

Lari Vandell

**TUOTTEEN 3D-SKANNAUS JA SKANNAUSPROSESSIN
OHJEISTUS**

TUOTTEEN 3D-SKANNAUS JA SKANNAUSPROSESSIN OHJEISTUS

Lari Vandell
Opinnäytetyö
Syksy 2015
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, tuotantotalous

Tekijä: Lari Vandell

Opinnäytetyön nimi: Tuotteen 3D-skannaus ja skannausprosessin ohjeistus

Työn ohjaaja: Jari Viitala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2015 Sivumäärä: 35 + 4 liitettä

Opinnäytetyö käsittelee 3D-skannausta. Työ tilaajana on lujitemuovituotteita valmistava Ykimuovi Finland Oy. Työn tavoitteena on tutustua 3D-skannaukseen, luoda tilaajalta saadusta mallikappaleesta parametrinen CAD-malli sekä yleisohje 3D-skannausprosessista.

Työssä käydään läpi 3D-skannauksen teoriaa, skannausmenetelmät sekä 3D-skannauksen käyttökohteita. Lisäksi työssä käsitellään eri tapoja tuottaa 3D-malli. Käytännön osuudessa tutustutaan Oulun ammattikorkeakoululla sijaitsevaan Konica Minolta -laserskanneriin sekä sitä ohjaavaan PET-ohjelmistoon. CAD-malli luotiin SolidWorks-ohjelmistolla. Työssä käydään läpi eri työvaiheet skannauksesta 3D-mallin luomiseen. Käytännön osuus koostui empiirisestä tutkimuksesta.

3D-skannausprosessi koostuu ennen skannausta suoritetuista toimenpiteistä, kuten kappaleen esikäsittelystä ja skannerin kalibroinnista. Ennen skannaamista tulee asettaa skannausasetukset ja skannauksen jälkeen skannausdatat yhdistetään yhdeksi pistepilvitiedostoksi. Pistepilvestä luodaan mesh eli pisteverkko, jonka avulla datasta luodaan 3D-malli. 3D-malli voidaan luoda parametriseksi, jolloin sitä on mahdollista muokata ja siihen voidaan lisätä myöhemmin lisää osia. Malli voidaan luoda myös pintamalliksi, jolloin kappaleesta luodaan monta eri pintaa. Pintamallia käytetään monimutkaisissa kappaleissa.

Työn lopputuloksina syntyi kappaleesta parametrinen CAD-malli 2D-piirustuksineen sekä yleisohje 3D-skannausprosessista. Skannausdatana syntynyt pistepilveä on mahdollista käyttää kappaleen laaduntarkastelussa ja sen avulla voidaan luoda esimerkiksi kappaleesta prototyyppi 3D-tulostusta käyttämällä. Parametrinen 3D-malli voidaan käyttää kappaleen jatkokehittämiseen, muokkaamiseen ja tuottamiseen. Skannausprosessin ohjeistusta voidaan käyttää tulevaisuudessa 3D-skannausta vaativissa projekteissa. 3D-mallin luomisessa syntyi ongelmia kappaleen monimuotoisuuden sekä pinnan heijastusten takia.

Asiasanat: 3D-skannaus, laserskannaus, 3D-mallinnus, takaisinmallinnus

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 3D-SKANNAUSMENETELMÄT	7
2.1 Koskettavat	7
2.2 Ei-koskettavat	8
2.2.1 Aktiiviset skannerit	9
2.2.2 Passiiviset skannerit	11
3 KÄYTTÖKOHTTEET	12
3.1 Konetekniikka	12
3.2 Rakennustekniikka	13
3.3 Lääketiede	14
3.4 Viihdeteollisuus	14
4 3D-MALLIN LUONTI	16
4.1 Pistepilvi	16
4.1.1 Pistepilven käsittely	16
4.1.2 Ohjelmistot	17
4.2 2D-kuvien yhdistäminen	17
4.3 Tietokonetomografia	18
5 KONICA MINOLTA VIVID 9I -LASERSKANNERI	19
5.1 Laitteisto	20
5.2 PET (Polygon Editing Tool)	21
6 TESTIKAPPALEEN SKANNAAMINEN	23
6.1 Kalibrointi sekä esikäsittely	24
6.2 Skannaaminen	24
6.3 Skannausdatan muokkaaminen	26
6.4 3D-mallin luonti	27
6.5 Ongelmat	31
7 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	34
LIITTEET	

Liite 1. Lähtötietomuistio

Liite 2. Lisäistuimen 2D-piirustus

Liite 3. 3D-skannausprosessin ohjeistus

Liite 4. 3D-mallin luominen mallikappaleesta

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaajana on Oulun Ylikiimingissä sijaitseva Ykimuovi Finland Oy, joka on osa Victorius-konsernia. Ykimuovi on perustettu 1981, ja Victorius-konserniin se liittyi vuonna 2013. Ykimuovi valmistaa lujitemuovituotteita, kuten ahkioita, veneitä ja kuomukärriä. Lisäksi yritys tarjoaa tuotekehittelyä ja muottien valmistusta. Mallikappaleena työssä käytettiin kylpyaltaan lisäistuinta. Yrityksen tavoitteena on tutkia 3D-skannauksen soveltuvuutta suurten kappaleiden, kuten veneiden, digitalisointiin.

3D-skanneri on reaali maailman kohdetta analysoiva laite, joka tuottaa dataa skannattavan kohteen muodoista. 3D-skannerin tuottama data koostuu pistepilvestä, joka on tuhansien pisteiden verkko. Pistepilvi sisältää kohteen pintojen X- Y- ja Z-koordinaattitiedot. Pistepilveä hyödyntämällä voidaan kohteesta luoda digitaalinen 3D-malli.

3D-skannausta hyödynnetään nykyään monilla eri aloilla, kuten teollisuudessa, peli- ja viihdeteollisuudessa sekä lääketieteessä. Teollisuudessa 3D-skannaus on mukana jokaisessa tuotannon vaiheessa. 3D-skannausta voidaan käyttää myös laaduntarkkailussa jo tuotantovaiheessa.

Opinnäytetyössä perehdytään 3D-skannereiden toimintaan. Työssä käydään läpi eri skannausmenetelmiä ja niiden käyttötapoja. Lisäksi tutkitaan eri tapoja tuottaa 3D-malli skannauksella saatavasta datasta.

Käytännön osuudessa perehdytään Oulun ammattikorkeakoulun Konica Minolta Vivid 9i -laserskanneriin ja sitä ohjaavaan PET-ohjelmistoon sekä niiden ominaisuuksiin. Työssä skannataan toimeksiantajalta saatu muovituote ja pistepilven avulla kappaleesta luodaan parametrinen CAD-malli SolidWorks 2014 -ohjelmistolla. Lisäksi luodaan käyttöohje 3D-skannausprosessista.

2 3D-SKANNAUSMENETELMÄT

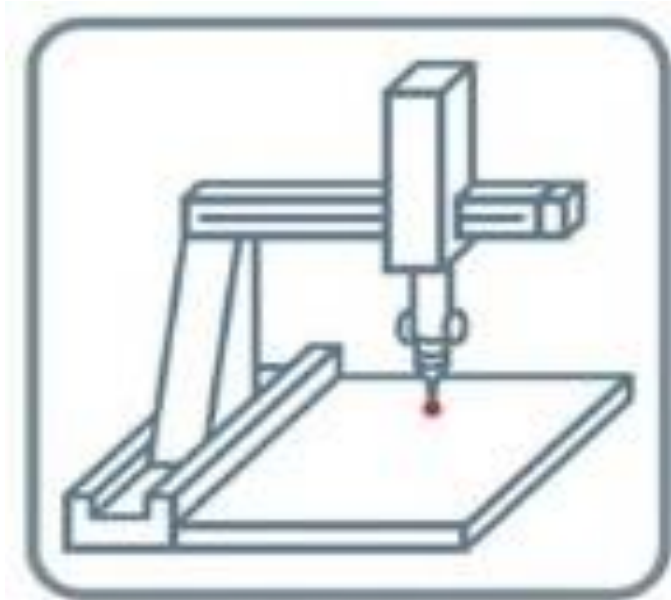
3D-skanneri on 3D-tietoa keräävä laite. 3D-skannauksella tuotetaan dataa reaali maailman esineestä tai tilasta ja tätä dataa hyödyntäen kohteesta voidaan mallintaa digitaalinen 3D-malli. Eri skannaustekniikoita hyödyntäen voidaan skannata minkä muotoisia ja kokoisia kohteita tahansa. 3D-skannaamisella voidaan päästä huomattaviin aika -ja rahastästöihin suunnittelutyössä. 3D-skannausta voidaan hyödyntää monella tavalla eri aloilla. (1, linkit About -> FAQ.)

3D-skannerit jaetaan skannaustekniikan mukaisesti kahteen tyyppiin: koskettaviin ja ei-koskettaviin. Ei-koskettavat skannerit jakautuvat toimintaperiaatteen mukaan aktiivisiin ja passiivisiin menetelmiin. (1, linkit About -> Technical Information.)

2.1 Koskettavat

Koskettavat 3D-skannerit keräävät skannattavasta kohteesta dataa koskettamalla sen pintaa. Skannaus tuottaa kappaleesta kordinaattipisteitä x-, y- ja z -koordinaatistoon. Koskettavaa menetelmää käyttävät skannerit ovat yleisesti tarkkoja, mutta kosketuksen tarve asettaa skannattavalle kohteelle vaatimuksia. Koskettavia skannereita voidaankin käyttää esimerkiksi laaduntarkkailuun, mutta skannerin kosketus voi vaurioittaa hauraita kappaleita. (1, linkit About -> Technical Information.)

Koordinaattimittauspöydässä mittapää liikkuu kolmella akselilla, jotka vastaavat koordinaatiston x-, y- ja z-akseleita. Mittaustulosten kannalta koordinaatiston valinta on tärkeää. Kuten kuvasta 1 näkee, koordinaattimittauspöytää käytettäessä skannattava kappale on oltava koneen mittauspöydällä ja mittausetäisyys on rajoittautunut laitteen omasta koosta johtuen. (1, linkit About -> Technical Information.)



KUVA 1. Koordinaattimittauspöydän(CMM) koko asettaa vaatimuksia mitattavalle kappaleelle (2)

Mittausvarsi on kuvan 2 mukainen kannettava koordinaattimittauskone, joka toimii ikään kuin ihmisen käsi. Mittausvarsi koostuu useasta pyörivästä nivelestä, kolmesta varresta ja mittauspäästä. Jokaisessa nivelessä on anturit, jotka mittaavat varren asentoa. (2.)



KUVA 2. Mittausvarsi muistuttaa ihmisen kättä (2)

2.2 Ei-koskettavat

Ei-koskettavat skannausmenetelmät jaotellaan aktiivisiin sekä passiivisiin. Nämä tekniikat eroavat säteilytavassa. Aktiiviset skannerit lähettävät itse säteilyä, kuten valo- ja röntgensäteitä. Passiiviset skannerit havaitsevat muiden

lähteiden lähettämiä säteiden, kuten infrapunasäteiden tai auringonvalon, heijastuksia. Koska menetelmässä käytetään säteilyä, voi kappaleen pinta aiheuttaa ongelmia. Varsinkin mustat, läpinäkyvät sekä heijastavat pinnat täytyy esikäsitellä esimerkiksi talkilla, jotta laserskannaus onnistuu. (1, linkit About -> Technical Information.)

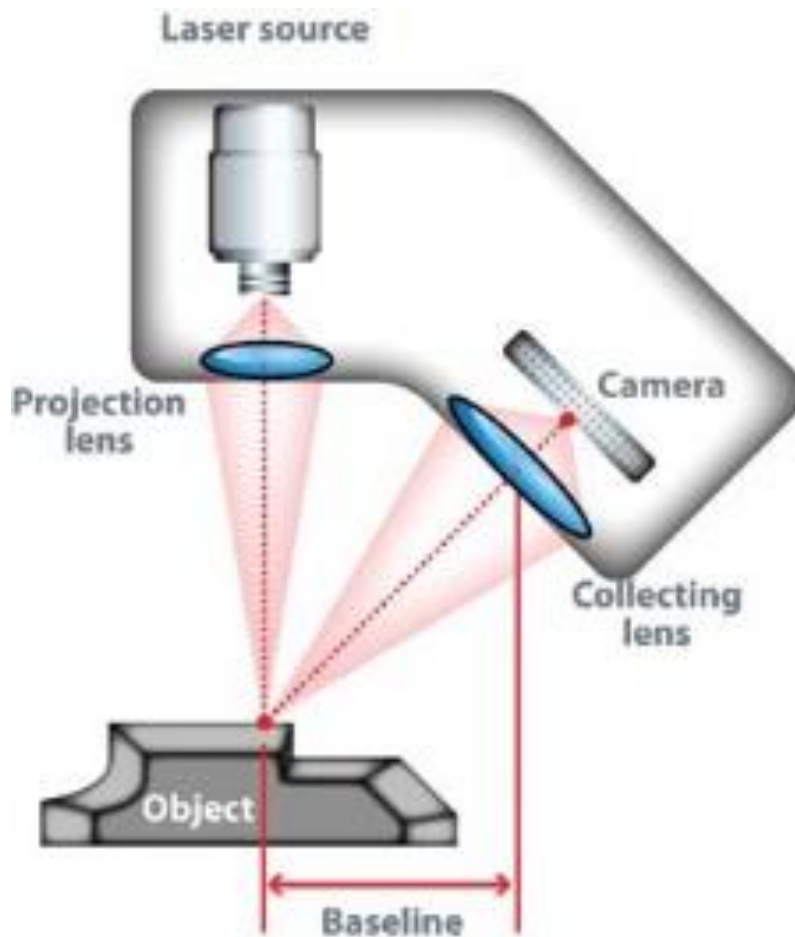
2.2.1 Aktiiviset skannerit

Aktiiviset skannerit jakautuvat säteilyn mittaustavan mukaan eri kategorioihin kuvan 3 mukaisesti. Kolmiomittaukseen perustuvat skannerit ovat todella tarkkoja, mutta skannausetäisyys on rajoitettu muutamaa metriä. TOF-skannereita voidaan käyttää kaukana oleviin kohteisiin, mutta skannereiden tarkkuus on heikohko.



KUVA 3. Aktiiviset skannausmenetelmät (2)

Kolmiomittauksessa laserlähde lähettää lasersäteen skannattavaan kohteeseen, josta säde heijastuu skanneriin kuvassa 4 esitetyllä tavalla. Koska skannerin ja laserlähteen etäisyydet sekä niiden kallistuskulmat vertailukohteeseen (baseline) nähden tunnetaan, voidaan skannattavan kappaleen etäisyys kamerasta laskea. (2.)



KUVA 4. Kolmiomittauksen perusperiaate (2)

Strukturoitua valoa käyttävät skannerit analysoivat skannattavan kohteen pinnanmuotoja valokuvien avulla. Skanneri koostuu yhdestä tai kahdesta kamerasta ja projektorista. Projektori lähettää kohteeseen viivakuvion joka heijastuu pinnasta takaisin projektorin vieressä oleviin kameroihin. Skanneri laskee kohteen etäisyydet eri kohdissa analysoimalla heijastuneen kuvion eroja lähetettyyn kuvioon. Viivakuvion viivojen leveyksiä muuttamalla mittauksen tarkkuus paranee. Strukturoitua valoa käyttävillä skannereilla päästään hyvään mittatarkkuuteen, mutta kiiltäviä pintoja ei tällä menetelmällä voida skannata. (2.)

Pulssilaser-skannerit perustuvat Time-Of-Flight-menetelmään. Ne tuottavat lyhyitä laserpulsseja, jotka heijastuvat takaisin skanneriin mitattavasta kohteesta. Skanneri laskee pulssien kulkeman ajan ja valon nopeutta hyväksikäyttäen voidaan kulkuajasta laskea kohteen etäisyys skannerista. (2.)

Vaihe-eroa käyttävät skannerit perustuvat myös TOF-menetelmiin. Ero pulssilaseriin on laserin toiminnassa. Vaihe-eroskanneri lähettää jatkuvaa signaalia, jonka intensiteettiä muutetaan. Skanneri mittaa lähetetyn ja vastaanotetun signaalin vaihe-eron, jonka perusteella kohteen etäisyys lasketaan. Vaihe-erolaseria käyttävien skannereiden mittausetäisyys on pienempi kuin pulssilaseria käyttävien. (2.)

2.2.2 Passiiviset skannerit

Passiiviset skannerit eivät itse lähetä säteilyä, vaan ne havaitsevat ympäröivän säteilyn. Passiiviset skannerit ovatkin 3D-skannereista yksinkertaisimpia ja skannaaminen voidaan toteuttaa jopa yhdellä digitaalikameralla. Stereoskooppisessa menetelmässä käytetään kahta kameraa, jotka kuvaavat kohdetta eri kulmista. Kameroiden tuottamien kuvien eroja analysoimalla saadaan laskettua kohteen syvyys eri kohdissa kuvaa. (3.)

Fotometrinen menetelmä käyttää yhtä kameraa, joka ottaa kohteesta monta kuvaa eri kulmissa eri valaistuksessa. Kohteen pinnan syvyys saadaan määritettyä valon heijastumisen perusteella. Siluettitekniikassa käytetään kohteen ääriviivoja hyväksi. Kohdetta kuvataan kameralla erottuvaa taustaa vasten. Kuvia otetaan monesta eri kulmasta ja näitä kuvia yhdistelemällä saadaan kolmiulotteinen malli. (3.)

3 KÄYTTÖKOHTEET

3D-skannauksessa vain mielikuvitus on rajana ja sitä käytetäänkin nykyään monella eri alalla. 3D-skannauksen yleistyttyä, sekä suunnittelua että mallintamista saadaan nopeutettua ja helpotettua huomattavan paljon. (1, linkit About -> Benefits.)

3.1 Konetekniikka

3D-skannausta voidaan käyttää hyväksi kaikissa tuotannon vaiheissa. Jos kohteesta ei ole olemassa CAD-malleja, voidaan skannaamisen avulla sellainen luoda. Tämä mahdollistaa fyysisten kappaleiden jatkokehittämisen. 3D-skannausta voidaan käyttää myös tilanteessa, jossa olemassa olevasta kappaleesta halutaan valmistaa esimerkiksi muotti. Skannausdataa voidaan myös hyödyntää 3D-tulostuksessa tai CNC-koneistuksessa. 3D-skannaaminen mahdollistaa vaikeampien muotojen mallintamisen. 3D-skannausta voidaan käyttää myös laadunvarmistuksessa. (1, linkit About -> Benefits.)

Käänteisessä suunnittelussa 3D-skannaus on erittäin nopea tapa valmistaa fyysisestä kappaleesta CAD-malli. Varsinkin monimutkaisia kappaleita sekä vaikeita muotoja mallintaessa laserskannausta voidaan käyttää tehokkaasti hyväksi. CAD-mallit voidaan halutessaan luoda parametrisiksi, jolloin malli on muokattava. Parametrissa mallia käytetään, kun malliin halutaan tehdä muutoksia, pinnanlaatu täytyy olla hyvä tai jos malliin luodaan lisää piirteitä manuaalisesti. CAD-malli voidaan tehdä myös pintamalliksi. Pintamalli luo kappaleen pinnasta useita pintoja. Pintamallia voidaan käyttää monimutkaisissa kappaleissa, kuten hampaissa, luissa sekä kustomisoiduissa valumuoteissa. (1, linkit Service -> Reverse Engineering.)

3D-skannaamista voidaan hyödyntää laaduntarkkailussa. Valmistetun tuotteen skannauksella saadaan nopeasti tietoa mahdollisista virheistä tuotannossa. Tutkimalla skannatun kappaleen värikarttoja ja poikkileikkausta voidaan havaita tuotannon ja suunnittelun välisiä eroavaisuuksia kappaleessa. Ei-koskettavia skannereita voidaan käyttää kappaleen muotojen sekä mittojen tarkistamiseen.

Kappaleen geometria voidaan tarkastaa nopeasti koskettavilla menetelmillä. (1, linkit About -> Benefits.)

Tuotannossa käytetään myös paljon konenäköä, joka perustuu yleensä johonkin skannausmenetelmään. Konenäöllä tarkoitetaan järjestelmää, jossa tietokone tulkitsee kuvan automaattisesti. Konenäköä käytetään tuotteiden laaduntarkastelussa. Lisäksi sitä voidaan käyttää esimerkiksi viivakoodien lukemiseen, liukuhihnalla kappaleiden laskentaan, sarjanumeroiden laskemiseen sekä muihin erilaisiin tunnistustehtäviin. (4.)

3.2 Rakennustekniikka

3D-skannausta hyödynnetään rakennustekniikassa. Luomalla digitaalinen 3D-malli käytettävästä olevasta tilasta voidaan suunnitteluvaiheessa huomioida ympäristön vaatimukset sekä tilojen asettamat rajoitukset. Kuvassa 5 näkyy digitoitu tuotantotila. Kartoituksessa voidaan käyttää myös laserkeilaimia, joita voidaan käyttää suurten kokonaisuuksien taltioimiseen. Laserkeilaimien pitkät mittausetäisyydet soveltuvat hyvin suurten alueiden skannaamiseen. Skannerin voi myös esimerkiksi kiinnittää lennokkiin tai helikopteriin ja skannata ilmasta alueita. Fotogrammetriaa hyödyntämällä voidaan myös mallintaa vanhoja ja tuhoutuneita rakennuksia. Fotogrammetriassa kohde mitataan kolmiulotteisesti kuvien avulla. (5.)



KUVA 5. 3D-skannaamisella saadaan työtilat digitaalisiksi (5)

3.3 Lääketiede

3D-skannausta voidaan käyttää myös lääketieteessä. 3D-skannauksella voidaan mitata nopeasti ja vaivattomasti ihmisen kasvojen mitat. Koska ihmiset ovat fyysisesti erilaisia, mitatun datan perustella voidaan tehdä potilaille kustomoituja tuotteita. 3D-skannausta käytetään esimerkiksi apuvälineiden, hammasrautojen sekä proteesien valmistuksessa. Koska 3D-skannaaminen ei tarvitse kontaktia kohteen kanssa, voidaan palovammoista kärsiville potilaille valmistaa esimerkiksi kasvomaskeja. 3D-skannaamista voidaan käyttää myös jalkojen tukipohjien valmistamiseen. Perinteisesti potilaan jalasta tehdään muotti ja pohjallinen valmistetaan valamalla, mutta 3D-skannaaminen tarjoaa nopean vaihtoehdon. Kuvassa 6 on white-light teknologian avulla skannattu jalka ja sen perusteella valmistettu pohjallinen. (6.)



KUVA 6. 3D-skannaamista käytetään tukipohjallisten valmistuksessa (6)

3.4 Viihdeteollisuus

Viihdeteollisuudessa 3D-skannausta käytetään nykyään paljon. 3D-skannaamista voidaan käyttää muun muassa ihmisten, tilojen, ajoneuvojen ja muiden kappaleiden mallintamiseen. Reaalimaailman skannaaminen on huomattavasti nopeampaa kuin kohteiden koodaaminen tyhjältä pohjalta sekä tulos on myös paljon realistisempi. 3D-skannausta käytetään myös animoinnissa, jolloin esimerkiksi raajojen liikkeet saadaan realistisesti aikaiseksi. Skannausdatan käsittely mahdollistaa myös reaalimaailman

kohteiden tarkoituksellisen muokkaamisen, jos se on tarpeen. Kuvassa 7 esiintyy skannatun ajoneuvon pistepilvi. (7.)



*KUVA 7. 3D-skannausta voidaan käyttää viihdeteollisuudessa monin eri tavoin
(7)*

4 3D-MALLIN LUONTI

3D-skannereista ei saada suoraan 3D-mallia, vaan skannereiden tuottama data on joko pistepilvi tai sarja 2D-kuvia. 3D-mallin luominen fyysisestä kohteesta voidaan toteuttaa pistepilven avulla tai 2D-kuvia yhdistelemällä. Pistepilven käyttö on huomattavasti suositumpaa. Vaikka suurin osa skannereista tuottaa pistepilven, esimerkiksi magneetti- ja röntgenskannerit tuottavat sarjan 2D-kuvia.

4.1 Pistepilvi

Pistepilvi on 3D-skannerin tuottama tuhansien, jopa miljoonien, pisteiden verkko. Pistepilvi sisältää dataa skannattavasta kohteesta. Pistepilvi koostuu skannatun kohteen ulkopinnan x-, y- ja z- koordinaateista saaduista pisteistä. 3D-skannerit tuottavat suuren määrän pisteitä kohteen ulkopinnoista, joista saadaan tuotettua pistepilvi. Pistepilveä itsessään voidaan käyttää esimerkiksi 3D-mallin luomiseen ja laaduntarkkailuun. Pistepilven avulla voidaan nopeasti visualisoida kohde. (8, linkki Laserkeilaus.)

4.1.1 Pistepilven käsittely

Jotta pistepilvestä saadaan käyttökelpoinen 3D-malli, täytyy sitä käsitellä ja muokata. Sen käsittelyyn on saatavilla useita eri ohjelmistoja. Suurimmalla osalla 3D-skannereiden valmistajista on oma ohjelmisto, jolla ohjataan skanneria sekä voidaan muokata pistepilveä. Muokkaustavat vaihtelevat ohjelmistojen kesken, mutta perusperiaate on sama. Pistepilveä voidaan muokata poistamalla ei-haluttuja pisteitä esimerkiksi skannattavan kappaleen ulkopuolelta tai vähentämällä pisteiden lukumäärää, jolloin skannauksen tarkkuus hieman huononee, mutta pilven käsittely on helpompaa eikä vaadi niin paljon laskentatehoa tietokoneelta. Pisteiden suodattaminen tulee tehdä halutun laadun mukaisesti. Pistepilveä on myös mahdollista täyttää, jos skannausdataan on jäänyt aukkoja. (8, linkit Laserkeilaus.)

Kohteen skannaaminen vaatii yleensä useamman kuin yhden skannauksen, jotta kaikki kappaleen pinnanmuodot saadaan taltioitua. Pistepilvet on

yhdistettävä yhdeksi kokonaisuudeksi. Monissa ohjelmistoissa skannausdata yhdistetään jo skannausvaiheessa edellisiin skannausdatoihin käyttämällä yhteisiä pisteitä.

Pistepilvestä luodaan ensin verkko, mesh, jota käytetään kappaleen CAD-mallin rakentamiseen. Meshin luomiseen voidaan käyttää monia eri menetelmiä. Mesh voi koostua pisteiden avulla luoduista kolmioista tai polygoneista. Jotkut ohjelmistot käyttävät menetelmää, jossa pisteiden etäisyyksien avulla luodaan kappaleen pinta.

4.1.2 Ohjelmistot

Internetissä on paljon ilmaisia ohjelmistoja, joilla pistepilveä voidaan muokata. Esimerkiksi MeshLab on suosittu sekä monipuolinen ohjelmisto pistepilven sekä meshin muokkaamiseen. Näiden lisäksi 3D-skannereita toimittavilla yrityksillä on omat ohjelmistot, jotka ovat yhteensopivia skannereiden kanssa. Yleensä jokaisella skannerilla on oma mukana tuleva ohjelmisto skannausdatan muokkaamiseen.

4.2 2D-kuvien yhdistäminen

3D-malli voidaan luoda myös 2D-kuvia yhdistelemällä. 3D-mallin luomiseen on useita tapoja, mutta perusperiaate on kaikissa sama. Kohteesta otetaan monesta eri kulmasta kuvia ja kolmiomittauksen avulla saadaan tietyille pisteille 3D-positio. Toimintatapa on sama kuin pistepilvidatojen yhdistämisessä. Kuvista valitaan yhteiset pisteet, jonka mukaan lasketaan pisteen syvyys. 2D-kuvia yhdistävät skannerit ovat ei-koskettavia passiivisia skannereita. (9.)

Prosessi 3D-mallin luomiseen 2D-kuvia yhdistelemällä alkaa kameran kalibroimisella. Kalibroinnissa määritetään kameran pikselin asema syvyys suunnassa. Kalibrointi koostuu useista parametreista ja sen avuksi on kehitetty tietokoneohjelmistoja. Seuraavaksi kuvista määritetään syvyys. Syvyyden määrittämiseen käytetään kolmiomittausta. Kahdesta eri kulmasta otetusta kuvasta määritetään yhteinen piste, jonka avulla saadaan kohteen 3D-positio. Pisteiden 3D-positiot yhdistämällä voidaan kuvista muodostaa mesh. (9.)

Internetissä on olemassa ilmaisia ohjelmistoja, joilla 2D-kuvat saadaan 3D-malliksi. Jopa älypuhelimille on olemassa kyseisiä applikaatioita, esimerkiksi Autodeskin 123D Catch. Sovelluksen toimintatapa on yksinkertainen. Kohteesta otetaan useita kuvia eri kulmista ja eri korkeuksista puhelimen omalla kameralla. Kuvat lähetetään Autodeskin pilvipalveluun, jossa palvelu tekee kuvista 3D-mallin. Tämän jälkeen mallia voidaan muokata verkkosovelluksessa. (10.)

4.3 Tietokonetomografia

Tietokonetomografia eli viipalekuvaus on röntgensäteiden avulla suoritettua lääketieteellistä tutkimusta. Potilaan ympärillä on laite, joka koostuu röntgenputkesta sekä säteitä mittaavasta ilmaisimesta. Tietokonetomografia perustuu röntgensäteiden sitoutumiseen elimissä ja kudoksissa. Tutkimuksessa potilaasta otetaan useita ohuita poikkileikkauskuvia halutulta alueelta. Kuvista voidaan tietokoneen avulla muodostaa kolmiulotteisia kuvamalleja. (11.)

5 KONICA MINOLTA VIVID 9i -LASERSKANNERI

Testikappaleen skannauksessa käytettiin kuvassa 8 olevaa Oulun ammattikorkeakoulun Konica Minolta Non-contact Vivid 9i -laserskanneria. Skannaukset suoritettiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriotiloissa. Laitteisto koostuu Vivid 9i -laserskannerista, skannerin omasta kalibrointijärjestelmästä, Konica Minoltan Polygon Editing Tool -ohjelmistosta sekä pyörintäpöydästä.



KUVA 8. Konica Minolta Vivid 9i -laserskanneri

5.1 Laitteisto

Konica Minolta Vivid 9i -skanneri on ei-koskettava ja se on aktiivinen skanneri. Vivid 9i -laserskanneri käyttää kolmiomittausmenetelmää, eli skannerissa on säteilynlähde sekä säteilyä lukeva kamera. Skannerin skannausetäisyys on 0,6-2,5 metriä. Eri linssien tarkkuudet ovat taulukossa 1. (12, s. 52.)

TAULUKKO 1. Linssien tarkkuudet (12, s. 52)

LINSSI	TARKKUUS (mittausetäisyys 0,6 m)	TARKKUUS (mittausetäisyys 1 m)
Tele	±0,05 mm	±0,10 mm
Middle	±0,10 mm	±0,20 mm
Wide	±0,20 mm	±0,40 mm

Vivid 9i -skanneria voidaan käyttää kolmella linssillä: wide, middle, tele. Sopiva linssi valitaan skannattavan kohteen sekä skannausetäisyyden perusteella, kuvan 9 mukaisesti.

WIDE Lens

Measurement Distance		500	600	800	1000	2500
Object Size	Horizontal	299	359	478	598	1495
	Vertical	224	269	359	449	1121

Unit (mm)

MIDDLE Lens

Measurement Distance		500	600	800	1000	2500
Object Size	Horizontal	165	198	263	329	823
	Vertical	124	148	198	247	618

Unit (mm)

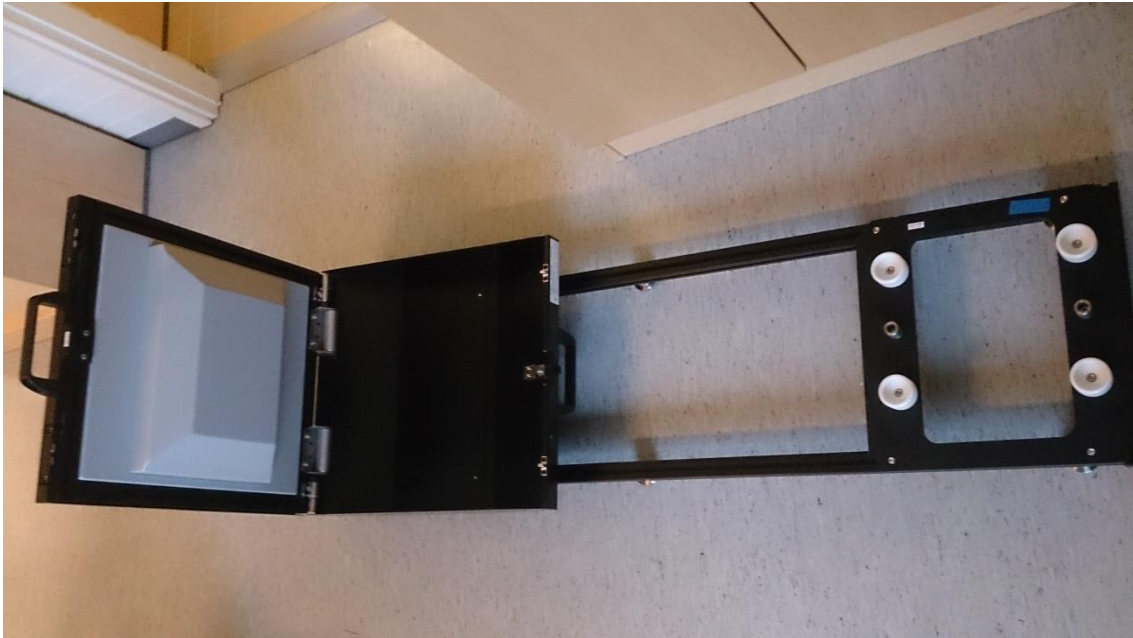
TELE Lens

Measurement Distance		500	600	800	1000	2500
Object Size	Horizontal	93	111	148	185	463
	Vertical	69	83	111	139	347

Unit (mm)

KUVA 9. Linssivaihtoehdot (12, s. 28)

Jokaisen linssinvaihdon jälkeen skanneri on kalibroitava käyttämällä kuvassa 10 olevaa skannerin omaa kalibrointijärjestelmää. Kalibrointijärjestelmässä on kaksi kalibrointisysteemiä, toinen wide-linssille ja toinen middle- ja tele-linsseille. Pyörintäpöydän avulla voidaan skannata koko kappale yhdellä skannauksella. Pyörintäpöytä koostuu erillistä sitä pyörittävästä moottorista sekä kahdesta erikokoisesta alustasta. (12, s. 36.)



KUVA 10. Konica Minoltan kalibrointijärjestelmä

5.2 PET (Polygon Editing Tool)

Skannerin käyttöä voidaan ohjata tietokoneella Konica Minoltan PET-ohjelmistoa käyttäen. Laitteen kalibrointi sekä skannaus suoritetaan PET-ohjelmistolla. PET-ohjelmistolla määritetään skannausasetukset ja -parametrit.

Skannausmoodin voi valita kolmesta vaihtoehdosta. Standard asettaa laadun korkeaksi ja poistaa kohinan, jolloin huonolaatuinen data poistetaan sekä pisteiden kohina vähenee. Standard-moodilla mittausetäisyys on 0,6 - 1 metriä. Extend-moodi poistaa kohinan ja mittausetäisyys on 0,5 - 2,5 metriä. Valittavana on myös User-moodi, jolloin käyttäjä itse tekee määrittelyt laadusta sekä kohinan poistosta. (13, s. 40.)

Skannausmäärä tarkoittaa sitä, kuinka monta kertaa skannerin lasersäde skannaa kappaleen kerralla. Mitä suurempi säteiden määrä asetetaan, sitä enemmän dataa skanneri lukee. Asetuksista voi määrittää skannerin kuvan kirkkautta, skannerin suorittaman redusoinnin määrää sekä valita täytetäänkö reiät automaattisesti. (13, s. 40.)

Skannaaminen aloitetaan valitsemalla File -> Import -> Digitizer -> One Scan. Ennen skannaamista tulee asettaa skannausasetukset kohdasta Options. Kappaleen etäisyyden skannerista voi syöttää joko käsin tai painamalla AF skanneri määrittelee etäisyyden automaattisesti. Work-ikkunassa näkyy skannerin näkymä. Painamalla Scan skanneri rupeaa skannaamaan kappaletta asetusten mukaisesti. Skannaustulos tulee näkymään Work-ikkunaan, jossa skannausta on myös mahdollista muokata poistamalla ylimääräinen data. Muokkauksen jälkeen data siirretään talteen painamalla Store, jolloin tulos siirtyy Store-ikkunaan. Jos tarvitaan useampia skannauksia, skannausdatat on yhdistettävä yhteisten pisteiden avulla. (13, s. 33.)

Skannausdataa voidaan muokata PET-ohjelmistolla. Mahdolliset reiät voidaan täyttää joko automaattisesti tai manuaalisesti. Tässä vaiheessa myös kaikki jäljelle jäänyt ylimääräinen data kappaleen ulkopuolelta voidaan poistaa valitsemalla skannausdata oikealla olevasta valikosta, jonka jälkeen haluttu materiaali valitaan ja poistetaan. Eri skannauksista saadut pistepilvet voidaan yhdistää valitsemalla valikosta halutut datat ja käyttämällä Merge-toimintoa. Yhdistetty pistepilvi voidaan tallentaa useassa eri tiedostomuodossa jatkokäsittelyä varten. (13, s. 200.)

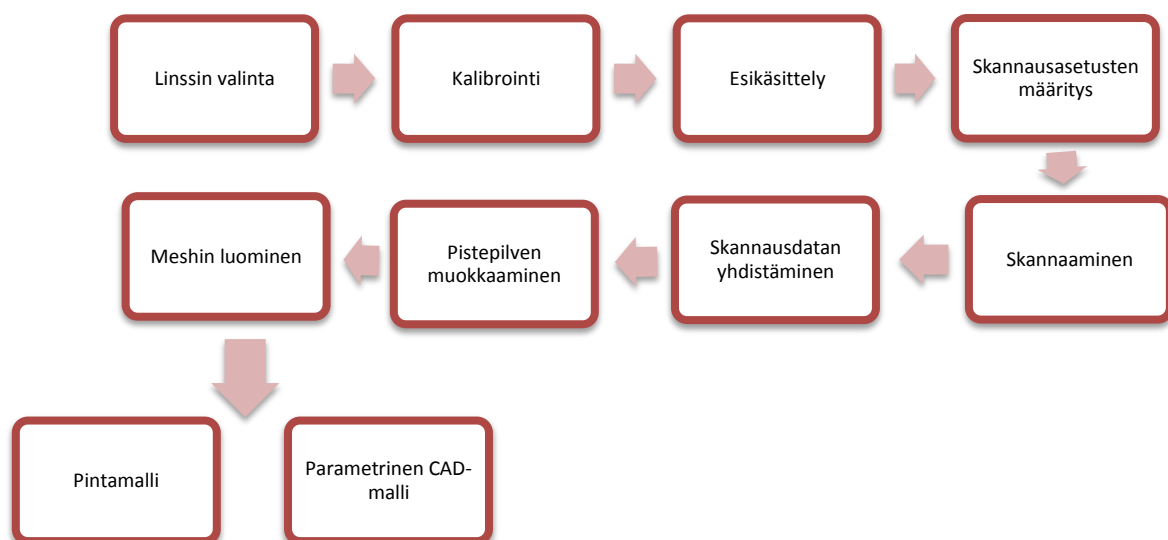
6 TESTIKAPPALEEN SKANNAAMINEN

Skannattava kappale oli kuvassa 11 esiintyvä kylpyaltaan lisäistuin. Lisäistuin saatiin Ykimuovilta. Kappale on valmistettu polyesterihartsista ja lasikuidusta.



KUVA 11. Skannattava kappale esikäsittelyssä

Testikappaleen 3D-mallinnuksessa käytettiin kuvassa 12 esiintyvää 3D-skannausprosessikaaviota.



KUVA 12. 3D-skannausprosessin prosessikaavio

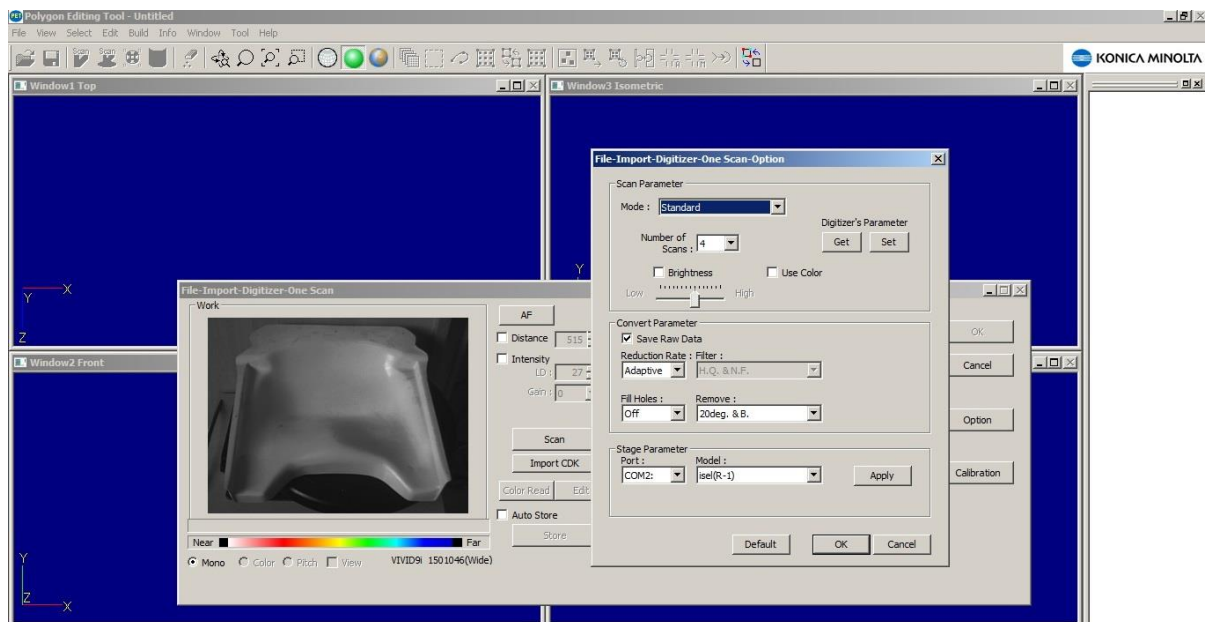
Skannausprosessi on havainnollistettu liitteenä 4 olevassa Prezi-esityksessä. Prezi-esityksessä skannausprosessin ongelmakohdat sekä niiden ratkaisut esitetään kuvankaappauksien avulla yksityiskohtaisesti.

6.1 Kalibrointi sekä esikäsittely

Ennen varsinaista skannausta täytyi selvittää, minkälaista linssiä skannerissa käytetään. Skannattavan kappaleen mittojen ja mittausetäisyyden perusteella linssimalliksi valittiin Wide. Tämän jälkeen skanneri oli kalibroitava skannerin siirron sekä linssin vaihdon vuoksi. Kalibrointi suoritettiin käyttämällä Konica Minoltan kalibroitijärjestelmää sekä PET-ohjelmistoa. Skanneri asetettiin omalle telakalle kalibroitijärjestelmään jonka jälkeen aukaistiin wide-linssin kalibrointiin tarkoitettu tausta. Kalibrointi suoritettiin PET-ohjelmistolla valitsemalla File -> Import -> Digitizer -> One Scan. Seuraavaksi varmistettiin, ettei näkymässä ole mitään ylimääräistä ja valaistus on hyvä. Calibration-painiketta käyttäen skanneri suoritti kalibroinnin. Kalibroinnin jälkeen kappale esikäsiteltiin talkilla sekä piirrettiin pintaan useita pisteitä kuvien yhdistämistä helpottamaan.

6.2 Skannaaminen

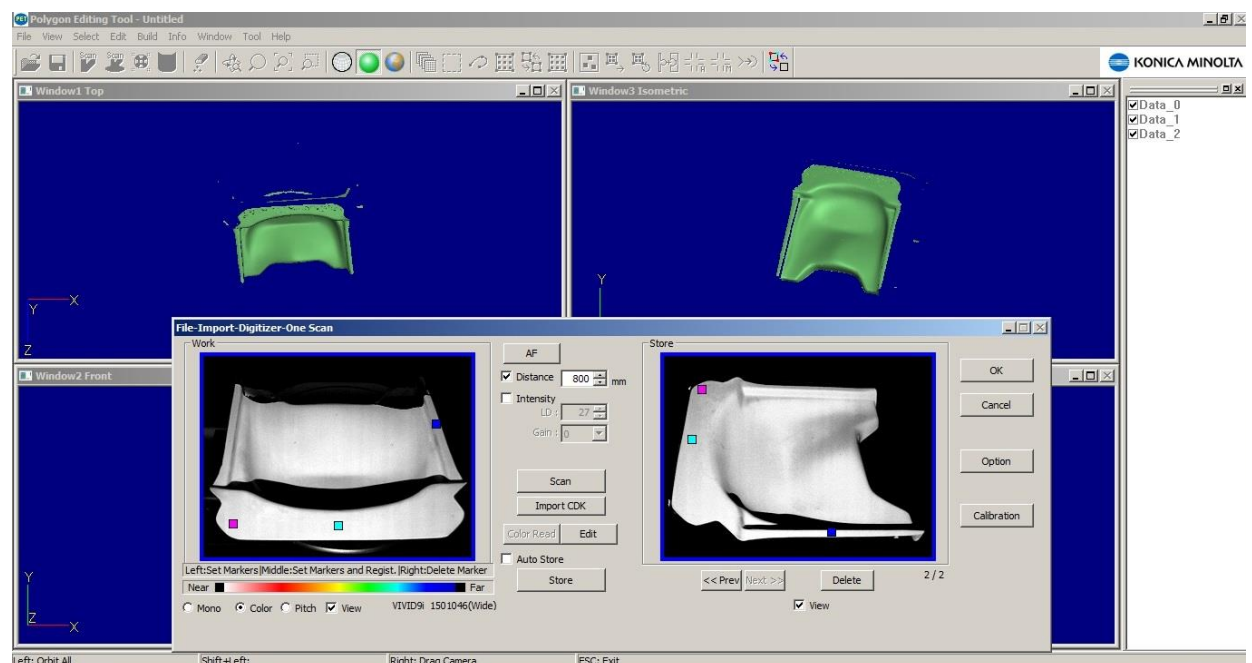
Skannaaminen aloitettiin valitsemalla skannausasetukset sekä parametrit kuvan 13 mukaisesti. Skannausmoodiksi valittiin Standard, joka asettaa tarkkuuden korkeaksi sekä poistaa kohinan. Skannausmääräksi valittiin neljä. Skannauksia otettiin yhteensä neljä, yksi skannaus jokaiselta puolelta.



V

KUVA 13. Skannausmoodiksi valittiin Standard

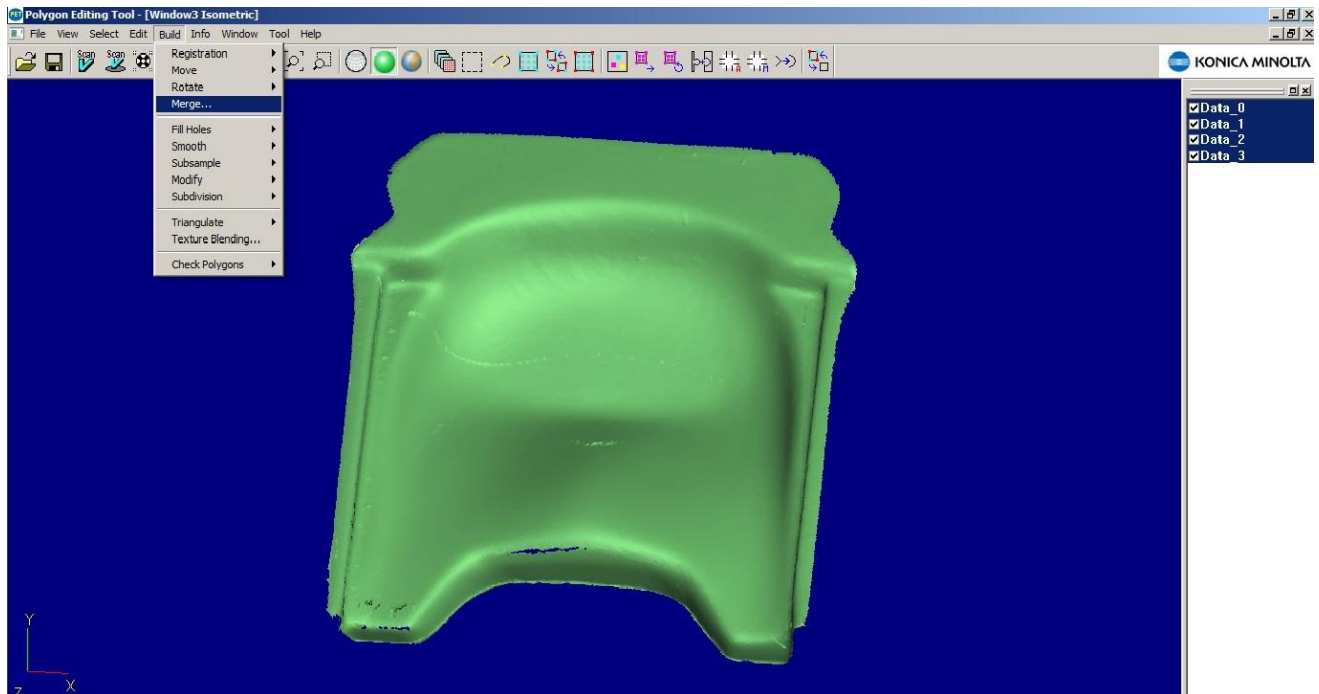
Kun skannaus todettiin onnistuneeksi, ylimääräinen data poistettiin kappaleen ympäriltä. Tämän jälkeen kappaletta käännettiin 90 astetta ja skannattiin kappale uudestaan. Jokainen skannaus yhdistettiin edellisen skannausdatan kanssa käyttämällä yhteisiä pisteitä kappaleen pinnasta kuvan 14 mukaisesti. Kun kappale oli skannattu jokaiselta puolelta, painettiin Ok, jolloin lopullinen skannaustulos näkyy PETin näytöllä.



KUVA 14. Skannausdatan yhteiset pisteet

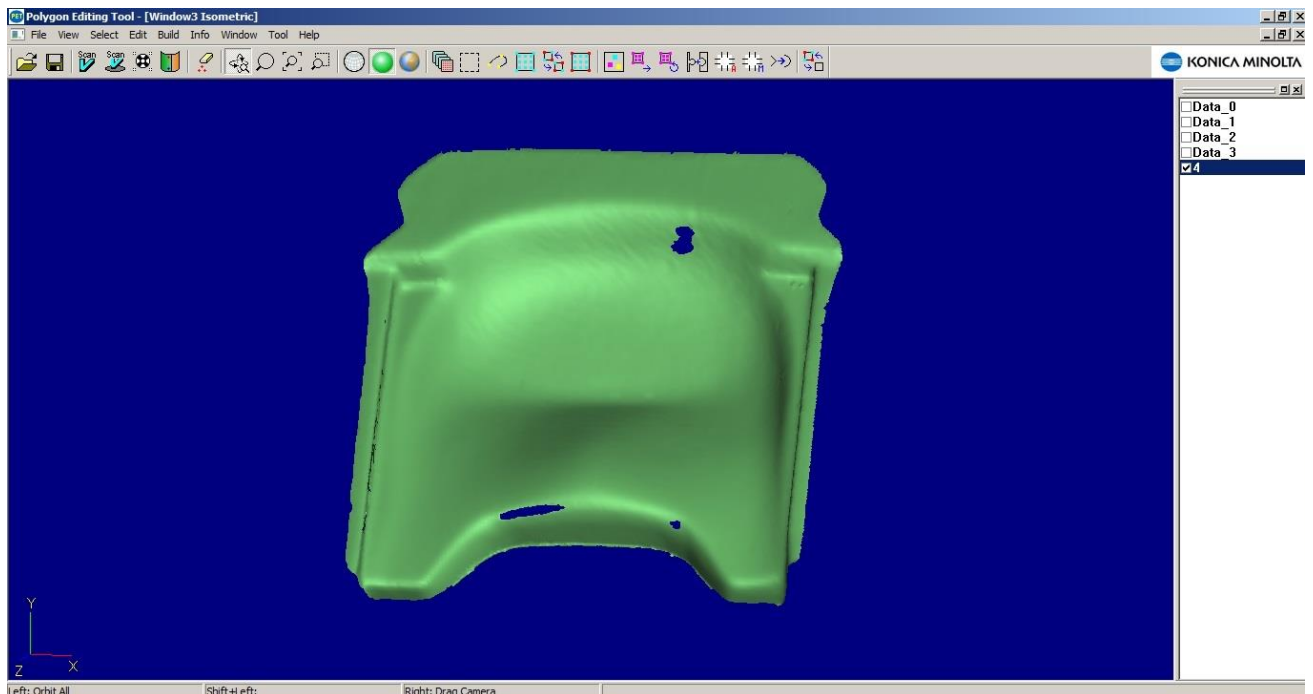
6.3 Skannausdatan muokkaaminen

Skannausdataa muokattiin PET-ohjelmistolla. Ylimääräinen data kappaleen ympäriltä poistettiin ja data yhdisteltiin yhdeksi pistepilvitiedostoksi Merge-toimintoa käyttämällä kuvan 15 mukaisesti.



KUVA 15. Skannausdatan yhdistäminen

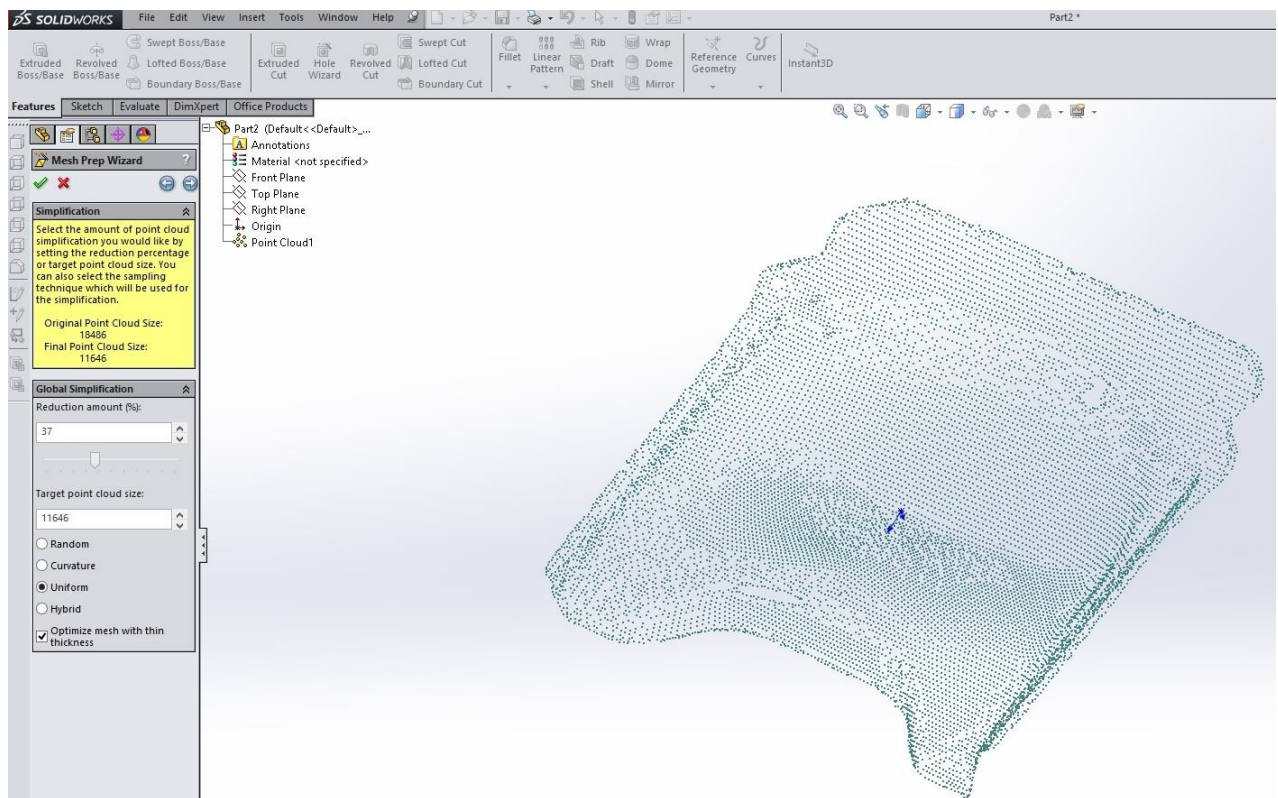
Lopullinen yhdistelyn tulos on näkyvissä kuvassa 16. Datassa on kolme reikää, jotka päätettiin täyttää jatkomuokkaamisen yhteydessä SolidWorks-ohjelmistolla. Data tallennettiin ASCII-tiedostomuodossa valitsemalla File -> Export -> Elements.



KUVA 16. Yhdistetty skannausdata

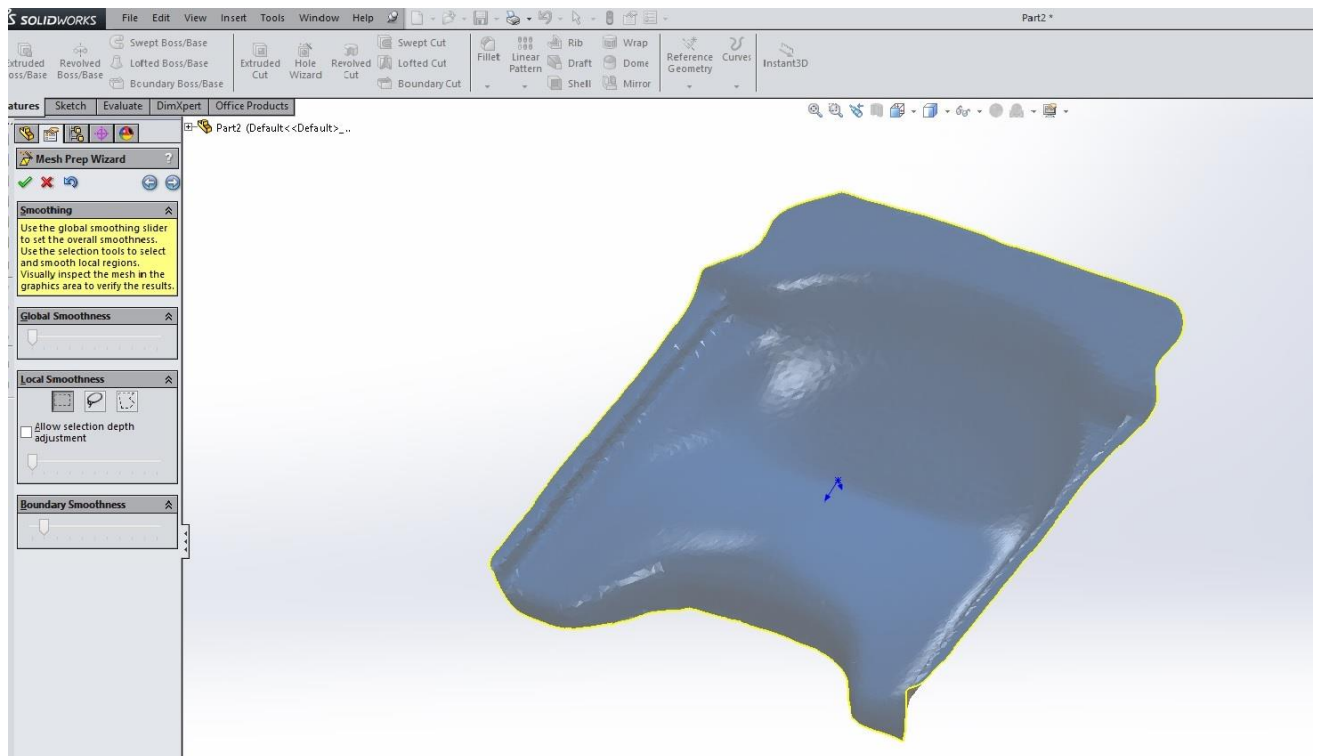
6.4 3D-mallin luonti

Parametrinen 3D-malli luotiin Dassault Systemesin SolidWorks 2015 -ohjelmistolla. Pistepilven muokkaamiseen käytettiin ScanTo3D-lisäosaa, joka sisältyy SolidWorksin Premium-versioon. Pistepilvestä luotiin ensin mesh valitsemalla rakennepuusta pistepilvi ja napsauttamalla Prep Mesh Wizard -toimintoa. Ensimmäisenä valittiin origon paikka automaattisesti. Seuraavaksi pistepilven rakennetta muutettiin kuvan 17 mukaisesti. Pisteitä vähennettiin 37 % ja lopullinen pistepilvi koostui noin 11 000 pisteestä. Mesh optimoitiin ohuelle paksuudelle sekä pisteiden asetteluksi valittiin Uniform.



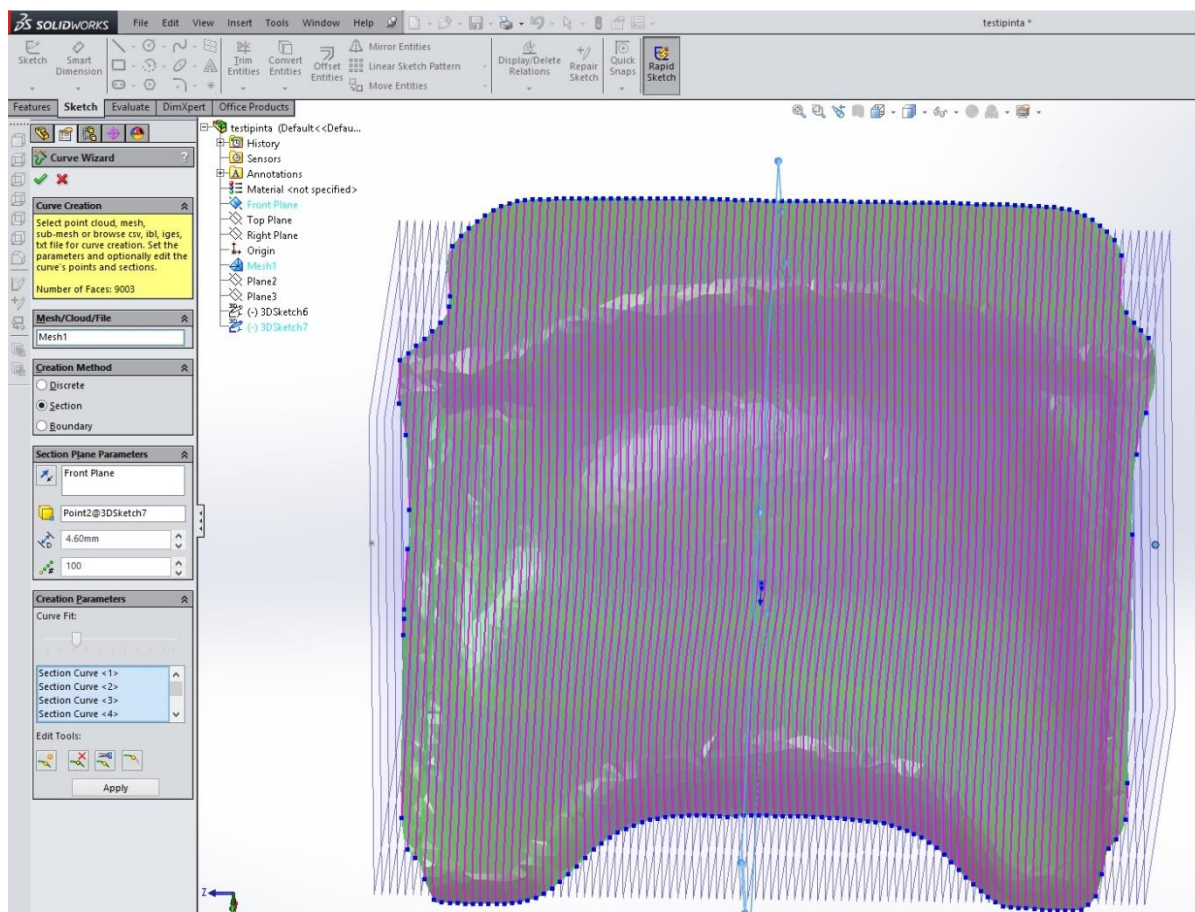
KUVA 17. Pistepilven muokkaaminen

Seuraava vaihe oli kappaleen pinnan sekä reunojen tasoittaminen. Kuvan 18 mukaisesti reunoja tasoitettiin vähän, jotta meshiin ei jää aukkoja ja reuna on sulava. Ohjelmisto täytti reiät automaattisesti, mutta jos niitä olisi jäänyt, olisi ne täytetty seuraavassa vaiheessa. Klikkaamalla Ok-kuvaketta työkalun käyttö lopetettiin ja valmistettiin mesh.



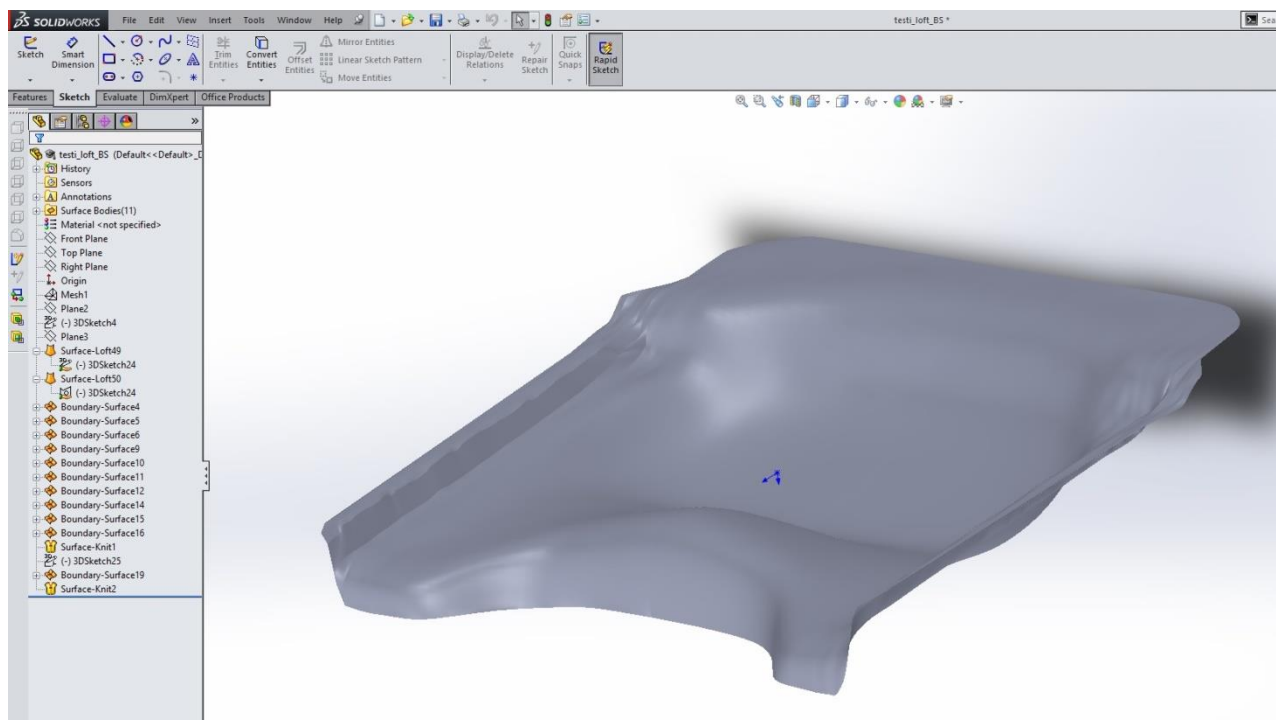
KUVA 18. Pistepilveestä rakennettu mesh

Meshin rakentamisen jälkeen malli asetettiin suoraan käyttämällä työkaluja valikosta Mesh -> Edit Mesh. Tämän jälkeen luotiin referenssipiste meshin toiselle puolelle. Seuraavaksi meshin avulla luotiin useita muotokurveja valitsemalla Mesh -> Curve Wizard. Curve Wizard -työkalua on havainnointu kuvassa 19. Luomismetodiksi valitaan Section, referenssitasoksi Front Plane sekä alkupisteeksi referenssipiste. Koska kappaleessa on suuria korkeuseroja, valitaan kurvien lukumääräksi maksimi 100 kappaletta ja kurviväliksi 4,6 mm. Ohjelma luo kurvit omaksi sketsiksi, jonka avulla kappaleen muotoja voidaan muokata. Katkenneet kurvit yhdistettiin.



KUVA 19. Muotokurvien avulla meshistä saadaan luotua parametrinen 3D-malli

Seuraavaksi muodostettiin pinta käyttämällä muotokurveja. Kappaleen keskiosan, missä pinnanmuotojen erot ovat pienempiä, luomiseen käytettiin Loft-toimintoa. Loftia tehdessä profiiliksi valittiin muotokurvit ja opaskurvit jätettiin tyhjiksi. Reunat luotiin Boundary-Surface-toiminnolla kurvien korkeuserojen takia. Pintaa luodessa kurveihin lisättiin littimiä, connectoreja, joiden avulla pinnanmuotojen vääristymät kumottiin. Kappaleesta luotiin kahdeksan eri pintaa, jotka yhdistettiin Knit-toiminnolla. Kuvassa 20 on lopullinen parametrinen CAD-malli skannattavast kappaleesta.



KUVA 20. CAD-malli skannattavasta kappaleesta

6.5 Ongelmat

Skannattavan kappaleen pinta aiheutti skannausprosessissa ongelmia. Toinen puoli kappaleesta on valoa heijastava ja toinen epätasainen. Kappale käsiteltiin talkilla ja skannattiin vain toiselta puolelta heijastuksien minimoimiseksi. Laboratorion huono valaistus vaikeutti skannaamista. Ongelmaa pyrittiin ratkaisemaan spottivalolla, joka kuitenkin lisäsi varjostuksia sekä pinnan heijastuksia. Skannaaminen suoritettiin lopulta luonnonvalon avulla.

Kappaleen asettelu vaikeutti hieman skannaamisprosessia, sillä kappaletta ei saanut asetettua pystyyn vaan se piti skannata yläviistosta. Skannausetäisyys oli syötettävä käsin niin, että koko kappale mahtui skannattavaksi kerralla. Lisäksi skannausetäisyys etuosaan ei saanut olla liian lyhyt eikä taakse liian pitkä. Lisäksi kappaleen monimuotoisuus aiheutti ongelmia skannauksia yhdistettäessä sekä 3D-mallin luomisessa. Oikeiden työkalujen etsiminen sekä muotokurvien käsittely oli haastavaa sekä aikaa vievää.

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli luoda parametrinen 3D-malli skannattavasta mallikappaleesta sekä luoda yleisohjeet 3D-skannausprosessiin. Koska skannattava kappale oli monimuotoinen, parametrinen CAD-mallin luominen oli työlästä. Kappale olisi ollut luontevampi tehdä pintamalliksi. Lisäksi kappaleen pinnanheijastukset sekä muut ulkoiset seikat lisäsivät skannausprosessin ongelmia. Skannausprosessin ongelmat olivat kuitenkin helposti eliminotavissa kappaleen esikäsittelyllä.

3D-mallin luomisessa kriittisin vaihe on skannausdatan käsittely. Pistepilveä muokataan vähentämällä pisteiden lukumäärää. Muokkaamisessa tulee huomioida haluttu laatu. Mitä parempi haluttu laatu on, sitä enemmän pisteitä pilvessä täytyy olla. Pistepilveä voidaan muokata monella ohjelmistolla ja tavalla. 3D-mallin luonti vei työssä todella paljon aikaa. 3D-mallinnusohjelmistoissa on paljon työkaluja mallin rakentamiseen, joten oikeiden työkalujen löytäminen on tärkeää.

Skannausdatana syntynyttä pistepilveä on mahdollista käyttää kappaleen laaduntarkastelussa ja sen avulla voidaan luoda esimerkiksi kappaleesta prototyyppi 3D-tulostusta käyttämällä. Parametrinen 3D-mallia voidaan käyttää kappaleen jatkokehittämiseen, muokkaamiseen ja tuotannossa.

Venettä tai muuta isoa kappaletta skannattaessa tulee huomioida skannereiden asettamat kokovaatimukset. Esimerkiksi Vivid 9i -skanneria käytettäessä kohteen maksimikoko on 1495 x 1121 mm. Tämä tarkoittaa sitä, ettei kappaletta voida skannata kerralla kokonaan. Kappaleesta on tuotettava useita skannausdatoja, jotka yhdistämällä luodaan yksi kokonainen pistepilvi. Jos kappale halutaan skannata kokonaan, on se skannattava jokaiselta puolelta. Koska ison kappaleen käänteleväminen voi olla haastavaa, on syytä miettiä esimerkiksi kannettavan skannerin tarjoamia etuja.

3D-skannausprosessin ohjeistus tehtiin omien empiiristen havaintojen perusteella. Ohjeistus tehtiin pääosin Konica Minolta Vivid 9i -laserskannerille, sitä ohjaavalle PET-ohjelmistolle sekä SolidWorks-suunnitteluohjelmistolle. 3D-

skannausprosessin perusperiaate on sama, joten ohjeistus on käytettävissä myös muilla skannereilla ja ohjelmistoilla. Skannausprosessin ohjeistusta voidaan käyttää tulevaisuudessa 3D-skannausta vaativissa projekteissa.

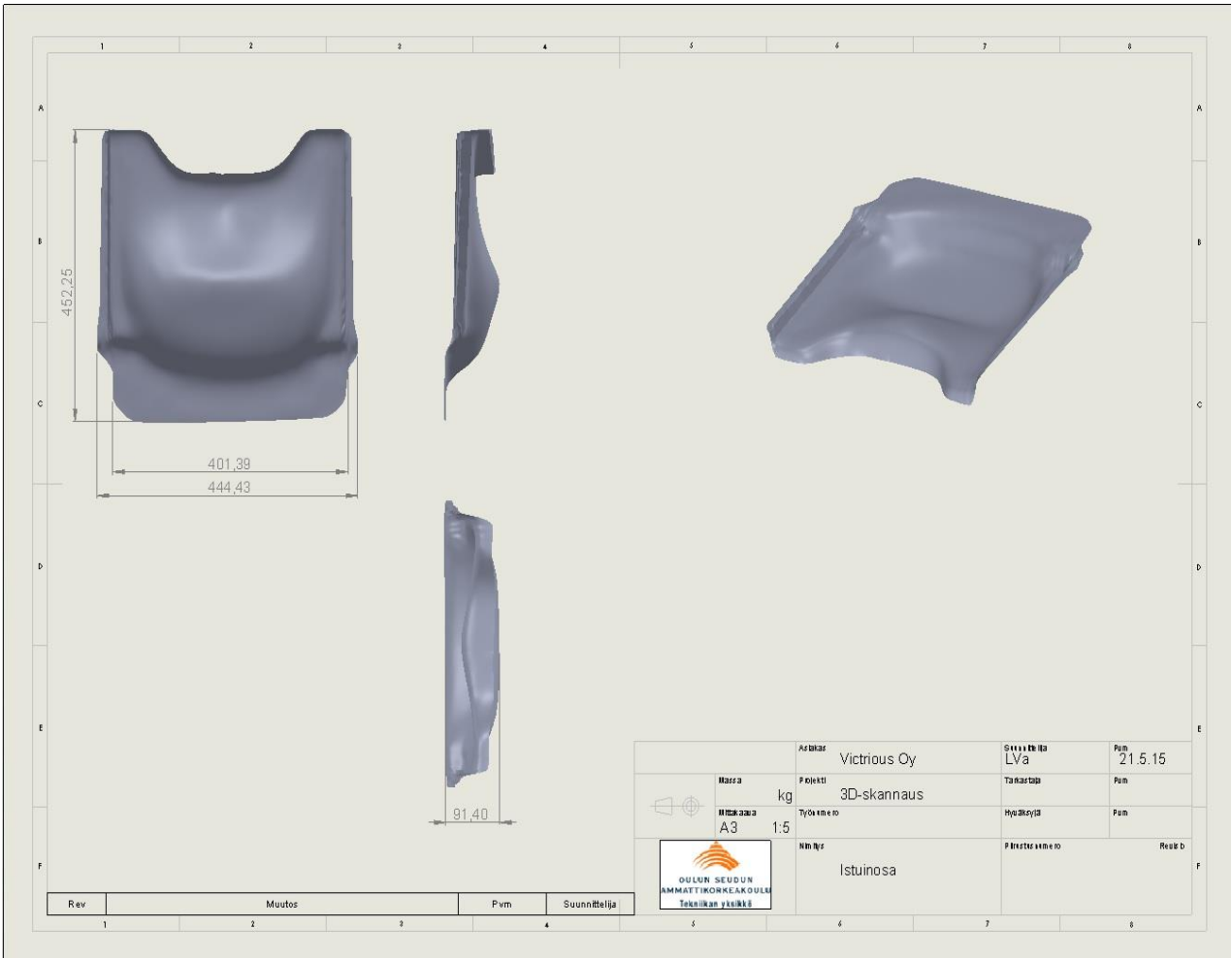
LÄHTEET

1. 3DScanCo. Saatavissa: <http://www.3dscanco.com/index.cfm/>. Hakupäivä 5.2.2015.
2. 3D Scanning 101. Desktop Engineering. Saatavissa: <http://www.deskeng.com/de/3d-scanning-101/>. Hakupäivä 26.3.2015.
3. 3D Scanners Information. IHS Engineering360. Saatavissa: http://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/inspection_tools_instruments/3d_scanners/. Hakupäivä 2.4.2015.
4. Teollisuuden ohjelmistoratkaisut. Atostek. Saatavissa: <http://www.atostek.com/toimialat/teollisuus/>. Hakupäivä 10.4.2015.
5. Ympäristön digitointi. Prosolve. Saatavissa: <http://www.prosolve.fi/digit/ympariston-digitointi/>. Hakupäivä 2.4.2015.
6. Tong, Thomas 2011. Medical Applications In 3D Scanning. LMI Technologies. Saatavissa: <http://blog.lmi3d.com/medical-applications-in-3d-scanning/>. Hakupäivä 5.2.2015.
7. Film / Video games. Direct Dimensions. Saatavissa: http://www.dirdim.com/apps_filmvideogames.htm. Hakupäivä 7.4.2015.
8. Neopoint Oy. Saatavissa: <http://www.neopoint.fi/fi/>. Hakupäivä 10.2.2015.
9. Paris, Sylvain. Methods for 3D Reconstruction from Multiple Images. Saatavissa: http://people.csail.mit.edu/sparis/talks/Paris_06_3D_Reconstruction.pdf. Hakupäivä 23.5.2015
10. 123D Catch quick start guide. Autodesk 123D. Saatavissa: <http://www.123dapp.com/howto/catch>. Hakupäivä 23.5.2015

11. Tietokonetomografia. Pohjois-Karjalan sairaanhoito- ja sosiaalipalvelujen kuntayhtymä. Saatavissa: <http://www.pkssk.fi/tietokonetomografia>.
Hakupäivä 1.6.2015
12. Non-contact 3D Digitizer vivid 9i/VI-9i. Ohjekirja. Konica Minolta.
13. Polygon Editing Tool. Ohjekirja. Konica Minolta.

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Työn tiedot	Tekijä ¹	Tilaaja ²
	Lari Vandell	Ykimuovi Finland Oy
	Tilaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot ³	
	Ari Hulkkonen	
	Työn nimi ⁴	
	Tuotteen 3D-skannausprosessin kehitys	
Työn kuvaus ⁵	Työssä ¹ kehitetään prosessi, jossa valmiista tuotteesta skannataan pistepilvi. Pistepilvestä tehdään parametrisen CAD-malli.	
	Työn tavoitteet ⁶	
	- Perehtyä 3D-skannauksen perusteisiin - Pistepilven hyödyntäminen mallinnuksessa - Skannausprosessin ohjeistus	
	Tavoiteaikataulu ⁷	
	Valmis 31.5.2015	
	Päiväys ja allekirjoitukset ⁸	
22/1/2015 Tekijän allekirjoitus Lari Vandell		22/1/2015 Tilaajan allekirjoitus Ari Hulkkonen
1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosite. 2. Työn teettävän yrityksen virallinen nimi. 3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta. 4. Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan. 5. Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat. 6. Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet. 7. Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa. 8. Lähtötietomuiستio päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaajan yhdyshenkilö		



1. Tarkastetaan käytettävä linssi kappaleen mittojen mukaan ja kalibroidaan skanneri.
2. Esikäsitellään kappale tarvittaessa talkilla tai mattamaalilla ja piirretään tarvittaessa pintaan muutama piste skannausten yhdistämistä helpottamaan.
3. Tarkistetaan, että valaistus sekä tausta ovat kunnossa.
 - Taustaksi kannattaa valita esimerkiksi yksivärinen seinä. Taustan valinta helpottaa skannausdatan muokkaamista.
 - Valaistus on säädettävä niin, että kappale erottuu selkeästi skannerin näytöllä.
4. Asetetaan skannausasetukset ja skannataan kappale.
 - Skannausasetukset määritetään halutulla tavalla. Valmiin moodin valitseminen asettaa tietyt asetukset. Mitä korkeampaa laatua halutaan, sitä lyhyempi mittausetäisyys valitaan.
 - Jos skannaustuloksessa ei näy koko haluttu alue, tarkistetaan että mittausetäisyys on oikea.
5. Suoritetaan karkea datan puhdistus.
 - Muokataan skannausdataa poistamalla ylimääräinen data kappaleen ääriviivojen mukaan.
6. Skannataan kappale eri kulmasta
 - Jos käytössä ei ole pyörintätasoa, kappale tulee kääntää käsin.
 - Skannausten lukumäärä valitaan niin, että kappaleesta saadaan skannattua jokainen osa ja muoto.
7. Suoritetaan karkea ylimääräisen datan puhdistus.
8. Yhdistetään skannaus edellisen datan kanssa käyttämällä yhteisiä pisteitä.
 - Pisteinä voi käyttää esikäsitelyvaiheessa kappaleen pintaan piirrettyä pisteitä tai muita selkeitä kohtia kappaleesta. Pisteitä tulee valita kolme.
9. Suoritetaan kohdat 6-8 kunnes kappale on kokonaan skannattu.
10. Puhdistetaan skannausdata ylimääräisestä.
 - Valitaan skannausdata, jossa poistettava data on. Valitaan ja poistetaan haluttu data käyttämällä valintatyökaluja.
11. Yhdistetään data yhdeksi pistepilvi-tiedostoksi.
 - Valitaan valikosta kaikki datat jotka halutaan yhdistää. Yhdistetään data Merge -toiminnolla.
 - Pistepilvi tiedosto tallennetaan halutussa tiedostomuodossa jatkokäsittelyä varten.

12. Pistepilven muokkaus.

- Pistepilveä muokataan vähentämällä pisteiden lukumäärää. Mitä tarkempi tulos vaaditaan, sitä enemmän pisteitä pilvessä täytyy olla. Pistepilven muokkaus tapahtuu eri ohjelmistoilla eri tavoilla.

13. Luodaan mesh.

- Meshin luomistapa vaihtelee eri ohjelmistoilla.

14. Muokataan tarvittaessa meshiä.

- Mahdolliset reiät täytetään. Reunoja ja pintoja voidaan tasata.

Pintamalli (SolidWorksilla):

- a) Luo meshistä monta pintaa.
 - Rakennepuusta valitaan mesh -> Surface Wizard. Pinnat voidaan luoda joko automaattisesti tai manuaalisesti.
 - Automaattisesti pinnat luodaan liikuttamalla liukusäädintä halutun yksityiskohtaisuuden mukaan. Pintojen muotoviivoja voidaan muokata tarvittaessa.
 - Manuaalisesti meshistä valitaan leikkaustaso. Meshin eri osat väritetään eri väreillä ja värien mukaan luodaan pinta eri toimintoja käyttämällä.
- b) Käytetään Thicken -työkalua pinnan luomiseen.

Parametrinen malli (SolidWorksilla):

- a) Luodaan meshistä tarvittava määrä muotokurveja
 - Valitaan rakennepuusta mesh -> Curve Wizard. Käytetään tasona poikkileikkaavaa tasoa ja aloituspisteenä joko meshin reunaa tai itse luotua referenssipistettä.
- b) Muokataan curveja tarvittaessa.
 - Katkenneet kurvit voidaan yhdistää.
- c) Käytetään loft -ja boundary-surface -toimintoja pinnan luomiseen.
 - Profiiliksi valitaan muotokurvit. Tarvittaessa curveihin lisätään liittimiä oikean muodon aikaansaamiseksi.
- d) Sidotaan pinnat toisiinsa Knit -toiminnolla.

Linssin valinta

Valitaan kappaleen mittojen perusteella käytettävä linssi.

WIDE Lens						
Object Size	Measurement Distance	500	600	800	1000	2500
	Horizontal	299	359	478	598	1495
	Vertical	224	269	359	449	1121
		Unit (mm)				
MIDDLE Lens						
Object Size	Measurement Distance	500	600	800	1000	2500
	Horizontal	165	198	263	329	823
	Vertical	124	148	198	247	618
		Unit (mm)				
TELE Lens						
Object Size	Measurement Distance	500	600	800	1000	2500
	Horizontal	93	111	148	185	463
	Vertical	69	83	111	139	347
		Unit (mm)				

LINSSI	TARKKUUS (mittausetäisyys 0,6 m) TARKKUUS (mittausetäisyys 1 m)	
Tele	±0,05 mm	±0,10 mm
Middle	±0,10 mm	±0,20 mm
Wide	±0,20 mm	±0,40 mm

Kalibrointi

Skanneri on kalibroitava, jos sitä siirretään tai siihen vaihdetaan linssi.

Skanneri asetetaan sen omalle kalibrointijärjestelmälle ja kalibrointiin käytetään siihen kalibrointiin tarkoitettua taustaa.



Kappaleen esikäsittely

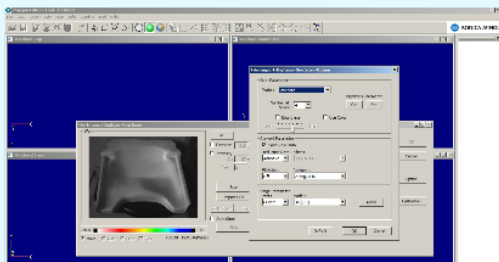
Kappaleen pintaan kannattaa piirtää tussilla pisteitä skannauksien yhdistämistä helpottamaan.

Kiiltävät kohteet voidaan esikäsitellä esimerkiksi talkkijauheella tai mattamaalilla heijastuksien välttämiseksi



Skannausasetuksien asettaminen

Ennen skannaamista täytyy skannerille asettaa skannausasetukset. Valitaan File -> Import -> Digitizer -> One Scan. PETillä on mahdollista valita kolmesta valmiista moodista sopivin.



Skannausmäärä tarkoittaa sitä, kuinka monesti lasersäde skannaa kappaleen. Suurempi skannausmäärä vähentää datahäviötä. Asetuksista voidaan säätää skannerin suorittaman redusoinnin määrää sekä reikien automaattista täyttöä.

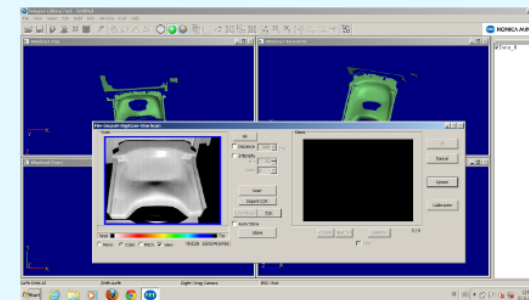
Moodi	Filtterit	Mittausetäisyys
Standard	N.F. & H.Q.	0,6 – 1 m
<u>Extend</u>	N.F.	0,5 – 2,5 m
<u>User</u>	Käyttäjä valitsee	0,5 – 2,5 m

N.F. (Noise Filter): Kohinan poisto, vähentää pisteiden kohinaa dataa lukiessa
H.Q. (High Quality): Korkea laatu, poistaa huonolaatuisen datan
Jos ei valita mitään, minkäänlaisia korjauksia dataan ei tehdä.

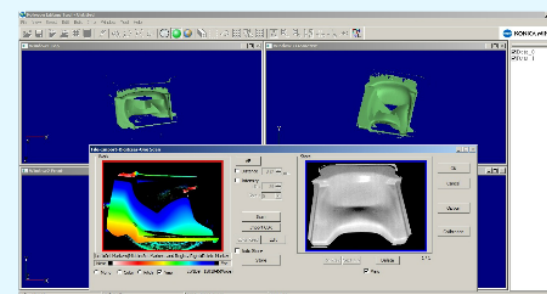
Skannaaminen

Kohteen etäisyys skannerista voidaan määrittää käsin tai automaattisesti. Painamalla Autofocus (AF) -painiketta skanneri määrittää etäisyyden automaattisesti. Work -ikkunassa näkyy skannerin näkymä. Painetaan Scan jolloin skanneri aloittaa skannaamisen.

Skannausdataa muokataan niin, että painetaan Edit -painiketta ja valitaan viivojen avulla poistettava data. PETillä voidaan valita poistettavaksi viivojen sisä- tai ulkopuolinen alue. Store -painikkeella muokattu data tallennetaan ja se siirtyy Store -ikkunaan.



Kuvassa on kuvattu skannaus. Kappaleesta poistetaan ylimääräinen data valitsemalla kello. Tätä ja tulevia viivoja kohteen sisäpuolelta.



Kuvassa on kuvattu skannaus. Kappaleesta poistetaan ylimääräinen data valitsemalla kello. Tätä ja tulevia viivoja kohteen sisäpuolelta.

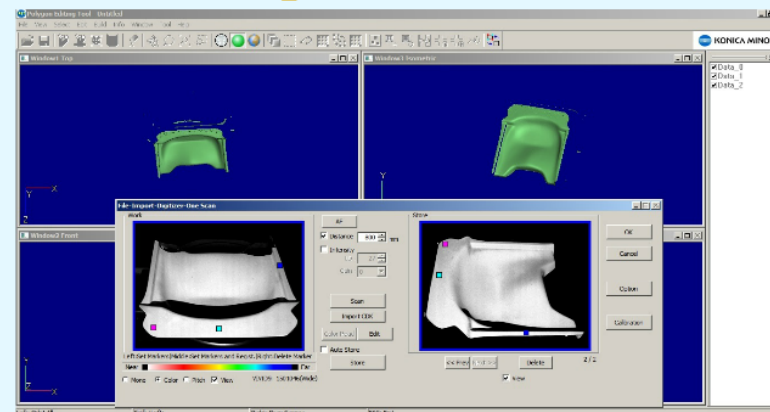
Skannausdatan yhdistäminen

Kun ensimmäinen skannausdata on talletettu, skannataan kappale toisesta kulmasta. Jos skanneria liikutetaan, täytyy mittaasetäisyys syöttää uudelleen. Kun kappale on skannattu, muokataan sitä edellisen datan tavoin. Muokkauksen jälkeen data on yhdistettävä edellisen kanssa yhteisten pisteiden avulla. Uudesta ja vanhasta datasta valitaan vähintään kolme yhteistä värikoodeilla merkittyä pistettä.

Kun kappale on skannattu kokonaan ja yhdistetty pisteiden avulla, suoritetaan datan lopullinen puhdistus. Valitaan data, jossa poistettavia pisteitä on, oikealla olevasta valikosta. Valintatyökalulla valitaan poistettava data ja suoritetaan puhdistus.

Seuraavaksi yhdistetään datat yhdeksi pistepilveksi. Oikealta valikosta valitaan yhdistettävät datat ja valitaan Build -> Merge.

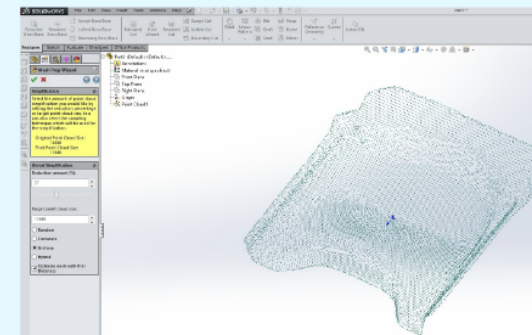
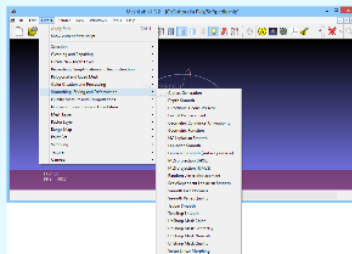
Pistepilvi voidaan tallentaa useassa eri tiedostomuodossa. Oikean tiedostomuodon valitseminen on tärkeää, jotta pilveä voidaan jatkokäsitellä halutulla ohjelmalla. Esimerkiksi SolidWorksia käyttäessä voidaan valita Ascii (.asc).



Pistepilven muokkaaminen

Pistepilven muokkaaminen tarkoittaa ei-haluttujen pisteiden poistamista ja pistepilven tiheyden muuttamista. Pisteiden suodattaminen huonontaa tarkkuutta, mutta myös vähentää tehon tarvetta sekä käsittelyyn kuluva-aikaa.

Meshlab on yksi suosituimmista ohjelmistoista. Meshlabissa on kymmeniä eri työkaluja pistepilven ja meshin muokkaamiseen. Eri skannausdatat voidaan myös yhdistää Meshlabilla, jolloin se automaattisesti poistaa päällekkäisyydet. Meshlab vaatii suuren määrän opiskelua oikeiden työkalujen löytämiseen sekä niiden käyttämiseen.

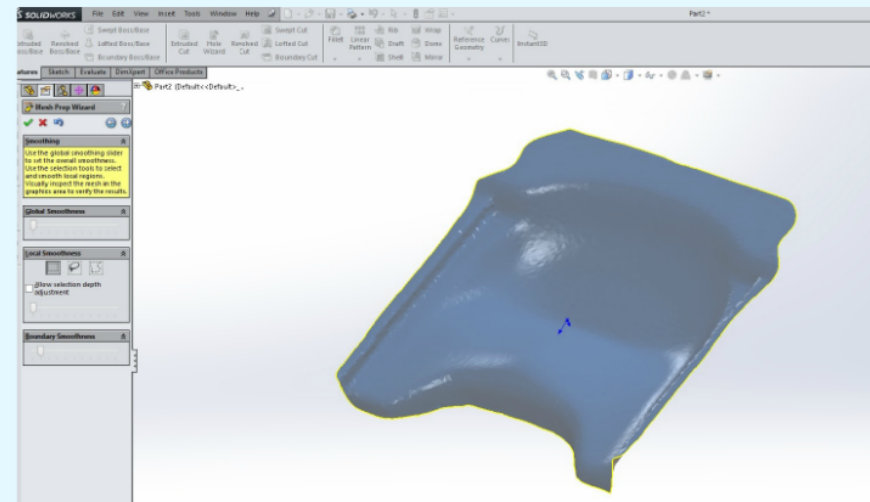


Pistepilvestä luotiin mesh valitsemalla rakennepuusta pistepilvi ja napsauttamalla Prep Mesh Wizard -toimintoa. Ensimmäisenä valittiin origon paikka automaattisesti. Pisteitä vähennettiin 37 % ja lopullinen pistepilvi koostui noin 11 000 pisteestä. Mesh optimoitiin ohuelle paksuudelle sekä pisteiden asetteluksi valittiin Uniform.

Meshin luominen

Seuraavaksi on mahdollista tasoittaa meshin pintaa ja reunoja. Ohjelma täytti reiät automaattisesti, mutta jos niitä olisi jäänyt olisi ne täytetty seuraavassa vaiheessa. Ok-ikonia napsauttamalla lopetetaan työkalun käyttö ja valmistetaan mesh.

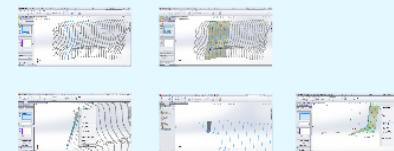
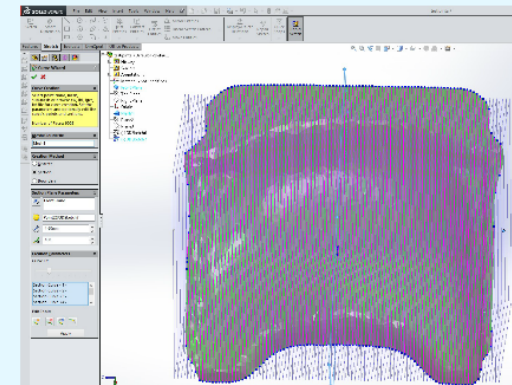
Meshiä voidaan kääntää valitsemalla rakennepuusta mesh -> hiiren oikea -> Edit Mesh.

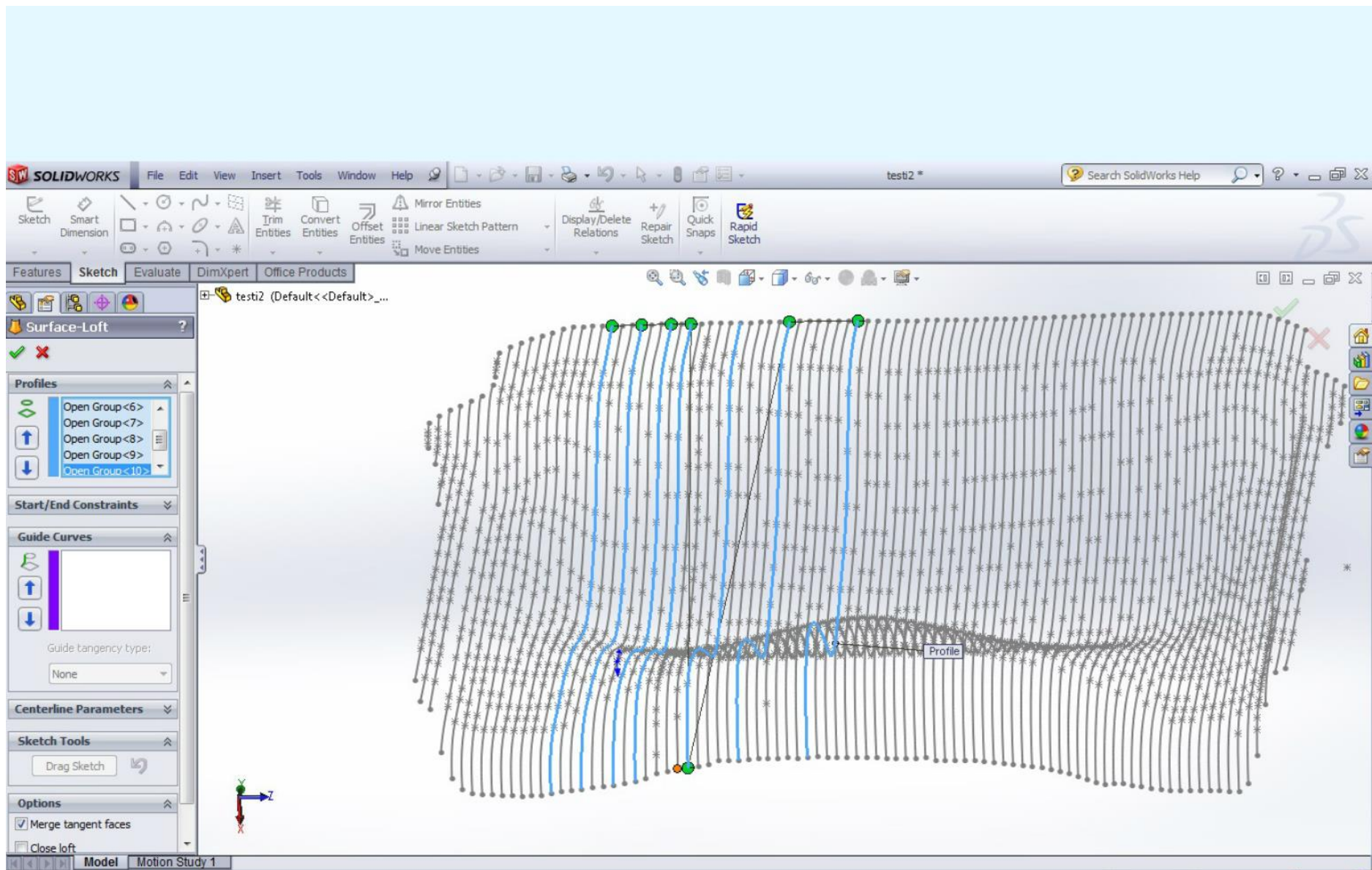


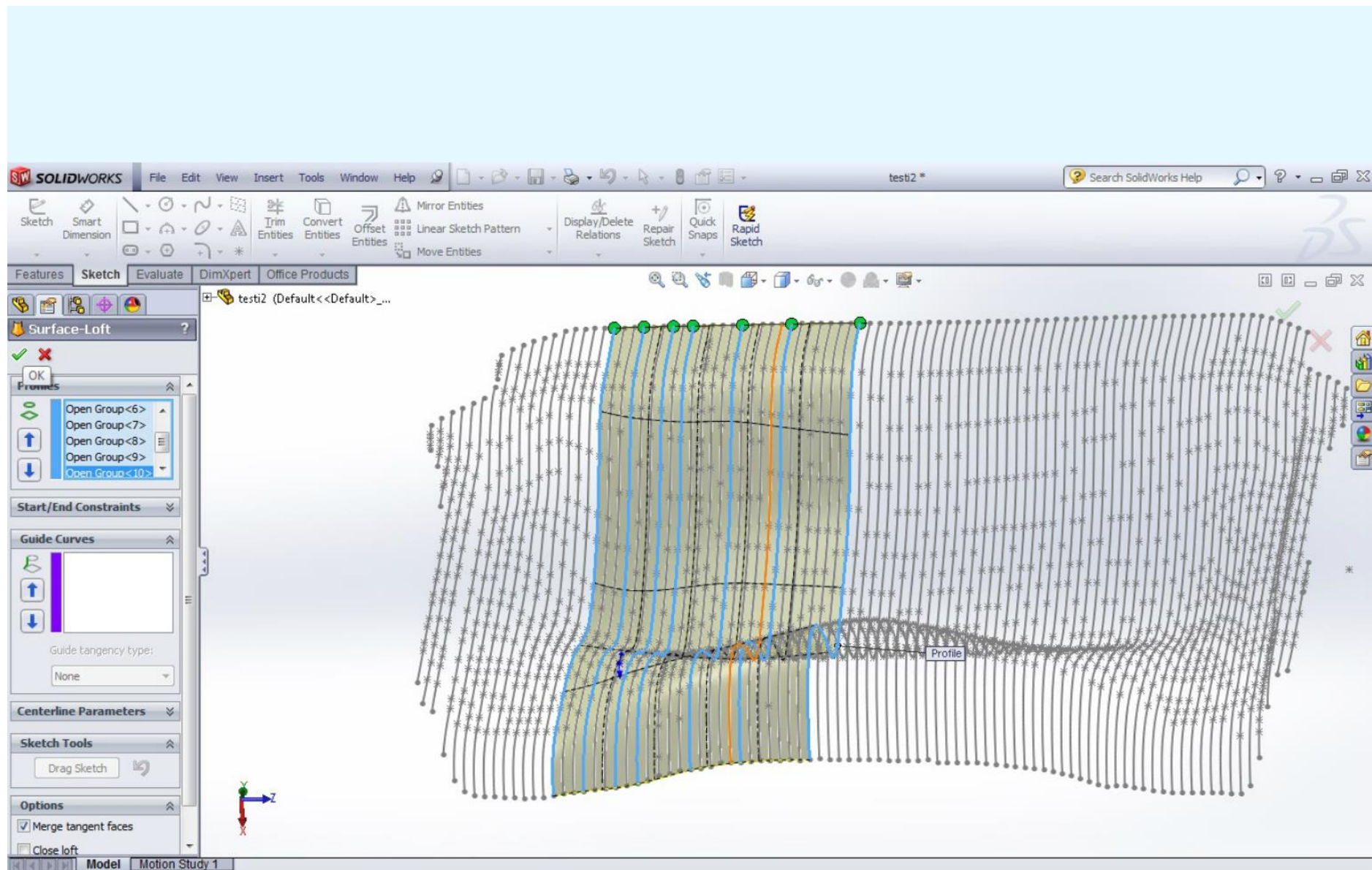
Parametrinen 3D-malli

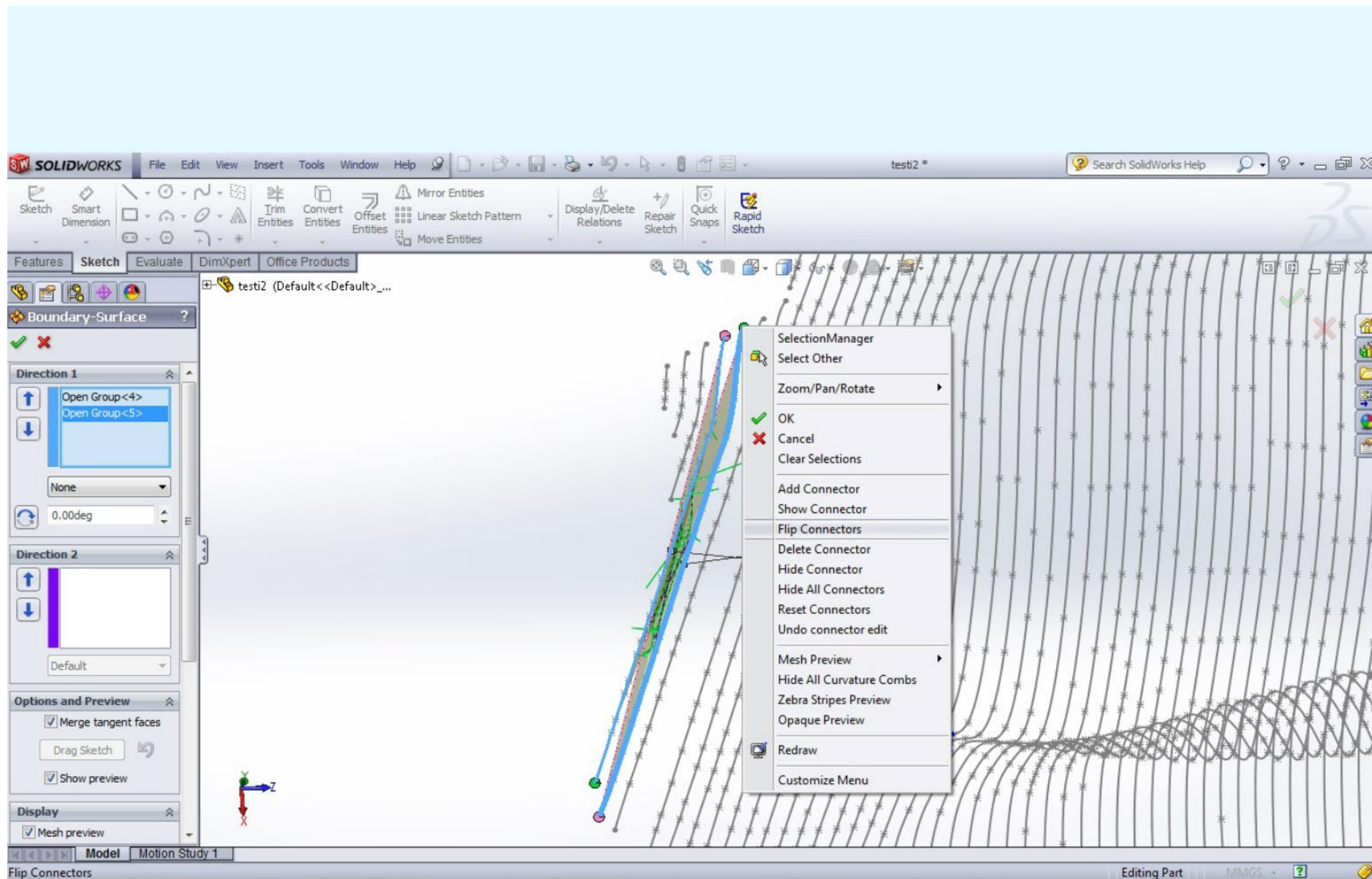
Parametrinen 3D-malli voidaan rakentaa käyttämällä muotokurveja. Valitaan rakennepuusta mesh -> hiiren oikea -> Curve Wizard. Työkalussa valitaan luomistapa (tässä Section), referenssitaso (front plane) sekä aloituspiste (referenssipiste). Kurvien lukumääräksi voidaan valita mitä tahansa väliltä 1-100. Kurviväli määritetään itse. Kurvit muodostuu omaksi sketsiksi. Kurveja voidaan muokata avaamalla niistä muodostunut sketsi. Katkenneet kurvit voidaan yhdistää ja tarvittaessa poistaa turhia kurveja.

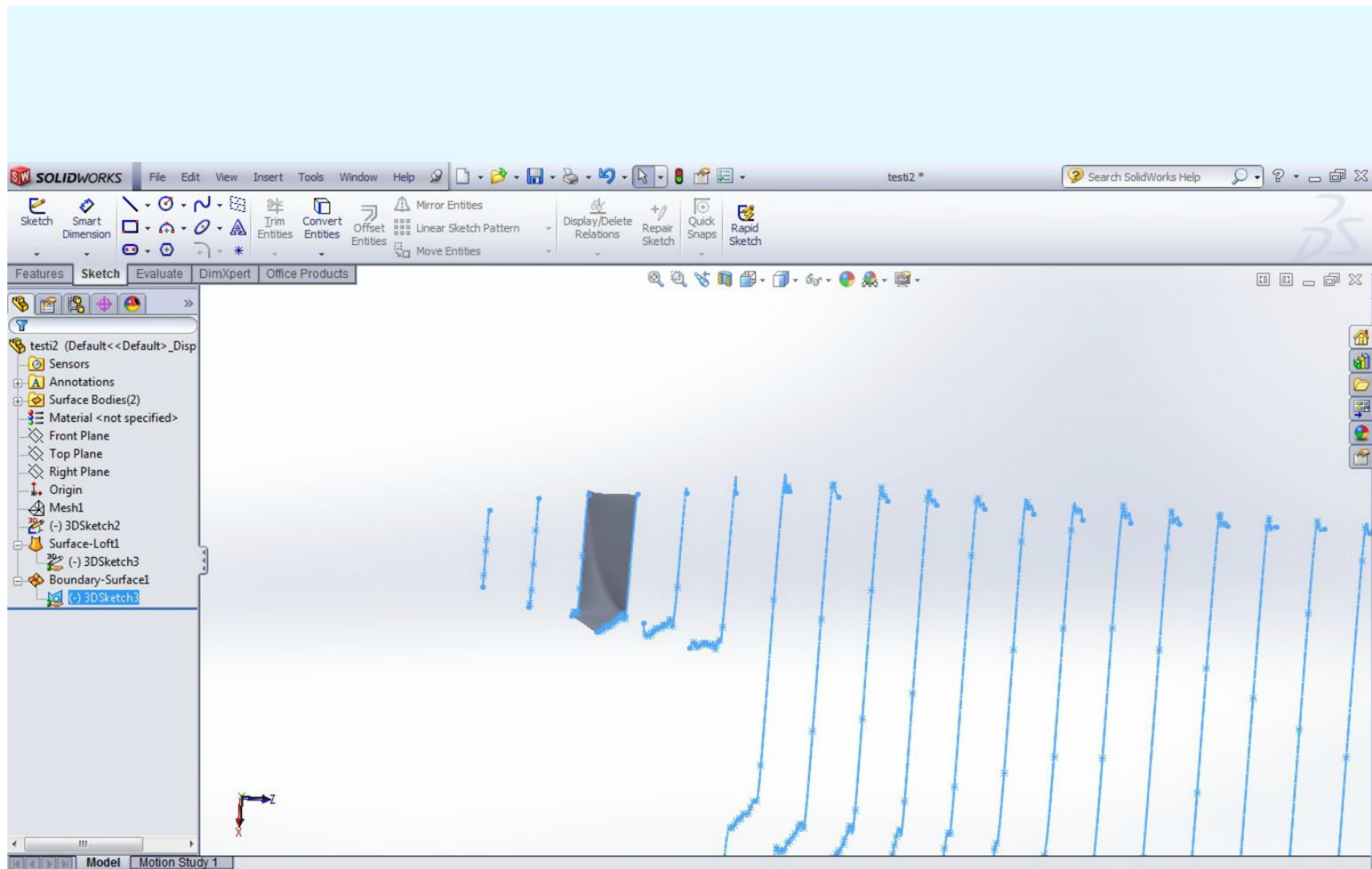
Seuraavaksi muodostetaan pinta muotokurvien avulla. Kohdissa, joissa muodonmuutoksen ovat pieniä voidaan käyttää Loft -työkalua. Profiiliksi valitaan kurvit. Kurvit, jossa korkeuserot ovat suuret voidaan käyttää Boundary-Surface-työkalua. Pintaa luodessa curveihin voidaan tarvittaessa lisätä littimiä, connectoreja, joiden avulla pinnanmuotojen vääristymät kumotaan.

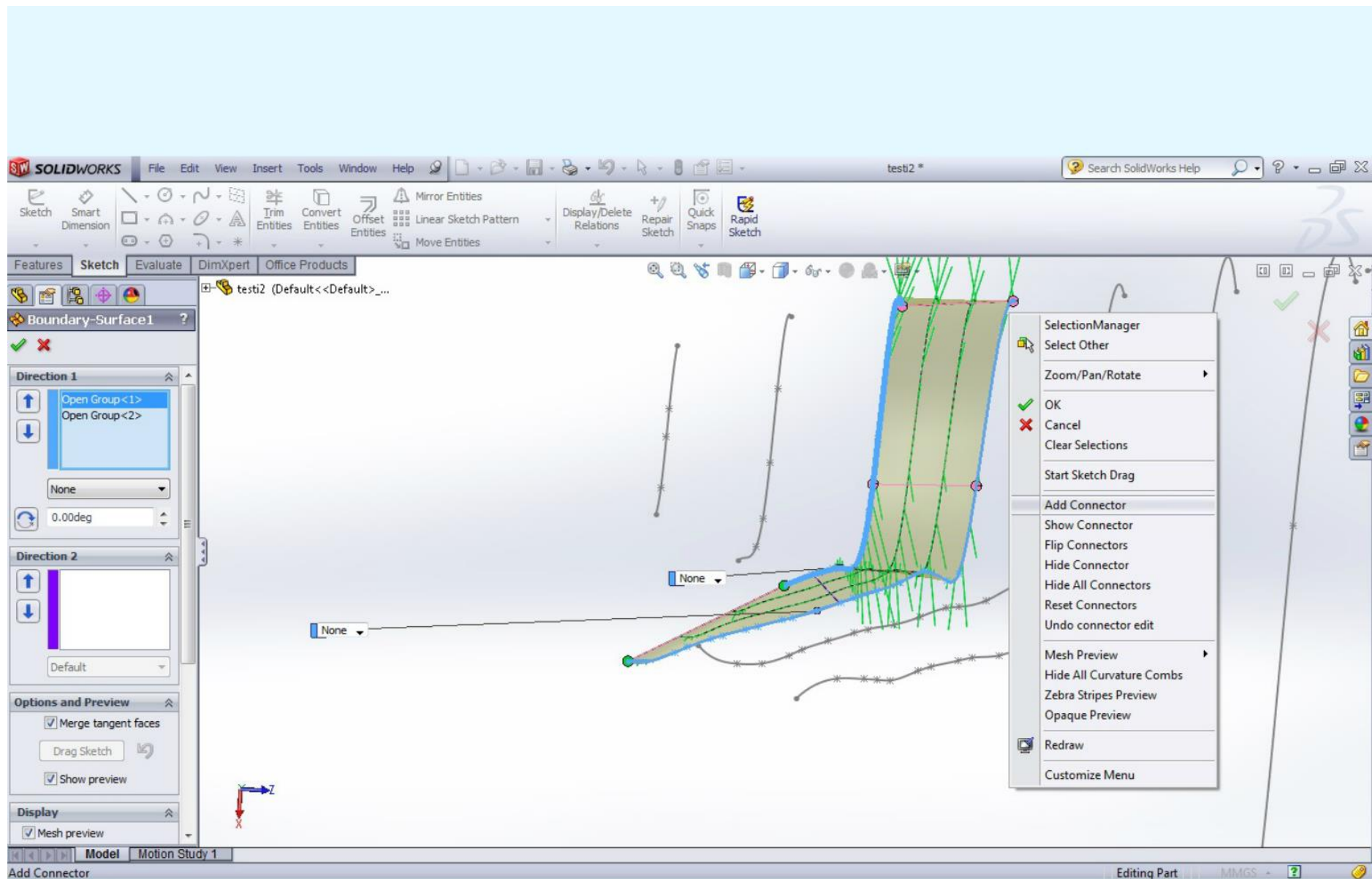












Pintamalli

Pintamalli luo kappaleen pinnasta useita pintoja, joita ei voi muokata. Pintamallia voidaan käyttää monimutkaisissa kappaleissa, kuten hampaissa, luissa sekä kustomisoiduissa valumuoteissa.

Pintamalli voidaan luoda SolidWorksilla. Rakennepuusta valitaan mesh -> Surface Wizard. Pinnat voidaan luoda joko automaattisesti tai manuaalisesti.

Automaattisesti pinnat luodaan liikuttamalla liikusäädintä halutun yksityiskohtaisuuden mukaan. Pintojen muotoviivoja voidaan muokata tarvittaessa.

Manuaalisesti meshistä valitaan leikkaustaso. Meshin eri osat väritetään eri väreillä ja värien mukaan luodaan pinta eri toimintoja käyttämällä.

Käytetään Thicken -työkalua pinnan luomiseen.

