

Kalle Haataja

KANOOTIN LESTIN 3D-LASERSKANNAUS JA TAKAISINMALLINNUS

KANOOTIN LESTIN 3D-LASERSKANNAUS JA TAKAISINMALLINNUS

Kalle Haataja
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaation suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Kalle Haataja
Opinnäytetyön nimi: Kanootin lestin 3D-laserskannaus ja takaisinmallinnus
Työn ohjaaja: Helena Tolonen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024 Sivumäärä: 39

Työssä tutkittiin 3D-skannerilla kerätyn pistepilvidatan muuttamista toimivaksi CAD-malliksi. Työn aihe tuli yritykseltä, joka pyysi tutkimaan kanoottilestien arkistointia ja CAD-mallien luomista 3D-skannauksen avulla sekä prosessin kannattavuutta asiakasyrityksen näkökulmasta. Lisäksi kehitettiin vaihtoehtoista tapaa mallintaa kanootin kaltaisia muotoja suunnitteluvaiheessa.

Kanootin lestin takaisinmallinnuksessa käytettiin Creaformin HandySCAN BLACK Elite-käsiskanneria, Creaformin VXModel-ohjelmistoa ja Autodeskin Fusion 360 -CAD-ohjelmistoa. Lisäksi apuna olivat Oulun Ammattikorkeakoulun tilat ja Theseus -tietokanta.

Työssä saatiin lopuksi aikaan CAD-malli kanootin lestistä. Malli kuvastaa skannatun lestin pinnanmuotoja ja soveltuu parhaiten tuotetiedon arkistointia varten.

Avainsanat:
Takaisinmallinnus, CAD-malli, laserskannaus.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering, Option of Machine Automation Engineering

Author: Kalle Haataja

Title of thesis: 3D-laserscanning and reverse engineering of mockup of a canoe

Supervisor: Helena Tolonen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 39

The process of creating a CAD model from 3D scanned data was examined in the thesis. The subject for the thesis was given by a company that wanted to examine the possibility of creating a CAD-model from a 3D-scan. The goal for the thesis was to examine the process of 3D-scanning, CAD-modeling, and profitability from the perspective of the client as a case study.

The reverse engineering of mockup of a canoe was conducted by using HandySCAN BLACK elite 3D-scanner as well as VXModel-modeling software from Creaform Inc and Fusion 360 CAD-modeling software from Autodesk Inc.

The finished model was made to represent the surface geometry of the mockup of the canoe. The finished model is suitable for product archiving purposes.

Keywords:

Reverse engineering, CAD-model, laser scanning.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	3D-MALLINNUKSEN MENETELMIÄ.....	7
2.1	Takaisinmallinnus.....	7
2.1.1	Metodit, digitointi ja strategia.....	7
2.1.2	Laitteet ja käyttökohteet	9
2.1.3	Mallin todentaminen.....	10
2.2	3D-laserskannaus	10
2.2.1	Skannausdata ja sen formaatit.....	11
2.2.2	3D-laserskannauksen tarkkuus ja rajoitteet	12
2.3	CAD-mallinnus	13
2.3.1	Tilavuus- ja pintamallit.....	13
2.3.2	Mallintamisen optimointi.....	14
2.3.3	Analyttinen ja synteettinen käyrä.....	14
3	KANOOTIN LESTIN TAKAISINMALLINTAMINEN	16
3.1	Creaformin Black Elite.....	16
3.2	Skannaamisprosessi	20
3.3	VXModel.....	23
3.4	Kanootin lestin takaisinmallintaminen CAD-ohjelmalla	24
4	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	35
4.1	Työmetodit.....	35
4.2	Parempia ratkaisuja ja työn tehostaminen tulevaisuudessa	36
5	YHTEENVETO	38
	LÄHTEET.....	39

1 JOHDANTO

Työssä käsitellään tapaustutkimuksena käsityönä valmistetun lasikuitukanootin lestin 3D-skannausta ja skannausdatan muokkaamista CAD-malliksi. Työssä käytettiin Creaformin HandySCAN 3D-laserkäsiskanneria ja VXmodel-käsittelyohjelmaa sekä Autodeskin Fusion 360 -mallinnusohjelmaa. Skanneri ja käsittelyohjelma saatiin Oulun Ammattikorkeakoululta ja Fusion 360 valittiin mallintamisohjelmaksi toimeksiantajan pyynnöstä. Tässä työssä tarkoituksena on tutkia, kuinka luoda toimiva CAD-malli jo olemassa olevasta kanootista.

Työosuus pitää sisällään skannauksen, skannausdatan esikäsittelyn, CAD-mallin mallintamisen skannausdatan pohjalta, CAD-mallin soveltamisen ja koko prosessin kannattavuuden arvioinnin. Takaisinmallinnuksen lisäksi käydään läpi vaihtoehtoista tapaa mallintaa kanootin muotoinen kappale suunnitteluvaiheessa.

Raportti on tarkoitettu insinööriopiskelijoille ja kaikille, jotka ovat kiinnostuneita 3D-skannauksen soveltamisesta CAD-takaisinmallinnuksessa ja tuotetiedon arkistoinnissa. Lukijan oletetaan ymmärtävän CAD-mallinnuksen ja suunnittelun alkeet.

2 3D-MALLINNUKSEN MENETELMIÄ

On lukuisia eri tapoja luoda tuotteiden valmistukseen ja tuotetiedon hallintaan tarvittavia toimivia ja onnistuneita 3D-malleja kappaleesta. Tässä työssä käytetään takaisinmallinnusta, 3D-laserskannausta ja CAD-mallinnusta. Seuraavissa alaluvuissa määrittelen käyttämiäni menetelmiä yksityiskohtaisesti.

2.1 Takaisinmallinnus

Takaisinmallinnus (englanniksi reverse engineering) on annetun työn tai kappaleen mallintamista ilman alkuperäisiä suunnitelmia. Tyypillisesti takaisinmallinnuksessa on tavoitteena mallintaa kokonainen laite tai tietokoneohjelma. Esimerkkinä voidaan mainita IBM:n PC BIOS:n takaisinmallinnus, joka käynnisti IBM PC yhteensopivien kotitietokoneiden teollisuuden moneksi vuodeksi (Forbes 2021). Tässä työssä keskitytään fyysisen vapaamuotoisen kappaleen mallintamiseen.

Kulloistakin kohdetta takaisin mallinnettaessa on tärkeää pitää mielessä kohteen alkuperäinen käyttötarkoitus. Suunnittelijan pitää pystyä mallia luotaessa tekemään päätöksiä tarkkuuden ja tarkoituksen välillä, jotta saataisiin käytännöllinen malli järkevässä ajassa. Mittatiedon tulkitseminen ja hyväksyttävän toleranssin valinta on tärkeää huomioida, sillä mallin tarkkuus on suoraan verrannollinen toleranssin kanssa. Toleranssi määrittyy laatuvaatimusten ja käytössä olevien mittalaitteiden tarkkuuden mukaan. (Fischer 2011, 43.)

2.1.1 Metodit, digitointi ja strategia

Takaisinmallinnettavat kohteet tyypillisesti arkistoidaan esimerkiksi digitoimalla. Digitoinnilla tarkoitetaan kappaleen fyysisten ominaisuuksien tallentamista digitaaliseen formaattiin. Digitointitapa vaihtelee kohteen mukaan. Esimerkiksi pienemmissä ja yksinkertaisen muotoisissa kappaleissa voitaisiin käyttää koordinaattimittauslaitetta, kun taas isommissa monimutkaisemmissa muodoissa olisi parempi käyttää jonkinlaista skanneria.

Digitointitavan lisäksi on tärkeää miettiä digitointistrategiaa eli tyypillisesti työjärjestystä ja digitoinnin kannalta tärkeitä mittauskohtia. Esimerkiksi yksinkertaisen muotoisesta kappaleesta ei tarvita

yhtä monta mittapistettä kuin vapaamuotoisesta kappaleesta. Yksinkertainen kappale (kuva 1) voidaan mallintaa tarkkaan määritetyillä piirteillä. Monimutkaiset muodot (kuva 2) vaativat merkittävästi enemmän mittapisteitä tarkan muodon tallentamiseksi. (Fischer 2011, 4).



KUVA 1. Kuusitahkoinen noppa, esimerkki yksinkertaisesta geometriasta.



KUVA 2. Alvar Aallon Aaltomaljakko, esimerkki monimutkaisesta geometriasta.

2.1.2 Laitteet ja käyttökohteet

Kohteen koko ja muoto vaikuttavat merkittävästi mittalaitteen valintaan. Tavallisimmin kohde mitataan joko koordinaattimittauslaitteella tai optisella skannerilla.

Koordinaattimittauslaite on näistä kahdesta tarkempi, mutta huomattavasti hitaampi. Hyvä puoli on, että laitteella voidaan mitata vain halutut pisteet, mikäli kohde on tarkkaan määritelty ja koostuu yksinkertaisista muodoista. Pisteet valitsemalla voidaan säästää aikaa ja myös tietokoneen muistia. (Measurement solutions 2023.)

Optisilla skannereilla saadaan kohteesta suuri määrä pisteitä nopeasti, mutta mittatarkkuus on pienempi kuin koordinaattimittauslaitteessa. Vapaamuotoisen kappaleen mittaamiseen optinen skanneri onärkevin vaihtoehto ajan säästämiseksi. (Measurement solutions 2023.)

2.1.3 Mallin todentaminen

Mallin todentamisella tarkoitetaan luodun CAD-mallin geometrian vertaamista alkuperäiseen piste-pilveen. Tällä tavoin voidaan tarkistaa, onko luodussa mallissa virheitä tai puutteita. Verifikaatiossa pidetään myös mallinnettavan kohteen tarkoituksena mielessä ja pohditaan, onko kohteessa artistisia piirteitä, jotka olisi syytä säilyttää, vaikka kohteen käytön kannalta kriittisiin mittoihin olisi jo päästy.

2.2 3D-laserskannaus

Laserskannauksessa kohde tallennetaan optisesti laservalon avulla. Laserskannaus on vähemmän tarkka kuin koordinaattimittaus. Skannauksen aikana skanneri mittaa kohteen piste kerrallaan laserin avulla. Kolme yleisintä laserskannaustapaa ovat trigonometrinen määrittely, strukturoidun valon tulkinta ja matka-ajan laskeminen. Kaikissa kolmessa tavassa projektori ampuu lasersäteen kohteeseen ja kamera mittaa kimmonneen laservalon.

Trigonometrisessä määrittelyssä optinen pää, kohde ja kamera muodostavat kolmion, jossa tiedetään projektorin ja kameran etäisyys sekä kimmonneen valon kulma. Projektori on kameran osa, joka ampuu lasersäteen kohteeseen. Kolmion määrittämiseksi täytyy selvittää kameran kulma suhteessa kohteeseen. Tämä voidaan määrittää joko käyttämällä telinettä, jossa kulma on lukittu, tai asettamalla kohteen pinnalle heijastavia sensoreita, joilla skanneri voi laskea tarkan paikan ja kulman. Skannerin pitää joka tapauksessa pystyä liikkumaan kerätäkseen pisteitä kohteen pinnalta.

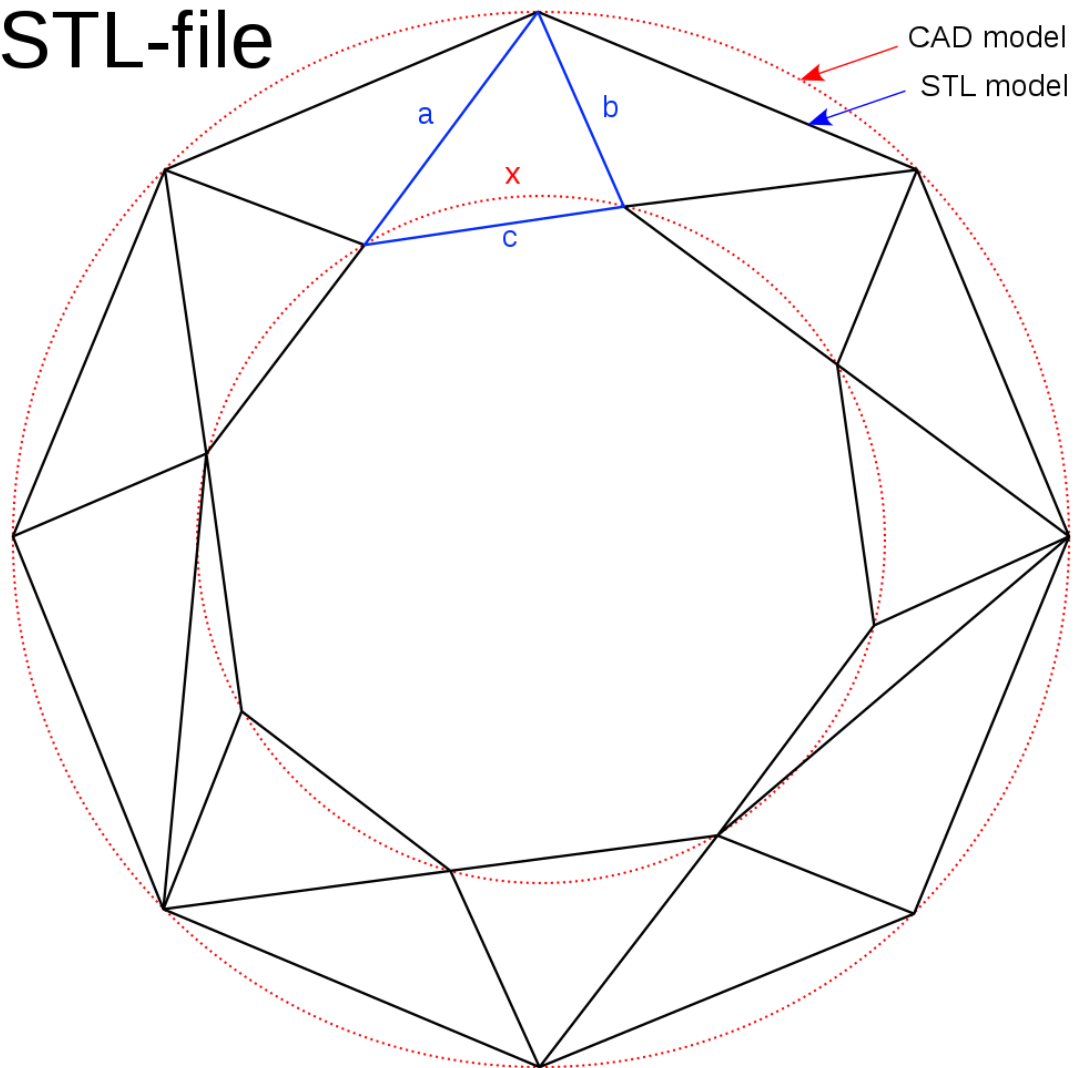
Laserskannaus soveltuu hyvin vapaamuotoisten kappaleiden mallintamiseen, ja myös siihen, jos tarvitaan 3D-mallia nopeaan prototyyppien valmistukseen (rapid prototyping). Lisäksi laserskannaus sopii sellaisten kohteiden mittaamiseen, jossa tulee välttää koskemasta kappaleeseen. (Creaform 2012.)

2.2.1 Skannausdata ja sen formaatit

Laserskannerit keräävät kappaleen pinnalta pisteitä, jotka tallennetaan stl-tiedostoformaattina. Stl-tiedostoformaatti koostuu faseteista. Jokainen fasetti on määritelty sen keskinormaalien ja kolmen kulmapisteen avulla. Normaali ja jokainen kulmapiste voidaan määrittää kolmella koordinaatilla eli yhden fasetin määrittämiseen tarvitaan 12 numeroa muistiin. Yhdessä fasetit määrittävät kolmiulotteisen kappaleen. Fasettien määrä määrittelee mallin tarkkuuden. (Fabbers 1989.)

Skannatessa on tärkeää ottaa huomioon mallitiedon dataformaatti. Stl-formaatti soveltuu hyvin vapaamuotoisten kappaleiden määrittelyyn, mutta vie enemmän tilaa muistista kuin esimerkiksi geometrinen mallinnus. Tämä voi osoittautua ongelmaksi, mikäli käytettävän tietokoneen muisti ja laskentateho ovat vähäiset. Stl-malli toimii hyvin kuvattun kohteen geometrisena approksimaationa, jonka perusteella voidaan muodostaa CAD-malliin sopivia piirteitä. Kuvassa 3 voidaan nähdä kuinka Stl-malli kuvantaa ympyrämäistä kohdetta kuvausresoluution rajoissa ja CAD-malli voidaan muodostaa käyttäen stl-mallia perustana.

STL-file



KUVA 3. Stl-malli ja CAD-malli päällekkäin. (Wikimedia Commons, Lieshout, Laurens 2014.)

2.2.2 3D-laserskannauksen tarkkuus ja rajoitteet

Laserskannereiden tarkkuus vaihtelee useasta millimetristä millimetrin sadasosiin. Tässä työssä on käytetty Creaformin Black Elite skanneria, joka kykenee +/-0,025 mm:n tarkkuuteen. Tarkkuutta rajoittavia tekijöitä ovat kohteen pintamateriaali, näköyhteys kohteeseen ja mittakohteen valaistus.

2.3 CAD-mallinnus

CAD-mallinnus (engl. *Computer Aided Design*) on kappaleen matemaattista mallintamista tietokoneen avulla. CAD-mallinnuksen voi jakaa kahteen pääkategoriaan: tilavuusmallinnus ja pintamallinnus. Tässä työssä 3D-skannausdatan takaisinmallinnuksessa hyödynnetään pintamallinnusta. (Protolabs Network.)

2.3.1 Tilavuus- ja pintamallit

CAD-suunnittelijan työkaluihin kuuluvat pintamallit ja tilavuusmallit. Tyypillisesti teollisessa suunnittelussa kappaleet mallinnetaan tilavuusmallintamalla, mutta haastavammissa muodoissa, kuten esimerkiksi autojen konepelleissä, hyödynnetään pintamallintamista. Vapaamuotoista kappaletta mallintaessa on helpompaa käyttää pintamallintamista työtapana, sillä monimutkaisten pintojen mallintaminen on huomattavasti haastavampaa, mikäli niitä yritettäisiin tehdä yksinkertaisilla geometrisilla piirteillä.

Pintamallit sisältävät tietoa pinnoista ja niiden liitoksista reunojen kanssa. Pintamalli koostuu niin kutsutuista pintalapuista (engl. *surface patches*), joiden reunat ovat parametrisia käyriä. Parametriset käyrät tai splinikäyrät ovat yhdistelmä käyriä polynomisovituksella. Splinikäyrä muodostuu lukuisista ohjauspisteistä ja ne määräävät samalla käyrän muodon. Parametrinen pinta saadaan johdettua splinikäyristä ja näiden käyrien monimutkaisen luonteen vuoksi on mahdollista esittää hankalampia pintoja. (Hearn & Baker 1994, 316.)

Martti Mäntylä (1988, 5) kirjoittaa: ”Solid modeling is a branch of geometric modeling that emphasizes the general applicability of models, and insists on creating only ‘complete’ representations of physical solid objects, i.e representations that are adequate for answering arbitrary geometric questions algorithmically (without the help of interaction with a human user)”. Tilavuusmallit ovat fyysisen kappaleen kaikkien muotojen sekä mittojen täsmällinen kääntäminen digitaaliseen ympäristöön. Tilavuusmalli on jaettavissa kolmeen yleisimpään esitystapaan: konstruktiiiset mallit, dekompositiomallit ja reunamallit (Laakko, 48, 51). Dekompositiomallit kuvaavat kappaleen kokoelmana alkeisprimitiivejä eli laatikkomaisina tilavuusalkioina ja reunamallit kuvaavat kappaleen isona joukkona tahoja, jotka muodostavat kappaleen reunapinnan. Konstruktiiivinen malli pohjautuu kappale-

leen primitiivipistejoukkojen esittämiseen joukko-opillisesti. Toisin sanoen kappale koostuu primitiiveistä ja niiden muokkaukseen perustuvista boolean operaatioista. (Mäntylä, 81.) Primitiivit ovat tyypillisesti ensimmäisen ja toisen asteen pinnoista koostuvia muotoja, kuten laatikko, lieriö, kartio tai pallo. Näitä muotoja muokkaamalla boolean operaatioilla (leikkaus, unioni ja erotus) voidaan luoda CSG-puu, joka toimii valmiin kappaleen esityksenä. (Shah & Mäntylä 1995, 57–58.)

Iso osa nykyisestä CAD-mallintamisesta tapahtuu parametrinen mallintamisen kautta. Parametrisessa mallintamisessa kappale tallennetaan sen sisältämien piirteiden parametrien sekä näiden keskinäisten relaatioiden pohjalta, mikä mahdollistaa paremman muokattavuuden. (Laakko, 56.)

2.3.2 Mallintamisen optimointi

Mallintamista aloittaessa on syytä miettiä tarkkaan järjestyksessä piirteiden osalta. Parametrisen muokattavuuden säilyttäminen on tyypillisesti tärkeä osa laadukasta mallia. CSG-puun muodostamisessa kannattaa siis aloittaa yksinkertaisista piirteistä ja liikkua sieltä hankalampiin muotoihin johdonmukaisuuden säilyttämiseksi. Turhia piirteitä tulee välttää, esimerkiksi kannattaa hyödyntää symmetriatyökaluja sen sijaan, että loisi malliin identtisiä piirteitä

2.3.3 Analyyttinen ja synteettinen käyrä

Analyttiset käyrät ovat tarkoin määriteltäviä, ja niillä voidaan mallintaa geometrisia muotoja, kuten laatikoita, lieriöitä, palloja tai kartioita. CSG-puun piirteet on luotu puhtaasti käyttämällä analyttisiä käyriä. Synteettiset käyrät muodostuvat parametrisista käyristä, ja niiden avulla voidaan esittää hankalampia muotoja. Parametrinen kolmannen asteen käyrä on käyrä, jossa on kaksitoista vapausastetta. Vapausasteet antavat suunnittelijalle paljon mahdollisuuksia kuvata erilaisia muotoja.

Bézier-käyrä määritellään pistejoukolla, joka on annettu approksimatiivisesti. Käyrä kulkee vain ensimmäisen ja viimeisen pisteen kautta. Ohjauspisteet määräävät käyrän muodon aloituspisteestä loppupisteeseen. Yhdenkin ohjauspisteen muutos sijainnissa muuttaa koko käyrän muotoa globaalisti. Ohjauspisteet muodostavat ohjausmonikulmion, joka kulkee kaikkien ohjauspisteiden läpi. (Laakko 1998, 42-43.)

B-splini-käyrä on myös synteettinen käyrä, kuten Bézier-käyrä, mutta tärkein ero on, että B-splini-käyrän muotoa voidaan muokata paikallisesti vaikuttamatta koko käyrän muotoon.

NURBS-käyrä eli non-uniform rational B-Spline on synteettinen käyrä, jolla voidaan tehdä sekä kartioleikkauksia että B-splinejä kuvantamaan monimutkaisia muotoja. Kartioleikkaukset, elliptiset, paraboliset ja hyperboliset käyrät ovat esimerkkejä monimutkaisista muodoista, jotka ovat vaikeita kuvantaa tarkasti. B-splineillä voidaan esittää tarkasti parabeleja, mutta ei ellipsejä tai hyperboleja. (Laakko 1999, 44.) Useimmissa CAD-ohjelmistoissa käytetään NURBS-käyriä niiden muokattavuuden vuoksi.

3 KANOOTIN LESTIN TAKAISINMALLINTAMINEN

Kanootin lesti on kappale, jolla valmistetaan muotti kanootin valmistusta varten. Lestistä haluttiin 3D-mallit toimeksiantajan tuotetiedon arkistointia varten digitaalisessa muodossa. Takaisinmallintamisen kannattavuuden ja prosessin tutkimiseksi yksi kanootin lesti takaisinmallinnettiin skannaamalla ja kerätty pistepilvi siirrettiin CAD-ohjelmaan jatkomuokkausta varten. Laserskannaus tapahtui Oulun Ammattikorkeakoulun Creaformin Black Elite -laserskannerilla.

3.1 Creaformin Black Elite

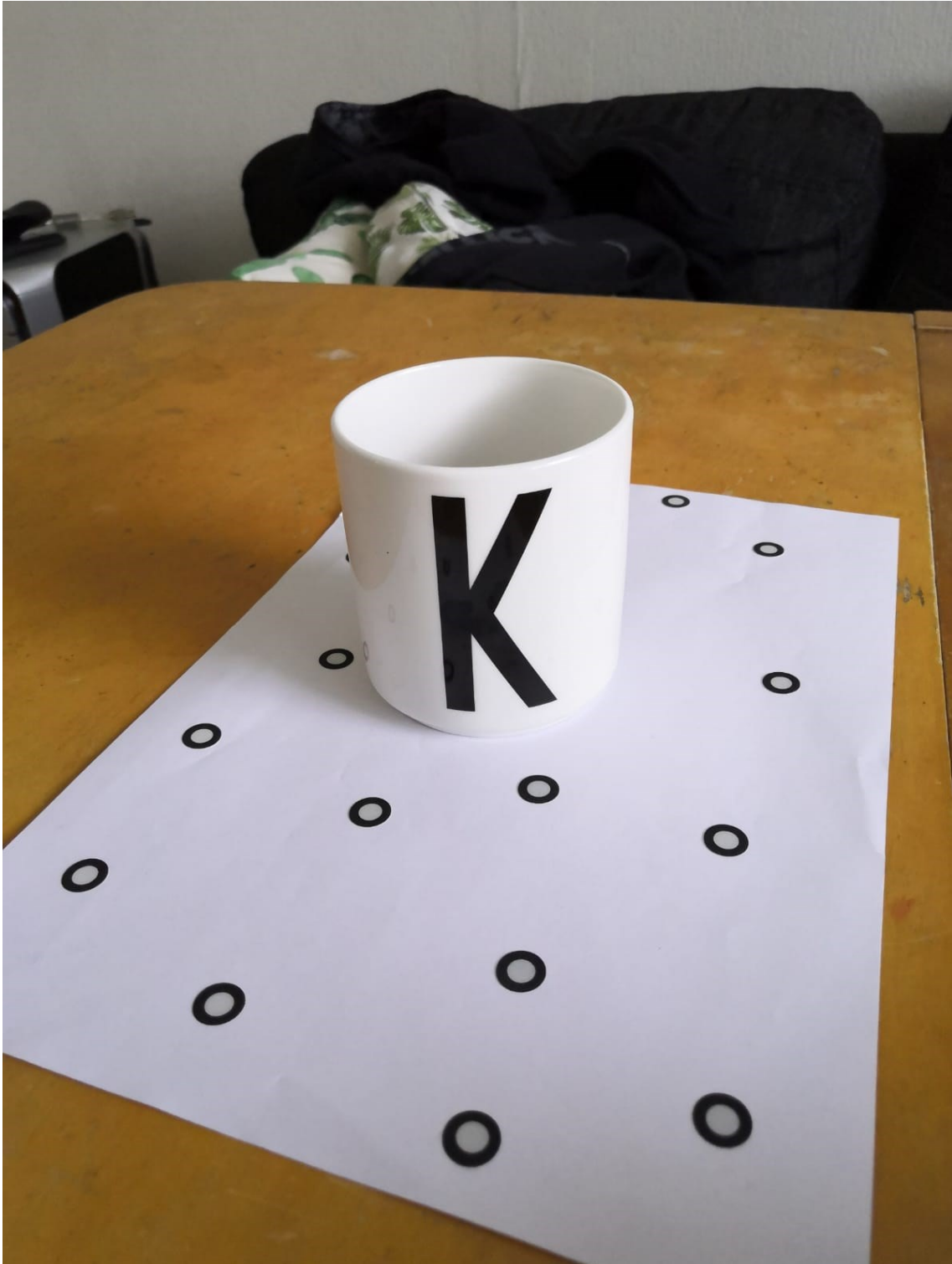
Black Elite -skanneri on käsikäyttöinen laserskanneri. Skannerin mittatarkkuus on 0,025 mm ja skannauksen muodostaman pistepilven tarkkuus on 0,1 mm. Tämä tarkoittaa, että skanneri kykenee erottamaan eri mittoja parhaimmillaan 0,025 mm:n etäisyyksillä ja muodostuneen pistepilven kyky kuvata kohteen todellista muotoa tapahtuu 0,1 mm:n resoluutiolla.

Skannaaminen vaatii paikoitustarrojen asettamista skannettavaan kohteen pintaan. Paikoitustarrat toimivat sijaintiviitteenä ja mahdollistavat skannerin paikan sekä asennon määrittelyn suhteessa kohteeseen skannauksen aikana. Skannerin pitää pystyä näkemään vähintään kolme erillistä tarraa jokaisella kuvantamishetkellä trigonometrisen laskennan onnistumiseksi. Laite etsii tarroista muodostettuja kolmioita ja näiden avulla skanneri tietää, missä se on. Tarrat voidaan kiinnittää joko suoraan skannattavan kohteen pintaan, kuten kuvassa 4, tai alla olevan alustan päälle, kuten kuvassa 5.

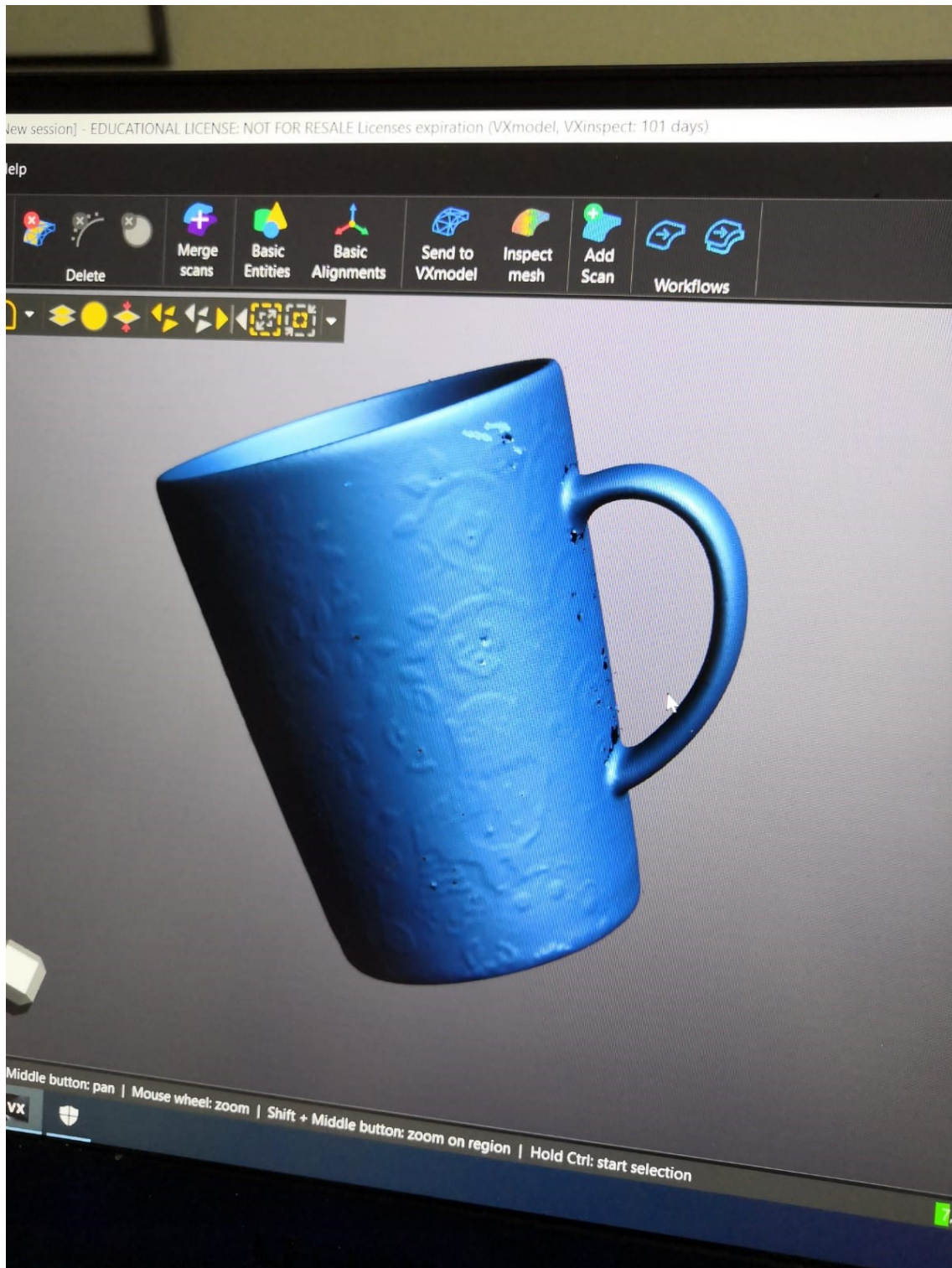
Lisäksi skanneri vaatii Creaformin hyväksymän kalibrointilevyn ja riittävän tehokkaan tietokoneen skannaamiseen. Työtä varten tarvittiin kannettava tietokone, jossa oli Creaformin VXScan-skannausohjelma. VXScan-ohjelmalla voidaan tarkastella skannattua pistepilveä, kuten kuvassa 6.



KUVA 4. Muki, johon on kiinnitetty paikoitustarroja.



KUVA 5. Kohde tarroitetun alustan päällä.



KUVA 6. Skannattu kohde pistepilvimallina.

3.2 Skannaamisprosessi

Skannauksen kohteena työssä oli lasikuitukanootin muotin vastakappale eli lesti. Lesti oli pituudeltaan 4 metriä ja skannaamista varten pintaan piti kiinnittää useita paikoitustarroja (kuva 7). Skannaamisen aikana ilmeni, että skannerin sijainti meni toisinaan ohjelman puolella sekaisin. Tämä johtui siitä, että tarrat oli asetettu aluksi liian johdonmukaisesti ja samankokoisia kolmioita esiintyi vahingossa useassa kohdassa lestin pinnassa. Tämä saatiin korjattua lisäämällä tarroja ”rikkomaan” samanlaisten muotojen syntymistä (kuva 8).



KUVA 7. Kanootin lesti, johon on kiinnitetty paikoitustarroja.



KUVA 8. Tarraykelmä, joka auttaa skanneria paikantamaan itsensä.

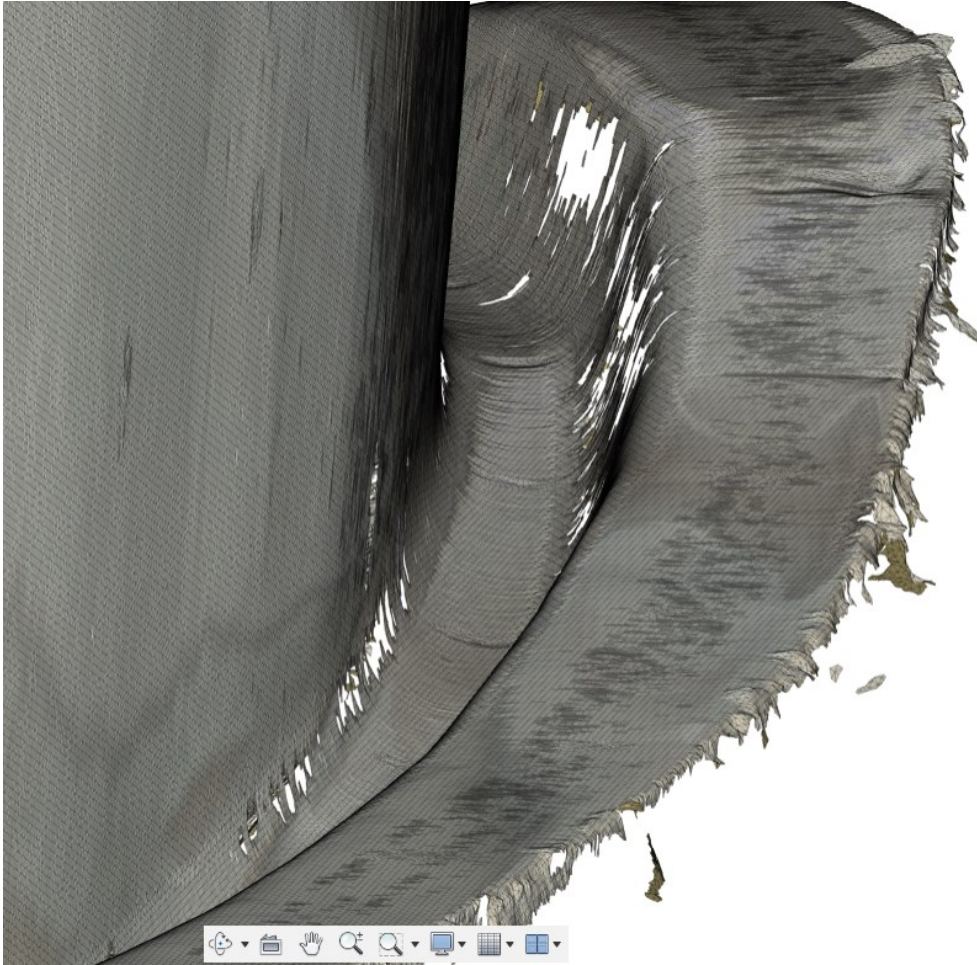
Ennen skannauksen alkua oli toimeksiantajan kanssa sovittu, että skannaus ja sen pohjalta tehty malli kuvastaisi kanootin toiminnan kannalta optimaalisia muotoja, eli käsin tehdyn lestin epätarkkuudet jätettäisiin pois ja painotettaisiin symmetriaa. Vain lestin toinen puoli tarroitettiin, koska ajatuksena oli tehdä tarkka skannaus vain puolikkaasta lestistä ja mallinnuksessa kopioida toinen puoli käyttäen peilaustyökaluja.

Skannauksen aikana ongelmaksi tuli myös käytetyn tietokoneen muistikapasiteetti. Skannerin tarkkuus oli alun perin asetettu 0,5 mm:n tarkkuuteen, mutta syntyvien pistepilvikolmioiden määrä oli niin suuri, ettei kannettavan tietokoneen työmuisti kyennyt käsittelemään kaikkea. Mittatarkkuus säädettiin 1,0 mm:n tarkkuuteen skannauksen onnistumiseksi. Muistin rajallisuus oli toinen syy, miksi lestistä päädyttiin skannaamaan vain puolet, eikä koko kohdetta.

3.3 VXModel

Kun skannaus on suoritettu ja tallennettu VXScan-ohjelmalla, skannausdata voidaan siirtää VXModel-ohjelmalle. VXModel on Creaformin omistama skannausdatan jälkikäsitteilyohjelma. Ohjelma soveltuu pistepilven alustavaan käsittelyyn ja siistimiseen sekä tilavuusmallin luomiseen. Skannauksesta syntynyt pistepilvi ei tyypillisesti ole täydellinen, minkä vuoksi virheiden korjaaminen on tärkeää tehdä ennen varsinaista CAD-mallinnusta. Jalostetumpi malli voidaan siirtää eteenpäin stl-tai STEP-tiedostona haluttuun CAD-ohjelmaan. Oleellimmat lestin skannausdatan korjaamisessa käytetyt työkalut ohjelmassa olivat decimate, smooth, fill holes sekä clean mesh.

Pistepilvessä esiintyy tavanomaisesti virheitä. Kanootin lestin skannauksessa yleisimpiä virheitä olivat reiät muodostetussa pinnassa ja pinnasta irrallaan olevat pistepilvikolmiot, kuten nähdään kuvassa 9. Reiät korjattiin fill holes -työkalulla ja irralliset kolmiot korjattiin yksinkertaisesti poistamalla geometria, jota ei haluttu. Näiden korjausten jälkeen pistepilven karkea pinta oli mahdollista tasoittaa smooth-työkalulla, joka automaattisesti laskee pinnan oletetun suunnan ja tekee mallista sileämmän.



KUVA 9. Virheitä lestin pistepilvessä. Kuopassa on nähtävissä reikiä ja reunoilla on irrallista geometriaa.

Lestin skannauksessa syntyneitä fasetteja oli yli 7 miljoonaa kappaletta ja ne tekivät tiedoston käsittelyn millä tahansa ohjelmistolla erittäin raskaaksi. Pintakolmioiden määrää pystyttiin merkittävästi vähentämään decimate-työkalulla, mikä mahdollisti pistepilvitiedoston helpomman käsittelyn. Kaikkien edellä mainittujen toimenpiteiden jälkeen oli tärkeää tarkastella skannaus virheiden varalta silmämääräisesti, sillä automatiikkaan perustuvat työkalut voivat jättää virheitä skannaukseen.

3.4 Kanootin lestin takaisinmallintaminen CAD-ohjelmalla

Nykyaikaisia CAD-ohjelmia on lukuisia. Pistepilviin keskittyneet työkalut olivat tärkeä tekijä oikeaa ohjelmaa valittaessa. Tähän työhön valittiin käytettäväksi Fusion 360 -ohjelma toimeksiantajan, alkuperäisen ohjaavan opettajan ja opinnäytetyön tekijän yhteisestä päätöksestä. Päätökseen vaikuttivat lähinnä Fusion 360:n ominaisuudet ja hinta. Fusion 360 on Autodeskin omistama CAD-mallinnusohjelma. Ohjelma on ilmainen ja suunnattu lähtökohtaisesti harrastuskäyttöön, mutta sillä

voi siitä huolimatta tehdä lähestulkoon kaikkea, mitä myös teollisuuskäytössä olevilla CAD-ohjelmilla voi tehdä, kuten Solidworksilla tai CATIalla. Verrattuna Solidworksiin, joka on yksi yleisimmistä teollisuudessa käytetyistä CAD-ohjelmista, Fusion 360 keskittyy lähinnä pistepilvien muokkaamiseen, kun Solidworks keskittyy kokoonpanoihin ja parametriseen mallintamiseen. Fusion 360:n laskentateho on ulkoistettu Autodeskin omille servereille, joten tehokkaalle työkoneelle ei ole tarvetta. Tässä on kuitenkin rajoituksia, sillä Fusion 360 sallii vain 10 000 fasetin tiedostoja. Mikäli tämä raja ylitetään, ohjelma alkaa hyödyntämään paikallista työmuistia.

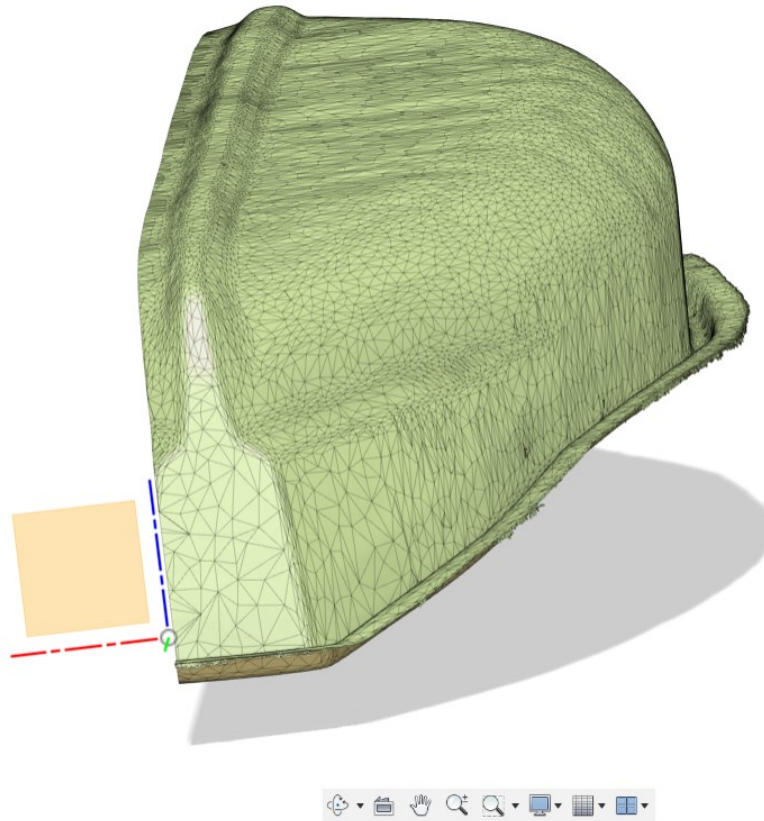
Ensimmäisenä lestin stl-tiedosto tuotiin VXModelista Fusion 360 -ohjelmaan (kuva 10).



KUVA 10. Raaka pistepilvi Fusion 360 -ohjelman sisällä ennen muokkaamista.

Fusion 360 sisältämät työkalut soveltuivat hyvin pistepilven loppukäsittelyyn. Pistepilvestä vähennettiin fasetteja ja pistepilvi aseteltiin koordinaatiston mukaisesti VXModelissa, minkä jälkeen pistepilvi siirrettiin Fusion 360 -ohjelmaan. VXModel-ohjelmaa käytettiin, koska se oli asennettuna työssä käytetylle tietokoneelle, jossa oli paljon enemmän laskentatehoa kuin omassa henkilökohtaisessa kannettavassa tietokoneessa. Suuremman laskentatehon ansiosta fasettien määrän vähentäminen oli nopeampaa ja tehokkaampaa suorittaa tietokoneella, johon oli jo valmiiksi asennettuna VXModel-ohjelma. Tämän olisi voinut tehdä myös Fusion

360 -ohjelmalla tarpeen vaatiessa. Kuvassa 10 olevassa mallissa on 7 187 229 fasettia ja tiedoston avaamiseen meni henkilökohtaisella kannettavalla tietokoneella noin kolmisen minuuttia.

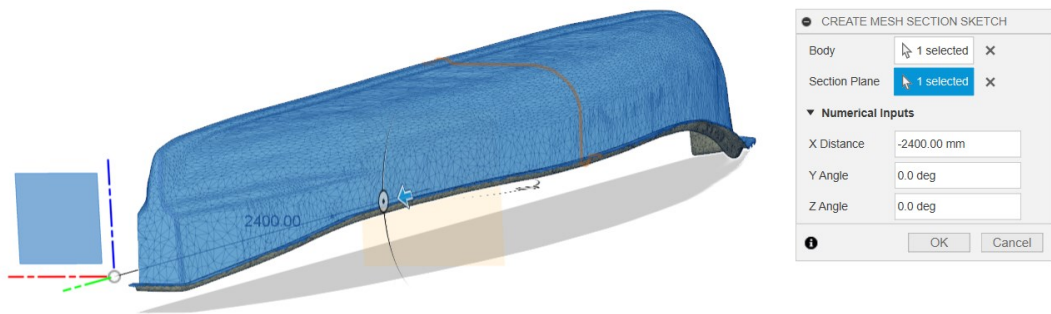


KUVA 11. Siistitty malli, jossa on myös vähemmän fasetteja.

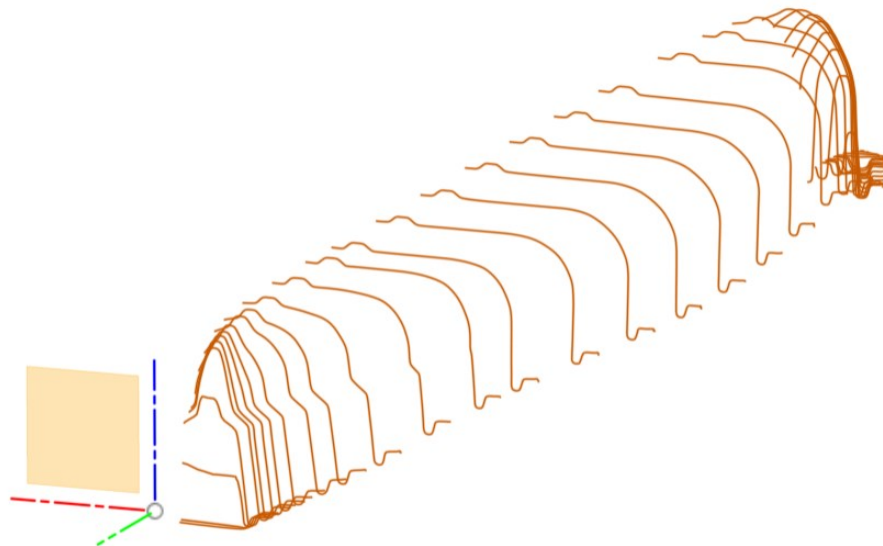
Fasettien määrä saatiin vähemmäksi Fusion 360:n omalla Reduce-työkalulla. Kuvassa 11 mallissa on nyt 48 356 fasettia, mikä ylittää yhä Fusion 360:n 10 000 fasetin rajoituksen, mutta mikäli fasetteja olisi vähennetty alle 10 000:een, olisi tästä mallin pinnanmuotojen tarkkuus kärsinyt liikaa. Kuvassa olevassa mallissa on myös korjattu pois reiät ja irralliset geometriat.

Jotta skannatusta mallista saadaan aidosti parametrinen, tulee malli luoda uudelleen käyttäen muokattua pistepilveä pohjana. Paras tapa saada lestistä skannaamalla saadusta mallista aidosti parametrinen oli jakaa malli läpileikkausprofiileihin. Läpileikkausprofiilien tekeminen onnistui Create Mesh Section Sketch -työkalulla. Jokainen läpileikkausprofiili tuli tämän jälkeen määritellä tarkoin parametrisyyden savuttamiseksi. Tämä työvaihe vei kaikista eniten työtunteja ja oli siten kaikista työläin.

Läpileikkausprofiilin muodostamiseen tarvittiin leikkaava taso, joka oli kohtisuorassa mallin pituussuuntaan nähden. Leikkaustasoja asetettiin mallin koko pituuden läpi. Mallin monimutkaisempiin pinnanmuotoihin, kuten köliin ja kärkeen, tarvittiin useampia läpileikkauksia. Läpileikkausprofileja oli lopuksi 48.

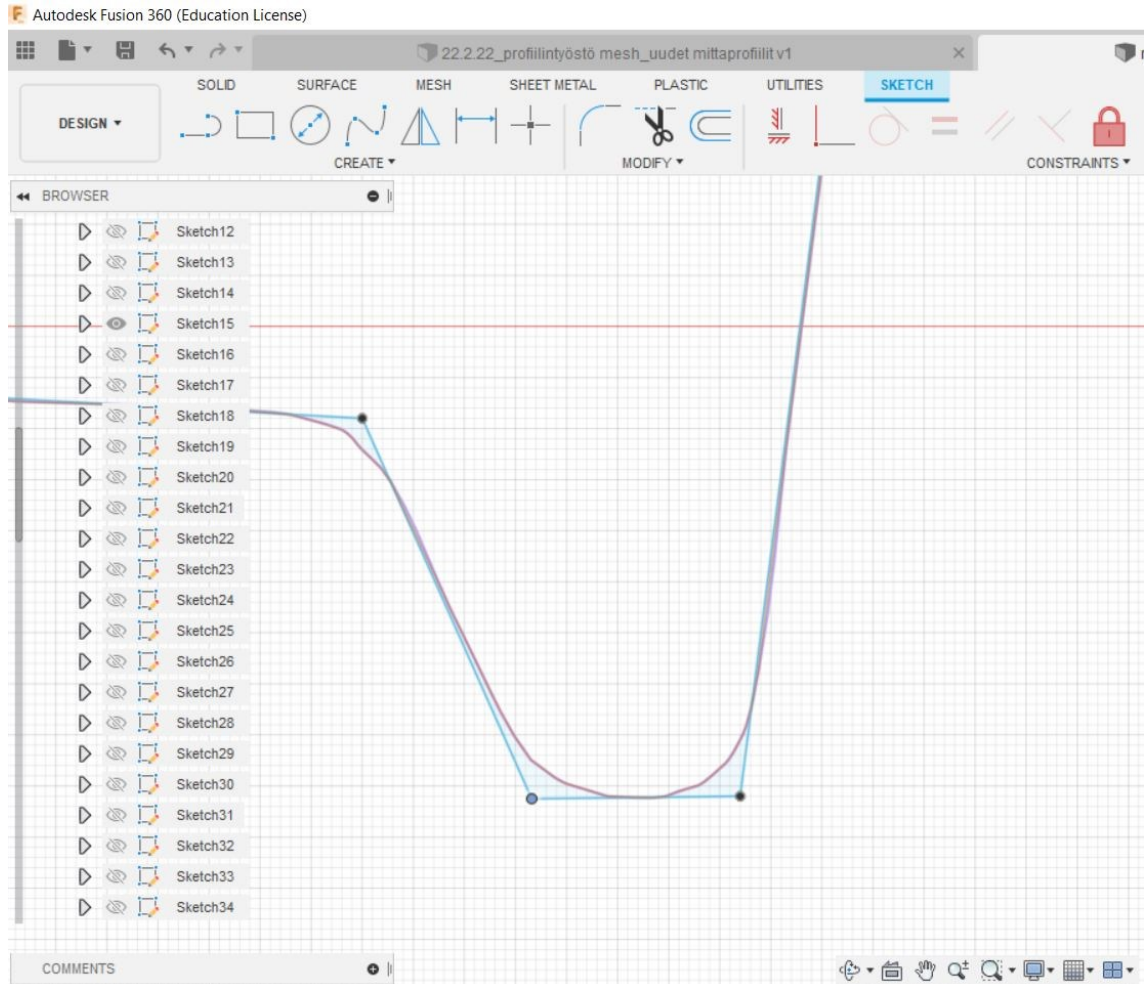


KUVA 12. Koordinaatistotasosta 2 400 mm erillään oleva leikkaustaso, joka muodostaa läpileikkausprofiilin (oranssi käyrä).



KUVA 13. Malli jaettu 48:ään eri läpileikkausprofiiliin.

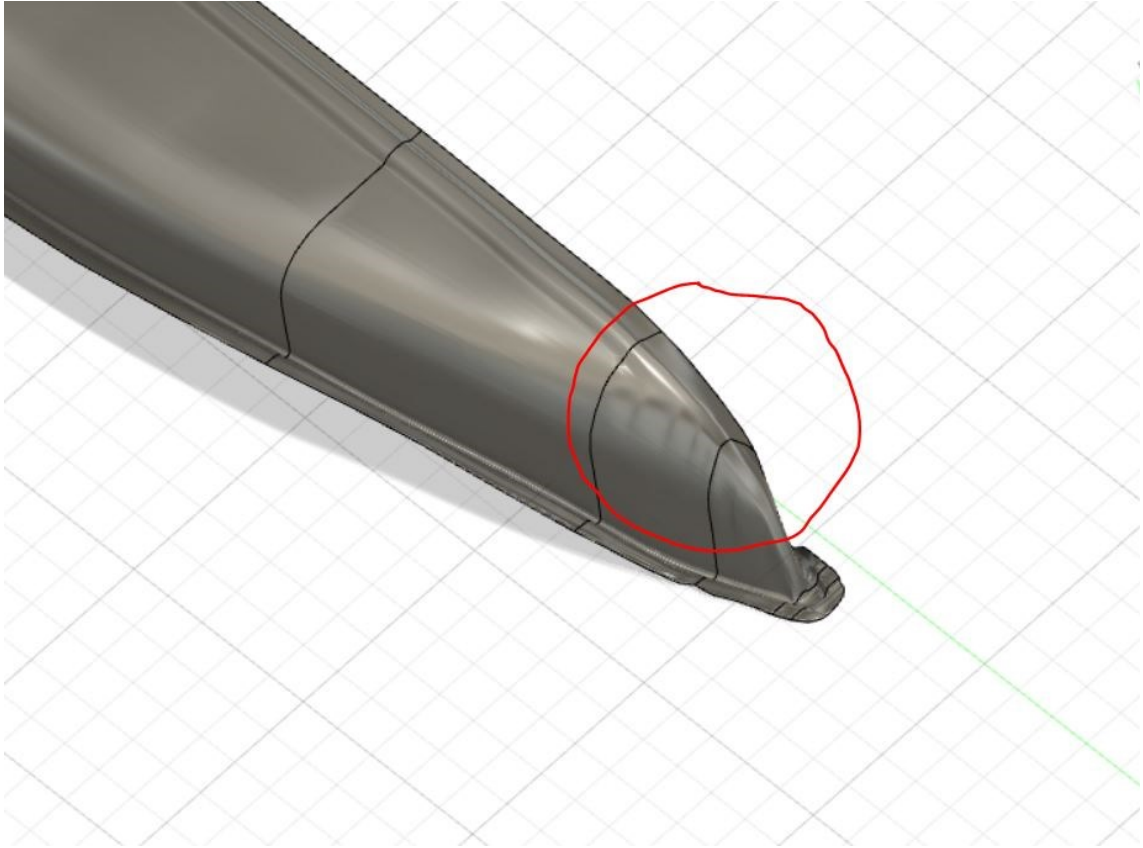
Jokainen läpileikkausprofiili piti tämän jälkeen erikseen tarkkaan määritellä parametriseksi eli rakentaa jokainen käyrä parametriseksi ja mittaohjautuvaksi. Kuvassa 14 voidaan nähdä, kuinka läpileikkausprofiilin päälle on piirretty karkea viiva.



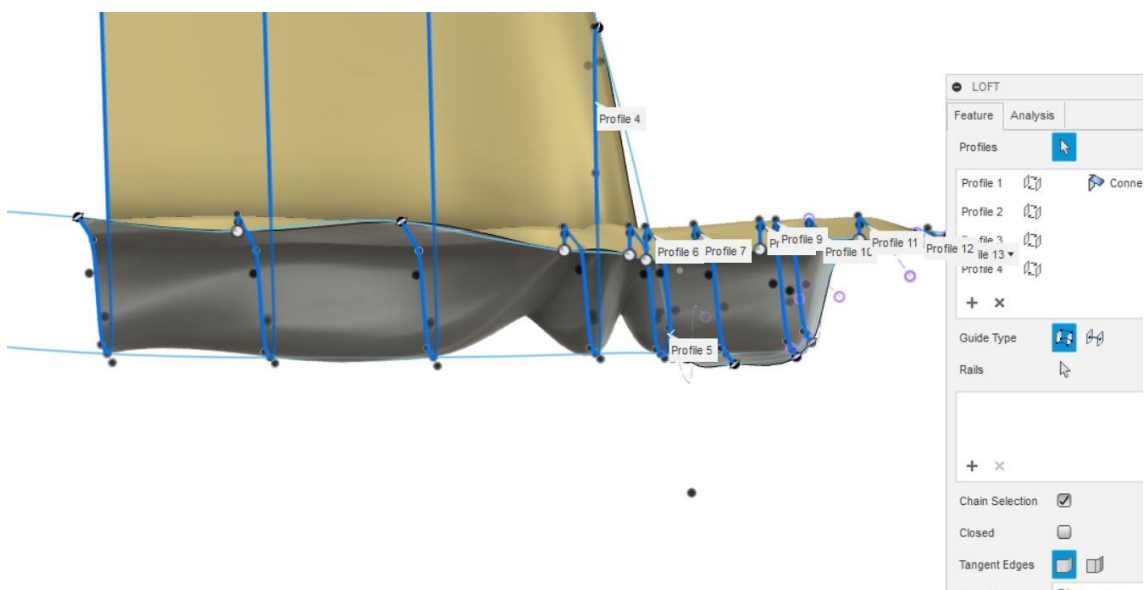
KUVA 14. Karkea käyrä piirrettynä käyttäen apuna läpileikkausprofiilia.

Karkea viiva tuli tämän jälkeen määritellä tarkkaan läpileikkausprofiilin käyrän mukaiseksi. Kuvassa 15 jokaiselle mutkalle käyrässä on annettu tarkka arvo mitoitustyökalun avulla.

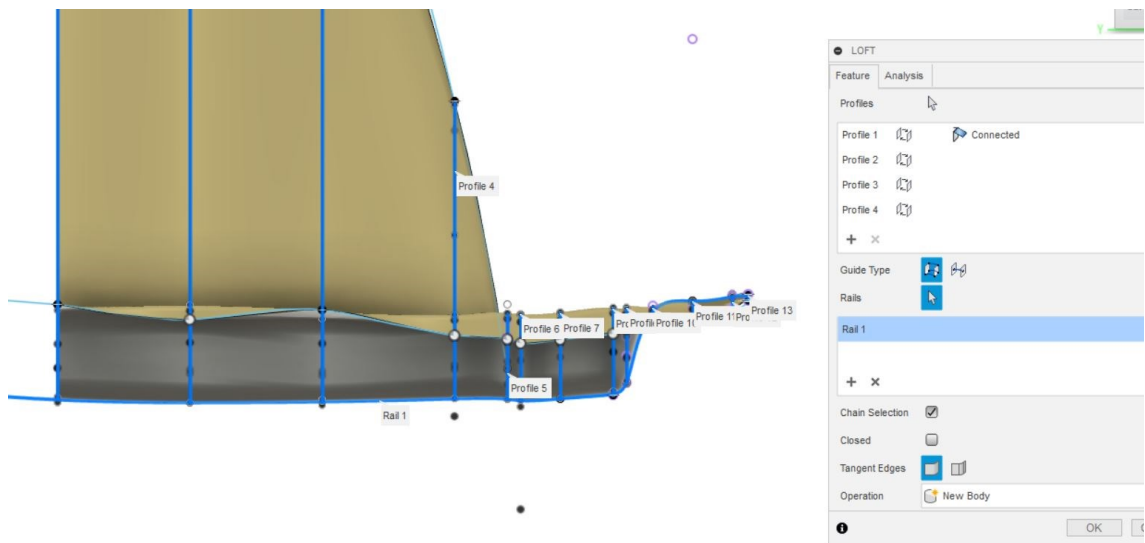
vetää pinnan kahden täysin määritellyn profiilin välille. Jotta Loft-työkalu tekisi onnistuneen pinta-geometrian on syytä lisätä ohjauskäyriä. Kuvissa 17 ja 18 on nähtävissä muodostettu pinta ilman ohjauskäyriä.



KUVA 17. Ympyröidyllä alueella on nähtävissä ei-toivottua aaltoilevaa pintaa.



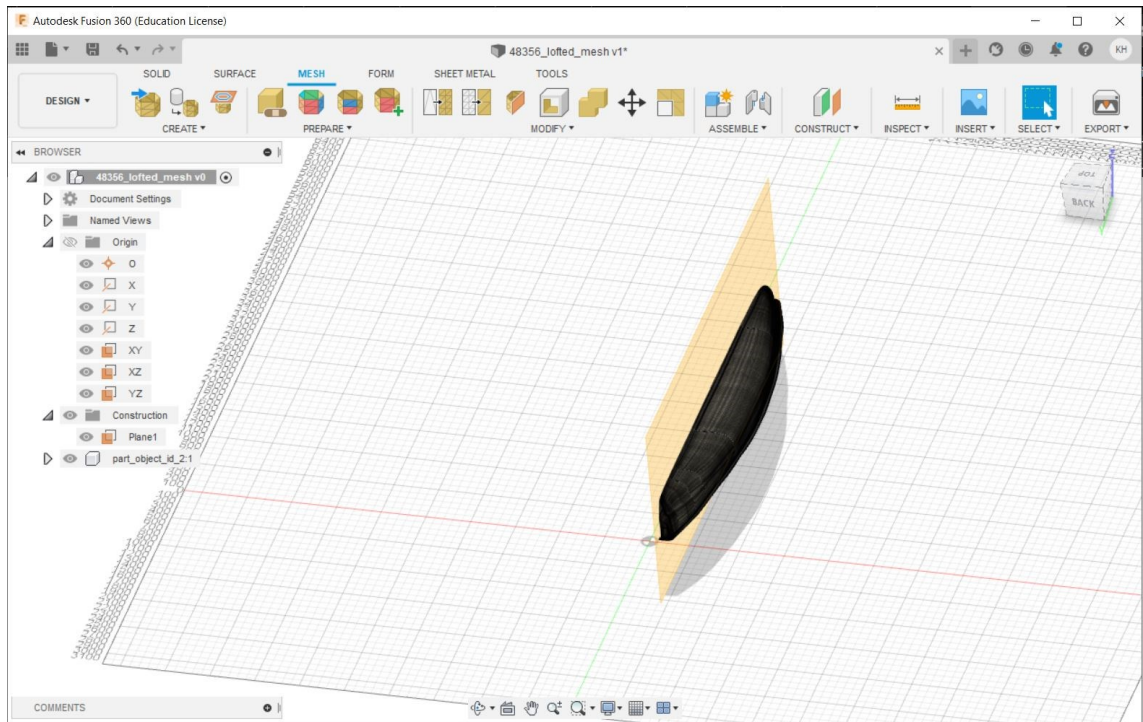
KUVA 18. Lestin reunan pohjassa esiintyvää ei-toivottua aaltoilua.



KUVA 19. Ohjauskäyrä käytössä parantamassa muodostuvaa pintaa.

Ilman ohjauskäyriä pintaan muodostui aaltomaista muotoa, joka olisi tuhoisaa kanootin virtaviivaisuudelle. Kuvassa 19 on otettu ohjauskäyrä käyttöön havainnollistamaan pinnan parempaa muotoa.

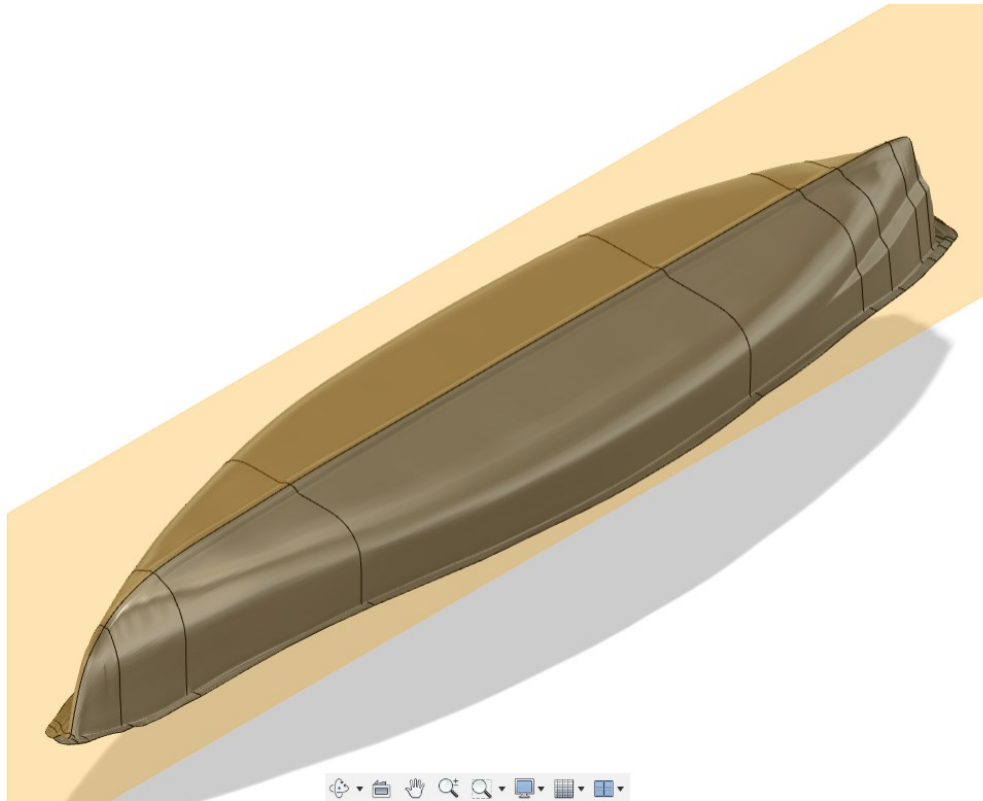
Loftauksen jälkeen valmis lestinpuolikas tuli vielä kopioida vastakkaiselle puolelle kokonaisen mallin muodostamiseksi. Tähän käytettiin Mirror-työkalua. Mirror-työkalu peilaa valitut piirteet valitun tason suhteen. Tätä varten tehtiin erillinen tasoapugeometria, joka leikkaa mallin keskeltä, kuten voidaan nähdä kuvassa 20.



KUVA 20. Peilaamiseen tarkoitettu aputaso leikkaamassa mallin keskeltä köliä.



KUVA 21. Peilattu valmis pintageometria edestäpäin katsottuna.



KUVA 22. Peilattu valmis pintageometria isometrisesta kuvakulmasta.

4 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kanootin lestin takaisinmallintaminen skannaamalla ja luomalla skannatusta mallista parametrinen 3D-malli onnistui. 3D-mallin luominen lestistä skannaamalla oli kuitenkin haastavaa, ja luodun mallin parametrisuudessa on edelleen kehitettävää. Nämä haasteet johtuvat pääasiassa käytetystä laitteistosta, ohjelmistosta sekä mallinnuksen suunnittelusta.

4.1 Työmenetelmät

Työn alkuvaiheessa tapahtunut laserskannaus oli nopea tapa kerätä referenssidata, mutta tähän sovellukseen turhankin tarkka ja kallis. Työssä käytetty laserskanneri soveltuu parhaiten pienempien kappaleiden skannaamiseen ja kanootin lesti on isompi kohde kuin mihin laite on suunniteltu. Suuri koko vaati paljon paikoitustarjontaa ja siitä huolimatta paikkatieto meni hukkaan aika ajoin vaikeuttaen skannausta. Käytössä oleva tietokoneen muisti oli myös rajoittava tekijä, minkä vuoksi mittatarkkuutta jouduttiin laskemaan ja skannaamaan vain puolet kohteesta. Lisäksi kohteessa oli negatiivisia kulmia, joita skanneri ei kyennyt skannaamaan ja nämä tuli korjata esikäsittelyssä ennen varsinaista mallintamista.

Skannauksesta syntynyt referenssidatana käytetty pistepilvi oli lopuksi niin iso, ettei Fusion 360 -ohjelma pystynyt järkevästi sitä käsittelemään ennen koon pienentämistä. Remesh -työkalulla saatiin facettien määrä tiputettua käsiteltävään tasoon, mutta tällöin menetettiin myös tarkkuutta mallista. Normaalisti näin isossa kappaleessa ei vaadita näin tarkkaa resoluutiota kuin millä kohde oli skannattu, mutta toisaalta jos tarkkuudesta halutaan tinkiä, on tällöin turhaa käyttää skanneria, joka kykenee 0,05 mm:n tarkkuuteen.

Eniten aikaa vienyt työvaihe oli analyttisten käyrien määrittely pistepilven poikkileikkausprofiileista. Poikkileikkausprofiileja oli liki 50, ja jokainen profiili täytyi yksitellen määrittellä laadun ja täysin parametrisen mallin varmistamiseksi. Profiilien määrää voidaan vähentää, mutta tämäkin laskisi lopullisen mallin tarkkuutta kriittisesti. Loft-työkalulla saatiin analyttisten käyrien avulla muodostettua lopullinen pintageometria. Pinnan muotojen tarkkuudessa ollaan tällöin täysin Loft-työkalun laskennan ja analyttisten käyrien tarkkuuden armoilla.

Valmis malli on täysin parametrinen eli sen kaikkia piirteitä pystytään muokkaamaan, mutta piirteiden suuren määrän takia tämä voi osoittautua hyvinkin vaikeaksi. Mallilla ei ole lainkaan tilavuutta vaan se on puhtaasti pelkkä pintageometria, joka riittää kanoottilestin arkistointiin.

4.2 Parempia ratkaisuja ja työn tehostaminen tulevaisuudessa

CAD-mallinnusta aloittaessa on erityisen tärkeää harkita, missä järjestyksessä lähtee luomaan piirteitä. Hyvä CAD-mallin perusta helpottaa suuresti koko mallinnusprosessia ja mahdollistaa jälkikäteen tehtävät muutokset helpommin. Isot mittaohjautuvat piirteet olisi hyvä lisätä sellaisiin mallin kohtiin, joita todennäköisesti haluttaisiin muokata jatkossa. Työssä valmistunut CAD-malli sisältää paljon mittaohjautuvia piirteitä, joiden muokkaaminen on työlästä. Vaihtoehtoisesti, analyttiset käyrät voidaan korvata määrittämättömillä splineillä ja käyttää Loftia niiden avulla. Koko pistepilvi voitaisiin myös yrittää konvertoida pintageometriaksi käyttämällä Fusion 360 -ohjelman pistepilven konvertointityökalua. Tällöin säästettäisiin huomattava määrä työaika. Splinien ja konvertointityökalun käyttö kylläkin jättäisi mallin pysyvään muotoon, eikä se näin ollen olisi muokattavissa parametrisesti. Kuitenkin 3D-mallissa oleva suuri määrä piirteitä tulisi jakaa johdonmukaisesti piirreryhmiin mallin muokkaamisen helpottamiseksi ja mallin selkeyttämiseksi.

Suurin osa työssä esiintyvistä ongelmista kumpuaa laserskannauksen muodostaman pistepilven ominaisuuksista. Pistepilven sisältämä suuri määrä pisteitä ja tästä huolimatta pistepilven jäävät epätarkkuudet tekevät mallin luomisesta haastavampaa kuin jos esimerkiksi mallin referenssidata olisi luotu koordinaattimittauslaitteella ja virtaviivaiset muodot olisi approksimoitu mahdollisimman tarkasti. Tällöin malli olisi epätarkempi kuin raaka pistepilvidata, joka saataisiin laserskannerista, mutta pistepilven epätarkkuuksien korjaamisen ja tahkoverkon pienennyksen yhteydessä muodostuva tarkkuus olisi karkeasti samaa luokkaa kuin koordinaattimittauksen avulla luodussa mallissa. Käsi käyttöiset koordinaattimittauslaitteet ovat myös merkittävä investointi rahallisesti, joten työhön ryhtyvän pitää harkita kumman tavan käytössä kuluu enemmän aikaa.

Arkistoinnin suhteen valmis malli voidaan tallentaa Fusion 360:n omalla tiedostoformaattilla tai STEP-tiedostona. Mallista voidaan tehdä suuripiirteinen työpiirustus, joka esittää mallin ulkodimensiot, kuten nähdään kuvassa 23. Mallin kaikki mitat ovat nähtävissä piirteiden sisällä, mikäli käytetään Fusion 360 -ohjelman omaa tiedostoformaattia.

5 YHTEENVETO

Skannaus osoittautui haastavaksi skannattavan kappaleen ison koon vuoksi. Lisäksi parametrisen mallin luominen vapaamuotoisesta kappaleesta on aina oma haasteensa varsinkin työhön valitun Fusion 360 -ohjelman rajoitteilla. Työssä luotu 3D-malli on kuitenkin valmis jatkojalostettavaksi esimerkiksi työstörataohjelmille. Tämmöisenään malli kelpaa yksinomaan arkistointiin ja referenssiksi seuraavia revisioita varten. CAD-mallin tekeminen onnistuu takaisinmallintamalla käyttäen laserskannausta ja mallinnusohjelmaa, mutta työhön ryhtyvän on syytä harkita tarkkaan, onko kohde soveltuva annetuille työkaluille ja takaisinmallinukseen ylipäätään pitäen silmällä raha- ja aikaresursseja.

LÄHTEET

Creaform. 2012. SHORT-RANGE 3D SCANNING TECHNOLOGIES: AN OVERVIEW. Hakupäivä 23.1.2024. <https://www.creaform3d.com/blog/short-range-3d-scanning-technologies-an-over-view/>.

Fabbers, 1989. The StL Format. Hakupäivä 23.1.2024. http://www.fabbers.com/tech/STL_Format.

Fischer, Bryan R. 2011. Mechanical Tolerance Stackup and Analysis. Taylor & Francis Group.

Forbes 2021. Attack Of The Clones: How IBM Lost Control Of The PC Market. Hakupäivä 23.1.2024. <https://www.forbes.com/sites/timbajarin/2021/08/25/attack-of-the-clones-how-ibm-lost-control-of-the-pc-market/>.

Hearn, Donald & Baker, M.Pauline 1994. Computer Graphics. Toinen laitos. Engelwood Cliffs: Prentice Hall.

Measurement solutions. 2023. Choosing A CMM Or 3D Scanner. Hakupäivä 23.1.2024. <https://www.measurement-solutions.co.uk/choosing-a-cmm-or-3d-scanner/>.

Mäntylä, Martti 1988. An introduction to solid modeling. Rockville, Maryland: Computer Science Press.

Protolabs Network. What is CAD modeling? Comparing design software for 3D printing. Hakupäivä 23.1.2024. <https://www.hubs.com/knowledge-base/3d-modeling-cad-software/>.

Shah, Jami J. & Mäntylä, Martti 1995. Parametric and Feature-based CAD/CAM: Concepts, Techniques, Applications. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Wikimedia Commons. 2014. The differences between CAD and STL Models. Hakupäivä 23.1.2024. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_differences_between_CAD_and_STL_Models.svg.