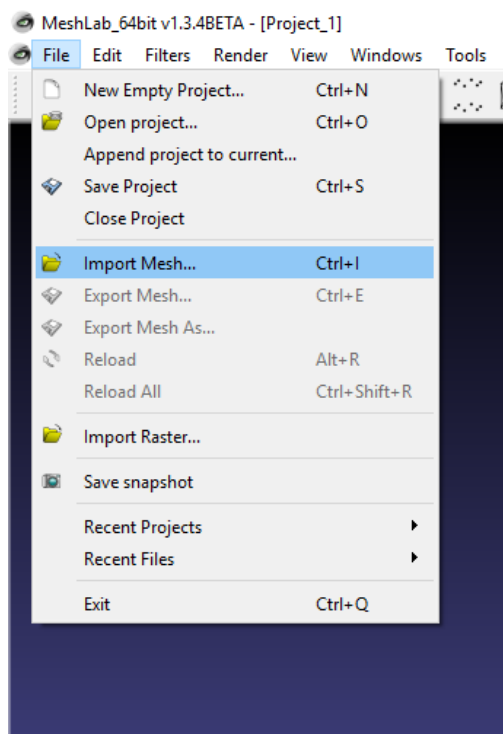
Kuva 12. Esineen skannaaminen



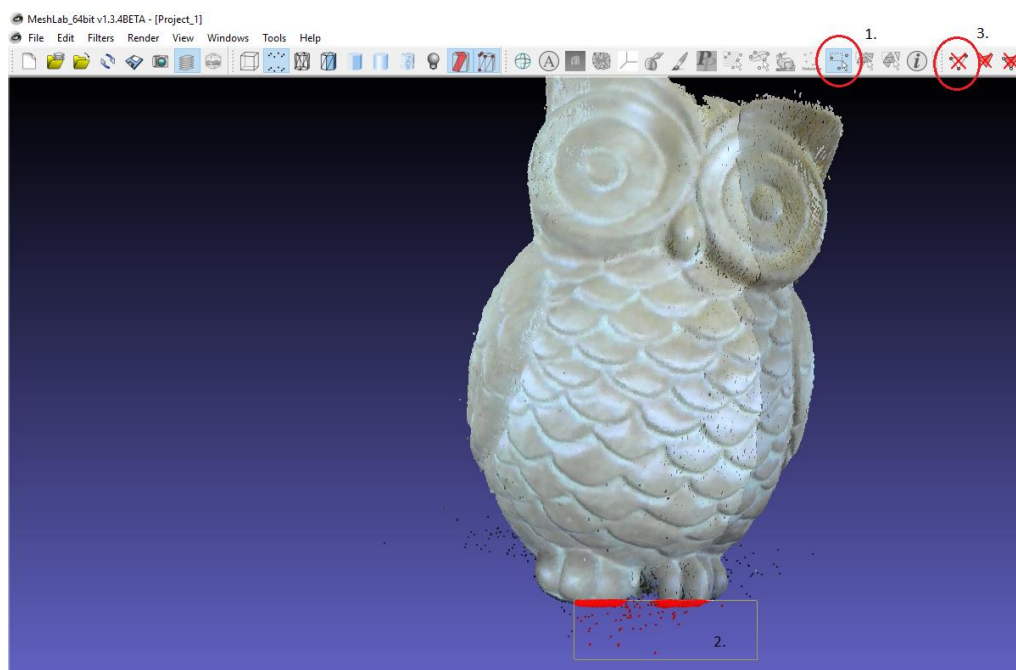
Kuva 13. Valmis skannaus

5.1.3 Skannauksen käsitteleminen

Skannatut pistepilvet käsitellään kiinteiksi malleiksi MeshLab-ohjelmalla. Kärittely aloitetaan tuomalla ohjelmaan skannattu PLY-tiedostomuotoinen pistepilvi (kuva 14).



Kuva 14. Pistepilven tuominen MesLab-ohjelmaan



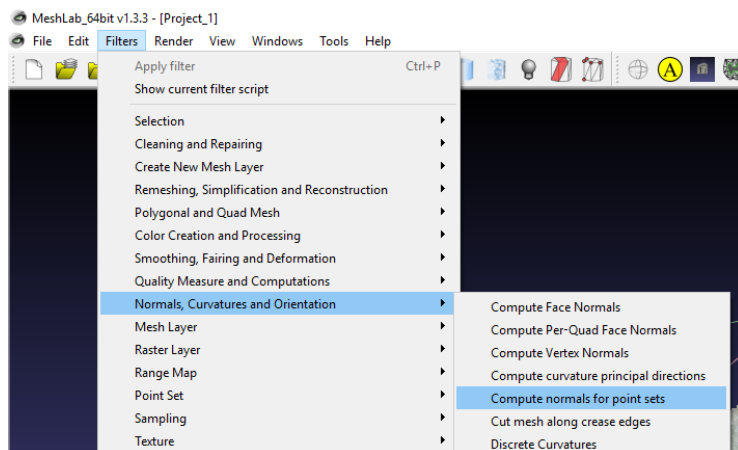
Kuva 15. Pistepilven siivoaminen

Ensimmäinen vaihe on pistepilven siivoaminen. Jokaisessa skannauksessa tulee pakostakin joitakin ylimääräisiä pisteitä. Nämä siivotaan pois, jotta ne eivät häiritsisi lopullisen kappaleen muodostumista.

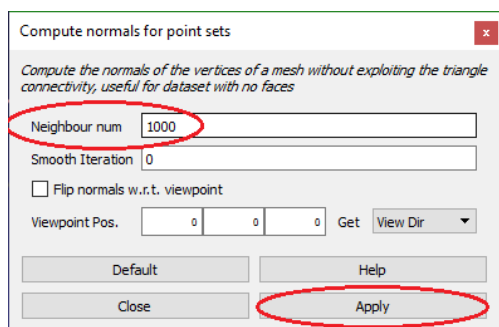
Pistepilven puhdistaminen tapahtuu seuraavasti (kuva 15):

1. Valitaan ohjelman yläreunasta "Select Vertexes".
2. Valitaan siivottavat pisteet.
3. Poistetaan valitut pisteet yläreunan poistotyökalulla.

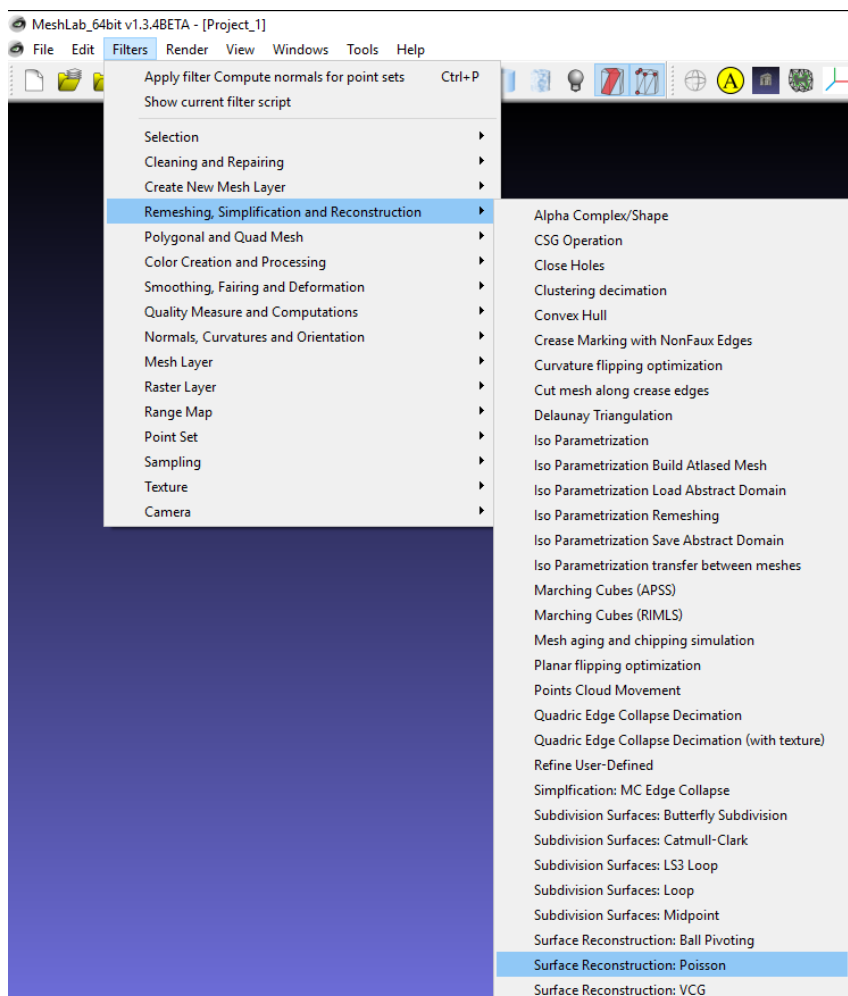
Kun pistepilvi on siivottu ylimääräisistä pisteistä, normalisoidaan jäljelle jääneet pisteet. Tämä määrittää pisteille vakiopaikat, jolloin pystytään luomaan pistepilvi eheäksi 3D-malliksi. Tämä toteutetaan valitsemalla filttereistä vaihtoehto "Compute normals for point sets" (kuva 16). Useampien kokeilujen tuloksena huomattiin, että paras normalisointi pisteille saavutettiin, kun "Neighbour num" -kohtaan asetettiin arvoksi 1000 (kuva 17). Arvo viittaa siihen, kuinka monta "naapuripistettä" jokaiselle pisteelle pyritään muodostamaan, ja näitä pisteitä käytetään apuna mallin luonnissa.



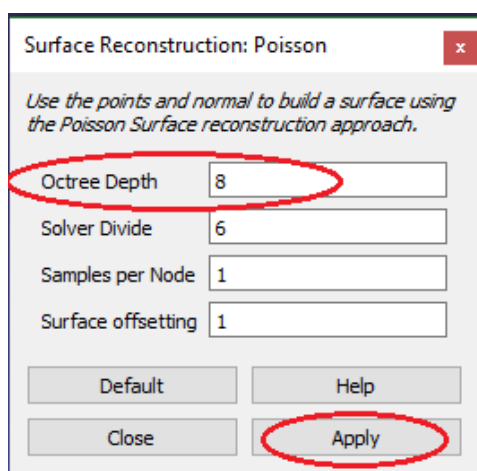
Kuva 16. Pisteiden normalisointi 1



Kuva 17. Pisteiden normalisointi 2



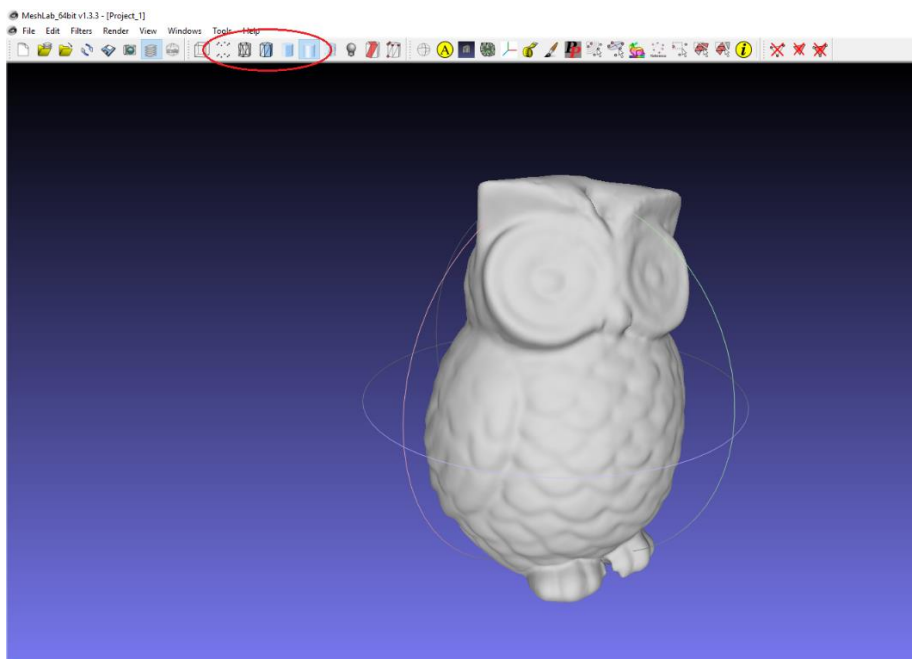
Kuva 18. Pinnan rekonstruktio 1



Kuva 19. Pinnan rekonstruktio 2

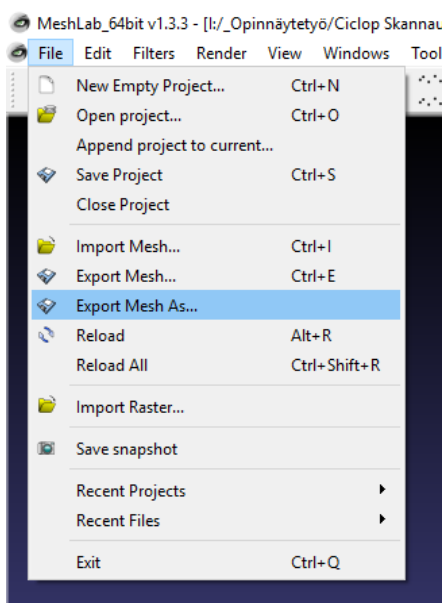
Kun pistepilvi on normalisoitu, se rekonstruoidaan eli saatetaan kiinteään 3D-mallin muotoon. Tähän käytettiin filletteriä "Surface reconstruction: Poisson" (kuva 18). Oikeanlaiset arvot löytyivät useiden kokeilujen jälkeen, jolloin muutettiin vain "Octree Depth" -kohdan arvo kahdeksaksi (kuva 19). Tämä arvo vaikuttaa huomattavasti

lopullisen mallin pinnan laatuun. Mitä suurempi arvo, sitä kauemmin rekonstruointi kestää, mutta sitä tarkempi on myös pinta.

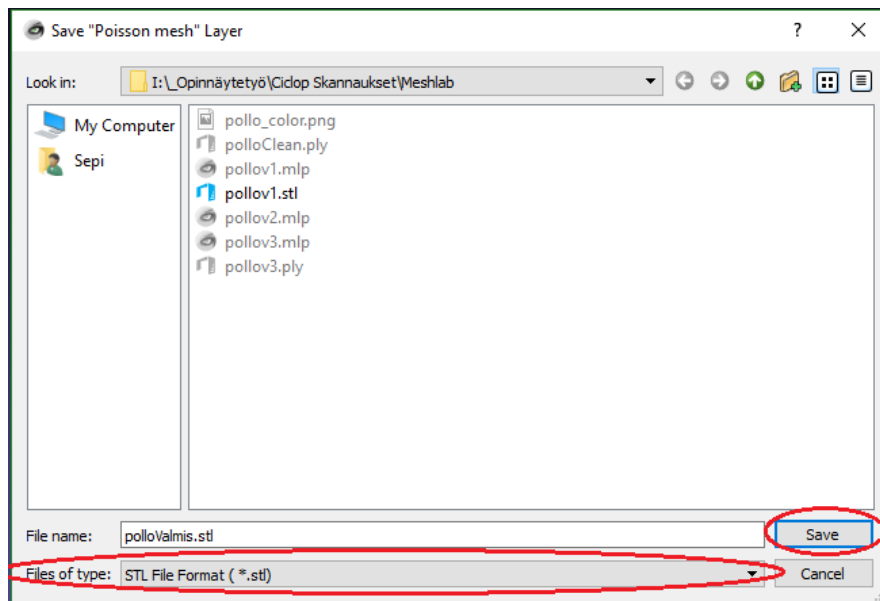


Kuva 20. Mallin esikatselu

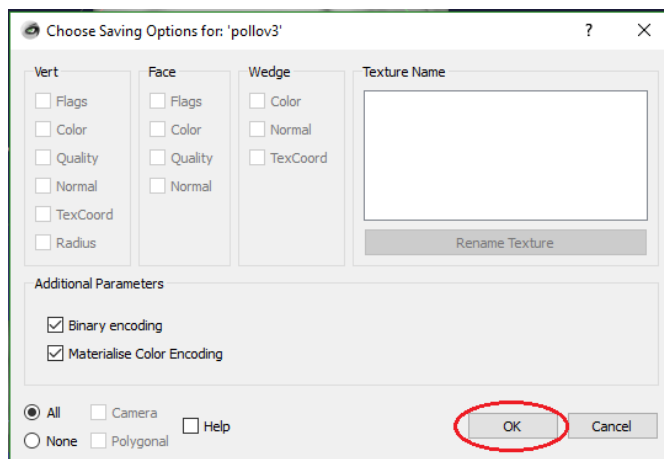
Filttereiden ajon jälkeen saadaan valmis yhtenäinen kappale, jota voidaan tarkkailla erilaisissa 3D-mallin tiloissa valitsemalla haluttu näkymä (kuva 20). Mikäli ollaan tyytyväisiä lopputulokseen, voidaan kappale viedä 3D-mallina STL-tiedostomuotoon (kuvat 21, 22, 23). Tämän jälkeen 3D-malli on valmis, ja sitä voi tarkastella myös muilla ohjelmilla (kuva 24).



Kuva 21. 3D-malliksi vienti 1



Kuva 22. 3D-malliksi vienti 2



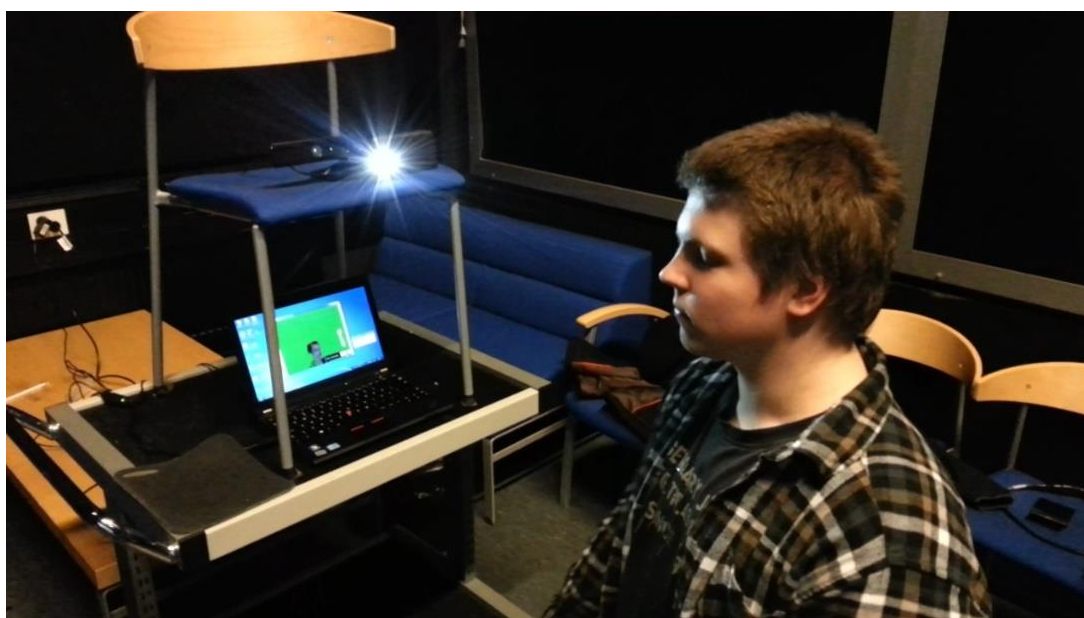
Kuva 23. 3D-malliksi vienti 3



Kuva 24. Valmis 3D-malli

5.2 Microsoft Kinect -skannaaminen

Kinectillä kokeiltiin ihmisen pään skannaamista. Kinect kytkettiin kannettavaan tietokoneeseen, jossa oli asennettuna ReconstructMe sekä Kinectin ajurit. ReconstructMe-ohjelmassa käytettiin asetusta "Selfie 3D", jolloin itse Kinect pidettiin paikalla, mutta skannattava kohde pyörähtää ympäri 360°. Skannaus alkoi muutama sekunnin kuluttua "Start" painikkeen painamisen jälkeen. Skannaus onnistuikin helposti käyttämällä pyörivää selkänojatonta tuolia, jolloin saatiin helposti pää skannattua jokaiselta sivulta (kuva 25). Valmis skannaus voitiin tallentaa joko pistepilvenä tai viedä suoraan STL-tiedostomuotoon. Tässä tapauksessa kappale vietiin suoraan STL-tiedostomuotoon.



Kuva 25. Pään skannaaminen Kinectillä

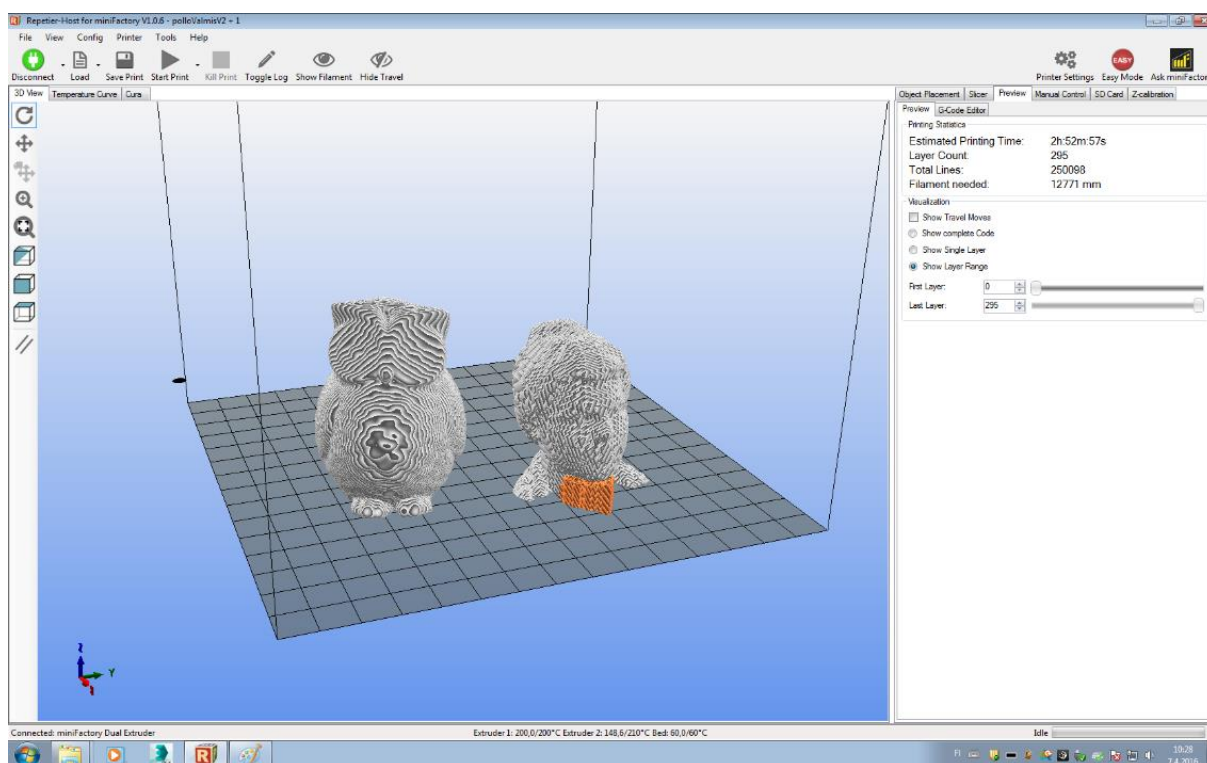
5.3 3D-tulostus

Kun kappaleet on skannattu ja esikäsitelty valmiiksi 3D-malleiksi, ne voidaan 3D-tulostaa. 3D-tulostusvaiheeseen päätyi kolme skannattua objektia: pöllöfiguuri, noppa sekä skannattu pää. Kaikki kappaleet tulostettiin huomattavasti pienemässä koossa alkuperäiseen nähden, jotta säästettäisiin materiaalia ja aikaa. Keskimääräinen tulostusaika yhdelle kappaleelle oli noin yksi tunti.

5.3.1 3D-mallien muuntaminen G-koodiksi

Jotta 3D-mallit voitaisiin tulostaa, ne täytyy muuttaa ensin G-koodiksi. Ensimmäiseksi kappaleet tuodaan Repetier-Host-ohjelmaan. Ohjelmassa voidaan asettaa kappaleet halutuille paikoille tulostusalustassa sekä muuttaa niiden kokoa. Kun kappaleet on muutettu halutun kokoisiksi, muunnetaan kappaleet G-koodiksi CuraEnginellä. CuraEngine-ohjelmaa on hyvä käyttää tulostuksessa siksi, että sillä saadaan toinen suutin myös käyttöön. Tällöin tulostuksessa voidaan käyttää erillistä tukimateriaalia (PVA).

G-koodiksi muuttamisen jälkeen voidaan tarkastella, miten kappaleet tulostuvat kerros kerrokselta. Lisäksi saadaan tiedot siitä, kuinka kauan tulostus arvioidusti kestää ja paljonko materiaalia kuluu tulostukseen.

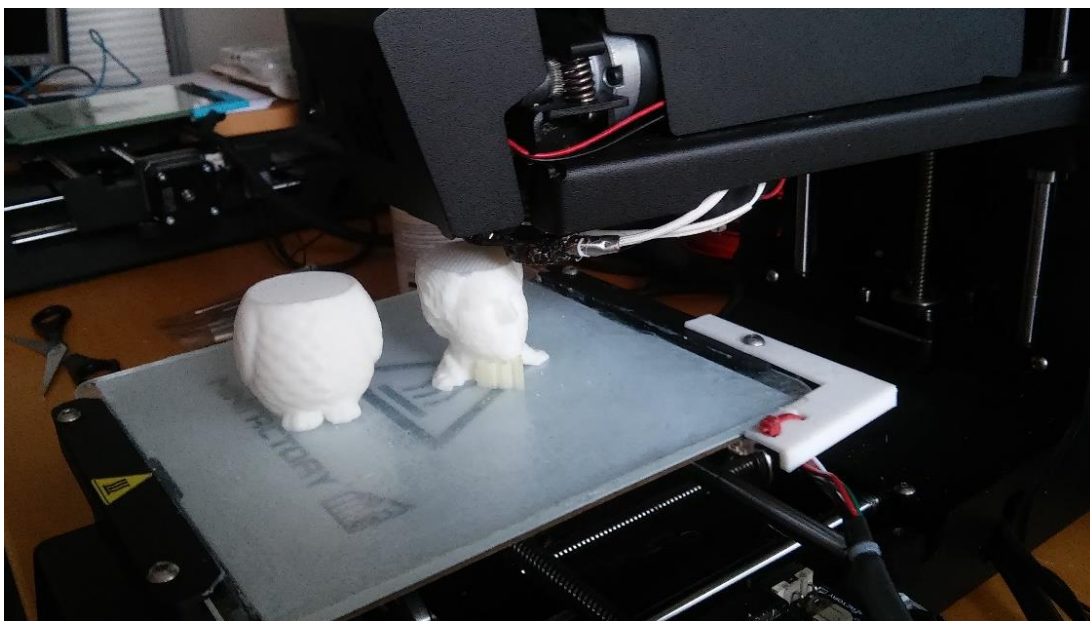


Kuva 26. 3D-mallit muutettuna G-koodiksi

5.3.2 3D-mallin tulostaminen

Kun kappaleet on muutettu G-koodiksi, voidaan aloittaa itse tulostaminen. Tulostus aloitetaan painamalla "Start Print" -painiketta Repetier-Host-ohjelmassa. Tämän jälkeen tulostimen suuttimet laskeutuvat tulostusalustan tasolle ja tulostusalusta sekä suuttimet aloittavat itsensä lämmittämisen. Ensimmäisen suuttimen lämpötila on asetettu 200 °C:een ja sen tulostusmateriaalina toimii PLA. Toisen suuttimen lämpötila on 210 °C ja sen tulostusmateriaalina toimii tukimateriaalina käytetty PVA. Tulostusalustan lämpötila on 60 °C.

Kun suuttimet ja tulostusalusta ovat kuumentuneet tarpeeksi, 3D-tulostaminen aloitetaan. Tulostuksen päätyttyä annetaan kappaleiden jäähtyä vielä noin 10 minuuttia, jonka jälkeen ne voidaan irrottaa alustasta.



Kuva 27. 3D-mallien tulostaminen

6 TULOKSET

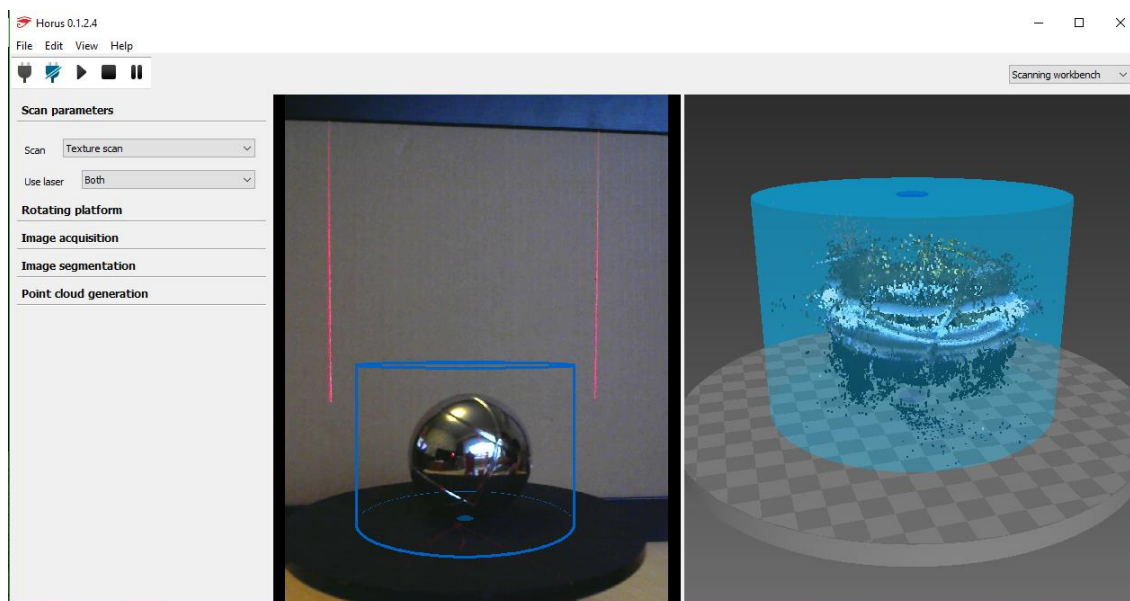
Skannaaminen ja tulostaminen onnistuivat molemmat hyvin. Skannauksen yhteydessä huomattiin myös laitteissa rajoitteita tilanteista, joihin ne eivät pystyneet. Näistä seuraavaksi hieman lisää.



Kuva 28. Valmiit kappaleet

6.1 3D-skannauksen tuloksia

3D-skannaaminen onnistui 3D-skanneria käyttäen tietynlaisilla kappaleilla erittäin hyvin. Tällaiset kappaleet olivat materiaaliltaan savea tai puuta, jolloin laser heijastui kappaleesta hyvin takaisin. Myös kappaleiden väri vaikutti jossain määrin skannauksen laatuun ja siihen, miten lasersäde heijastui kappaleiden pinnasta. Liian tummat kappaleet, etenkin mustat, eivät antaneet riittävää heijastusta takaisin, jolloin niiden pistepilvi saattoi jäädä vajavaiseksi. Ongelmia saattoi tulla myös, mikäli skannattava kappale heijasti liikaa siihen suunnattua laseria. Tällöin pistepilvi muodostui kaikista heijastuksista ja saattoi muodostaa pirstoutuneen pistepilven (kuva 29). Myös valaistus saattoi vaikuttaa huomattavasti heijastuksen muodostumiseen. Tällöin ennen skannausta oli tarkistettava, että valaistus on riittävä eikä myöskään liian voimakas.



Kuva 29. Pirstaleinen pistepilvi

Huomattavin havainto tehtiin kuitenkin vasta itse skannausvaiheen jälkeen. Skannerilla saatiin kutakuinkin kappaleen näköinen pistepilvi aikaan, mutta suurin vaikutus olikin jatkokäsittelyllä pistepilven muokkausvaiheessa. Pistepilvelle tehtävillä toimilla on siis käytännössä enemmän merkitystä, kuin skannatun pistepilven muodostuksella. Vaikka jokin kohta jäisi muodostamatta pistepilveä skannatessa, voidaan tämäkin paikata oikealla käsittelyllä MeshLab-ohjelmaa käyttäen.

Kinectillä puolestaan skannaukset onnistuivat lähestulkoon vaivatta. ReconstructMe-ohjelma loi hyvinkin samanlaisen 3D-mallin kuin skannattu pää. Myös tätä skannausta olisi voitu käsitellä MeshLab-ohjelmalla, mikäli skannaus olisi viety pistepilveksi PLY-tiedostomuotoon. ReconstructMe osaa täyttää skannatun 3D-mallin "reiät" eli se interpoloi ne osat kappaleesta, joita se ei pysty skannaamaan. Tällöin jatkotoimenpiteitä ei tarvinnut suorittaa.

Yleisesti ottaen skannaukset onnistuivat hyvin ja tulostusvaiheessa käytetyt 3D-mallit näyttävät kutakuinkin alkuperäisiltä, vaikka ne ovatkin pienempiä. Haluttuja tuloksia kuitenkin saatiin ja työssä päästiin tavoiteltuun lopputulokseen.

6.2 3D-skannauksen ja 3D-tulostamisen käytön yhdistäminen

Työn aikana kerättyjen tietojen, taitojen sekä tulosten perusteella voidaan todeta, että 3D-skannaaminen ja 3D-tulostaminen ovat tekniikoita, jotka kannattaa yhdistää. Tällöin voidaan saada entistä nopeammin skannattu kohde 3D-tulostettavaksi kuin perinteisellä CAD-mallinnuksella.

Eryteisesti kyseisissä tekniikoissa kiinnostaa, mihin niitä voidaan yhdistää. Lääketiede tarjoaa huomattavia käyttökohteita, jolloin voitaisiin skannata jokin ruumiin osa ja tulostaa se uudelleen. Tätä voisi hyödyntää esimerkiksi sisäelimiä tai proteesien tuotannossa. Voitaisiin myös skannata esimerkiksi ihmisten jalanpohjia ja tulostaa jokaiselle henkilökohtaiset kengän pohjalliset, jotka tukevat jalkaa astuessa.

Teollisuudessa voitaisiin skannata esimerkiksi jokin rikki mennyt osa ja tulostaa uusi varaosa. Lisäksi osaa voisi ennen tulostamista parannella, mikäli se saattaisi rikkoutua uudelleen.

Arkkitehtuurissa voitaisiin hyödyntää tekniikoita siten, että skannattaisiin talon ulkoseinät ja sisähuoneet. Skannauksista voitaisiin muodostaa valmis 3D-malli, jota voitaisiin esitellä esimerkiksi asiakkaille tai rakennusmiehille, jotka voisivat suunnitella talolle esimerkiksi kunnostusta tai entisöintiä.

Myös vaateteollisuudessa voisi olla skannaukselle ja tulostamiselle käyttöä. Skannaamalla ihmisen ruumiinrakenne voitaisiin tulostaa joustavia vaatteita, jotka olisivat skannatun ihmisen ruumiinrakenteelle täydellisiä. Tällöin vaatteista tulisi persoonallisia ja täydellisen sopivia.

Mahdollisuuksia tekniikalle on käytännössä rajattomasti ja varmasti tulevaisuudessa 3D-skannaamisen ja 3D-tulostamisen yhteiskäyttö nousee huomattavasti.

7 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää, miten ja kuinka 3D-skannausta ja 3D-tulostusta voidaan hyödyntää yhdessä. Työssä esiteltiin pääpiirteittäin erilaisia 3D-tulostustekniikoita ja esiteltiin niiden hyödyntämistä käytännössä eri käyttökohteissa. Lisäksi tutustuttiin myös erilaisiin 3D-skannaustekniikoihin ja niiden hyödyntämiseen käytännössä.

Työssä tutustuttiin myös 3D-skanneriin sekä 3D-tulostimeen. Microsoft Kinect -sensorin käyttämistä 3D-skannerina kokeiltiin. Tutustuttiin myös useaan eri ohjelmaan, jota käytettiin joko 3D-skannaamisen yhteydessä, 3D-tulostamisen yhteydessä tai 3D-mallin käsittelyn yhteydessä.

Itse työosiossa skannattiin erilaisia kappaleita, jolloin havainnoitiin, mitä skannaaminen vaati ja millaisia kappaleita pystyttiin skannaamaan. Skannatut kappaleet käsiteltiin MeshLab-ohjelmalla, jolloin niistä saatiin 3D-tulostamiskelpoisia. 3D-tulostaminen onnistui ongelmitta, ja tulostetut kappaleet olivat alkuperäisten näköisiä.

Tuloksien pohjalta pohdittiin, mihin kaikkeen nämä kaksi tekniikkaa pystyvät yhdessä ja missä niitä voitaisiin hyödyntää. Työ avasi uusia näkökulmia 3D-tulostustekniikalle sekä 3D-skannaustekniikoille.

LÄHTEET

- Krassenstein, B. 2015. What is 3D Printing & How Do 3D printers Work? – A Guide. [www-lähde]. 3dprint.com. [Viitattu 24.2.2016]. Saatavissa: <http://3dprint.com/82272/what-3d-printing-works/>
- LiveScience. 2013. Selective laser sintering system. [www-lähde]. LiveScience. [Viitattu 25.2.2016]. Saatavissa: <http://www.livescience.com/38862-selective-laser-sintering.html>
- Hausman, K. 2014. 3D Printing For Dummies. [Verkkokirja]. Hoboken: John Wiley & Sons, Incorporated. [Viitattu 7.3.2016]. Saatavana Ebrary-tietokannasta. Vaatii käyttöoikeuden.
- SolidSmack. 2014. The stereolithography process in a 2D breakdown. [www-lähde]. SolidSmack. [Viitattu 17.3.2016]. Saatavissa: <http://www.solid-smack.com/fabrication/stereolithography-110-micron-old-world-laboratories-nano-3d-printer/>
- Palermo, E. 2013a. What is Selective Laser Sintering?. [www-lähde]. LiveScience. [Viitattu 17.3.2016]. Saatavissa: <http://www.livescience.com/38862-selective-laser-sintering.html>
- Palermo, E. 2013b. What is Stereolithography?. [www-lähde]. LiveScience. [Viitattu 17.3.2016]. Saatavissa: <http://www.livescience.com/38190-stereolithography.html>
- Arroyo, J. 2015a. Presentation: Ciclop and Horus. [www-lähde]. DIWO. [Viitattu 20.3.2016]. Saatavissa: <http://diwo.bq.com/en/presentation-ciclop-horus/>
- Arroyo, J. 2015b. Horus released under GPL license. [www-lähde]. DIWO. [Viitattu 20.3.2015]. Saatavissa: <http://diwo.bq.com/en/horus-released/>
- DIWO. 2015. BQ Ciclop. [www-lähde]. DIWO. [Viitattu 20.3.2016]. Saatavissa: <http://diwo.bq.com/en/presentation-ciclop-horus/>
- IHS Engineering360. Ei päiväystä. 3D Scanners Information. [www-lähde]. IHS Engineering360. [Viitattu 22.3.2016]. Saatavissa: http://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/inspection_tools_instruments/3d_scanners
- miniFactory. 2016. miniFactory 3 3D-tulostin. [www-lähde]. miniFactory Oy Ltd. [Viitattu 28.3.2016]. Saatavissa: <http://www.minifactory.fi/3d-tulostin/minifactory-3/>

- MeshLab. Ei päiväystä. [www-lähde]. MeshLab. [Viitattu 1.4.2016]. Saatavissa: <http://meshlab.sourceforge.net/>
- ReconstructMe. Ei päiväystä. [www-lähde]. ReconstructMe. [Viitattu 1.4.2016]. Saatavissa: <http://reconstructme.net/reconstructme-ui/>
- Campbell, C. 2015. Cartesian, Delta, and Polar: The Most Common 3D Printers. [www-lähde]. Make Media. [Viitattu 4.4.2016]. Saatavissa: <http://makezine.com/2015/03/10/cartesian-delta-polar-common-3d-printers/>
- Baczuk, J. 2015. Fused Deposition Modeling (FDM). LinkedIn. [www-lähde]. [Viitattu 5.4.2016]. Saatavissa: <https://www.linkedin.com/pulse/why-3d-printers-arent-every-home-jordan-baczuk>
- 3D Systems. Ei päiväystä. 3D Scanners. [www-lähde]. 3D Systems. [Viitattu 5.4.2016]. Saatavissa: <http://www.rapidform.com/3d-scanners/>
- Archaeology Data Service. Ei päiväystä. Section 1.Introduction to the Laser Scanning Guide. [www-lähde]. Archaeology Data Service. [Viitattu 5.4.2016]. Saatavissa: http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/LaserScan_1-2
- 3DScanCo. Ei päiväystä. 3D Scanning Technical Information. [www-lähde]. 3DScanCo. [Viitattu 7.5.2016]. Saatavissa: <http://www.3dscanco.com/about/3d-scanning/index.cfm>
- Microsoft Developer Network. 2016. Kinect for Windows Sensor Components and Specifications. [www-lähde]. Microsoft. [Viitattu 9.4.2016]. Saatavissa: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx>
- Repetier. Ei päiväystä. [www-lähde]. Repetier. [Viitattu 9.4.2016]. Saatavissa: <http://www.repetier.com/>
- Artec 3D. 2016. Applications. [www-lähde]. Artec Europe. [Viitattu 10.4.2016]. Saatavissa: <https://www.artec3d.com/applications>
- MML Paikkatietokeskus FGI. Ei päiväystä. Ympäristön 3D-mallinnus. [www-lähde]. Maanmittauslaitos. [Viitattu 10.4.2016]. Saatavissa: <http://www.fgi.fi/fgi/fi/teemat/ymp%C3%A4rist%C3%B6n-3d-mallinnus>