



# 3D-SKANNAUKSEN SOVELTUVUUS YRITYKSEN LIIKETOIMINTAAN

Joni Koivunen

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2019

Konetekniikka  
Tuotekehitys

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikka  
Tuotekehitys

KOIVUNEN, JONI:  
3D-skannauksen soveltuvuus yrityksen liiketoimintaan

Opinnäytetyö 66 sivua  
Toukokuu 2019

---

Opinnäytetyö oli Etteplanin sisäinen tutkimus 3D-skannauksesta ja sen mahdollisuuksista yrityksen liiketoiminnassa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, sopiiko 3D-skannaus insinööritoimiston palvelumalliin ja voiko 3D-skannausta käyttää päivittäisen cad-työskentelyn ohella yrityksessä.

Työssä kartoitettiin 3D-skannereita sekä ohjelmistoja. Ohjelmistoja ja 3D-skannereita vertailtiin eri tekijöiden perusteella ja lopuksi pääteltiin, mikä skannereista ja ohjelmistoista sopii parhaiten yrityksen käyttöön. Lisäksi työhön kuului testausta. GOM:in Atos Core 200 3D-skanneria käyttöä seurattiin Espoossa Scan to print projektin yhteydessä sekä Creaform HandySCAN 700 3D-skanneria päästiin käyttämään Tampereen Ammattikorkeakoululla. Parhaaksi 3D-skanneriksi valikoitui Creaform HandySCAN 700 ja parhaaksi ohjelmistoksi VXelements. Testeissä huomattiin, että lopputulokseen voivat vaikuttaa olosuhteet, kokemattomuus sekä skannattavan kappaleen pinta eli onko kyseessä musta tai kiiltävä kappale. Hyviä 3D-skannattavia kohteita ovat pyörähdyssymetriset kappaleet, hammasrattaat ja 2D-kappaleet.

Tuloksena saatiin selville, että 3D-skannaus sopii insinööritoimiston palvelumalliin tietyin rajoituksin. Useimmilla 3D-skannereilla ei päästä koneistustarkkuuksiin ja verkotetusta mallista natiivin CAD-mallin muodostaminen on aikaa vievää työtä. 3D-skannauksessa on liiketoiminnallisia mahdollisuuksia erityisesti käänteiseen suunnitteluun.

---

Asiasanat: 3d-skannaus, laser-kolmiomittaus, strukturoitu valo, handy scan 700

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Mechanical Engineering  
Product Development

KOIVUNEN JONI:  
Compatibility of 3D Scanning to the Company's business

Bachelor's thesis 66 pages  
May 2019

---

The thesis was Etteplan in-house study of 3D scanning and its potential in the company's business. The purpose of the thesis was to find out whether 3D scanning is suitable for the engineering office service model and whether 3D scanning can be used in addition to daily CAD work in the company.

In bachelor thesis 3D scanners and software were studied. Software and 3D scanners were compared based on various factors and finally decided what was best for the company use. In addition, the work included testing. The use of GOM Atos Core 200 3D scanner was followed in Espoo in the Scan to print project and Creafom HandySCAN 700 3D Scanner was used at Tampere University of Applied Sciences. Creafom HandySCAN 700 was chosen as the best 3D scanner and VXelements as the best software. In the tests noticed that the result may be affected by conditions, inexperience, and the surface of the part being 3D scanned, i.e. whether it is a black or a shiny piece. Rotational symmetry parts, gears and 2D parts are good for 3D scanning.

As a result, it was discovered that 3D scanning fits into the engineering service model with certain limitations. With most of 3D scanners it is not possible to reach for machining precision and it sometimes takes long time to convert scanned part to the CAD model. 3D scanning has economic potential especially for reverse engineering.

---

Key words: 3d scanning, laser triangulation, structured light, handy scan 700

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	ETTEPLAN OYJ .....	7
3	YLEISTÄ 3D-SKANNAUKSESTA.....	8
	3.1 3D-skannauksen historia.....	8
	3.2 3D-skannausprosessi.....	9
4	3D-SKANNAUKSEN TEORIAA .....	11
	4.1 3D-skannaustekniikat.....	11
	4.2 3D-skannereiden mallit .....	13
	4.2.1 Mittausvarret, AACMM skannerit.....	13
	4.2.2 Strukturoituun valoon perustuvat skannerit .....	14
	4.2.3 Jäljittämiseen perustuvat skannerit.....	15
	4.2.4 Kädessä pidettävät skannerit .....	16
5	3D-SKANNEREIDEN KARTOITUS .....	17
	5.1 Vaatimukset ja rajoitukset 3D-skannerille .....	17
	5.2 3D-skannereiden vertailu .....	18
6	OHJELMISTOJEN KARTOITUS.....	20
	6.1 Artec Studio 13.....	20
	6.1.1 Yleistä.....	20
	6.1.2 Arvio .....	23
	6.2 3DReshaper.....	24
	6.2.1 Yleistä.....	24
	6.2.2 Mallin muuttaminen STEP/IGES-formaattiin.....	25
	6.2.3 Arvio .....	28
	6.3 VXelements.....	29
	6.3.1 Yleistä.....	30
	6.3.2 Mallin muuttaminen CAD-formaattiin .....	30
	6.3.3 Arvio .....	35
	6.4 Geomagic Design X.....	35
	6.4.1 Yleistä.....	35
	6.4.2 Mallin muuttaminen CAD-formaattiin .....	36
	6.4.3 Arvio .....	40
	6.5 Cyborg3D MeshToCAD .....	40
	6.5.1 Yleistä.....	40
	6.5.2 Mallin muuttaminen STEP/IGES-formaattiin.....	40
	6.5.3 Arvio .....	44
	6.6 Lopputulos .....	44

7	TESTIKAPPALEIDEN SKANNAUSMENETELMÄT .....	46
7.1	Skannattavat kappaleet.....	46
7.2	Käytettävät skannerit.....	49
8	SKANNAUSTEN SUORITUS .....	51
8.1	Scan to print projekti .....	51
8.2	Skannausprojekti Tampereen Ammattikorkeakoululla .....	53
9	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU .....	56
9.1	Scan to print projekti .....	56
9.2	Skannausprojekti Tampereen Ammattikorkeakoululla .....	57
10	KAPPALEEN SKANNAUKSESTA 3D-TULOSTUKSEEN.....	61
11	YHTEENVETO .....	63
	LÄHTEET.....	65

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön päätavoitteena oli selvittää, sopiiko 3D-skannaus insinööritoimiston palvelumalliin ja voiko 3D-skannausta käyttää päivittäisen cad-työkentelyn ohella yrityksessä. Lisäksi tavoitteena oli kehittää 3D-skannauksen ympärille yrityksen käytäntöjä ja selvittää ohjelmistojen soveltuvuus yrityksen toimintatapoihin. Opinnäytetyön tilaaja on Etteplan Oyj.

Opinnäytetyössä perehdytään 3D-skannereihin ja ohjelmistoihin. Opinnäytetyössä vertaillaan eri 3D-skannereita ja ohjelmistoja sekä päätellään, mikä skannereista ja ohjelmistoista sopii parhaiten yrityksen käyttöön. Opinnäytetyössä tavoitteena oli tuottaa hyvänlaatuista dataa itse ja käsitellä data ohjelmistoilla. Työssä testattiin 3D-skannausta kahdella eri skannerilla, käsiteltiin dataa monilla eri ohjelmistoilla sekä arvioitiin käsitellyn datan laatua. Tavoitteena oli saada skannattua kappaleet niin, että ne voitaisiin 3D-tulostaa. GOM:in Atos Core 200 3D-skanneria käyttöä päästiin seuraamaan Espoossa Scan to print -projektin yhteydessä sekä Creafom HandSCAN 700 -merkkistä 3D-skanneria päästiin käyttämään Tampereen Ammattikorkeakoululla. Tuloksena saatiin selville, sopiiko 3D-skannaus insinööritoimiston palvelumalliin.

Skannereiden vertailussa on otettava huomioon mm. resoluutio, hinta ja laatusuhde, tekniikka, datan laatu, liikuteltavuus, skannattavien objektien koko sekä tarvittavat lisäohjelmistot ja niiden kustannukset. Ohjelmistojen vertailussa on otettava huomioon tiedostomuodot, saatavissa oleva ohjeistus, hinta/laatusuhde sekä automaattisuus. Lisäksi on otettava huomioon ajankäyttö eli ohjelman ja 3D-skannerin käyttäjäystävällisyys. Helppokäyttöisyys on tärkeää, koska tällöin kouluttamiseen ei kulu niin paljon aikaa. Yksi tärkeimmistä tekijöistä ohjelmistossa on skannatun ja verkotetun mallin CAD-tiedoston luomisen onnistuminen ja kuinka nopeaa se on.

Yksi opinnäytetyön osasuorituksista oli englanninkielinen lyhyt Powerpoint esitys 3D-skannauksen työvaiheista eli skannauksen esivalmisteluista valmiiseen CAD-tiedostoon asti. Powerpoint esitys sisälsi salassa pidettävää tietoa, joten sitä ei sisällytetty opinnäytetyöhön liitteisiin.

## 2 ETTEPLAN OYJ

Etteplan Oyj on teollisten koneiden suunnitteluun, sulautettuihin järjestelmiin, IoT:n ratkaisuihin sekä teknisen dokumentoinnin palveluihin erikoistunut asiantuntijayritys. Heidän asiakkaitaan ovat esimerkiksi ajoneuvo-, lentokone- ja puolustusväline-teollisuudessa, sähköntuotannossa ja voimansiirrossa sekä materiaalinkäsittelyssä toimivat yritykset. Etteplanilla on 60 toimipistettä, toimipaikkoja on Suomen lisäksi Ruotsissa, Puolassa, Alankomaissa, Saksassa, Kiinassa. Lisäksi Etteplanilla on myyntikonttori USA:ssa ja edustusto Venäjällä. Työntekijöitä on tällä hetkellä yli 3000 maailmanlaajuisesti. Vuonna 2018 yrityksen liikevaihto oli 236 miljoonaa euroa ja liikevoitto 20,2 miljoonaa euroa. (Etteplan N.d.) Kuviossa X on esitetty liikevaihdon kasvu sekä kasvun tavoite vuosille 2016-2018. Kuten kuviosta 1 nähdään liikevaihto on kasvanut vuodesta 2016 joka vuosi.



KUVIO 1. Liikevaihto ja liikevaihdon kasvu

Etteplan perustettiin vuonna 1983. Etteplanin alkuosan nimi Ette tulee perustajien etunimien ensimmäisistä kirjaimista: Esko Poltto, Tero Elomaa, Tapani Mönkkönen ja Ensio Juotaniemi. Vuonna 1998 ulkoistus otettiin uutena liiketoimintamallina käyttöön, tuolloin 30 suunnittelijaa siirtyi Valmetilta Etteplanille. Etteplan liitettiin Helsingin Pörssiin huhtikuussa 2000. Vuonna 2004 Etteplan perusti ensimmäisenä pohjoismaisena suunnittelualan yrityksenä toimiston Kiinaan. Viime vuosina Etteplan on tehnyt merkittäviä yritysostoja: Tedopres vuonna 2012, Espotel ja Soikea Solutions vuonna 2016 sekä Eatech Oy vuonna 2018. (Etteplan N.d.)

### 3 YLEISTÄ 3D-SKANNAUKSESTA

3D-skannauksen avulla mikä tahansa olemassa oleva tila, rakennelma tai osa saadaan 3D-muotoon. Käyttömahdollisuudet ovat lähes rajattomat. (Prosolve N.d.) Teollisuuden puolella kaksi tärkeintä kohdetta ovat käänteinen suunnittelu ja laadunvalvonta. Insinööritoimistossa suurin käyttökohde on käänteinen suunnittelu. Käänteisessä suunnittelussa skannatusta kappaleesta halutaan tehdä CAD-tiedosto. Laadunvalvonnassa tuotettua ja skannattua prototyyppiä voidaan verrata alkuperäisen mallin CAD-tiedostoon. (Siitonen, E 2019.)

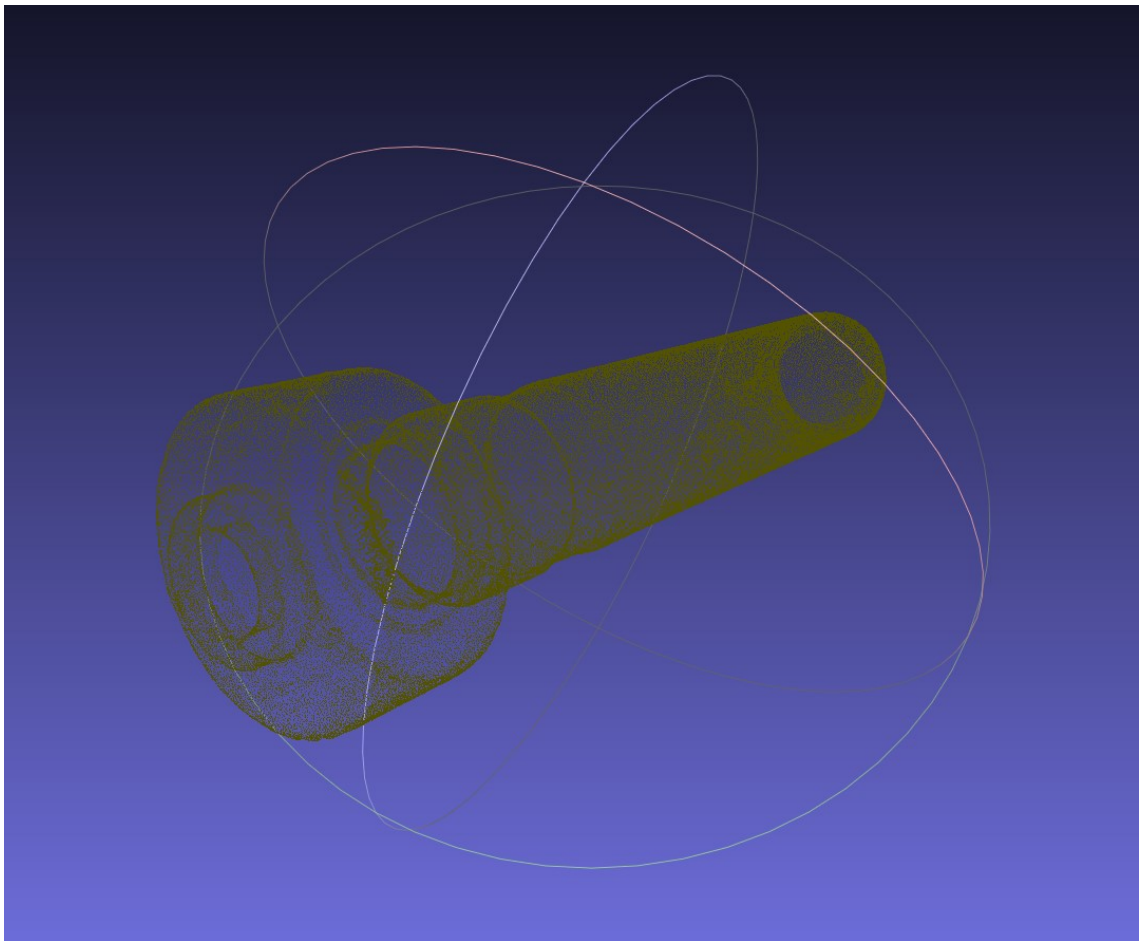
3D-skannausta voidaan hyödyntää lisäksi konseptisuunnittelussa, tuotteen suunnittelussa, tuotannon suunnittelussa ja huollossa eli koko tuotteen elinkaaren ajan. Teollisuuden ulkopuolella 3D-skannausta käytetään ihmisten skannauksissa, biotekniikassa, arkeologiassa, ihmisten koulutuksessa, peliteollisuudessa sekä virtuaalituodellisuudessa. (Siitonen, E 2019.)

#### 3.1 3D-skannauksen historia

1960-luvulla kehitettiin ensimmäiset 3D-skannerit, joissa skannaamiseen käytettiin valonlähteitä, kameroita ja projektoreita. Tekniikka oli rajoittunutta ja kohteen skannaamiseen kului todella paljon aikaa. Tarkkojen 3D-mallien luominen oli todella haasteellista ellei mahdotonta. 1985-vuonna kehitettiin skannerit, joissa käytettiin valkoista valoa, lasereita ja erilaisia varjostuksia pinnan parempaan jäljentämiseen. 1990-luvulla tietotekniikan ja digitaalikameroiden kehityksen myötä 3D-skannerit kehittyivät nopeasti, erityisesti tarkkuus parantui nopeasti. 3D-skannereiden hinnat laskivat, mikä mahdollisti pääsyn kaupallisille markkinoille. (Modena N.d.) Yli 20-vuodessa on tapahtunut merkittävää kehitystä pistepilvidataa käsittelevissä ohjelmissa, tietokoneiden laskenta teho ja 3D-skannereiden datan käsittely teho on kasvanut sekä keksitty innovatiivisia 3D-skannaus tekniikoita. Lisäksi 3D-skannereiden mekaaninen ja optinen tarkkuus on parantunut. (Gaskell, G 2017).

### 3.2 3D-skannausprosessi

3D-skannerin avulla saadaan skannattua haluttu kohde. 3D-skanneri tuottaa dataa kohteen muodosta ja ulkonäöstä. Data koostuu tuhansista tai jopa miljoonista pisteistä, joilla kaikilla on x-,y- ja z-koordinaatit. Kerättyä pistejoukkoa kutsutaan yleisesti pistepilveksi. Kuvassa 1 on esitetty Scan to print -projektissa skannatun jälkitiputtamattoman suuttimen pistepilvimalli. Lisätietoa kappaleesta ja Scan to print -projektista kappaleessa 8.



KUVA 1. Jälkitiputtamattoman suuttimen pistepilvimalli

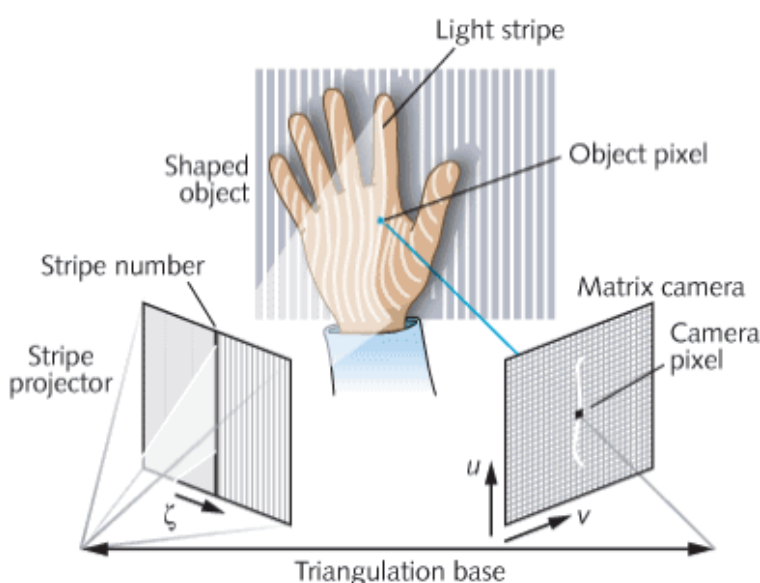
Pistepilvi kuvastaa kappaleen pinnanmuotoja. Pisteistä koostetaan 3D-skannausohjelmilla kolmioverkko, josta saadaan lopuksi skannatun kappaleen todellista muotoa kuvaava kolmiulotteinen CAD-malli. (AN-cadsolutions N.d; 3D-ScanCo N.d.) Jotkut 3D-skannerit tosin koostavat kolmioverkon jo skannauksen aikana eikä skannausohjelmaa tarvita siihen. Kolmioverkotetusta mallista CAD-mallin tekeminen on haastavin vaihe prosessissa. Kolmioverkotettu malli voidaan tulostaa 3D-tulostimella, mallin pitää olla kuitenkin ehyt eli siinä ei saa olla reikiä.

3D-tulostusohjelmat vaativat solidin kappaleen. Pintamallissa on oltava yksiselitteisesti sisä- ja ulkopinta.

## 4 3D-SKANNAUKSEN TEORIAA

### 4.1 3D-skannaustekniikat

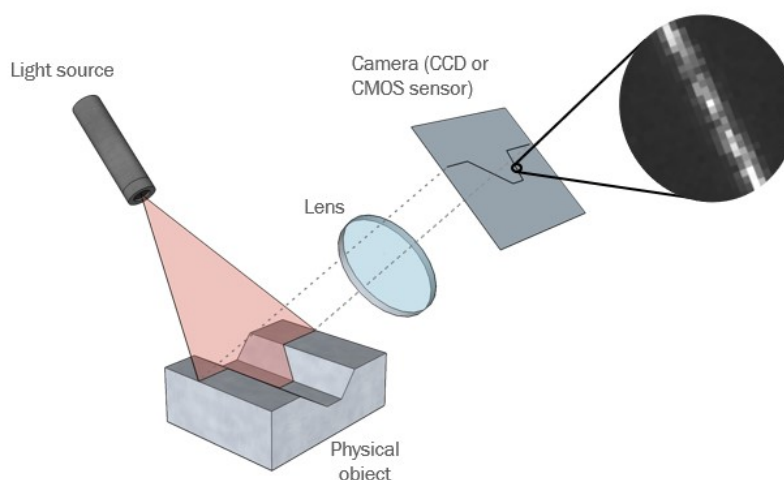
3D-skannerit voidaan jakaa kahteen pääryhmään. Ensinnäkin on strukturoidun valon tai valkoisen valon järjestelmiä, jotka ottavat yksittäisiä skannauksia tai kuvia. (Siitonen, E 2019). Kuvassa 2 on havainnollistettu toimintaperiaatetta, jossa skannerit käyttävät kolmiomittaustekniikkaa.



KUVA 2. Yksittäisiä kuvia ottavat järjestelmät

Kolmiomittauksessa valonlähde heijastaa erillaisia kuvioita kappaleen pinnalle määrättyssä kulmassa. Kappaleen pinnan muodot saavat kuvion vääristymään ja kuvio heijastuu kameralle. Heijastuneesta kuvioista saadaan laskettua koordinaattipisteet. Heijastuneet kuviot yhdistetään yhdeksi 3D-skannaukseksi ja yksittäiset 3D-skannaukset yhdistetään 3D-malliksi. (Siitonen, E 2019.)

Lisäksi on järjestelmiä, jotka ottavat useampia kuvia jatkuvasti. Kuvassa 3 näkyvä valonlähde heijastaa laserkuvioita tai valkoisen valon perustuvia kuvioita kappaleen pintaan jatkuvasti. (Siitonen, E 2019.)



KUVA 3. Useampia kuvia jatkuvasti ottavat järjestelmät

Kuten strukturoidun valon järjestelmissä, skannerit käyttävät kolmiomittaustekniikkaa. Kuviot vääristyvät ja heijastuvat kameralle. Tämän jälkeen järjestelmä laskee niistä koordinaattipisteet. (Siitonen, E 2019.)

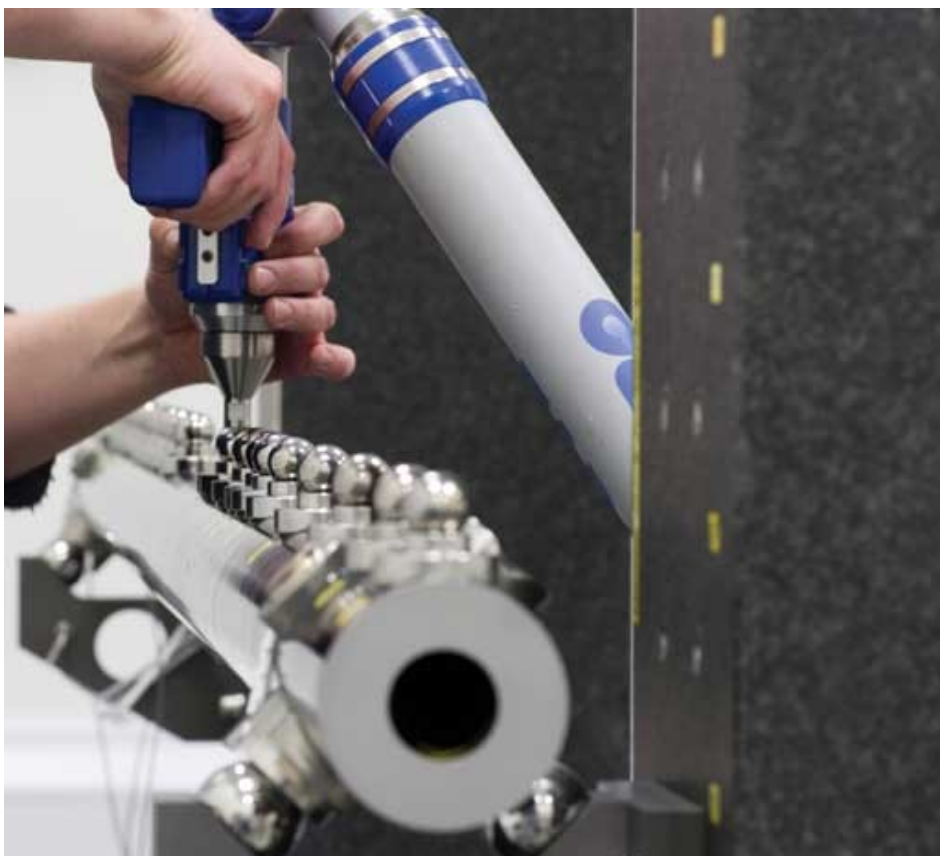
Strukturoitujen järjestelmien ja laser-kolmiomittausjärjestelmien lisäksi olemassa on fotogrammetriaan, koskettavaan mentelmään ja time of flight menetelmään perustuvia skannereita. (Aniwaa N.d).

Fotogrammetrian periaate on analysoida useita valokuvia staattisesta kohteesta, jotka on otettu eri näkökulmista ja tunnistaa automaattisesti saman fyysisen pisteen vastaavat pikselit. Koskettavassa menetelmässä skanneri kerää dataa koskettamalla kohteen pintaa ja tuottaa tämän avulla koordinaattipisteitä x-, y- ja z-akselille. Kuvassa 4 nähdään koskettavaan menetelmään perustuva skanneri. Pulssilaser- sekä vaihe-eroskannerit eli time of flight -menetelmään perustuvat skannerit mittaavat aikaa, kuinka kauan laserilla kestää osua kohteeseen ja tulla takaisin. Pulssilaser-skanneri lähettää lyhyitä pulsseja kohteeseen, kun taas vaihe-eroa käyttävä skanneri lähettää jatkuvaa signaalia kohteeseen. (Aniwaa N.d.)

## 4.2 3D-skannereiden mallit

### 4.2.1 Mittausvarret, AACMM skannerit

Nivelvarren koordinaattimittauslaitteet (AACMM) tai mittausvarret voidaan varustaa joko kiinteällä mittapäällä tai 3D-skannauspäällä. Kuvassa 4 on esitetty nivelvarren koordinaattimittauslaite (AACMM).

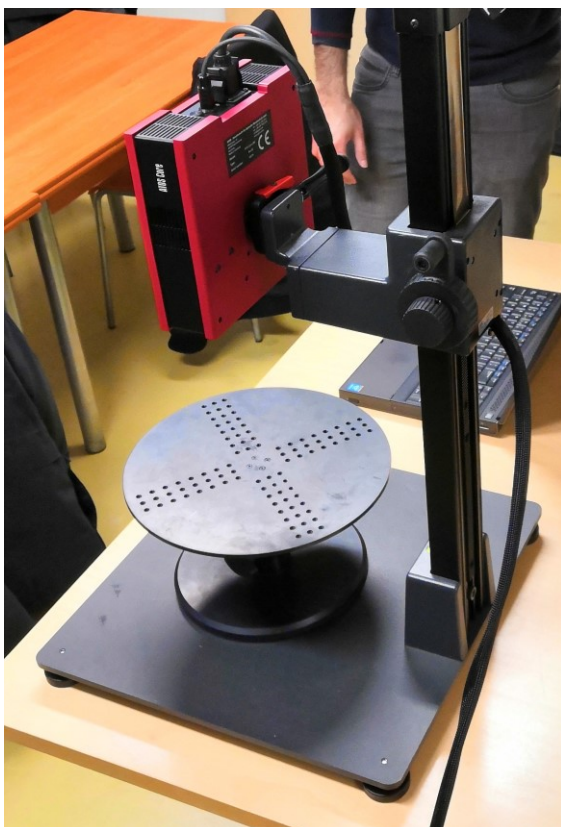


KUVA 4. Nivelvarren koordinaattimittauslaite (AACMM) (qmt mobile 2013).

Nivelvarren koordinaattimittauslaitteissa on 6-7 niveltä, joita käytetään mittauspään käsittelyyn. Laitteet paikottavat 3D-skannausdatan koordinaatistoon mekaanisilla antureilla, jotka on kiinnitetty varteen. Laitteet on kiinnitettävä paikoilleen, minkä vuoksi laitteet ovat herkkiä ympäristöstä tuleville häiriöille kuten tärinöille. Koska skannerit on kiinnitettävä paikoilleen niillä ei voi skannata joka paikassa. Häiriöt vaikuttavat skannauksen tuloksiin. Lisäksi varsi ei pysty liikkumaan joka suuntaan, mikä rajoittaa skannaamista. (Siitonen, E 2019.)

#### 4.2.2 Strukturoituun valoon perustuvat skannerit

Kuten aiemmassa kappaleessa käytiin läpi, strukturoituun valoon perustuvat järjestelmät analysoivat kappaleen pinnasta takaisin heijastuvia valokuvioita. Heijastuvat valokuviot analysoidaan sensoreilla, joita järjestelmässä on yleensä yksi tai kaksi. Kuvan 5 Atos Core 200 skannerissa kameroita on kaksi.



KUVA 5. Atos Core 200 3D-Skanneri

Lisäksi on olemassa strukturoituun valoon perustuvia skannereita, joissa on enemmän kuin kaksi kameraa. Valoa heijastetaan LCD-projektorilla tai laserilla kappaleen pintaan. 3D-skannausdatan koordinaatistoon laitteet paikottavat kappaleen geometrian tai kappaleeseen kiinnitettävien referenssipisteiden avulla. Kalleimmat strukturoituun valoon perustuvat skannerit pystyvät skannaamaan todella tarkasti ja resoluutio laitteissa on todella hyvä. Järjestelmä vaatii monien eri skannausten ottamista eri kulmista, joka voi olla aikaa vievää. (Allard, P. & Lavoie, J N.d.)

### 4.2.3 Jäljittämiseen perustuvat skannerit

Jäljittämiseen perustuvat skannerit koostuvat optisesta jäljityslaitteesta ja 3D-skannerista. Kuvassa 6 on esitetty Creaformin Metrascan järjestelmä, joka koostuu miehen kädessä olevasta 3D-skannerista ja taustalla näkyvästä optisesta jäljityslaitteesta.



KUVA 6. Creaform Metrascan-järjestelmä (Creaform N.d).

Optiset jäljityslaitteet voivat jäljittää erilaisia mittaamiseen perustuvia työkaluja. Järjestelmät paikottavat 3D-skannausdatan optisen jäljityslaitteen avulla. Kappaleeseen asetettujen referenssipisteiden avulla sidotaan optinen jäljityslaitte ja 3D-skanneri keskenään. Näissä on hyvä tarkkuus. Optisella jäljityslaitteella pitää olla aina suora näköyhteys 3D-skanneriin, mikä on yksi järjestelmän haittapuolista. Lisäksi järjestelmät on yleensä kalliita, jos verrataan esimerkiksi käsivarsiskannereihin. (Allard, P. & Lavoie, J N.d.)

#### 4.2.4 Kädessä pidettävät skannerit

Yleensä kädessä pidettävät skannerit ovat kahden kameran järjestelmiä, jotka ottavat useampia kuvia samanaikaisesti. Kuvassa 7 näkyvä Creafom HandySCAN 700 on 3D-skanneri, jossa on kaksi kameraa.



KUVA 7. Creafom HandySCAN 700 (Allard, P. & Lavoie, J N.d).

Käsiskannerit paikoittavat skannausdatan automaattisesti skannattavan kohteen mukaan. Kahden kameran avulla skanneri muodostaa ns. stereoskooppisen näön. Stereoskooppisen näön avulla skanneri pystyy yhdistämään skannerin paikan ja itse skannattavan kohteen. Näkö pystyy havaitsemaan joko referenssipisteitä, kappaleen geometriaa, värejä tai kaikkia näitä. (Allard, P. & Lavoie, J N.d.)

Käsiskannerin etuja ovat helppo siirrettävyys ja helppokäyttöisyys. Käsivarsiskannereilla ei tarvitse olla suoraa näköyhteyttä kappaleeseen tai mekaanista linkkiä. (Allard, P. & Lavoie, J N.d.) Käsivarsiskannerit eivät ole niin tarkkoja, kuten esimerkiksi strukturoituun valoon perustuvat skannerit ovat.

## 5 3D-SKANNEREIDEN KARTOITUS

### 5.1 Vaatimukset ja rajoitukset 3D-skannerille

Ennen 3D-skannerin hankintaa on hyvä miettiä erityisesti, millaisia kohteita 3D-skannerilla on tarkoitus skannata sekä minkäkokoisia kohteita halutaan skannata. (AN-cadsolutions N.d).

Esineitä jotka rajoittavat skannaustekniikan valintaa ovat esimerkiksi valtavat esineet, kuten rakennukset. Näitä voidaan tehokkaasti skannata 3D-laserskannereilla tai fotogrammetrialla, mutta valo-ohjatut 3D-skannerijärjestelmät (structural light technology) ei niihin sovellu. (AN-cadsolutions N.d.) Tässä tutkimuksessa skannerin ei tarvitse pystyä tekemään tilojen skannauksia, joten valo-ohjatut 3D-skannerit voidaan ottaa mukaan kartoitukseen.

Suurin osa 3D-skannereista on suunniteltu toimimaan tietyn kokoisten tuotteiden kanssa ja niillä on kiinteä skannausalue. Tyypillisesti valmistajat tarjoavat erilaisia malleja skannereista työskentelemään pienillä (kuten korut) ja suurilla (kuten autot) esineillä. Jos aiotaan skannata samanlaisia ja samankokoisia esineitä, niin paras valinta on löytää 3d-skanneri, jonka skannausalue sopii kohteelle. Jos taas halutaan saada maksimaalinen kattavuus objektien koolle (muutamasta senttimetristä useampaan metriin), niin kannattaa kiinnittää huomiota järjestelmiin, joissa on vaihtelevat skannausalueet ja kohdistusmerkkien käyttö. (AN-cadsolutions N.d.) Mahdollisesti hankittavan 3D-skannerin ei tarvitse pystyä skannaamaan isoja kappaleita, eikä siinä tarvitse olla laajaa skannausaluetta. Tässä tutkimuksessa skannattavat kappaleet eivät ole rannekelloa pienempiä ja skannattavat osat pitää pystyä 3D-printtaamaan.

3D-skannerin olisi hyvä olla liikuteltavaa mallia eli helppo siirrellä paikasta toiseen. 3D-skannereissa resoluutio ja hinta vaikuttavat toisiinsa, mitä korkeampi resoluutio sitä korkeampi hinta. (AN-cadsolutions N.d). Teollisessa ja mekaanisessa suunnittelussa paras tarkkuus skannereille on 0,05-0,25 mm ja resoluutio 0,1-1 mm. (Grimm, T 2006). Tarkkuus kertoo, minkä toleranssin sisään esimerkiksi 100 mm mittapala saadaan mitattua toistettavasti. Resoluutio määrittää,

kuinka paljon yksityiskohtia skannattavasta kappaleesta saadaan esitettyä (promaint 2015). Koneistustarkkuuksien mittaamiseen tarvitaan tarkempia skannereita. Skannerit tuottavat monenlaista dataa ja se on yksi vertailtava asia. Skannerin ja ohjelmiston tukemien tiedostomuotojen on sovittava yhteen.

## 5.2 3D-skannereiden vertailu

Kartoitukseen otettiin mukaan 10 eri mallia, joista kahdesta oli käytännön kokemusta. Tarkasteluissa keskityttiin enimmäkseen käsivarsiskannereihin niiden liikuteltavuuden vuoksi. Taulukossa 1 on vertailtu 3D-skannereita. Skannereiden vertailussa on otettu huomioon hinta, maksimi resoluutio, suurin tarkkuus, tekniikka, onko mobiili vai langallinen, skannausalue lähelle, maksimi työskentelyetäisyys, tuetut tiedostomuodot ja skannattavien objektien koko. Kaikki skannerit pystyvät skannaamaan halutun koon mukaisia kappaleita. Kuten kappaleessa 5.1 mainittiin, skannattavat kappaleet eivät ole rannekelloa pienempiä ja skannattavat osat pitää pystyä 3D-printtaamaan.

TAULUKKO 1. 3D-skannereiden vertailutaulukko

Kategoriat	Creaform Go!SCAN 50	Creaform HandySCAN	Shining EinScan Pro	Shining 3D FreeScan X7	3D Systems Sense 2	Peel 3D Scanner	Artec Eva	Artec Space Spider	THOR3D Drake	GOM: Atos Core 200
Hinta (halvimmillaan, perusmalli)	17800e	30000e	7800e	17800e	373e	5300e	17700e	20500e	15000e	50000e
Maksimi resoluutio	0,5mm	0,05mm	0,2mm	0,05mm	1mm	0,5mm	0,5mm	0,1mm	0,15mm	0,080mm
Suurin tarkkuus	0,1mm	0,03mm	0,04mm	0,03mm	1mm	0,25mm	0,1mm	0,05mm	0,03mm	0,01mm
Tekniikka	Strukturoitu valo	Laser-kolmiomittaus	Strukturoitu valo	Laser-kolmiomittaus	Time of Flight	Strukturoitu valo	Strukturoitu valo	Strukturoitu valo	Strukturoitu valo	Strukturoitu valo
Langaton vai langallinen	Langallinen	Langallinen	Langallinen	Langallinen	Langallinen	Langallinen	Langallinen	Langallinen	Langaton	Langallinen
Skannausalue lähelle	380x380mm	275x250mm	208x136mm	250x250mm	200x200mm	380x380mm	214x148mm	90x70mm	-	200x150mm
Maksimi työskentelyetäisyys	0,65m	0,55m	0,51m	0,55m	1,6m	0,65m	1m	0,35m	-	0,25m
Tuetut tiedostomuodot	DAE, FBX, MA, OBJ, PLY, STL, TXT, WRL, X3D, X3DZ, ZPR	DAE, FBX, MA, OBJ, PLY, STL, TXT, WRL, X3D, X3DZ, ZPR	ASC, OBJ, PLY, STL	STL, OBJ, FBX, MA, ASC, PLY, DAE	OBJ, WRL, STL, PLY	DAE, FBX, MA, OBJ, PLY, STL, TXT, WRL, X3D, X3DZ, ZPR	OBJ, PLY, WRL, STL, AOP, ASCII, Disney PTEX, E57, XYZRGB	AOP, ASCII, E57, OBJ, PLY, PTX, STL, WRL, XYZRGB	OBJ, PLY, STL, VRML	STL
Skannattavien objektien koko (halkaisija)	0,3m - 3m	0,1m - 4m	0,05m - 4m	0,1m - 4m	0,2m - 3m	0,3m - 3m	0,2-2m	0,05m - 2m	0,5cm - 20cm, 10cm - 100cm, 30cm - 8m	0,05m - 0,5m

Skannerit on pisteytetty taulukossa 2. Pisteytys on toteutettu asteikolla 1-3. Taulukon 2 vertailussa maksimi resoluution ollessa 0,05mm ja 0,08mm välissä, annettiin 3 pistettä. 2 pistettä annettiin, kun resoluutio on 0,08mm ja 0,2mm välissä. Jos resoluutio on yli 0,2mm, annettiin 1 piste. Suurimman tarkkuuden ollessa

0,01mm ja 0,05mm, annettiin 3 pistettä. Jos resoluutio on 0,05mm ja 0,25mm välissä, annettiin 2 pistettä. 1 piste annettiin, kun suurin tarkkuus on yli 0,25mm.

TAULUKKO 2. 3D-skannereiden pisteytystaulukko

Kategoriat	Creaform Go!SCAN 50	Creaform HandySCAN 700	Shining EinScan Pro 2X Plus	Shining 3D FreeScan X7	3D Systems Sense 2	Peel 3D Scanner	Artec Eva	Artec Space Spider	THOR3D Drake	GOM: Atos Core 200
Maksimi resoluutio	1	3	2	3	1	1	1	2	2	3
Suurin tarkkuus	2	3	3	3	1	2	2	3	3	3
Tuki tiedostomuodoille	3	3	2	3	2	3	3	3	2	1
Liikuteltavuus	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1
Ympäristötekijöiden vaikutus	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2
Hinnoittelu	1	1	2	1	3	2	2	2	2	1
Pisteet yhteensä	11	15	13	15	11	12	12	14	14	11
Lopulliset arvosanat (skaalaus)	7	10	9	10	7	8	8	9	9	7

Mitä enemmän skanneri tukee tiedostomuotoja, sitä paremmat pisteet se sai. Atos Core tukee vain STL-formaattia, joten se sai vain 1 pisteen. Liikuteltavuudesta sai eniten pisteitä, jos käsivarsiskanneri on langaton. Langallinen käsivarsiskanneri sai toiseksi eniten pisteitä ja pöytäskanneri vähiten. Ympäristötekijöiden vaikutuksella tarkoitetaan, että kuinka herkkä skanneri on valaistukselle tai skannattavalle kappaleelle eli tarvitaanko kappaleen pinnoitusta. Strukturoitun valon skannerit ovat herkempiä ympäristötekijöille, kuin laser-kolmiomittaukseen perustuvat skannerit. Jos ympäristötekijöiden vaikutus on pientä, skanneri saa maksimipisteet. Skannerin hinnan ollessa 50000 euron ja 17750 euron välissä, annettiin 1 piste. 2 pistettä annettiin, kun hinta on 17750 euron ja 5200 euron välissä. Kun hinta oli pienempi kuin 5200 euroa, annettiin 3 pistettä.

Creaformin HandySCAN 700 ja Shining 3D FreeScan X7 saivat eniten pisteitä. Näistä Shining-skanneri on vähän halvempi. Toisaalta Creaformin-laite tukee enemmän tiedostomuotoja. Molemmat ovat hyviä valintoja, valinta näiden välillä riippuu käytettävästä ohjelmistosta.

## 6 OHJELMISTOJEN KARTOITUS

Ohjelmistojen kartoituksessa käytettiin Scan to print -projektissa skannattua ja kuvassa 8 näkyvää teräksistä ASCII ja stl-mallia. ASCII sisälsi tässä tapauksessa pelkkää pistepilvidataa ja stl-malli verkotettua dataa. Lisätietoa kappaleesta ja Scan to print -projektista kappaleessa 8.



KUVA 8. Jälkitippumaton suutin

### 6.1 Artec Studio 13

#### 6.1.1 Yleistä

Artec Studio 13 on 3D-skannausdatan käsittelyyn tarkoitettu ohjelma. Ohjelma tukee Artecin omia skannereita. Ohjelmasta on myös saatavissa ultimate versio, joka tukee Microsoft Kinect, ASUS XTion, PrimeSense, Intel RealSense F200, R200 & SR300, XYZprinting merkkisiä 3D-skannereita. Professional version hinta on yhdelle lisenssille 1000 euroa, kyseessä siis ikilisenssi. Yhden vuoden välein uusittava lisenssi maksaa 400 euroa. Ultimate versiosta on saatavissa ai-noastaan ikilisenssi, joka maksaa 800 euroa. (Artec3D N.d). Testattiin ohjel-masta saatavaa 30-päivän kokeiluversiota, jolla ei pysty tallentamaan projekteja.

Kuvassa 9 näkyy ohjelman pääikkunan vasemmasta laidasta löytyvät ohjelman eri toiminnot. Scan-toimintoa käytetään, kun halutaan skannata kappale 3D-skannerilla.

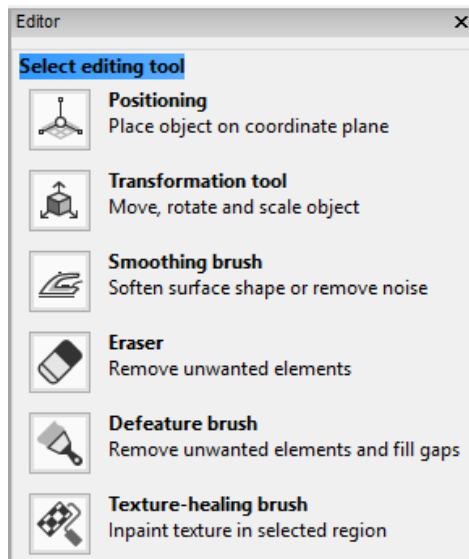


KUVA 9. Artec Studio 13 -ohjelman toimintoja

Autopilot-toiminnolla ohjelma hoitaa itse mallin jälkikäsittelyn. Autopilot-toimintoa ei pystynyt kuitenkaan kokeilemaan. Ilmeisesti tämä johtuu siitä, että kappale on skannattu skannerilla, jota ohjelmisto ei tue.

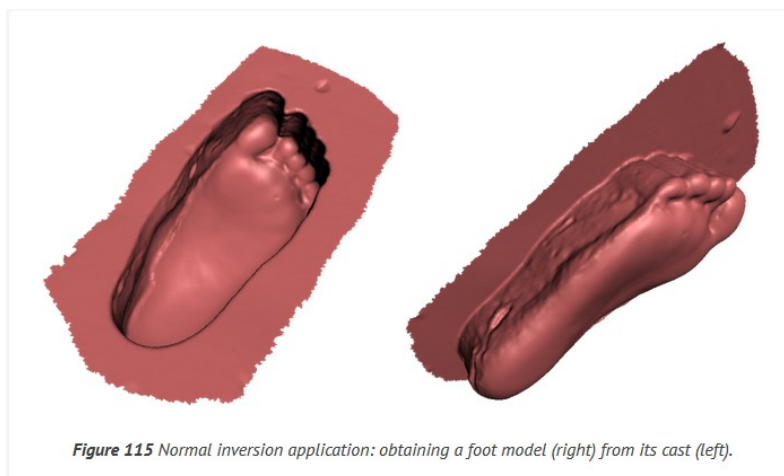
Autopilot toiminnon periaate on kuitenkin seuraavanlainen: Aluksi autopilotti kysyy muutaman kysymyksen kappaleen piirteistä ja halutusta lopputuloksesta. Tämän jälkeen ohjelma deletoi turhan datan, paikottaa skannausdatan ja valitsee automaattisesti parhaat prosessointityökalut kappaleen mukaan. Lopputuloksena on tarkka 3D-malli kappaleesta. (Artec3D 2019.)

Kuvassa 10 näkyvän editor-ominaisuuden alta löytyvät toiminnot kappaleen asettamiseksi tietylle koordinaattitasolle, kappaleen muodonmuutokselle, pinnan tasoitukselle ja materiaalin poistamiselle. Lisäksi on erilliset toiminnot materiaalin poistoon ja aukkojen täyttämiseen sekä tekstuuriin maalaamiseen.



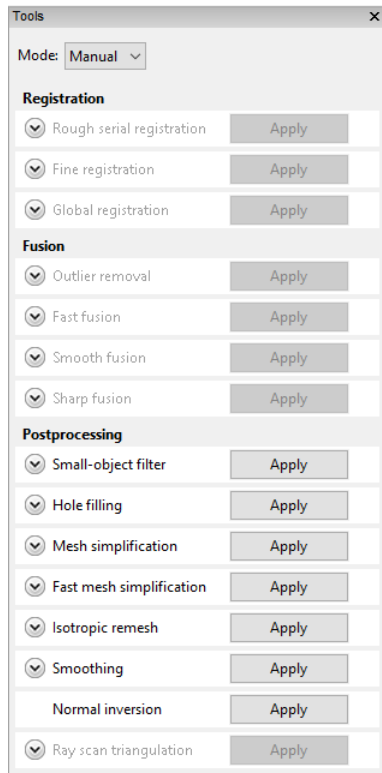
KUVA 10. Editor-ominaisuuden toiminnot

Kuvassa 12 näkyvän tools-ominaisuuden alta löytyvät toiminnot pienten objektien poistamiselle läheltä kappaleen pintaa, reikien täyttämiseksi, verkon yksinkertaistamiselle, isotrooppisen verkon tekemiseen, automaattiseen pinnan tasoitukseen sekä mallin ympärikkääntämiselle. Normal inversion -toiminto voi olla hyödyllinen esimerkiksi kuvassa 11 näkyvässä tehtävässä, jossa halutaan tehdä jalan mallista kengän pohjallinen.



KUVA 11. Normal inversion -toiminnon käyttökohte

Keskityimme vain valmiiksi verkotetun ja skannatun mallin jälkikäsittelyyn, joten Registration- ja Fusion-osat ovat harmaana. Align-toiminnolla pystytään kohdistamaan kahden tai useamman skannauksen samaan kohtaan. Fix holes -toiminnolla on mahdollista täyttää turhat reiät mallista.



KUVA 12. Tools-ominaisuuden toiminnot

Ohjelma tekee mahdolliseksi myös halutun objektin skannaamisen useammalla skannerilla kerralla. Ominaisuuden asetuksia pääsee muokkaamaan Multi-toiminnon alta. Texture-ominaisuuden alta pääsee liittämään tekstuuria kappaleeseen.

### 6.1.2 Arvio

Artec Studio 13 suurin plussapuoli on se, että se on helppokäyttöinen. Kaikki ominaisuudet ovat helposti saatavilla. Materiaalinpoisto-työkalussa on mahdollisuus valita taso, minkä mukaan materiaalia poistetaan. Tällaista ominaisuutta ei ole myöhemmin käsiteltävässä Vxelements-ohjelmassa. Osassa toiminnoista oh-

jelma neuvoo myös niiden käytössä. Verrattaessa ohjelmiston hintaa muihin kaupallisiin 3D-skannausohjelmistoihin, voidaan ohjelmistoa pitää hankintakustannuksiltaan edullisena.

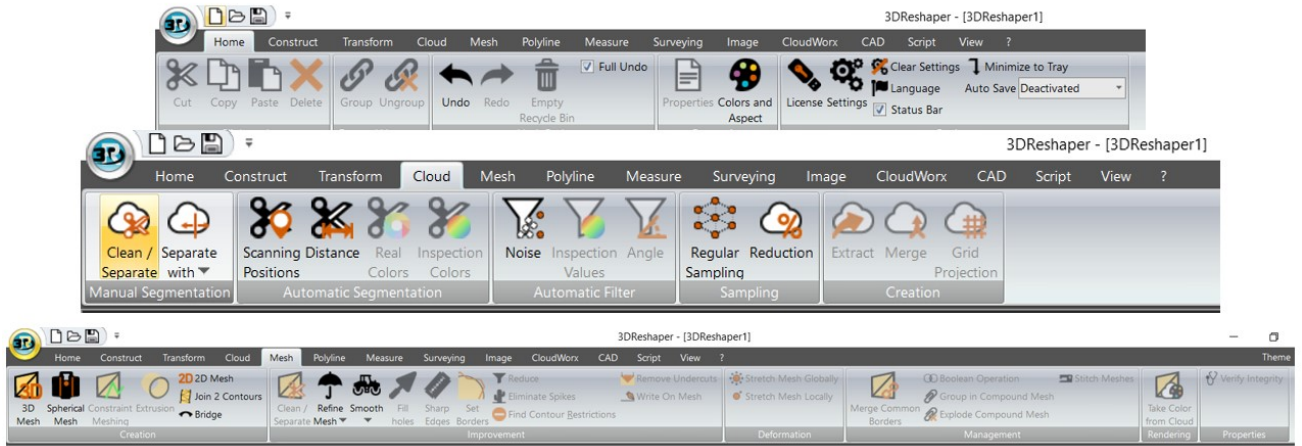
Suurin miinuspuoli on ehdottomasti tuki tiedostomuodoille. Ohjelmasta puuttuu esimerkiksi tuki ASCII-tiedostomuodolle. Näin ollen teräskappaleen pistepilvimallin tuominen ohjelmaan ei onnistunut. Jos verkotetusta mallista haluaa muodostaa CAD-tiedoston, niin siihen tarvitaan myös toinen ohjelma tai lisäosa. Ohjelmasta ei myöskään löydy kaikkia mahdollisia toimintoja, sillä siitä puuttuu esimerkiksi mahdollisuus muuttaa kolmioverkko neliöverkoksi.

## **6.2 3DReshaper**

### **6.2.1 Yleistä**

3DReshaper on pistepilvidatan ja verkon käsittelyyn tarkoitettu ohjelma. 3DReshaper ei ole skanneri-valmistajan oma ohjelmisto, kuten esimerkiksi Artec Studio 13. Testattiin ohjelmasta saatavaa 30-päivän kokeiluversiota, jossa on rajattu tallennuksien määrä 25 tallennukseen. 3Dreshaperin täysversio ikilisenssillä maksaa noin 11000 euroa (Vahur, J 2019). Ohjelmisto on kalliimpi kuin Artec Studio 13 tai 3DReshaper.

Kuvassa 13 on esitetty 3DReshaperissa olevia toimintoja. 3DReshaperissa verkon muodostaminen kaksivaiheinen prosessi. Ensimmäisessä vaiheessa luodaan karkea verkko, jotta saadaan nopeasti kappaleen muoto luotua. Toisessa vaiheessa muokataan luotua verkkoa pistepilven avulla. Ohjelma lisää kolmioita sinne, missä on eniten yksityiskohtia.



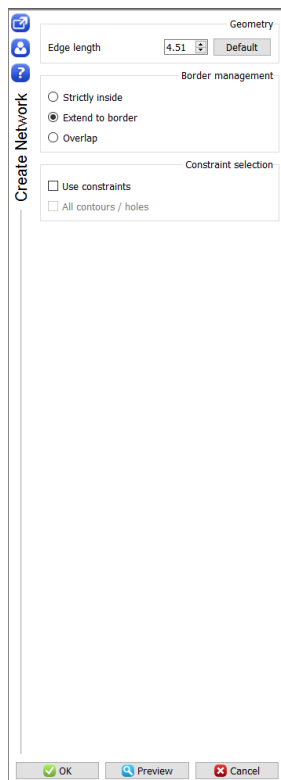
KUVA 13. 3DReshaper-ohjelman toimintoja

3DReshaperista löytyy toiminnot mm. pinnan tasoitukseen, reikien paikkaukseen, verkon pienentämiseen, reunojen parantamiseen, pistepilven pienentämiseen, pistepilvessä olevaan hälyyn vähentämiseen.

## 6.2.2 Mallin muuttaminen STEP/IGES-formaattiin

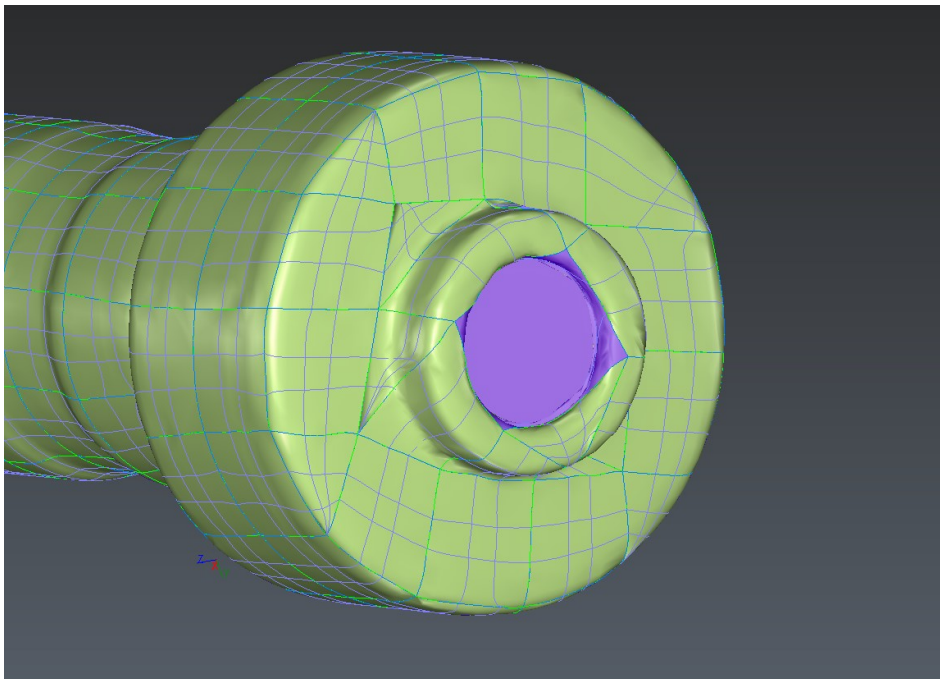
Ohjelmiston työkaluilla on mahdollista luoda STEP/IGES-käännöksiä verkotetusta mallista. Ohjeistus on kuitenkin puutteellista, sillä ainoastaan valmistajan nettisivuilla olevassa ohjekirjassa on vähän tarkemmin selvitetty asiaa. Internetistä löytyi myös asiaa koskeva noin 10 vuotta vanha video, joka ei ollut kuitenkaan valmistajan oma. Verkotetusta mallista natiivin CAD-mallin luonti on vielä vaikeampaa, vaikkakin mahdollista. Ohjelma tukee ainoastaan AutoCadia:ia, johon voidaan tarvittaessa lukea skannatun mallin piirteitä.

STEP/IGES-mallin luonti aloitetaan määrittämällä aluksi Create Network -kohta, minkä jälkeen neliömäinen verkotus muodostuu kappaleen pintaan. Kuvassa 14 näkyvällä Extend to border -valinnalla saadaan verkotus ulottumaan lähelle reunoja.



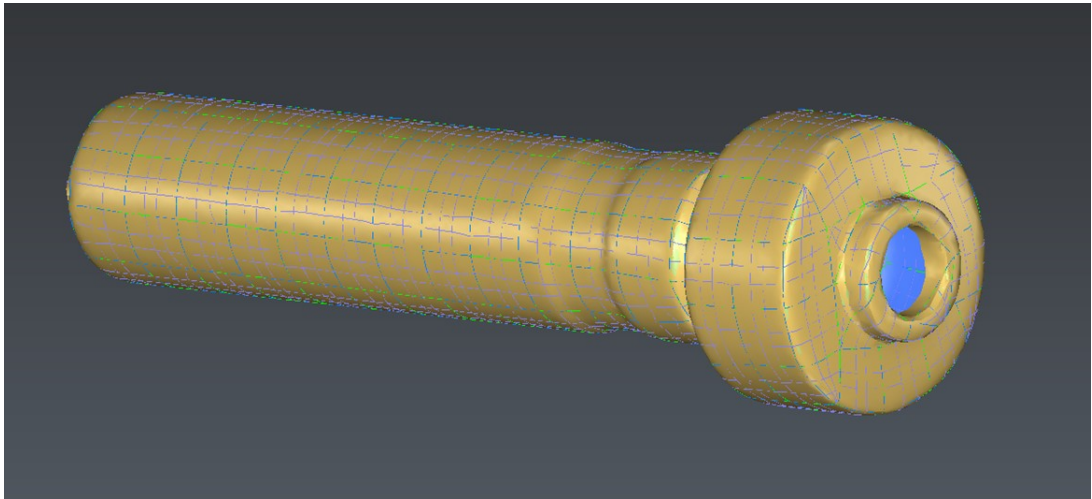
KUVA 14. Create Network -toiminnon asetukset

Tämän jälkeen ohjelma tekee neliöistä pintoja Generate Patch -toiminnolla. Kuvassa 15 nähdään, kuinka ohjelma on verkottanut reiän suuaukon. Tämä johtuu siitä, että verkotus on karkea eikä se huomioi kaikkia muotoja. Valitaan pinta ja poistetaan painamalla delete-painiketta.



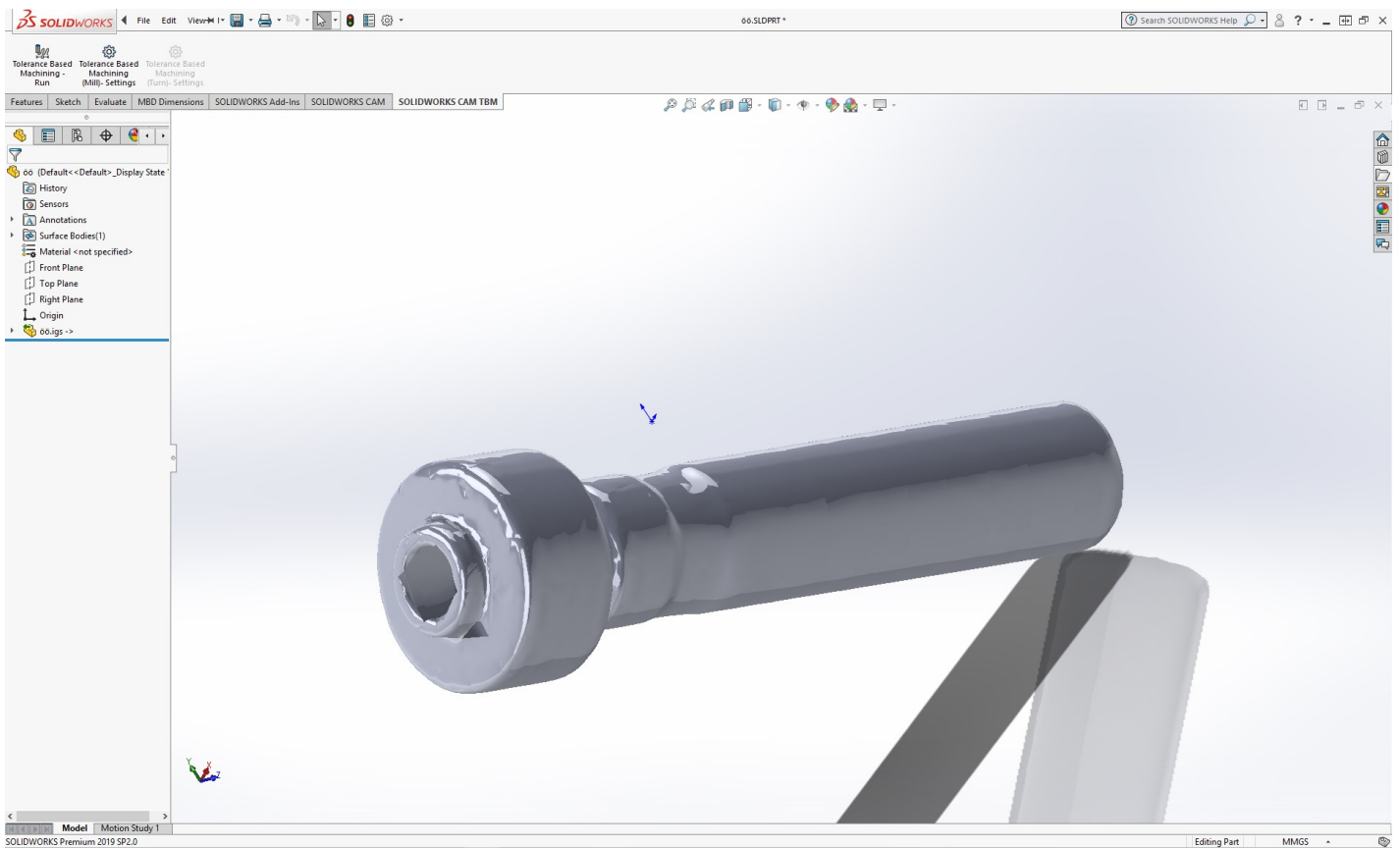
KUVA 15. Pinta, joka peittää reiän suuaukon

Lopuksi tallennetaan kuvassa 16 näkyvä malli IGS-formaattiin. Tallennettiin malli myös STEP-formaattiin ja yritettiin avata SolidWorks-ohjelmalla, mutta jostain syystä SolidWorks ei avannut mallia lainkaan.



KUVA 16. Skannattu malli ennen tallentamista IGS-formaattiin

Kuvassa 17 on esitetty skannattu malli SolidWorks-ohjelmassa. IGS-formaatissa oleva malli on niin sanottu tyhjä malli, joka ei ole verrattavissa esim. SolidWorksin SLDPRT-formaattiin. IGS-formaatissa oleva malli ei sisällä 3D-mallissa olevia piirteitä.



KUVA 17. Skannattu malli SolidWorks-ohjelmassa

### 6.2.3 Arvio

Ohjelmiston suurin plussapuoli on laaja tuki eri tiedostomuodoille. Kuten kuvasta 18 nähdään, ohjelmistoon pystyy tuomaan ja ohjelmistosta pystyy viemään monia eri formaatteja.

	EXPORT	IMPORT
POINT CLOUD	ASCII FILES (*.asc, *.csv...) Binary files (*.nsd) Leica Geosystems (*.pts, *.ptx) E57 (*.e57) IGES (*.igs) LAS (*.las) LAZ (*.laz) AutoDesk DXF (*.dxf)	Fichiers ASCII (*.asc, *.csv, *.xyz, *.yxz...) Leica Geosystems (*.pts, *.ptx) and LGS (*.lgs) Leica Nova M550/60 (*.sdb, *.xml) ShapeGrabber (*.3pi) 3DReshaper binary file (*.nsd) Tool path (*.iso) AutoDesk DXF (*.dxf) STL (*.stl) GSCAN file (*.gsn) Perceptron SWB/SWL (*.swb / *.swl) Polyworks (*.psl) Leica T-Scan + Steinbichler (*.ac) LIDAR data (*.las; laz) Other ASCII (*.*) Zoller and Fröhlich (*.zfs - *.zfc) PLY points without triangles (*.ply) ESRI ASCII (raster format *.asc) FARO (*.fls - *.fws) POLYWORKS (*.psl) E57 (*.E57 files) LandXML files (*.xml) DOT Products (*.dpl) RDBX
MESH	Ascii and binary STL format (*.stl) Binary PBI format (*.pbi) DXF 3Dface format (*.dxf) Ascii POLY format (*.poly) Vertices only (*.asc) DXF polyline (*.dxf) STEP file (*.stp) Ascii Leica format (*.msh) VRML 2 (*.wrl / *.vml / *.iv) PLY (*.ply) LandXML (*.xml)	STL format (*.stl) Binary PBI format (*.pbi) DXF 3Dface format (*.dxf) Ascii POLY format (*.poly) OBJ format (*.obj) Ascii Leica format (*.msh) MDL format (*.mdl) VRML files (*.wrl / *.vrml / *.iv) OFF files (*.off) PLY (*.ply)
CONTOUR / SECTION	IGES format DXF polyline format Binary MLI format (*.mli) ASCII formats	IGES format DXF polyline format Binary MLI format (*.mli)
CAD MODEL	IGES STEP	IGES STEP DWG
PROJECT	RESHAPER (*.rsh) DXF PDF 3D SKETCHFAB	RESHAPER (*.rsh) DXF - DWG XML CYCLONE MSView and JetStream database through the CloudWorx plugin
IMAGE	Ortho-image including georeferencing information as World file	

KUVA 18. 3DReshaperin tukemat tiedostomuodot

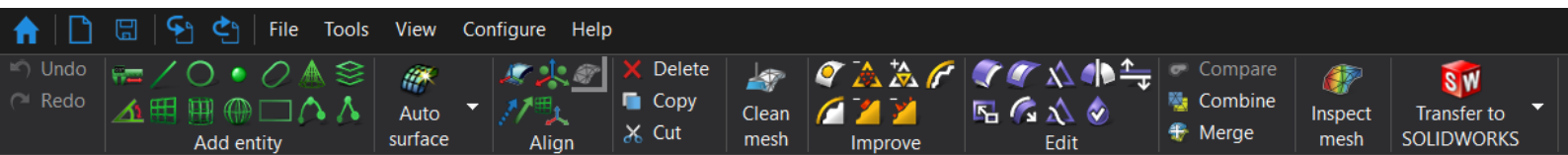
3DReshaper sisältää kaikki tarpeelliset ominaisuudet 3D-skannausdatan käsitteilyyn. Kuten aiemmin mainittiin, ohjeistus ohjelman käyttöön saisi olla parempi. Ohjelmisto ei ole myöskään niin helppokäyttöinen kuin Artec Studio 13 -ohjelma.

### 6.3 VXelements

### 6.3.1 Yleistä

VXelements on verkon käsittelyyn tarkoitettu ohjelma. VXelements on skannerivalmistajan oma ohjelmisto. Ohjelmistolla ei pysty käsittelemään ulkopuolista pistepilvidataa. Ohjelmasta oli saatavissa 30-päivän kokeilujakso, jossa ei ollut lainkaan rajoituksia. Lisenssit maksavat 4000-8000 euroa ja jos haluaa vuosittaiset päivitykset niin hintaan tulee 1000-2000 euroa lisää (Siitanen, E 2019).

Ohjelma koostuu kolmesta erillisestä moduulista: VXscan, VXmodel ja VXinspect. Tampereen Ammattikorkeakoululla ei ollut käytössä Vxinspect-moduulia, koska siitä pitää maksaa lisää rahaa. Vxscan on tarkoitettu itse skannusprosessiin, Vxmodel skannauksen jälkikäsitteilyyn ja Vxinspect laadunvalvontaan eli skannatun datan vertaamiseen alkuperäiseen 3D-malliin. Kuvassa 19 on esitetty jälkikäsitteilyyn ja laadunvalvontaan liittyviä toimintoja.



KUVA 19. Vxelements-ohjelmasta löytyviä toimintoja

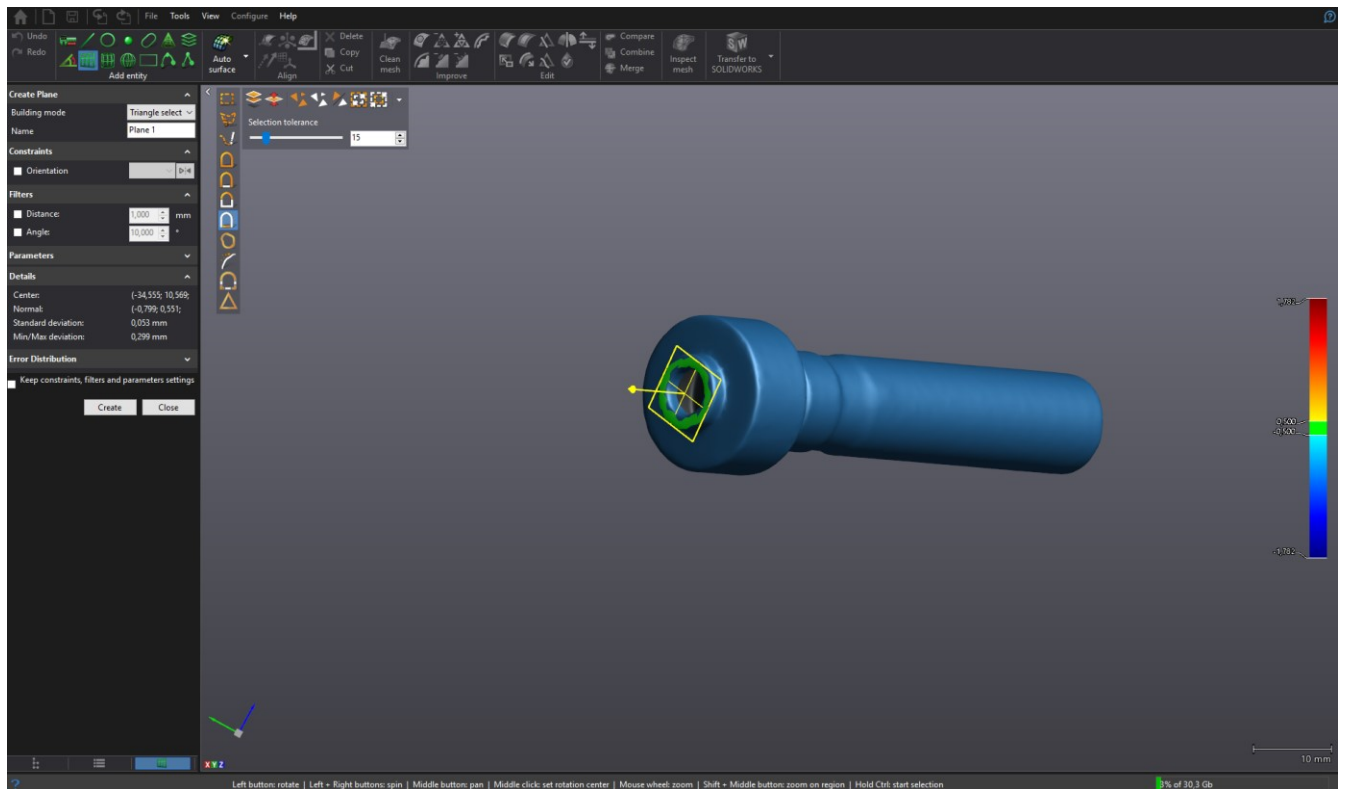
Vxelementsistä löytyy toiminnot mm. kappaleessa olevien reikien korjaamiseen, skannausten yhdistämiseen, pintojen siistimiseen ja ylimääräisen datan poistamiseen.

### 6.3.2 Mallin muuttaminen CAD-formaattiin

Ohjelmistolla pystyy viemään mallin piirteitä CAD-ohjelmaan ja tuottamaan näiden avulla CAD-mallin. Kuvassa 18 näkyvässä Add entity -kohdasta löytyvät työkalut esim. poikkileikkauksien tekemiseen. Tehdyt poikkileikkaukset saa siirrettyä esim. SolidWorksiin.

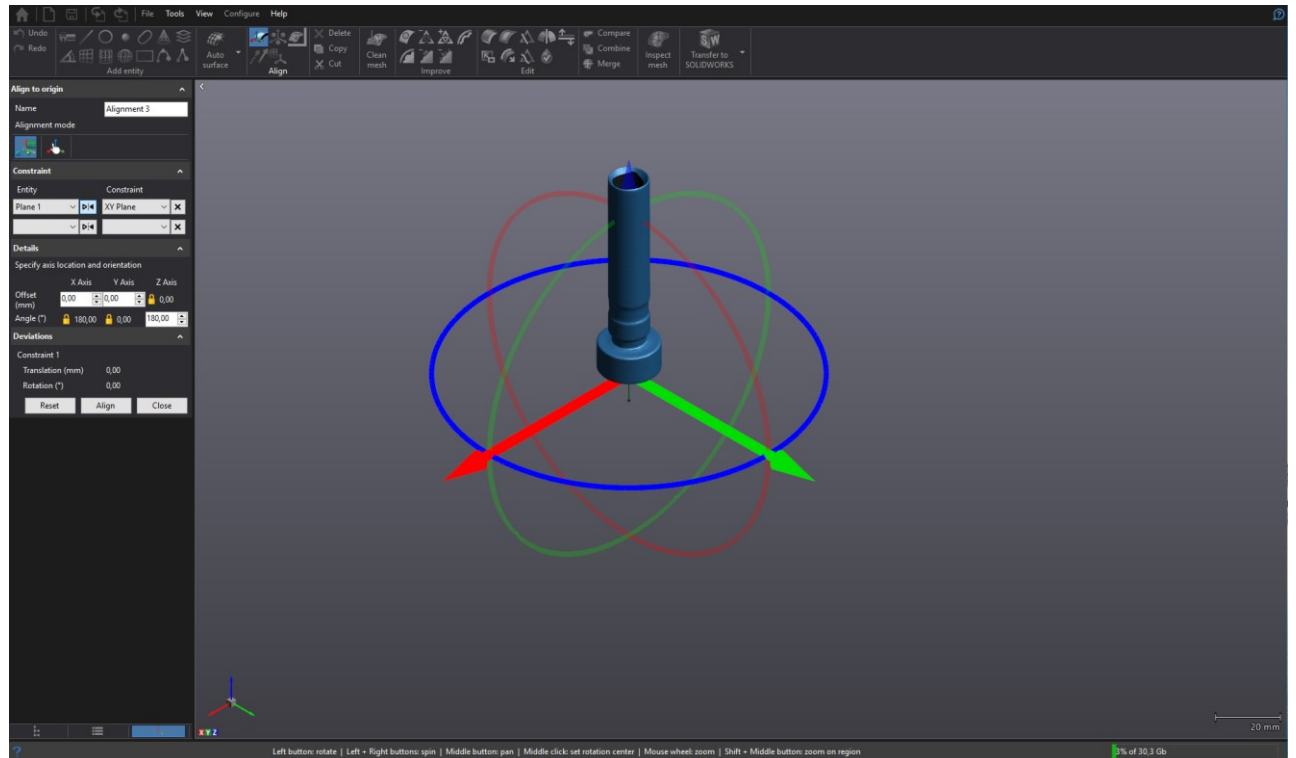
Ensin on kuitenkin paikoitettava kappale koordinaatistoon. Ennen tätä on luotava taso, jonka mukaan kappale paikoitetaan. Maalataan haluttu pinta ja käytetään

kuvassa 20 näkyvää plane-työkalua tason luomiseen. Valitaan Create-toiminto ja ohjelma luo tason.



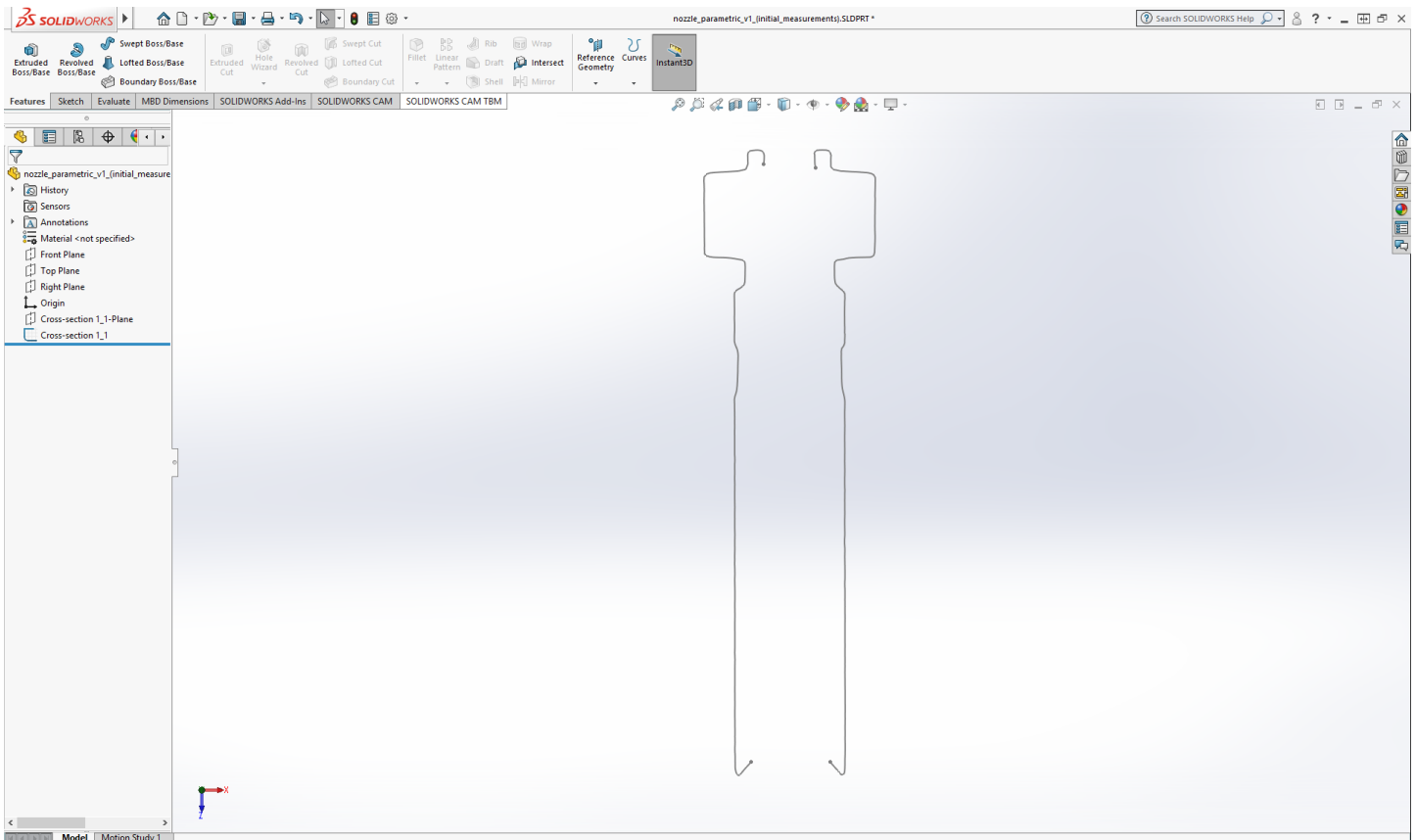
KUVA 20. Create Plane -toiminto

Käytetään Align to origin -toimintoa mallin paikoittamiseen. Valitaan luotu taso ja koordinaatiston mukainen taso, johon malli halutaan paikoittaa. Kuvassa 21 on havainnollistettu toiminnon käyttöä.



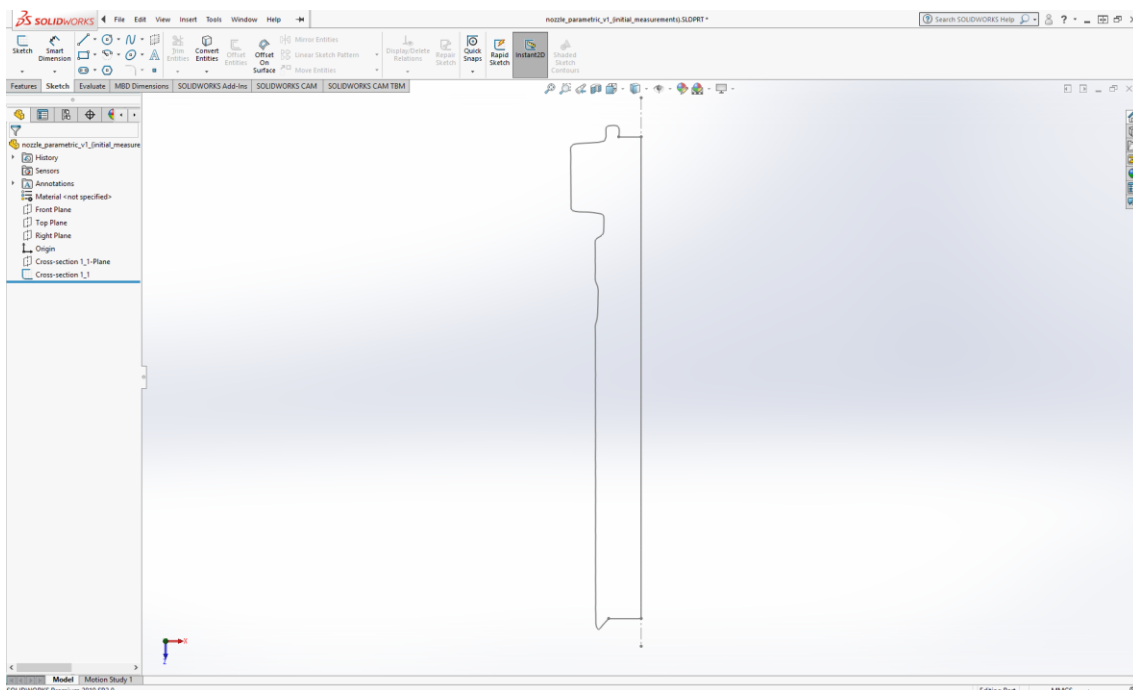
KUVA 21. Align to origin -toiminto

Seuraavaksi voidaan ottaa poikkileikkaus kappaleesta Create Cross Section -työkalulla. Valitaan vaan haluttu taso, jonka mukaan poikkileikkaus otetaan. Poikkileikkauksen piirteet saadaan siirrettyä SolidWorksiin Transfer to SolidWorks -toiminnolla, jossa niitä voidaan käsitellä tarkemmin. Siirretyt poikkileikkauksen piirteet on esitetty kuvassa 22.



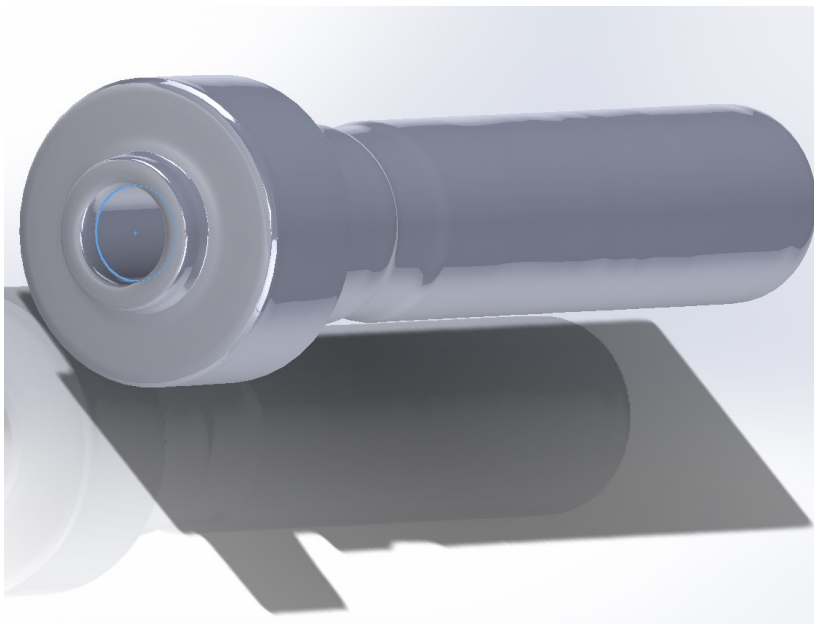
KUVA 22. Poikkileikkauksen piirteet SolidWorks-ohjelmassa

Käsitellään sketsiä, jotta saadaan suljettu profiili. Suljettu profiili voidaan pyöräyttää 360 astetta ja saadaan haluttu kappale. Suljettua profiilia on havainnollistettu kuvassa 23.



KUVA 23. Suljettu profiili SolidWorks-ohjelmassa

Pyöräytetään profiili 360 astetta Revolve-toiminnolla ja lopuksi mallinnetaan läpi menevä reikä kappaleeseen käyttämällä toimintoa. Kuvassa 24 on esitetty CAD-malli SolidWorks-ohjelmassa.



KUVA 24. Skannattu malli SolidWorks-ohjelmassa

### 6.3.3 Arvio

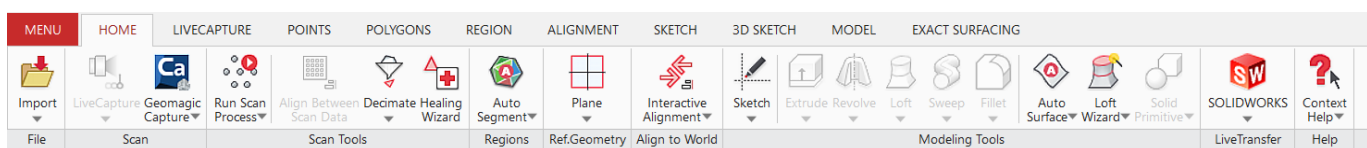
Ohjelmisto toimii hyvin yhdessä Creaformin omien skannereiden kanssa. Jos käytetään muuta kuin Creaformin omaa skanneria niin tarvitaan ohjelma, jolla verkotetaan pistepilvidata. Ohjelmaan ei pysty tuomaan ulkopuolista pistepilvidataa, mikä on ohjelman suurin miinuspuoli. Skannatusta mallista piirteiden, kuten viivojen tai käyrien siirtäminen CAD-ohjelmaan on yksi ohjelmiston plussapuolia. Ohjelmisto on helppokäyttöinen ja käyttöliittymä on intuitiivinen. VXElementissä pystyy helposti vertaamaan skannattua ja alkuperäistä CAD-mallia toisiinsa. Suora tuki SolidWorksille, Inventorille ja SolidEdgelle on hyvä asia. Ohjelma ei ole kallis ja vertailtavista ohjelmista ainoastaan Artec Studio 13 on halvempi.

## 6.4 Geomagic Design X

### 6.4.1 Yleistä

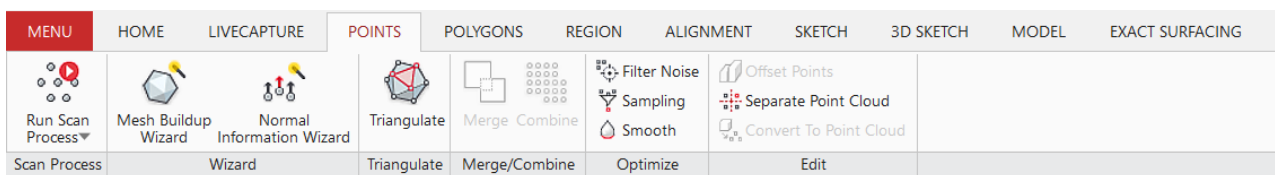
Geomagic Design X on pistepilven ja verkon käsittelyyn tarkoitettu ohjelma. Sen avulla pystyy verkotetusta datasta luomaan CAD-mallin ohjelmassa tai siirtämään verkotetun datan piirteitä esimerkiksi SolidWorksiin ja tuottamaan näiden piirteiden avulla mallin. Geomagic Design X on skannerinvalmistajan ohjelmisto, mutta se tukee laajasti myös muita, kuin 3D systems skannereiden -formaatteja. Ohjelmasta on saatavissa 15-päivän kokeilulisenssi ilman rajoituksia. Yhden lisenssin hinta on 18000 euroa (Artec3D N.d).

Kuvassa 25 näkyvän Home-välilehden alle ohjelma kokoaa tärkeimpiä ja eniten käytettyjä toimintoja. Lisäksi Home-välilehdeltä löytyy Livetransfer- ja Help-painikkeet.



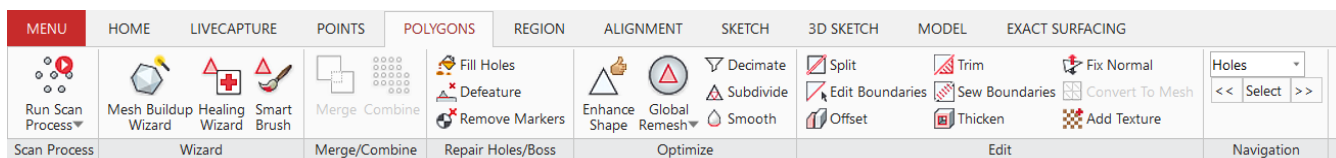
KUVA 25. Home-välilehden toimintoja

Kuvassa 26 näkyvän Points-välilehden alta löytyvät toiminnot pistepilven muokkaamiselle ja verkon luomiselle. Run Scan process -kohdasta on mahdollista käynnistää skannausprosessi.



KUVA 26. Points-välilehden toimintoja

Meshin muokkaamiseen toimintoja löytyy Polygons välilehden alta. Välilehdeltä löytyvät toiminnot on esitetty kuvassa 27.

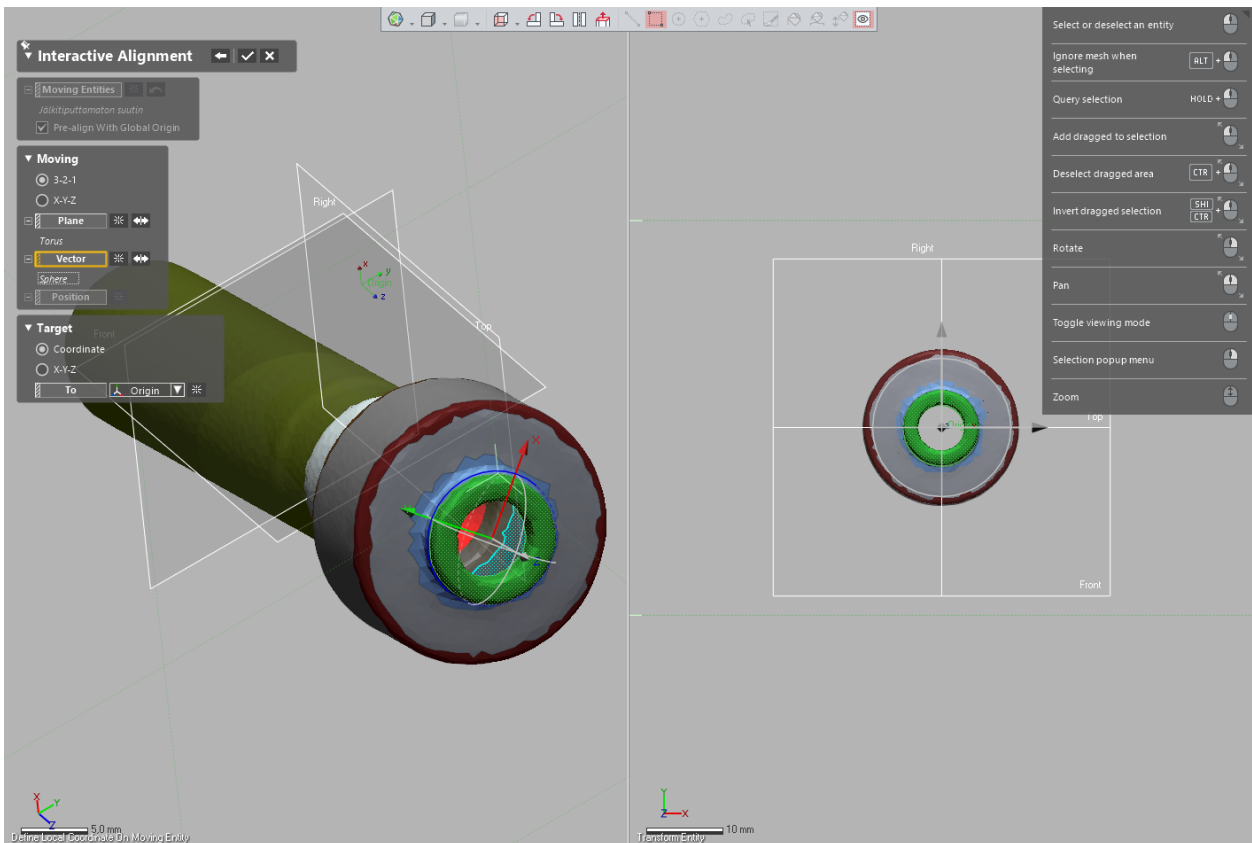


KUVA 27. Polygons-välilehden toimintoja

Sketch-, 3D sketch- ja model-välilehtien alta löytyvät toiminnot piirteiden luomiseen ja SOLID-mallin luomiseen piirteiden avulla. Mallin paikoitustyökalut löytyvät Alignment-välilehden alta.

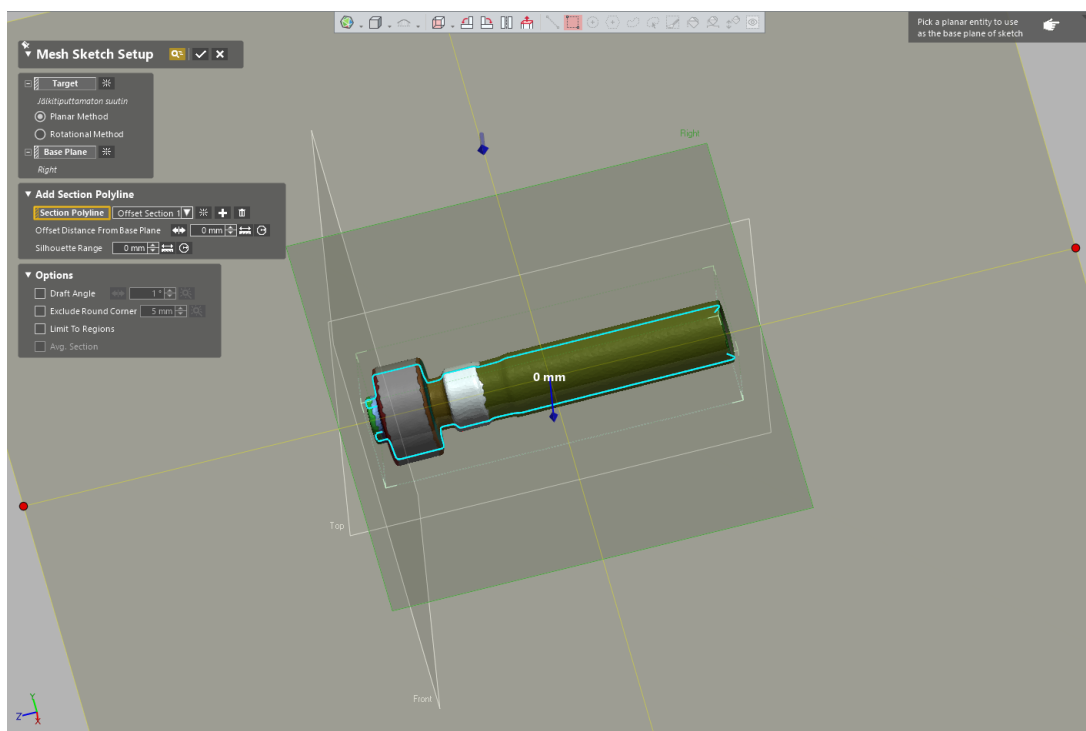
#### 6.4.2 Mallin muuttaminen CAD-formaattiin

Kun halutaan verkotetusta datasta luoda CAD-malli on aluksi paikoitettava kappale koordinaatistoon. Tätä ennen on kuitenkin käytettävä Auto segment -toimintoa. Toiminnon avulla ohjelma tunnistaa kappaleessa olevat geometriset muodot, kuten tasomaiset pinnat. Tämän jälkeen voidaan paikoittaa kappale valitsemalla pinta sekä vektori, joiden mukaan kappale halutaan paikoittaa. Toiminnon käyttöä on havainnollistettu kuvassa 28.



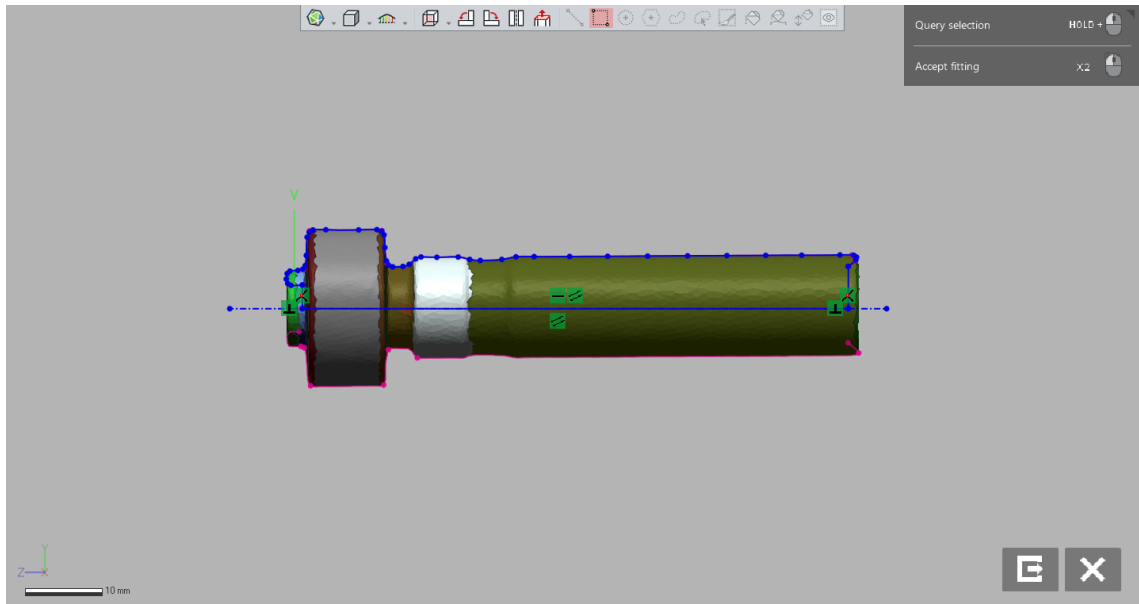
KUVA 28. Interactive Alignment -toiminto

Paikoittamisen jälkeen käytetään kuvassa 29 näkyvää Mesh Sketch -toimintoa. Toiminnon avulla saadaan otettua skannatusta kappaleesta poikkileikkaus. Valitaan vaan haluttu taso, jonka mukaan poikkileikkaus otetaan.



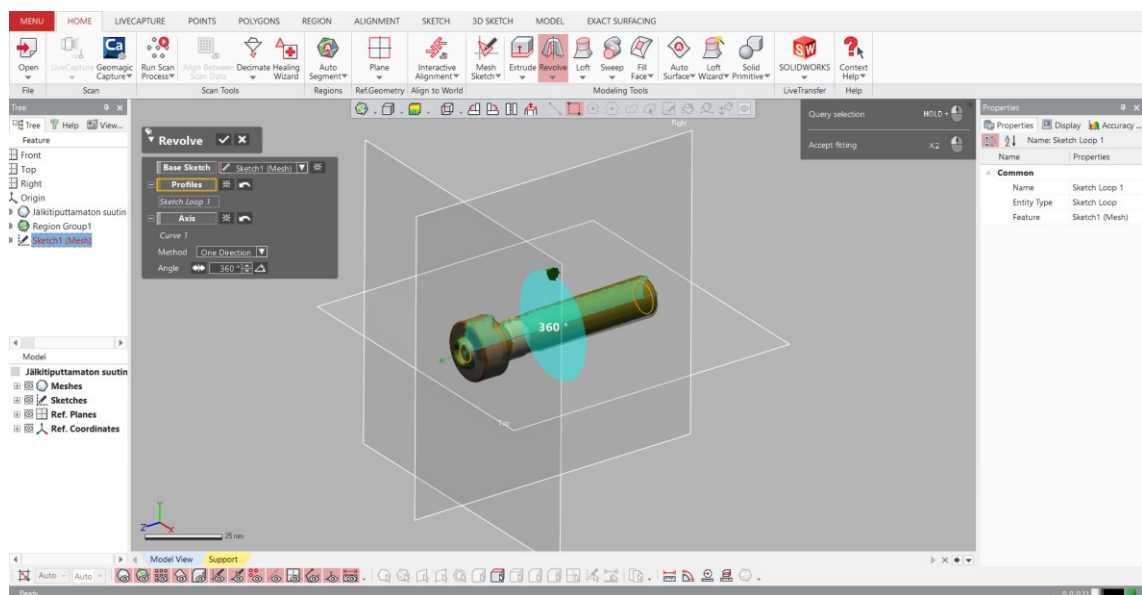
KUVA 29. Mesh Sketch -toiminto

Seuraavaksi piirretään spline käyttäen poikkileikkauksen geometriaa apuna. Jotta pystytään pyöräyttämään revolve-toiminnolla haluttu muoto, pitää profiilin olla suljettu. Piirretään keskiviiva ja suljetaan muoto viivojen avulla. Kuvassa 30 on esitetty valmis sketsi.



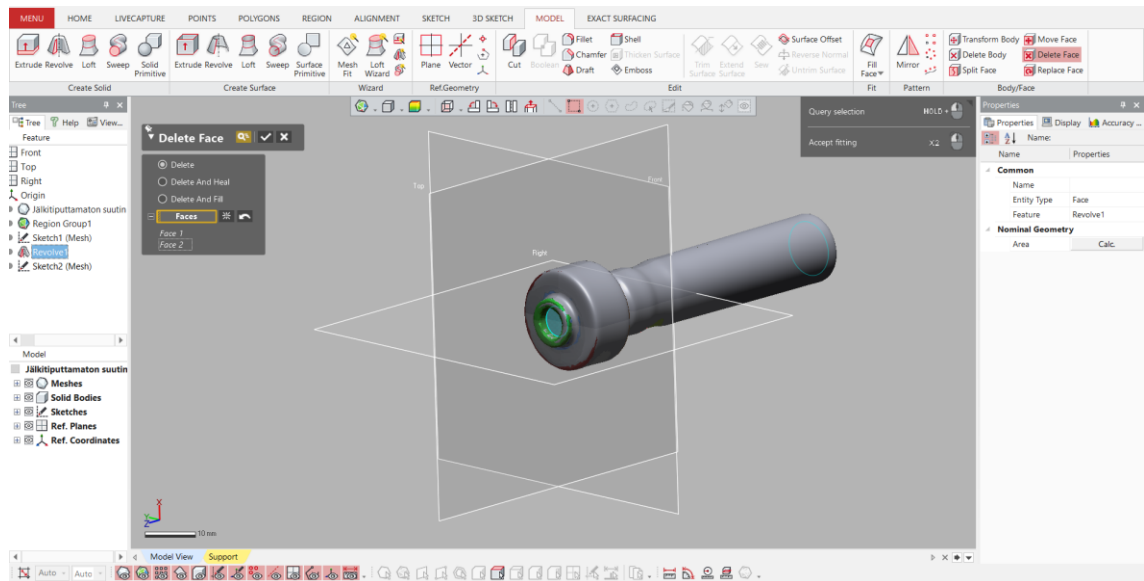
KUVA 30. Pyöräytettävä valmis sketsi

Käytetään kuvassa 31 näkyvää Revolve-toimintoa ja pyöräytetään sketsi 360 astetta. Viimeistellään toiminto oikein merkki kohdasta.



KUVA 31. Revolve-toiminto

Lopuksi poistetaan molemmista päistä pinnat kuvassa 32 näkyvällä Delete Face -toiminnolla, jotta saadaan kappaleen läpi menevä reikä näkyviin. Valitaan pinnat hiiren vasemmalla näppäimellä ja viimeistellään toiminto oikein merkki kohdasta.



KUVA 32. Delete Face -toiminto

Valmis malli voidaan siirtää SolidWorksiin Live Transfer To SOLIDWORKS -toiminnolla. Valitaan vain pyörähdykappale ja sen sketsi sekä Delete Face -toiminnon sketsi. Kuvassa 33 on esitetty valmis malli SolidWorksissa.



KUVA 33. Valmis CAD-malli

Toisin kuin VXelements-ohjelmassa, Geomagicilla luotu malli on täysin kappaleen mukainen. VXelementsin avulla luotu CAD-mallin sisäosa ei ole alkuperäisen kappaleen mukainen.

### **6.4.3 Arvio**

Geomagic Design X on todella paljon eri ominaisuuksia. Tuntuu siltä, että ominaisuuksia on liikaakin ja käytettävyys kärsii. Ohjelmistosta löytyy suora tuki laajalle joukolle eri CAD-ohjelmia: SolidWorks, Siemens NX, Solid Edge, Autodesk Inventor, PTC Creo ja Pro/ENGINEER. Ohjelmistosta löytyy myös laaja tuki eri tiedostomuodoille, ohjelmasta löytyy tuki yli 60 eri formaatille. Ohjeistusta on saatavilla hyvin netistä sekä ohjelma neuvoo käyttäjää eri toimintojen käytössä. Verkotetusta mallista CAD-mallin luonti on plussapuoli. Ohjelmisto on kuitenkin todella kallis, sillä yksi lisenssi maksaa 18000 euroa.

## **6.5 Cyborg3D MeshToCAD**

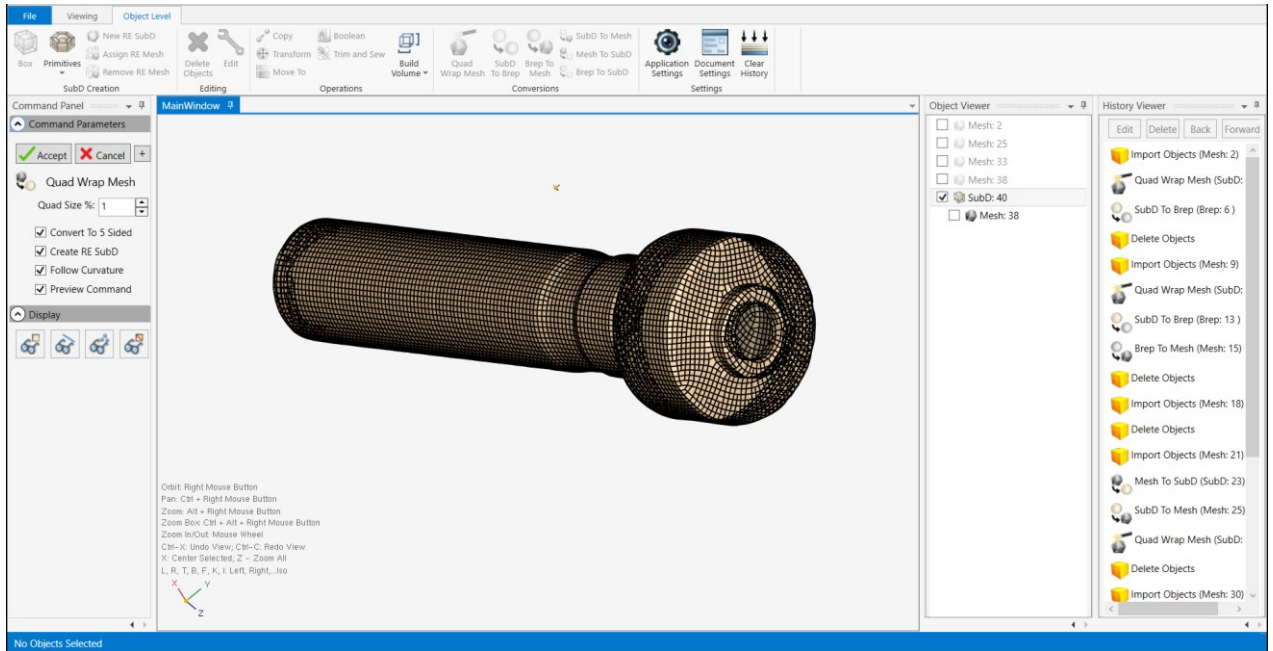
### **6.5.1 Yleistä**

Cyborg3D MeshToCAD -ohjelman avulla STL- tai OBJ-muodossa olevasta verkotetusta mallista saadaan STEP-, IGES- tai SAT-muodossa oleva CAD-tiedosto. Ohjelmasta oli saatavissa 30 päivän kokeilulisenssi. Kokeiluversion rajoituksena tosin on, että sillä ei pysty tallentamaan tiedostoa CAD-tiedostoksi. Yksi ikkilisenssi maksaa noin 1800 euroa. (Cyborg3D N.d). Ohjelmasta löytyy työkalut verkotetun mallin koordinaatistoon asettamiseen, verkon koon muuttamiseen, verkon korjaamiseen sekä pinnan tasoitukseen.

### **6.5.2 Mallin muuttaminen STEP/IGES-formaattiin**

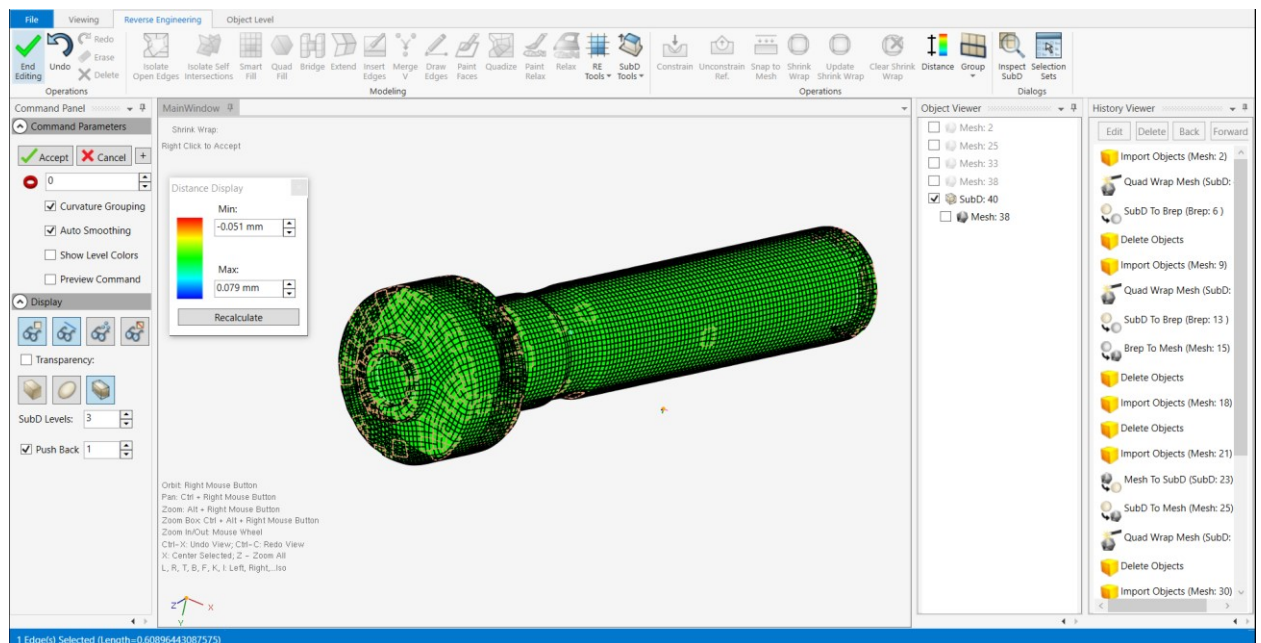
Kokeillaan IGES/STEP/SAT-tiedoston muodostamista. Painamalla hiiren vasenta painiketta mallin kohdalla, se muuttuu vaalean siniseksi. Kun mallin väri on

vaalean sininen, malli on silloin valittu. Valitaan Quad Wrap Mesh -toiminto, joka tekee neliöverkon kappaleeseen. Valitaan haluttu Quad size eli yhden neliön koko prosentteissa verrattuna koko kappaleeseen. Tyypillisesti tämä arvo on 0,25% ja 4% välissä. Mitä pienempi arvo valitaan, sitä tarkempi verkko ja samalla myös raskaampi malli saadaan. Kokeilemalla selviää paras arvo. Yhden prosentin Quad size -valinnalla saatiin kuvassa 34 näkyvä neliöverkotettu malli.



KUVA 34. Neliöverkotettu malli

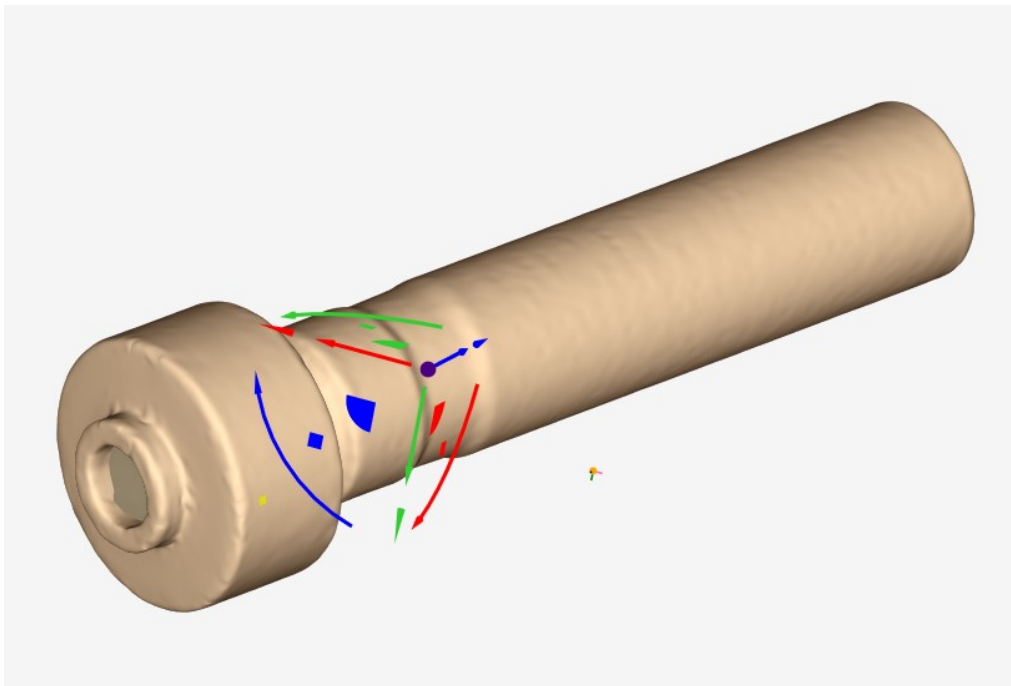
Seuraavaksi käytetään shrink wrap -toimintoa, jolla saadaan neliöverkotettuun malliin lisättyä yksityiskohtia lisäämällä kärkipisteitä. Ennen sitä käytetään kuitenkin Isolate open edges -työkalua, jolla pystytään tunnistamaan aukot



KUVA 35. Shrink wrap- ja distance-toiminto

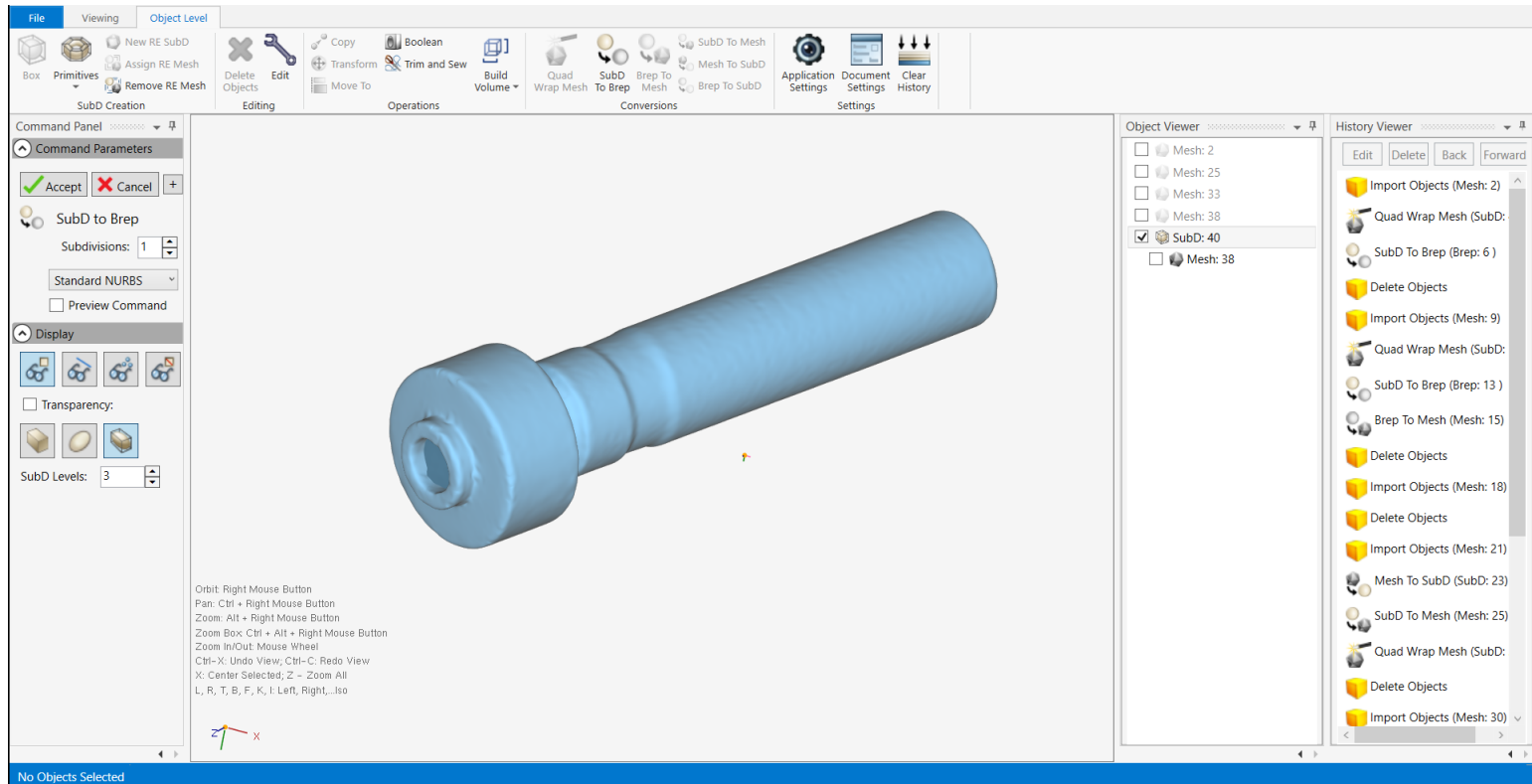
mallista. Tämän jälkeen voidaan paikata ei toivotut aukot mallista. Ohjelma ei kuitenkaan löytänyt aukkoja, joten siirryttiin shrink wrap -toiminnon käyttöön. Shrink wrapissa on kolme tasoa, nolasta kahteen. Kakkostasolla ohjelma lisää eniten pisteitä. Distance-toiminnon avulla pystytään arvioimaan, mikä taso riittää. Kuten kuvasta 35 nähdään, distance-toiminto esittää värikartan sekä näyttää maksimi- ja minimivirheen, joka on alkuperäisen verkotetun mallin ja neliöverkotetun mallin välillä. Curvature Grouping -asetuksella voidaan pienentää mallin ko-koa, mutta myös mallin tarkkuus pienenee.

Kuvassa 36 on esitetty Shrink Wrap -toiminnon jälkeen saatu tulos. Tasolla nolla saatiin tarpeeksi tarkka tulos. Minimi- ja maksimi arvot mahtuivat 0,1mm sisään, kuten kuvassa 35 nähdään.



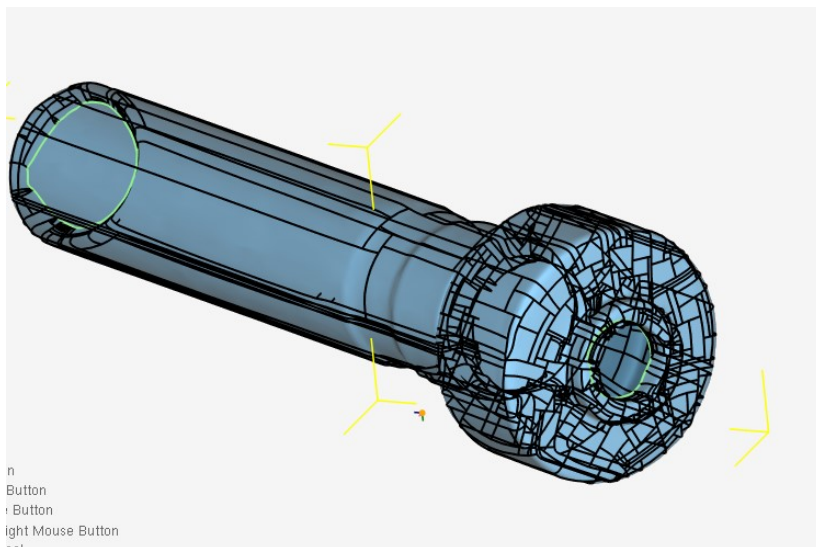
KUVA 36. Malli Shrink Wrap -toiminnon jälkeen

Käytetään seuraavaksi Isolate Self Intersections -toimintoa, joka tunnistaa huonot pinnat mallista. Lopuksi käytetään kuvassa 37 esitettyä SubDTo Brep -toimintoa. Toiminnon avulla malli muutetaan NURBS-malliksi. Aiempien asetuksen pohjalta ohjelma määrittää kuvassa 37 näkyvään Subdivision-kohtaan arvon.



KUVA 37. SubD to Brep -toiminto

Valmis NURBS-malli on esitetty kuvassa 38. NURBS-malli voidaan viedä STEP/IGES/SAT formaattiin. NURBS-mallia voi säädellä muotoa ohjaavilla ohjaukskulmioilla.



KUVA 38. NURBS-malli

### 6.5.3 Arvio

Ohjeistus ohjelmiston käyttöön on hyvää, sillä ohjelman käyttöliittymä on intuitiivinen ja ja youtube:n videoissa on lisäksi myös lisäohjeistusta. Lisenssi maksaa 1800 euroa, joten ohjelmisto on siis toiseksi halvin vertailtavista ohjelmista.

Tuki tiedostomuodoille on yksi miinuspuoli, eikä ohjelmisto tue lainkaan pistepilvidataa. Ohjelmistossa ei ole myöskään niin paljon ominaisuuksia verkotetun mallin muokkaamiseen, kuin esimerkiksi 3DReshaperissa tai Geomagic Design X on.

## 6.6 Lopputulos

Ohjelmistojen vertailu on esitetty taulukossa 3. Ohjelmistot pisteytettiin asteikolla 0-2 eri kriteerien mukaan. Nolla pistettä tarkoittaa todella huonoa ja 2 pistettä tarkoittaa erinomaista.

TAULUKKO 3. Ohjelmistojen pisteytystaulukko

Kategoriat	Artec Studio 13	3DReshaper	Vxelements	Geomagic Design X	Cyborg3D MeshToCAD
Tuki tiedostomuodoille	0	2	1	2	1
Monipuolisuus	0	2	1	2	0
Ohjeistus	2	0	2	2	2
Hinnoittelu	2	0	1	0	2
Helppokäyttöisyys	2	0	2	1	1
Verkotetusta datasta CAD-tiedostoon	0	1	2	2	1
Pisteet yhteensä	6	5	9	9	7
Lopulliset arvosanat (skaalaus)	7	6	10	10	8

Kuten taulukosta nähdään Creaformin Vxelements sai saman verran pisteitä, kuin Geomagic Design X. Lisäksi ohjelmistoja vertailtiin taulukossa 4 sellaisten ominaisuuksien suhteen, jotka ovat erittäin tärkeitä yritykselle parhaan ohjelmiston valinnassa.

TAULUKKO 4. Ohjelmistojen vertailutaulukko

Kategoriat	Artec Studio 13	3DReshaper	Vxelements	Geomagic Design X	Cyborg3D MeshToCAD
Verkotetusta datasta CAD-tiedostoon	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Hinta 1 lisenssille (elinikäinen lisenssi, halvimmillaan)	1000e	11000e	5000e	18000e	1800e
Tuki pistepilvidatalle	Kyllä	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei
Tuki muiden skannereiden datalle	Kyllä	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä

Kaikki vertailtavat ohjelmistot olivat natiiveja, eli näitä ohjelmia käytetään itsenäisesti. Lisäksi löytyy ohjelmistoja, jotka on sulautettu suoraan CAD-ohjelmiston sisälle, kuten esimerkiksi Power Surfacing plugin. Jos käytetään muuta skanneria, kuin Creaformin valmistamaa niin kannattaa valita Geomagic Design X -ohjelmisto. Vxelements ei tue kuin Creaformin omia skannereita, eikä ohjelmaan pysty tuomaan pistepilvidataa. Artec Studio tukee lähinnä Microsoft Kinect-, ASUS Xtion-, PrimeSense-, Intel RealSense F200-, R200 & SR300-, XYZprinting -merkkisten skannereiden dataa. Kuten aiemmin mainittiin, 3Dreshaper tukee ainoastaan AutoCad-ohjelmaa ja verkotetusta datasta natiivi CAD-mallin teko on hankalaa. Koska ohjelmisto tukee vain AutoCadia ja CAD-mallin muodostaminen on haastavaa, niin ominaisuutta ei testattu. Ohjelmisto tukee kuitenkin STEP/IGES-mallin muodostamista, kuten tukee myös Cyborg3D MeshToCAD. Vxelementsillä natiivi CAD-tiedoston muodostaminen on kaikkein helpointa vertailtavista ohjelmista.

## 7 TESTIKAPPALEIDEN SKANNAUSMENETELMÄT

### 7.1 Skannattavat kappaleet

12.3.2019 matkustin Espooseen, jossa skannasimme kuvassa 39 näkyvät ruostumattomat teräskappaleet (316L) 3D-skannerilla. Skannaus toteutettiin yhdessä Aalto yliopiston opiskelijoiden ja Välimeren Herkut -yrityksen kanssa. Välimeren Herkut Oy:n toimialana on elintarvikkeet.



KUVA 39. Skannattavat teräksiset kappaleet

Lisäksi skannattiin kuvassa 40 näkyvä polymeerinen kappale. Polymeerinen kappale oli kaikkein nopein ja helpoin skannattava. Tarkemmin skannauksen suorituksesta on kerrottu kappaleessa 8.



KUVA 40. Skannattava polymeerinen kappale

Kuvassa 41 esitetyt kappaleet liittyvät ruoan annostelijaan. Tavoitteena oli valmistaa prototyyppi eli haluttiin 3D-skannata ja 3D-tulostaa kuvassa 41 näkyvät osat.



KUVA 41. Ruoan annostelijan osia

Kuvassa 42 näkyvä kappale on teräksinen jälkitippumaton suutin, josta oli tarkoituksena tehdä myös parametrinen CAD-malli. Parametrisen CAD-mallin luontia ei kuitenkaan tässä opinnäytetyössä käsitellä.



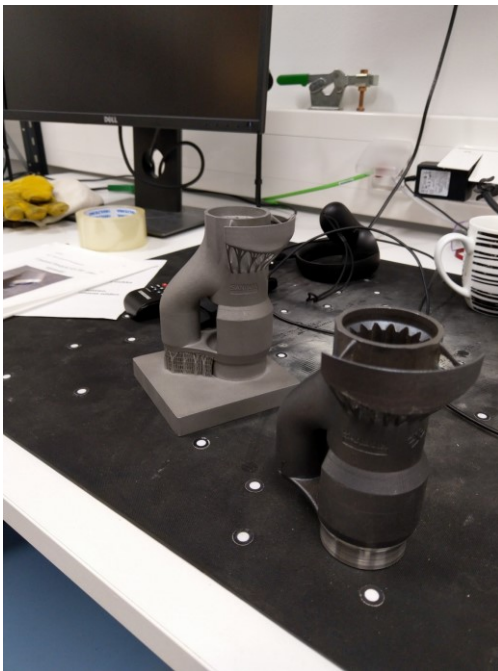
KUVA 42. Teräksinen jälkitippumaton suutin

Kuvassa 43 näkyvä kappale on neulasuutin. Neulasuutin on kallis valmistaa ja sillä on pitkä toimitusaika, joten osan 3D-skannaus ja skannatun mallin 3D-tulostus on on hyvä vaihtoehto kuluneen tai rikkoutuneen varaosan hankkimiseksi.



KUVA 43. Neulasuutin

Tampereen Ammattikorkeakoululla skannattiin kuvassa 44 näkyvät koneen hammasrattaat. Osat eroavat toisistaan ainoastaan siten, että oikealla näkyvä on lämpökäsitelty. Molemmat ovat materiaaliltaan työkaluterästä.



KUVA 44. Työkaluteräksiset koneen hammasrattaat

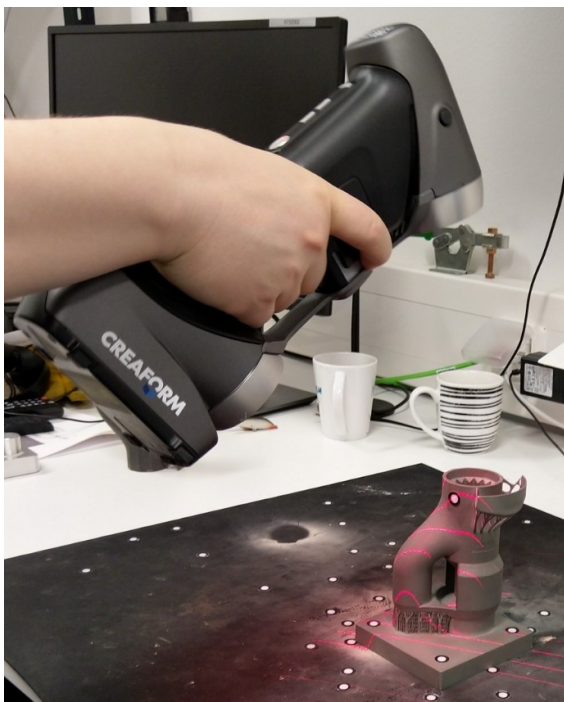
## 7.2 Käytettävät skannerit

Espoossa kappaleiden skannauksessa käytettiin kuvassa 45 näkyvää Atos Core 200 -merkkistä 3D-skanneria. Laitteessa on kaksi kameraa ja yksi projektori, joka heijastaa sinistä valoa kohteen pintaan. Halvimmillaan Atos Core 200 -skannerin saa 50000 eurolla ja kuvassa 45 näkyvä perusmalli maksaakin juuri sen verran. Skannerin maksimi resoluutio on 0,08 millimetriä, suurin tarkkuus 0,01 millimetriä ja maksimi työskentelyetäisyys 0,25 metriä. Skanneri käyttää tekniikkanaan strukturoitua valoa ja sillä pystyy skannaamaan kohteita, joiden halkaisijat ovat 0,05 metristä 0,5 metriin.



KUVA 45. Atos Core 200 3D-skanneri

Tampereen Ammattikorkeakoululla kappaleiden skannauksessa käytettiin kuvassa 46 näkyvää Creafom HandySCAN 700 -merkkistä skanneria. Laitteessa on kaksi kameraa ja projektori, joka heijastaa laser valoa kohteen pintaan. Skannerin suurin tarkkuus on 0,03 millimetriä, maksimi resoluutio 0,05 millimetriä ja maksimi työskentelyetäisyys 0,55 metriä. Skanneri käyttää tekniikkanaan laser-kolmiomittausta ja sillä pystyy skannaamaan kohteita, joiden halkaisijat ovat 0,1 metristä 4 metriin. Halvimmillaan Creafom HandySCAN 700 -skannerin saa 30000 eurolla.



KUVA 46. Creaform HandySCAN 700 -3D-skanneri

## 8 SKANNAUSTEN SUORITUS

### 8.1 Scan to print projekti

Skannausta edelsi skannauksen alkuvalmistelut. Aluksi kytkettiin laitteeseen johdot. Sen jälkeen oli odotettava noin 20 minuuttia, että laite lämpeneni. Tämän jälkeen voidaan aloittaa laitteen kalibrointi. Kalibroinnissa GOM Scan -ohjelma opasti nostamaan, laskemaan, kallistamaan ja liikuttamaan vaakasuunnassa skannaus tasoa. Kalibrointi kesti noin 30 minuuttia. Kalibroinnissa käytettiin kuvassa 47 näkyvää alustaa.



KUVA 47. Atos Core 200 -kalibrointi

Skannauksen asetukset käytiin läpi kalibroinnin jälkeen. Taulukossa 5 on esitetty skannauksessa käytetyt parametrit.

## TAULUKKO 5. Skannauksessa käytettävät parametrit

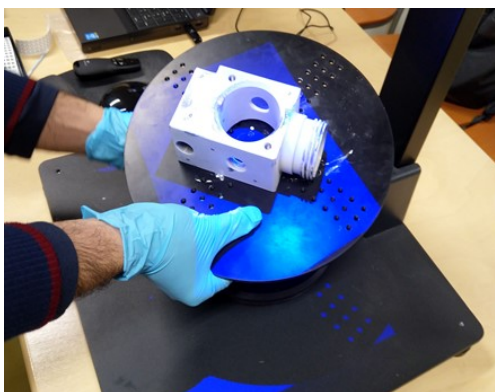
<b>Calibration points</b>	3657 points
<b>Certified lengths</b>	360.000 / 360.000 mm
<b>Certification temperature</b>	22.0 °C
<b>Expansion coefficient</b>	$3.25 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$
<b>Measurement temperature</b>	22.0 °C
<b>Camera lenses</b>	12.50 mm
<b>Focal length (projector)</b>	8.00 mm
<b>Light intensity</b>	100 %
<b>Snap mode</b>	Double snap
<b>Ellipse quality</b>	0.4
<b>Calibration deviation</b>	0.051 Pixels
<b>Calibration deviation (optimized)</b>	0.016 Pixels
<b>Calibration deviation (check)</b>	OK (limit value: 0.100 Pixels)
<b>Projector calibration</b>	0.121 Pixels
<b>Projector calibration (optimized)</b>	0.016 Pixels
<b>Projector calibration (check)</b>	OK (limit value: 0.250 Pixels)
<b>Camera angle</b>	24.2°
<b>Height variance</b>	140 mm
<b>Measuring volume</b>	200 / 145 / 145 mm

Teräksiset kappaleet oli pinnoitettava titaanioksidilla, koska kiiltävä pinta haittaa skannaamista. Kuvassa 48 on esitetty kappaleet, jotka skannattiin ja pinnoitettiin ensimmäisinä.



KUVA 48. Titaanioksidilla pinnoitettavat teräksiset kappaleet

Tämän jälkeen kappaleiden pintaan kiinnitettiin referenssipisteet. Vaikeimmissa kohdissa skanneri edellyttää, että neljä referenssipistettä näkyy koko ajan. Referenssipisteet kannattaa kohdistaa mahdollisimman epäsymmetrisesti paikoilleen ja kameralla pitää olla samanaikaisesti näkyvissä vähintään 3 referenssipistettä, jotta skannaus onnistuu. Referenssipisteiden kiinnittämisen jälkeen voitiin aloittaa varsinainen skannausprosessi. Kuvassa 49 näkyvää tasoa kallistettiin ja käännettiin pyöritysalustalla, jotta kappale saatiin skannattua kokonaan.



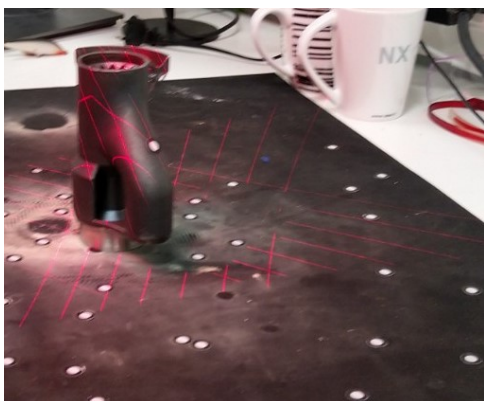
KUVA 49. Ruuan annostelijan osan 3D-skannausta

Skannattu malli verkotettiin ja tallennettiin STL-muotoon GOM scan -ohjelmassa ja STL-mallia jälki käsiteltiin GOM Inspect -ohjelmassa. Malleja ei käsitelty kuitenkaan loppuun asti vaan niihin jäi vielä jälkikäsiteltävää. Sama prosessi toistettiin kaikilla kappaleilla. Ainoastaan muovista kappaletta ei tarvinnut pinnoittaa titaanioksidilla.

Atos Corella skannatessa sopimaton valaistus tai pienikin tärähdys voi vaikuttaa lopputulokseen. Skannauksessa ongelmia aiheutti referenssipisteiden irtoaminen, mikä hidasti skannausprosessia. Referenssipisteiden irtoaminen johtui titaanioksidipinnoituksesta. Referenssipisteiden liima ei pidä kunnolla, kun kappale on päällystetty titaanioksidilla. Eniten aikaa vei kuvassa 48 näkyvän isomman kappaleen skannaus, mikä kesti 1,5 tuntia. Pitkään skannausaikaan vaikutti varmasti skannauksen tekijöiden kokemattomuus skannerin käytöstä. Kuvassa 40 näkyvän kappaleen skannaus kesti 15 minuuttia, mikä oli lyhin aika.

## 8.2 Skannausprojekti Tampereen Ammattikorkeakoululla

Aluksi laite piti kalibroida. Kalibroinnissa osoitettiin skannerilla kalibroititauluun, jossa oli referenssipisteitä. Laitteen kalibrointi oli nopea prosessi, mikä kesti noin pari minuuttia. Kalibroinnin jälkeen aloitettiin kappaleiden skannaaminen. Ensin skannattiin lämpökäsittelemätön kappale. Lämpökäsittelemättömän kappaleen skannauksessa käytettiin myös skannauksen resoluutiona 0,05 millimetriä ja skannerin suljinajaksi asetettiin 2,43 millisekuntia. Muuten käytettiin ohjelman oletusasetuksia. Lämpökäsittelemättömän kappaleen skannauksen jälkeen skannattiin lämpökäsitelty kappale. Lämpökäsitellyn kappaleen skannauksen resoluutioksi asetettiin 0,05 millimetriä ja skannerin suljinajaksi (Shutter) 1,39 millisekuntia. Muuten käytettiin ohjelman oletusasetuksia. Oletuksena skanneri käyttää kuvassa 50 näkyvää ristikon muotoista laserkuviota, joka saadaan muuttamaan myös viivakuvioksi parilla nopealla napinpainalluksella.



KUVA 50. Oletuksena käytössä oleva ristikon muotoinen laserkuvio

Yksittäisen viivan avulla saa paremmin skannattua kappaleen yksityiskohtia ja vaikeimpia kohtia. Skanneri vaatii, että neljä referenssipistettä näkyy koko ajan. Referenssipisteet on syytä asettaa mahdollisimman epäsymmetrisesti paikalleen. Skannaus suoritettiin mustan värisellä mittauspöydällä. Referenssipisteitä asetettiin mittauspöydälle ja lämpökäsittelemättömässä kappaleessa kappaleen suorille pinnoille. Lämpökäsiteltyä kappaletta skannattiin kaksi kertaa ja skannaukset yhdistettiin VXelements-ohjelmalla. Jos referenssipisteitä olisi kiinnitetty vain skannattavaan kappaleeseen niin silloin kappaletta olisi voinut käänellä vapaasti ilman, että pöytä olisi tullut mukaan skannaukseen. Molempien kappaleiden skannaus kesti noin 30 minuuttia. Skannattuja malleja jälkikäsiteltiin Vxelements-ohjelmalla, jonka käyttöä on käsitelty luvussa 6. Kaikissa skannauksissa

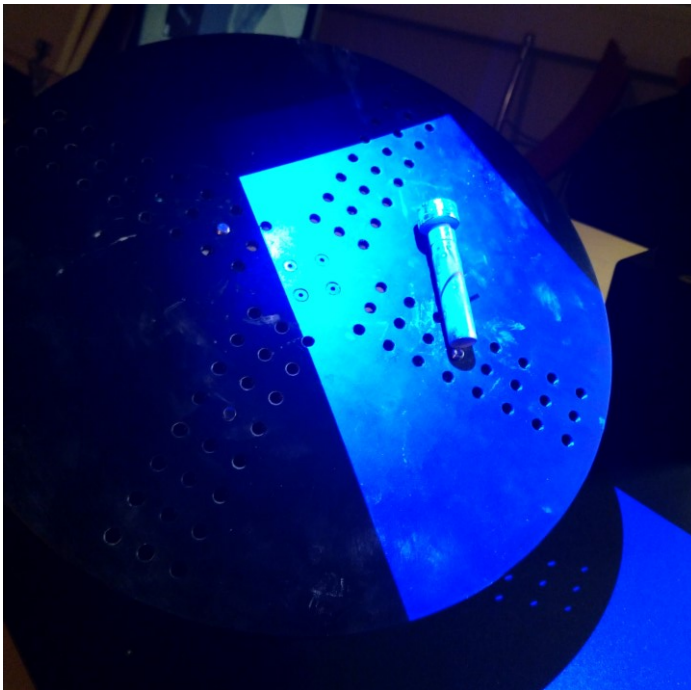
tuli pöytä mukaan skannaukseen, joka piti poistaa jälkikäsittelemällä skannausdataa.

## 9 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

Molemmissa mittauksissa virheitä aiheutti kokemattomuus skannaamisesta. Skannereiden on vaikea skannata reikiä läpi, mikä tuli esille molemmilla skannereilla. Vertailuissa käytettiin VXelements -ohjelmaa, jota on käsitelty luvussa 6.

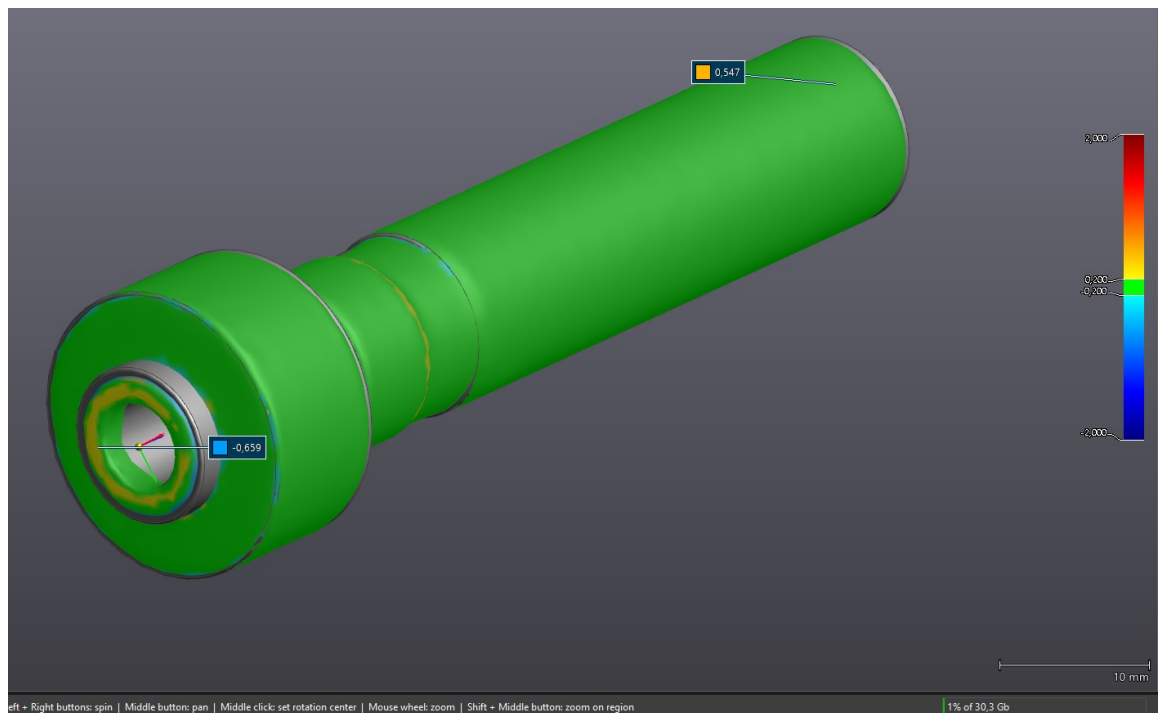
### 9.1 Scan to print projekti

Kuvassa 51 näkyvän jälkitiputtamattoman suuttimen skannauksen laadukkuutta analysoitiin vertaamalla verkotettua sekä jälkikäsiteltyä STL-mallia kappaleen mittauksiin perustuvaan STEP-malliin.



KUVA 51. Skannattava jälkitiputtamaton suutin

Vertaaminen tapahtui kuvassa 52 näkyvän värikartan avulla. Kuten kuvasta nähdään, niin mittauksen vaihteluväli on  $-0,659 \dots -0,547$  mm, ja arvot asettuvat 91,48 %:n tarkkuudella vaihteluvälille  $-0,2 \dots -0,2$  mm.



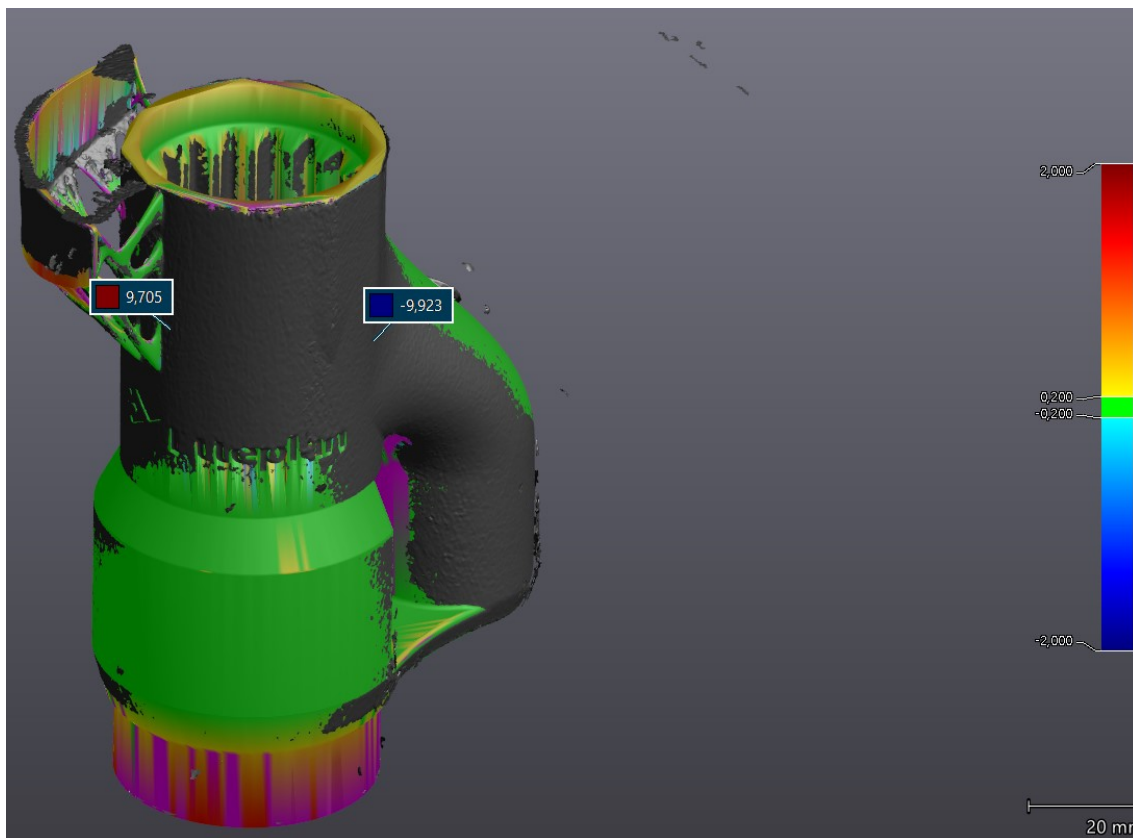
KUVA 52. Värikarta jälkitiputtamattomasta suuttimesta

STEP-malliin virhettä aiheutti kappaleen mittauksessa tapahtunut virhe. Työntömitalla ei mitattu lainkaan o-rengas uran toisen päädyn matalaa olaketta. Kuvasta 52 huomataan, että siihen kohtaan merkiyty suurin virhe on -0,659.

## 9.2 Skannausprojekti Tampereen Ammattikorkeakoululla

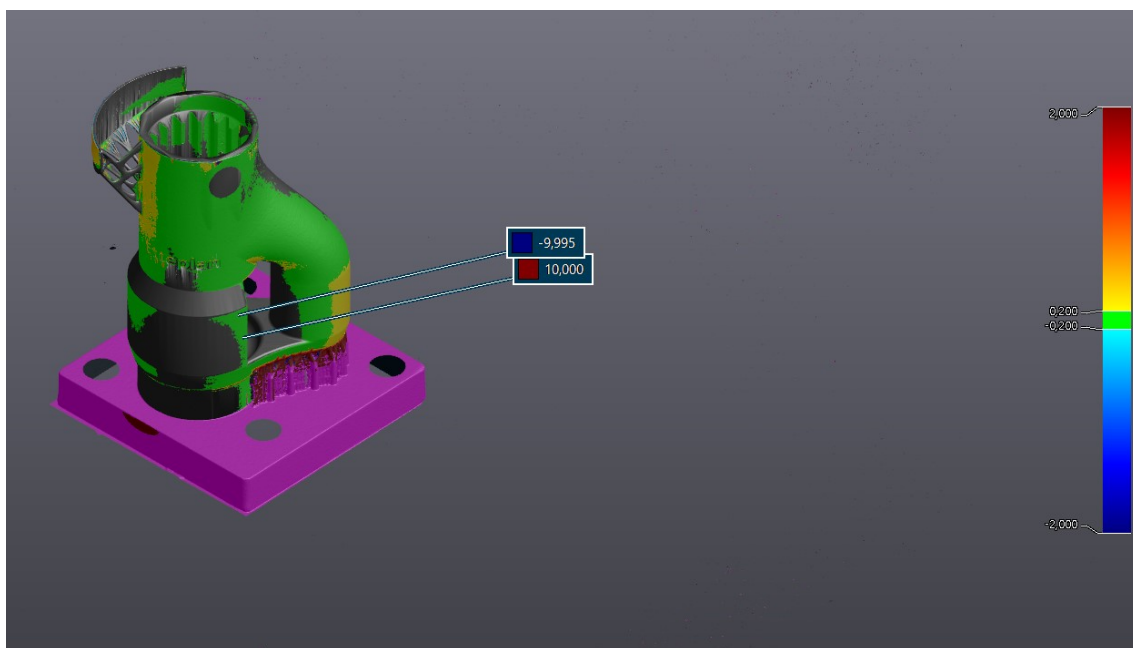
Kuvassa 44 näkyvää lämpökäsiteltyä ja lämpökäsittelemätöntä kappaletta verrattiin mittauksiin perustuvaan printtaus stl-tiedostoon.

Kuvassa 53 on esitetty lämpökäsitellyn ja printatun kappaleen välinen värikarta. Mittauksen vaihteluväli on -9,923 . . . -9,705 mm, ja arvot asettuvat 69,31%:n tarkkuudella välille -0,2 . . . -0,2 mm.



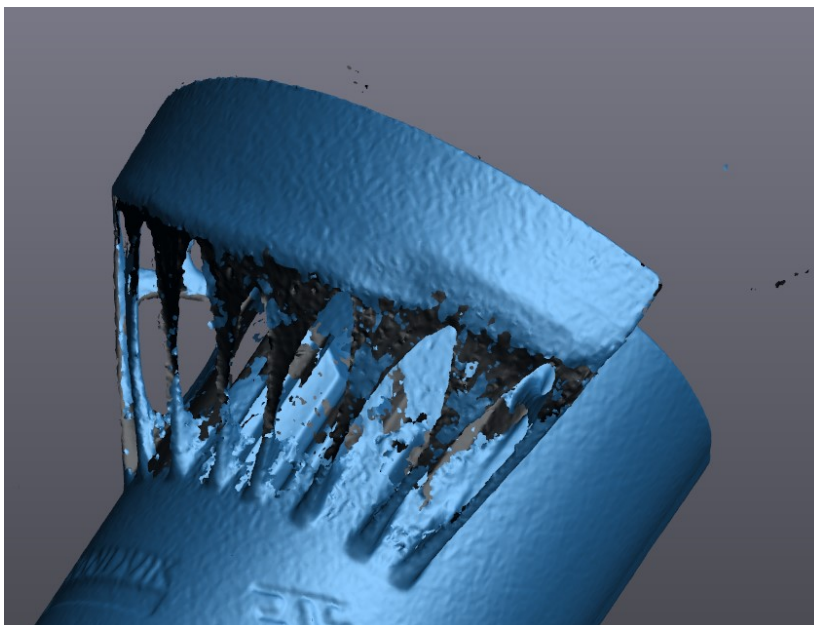
KUVA 53. Värikartta lämpökäsitellystä kappaleesta

Lämpökäsittelemättömän ja printatun kappaleen välinen värikartta on esitetty kuvassa 54. Mittauksen vaihteluväli on  $-9,995 \dots -10$  mm, ja arvot asettuvat 71,75%:n tarkkuudella välille  $-0,2 \dots -0,2$  mm.



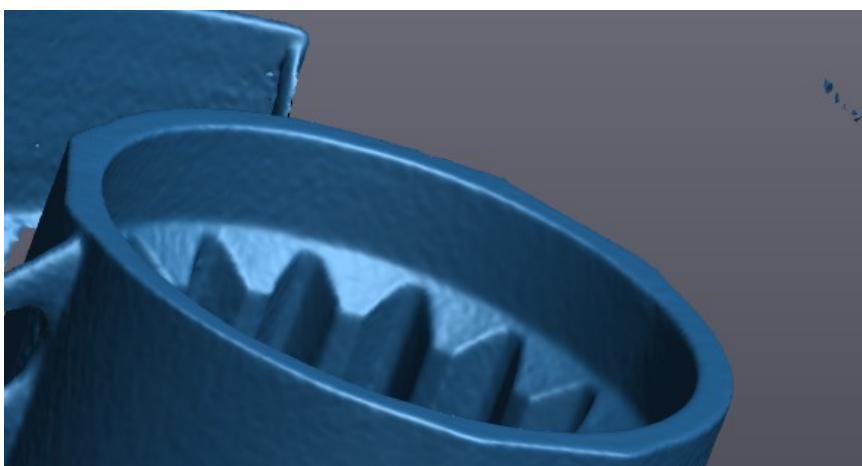
KUVA 54. Värikartta lämpökäsittelemättömästä kappaleesta

Maksimi- ja minimiarvot löytyvät molemmissa kappaleen sisältä. Skannaus ei onnistunut kappaleiden sisältä, joten maksimi- ja minimiarvoja ei kannata ottaa huomioon. Printatusta kappaleesta puuttuu taso, joka näkyy lämpökäsittelemättömässä kappaleessa. Kuvassa 55 näkyvän anturikilven skannaus ei onnistunut kummassakaan skannauksessa.



KUVA 55. Anturikilpi lämpökäsittelemättömässä kappaleessa

Sen sijaan kuvassa 56 näkyvien hammastuksen muotojen skannaus onnistui hyvin molemmissa skannauksissa.



KUVA 56. Hammastus lämpökäsittelemättömässä kappaleessa

Erytisesti lämpökäsiteltyjä ja kiiltäviä pintoja oli vaikea skannata. Jälkikäsitellyssä ohjelma ei pystynyt automaattisesti paikoittamaan skannauksia. Tällöin oli

valittava neljä pistettä molemmista pinnoista, minkä jälkeen ohjelma pystyi paikoittamaan ja yhdistämään pinnat keskenään.

## 10 KAPPALEEN SKANNAUKSESTA 3D-TULOSTUKSEEN

Kappale pitää olla skannattu tai jälkikäsitelty kunnolla. Jos kappaleessa on paljon reikiä tai ylimääräistä pistepilveä ympärillä, skannatusta kappaleesta on vaikea ottaa kunnollisia poikkileikkauksia tai viivoja CAD-tiedoston tekoa varten. Myöskään mallin 3D-printtaaminen ei onnistu, sillä 3D-printtaus vaatii ehyen mallin. Tampereen Ammattikorkeakoululla skannattujen kappaleiden skannaustuloksissa oli jonkin verran reikiä, eikä skannaus näin ollen onnistunut parhaalla mahdollisella tavalla, joten jatkokäsittelyssä CAD-tiedoston luonti niistä oli haastavaa. Jos kappaleessa on läpimeneviä reikiä, kappaleita ei kannata 3D-skannata tai 3D-printata. Jos kappale on huokoinen tai kuitumainen, kuten esimerkiksi kuvassa 57 näkyvä pehmolelu, niin sitä on erittäin vaikea 3D-skannata.



KUVA 57. Huokoinen pehmolelu (Matter and form 2018).

Pyörähdyssymmetriset kappaleet, hammasrattaat ja 2D-kappaleet ovat helppoja 3D-skannattavia kohteita. Kuten luvussa 6 käytiin läpi, niin Espoossa skannatun jälkitiputtamattoman suuttimen muuttaminen CAD-tiedostoksi onnistui helposti. Aikaa kului koko prosessiin noin 20-minuuttia VxElementsillä ja noin 30-minuuttia Geomagic Design X -ohjelmistolla. Geomagic-ohjelmassa CAD-malli luodaan ohjelmiston sisällä, kun taas Vxlements-ohjelmassa siirretään mallin piirteitä SolidWorksiin, jossa piirteistä luodaan CAD-malli. Itse skannaus kesti noin 30 minuuttia ja skannatun kappaleen jälkikäsitelyyn kului noin 30-minuuttia. Kokonaisuudessaan kuluisi aikaa noin tunnin verran. Jos haluttaisiin skannata pöytätuuletin lavat, skannauksessa kestäisi noin 15-minuuttia, jälkikäsitelyssä menisi

noin 15-minuuttia ja CAD-malliin muunnoksessa noin 30-minuuttia. Kokonaisuudessaan siis noin tunnin verran. Ajoissa ei ole otettu huomioon skannauksen valmistelu-aikaa. Valmistelu-aikaan kuuluu mm. 3D-skannerin kalibrointi ja referenssipisteiden asettaminen. Jos verrataan tuulettimen lapojen skannausta Espoossa skannattuun kappaleeseen, niin tuulettimen lapojen väri sopii paremmin 3D-skannaamiseen sekä muoto on yksinkertaisempi. Espoossa skannattavassa kappaleessa on myös pienempiä piirteitä, joten skannaaminen kestäisi kauemmin.

Skannaus voi edellyttää kappaleen pinnoittamista riippuen käytettävästä skannerista. Tutkimuksen aikana havaittiin, että aikaa vievin osuus on kuitenkin skannattun mallin muuttaminen CAD-tiedostoksi.

## 11 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, sopiiko 3D-skannaus insinööritoimiston palvelumalliin ja voiko 3D-skannausta käyttää päivittäisen CAD-työskentelyn ohella yrityksessä. Tuloksena saatiin selville, että 3D-skannaus sopii insinööritoimiston palvelumalliin ja sitä voi käyttää päivittäisen CAD-työskentelyn ohella tietyn rajauksin. 3D-skannereilla ei päästä koneistustarkkuuksiin ja verkotetusta mallista natiivin CAD-mallin muodostaminen on aikaa vievää työtä. Ajankäyttöä voidaan kuitenkin tehostaa koulutuksella, eikä koneistustarkkuuskaan ole aina välttämätöntä. Hyviä skannattavia kohteita ovat pyörähdyssymmetriset kappaleet, hammasrattaat ja 2D-kappaleet. 2D-kappaleita ei tarvitse kääntää, eikä miettiä eri skannausten yhdistämistä. Hammasrattaiden muoto on yksinkertainen, joten niitä on helppo skannata. Pyörähdyssymmetrisistä kappaleista on helppo muodostaa CAD-malli skannauksen jälkeen.

Parhaiksi ohjelmistoiksi valikoituivat Vxelements ja Geomagic design X sekä parhaiksi 3D-skannereiksi Creafordin HandySCAN 700 ja Shining 3D FreeScan X7. Vxelements on Creafordin-ohjelmisto, joten paras valinta skanneriksi olisi Creafordin HandySCAN 700, koska ohjelmisto ja skanneri toimisivat näin keskenään parhaiten.

3D-skannauksessa on liiketoiminnallisia mahdollisuuksia. 3D-skannauksen avulla CAD-mallin muodostaminen skannattavasta objektista on huomattavasti nopeampaa ja helpompaa verrattuna mittausvälineisiin sekä mittojen avulla CAD-mallin muodostamiseen. Tutkimuksessa havaittiin, että parhaaksi valitun Creaform Handy Scan 700 -skannerin sekä parhaaksi valitun Vxelements-ohjelmiston käyttö oli yksinkertaista eikä vaatinut syvempää koulutusta. Pohdinnan arvoinen asia on, että kannattaako omaa 3D-skanneria hankkia vai ei. Skannereiden ja ohjelmistojen hinnat vaihtelevat paljon, sillä esimerkiksi Creaform Handy Scan 700 3D-skanneri maksaa halvimmillaan 30000 euroa ja Atos Core 200 3D-skanneri maksaa halvimmillaan 50000 euroa. Oman skannerin hankinta olisi perusteltua siinä tapauksessa, että 3D-skannauksen odotusajat osoittautuvat kriittisiksi alihankinnan tarjouskyselyprosessien ja alihankintaskannausten vuoksi. Toisaalta hyvä alihankintaketju saattaa toimia myös, jos alihankkijan työkuorma on

tasainen. Tällöin ei tarvitse kysellä tarjouksia, kun hinta on aina vakio. Tutkimuksen avulla saatiin selville 3D-skannauksen rajoitteet ja alihankkijalle asetettavat vaatimukset.

Työ oli mielenkiintoinen, ja sain paljon tietoa mm. eri 3D-skannereista, skannaustekniikoista, ohjelmistoista ja 3D-skannaukseen liittyvistä ongelmista. Kokonaisuudessaan lähes kaikki sujui hyvin ilman mitään suurempia ongelmia. Ainoastaan skannaus Tampereen Ammattikorkeakoululla olisi voinut onnistua paremmin.

## LÄHTEET

Etteplan. N.d. Etteplanin kotisivut. Luettu 18.06.2018. <https://www.etteplan.com/fi>

Prosolve. N.d. ProDigit – 3D-skannauspalvelut. Luettu 7.3.2019. <http://www.prosolve.fi/digit/>

Modena. N.d. History of 3D scanners. Luettu 7.3.2019. <https://www.modena.co.za/history-of-3d-scanners/>

AN-cadsolutions. N.d. 3D-skanneri. Luettu 7.3.2019. <https://www.an-cadsolutions.fi/3d-laitteet-ja-materiaalit/3d-skanneri/>

3DScanCo. N.d. 3D Scanning Technical Information. Luettu 7.3.2019. <https://www.3dscanco.com/3d-scanning-technical-information/>

Global Metals. N.d. Stainless steel – 316/316L. Luettu 14.3.2019. [http://www.globalmetals.com.au/pdf/Stainless Steel/Stainless Steel 316.pdf](http://www.globalmetals.com.au/pdf/Stainless%20Steel/Stainless%20Steel%20316.pdf)

Gaskell, G., Kanter, G., Beski, D. & Rydin, C. 2017. Fundamentals of 3D Scanning and 3D Modelling. Luentomateriaali. 3D-skannaus luento Pittsburghissa David L. Lawrence Convention Centerissä.

Artec3D. 2019. Artec Studio 13. Luettu 18.3.2019. <https://www.artec3d.com/3d-software/artec-studio>

Grimm, T. 2006. 3D Scanners. Selection Criteria for Common Applications. Luettu 10.4.2019. <https://www.ems-usa.com/tech-papers/3D%20Scanner%20Selection%20Criteria.pdf>

Siitonen, E. 2019. 3D-skannauksen yleisesittely. Luento. 3D-skannauskoulutus. Savonlinna: XAMK.

Allard, P. & Lavoie, J. N.d. Differentiation of 3D scanners and their positioning method when applied to pipeline integrity. Luettu 10.4.2019.

[https://www.creaform3d.com/sites/default/files/assets/technological-fundamentals/differentiation\\_of\\_3d\\_scanners\\_and\\_their\\_positioning\\_method\\_when\\_applied\\_to\\_pipeline\\_integrity.pdf](https://www.creaform3d.com/sites/default/files/assets/technological-fundamentals/differentiation_of_3d_scanners_and_their_positioning_method_when_applied_to_pipeline_integrity.pdf)

Vandell, L. 2015. Tuotteen 3D-skannaus ja skannausprosessin ohjeistus. Kone- ja tuotantotekniikka. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Aniwaa. N.d. 3D Scanning technologies and the 3D Scanning Process. Luettu 13.4.2019. <https://www.aniwaa.com/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/>

Artec3D. N.d. Online Store. Luettu 18.4.2019. <https://www.artec3d.com/3d-software/geomagic-design-x>

Cyborg3D. N.d. MeshToCAD. Luettu 18.4.2019. <https://secure.software-key.com/solo/products/ProductOption.aspx?ProdOptionID=29733>

Vahur, J. Market Segment Manager, HDS tuoteasiantuntija. 2019. 3DReshaper. Sähköpostiviesti. [vahur.joala@leica-geosystems.com](mailto:vahur.joala@leica-geosystems.com). Luettu 18.4.2019.

Matter and Form. 2018. The hardest objects to Scan: Paths to Success. Luettu 8.5.2019. <https://matterandform.net/blog/the-hardest-objects-to-scan-paths-to-success>

qmt mobile. 2013. Right arm verification? Luettu 14.5.2019. <http://www.qmt-mag.com/mobile/mobilepage.cfm?inc=page&edno=2107324>

Creaform. N.d. Gallery. Luettu 14.5.2019. <https://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/optical-3d-scanner-metrascan>

promaint. 2015. 3D- skannauksessa on vain mielikuvitus rajana. Luettu 14.5.2019. <https://promaintlehti.fi/Laite-ja-korjaustekniikat/3D-skannauksessa-on-vain-mielikuvitus-rajana>