

3D-skanneri mittausvälineenä

LAB-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK), konetekniikan koulutus
2023
Lasse Ursin

Tiivistelmä

Tekijä Lasse Ursin	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2023
	Sivumäärä 48	
Työn nimi 3D-skanneri mittausvälineenä		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), konetekniikan koulutus		
Toimeksiantajaorganisaatio Reminet Oy		
Tiivistelmä Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka tarkka 3D-skannausmenetelmä on ja voiko sitä käyttää perinteisin menetelmin hankalasti mitattavien kappaleiden mittaamiseen, kuten kahteen suuntaan kaareutuvan, ohuen tai pehmeän esineen mittaamiseen. Skannerina käytettiin Shining 3D-skanneria ja EXStar -ohjelmaa. Skannattujen kappaleiden tarkasteluun käytettiin SolidWorks-mallinnusohjelmaa. 3D-skannerin tarkkuuden selvittämiseen oli käytetty koneistajan mittapalaa, jota oli skannattu ja mitattu digitaalisesti ohjelmistossa. Hankalasti mitattava kappale oli kahdelta sivulta kaareutuva, ohut kappale, joka oli skannattu ja tarkasteltu digitaalisessa muodossa. Toimeksiantajalle oli selvitetty käsikäyttöistä 3D-skannausta palveluna yrityksille. 3D-skannerin tarkkuudeksi saatiin noin 0.08 mm, joka oli liki valmistajan ilmoittamien toleranssien sisällä. Hankalasti mitattavan esineen mittaaminen onnistui digitaalisessa ympäristössä ja siitä saatiin haluttuja mittatietoja x,y -ja z koordinaatistossa ja kaarevuuksien visuaalista havainnollistamista, mutta mittatietoja ei voida verrata alkuperäiseen esineeseen. 3D-skannauspalvelua voi ilmoittaa 0.08 mm:n tarkkuudella.		
Asiasanat 3D-skannaus, 3D-tulostus, SolidWorks, Evaluate, Transcan C, Einstar, Shining 3D, mallinnus, mittaust,		

Abstract

Author Lasse Ursin	Type of Publication Thesis, UAS Number of Pages 48	Published 2023
Title of Publication 3D-scanner as a measuring device		
Degree, Field of Study Engineer (UAS), Mechanical Engineering		
Organisation of the client Reminet Oy		
Abstract The goal of this thesis is to determine how accurate 3D-scanning is as measuring device and can it be used to measure obscure parts that are difficult to measure in traditional way. The 3D-scanner used was Transcan C and the software was called EX-Star. SolidWorks Evaluate add-on was used to examine and measure objects. To determine 3D-scanners accuracy a machinist block was used to be 3D-scanned and measured in digital environment. The obscure thin part had bent in two sides and was 3D-scanned, examined, and measured in digital environment. The Handheld 3D-scanner was used to determine how company can produce 3D-scanning services for customers. The result for 3D-scanners accuracy was 0.08 mm. Which is nearly in the manufacturers informed tolerances. For the obscure object the results for visualizing form and capturing point data in different locations was successful but measurements cannot be compared with the original object. 3D-scanning services can be advertised in 0.08mm. accuracy.		
Keywords 3D-scanning, 3D-printing, SolidWorks, Evaluate, Transcan C, Einstar, Shining 3D, 3d-modeling, measure,		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Käänteinen suunnittelu ja 3D-skannaus.....	2
2.1	Käänteinen suunnittelu	2
2.2	3D-skannaus	3
3	3D-skannauksen työvaiheet käänteisessä suunnittelussa.....	7
3.1	Laitteen yhteydet	7
3.2	Parametrien asetukset ja datan keräys	7
3.3	Datan käsittely	7
4	3D skannauksen periaate käänteisessä suunnittelussa 3D-tulostuksen kannalta	8
5	Shining3D Transcan C-skanneri	9
6	Tarkkuuden selvittäminen	12
6.1	Laitteet ja menetelmät	12
6.2	Pinnan mittaaminen Solidworks-ohjelmalla	23
6.3	Mittatietojen käsittely	27
7	Kieron osan skannaus ja mittaus	29
7.1	Osan tiedot	29
7.2	Kieron osan muokkaus Solidworks-ohjelmalla	29
7.3	Mittatietojen tarkastelu Evaluate-toiminnolla	37
8	Käsiikäyttöinen skannaus palveluna	40
8.1	Tuotantolinjan osan skannaus ja mittaus Solid Works-ohjelmalla	40
8.2	Veistoksellisen muodon skannaus	42
9	Yhteenveto ja pohdinta	45
	Lähteet	47

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoitus on selvittää kahta toimeksiantajan ongelmaa: miten voisi mitata kahteen suuntaan kaareutuvaa, ohutta esinettä, jota ei perinteisin menetelmin voi mitata ja kuinka tarkka 3D-skanneri on. Lisäksi selvitetään minkälaisia 3D-skannauspalveluja toimeksiantaja voi tarjota asiakkaille. Keskeisenä ongelmana on, että ohuet ja taipuisat esineet voivat muuttaa muotoaan, kun mittausvälineenä käytetään esimerkiksi työntömittaa tai koordinaattimittauslaitetta. Opinnäytetyön teoreettisessa osassa kerrotaan Käänteisestä suunnittelusta ja erilaisista 3D-skannausmenetelmistä 3D-tulostusmenetelmien näkökulmista. Opinnäytetyön suorittavassa osassa keskitytään Rakenteellisen valon 3D-skannausmenetelmän mahdollisuuksiin mittausvälineenä. Opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella, visualisoida ja mitata digitaalisen mallin muotoja. Toimeksiantajalle selvitettiin minkälaisia palveluja 3D-skannerilla mekaniikkasuunnitteluun erikoistunut insinööritoimisto voi tarjota asiakkailleen.

3D-skannerin tarkkuuden selvittämiseen käytetään koneistajan mittapalaa, joka skannataan ja muokataan mallinnusohjelmassa mitattavaan, digitaaliseen muotoon. Mittapalan digitaalisen mallin mittoja verrataan 3D-skannerin laitevalmistajan antamiin tietoihin laitteen tarkkuudesta. Hankalasti mitattava kappale on kahdelta suunnalta kaareutuva, ohut fyysinen kappale, jonka digitaalisen mallin mittaamiseen käytetään samaa menetelmää kuin mittapalan. Digitaalisen mallin mittoja ei verrata fyysisen esineen mittoihin, vaan valmistajan ilmoittamiin tarkkuuksiin. 3D -skannerina käytetään pöytämallista Transcan C 3D -skanneria ja ohjelmistona sen EXStar -kolmiulotteisen kappaleen jälkikäsitteilyohjelmaa. Skannattujen kappaleiden tarkasteluun ja mittaamiseen käytetään SolidWorks -mallinnusohjelman Evaluate -lisäosaa. Käsikäyttöinen 3D-skanneri on nimeltään Einstar.

Opinnäytetyön tavoitteena on saada käsitys, onko 3D-skanneri laitevalmistajan ilmoittamien tarkkuuksien mukainen. Opinnäytetyössä selvitetään, saadaanko hankalasti mitattavasta esineestä mittatietoja 3D -skannausmenetelmää apuna käyttäen ja kuinka tarkka menetelmä on 3D -tulostustekniikan kannalta. Toimeksiantajalle selvitetään minkälaisia palveluja käsikäyttöinen 3D -skannausmenetelmä mahdollistaa.

Reminet Oy on Lahdessa vuonna 2021 perustettu kone- ja prosessisuunnitteluun erikoistunut yritys, joka toimii teollisuuden suunnittelukumppanina suomalaisille yrityksille ja projektitoimittajille (Reminet; Asiakastieto). Vuonna 2013 perustettu Materflow on lisäävän valmistuksen ja 3D-tulostusteknologian palveluntarjoaja. Materflow valmistaa 3D-tulostamalla teollisen tason tuotteita metallista ja muovista. (Materflow.)

2 Käänteinen suunnittelu ja 3D-skannaus

2.1 Käänteinen suunnittelu

Kuten Bradley & Currie (2005) toteaa artikkelissaan, ensimmäiset tulkinnat julkaisuissa sanoista ”käänteinen suunnittelu” kirjoitettiin 1970-luvulla ja sillä tarkoitettiin lähinnä alkuperäisen asian kopioimista. Kun käänteisen suunnittelun käyttötarkoitukset laajenevat teknologian kehittyessä, on hyvä reunustaa käsitteen merkitystä. Käänteisen suunnittelun teknologia mahdollistaa digitaalisen mallin luomisen, käyttäen dataa, joka on kerätty fyysisestä esineestä. Uudet teknologiat, tutkimus kuvakäsittelyssä, tietokonegrafiikat, kehittyneet valmistusmenetelmät ja virtuaalitodellisuus ovat edesauttaneet tietokonepohjaisten, fyysisten esineiden esittämistavan luomista. Laajemmassa käsityksessä käänteinen suunnittelu tarkoittaa, että esineelle voidaan antaa digitaalinen esitysmuoto, joka pohjautuu fyysisen esineen muotoihin tarkoituksena alkuperäisen esineen mahdollinen mallinnus ja valmistus.

Insinöörin toimenkuvaan kuuluu suunnitella, valmistaa, kokoonpanna ja huoltaa tuotteita sekä järjestelmiä. Kun perinteinen suunnittelu käyttää matemaattisia, abstrakteja ideoita ja muuttaa ne fyysisiksi tuotteiksi tai järjestelmiksi, käänteinen suunnittelu sen sijaan tekee sen toisinpäin. Käänteisessä suunnittelussa aloitetaan fyysisestä tuotteesta tai järjestelmästä ja muutetaan se digitaalseksi malliksi, jota voidaan lukea tietokoneavusteisessa suunnitteluohjelmassa, CAD-tiedostona eli Computer Aided Design-tiedostona. Monissa tapauksissa voi olla tuotteita ja järjestelmiä, millä ei ole lainkaan teknisiä piirustuksia tai tietoa, millä käänteinen suunnittelu voisi monistaa, tutkia tai saada tietoa niiden valmistusmenetelmistä. (Robin H. Helle 2021.)

3D-skannaus on erinomainen toimintatapa käänteiselle suunnittelulle, olipa kyseessä kohteen ulkoinen -tai sisäinen rakenne. 3D-skannausta käytetään yhä enemmän taiteilijoiden ja taidehistorioitsijoiden keskuudessa. Valmistetuissa, korvaavissa päällysteissä voidaan käyttää huippuluokan materiaaleja, jotka jäljittelevät esineen ikääntymisen merkkejä. Yksi tämän alan tärkeimmistä tuotantotavoista on esineiden 3D-skannaus, 3D-tulostettavien replikoiden luominen ja niiden arkistointi. 3D-skannaus mahdollistaa kulttuurimateriaalin mittaamisen, luokittelun ja jopa jakamisen tutkimusyhteisön kanssa. (J. Kovar 2016; J. Wang 2021; C. Zhang 2019.)

3D-skannausteknologia mahdollistaa esimerkiksi proteesiraajan suunnittelun ja mittaamisen erinomaisella tarkkuudella, mikä mahdollistaa ihanteellisen mukavuuden, liikkumisen mahdollisuuden ja kivun vähentämisen. Näitä osia 3D-tulostamalla on sen valmistuskustannukset vain murto-osa verrattuna perinteisiin valmistustapoihin. Lääketieteellinen tutkimus on hyödyllinen leikkausta edeltävässä suunnittelussa. Lääkärit ja kirurgit voivat päättää

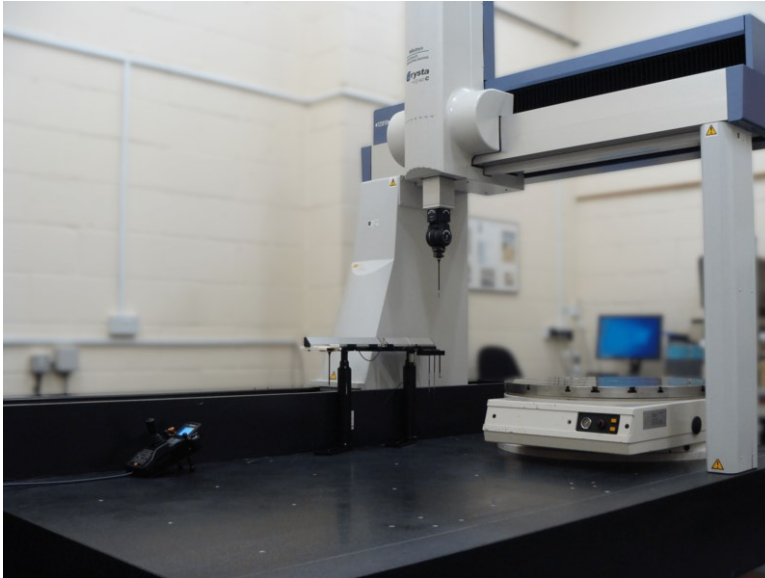
leikkauksesta etukäteen enemmän ja lisätä leikkauksen onnistumisprosenttia. (A. Haleem 2020.)

Tietokoneavusteinen suunnittelu on ala, jossa 3D-skannaus etsii vielä merkittävää potentiaaliaan. Mahdollisuus skannata mitä esineitä tahansa ja tietokoneavusteinen suunnittelun tuoma mahdollisuus muokata esineiden digitaalista mallia, luo yksinkertaistetun prosessin mahdollisuuden käänteisessä suunnittelussa ja prototyyppien nopean valmistuksen. Digitaalisessa ympäristössä voidaan tehdä yksityiskohtaisia mittauksia ja tutkia mekaanisia ominaisuuksia helpommin. Useimpien tuotteiden suunnittelussa olennaista on käänteistekniikka ja nopeasti tehtyjen prototyyppien valmistus. 3D-skannaus mahdollistaa kaiken syvällisen analysoinnin. Erilaisia 3D-skannausmenetelmiä on saatavilla haastaviin suunnittelusovelluksiin, mutta näillä 3D-skannaustekniikoilla on rajoituksia, etuja ja kustannuksia. Esimerkiksi hammaslääketiede, korumuotoilu, auto- ja ilmailutiede, videopelisuunnittelu, erikoistehosteet, animaatiofilmi ja taiteelliset sovellukset käyttävät 3D-skannausteknologiaa. (A. Haleem 2022.)

2.2 3D-skannaus

3D-skannaus on toimenpide, jolla pyritään saamaan kolmiulotteisen, fyysisen esineen geometria digitaaliseen muotoon (Kivolya 2019). Kolmiulotteisen tiedon keräämiseen on useita laitteita ja erilaisia toimintatapoja, joiden tavoitteena on saada kerätystä tiedosta kolmiulotteinen, digitaalinen malli. 3D-skannerit voidaan luokitella kahteen eri luokkaan: koskettavat ja ei-koskettavat. Ei-koskettavat skannerit voidaan lisäksi jakaa kahteen luokkaan aktiiviset ja passiiviset. (Aniwaa 2021). Ei ole olemassa parasta 3D-skanneria, vaan erilaisilla skannereilla on omat käyttötarkoituksensa ja ominaisuutensa sekä rajoituksensa (Stella 2017). Skannatusta esineestä saatu kolmiulotteinen digitaalinen malli hyödyttää erilaisia toimialoja suunnattomasti. Peliteollisuudessa 3D-skannaus vähentää käsin tehtyä digitaalista luomistyötä (J. Yan 2017). Yleensä 3D-skannerin tarkoituksena on luoda digitaalinen 3D-malli, jonka geometrinen pinta koostuu pistepilvestä tai kolmioverkosta (A. Haleem 2022).

Koordinaattimittauslaite on eräänlainen 3D-skanneri, joka käyttää herkkää anturia mittaus-tietojen saamiseksi. Se koskettaa esinettä useista paikoista ja tallentaa X-, Y- ja Z-koordinaatit kosketuspisteiden tietoihin. Näistä koordinaattitiedoista, eli pisteistä muodostetaan digitaalinen malli. Kuvassa 1 näkyy koordinaattimittauslaite. (Wikipedia.)



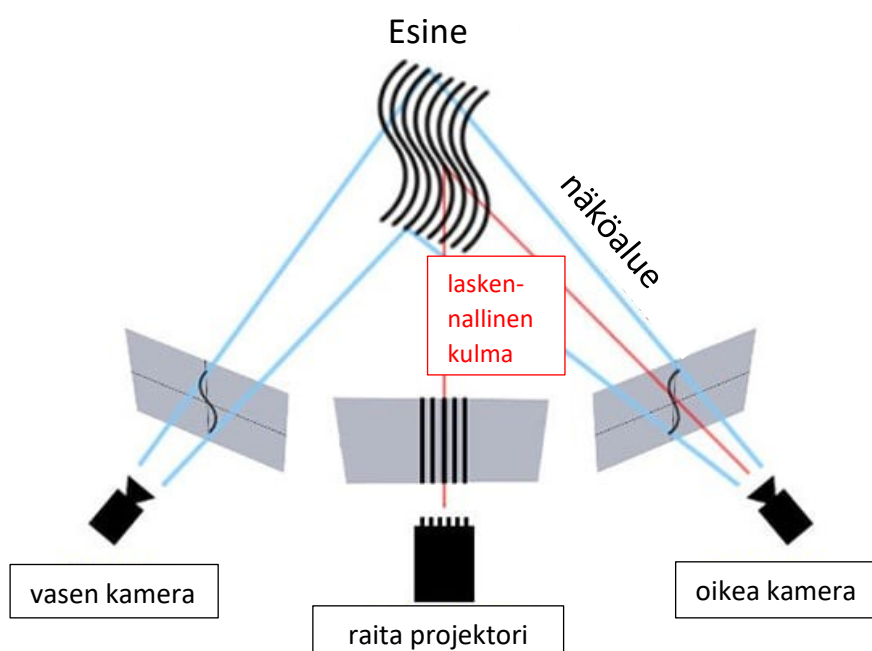
Kuva 1. Koordinaattimittauslaite (AB, 2020)

Ei koskettavat, aktiiviset skannerit lähettävät jonkinlaista säteilyä tai valoa ja havaitsevat esineen aiheuttamat heijastukset tai esineen läpäisseet säteet tutkiakseen esinettä tai ympäristöä. Nämä skannerit päästävät valoa, ultraääntä tai röntgensäteilyä. Kuvassa 2 näkyy lidar eli light detection and ranging 3D-skanneri Leica HDS-3000, jolla voi skannata muun muassa rakennuksia ja kallioita. Sen laseri liikkuu pysty- ja vaakasuunnassa ja se mittaa etäisyyden laserin tielle osuneista esineistä. (Monniaux 2007.)



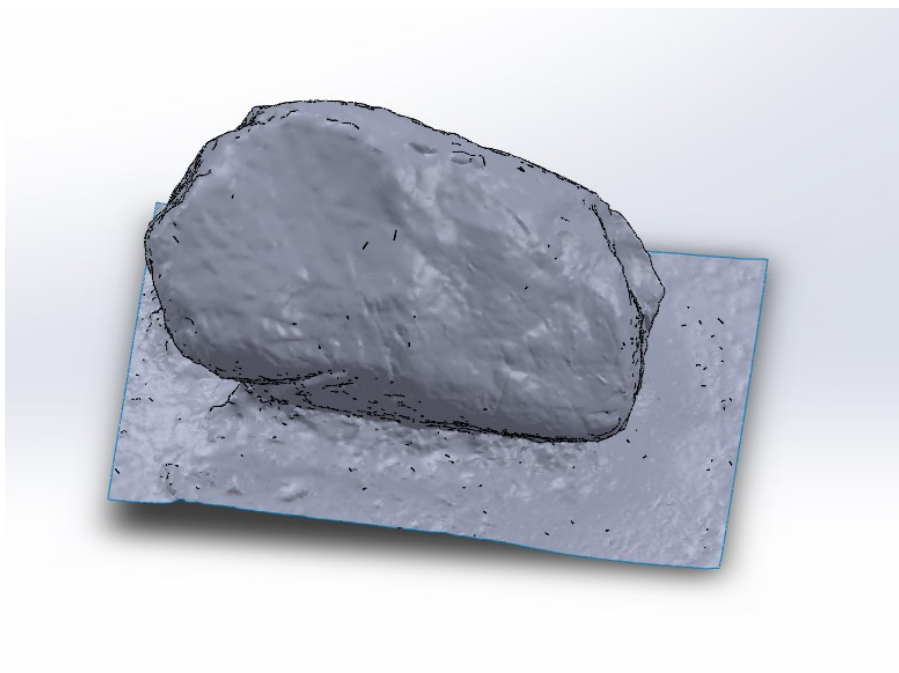
Kuva 2. 3D-skanneri mallia Leica HDS-3000 (Monniaux 2007)

Structured light eli rakenteellisen valon teknologia perustuu siihen, että skannerissa on projektori, joka lähettää kirkkaan, kuviollisen valon kohteeseen. Esine laitetaan himmeään, tasaiseen valaistukseen tai täysin pimeään. Hieman viistossa kulmassa olevat kamerat tallentavat esineen pinnasta heijastunutta, muuttunutta kuviota. Kuviot ovat tiedossa olevia muotoja, yleensä neliöitä tai raitoja. Kuvion muodon muutoksesta suhteessa laskennalliseen kulmaan voidaan laskea vääristymä, jolloin kolmiulotteisesta muodosta saadaan rakennettua pistepilvi. Kuviossa 1 näkyy rakenteellisen valon toimintaperiaate: keskellä, alhaalla projektori, joka lähettää raidallista valoa kohteeseen ja sivuilla, alhaalla näkyy kamerat, jotka ottavat esineestä heijastuneen muuttuneen kuvion vastaan. Laskennallinen kulma on merkattu punaisella, jota ohjelma käyttää kuvan vääristymän analysointiin. (bitfab.)



Kuvio 1. Rakenteellisen valon 3d-skannausteknologian toimintaperiaate (mukailtu bitfab)

Ei koskettavat, passiiviset skannerit eivät lähetä minkäänlaista säteilyä tai valoa itsestään, vaan havaitsevat esineen itsensä, passiivisesti lähettämää säteilyä tai heijastamaa valoa. Valo on passiivisten skannereiden yleisin säteilyn havaintomuoto, koska sitä on laajasti saatavilla. Passiiviset skannerit voivat olla edukkaita, sillä ne eivät välttämättä tarvitse erillistä skannauslaitetta, vaan skannerina voi toimia esimerkiksi digitaalikamera. Fotogrammetriassa käytetään digitaalikameraa 3D mallien luomiseen. Se on yksinkertainen tapa, jossa otetaan kuvia kohteesta tietyllä tavalla ja ilmainen ohjelma muuntaa nämä kuvat 3D-malliksi. (Wikipedia.) Kuvassa 3 näkyy Kuvataiteilija, Kalle Mustosen kuvaama ja mallinnettu siirtolohkareen 3D-malli, joka on tuotu fotogrammetriaa apuna käyttäen.



Kuva 3. Fotogrammetrialla tuotettu siirtolohkareen 3D-malli.

3 3D-skannauksen työvaiheet käänteisessä suunnittelussa

3.1 Laitteen yhteydet

Ensimmäinen askel on yhdistää kaikki 3D-skannauslaitteen osat, asentaa oikea kameran ja valonheittimen yhdistelmä, asettaa esine skannerin pyörivälle alustalle lukusetäisyyden päähän ja kytkeä virta päälle laitteisiin. Sininen valo osoittaa, että liitännät ovat kunnossa, jos valo ei syty on liitännät ja virtalähde tarkistettava uudelleen. Projektin tiedot ladataan sitten skannerin tietokoneohjelmaan ja tarvittavat asetukset tallennetaan, kuten kamera-linssi, pyörivä alusta, kalibrointilevy. (A. Haleem 2020.)

3.2 Parametrien asetukset ja datan keräys

Seuraava askel on rakentaa projekti ja antaa pyörivälle alustalle tarvittava määrä pyörähdysaskeleita, jotka määrittyvät skannattavan esineen koosta, muodosta ja geometriasta. Esineen tulee olla keskellä pyörivää alustaa ja skannerin näköetäisyyden sisällä. On valittava olennaiset asetukset, kuten laaduntaso (korkea, keskitaso, matala), kameran tarkkuus (korkea-, keski-, tai -matalaresoluutio). (A. Haleem 2020.)

Lisäksi ennen skannaamista sensoreiden lämpötila on tarkastettava, sen tulee olla +28-42C° muutoin mittavirheitä ilmenee. Valon voimakkuus tulee asettaa skannattavan esineen pinnan heijastavuuden vaatimalle tasolle. Tämän tuloksena mittaaminen alkaa ja valonheitin valaisee esineen. Dataa kertyy tietokoneohjelmaan heijastuvasta valosta kameroiden välityksellä. (A. Haleem 2020.)

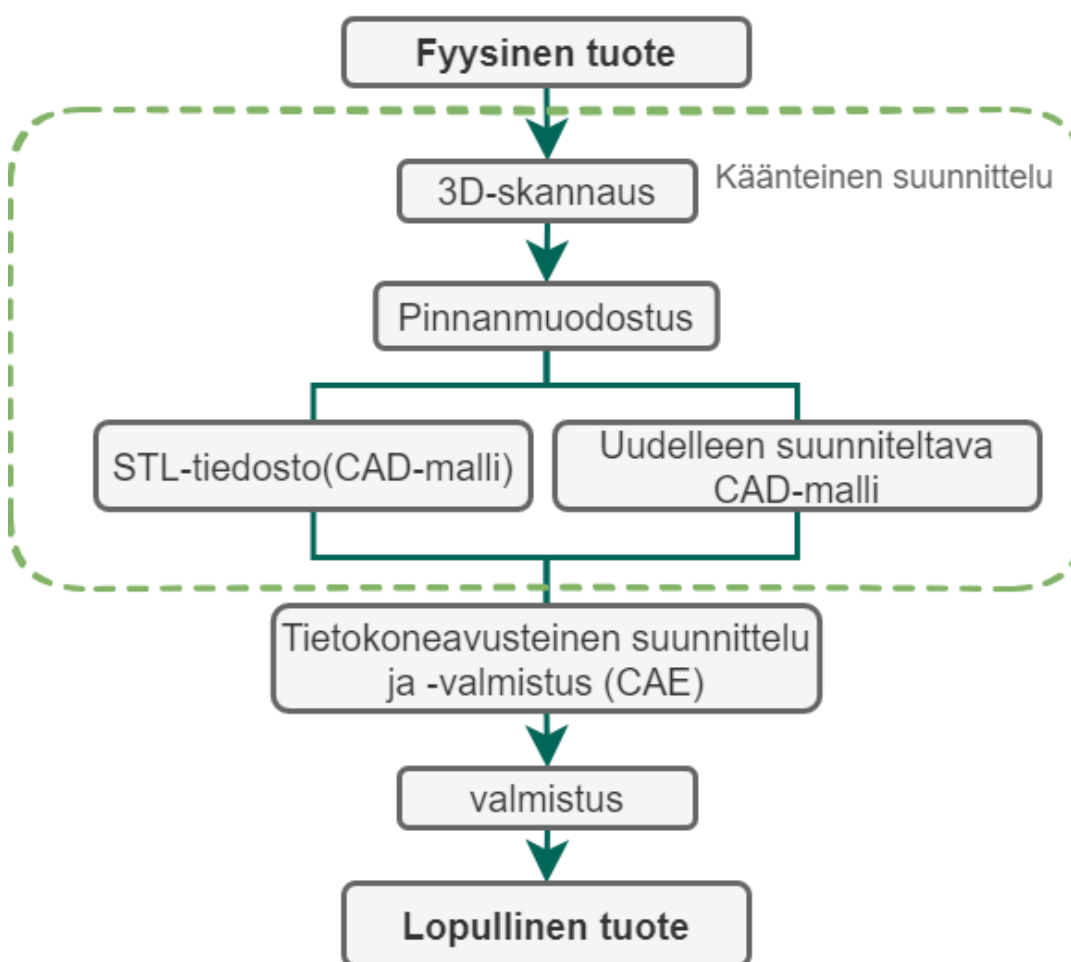
3.3 Datan käsittely

Ensimmäisen pyörimisaskeleen jälkeen, ensimmäisen ja toisen mittauksen tulee asettua ojennukseen ennen muita mittauksia. Ojennuksessa oleva mittausta voi määrittää ojennusprosessin tarkkuuden. Kaikki tulevat mittaukset määrittyy automaattisesti tietokoneohjelmassa tämän ojennuksen mukaisesti. Koko mittaustapahtuma valmistuu järjestyksessä ja viimeisen mittauksen jälkeen epäolennaiset mittaustiedot valitaan ja poistetaan. Kerätylle datalle tehdään jälkikäsittely, jossa vähennetään virheitä. Datasta saadaan verkkomalli, josta poistetaan reiät ja muut ominaisuudet, joita ei toivota malliin. Viimeistelly data tallennetaan erilaisten asetusten jälkeen, muita ohjelmointeja varten. Jälkikäsittely on ratkaiseva vaihe, joka tulee tehdä huolellisesti viimeistellyn mallin saavuttamiseksi. (A. Haleem 2020.)

3D-skannauksen suurimmat toimialueet ovat opetuksessa, tutkimuksessa, lääketieteessä, suunnittelussa ja tuotannossa. Tätä teknologiaa käytetään edistämään huomattavasti vaatimusten mukaan räätälöityjen tuotteiden kehityksessä. (A. Haleem 2020.)

4 3D skannauksen periaate käänteisessä suunnittelussa 3D-tulostuksen kannalta

Käänteinen suunnittelu yhdessä 3D-skannauksen ja 3D-tulostuksen kanssa on tehokas tekniikka digitaalisten mallien kehittämiseen fyysisistä esineistä. Nämä tekniikat yhdessä voivat olla arvokas työkalu prototyyppien valmistuksessa. Kun käytetään tosielämän referenssejä, 3D-skannerit voivat mitata nopeasti monimutkaisia kohteita ja nopeuttaa merkittävästi suunnittelutyön kulkua. Koska 3D-tulostetut osat voivat mukailla todellisia muotoja, ne voidaan suunnitella sopimaan moitteettomasti erilaisiin, olemassa oleviin esineisiin. 3D-tulostetuista muovista valmistetut tuet voivat tarkasti ja toistuvasti kohdistaa esineet porausta tai liimausta varten. Kuviossa 2 Näkyy tuotteen kehityksen vuokaavio, kun käytetään käänteistä suunnittelua ja 3D-skannausta. (A. Haleem 2022.)



Kuvio 2. Tuotteen käänteisen suunnittelun ja 3D-skannauksen vuokaavio (Mukailtu Abid Haleem 2022)

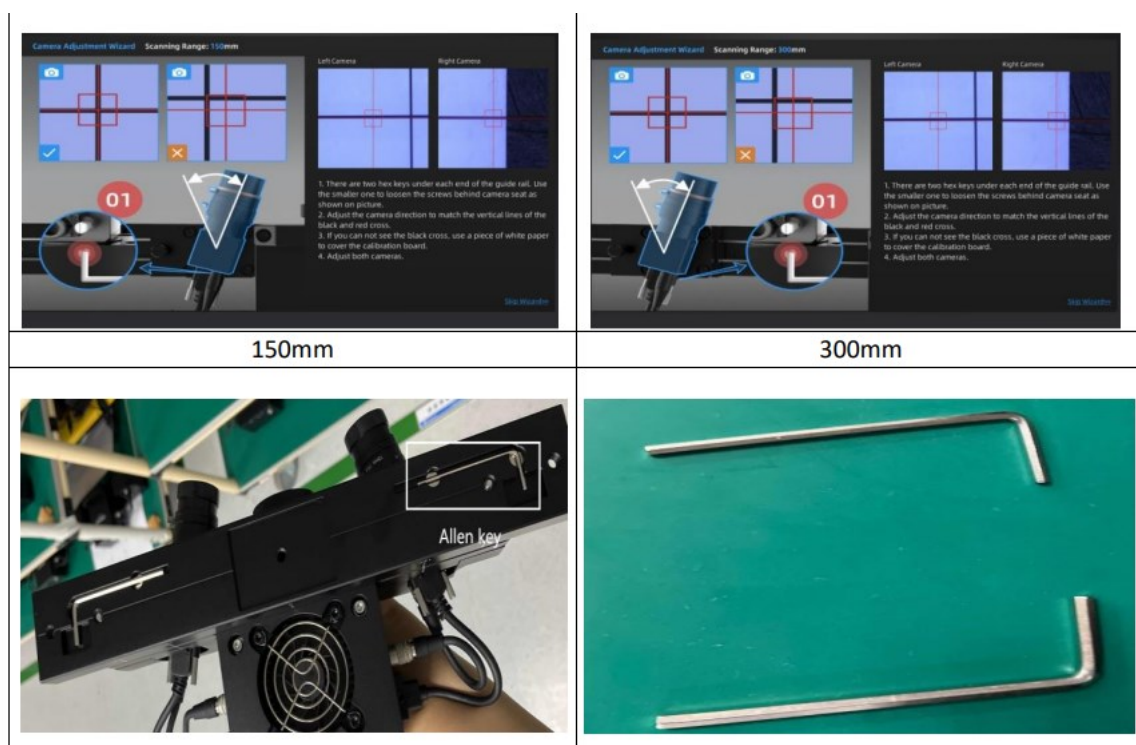
5 Shining3D Transcan C-skanneri

SHINING3D kehitti Transcan C:n ammattikäyttöön soveltuvaksi 3D-skanneriksi, joka tallentaa poikkeuksellisen korkean resoluution ja tarkat skannaukset pienistä ja keskikokoisista kohteista monille eri teollisuudenaloille. Lisäksi 12 MP:n kamerat tuottavat rikkaan ja yksityiskohtaisen teksturoidun 3D-mallin, joka antaa intuitiivisen kuvan fyysisestä kohteesta. Sen toimintaperiaate on structured light eli Rakenteellinen valo. (3D-CadSolutions.)



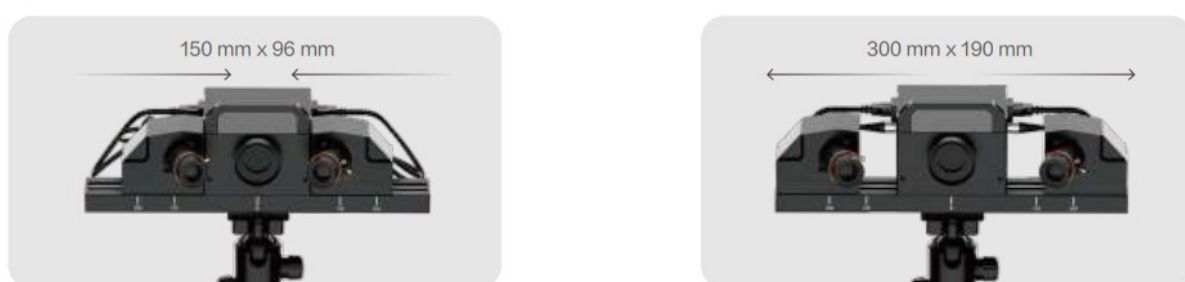
Kuva 4. Transcan C 3D-skanneri (Shining 3D)

Kuvassa 5 näkyy liukukiskorakenne, joka mahdollistaa helpon vaihtamisen skannausalueen 150 mm x 96 mm ja 300 mm x 190 mm:n välillä. Tämä täyttää erikokoisten kohteiden skannaustarpeet tehokkaasti. (3D-CadSolutions.)



Kuva 5. Ohjeita kalibroinnista (Shining 2022)

Skannerin kameroita voidaan liikuttaa kauemmaksi toisistaan, skannattavan esineen koon mukaan. Pienempiä esineitä skannataan 150 mm:n asetuksella ja suurempia 300 mm:n asetuksella. Kuvassa 6 näkyy skannerin kamerrat, jota voi asettaa liukukiskolla toivotulle etäisyyden vaihtoehdolle. (3D-CadSolutions.)



Kuva 6. Liukukiskon mahdollistamat skannausalueen vaihtoehdot (Shining 2022)

Taulukossa 1 näkyy Transcan C tekniset tiedot, jossa kerrotaan, minkälaisia skannausalueen vaihtoehtoja skannerilla on sekä tarkkuus suhteutettuna etäisyyteen skannattavasta kohteesta. (Shining 2022.)

Light Source	White LED Light	
Calibration Mode	Manual calibration	
Scan Mode	Structured-light scan with automatic turntable	
Scan Range	150 mm x 96 mm	300 mm x 190 mm
Single Shot Accuracy	0.035 mm	0.05 mm
Scan Speed	<70 s (8 scans/turn without texture); <3 s (single frame without texture)	
Texture Color	RGB 24-bit color	
Texture acquisition method	Fully automatic soft light shooting	
Texture Map	12 mega pixels, high fidelity color	
Align Mode	markers alignment; feature alignment; manual alignment	
Working Distance	260 mm	480 mm
Point Distance	0.0375 mm; 0.075 mm; 0.114 mm	0.075 mm; 0.154 mm; 0.23 mm
Data Format	OBJ, STL, ASC, PLY,3MF	
Working Temperature	Indoor, room temperature	
System	Win10; 64-bit	
Recommended Computer Configuration	Graphics card: NVIDIA GTX/RTX series cards, higher or equal to GeForce GTX 1060; Video memory: ≥4 G; Processor: I7-8700; Memory: 32 GB	
Size	Host module: 332 mm x 110 mm x 142 mm (bare machine size) Tripod components: 475 mm x 120 mm x 120 mm (bare machine size) Turntable module: 320 mm x 320 mm x 68 mm (bare machine size)	
Weight	Host module: 2.7 KG (net weight) Tripod assembly: 2.2 KG (net weight) Turntable module: 2.1 KG (net weight)	
Maximum Turntable Load-Bearing Capacity	≤10 KG	

Taulukko 1. Transcan C 3D-skannerin tekniset tiedot (Shining 2022)

Laitteiden lisäksi skanneri vaatii ExStar- ohjelmiston, missä skannatun laskennallinen kappale muodostuu pistepilvenä. Pistepilvi on ohjelmiston laskennallisessa avaruudessa, missä jokaisen pisteen sijainti on tallennettuna X, Z- ja Y-koordinaatteina. (Shining 2022.)

6 Tarkkuuden selvittäminen

6.1 Laitteet ja menetelmät

Transcan C 3D-skannerin tarkkuuden selvittämiseen päätettiin käyttää koneistajan mittapalaa 50, koska sen mitat ovat tiedossa, eivätkä mitat vaihtelee toimeksiantajan kanssa sovitun tarkkuusalueen 0,1 mm ulkopuolelle. Transcan C 3D-skanneri tekee ohjelmaan pistepilven pyörivän alustan avulla. Alusta pyörähtää kerran, jonka jälkeen skanneri ottaa kuvan ja lähettää pistetiedot ohjelmaan, tätä kutsutaan skannausryhmäksi. Skannausryhmiä voi olla 10–200 kappaletta, joista ohjelma muodostaa pistepilven. Shining3D kertoo laitteen pääsevän 0.035 mm:n piste-etäisyyden tarkkuuteen 150 mm:n asetuksella. Tästä pistepilvestä luodaan polygoniverkko eli mesh-malli, jota optimoidaan eli yksinkertaistetaan sujuvan käsittelyn vuoksi. Liian suuri polygonimäärä johtaisi liian raskaaseen laskennalliseen kuormaan ohjelmistolle, jolloin kolmiulotteisen kuvan tarkastelu on hankalaa. Skannausasetus oli features- asetuksella, jolla on tarkoitus skannata esineitä, joissa on paljon yksityiskohtia ja jotka eivät ole symmetrisiä. Tämä on tärkeää, jotta ohjelma pystyy asettamaan esineen oikeaan asentoon jokaisen skannauskierroksen jälkeen. Pistepilven orientaatio määrittyy aina edellisen skannausryhmän pisteiden sijoituksen perusteella. Jos skannattava esine on geometrisesti symmetrinen, ei ohjelma kykene päättämään, mikä on vasen tai oikea sivu. Kun mittapala on skannattu Transcan C 3D-skannerilla, luodaan pistepilvestä mesh-malli ja tuodaan se stl-tiedostona Solidworks-ohjelmaan tarkasteltavaksi Evaluate-lisäosalla ja mitattavaksi. STL-tiedosto eli Stereolithography tai Standard Tessellation Language sopii hyvin mittaustarkoituksiin, koska se muodostuu kolmionmuotoisista elementeistä, jotka muodostavan kolmiulotteisen mallin pinnan. STL-tiedosto on helposti muokattavissa ja moni tietokoneavusteinen suunnitteluohjelma pystyy sitä lukemaan.

Mittapalan pituus tarkastettiin mikrometrillä. Mikrometri kuitenkin kalibroidaan ensin sen omalla kalibrointimittapalalla. Kuvassa 7 näkyy mikrometri ja kalibrointipala, joka on 50 mm. pitkä.



Kuva 7. Mikrometri ja kalibrointipala

Mittapala on mitattu mikrometrillä, jolla varmistetaan mitattavan esineen koko. Kuvassa 8 näkyy koneistajan mittapa ja mikrometri, joka osoittaa mittapalan olevan 50 mm:n pituinen, toleranssilla 0,01 mm.



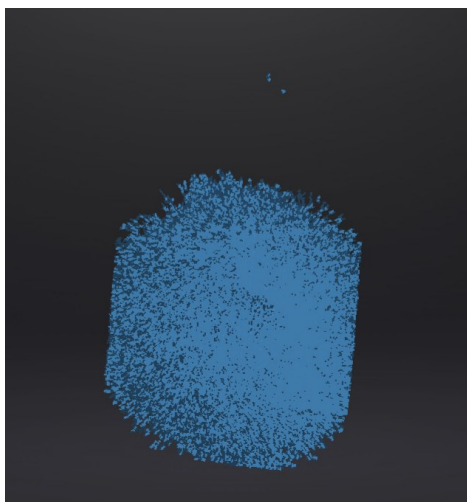
Kuva 8. Mittapala mitattuna mikrometrillä.

Transcan C 3D-skanneri käyttää pyörimisalustaa skannattavan esineen kuvakulman vaihtamiseksi. Kuvassa 9 näkyy Trans C-skanneri, pyörimisalusta ja koneistajan mittapalalajitelma. Mittapala 50 mm on pyörimisalustan päällä.



Kuva 9. Transcan C ja koneistajan mittapalat

Koneistajan mittapala on valmistettu työkaluteräksestä, millä on peilimäinen heijastava pinta. Tämä osoittautui haasteelliseksi skannattavaksi, koska skannerin valosäteet eivät heijastuneet takaisin vastaanottimeen. Tämä johti epäonnistuneeseen skannaustulokseen. Kuvassa 10 näkyy epäonnistunut pistepilvi.



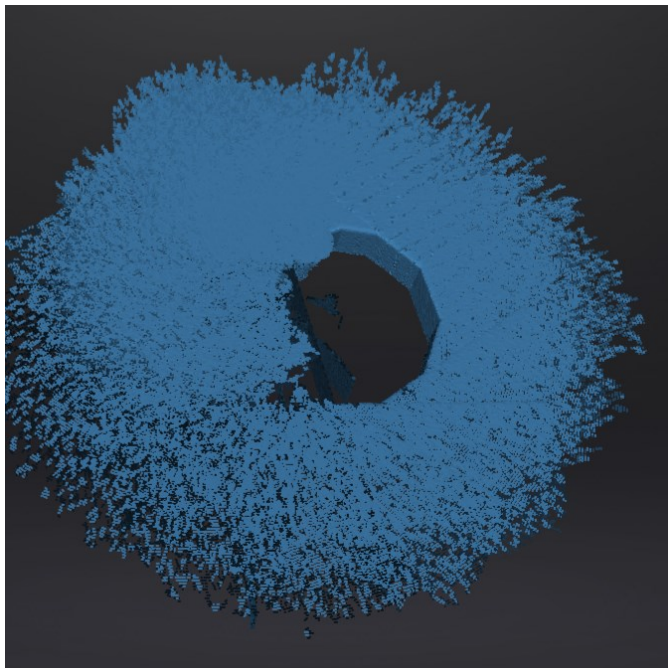
Kuva 10. koneistajan mittapalasta saatu epäonnistunut pistepilvi

Mittapalan skannauksessa ilmeni ongelmia sen heijastavan pinnan suhteen. Siksi mittapalaan tuli ruiskuttaa heijastavaa suihketta, joka on suunniteltu vastaavaan tilanteeseen. Suihkuttaessa tulee ottaa huomioon tuotteen oikeaoppinen käyttö. Kyseinen suihke ei muuta kappaleen pinnan ominaisuuksia ja haihtuu pinnalta 12–24 tunnin aikana kokonaan. Kuvassa 9 näkyy heijastinsuihke ja mittapala.



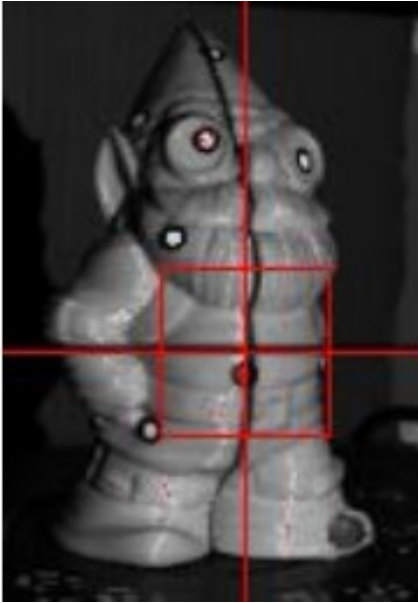
Kuva 11. heijastinsuihke ja mittapala

Heijastinsuihke auttaa 3D-skannereita, jotka käyttävät rakenteellisen valon toimintaperiaatetta, havaitsemaan kiiltäviä esineitä paremmin. Tämä ei auta ohjelmistoa ymmärtämään esineen orientaatiota. Ohjelma pystyy siis havaitsemaan esineen, muttei sen asentoa. Tämä voi johtaa siihen, että ohjelma käsittää vain yhden sivun esineestä, jonka ympärille se kehittää koko lopullisen pistepilven, kuten näkyy kuvassa 8. Ohjelma tarvitsee geometrisia kiintopisteitä.



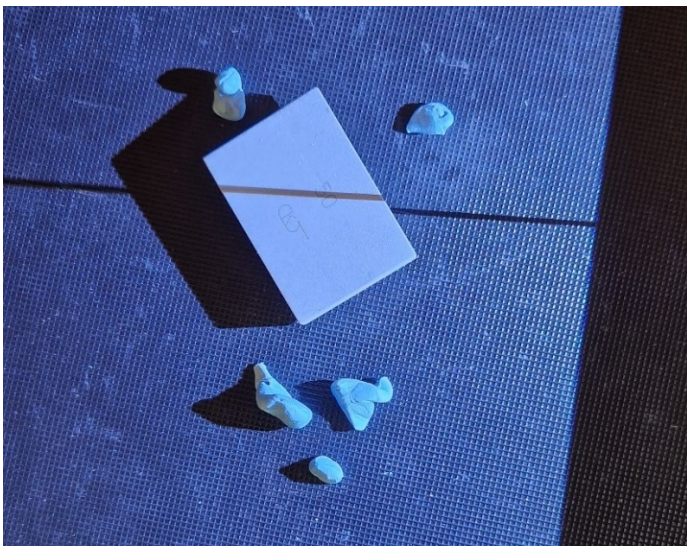
Kuva 12. heijastavalla aineella suihkutettu ja skannattu mittapalan pistepilvi.

Geometrisia kiintopisteitä pystyy luomaan monilla eri tavoilla. 3D-Skannerin mukana tulee heijastintarroja, jotka voi kiinnittää skannattavaan esineeseen. Heijastintarrat tekevät pistepilveen reikiä, jotka voi poistaa myöhemmin. Tämä ei ole toivottava ominaisuus sellaisessa työssä, jossa esineen pintaa tarkastellaan. Transcan ohjeen: 5.1 valmistelut mukaan kiintopisteinä voi käyttää tarrojen lisäksi savimöykkyjä. Kuvassa 13 näkyy skannattava esine johon on kiinnitetty heijastintarroja.



Kuva 13. Skannattava esine, johon on asetettu heijastintarroja (Shining, 2022) (Shining, 2022)

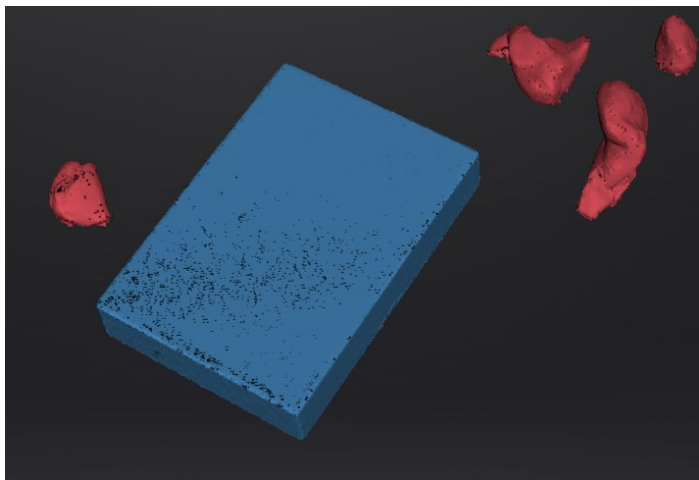
On löydettävä keino asettaa kiintopisteet, jolla ei muokata esineen pintoja. Vaikka ohjeen mukaan savimöykkyjä tulisi asettaa esineen pinnalle, savimöykky voi asettaa samalle pyörivälle alustalle. Kiintopisteinä toimii mikä tahansa muoto, joka ei ole symmetrinen, peilimäinen, eikä kosketa esinettä. Kuvassa 14 näkyy mittapalan ympärille asetettuja sinitarramöykkyjä.



Kuva 14. mittapala, jonka ympärillä on ympärillä sinitarramöykkyjä

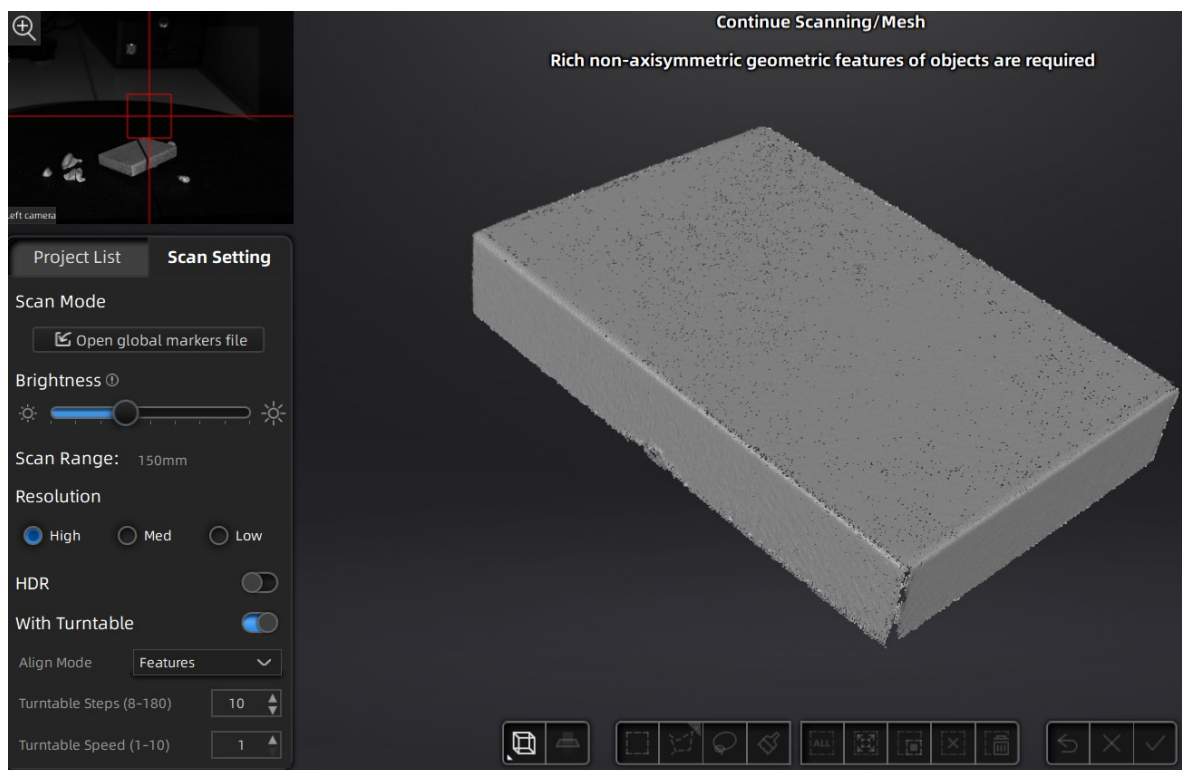
Skannattavan esineen pistepilven orientaatio määrittyy aiemman skannausryhmän perusteella ja ohjelmalla ole muita ulkopuolisia kiintopisteitä on tärkeää, että kiintopisteiden muodot ovat erilaisia ja niiden sijoittelu ei ole tasajakoista. Sinitarramöykkyt ovat hyvin

erimuotoisia toisiinsa nähden, epäsymmetrisiä ja asetettu epätasaisesti esineen ympärille. Ohjelmassa sinitarrojen pistepilvet ovat helppo poistaa jälkikäteen, jotka näkyvät kuvassa 15 punaisella.



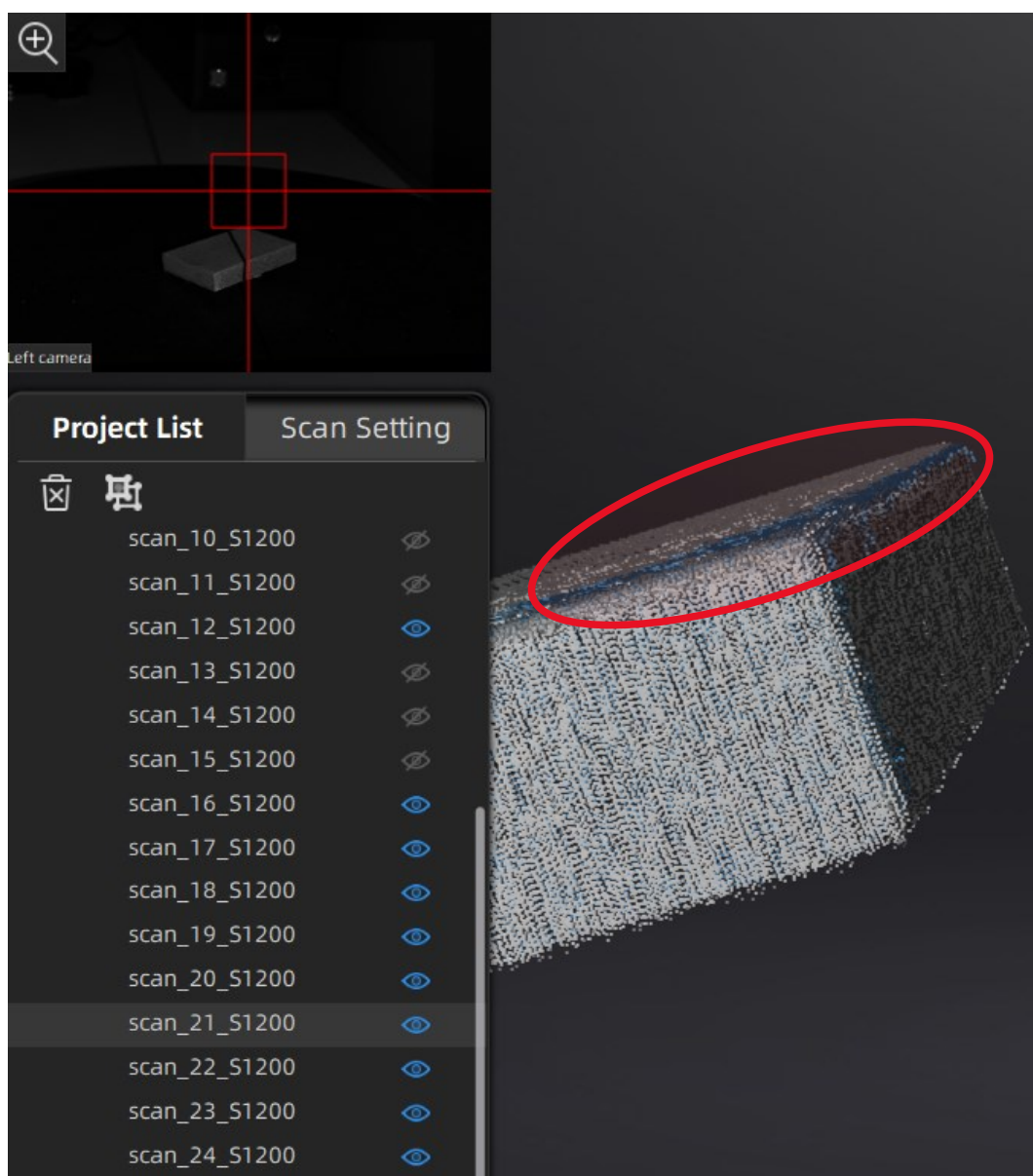
Kuva 15. Mittapalan ja sinitarrojen pistepilvet

Pistemallia pystyy muokkaamaan ilman kiintopisteitä. Pistepilvi vaikuttaa karhealta, joka saattaa johtua epäonnistuneesta orientaatiosta, heijastuksesta tai liasta. Kuvassa 16 näkyy karkea pistemalli mittapalasta.



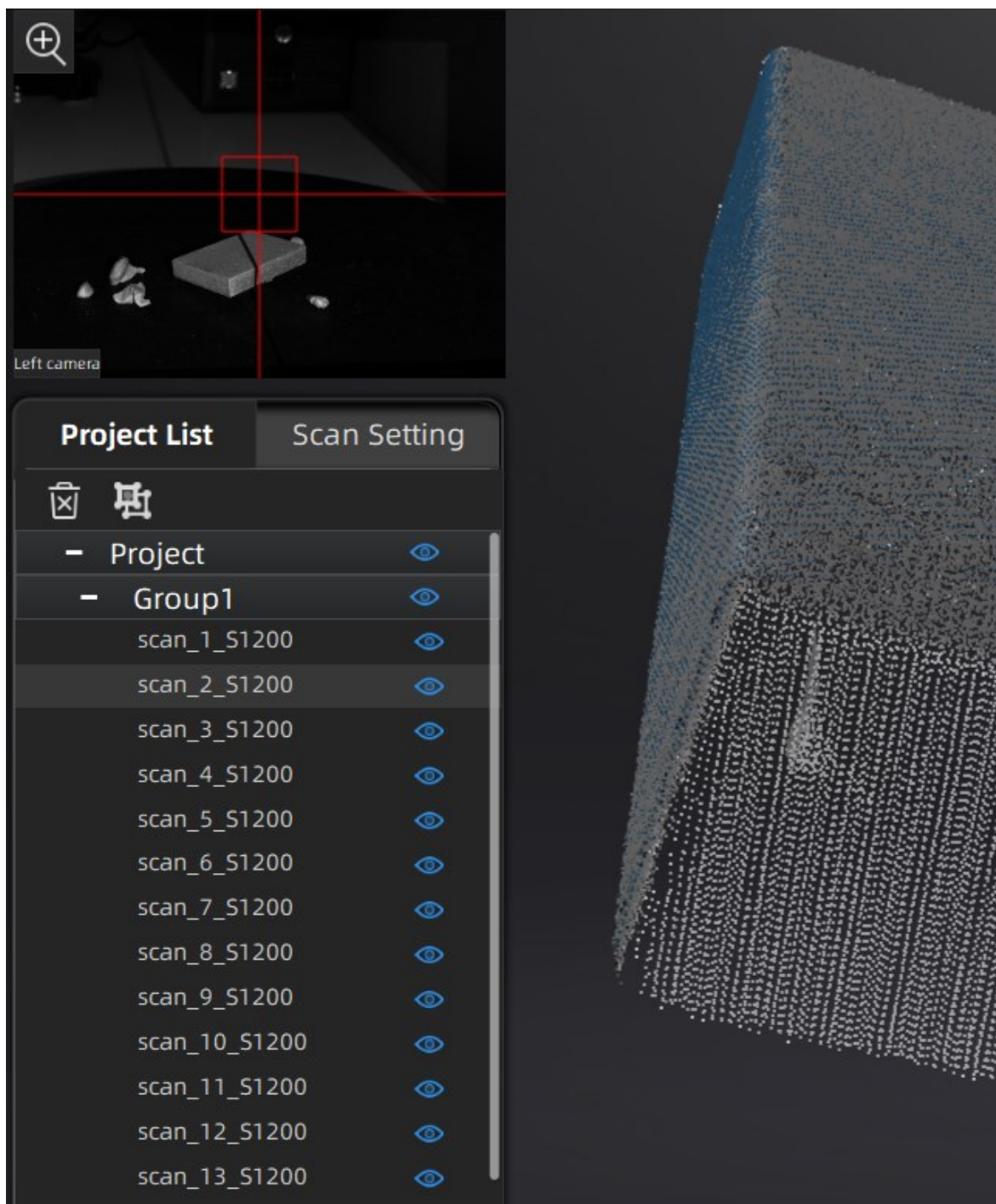
Kuva 16. Karkea pistemalli

Exstar-ohjelmassa on tallennettuna jokaisen alustan käännön kohdalla tehdyt skannausryhmät, jotka näkyvät vasemmasta sivuvalikosta: Project List. Tästä valikosta voi poistaa epätoivotut ja epäorientaatioissa olevat skannausryhmät. Ohjelma pystyy poistamaan automaattisesti joitain yksittäisiä pisteitä optimointikäskyllä, mutta on parempi poistaa kokonainen skannausryhmä manuaalisesti, jos yksittäinen ryhmä ei ole kohdistunut muiden ryhmien kanssa. Jos näitä ryhmiä ei poista ja optimoidaan pistemallia, optimointi antaa epätarkan tuloksen, koska ohjelma ei tiedä, mikä skannausryhmä on orientaatioissa kaikkien muiden ryhmien kanssa. Pahimmillaan ohjelma voi luoda erillisen mesh-pinnan irrallisesta skannausryhmästä myöhemmässä käsittelyvaiheessa. Kuvassa 17 näkyy vasemmalla skannausryhmät ja oikealla pistepilvi. Pistemallin pinnan alle jäänyt, sininen, epäorientaatioissa oleva poistettava skannausryhmä on ympyröity punaisella.



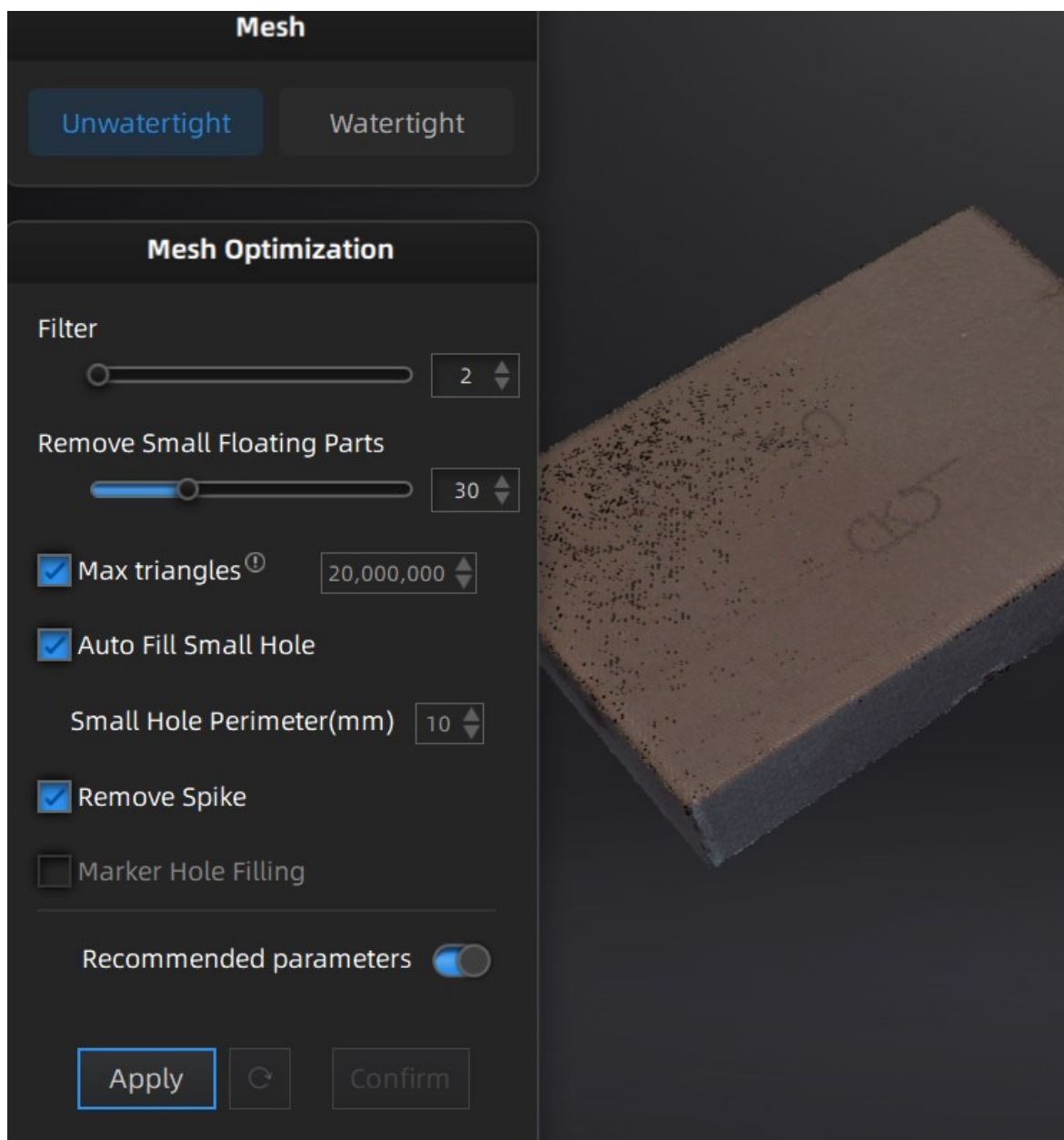
Kuva 17. Lista skannausryhmistä

Pistepilvestä on poistettu epätarkat ja huonossa orientaatioissa olevat skannausryhmät, kaikki skannausryhmät ovat kohdallaan. Global optimization valikosta saadaan automaattisesti kaikkien pisteiden linjaan asettelu. Tämä tarkentaa ja selkeyttää pistepilveä huomattavasti ja helpottaa mesh-mallin tekemistä. Kuvassa 18 näkyy pistepilvi, jossa ei ole epä-orientaatioissa olevia skannausryhmiä.



Kuva 18. pistepilvi global optimoinnin jälkeen

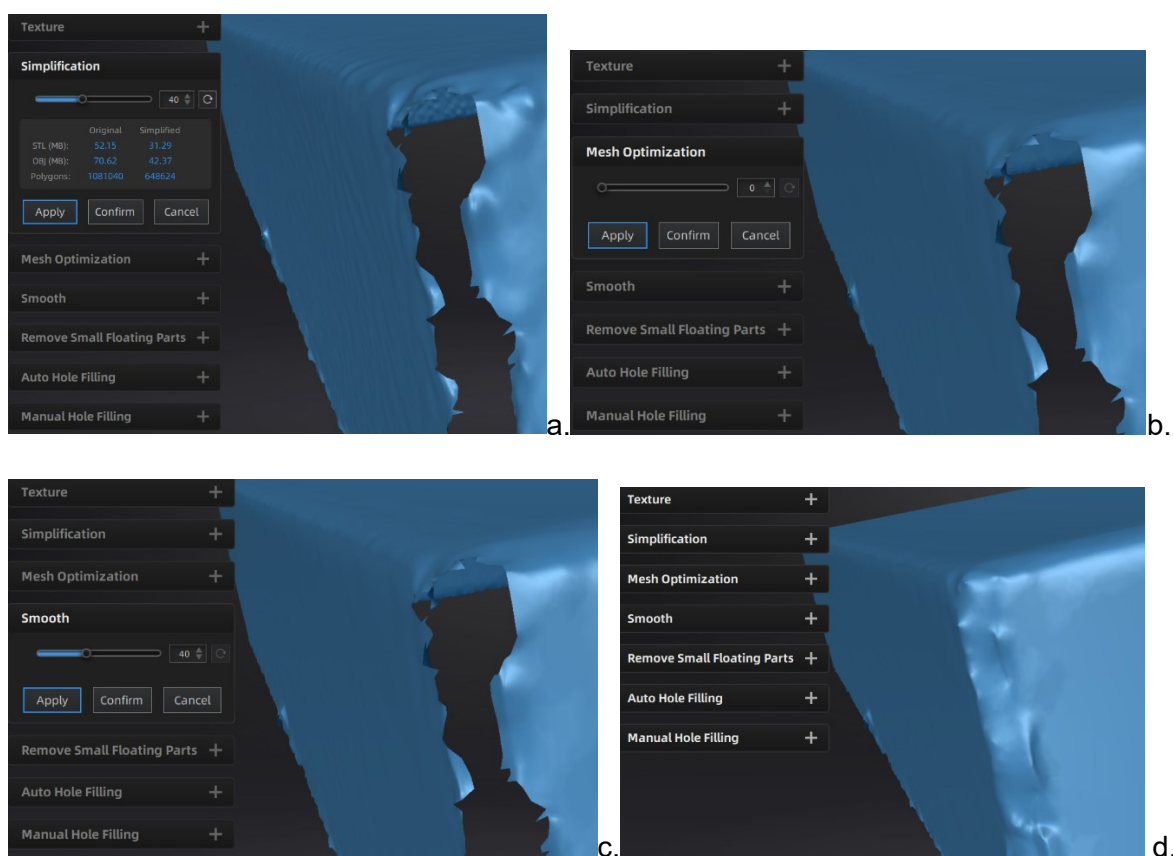
Jotta pistepilveä voisi muokata ja tarkastella muulla ohjelmalla, kuin Transcan C. pistemalli tulee muuttaa mesh-malliksi, jolloin sille luodaan polygoniverkko jälkikäsittelyssä. Polygoniverkko muodostuu pistepilven pisteiden sijoittelun perusteella. Ohjelmassa on vaihtoehtoja luoda mesh-malli. Kuvassa 19 näkyy Mesh-mallin halutut asetukset. Jälkikäsittelyssä huomioon otettavaa on 20 miljoonan enimmäispolygonimäärä ja unwatertight-asetus. enimmäispolygonimäärä vaikuttaa esineen tarkkuuteen ja unwatertight-asetus ei tee esineelle automaattisesti kokonaan ympäröivää polygoniverkkoa, vaan se saa olla avoin pinta.



Kuva 19. Mesh-mallin luomisen asetukset

Optimoinnin jälkeen mesh-malli vaatii monta käsittelytoimintoa: Texture, simplification, mesh optimization, smooth, remove small floating parts, auto hole filling ja manual hole filling. Optimoitu Mesh-malli yksinkertaistetaan, jotta sitä on helpompi käsitellä.

Texture-toimintoa ei käytetä, koska tässä mittaustapahtumassa sillä ei ole merkitystä. Texture toiminto on 3d-skannerin ottama valokuva, jonka ohjelma asettaa digitaalisen muodon päälle. Texture toiminto on hyödyllinen projekteissa, jossa on esteettisiä tarkoituksia. Simplification-toiminnolla eli yksinkertaistamisella voidaan muokata mallia, jotta tarkastelu on helpompaa. Tämä toimenpide on tehtävä, jotta mallin tarkastelu ja mittaaminen on sujuvampaa. Pistepilvestä on luotava mesh-malli. Mesh-mallia luodessa tietokoneohjelma antaa useita jälkikäsittelytyökaluja muuntamista varten. Kuvassa 20 a. näkyy kuinka polygonimäärä ja tiedostokoko on pienentynyt huomattavasti yksinkertaistamisen jälkeen. Mesh optimization-toiminnolla saadaan oikaistua pintoja suuremmiksi kuten näkyy kuvassa b. Kuvassa c näkyy mesh-pinta optimoinnin jälkeen ja smooth-toiminto. Kuvassa d. näkyy yhteen nidottu kulma, johon ei ole tarttunut heijastinsuihketta. tähän kulmaan on käytetty auto hole fill toimintoa asetuksella 40. Tämä ei vaikuta myöhempiin mittauksiin, koska mittaus tapahtuu tasaisista pinnoista, eikä kulmasta.

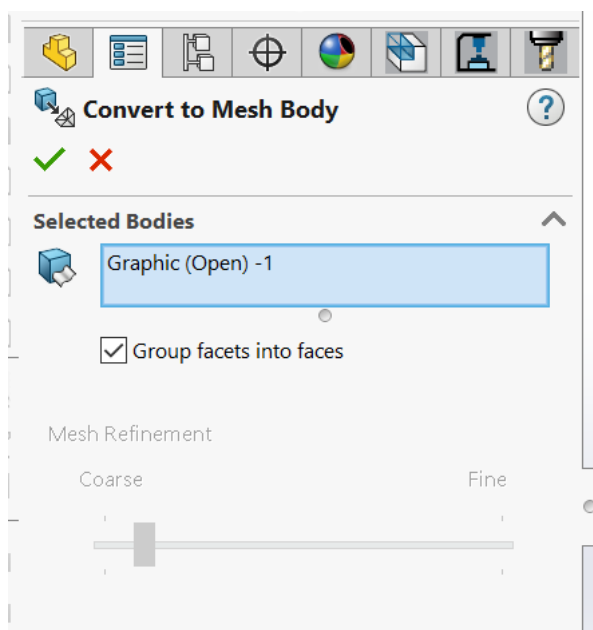


Kuva 20 a, b, c ja d. jälkikäsittelytyökalut

Lopuksi digitaalisen mesh-mallin voi tallentaa haluamallaan tiedostomuodolla. Tiedostomuotoja on useita joilla jokaisella on omat käyttötarkoituksensa, kuten obj. 3mf jne. Tässä tapauksessa valittiin STL-tiedosto, koska se sopii hyvin mittaustarkoituksiin.

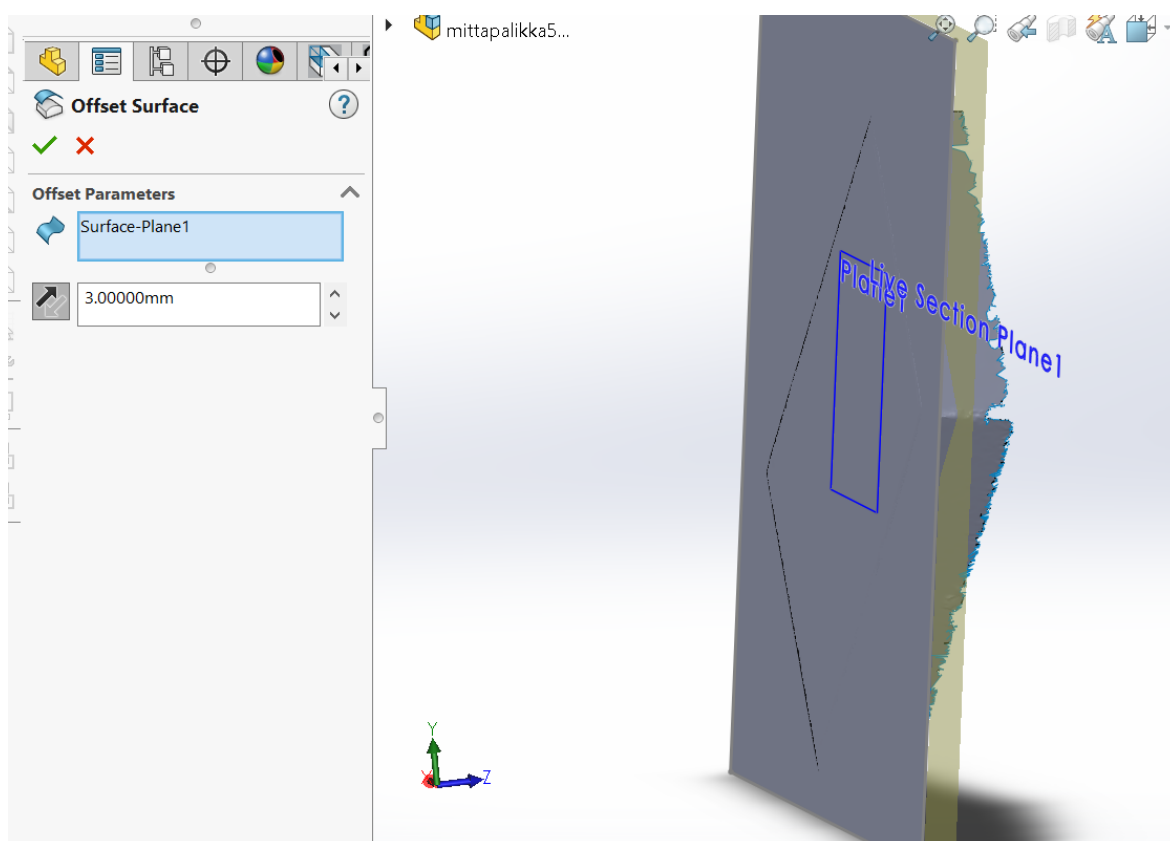
6.2 Pinnan mittaaminen Solidworks-ohjelmalla

Mittaustapoja on monia, joita voi soveltaa tarkoituksen mukaisiksi. Koska tässä tapauksessa mitattavien pisteiden tulee olla vain yhdellä pinnalla, luodaan ensiksi tasopinta ja leikataan mittapalan kokoinen reikä siihen. Tässä tapauksessa ei mitata mittapalaa, vaan sen jättämää reikää tasopinnassa. Etäisyyksien mittaaminen on helpompaa kaksiulotteisesta tasopinnasta, kuin kolmiulotteisesta esineen pinnasta. Solid works-ohjelmassa valitaan import graphic stl, joka pitää muuntaa Mesh body- muotoon kuten kuvassa 21. Jotta mittamisen voi suorittaa kaksiulotteisessa pinnassa, on luotava pinta, jota leikataan mittapalalla. Mittapala toimii leikkurina ja tasopinta leikattavana osana. Mittapala on skannattu vain yhdeltä puolelta, siksi mesh-mallissa ei ole pohjaa. Pohjaa ei ole skannattu, koska sitä ei mitata tässä tapauksessa, vain mesh-mallin jättämät leikkuureunat ovat mittaushaasteena.



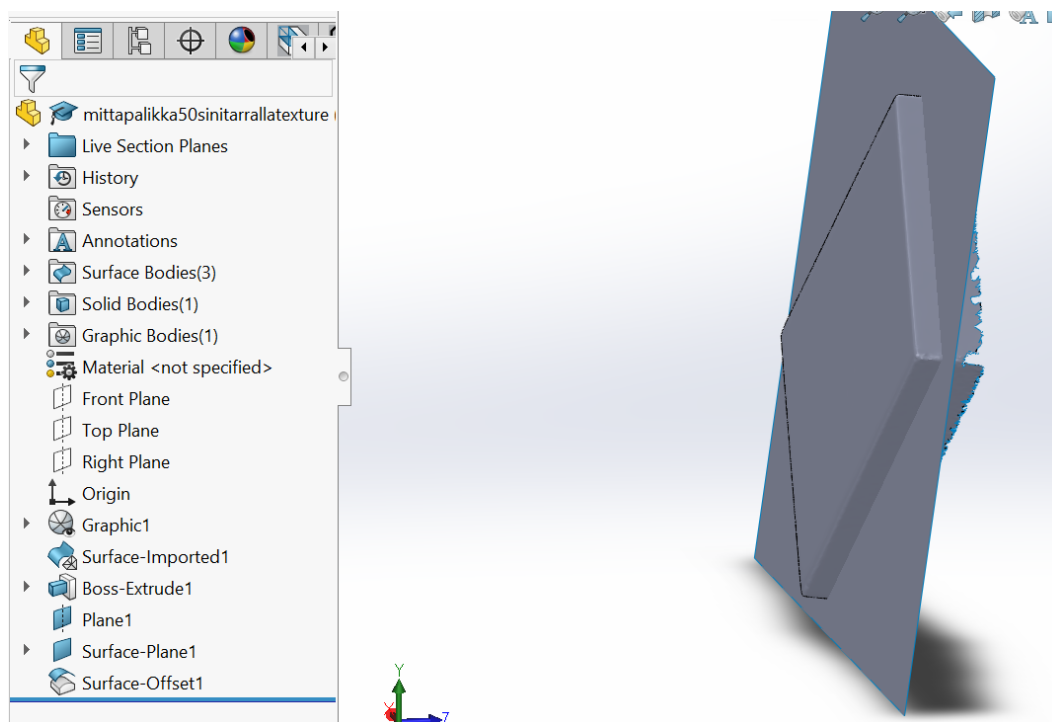
Kuva 21. Graphic muuttaminen mesh body- muotoon

Joitain irrallisia pintoja syntyy muuntamisessa, jotka voi poistaa. Kuvassa 23 näkyy poistettavat muodot. Luodaan mittapalan selän mukainen taso ja asetetaan se 3 mm:n etäisyydelle. Tällä tavalla saadaan karheat pinnat pois mitta-alueelta ja hyvä kiinne kohta esineen pinnan reunoihin. Kuvassa 22 näkyy keltaisella leikattava tasopinta.



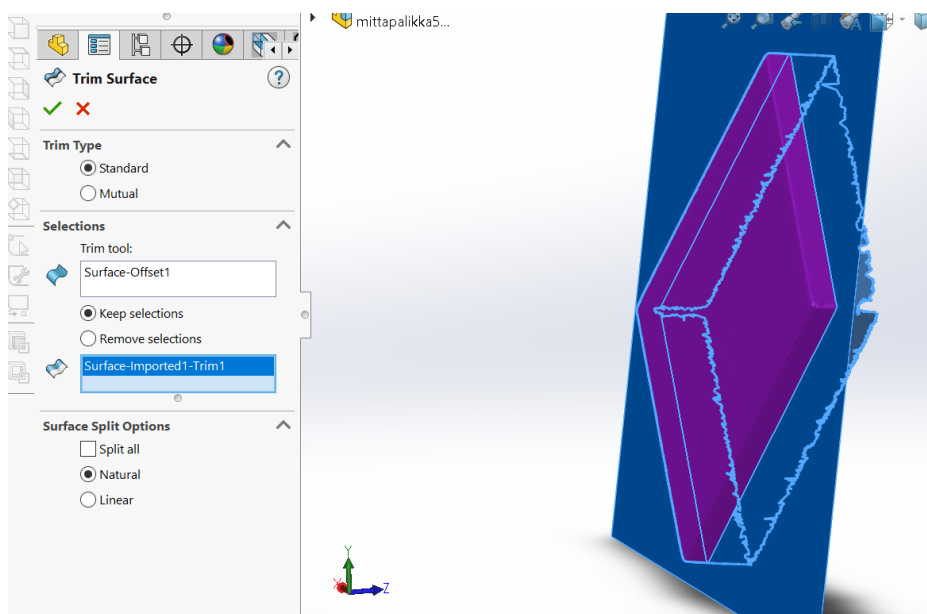
Kuva 22. tasopinta ja leikkauskohta

Leikattava tasopinta on asetettu keskelle mittapalaa, joka on leikkaava muoto. Kuvassa 23 näkyy mittapalan mesh-malli ja uusi, leikattava ja mitattava tasopinta.



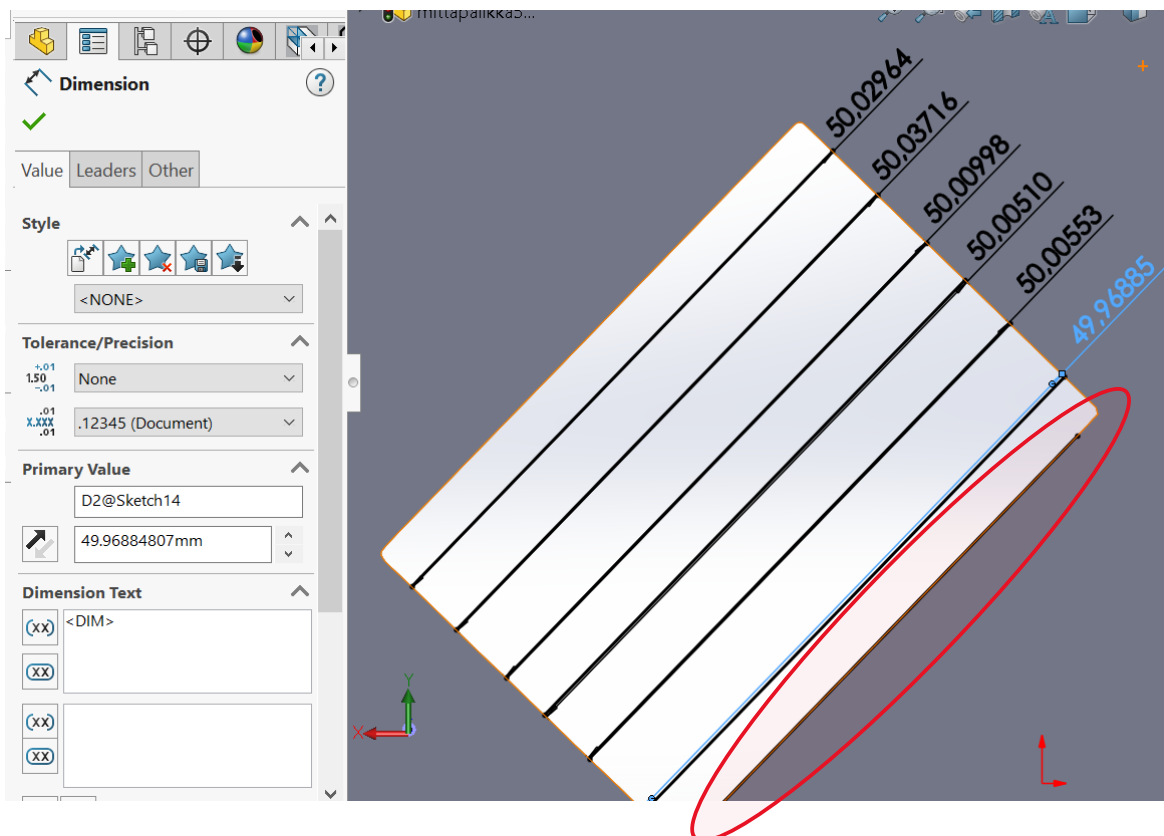
Kuva 23 pinta keskellä esinettä

Leikataan tasopinta esineen reunojen mukaan Trim surface-komennolla. Kuten kuvassa 24 näkyy, esineellä ei ole paksuutta, joten mittaaminen voidaan tehdä leikatun tasopinnan reunoista, eikä esineen pinnasta.



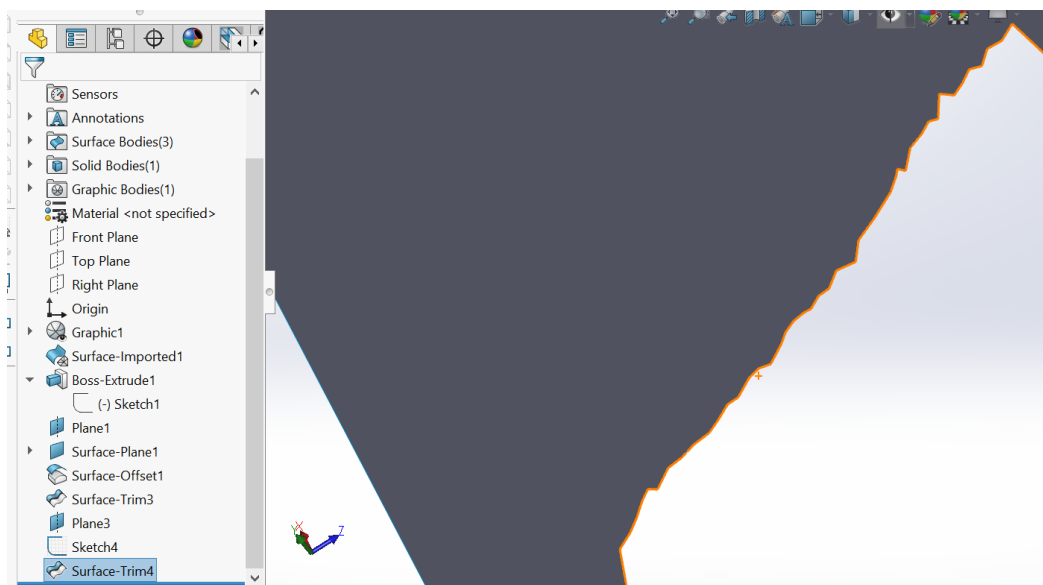
Kuva 24. pinnan leikkaus esineen reunojen mukaan

Tasopintaa voidaan mitata esineen jättämän reiän mukaan. kuvassa 25 näkyy 6 mittauskohtaa. Tämä mittaus on suoritettu 3 kertaa. Referenssiviiva on otettu kahdesta pisteestä reiän reunalta. mittaviivat ovat samansuuntaiset referenssiviivan kanssa. referenssiviiva on ympyröity kuvassa 25 punaisella



Kuva 25. mittaus reiästä ja referenssiviiva

Kuvassa 26 havainnollistetaan mittaerot, kun tarkastellaan tasopintaa viistosta kuvakulmasta. Vaikuttaa siltä, että tasopinnassa on paljon laaksoja ja kukkuloita. Näiden laaksojen ja kukkuloiden väliltä pystyy arvioimaan skannatun mittapalan tarkkuuden. Tässä on otettava huomioon, että myös toinen reuna, jossa mittaus tapahtuu, on epätasainen reuna. Tämä tarkoittaa, kun skannaus on tapahtunut yhdellä reunalla, kun toinen reuna on ollut vielä varjossa. Vasta kun toinenkin reuna on skannattu, saadaan mittaukselle vaadittavat kaksi reunaa. On oletettavaa, että valmistajan tarkkuudeksi ilmoittava 0.035 mm:n tarkkuus kaksinkertaistuu 0,07 mm:n tarkkuuteen.



Kuva 26. mittapalan reunan havainnollistaminen.

Koska reikä ei ole tasainen, vaan siinä on paljon pituuseroja, jotka ilmenevät karheana reunana on tarkempaa mitata se useasta kohtaa. reikää on mitattu kuudesta kohtaa 3 kertaa, laskettu pienimmän ja suurimman mitan erotus ja niiden keskiarvo.

6.3 Mittatietojen käsittely

Tarkkuuden selvittämistä varten on mitat saatava arvioitavaksi jonkinlaisen kaavan avulla. Koska mittaerot vaihtelevat jokaisella mittauskerralla on hyvä käyttää keskiarvoa suurimpien ja pienimpien mitta-arvojen välillä. Kaavassa 1 näkyy valittu kolmen eri mittaustuloksen keskiarvon laskuperiaate. Kaavassa 2 näkyy keskiarvon laskutoimitus ja sen tulos.

$$\frac{(X_{max1}-X_{min1})+(X_{max2}-X_{min2})+(X_{max3}-X_{min3})}{3} (1)$$

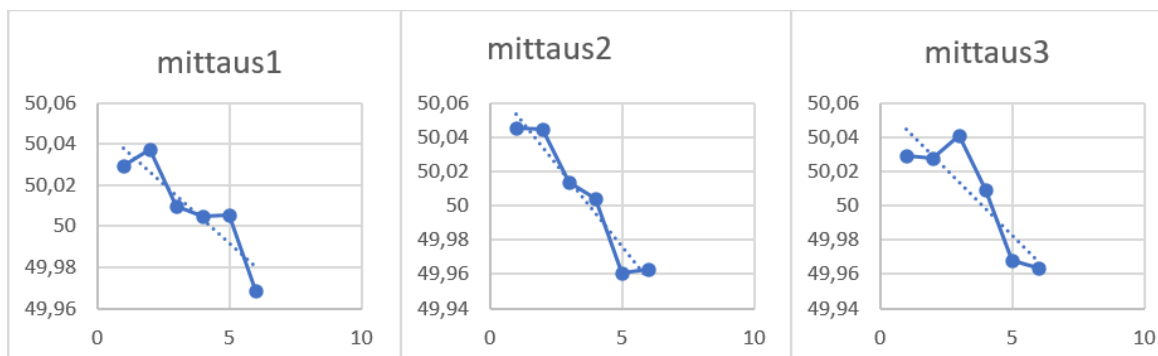
$$\frac{0,06831mm.+0,08281mm.+0,07761mm.}{3} = 0,076243mm. (2)$$

Laskennallisesti helpoin tapa tehdä matemaattisia taulukoita on käyttää Excel-ohjelmaa. Sillä pystyy myös havainnollistamaan laskuja kuvioden avulla. Taulukossa 2 näkyy mittaus-tulokset ja laskutoimitus.

mm	keskiarvo	suurin-pienin	mm	keskiarvo	suurin-pienin	mm	keskiarvo	suurin-pienin
50,02964	50,00938	0,06831	50,04562	50,00532	0,08281	50,0291	50,00632	0,07761
50,03716			50,04459			50,02792		
50,00998			50,01403			50,04089		
50,0051			50,00409			50,00901		
50,00553			49,9608			49,96774		
49,96885			49,96281			49,96328		
suurin-pienin keskiarvo								
0,076243								

Taulukko 2. Excel laskentataulukko mitta-arvoineen

On huomioitavaa, että kuvioiden trendiviiva on laskeva, joka kertoo mittapalan olevan keskimäärin lyhyempi toisesta sivusta tai referenssiiviiva ei ole täysin kohtisuora. Trendiivian arvot pysyvät kuitenkin valmistajan ilmoittamien tarkkuuksien sisällä. Kuviossa 3 näkyy trendiivian lasku voi johtua vinosta mittapalasta tai skannausryhmien epäorientaatiosta.

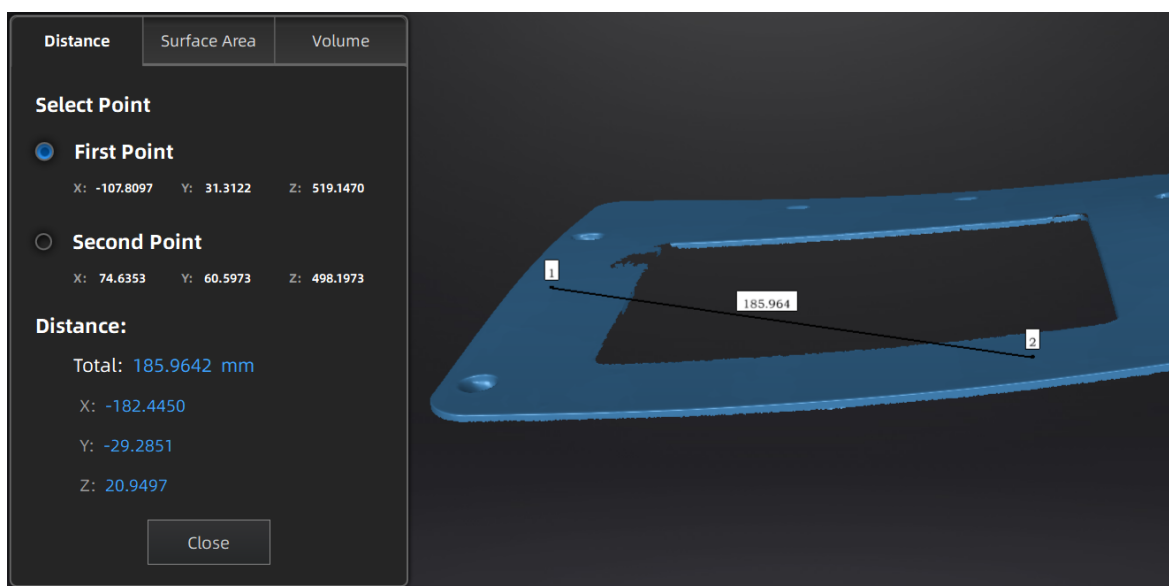


Kuvio 3. mittaustulosten trendiviivat

7 Kieron osan skannaus ja mittaus

7.1 Osan tiedot

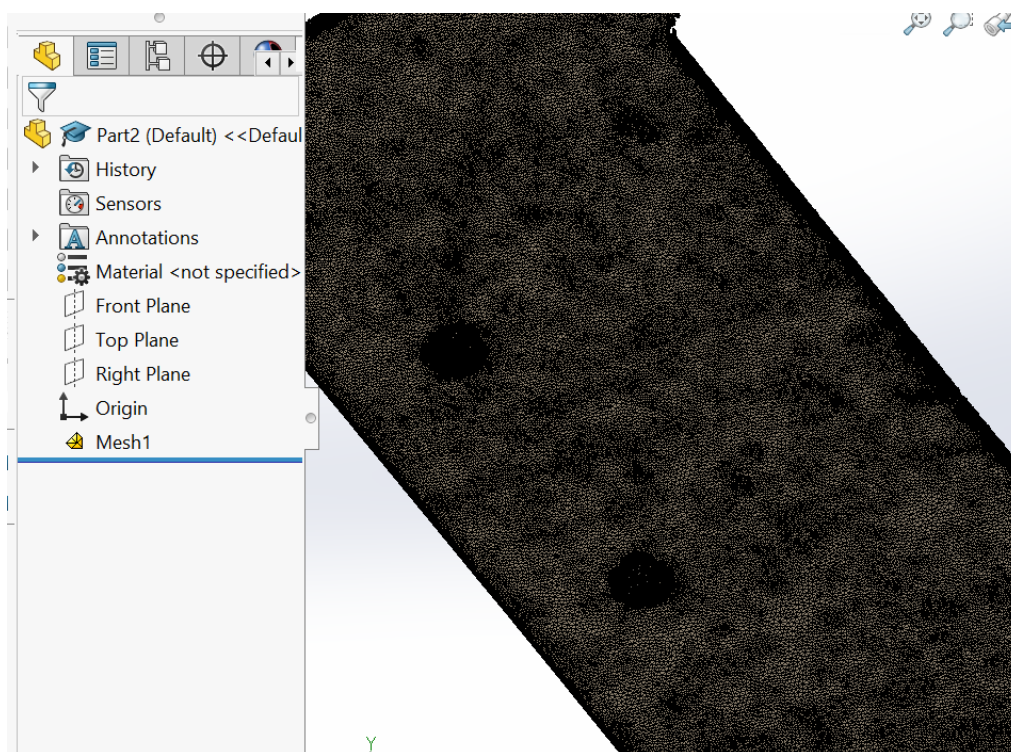
Kyseinen kiero osa on digitaalisessa muodossa ollut suora, mutta käyristynyt 3D-tulostusvaiheessa kerrosten lämpöeron tuloksena. 3D-tulostustekniikkana on käytetty jauhetulostusta, jossa laserilla sulatetaan halutut muodot kerroksittain jauheastiassa. Epäonnistuneen osan mittaaminen on tärkeää, koska sillä saadaan tietoa, kuinka paljon minkäkin paksuinen osa käyristyy tulostuksen lämpöerojen ansiosta. Mittaustiedoilla voidaan ennakoida tulostusprosessia ja tehdä tarvittavia muutoksia digitaaliseen malliin jo ennen tulostamista, joka vähentää hävikkikappaleiden määrää. Kiero osa skannattiin samalla tavalla, kun mittapala. Yritykselle tulee myös tulostettavia osia, joidenka tulee olla käyriä. 3D-skannaus- ja mitausmenetelmällä voi tarkastella tulostettua osaa laadunvalvonnan näkökulmasta ja määrittellä onko kappale kurantti. Kuvassa 27 näkyy skannausohjelman mittaustoiminto, mutta se on hyvin alkeellinen, eikä sillä saada tietoon haluttuja mittoja. Mittaaminen tehdään myöhemmin SolidWorks-ohjelmassa.



Kuva 27 skannattu kiero-osa ja alkeellinen mittaustoiminto

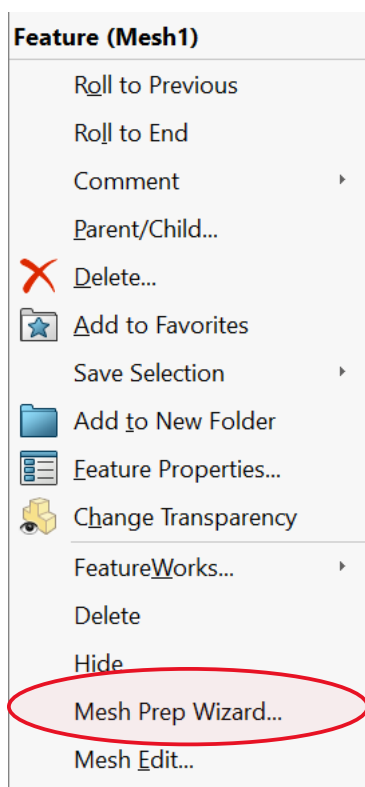
7.2 Kieron osan muokkaus Solidworks-ohjelmalla

Kiero-osa on tuotu SolidWorks-ohjelmaan stl-tiedostona, mesh-muodossa. Kuvassa 28 näkyy laskennallisesti raskas Mesh-malli, jota ei vielä ole yksinkertaistettu.



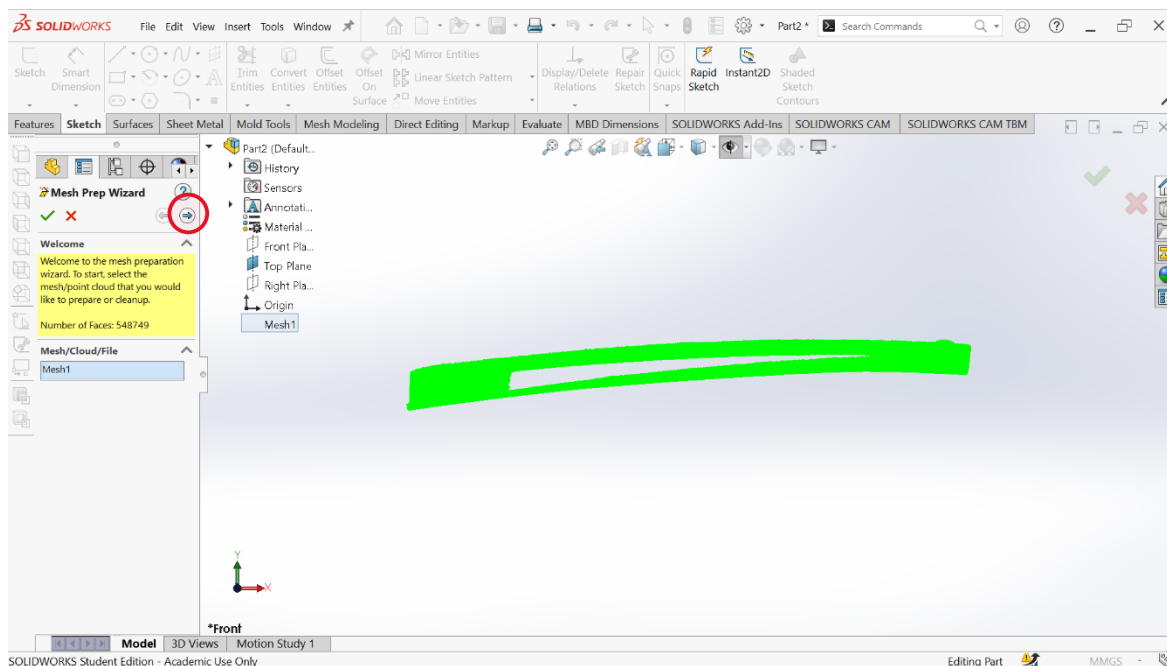
Kuva 28. Kieron osan mesh-malli Solidworks-ohjelmassa

Kun painaa mesh-kuvaketta hiiren oikealla napilla, avautuu vaihtoehtovalikko, josta valitaan Mesh Prep Wizard. Kuvassa 29 näkyy valikko, josta toiminto löytyy.



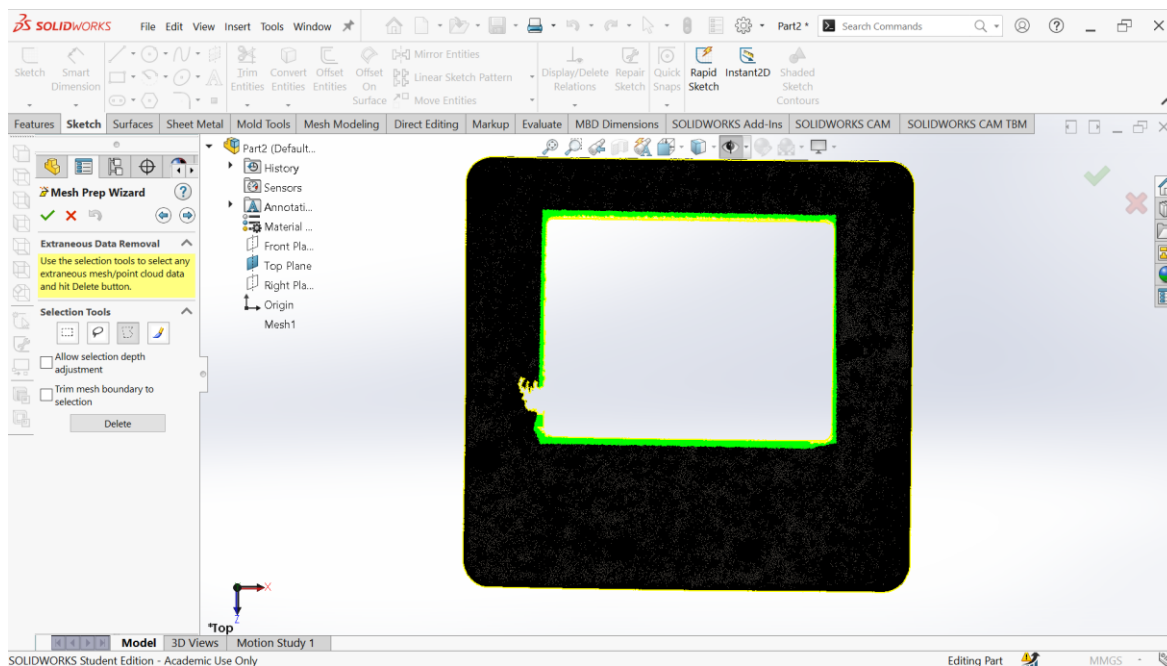
Kuva 29. Mesh prep wizard

Käydään läpi kaikki vaiheet siirtyen oikealle sinisestä nuolinapista. Kuvassa 30 näkyy painike, josta painetaan vasta, kun halutut toimenpiteet on saatu aikaiseksi.



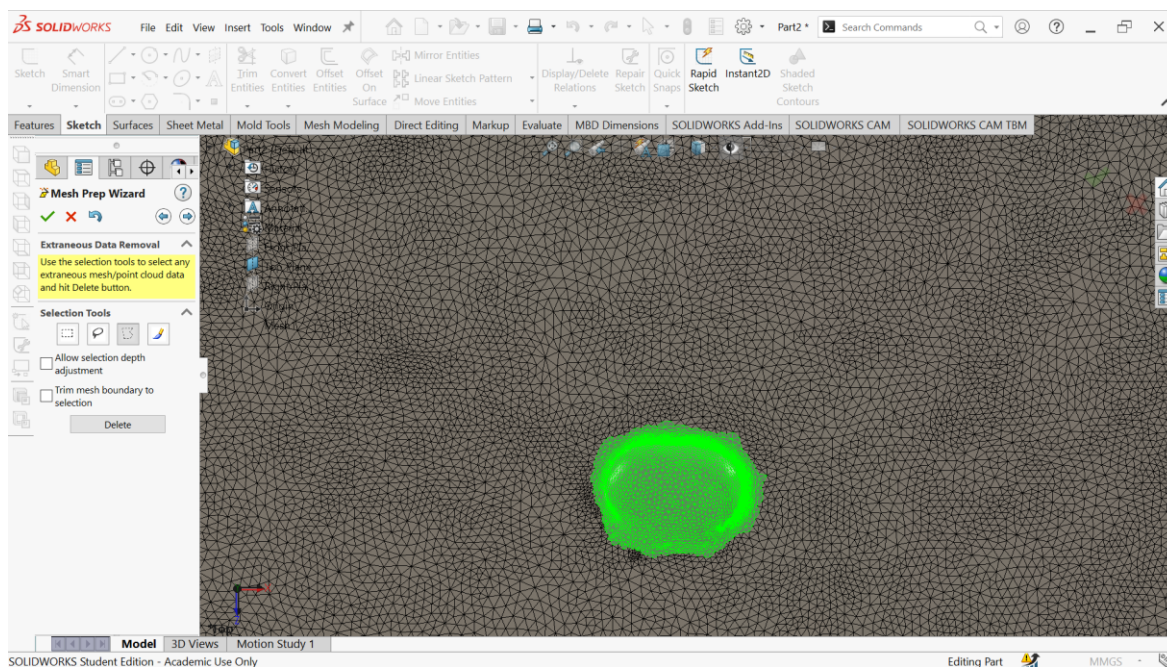
Kuva 30. Mesh prep wizardin aloitus

Ensimmäisessä vaiheessa toiminto pyytää poistamaan ylimääräisen datan, joita tässä tapauksessa ovat reunat ja muut ylimääräiset muodot. Kuvassa 31 näkyy vihreällä poistettava data.



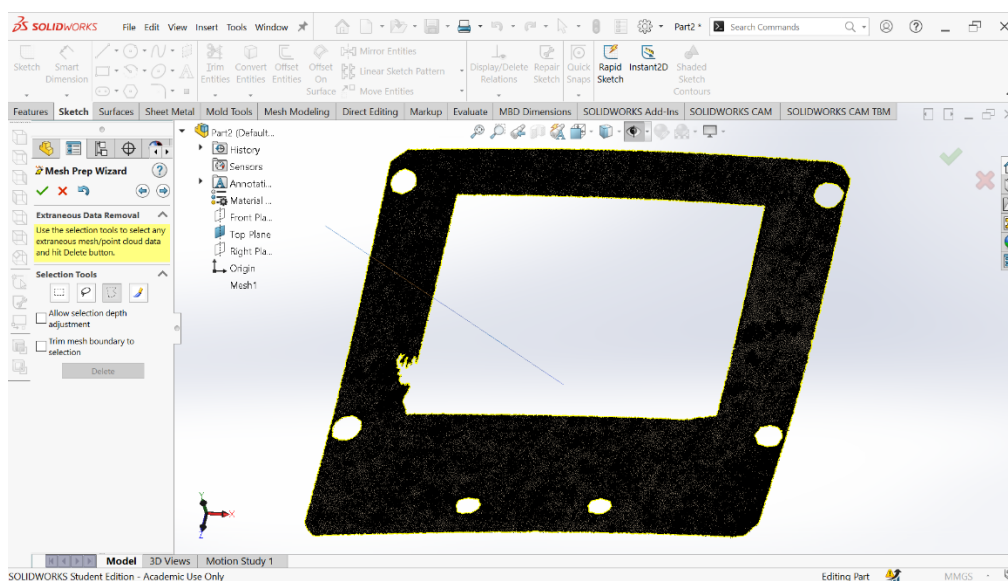
Kuva 31. Poistettava data

ExStar-skannausohjelmassa mesh-mallia oli parsittu umpeen reikien osalta. Toimenpide jätti reikien kohdalle ulkonevat muodot, jotka eivät ole haluttuja tässä tapauksessa, joten nekin poistetaan. Tarkoituksena on poistaa mahdollisimman paljon muotoja, jotka eivät ole oleellisia käyristymän suhteen. Tällä tavalla saadaan tarkempi arvio kokonaisuudesta osan käyristymän suhteen. Kuvassa 32 näkyy poistettava, koholla oleva muoto vihreällä.



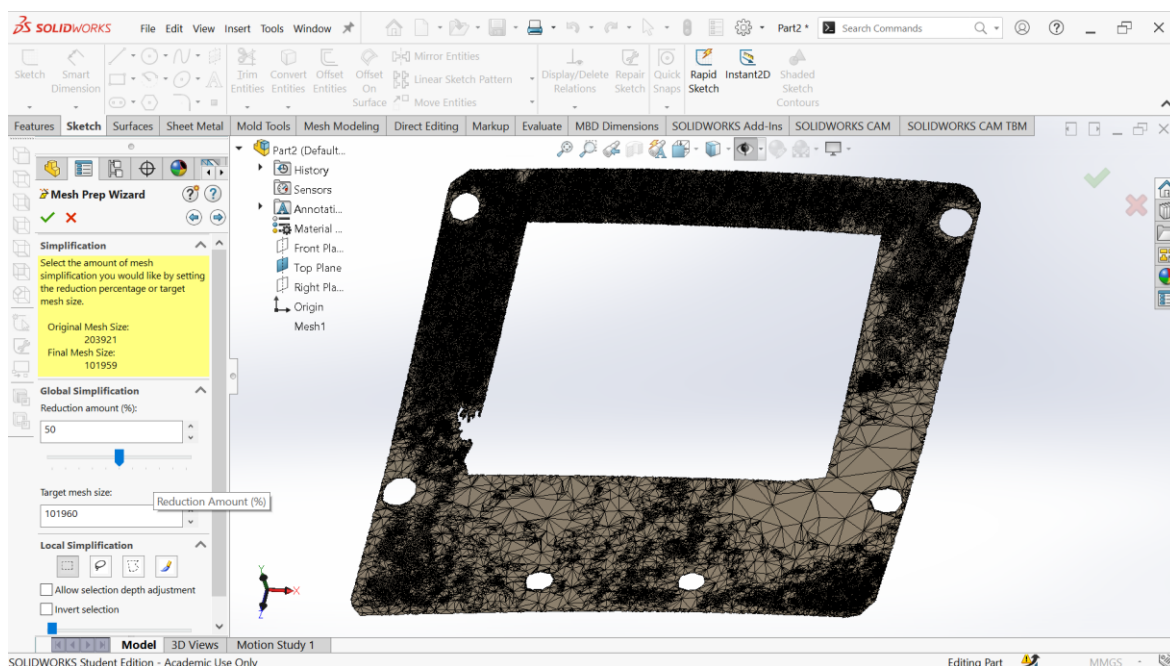
Kuva 32. ulkonevat muodot

Datan poistamisen jälkeen mallissa ei tulisi olla mitään suuria, ylimääräisiä muotoja, jotta ohjelma pystyy muodostamaan tarkemman kuvan kokonaisuudesta. Kuvassa 33 näkyy Mesh-malli turhan datan poistamisen jälkeen.



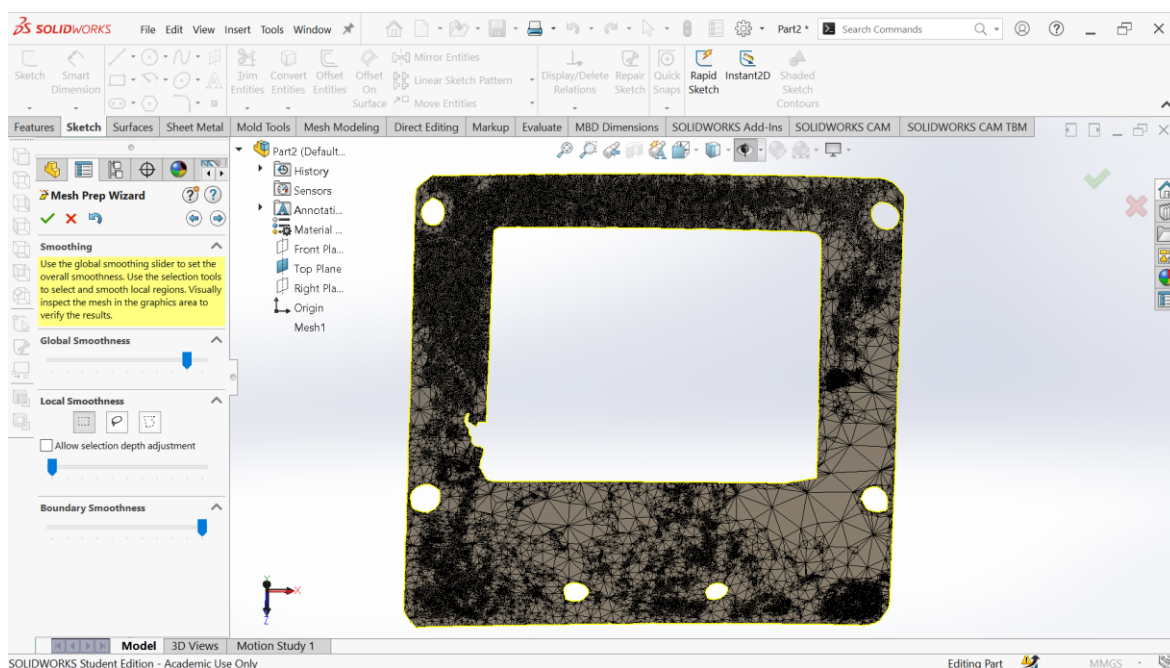
Kuva 33. Mesh- malli turhan datan poistamisen jälkeen.

Simplification – eli yksinkertaistamiskomennolla saadaan yhdistettyä polygoneja, jotka ovat samansuuntaisia. Kuvassa 34 näkyy vasemmalla liukusäädin ja yksinkertaistamisen prosenttimäärä sekä tavoiteltu polygonimäärä.



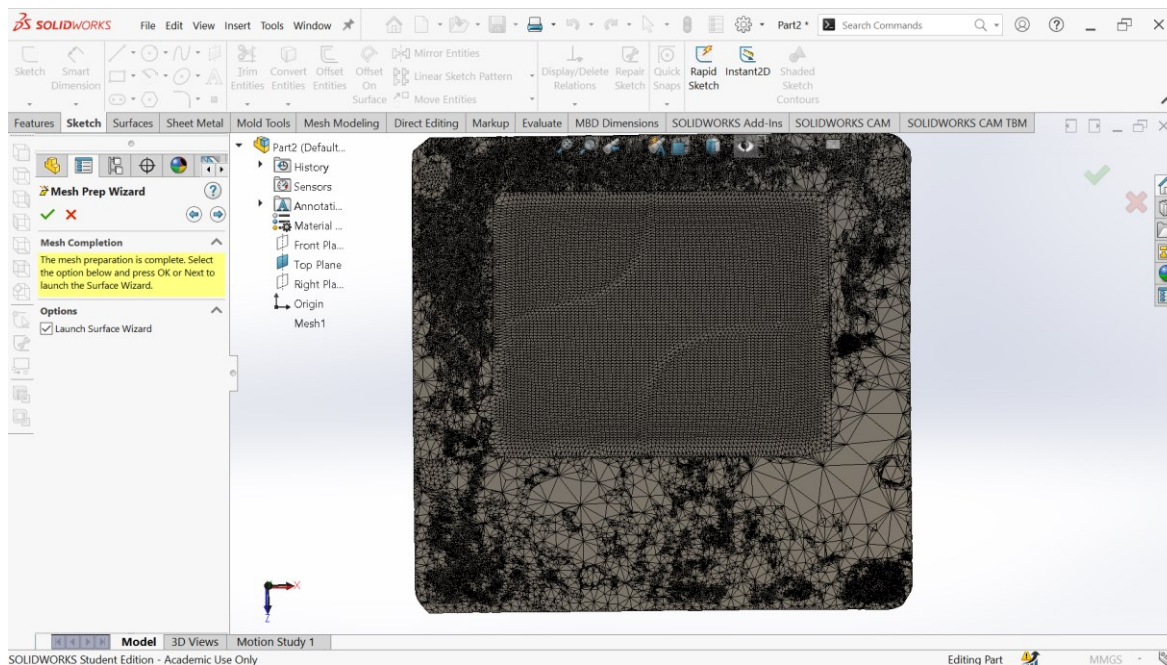
Kuva 34. Yksinkertaistaminen

Malliin on tehty paljon muokkauksia ja leikkauksia, joten on käytännöllistä tasoittaa reunat sileiksi. Kuvassa 35 näkyy vasemmalla liukusäätimellä valittavat, reunojen sileyden säätimet.



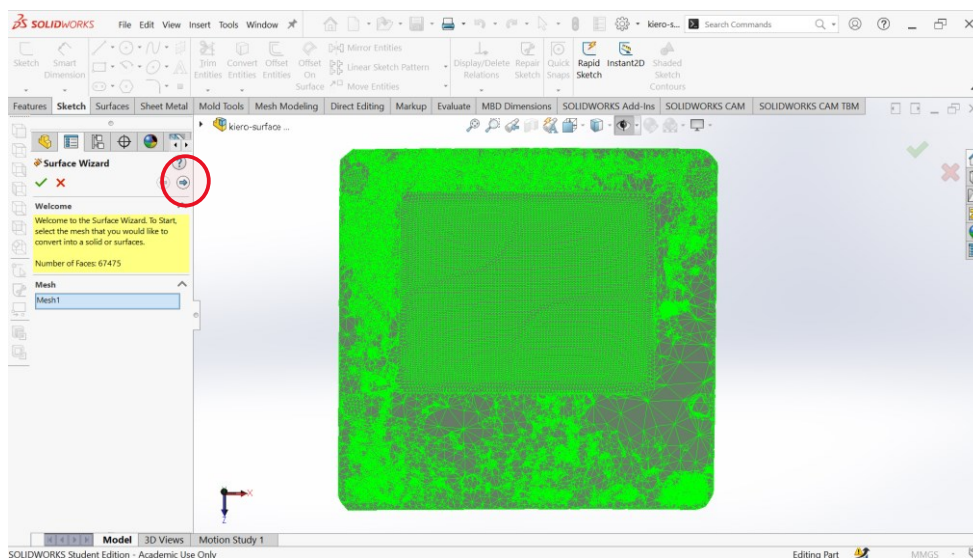
Kuva 35. Mallin reunojen tasoitus

Viimeisenä askeleena ohjeistetussa mallinnuksen muokkaustoiminnossa on reikien täyttö. Kuvassa 36 näkyy, kuinka mallin kaikki reiät on täytetty automaattisesti. Ohjeistettu mallinnuksen muokkaustoiminto ehdottaa laukaisemaan toisen muokkaustoiminnon, joka laukaistiin. Tällä saadaan luotua Mesh-mallista Surface-malli eli pinta.



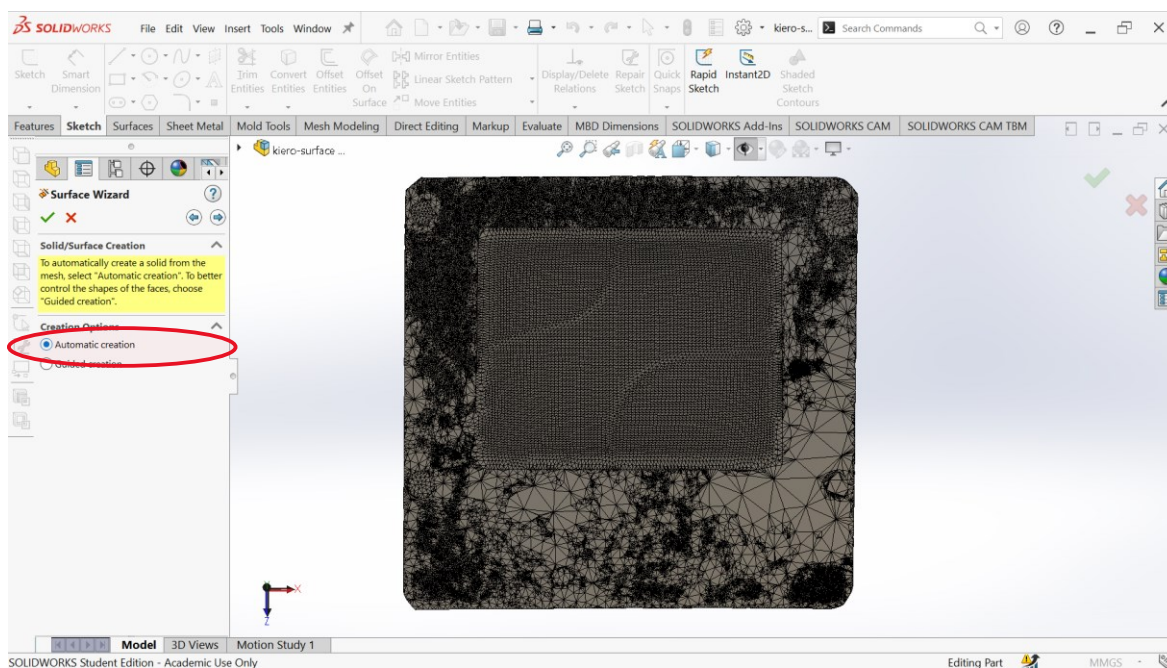
Kuva 36. Mesh-malli reikien täytön jälkeen.

Käydään askeleet läpi samalla tavalla, kuin aiemmassa ohjeistetussa muokkaustoiminnossa. Nyt Mesh-malli on yksinkertaistettu ja saatu hyvin lähelle haluttua muotoa, jota on tarkoitus tutkia ja mitata.



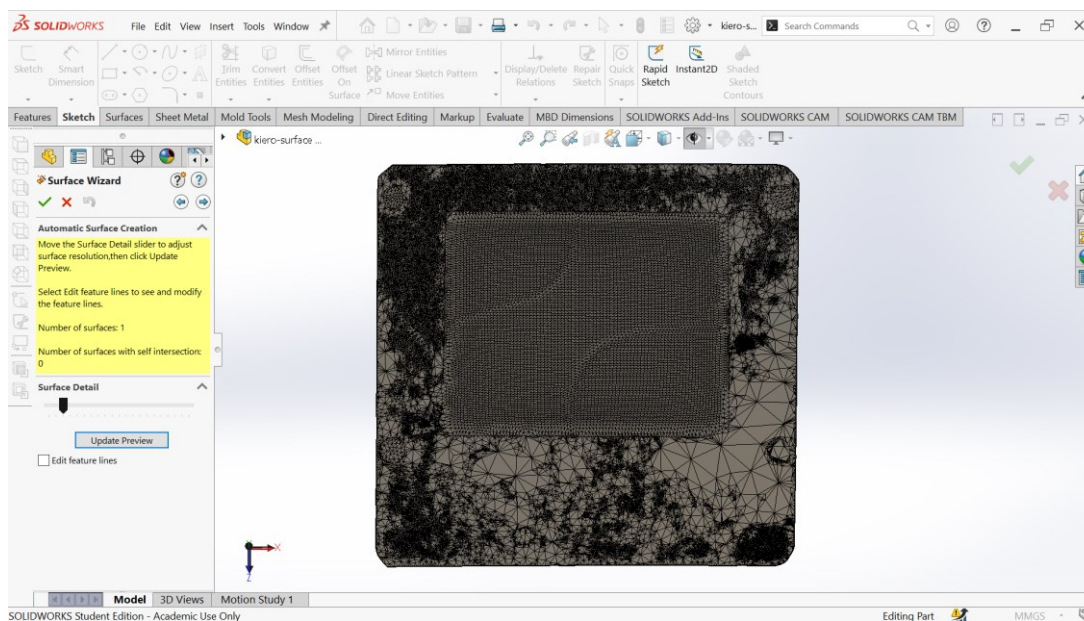
Kuva 37. surface Wizard ohjeistettu muokkaustoiminto

Valitaan automatic, koska Mesh-mallista on jo poistettu sellaiset häiritsevät tekijät, jotka ei palvele mittaustarkoituksia, kuten karheat reunat ja reiät. Kuvassa 38 näkyy automaattisen pinnan luonnin valinta vasemmalla, joka luo automaattisesti Mesh-mallista pinnan.



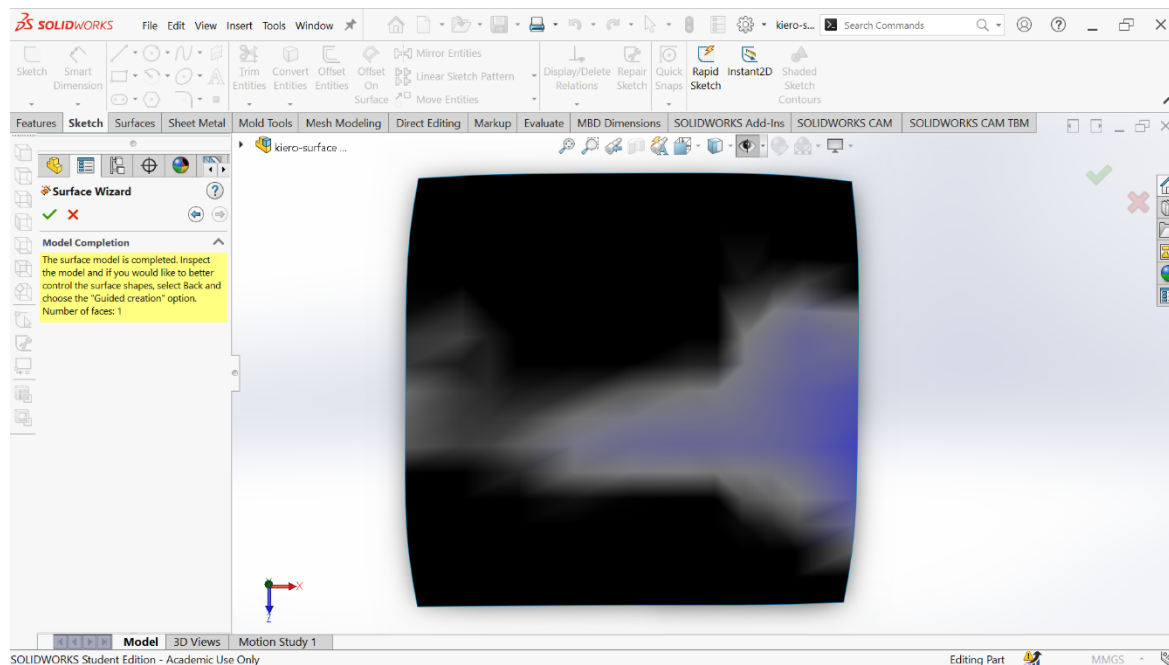
Kuva 38. Automaattinen pinnan luonti.

Automaattisen pinnanluonnin yhteydessä on liukusäädin, jolla saadaan pinnan yksityiskoh-
tia pienennettyä. Toiminto myös ilmoittaa, jos pinnan muodostamisessa ilmenee itseään
leikkaavia muotoja tai ylimääräisiä pintoja. Kuvassa 39 näkyy vasemmalla yksinkertaista-
misen liukusäädin ja tulevan pinnan tietoja.



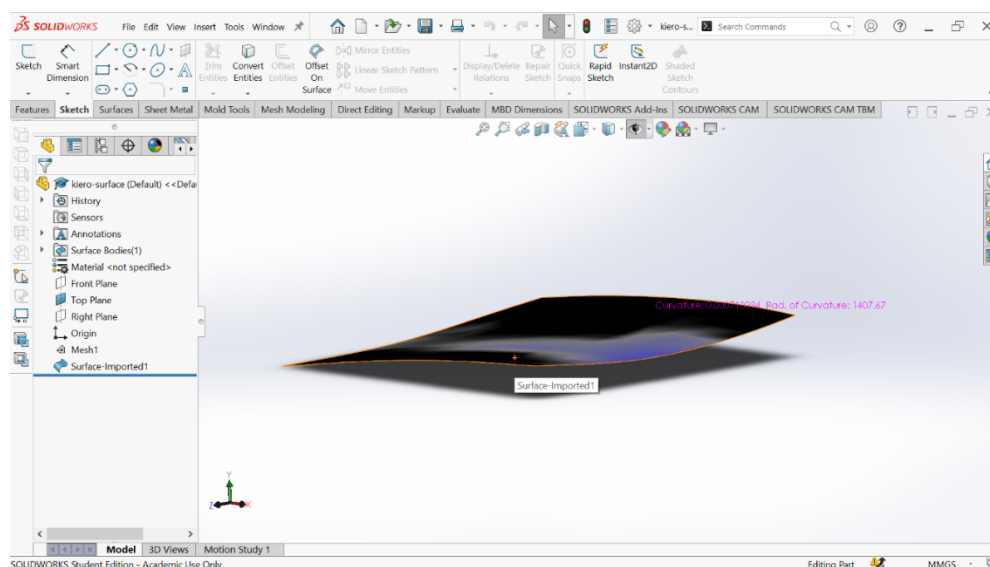
Kuva 39. Pinnan yksinkertaistaminen ja tiedot.

Kun valmis pinta on luotu ja jos siinä on halutut ominaisuudet, se voidaan hyväksyä. Jos pintaa halutaan muokata lisää, tai se ei palvele tarkastelun tai mittaamisen tarkoituksia, sitä voidaan muokata manuaalisesti myöhemmin. Kuvassa 40 näkyy valmis mallinnuksen pinta, joka on valmis tarkastelua ja mittausta varten.



Kuva 40. Valmis pinta

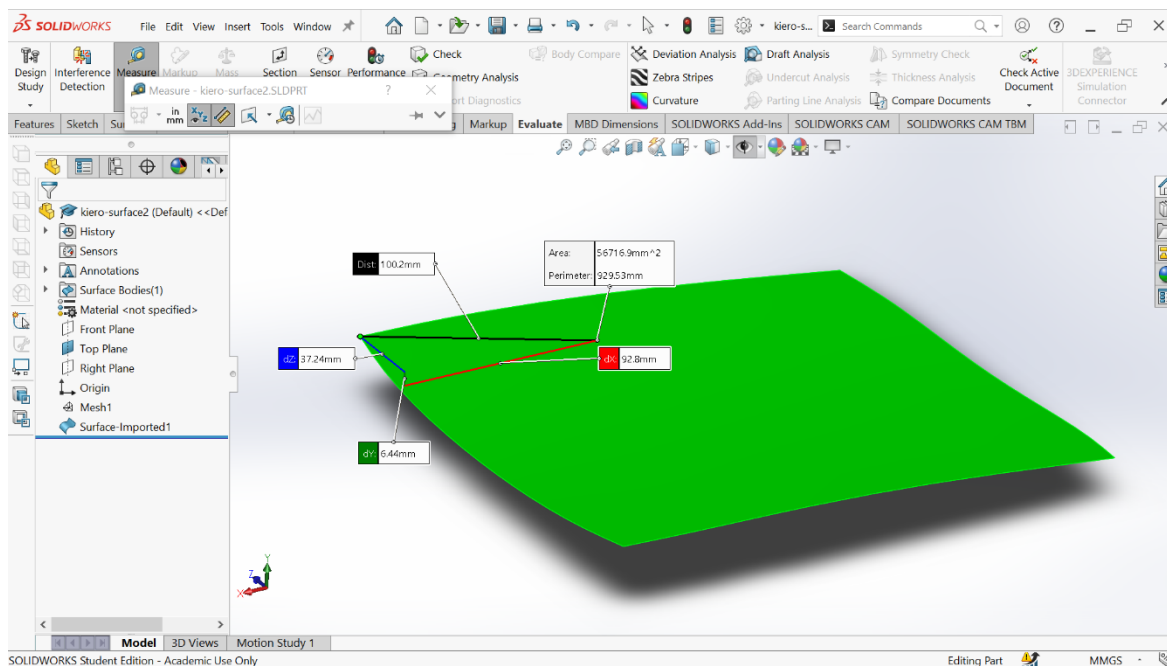
Kun kursori on pinnan päällä se antaa pinnan kaarevuuden tietoja, jotka näkyvät vaaleanpunaisena tekstinä. Ohjelma on tehnyt Mesh-mallista pinnan, jota ohjelma pystyy heti lukemaan halutulla tavalla. Kuvassa 41 näkyy valmis pinta ja tietoja pinnan kaarevuudesta siinä kohdassa, missä hiiri on.



Kuva 41. Valmis pinta ja kaarevuuden tietoja

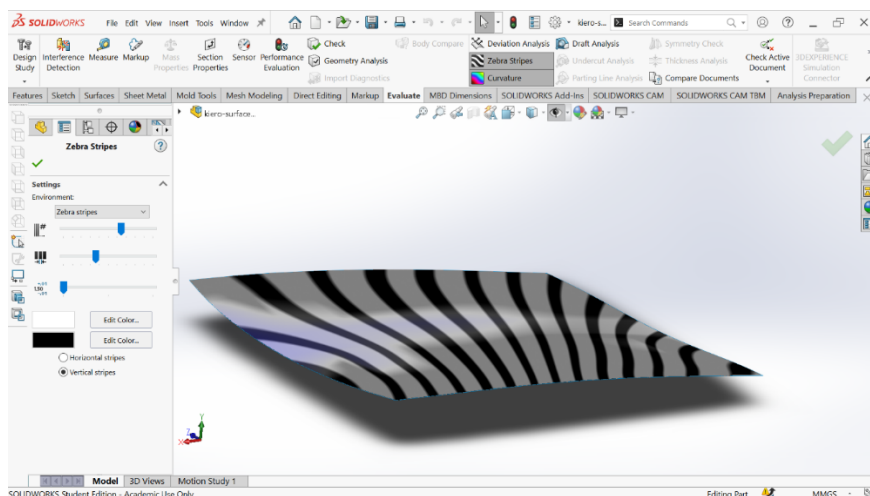
7.3 Mittatietojen tarkastelu Evaluate-toiminnolla

Evaluate eli Arviointitoiminto pystyy antamaan tietoja pinnasta, muttei mesh-mallista halutulla tavalla. Kuvassa 42 näkyy mittaustyökalun avulla saadut tiedot pinnasta otetusta kahdesta pisteestä, pinnan pinta-alasta ja pisteiden välisestä etäisyydestä millimetreinä. Tällä työkalulla voidaan saada tarkkoja tietoja, kuinka paljon tiettyjen pisteiden välillä on eroja X, Y ja Z-koordinaatistossa. Tämä on tehokas työkalu, kun halutaan tarkastella tiettyä kohtaa mallista ja saada niistä mittatietoja.



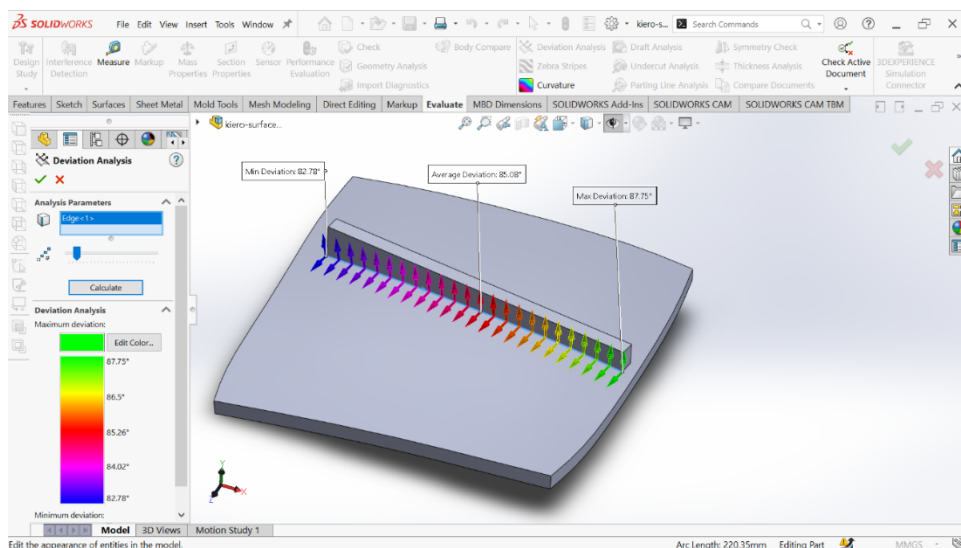
Kuva 42. Pinta ja Mittaustyökalu

Zebra stripes eli seepranraita-komento havainnollistaa pinnan kaarevuudet helposti nähtäväksi. Kuvassa 43 näkyy pinta seepranraita-toiminnossa ja sen liukusäätimet.



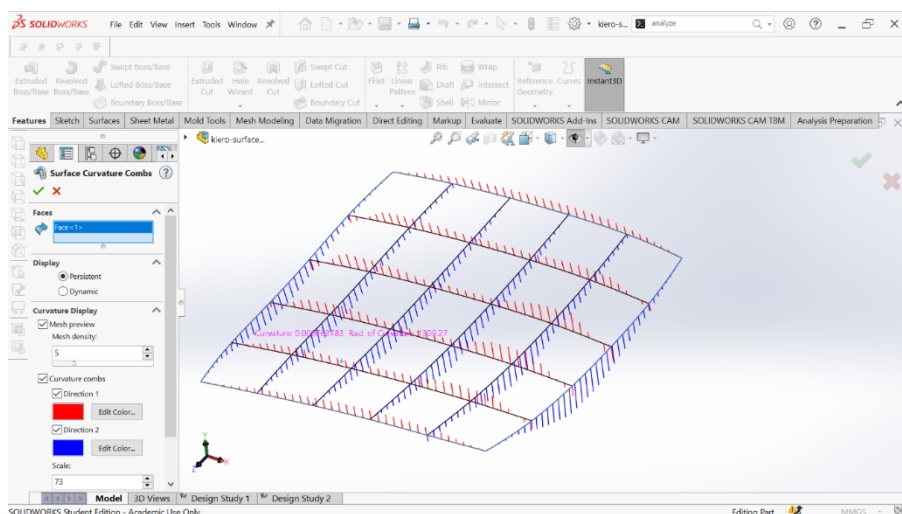
Kuva 43. Seepranraitatoiminto

Deviation analysis eli poikkeaman analysointi voi olla hyödyllinen komento, kun haluaa mitata kaarevuuden eroja pitkältä matkalta. Komento ei pysty analysoimaan pelkkää pintaa, joten tätä varten sille pitää antaa thicken eli paksunna- komento, jolloin surface eli pinta muuttuu solid bodyksi eli kiinteäksi kappaleeksi. Lisäksi komento vaatii referenssikappaleen, joka on tässä tapauksessa alatasolta pursotettu, pitkä kiinteä kappale. Poikkeaman analysointi tapahtuu referenssikappaleen ja mitattavan kappaleen kosketusrajasta. Kuvassa 44 poikkeaman analysointi antaa tiedot asteina, pienimmän, suurimman ja keskimääräisen paikkatietojen kohdista.



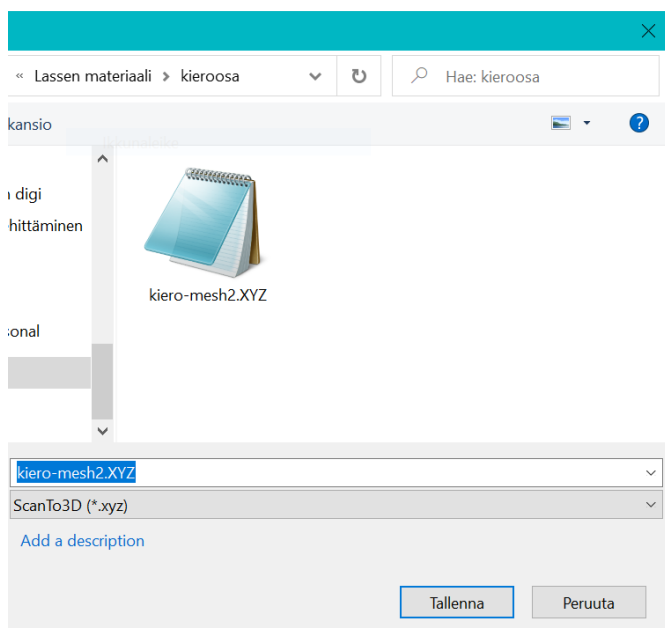
Kuva 44. poikkeaman analyysi

Surface Curvature Combs eli pinnan kaarevuuden kammot-toiminnolla saadaan havainnollistettua pinnan kaarevuuksia. Kuvassa 45 näkyy pinta, joka on jaettu osiin ja annettu toivotut kampojen ominaisuudet pinnan kaarevuuden kammot toiminnolla.



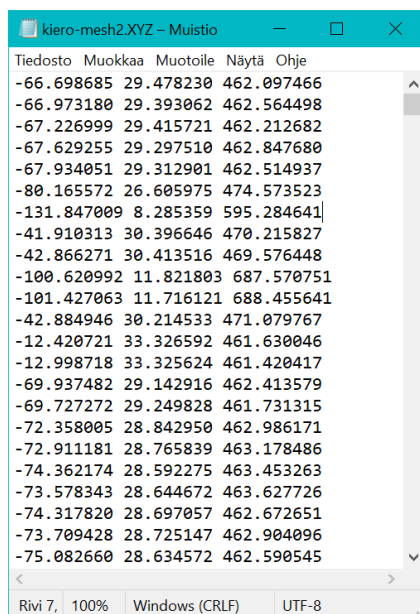
Kuva 45. Pinnan kammot

Mesh-mallista voi tallentaa kaikkien kolmioiden X, Y ja Z-koordinaattitiedot ScanTo3D (xyz) tekstitiedostoksi. Tämä voi olla tarpeen, kun halutaan tehdä tarkempaa analyysia laskennallisesti esimerkiksi Excelissä.



Kuva 46. ScanTo3D tallentamisen valinta

Tiedot tallentuvat tekstiksi, joten niitä voi tarkastella haluamallaan ohjelmalla. Nämä pistetiedot voidaan tuoda muihin ohjelmiin, kuten Excel tarkempaa tarkastelua varten. Kuvassa 47 näkyy kaikkien kolmioiden kulmien pistetiedot muistio-ohjelmassa.



Kuva 47. Kolmioiden pistetiedot muistio-ohjelmassa

8 Käsikäyttöinen skannaus palveluna

Käsikäyttöistä skanneria on helppo kuljettaa skannauspaikalle. Sillä voi skannata isoja kohteita. Se on lisäväline mittaamiseen. Jos mitataan työntömitoilla ja mittanauhoilla, ei mitaustuloksissa näy kiertymiä tai vääntymiä. Perinteisin mittausmenetelmin huomiotta voi jäädä pultin päitä, jotka olisivat tiellä suunnittelussa, osassa tai asennuksessa. Skannerin ansiosta uuden osan voi suunnitella tarkemmin paikalleen sopivaksi. Tällöin voi välttyä uusilta suunnittelutoimilta ja asennustoimilta ja kohteeseen matkustamisilta tai kokonaan uuden osan tilaamisesta.

Käsikäyttöinen skanneri Einstar Shinning 3D toimii samalla periaatteella, kun Transcan C-skanneri. Tämä on vain käsin pideltävä laite jota liikutetaan skannattavan esineen tai ympäristön ympäri. Shining 3D käsikäyttöinen skanneri on erinomainen asiakkaan luona tehtyjen skannauspalvelujen suhteen sen liikuteltavuuden vuoksi. Se tarvitsee kuitenkin tehokkaan, kannettavan tietokoneen ja verkkovirran. Sen valmistajan ilmoittama piste-etäisyyden tarkkuus on 0,1 mm. – 3 mm. joten se ei ole yhtä tarkka, kun Transcan C-skanneri (Einstar-EN.) Shining 3D-skannerin ohjelmisto on lähes samanlainen, kun Transcan C-skannerilla. Kuvassa 48 näkyy käsikäyttöinen Einstar 3D-skanneri ja kannettava tietokone

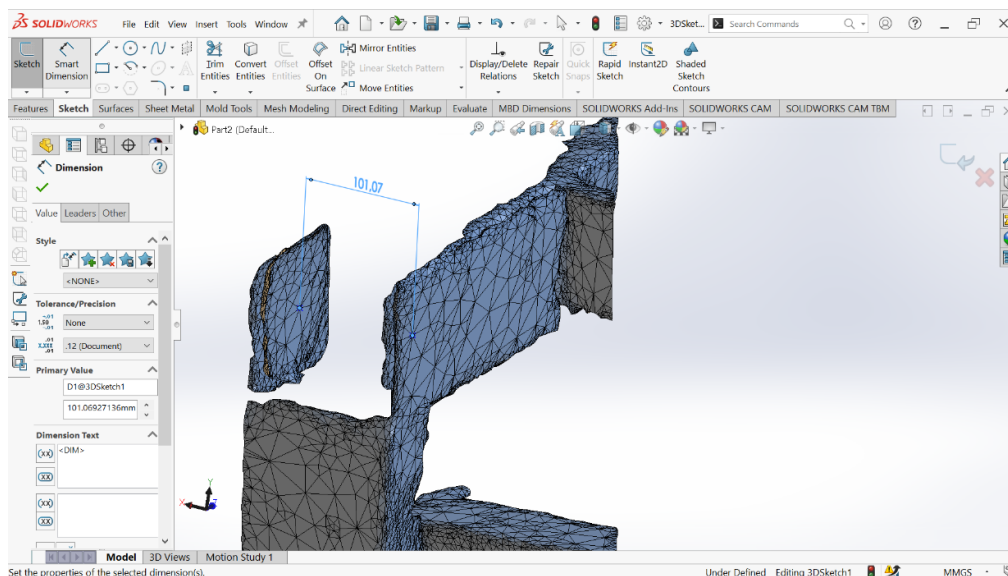


Kuva 48. Einstar Shining 3D ja kannettava tietokone

8.1 Tuotantolinjan osan skannaus ja mittaus Solid Works-ohjelmalla

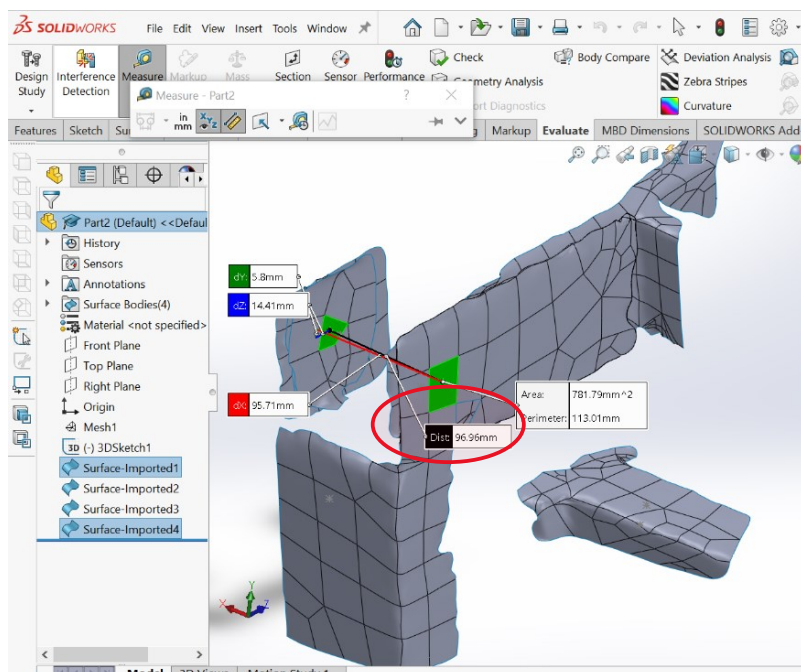
Pyöräpuristimelle uusi osa. Paikka, johon se asennetaan, on U-palkki, joka on skannattu ja mitattu. digitaalisesta 3D-mallista oli hyötyä suunnittelussa ja mallinnuksessa. Mesh -mallia mitattaessa, mittapisteiden kohdat eivät ole halutulla kohdalla. Tämä mittautapa on epätarkka, sillä mittauspisteiden snap-point toiminto kohdistuu aina kolmion kärkiin. Jotta mitta

olisi tarkempi, on mesh -malli muutettava surface -malliksi. Kuvassa 49 näkyy tuotantolinjan 3D-skannattu mesh -malli.



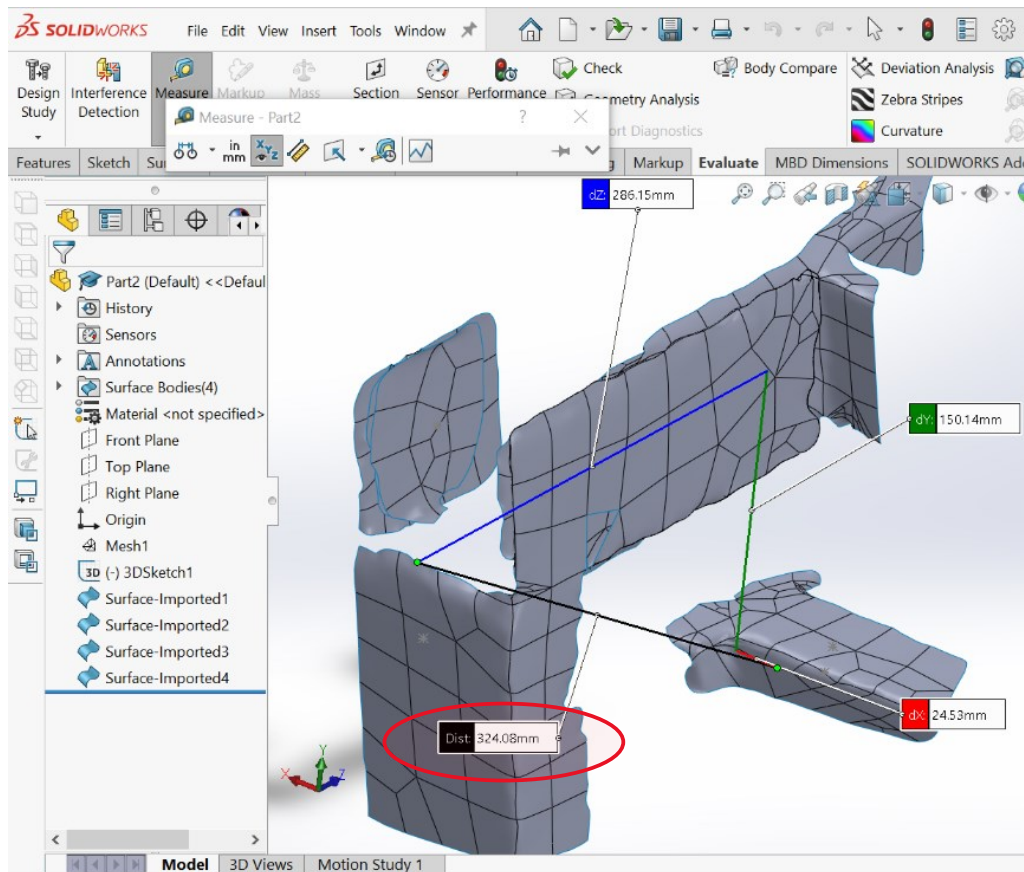
Kuva 49. Linjaston mesh-malli

Mesh mallin muuttaminen pinnaksi tapahtuu samalla tavalla kuin mittapalan käsittelyn kanssa aiemmin. Kun mesh-malli on muutettu pinnaksi, mittaustulos on tarkempi. Tähän mittaan on parempi suunnitella uusi osa. Kuvassa 50 näkyy uusi, tarkempi U-palkin mitta mustalla, Dist-nimikkeellä 96,96 mm.



Kuva 50. U-palkin sisämitta

Skannatussa tuotantolinjan osassa näkyy irrallinen, toinen osa, johon uusi laite ei saa osua. Uusi osa tulee suunnitella siten että se ei ulotu tuotantolinjan muihin toimintoihin. Tässä 3D-skannaus on erinomainen väline, sillä tällaisen havaitseminen perinteisin mittauskeinon saattaa olla hankalaa. 3D-skannaus helpottaa sellaisten asioiden ja esineiden havaitsemista, jotka saattaisivat ihmiseltä jäädä huomiotta. Kuvassa 51 näkyy mustalla, Dist-nimikkeellä 324,08 mm. mitta, jonka sisälle uusi osa voidaan suunnitella.



Kuva 51. mallin etäisyyksien mittaus

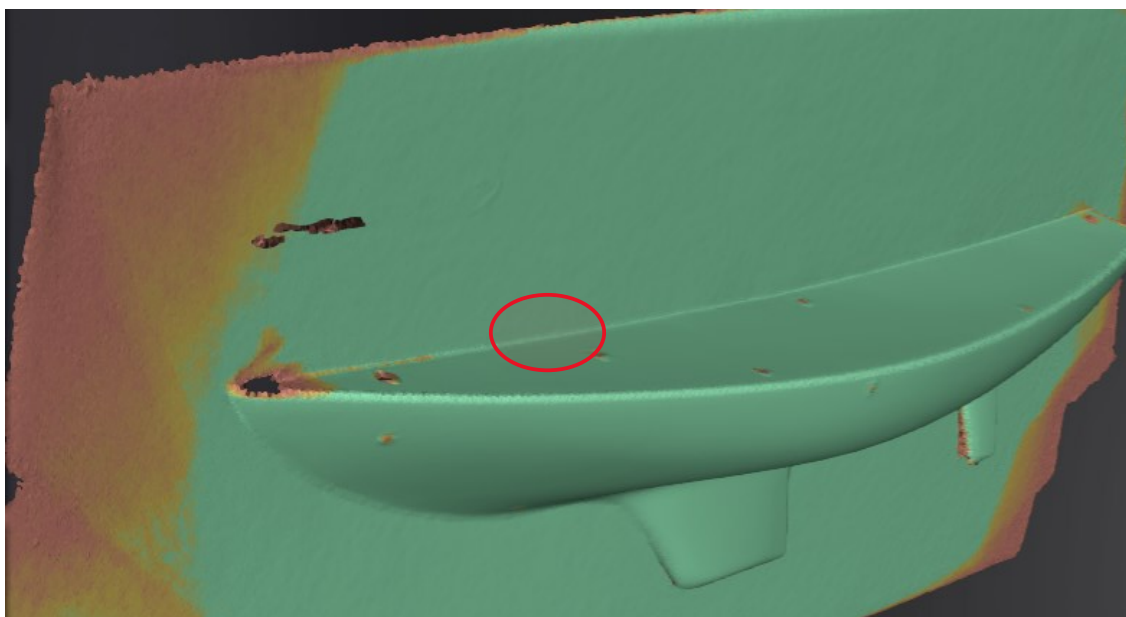
8.2 Veistoksellisen muodon skannaus

Esteettisten, veistoksellisten esineiden skannaus on helpompaa, kun teollisten esineiden. Useasti niissä on valmiiksi sellaisia muotoja, jonka 3D-skanneri pystyy helposti havaitsemaan, eikä digitaalisen mallin luominen tuota paljon esi- tai jälkikäsitteilyä. pienoismalli on mitattu mittanauhalla vertailua varten ja sen pituus on noin 826 mm. Kuvassa 52 näkyy M.J. Paasikivi Oy:lle skannattava ja 3D-tulostettava, lasikuidusta valmistettu veneen pienoismalli.



Kuva 52. lasikuidusta valmistettu veneen pienoismalli.

Heijastintarrat on kiinnitetty esineen pintaan tehden kiintopisteitä ohjelmistolle, joka havaitsee esineen asennon niitä apuna käyttäen. Jos skannausohjelma ei tiedä esineen asentoa, skannaus epäonnistuu. Alusta, jolla esine lepää, on skannattu mukaan digitaaliseen malliin. Kuvassa 53 näkyy heijastintarrojen jättämät kiintopisteet, jotka näkyvät reikinä digitaalisessa mallissa.



Kuva 53. digitaalinen malli veneen pienoismallista ja heijastintarrojen aiheuttamat reiät.

Lopullinen digitaalinen malli pienoismallista voidaan mitata Shining 3D- ohjelmalla, koska työ ei vaadi tarkempia mittaustuloksia. Vertailua varten otettu alkuperäinen mitta eroaa digitaalisesta mallista pari senttimetriä. Kuvassa 54 näkyy digitaalinen malli ja siitä otettu mitta vertailua varten.



Kuva 54. pienoismallin digitaalinen malli ja mitta.

9 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyössä selvitettiin, kuinka tarkka Transcan C 3D-skannerin käyttämä Rakenteellisen valon menetelmä on ja voiko sitä käyttää perinteisin menetelmin hankalasti mitattavien kappaleiden ja esineiden mittaamiseen. Keskeisenä ongelmana oli, että ohuet, taipuisat esineet voivat muuttaa muotoaan, kun mittausvälineenä käytetään esimerkiksi työntömittaa tai koordinaattimittauslaitetta. Lisäksi selvitettiin, minkälaisia 3D-skannauspalveluja voidaan tarjota asiakkaille.

Digitaalisessa ympäristössä esine ei muuta muotoaan, sillä se on sidottu ympäristönsä paikkatietoihin ja mittaaminen tapahtuu mallinnusohjelman digitaalisessa ympäristössä. Valmistajan ilmoittama 0.035 mm:n tarkkuuteen.

Mittaustuloksiin verrattuna 2 X 0.035 mm:n tarkkuus on liki, kuten valmistaja on ilmoittanut, mutta yksinkertaistamisesta saattaa koitua pieni lisäys. 3D-skannerin tarkkuuden tulos on 0,0381215 mm. Verrattuna valmistajan ilmoittamaan, yhden kuvan tarkkuuteen: 0.035 mm. erotus on 0,003215mm. Tämä lisäys voi johtua heijastinsuihkeen käytöstä, jälkikäsittelyssä tehdystä yksinkertaistamisesta pistepilvestä mesh-malliksi tai mesh-mallin yksinkertaistamisesta, alkukalibroinnista, pistepilven orientaatiosta skannausvaiheessa. Pyöristettynä skannatun esineen mitat vaihtelevat noin 0.08 mm valmistajan ilmoittama tarkkuus on käytännössä riittävä, joka on 3D-tulostusyrityksen ilmoittaman 0,1 mm:n tarpeiden sisällä.

Hankalasti mitattavasta, kierosta esineestä saadaan viitteellisiä mittatietoja, mutta mittatietoja ei voi verrata alkuperäiseen, fyysiseen esineeseen.

3D-skannauspalveluja voi tarjota 0.08 mm:n tarkkuuden mukaan. Kiiltävillä osilla on oltava mahdollisuus heijastinsuihkutukseen, mikäli käytetään rakenteellisen valon tekniikkaa 3D-skannauksessa. Teollisten osien skannaus on aikaa vievää, sillä se vaatii paljon esi- ja jälkikäsittelytyötä. Esteettisten, veistoksellisten kappaleiden skannaus, joissa on paljon epä-säännöllisiä muotoja, nopeaa ja helppoa. ne eivät vaadi samanlaista tarkkuutta, kun teolliset kappaleet.

Toisin kuin tuote-esittelyissä kerrotaan, Transcan C skannerin skannausalueen vaihtaminen 150–300 mm:iin ei ole helppoa eikä tehokasta, vaan se vaatii aina koko laitteen uudelleen kalibroinnin, mekaanisine hienosäätöineen ja valkotasapainon asettamisineen. Vaikka ohjelmisto opastaa askel askeleelta kalibroinnissa, se kestää noin 30–50 minuuttia. Käyttöohjeessa on 8 sivua ohjeita kalibroinnista ja valkotasapainon asettamisesta. Kalibrointiin tarvitaan kuusiokoloavaimia, jotka löytyvät laitteen pohjasta.

3D-skannaus ja kolmiulotteisten osien mittaus digitaalisessa ympäristössä on yllättävän työlästä ja aikaa vievää. Tämä johtuu luultavasti siitä, että teknologia on suhteellisen uutta ja siihen ei ole kehitetty automaatiota vielä. Tämä pätee etenkin teollisten osien käänteiseen suunnitteluun ja mittaamiseen.

3D-skannauksen tutkimuksen alalla oli paljon selvitettävää ja tutkittavaa. Kaikkiin asioihin ei pystynyt syventymään, joten tarkempia tutkimuksia olisi mielenkiintoista nähdä. 3D-skannustekniikka on suhteellisen uutta ja se kehittyy koko ajan. On mielenkiintoista seurata minkälaisiin käyttötarkoituksiin, se kykenee tulevaisuudessa.

Lähteet

3D Solutions. 3D-CAD Solutions. Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa <https://www.ancadsolutions.fi/tuote/shining-transcan-c-3d-skanneri/>

AB. 2020. Wikipedia. Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/5_Axis_Scanning_Coordinate_Measurement_Machine_%28CMM%29.png

Aniwaa 2021. 3D scanning technologies and the 3D scanning process. Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa <https://www.aniwaa.com/guide/3d-scanners/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/>

Asiakastieto 2021. Asiakastieto. Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa <https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/reminet-oy/31854199/rekisteritiedot>

bitfab 2023. 3D Scanning with Structured Light. Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa <https://bitfab.io/blog/3d-structured-light-scanning/>

Bradley, C. & Currie, B. A. i. t. f. o. r. e. C.-A. D. a. A 2005. Advances in the field of reverse engineering. Computer-Aided Design and Applications. Viitattu 28.11.2023. Saatavissa [https://www.cad-journal.net/files/vol_2/CAD_2\(5\)_2005_697-706.pdf](https://www.cad-journal.net/files/vol_2/CAD_2(5)_2005_697-706.pdf)

C. Zhang, S. L. Z. Z. F. X. N. H. L. J. e. a. 2019. Recovery of defocused 3D data for focusing-optics-based amplitude-modulated continuous-wave laser scanner. Viitattu 18. 11. 2023. Saatavissa <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85078094938&origin=inward&txGid=79a1d8309e7a964e1a41b57a6bcc3da4>

Haleem a, M. J. a. R. P. S. b. S. R. a. R. S. c. L. K. d. I. H. K. e. 2022. Exploring the potential of 3D scanning in Industry 4.0: An overview. Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666307422000171#fig0001>

Haleem, M. J. A. G. T. K. 2020. Redesign of car body by reverse engineering technique using Steinbichler 3D scanner and projet 3D printer. Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa <https://www.worldscientific.com/doi/full/10.1142/S2424862220500074>

J. Kovar, K. M. F. K. J. K. O. A. a. Z. H. 2016. Virtual reality in context of Industry 4.0 proposed projects at Brno University of Technology. Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7827785>

J. Wang, B. T. Z. G. S. Y. Z. Y. 2021. A mobile robotic measurement system for large-scale complex components based on optical scanning and visual tracking, 67, Robotics

and Computer-Integrated Manufacturing. Viitattu 18. 11. 2023. Saatavissa <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584520302210>

J. Yan, Y. M. L. L. L. L., 2017. Industrial big data in an industry 4.0 environment: Challenges, schemes, and applications for predictive maintenance. Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8085101>

Kivolya, N. 2019. What are 3D scanners used for? Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa <https://www.artec3d.com/learning-center/what-are-3d-scanners-used-for>

Materflow 2021. Materflow. Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa <https://www.materflow.com/>

Monniaux, D. 2007. wikipedia. Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanning#/media/File:Lidar_P1270901.jpg

Reminet 2021. Reminet. Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa <https://reminet.fi/meista/>

Robin H. Helle, H. G. L. 2021. A case study on use of 3D scanning for reverse engineering and quality control. Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.828>

Shining 2022. Transcan C User Manual. Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa https://encdn.shining3d.com/2022/06/Shining-3D-Transcan-C_User-Manual_V1.4.2.pdf

Stella 2017. How do 3D Scanners Work? Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa <https://matterandform.net/blog/how-do-3d-scanners-work>

Wikipedia. Wikipedia. Viitattu 28. 11. 2023. Saatavissa https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanning#cite_note-9