



SolidWorksin pistepilvityökalujen käyttö laserskannerin datan jalostuksessa

Alexi Hynninen

Teemu Ängeslevä

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2023

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma

HYNNINEN, ALEKSI & ÄNGESLEVÄ, TEEMU:
SolidWorksin pistepilvityökalujen käyttö laserskannerin datan jalostuksessa

Opinnäytetyö 94 sivua, joista liitteitä 34 sivua
Toukokuu 2023

Opinnäytetyössä selvitettiin laserskannatun datan käsittelyyn tarkoitettujen SolidWorks-ohjelmiston työkalujen sopivuus akateemista käyttöä varten. Työn toimeksiantaja oli Tampereen ammattikorkeakoulu ja se toteutettiin parityönä. Laatijoiden välinen työnjako tehtiin siten, että Ängeslevän vastuualueeseen kuului suuremmalla painotuksella tutkimuksen käytännön prosessit Hynnisen keskittyessä laajemmin teoreettisen viitekehyksen muodostamiseen.

Opinnäytetyössä tutustutaan laserskannaukseen, datan jalostukseen sekä takaisinmallinnusprosessiin. Työssä tuotettiin osana toimeksiantoa liitteeksi SolidWorks ScanTo3D:n käyttöohje, joka soveltuu tukemaan ohjelmiston mahdollista opetuskäyttöä.

Tutkimus suoritettiin toteuttamalla tarkoituksenmukainen esivalmistelu sekä jatkojalostus laserskannatulle raakadatalle. Prosessista tuloksiksi kerättyjä käyttäjäkokemuksia käytettiin päätöksen muodostamiseen ohjelmiston sopivuudesta akateemiseen käyttöön.

Työn tulosten perusteella todettiin ohjelmisto sopivaksi toimeksiantajan käyttöön. Ohjelmistolla pystyy pääpiirteittäin toteuttamaan samanlaiset toiminnot kuin vastaavilla 3D-skannatun datan käsittelyyn tarkoitetuilla ohjelmistoilla. Heikkolaatuista raakadataa ohjelmisto ei kuitenkaan pysty muuttamaan käyttökelpoiseksi.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering

HYNNINEN, ALEKSI & ÄNGESLEVÄ, TEEMU:
Utilizing SolidWorks Point Cloud Tools in Processing of Laser Scanner Data

Bachelor's thesis 94 pages, appendices 34 pages
May 2023

This thesis evaluates the adequacy of the tools for 3D scanned point cloud and mesh data processing included in SolidWorks for academic applications. The commissioner of this thesis is Tampere University of Applied Sciences and it was a collaborative effort between two students. Ängeslevä focused more on the practical processes of the study while Hynninen constructed the theoretical framework.

This thesis provides a brief introduction to the basics of laser scanning, data processing and reverse engineering. A user manual intended to support the academic use of the software was produced as a part of the commission.

The research was executed by producing raw 3D scanned data, preparing it, and processing it until a 3D model with the desired attributes was obtained. The results acquired from this process were presented to the client's representative for evaluation of the tool's adequacy.

As a result of this study the software was found to be appropriate for academic use. In this application, the capabilities of the software were estimated roughly as equal to its counterparts of the same price range although low quality raw data was found near impossible to process into a satisfactory form.

Key words: 3d laser scanning, SolidWorks, handyscan, pointcloud, ScanTo3D

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TUTKIMUSMENETELMÄT JA LÄHTÖKOHDAT	9
3	3D-LASERSKANNAUS JA SKANNATTU DATA	11
	3.1. 3D-laserskannauksen perusteet ja historia	11
	3.2. 3D-laserskannauksen periaatteet.....	11
	3.3. Skannaustavat	12
	3.4. 3D-laserskannatun datan hyödyntäminen.....	13
	3.4.1 Laserskannatun datan laatu	13
	3.4.2 Laserskannauksen käyttötarkoitukset.....	14
	3.4.3 Laserskannauksen edut ja heikkoudet	15
	3.4.4 Ohjelmistot pistepilvidatan ja pintaverkkomallien käsittelyyn	16
4	TAKAISINMALLINNUS	18
	4.1. Takaisinmallinnuksen määritelmä ja käyttötarkoitukset.....	18
	4.2. Takaisinmallinnusprosessi	18
	4.3. Takaisinmallinnus hyödyntäen laserskannattua dataa	19
5	TYÖKALUT DATAN KERÄYKSESSÄ SEKÄ JALOSTUKSESSA	20
	5.1. Työkalut raakadatan keräyksessä.....	20
	5.2. CAE-ohjelmisto datan jalostuksessa	20
	5.3. Datan jalostuksessa käytetty CAE-ohjelmiston lisäosa	21
6	DATAN KERÄYS	23
	6.1. Valmistelut	23
	6.1.1 Kappaleiden valinta	23
	6.1.2 Mittauslaitteen kalibrointi ja mittauskohteiden merkkkaus	24
	6.2. Mittaus	24
7	DATAN JALOSTUS	27
	7.1. Tavoitteet ja menetelmät datan jalostuksessa	27
	7.2. Tiedostojen tuontiominaisuudet.....	28
	7.3. Pintaverkkomallin valmistelu	28
	7.4. Kappaleen asemointi pintaverkkomallin valmisteluavustajalla	29
	7.5. Kohinan vähennys pintaverkkomallin valmisteluavustajalla	31
	7.6. Ylimääräisen datan siivoaminen pintaverkkomallin valmisteluavustajalla	32
	7.7. Pintaverkkomallin yksinkertaistaminen pintaverkkomallin valmisteluavustajalla	33
	7.8. Särmien pyöristäminen pintaverkkomallin valmisteluavustajalla ..	34
	7.9. Aukkojen paikkaaminen pintaverkkomallin valmisteluavustajalla .	35

7.10. Pintaverkkomallin muokkaustyökalu	36
7.11. Datanjalostusprosessi.....	37
7.11.1Kolme prosessia skannatun datan jalostukseen	38
7.11.2Puolimanuaalinen menetelmä.....	39
7.11.3Skissausvaihe	40
7.11.4Pintamallinnus- ja tilavuusmallivaihe.....	43
8 TULOKSET	47
8.1. Tulosten jäsentely	47
8.2. Kappaleen asemointityökalun arviointi	47
8.3. Kohinanvähennystyökalun arviointi	47
8.4. Ylimääräisen datan siivoaminen.....	50
8.5. Pintaverkkomallin yksinkertaistamistyökalun arviointi	51
8.6. Särmien pyöristämisen arviointi	51
8.7. Aukkojen paikkaamistyökalun arviointi.....	52
8.8. Pintaverkkomallin muokkaustyökalu	54
8.9. Pintaverkosta tilavuusmalliksi puolimanuaalisella menetelmällä ..	54
8.10. Pintaverkosta tilavuusmalliksi automaattisella menetelmällä.....	55
8.11. Pintaverkosta tilavuusmalliksi manuaalisella menetelmällä	55
9 POHDINTA	57
LÄHTEET.....	59
LIITTEET	61
Liite 1. SolidWorks ScanTo3D apuohjelman käytön ohjeistus	61
Liite 2. Kokouspöytäkirja	94

ERITYISSANASTO

CAD	Computer aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CAD-ohjelmisto	Tietokoneavusteinen suunnitteluohjelmisto
CAE	Computer aided engineering, tietokoneavusteinen tekniikka
Kohina	Pintaverkkomallin datassa häiritsevää ja virheellistä geometriaa
Kolmiopintaverkkomalli	Pintaverkkomalli
OBJ	3D-pintaverkkomallin tiedostomuoto (3D-Objekti)
Pintakuorimalli	3D-malli, mikä käsittää kappaleen ulkopintojen geometrian ilman tilavuustietoa
Referenssiorigo	Käyttäjän osoittama origopiste, jota käytetään vain toiminnon suorittamiseen
Skissi	Sketch, kaksi- tai kolmiulotteinen luonnos, mitä hyödynnetään 3D-mallin luomisessa
SolidWorks	3D-mekaniikkasuunnitteluohjelmisto
Solidimalli	3D-geometrinen tilavuusmalli, joka on täysin suljettu pintojen avulla
STEP	3D-mallin tiedostomuoto
STL	3D-pintaverkkomallin tiedostomuoto (stereolitografiaverkko)
TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu

1 JOHDANTO

Laserskannaus on nopeasti viime vuosina teknisesti kehittynyt ja suosiota kasvattanut automaattinen datankeräysmenetelmä, millä voidaan mitata pieniä kuin suuriakin kohteita (Pfeifer & Brieze 2006, 2). Modernein tavoin laserskannauksella kerätty data on joko pistepilvi- tai pintaverkkomallin formaatissa. Laserskannaus ja siihen liittyvä datan käsittely on jatkuvasti yleistyvää sekä ammatillisesti merkittävä mittaustapa, ja sen vuoksi on tärkeää edistää korkeakouluissa tapahtuvaa aiheen opetusta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää SolidWorks Premium- ja Professional-lisensseihin sisältyvän ScanTo3D-pistepilvityökalun tarkoituksenmukaisuus pienehköjen pistepilvi- ja pintaverkkomallidatoiden jalostuksessa jatkokäyttöä varten. Työn toimeksiantajana toimi Tampereen ammattikorkeakoulu, ja tavoitteena on selvittää, voiko koulun SolidWorks-lisenssiin sisältyvää ohjelmaa hyödyntää opetuskäytössä. Tämän työn tuloksista riippuen Tampereen ammattikorkeakoulussa voitaisiin ScanTo3D:n akateeminen käyttö mahdollisesti aloittaa. Koska ohjelmiston käytön sujuvuus perustuu suurelta osin käyttäjäkokemukseen, tavoitteiden täyttymisen objektiivinen arvioiminen on käytännössä mahdotonta. Tästä syystä tavoitteiden täytyminen määritellään toimeksiantajan edustajan kanssa käydyn tavoitteiden asettelun ja opinnäytetyöprosessin aikana käytyjen keskustelujen perusteella.

Tämän työn aihepiiri on rajoitettu mainitun ohjelmiston käyttöön ja muu aiheeseen liittyvä käydään läpi taustoittavasti, muodostaen lukijalle aiheesta hyvä kokonaiskuva. Esimerkiksi skannausprosessia tai SolidWorksin perusosan toimintoja ei siis käsitellä tarkemmin.

Opinnäytetyö toteutettiin parityönä. Työnjako pyrittiin toteuttamaan kummallekin opiskelijalle mahdollisimman tasaisesti erityisesti ammatillinen osaaminen huomioon ottaen. Kummallakin opiskelijoista oli työtä tehdessä kertynyt ammatillista kokemusta mekaanisesta suunnittelusta, mikä on yleinen ala laserskannatun datan hyödyntämisessä. Ängeslevällä oli jo huomattava käytännön osaaminen laserskannauksen ja datan käsittelyn parissa, joten hänelle oli luontevaa laatia työn

liitteenä oleva käyttöohje (liite 1). Hynninen, joka oli aiemmin hyödyntänyt laserskannattua dataa työelämässään vain rajoitetusti, toimi käyttöohjeen osalta koe-käyttäjänä ja laati tarvittavat lisäykset. Hynnisellä oli myös päävastuu opinnäytetyön teoriaosioden laatimisessa sekä datan keräysvaiheen dokumentoinnissa. Työn muut osiot toteutettiin tiiviissä yhteistyössä.

Työn sisällöllinen pääpaino on datan jalostus -osiossa. Tämän lisäksi lukijalle esitellään aihekonteksti käsittelemällä laserskannauksen perusteet sekä käytettävät työvälineet ja datan jalostusta edeltävät työvaiheet. Tuloksissa esitellään edeltävien vaiheiden aikana kerätyt käyttäjäkokemukset. Johtopäätöksissä pohditaan työn aiheena olevan työkalun tarkoituksenmukaisuutta opetuskäytössä toimeksiantajan kanssa yhteistyössä asetettujen tavoitteiden ja rajoitusten mukaisesti sekä arvioidaan tämän opinnäytetyön onnistuneisuutta.

Työhön sisältyy olennaisena osana opinnäytetyötoimeksiantoon liittyvä akateemiseen käyttöön tarkoitettu SolidWorks-lisäosa ScanTo3D-datanjalostustyökalun hyödyntämiseen liittyvä käyttöohje. Tämän työkalun tarkoituksena on toimia aiheeseen liittyvän mahdollisen opintojakson apuna antaen opiskelijoille kattavan ensikosketuksen ohjelmistoon ja laserskannatun datan käsittelyyn yleisesti. Ohjetta voidaan hyödyntää myös työelämässä joko ScanTo3D:n käytön oppimiseen tai laserskannatun datan jalostuksen ymmärtämiseen yleisesti.

2 TUTKIMUSMENETELMÄT JA LÄHTÖKOHDAT

Toimeksiantajan edustajan mukaan tutkimus SolidWorks ScanTo3D:n ominaisuuksista oli tarpeellinen Tampereen ammattikorkeakoulun laserskannaukseen liittyvien akateemisten prosessien kehittämiseen datan jalostuksen osalta ja kustannusten minimoimiseen. Tämän työn julkaisua edeltävänä aikana laserskannatun datan jalostuksessa on käytetty Creaformin ohjelmistoa, minkä lisenssimaksut aiheuttavat kustannuksia. SolidWorks ScanTo3D sisältyy Academic-lisenssiin, mikä oppilaitoksella oli käytössä riippumatta tämän työn tuloksista, joten edellä mainitut kustannukset ovat tämän työn tuloksista riippuen vältettävissä. (Huhtiniemi 2021.)

Tässä työssä käytetyt tutkimusmenetelmät ovat laadullisia. Ohjelmiston ominaisuuksien tarkoituksenmukaisuuden arviointi on väistämättä käyttäjäkokemukseen perustuva ja subjektiivinen. Tuloksissa esitetyt näkemykset ovat siis tässä työssä objektiivisten mittareiden puuttuessa laatijoiden kokemuksia ohjelmiston toimintojen laadusta. Työn tavoitteen mukaisesti edellä mainituin menetelmin on mahdollista selvittää ohjelmiston soveltuvuus akateemiseen käyttöön, mutta tätä työtä lukevan tahon on suositeltavaa suhtautua tuloksiin varauksella.

Käyttäjäkokemukseen perustuva tutkimus suoritettiin käytännössä tekemällä akateemisessa sovelluksessa tyypillinen laserskannatun datan jalostusprosessi mahdollisimman kattavasti ja usealle raakadatalle. Prosessin aikana kokeiltiin ohjelmiston toiminnot ja kirjattiin kokemukset tuloksia varten sekä jaettavaksi toimeksiantajan edustajalle.

Laserskannaus ja siihen liittyvä datan jalostus on nuori ja nopeasti kehittyvä ala. Tästä syystä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta oli niukasti tarjolla, joten opinnäytetyön taustoittavassa teoriaosuudessa käytettiin lähteinä pääosin mahdollisimman tuoreita ja relevantteja artikkeleita sekä yritysten sivustoja. Jälkimmäisenä mainittuihin lähteisiin suhtauduttiin varauksella ja lähteenä käytettiin vain konteksti huomioon ottaen neutraaliksi arvioitua sekä yleisesti tunnettua tietoa. Opinnäytetyön tutkimusosiossa hyödynnettiin lähteenä ohjelmiston valmistajan käyttöopasta suuntaa antavasti. Ohjelmiston valmistajan kiistaton puolueellisuus läh-

demateriaalin tarjoajana tunnistettiin ja työssä muodostettiin tutkimuksen edessä tulosten myötä omat johtopäätökset ohjelmiston kyvykkyydestä sekä ominaisuuksien laadusta.

3 3D-LASERSKANNAUS JA SKANNATTU DATA

3.1. 3D-laserskannauksen perusteet ja historia

Tämän työn aiheena olevan pistepilvi- ja pintaverkkomallidatan käsittelyn raaka-data tuotetaan laserskannauksella. Laserskannaus on teknisen kehityksen mahdollistamien ominaisuuksien, ja laitteiston edullisemmaksi muuttumisen vuoksi saavuttanut yhä suuremman suosion (DJM Design CAD & Coordination 2021). Menetelmällä voidaan mitata tarkkuudeltaan ja etäisyyksiltään suuresti vaihtelevia kohteita nopeasti ja tarkasti tiiviinä pistepilvenä (Pfeifer & Briese 2006, 2). Monipuolisuutensa takia se soveltuu useille eri aloille.

Laserskannauksella voidaan tehokkaasti kerätä mittadataa pienistä, monimutkaisista esineistä, rakennuksista ja maan muodoista. Laserskannerit keräävät dataa mittauksista pistepilven muodossa. Pistepilvet koostuvat miljoonista XYZ-koordinaateista. (TopoDot 2020.)

Laserskannauksen kehittäminen ja varhainen käyttö alkoi jo 1960-luvulla, jolloin kerättiin dataa kameroilla, projektoreilla ja valoilla. Nykyaikaista LiDar-tekniikkaa alettiin käyttää laserskannauksessa 1980-luvulla. (TopoDot 2020.) Pfeiferin ja Briesen (2007) mukaan laserskannauksen kehitys kiihtyi huomattavasti 1990-luvun puolivälissä (Pfeifer & Briese 2006, 2).

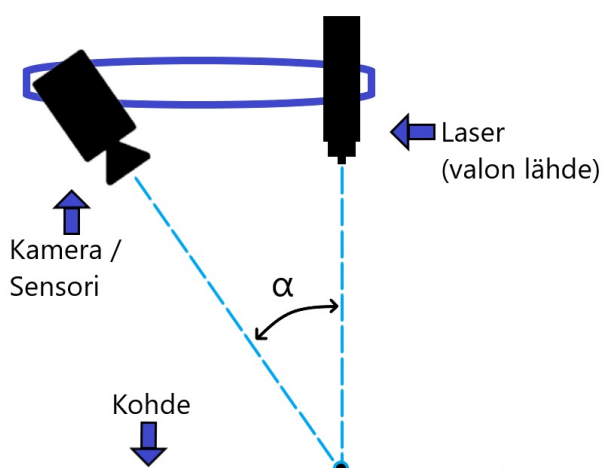
3.2. 3D-laserskannauksen periaatteet

Nykyaikainen laserskanneri toimii joko kolmiomittauksella, vaihe-erolaserilla tai aikaerolaserilla. Vaihe-erolaserskannauksessa heijastetaan lasersäde mitattavaan pintaan ja samanaikaisesti osittain valoa läpäisevällä peilillä takaisin skannerille. Peilistä heijastuvan säteen kulkema matka tiedetään tarkalleen. Näin vertaamalla säteiden välistä vaihe-eroa voidaan laskea mittapisteen etäisyys ja siten tuottaa pistepilvidataa. Menetelmä sopii erityisesti lyhyille etäisyyksille ja monimutkaisten muotojen mittaamiseen. (Keinänen & Järvinen 2014, 169.)

Aikaerolaserskanneri lähettää sädettä tasaisella tai vaihtelevalla aaltomuodolla, ja takaisinheijastuvasta säteestä voidaan heikentyneen aaltomuodon perusteella

laskea aallon kulkema matka ja pisteen etäisyys. Menetelmän mittausräilytetaajuus on huomattavasti hitaampi kuin vaihe-eroskannerissa. Aikaerolaserskannausmenetelmää käyttävät keilaimet ja seuraimet, jotka mittaavat kymmenien metrien tai jopa kilometrien eräisyyksiä. Menetelmä sopii erityisesti pitkiin etäisyyksiin. (Keinänen & Järvinen 2014, 169.)

Laserkolmiomittausmenetelmä hyödyntää laseria (valonlähde) ja kameraa (vastaanotin). Sekä kamera että laser kohdistetaan mitattavaan kohteeseen. Kun vastaanottimen ja valonlähteen välinen kulma tunnetaan, on mahdollista trigonometriaa hyödyntämällä laskea kohteen etäisyys (kuvio 1). (MoviMED 2018.) Tässä työssä raakadatan keräysvaiheessa käytettävä mittaustilaite hyödyntää kolmiomittausmenetelmää.



KUVIO 1. Kolmiomittauksen periaate laserilla. (MoviMED 2018, muokattu)

3.3. Skannaustavat

Skannaustavoista pisteskannausta käytetään yksittäisten kohtien mittaamiseen. Nauhaskannausta käytetään pintojen mallintamiseen. Tasoskannausta voidaan käyttää kappaleen skannaamiseen ilman skannerin liikuttamista. (Keinänen & Järvinen 2014, 171.)

Laservaloa on mahdollista lähettää myös pisteen sijasta tietyssä muodossa ns. strukturoitua valoa hyödyntävässä skannauksessa. Tällä menetelmällä voidaan mitata pintojen muodot paremmin, mutta tekniikka vaatii enemmän käsittelytehoa

laitteistolta kuin perinteisempi pistemuotoisen skannerin käyttö. Laserskannereilla on nykyään mahdollista myös tunnistaa pintojen värejä mittaamalla heijastuvan valon aallonpituuden muutosta. (Keinänen & Järvinen 2014, 170.)

Skannerin kiinnityspiste voi olla liikkuva tai kiinteä. Monimutkaisia ja tarkkuutta vaativia muotoja mitattaessa lyhyeltä etäisyydeltä skanneri on syytä kiinnittää käsisivarteen, joka voi olla ihmisen ohjaama tai automatisoitu. Tämä mahdollistaa tarkan mittauksen monelta eri suunnalta. (Keinänen & Järvinen 2014, 171) Tässä työssä käytetään datan keräyksessä ns. handheld-skanneria, mikä tarkoittaa ihmisen kädessä liikuttamaa skanneria.

Eräs yleinen skannerityyppi on keilain, mikä asennetaan telineeseen. Keilainta voidaan käyttää esimerkiksi rakennus- tai tuotantoympäristön pintojen mallinnuksessa tai konenäköä hyödyntävissä valvontatehtävissä (Edl, Mizerák & Trojan 2018, 2-4). Laserskanneri voidaan kiinnittää myös maalla, vedellä tai ilmassa liikkuvaan ajoneuvoon ja tekniikkaa voidaankin hyödyntää esimerkiksi henkilöauton turvallisuusvarusteena (Luminar Technologies 2022).

3.4. 3D-laserskannatun datan hyödyntäminen

3.4.1 Laserskannatun datan laatu

Laserskannaus tuottaa työvälaineistä ja menetelmästä riippuen, joko 3D-pistepilven tai suoraan kolmiopintaverkotetun pintaverkkomallin. Kolmiopintaverkkomalli on pistepilvidataan perustuva malli, mihin on sovitettu pisteiden välille kolmion muotoisia pintoja, mitkä yhdessä muodostavat kokonaisuuden. (Huang & Nielson 2003, 1.)

Pistepilvidata on määrältään vaihtelevasta, yleensä kuitenkin erittäin suurilukuisesta kolmiulotteisessa XYZ-koordinaatistossa sijaitsevista pisteistä koostuva kokonaisuus. Pistepilvidata on tiettyihin sovelluksiin sellaisenaan käyttökelpoinen. Eräs etu verrattuna pintaverkkomalliin on pistepilvidatan äärimmäinen yksityiskohtaisuus. Pistepilvidatan muuntaminen pintaverkkomalliksi yksinkertaistaa

aina jonkin verran dataa kadottaen osan yksityiskohdista prosessissa. Pistepilvi-dataa sisältävät tiedostot ovat kuitenkin usein varsin suuria ja raskaita käsitellä sellaisenaan. (Mäkeläinen 2022.)

Kolmiopintaverkkomallia pidetään yleisesti sellaisenaan käyttökelpoisempana laserskannatun datan formaattina kuin puhdasta pistepilvidataa. Kolmiopintaverkkomalli (tai pistepilvitiedosto suoraan) jalostetaan usein pintarekonstruktioilla 3D-tilavuusmalliksi tai 3D-pintamalliksi, mikä helpottaa mallin käsittelyä CAD- ja CAE- ohjelmistoissa ja mahdollistaa esimerkiksi kappaleen valmistuksen 3D-tulostuksella. (Mäkeläinen 2022.)

3.4.2 Laserskannauksen käyttötarkoitukset

Laserskannausta voidaan hyödyntää rakennusten ja infrastruktuurin mallintamiseen esimerkiksi vanhojen rakennusten piirustusten laatimiseen tai tiestön suunnitteluun. Esimerkkinä laserskannauksen yleistymisestä viime vuosina rakennusalalla laserskannauspalveluiden kysyntä on kasvanut nopeasti vuosien 2016-2018 aikana. (DJM Design CAD & Coordination 2021.)

Edlin ym. (2018) mukaan takaisinmallinnuksessa skannataan olemassa oleva esine ja luodaan siitä digitaalinen malli. Menetelmää voidaan hyödyntää vanhojen mekaanisten osien uudelleen tuottamiseen. Digitaalisessa mallissa on mahdollista myös muokata esineen ominaisuuksia. Menetelmä sopii hyvin myös herkille ja arvokkaille esineille, joita perinteinen mallintaminen esimerkiksi muottia tekemällä saattaisi vahingoittaa. (Edl ym. 2018, 3.) Lutkevichin (2021) mukaan menetelmä on myös perinteisiin mittausmenetelmiin verrattuna nopeampi ja tarkempi sekä inhimillisiä mittausvirheitä minimoiva ja siten potentiaalisesti kustannustehokas. Takaisinmallinnetut kappaleet on mahdollista valmistaa uudelleen eri valmistusmenetelmillä, esimerkiksi 3D-printtaamalla. Takaisinmallinnukseen liittyy toisaalta myös eettisesti ja lakiteknisesti kyseenalainen väärinkäytön mahdollisuus, mikäli esimerkiksi kopioidaan kilpailevan yrityksen tuotteiden muotoilua ja toiminnallisuuksia. Keskustelu takaisinmallinnuksen eettisyydestä sekä laillisuudesta ja siihen liittyvästä aineettoman omaisuuden hyödyntämisestä on jatkuva prosessi. (Lutkevich 2021.)

Lääketieteen alalla voidaan hyödyntää laserskannausta esimerkiksi ortopedisissä tai hammaslääketieteellisissä sovelluksissa. Menetelmää voidaan käyttää esimerkiksi proteesien ja hammasimplanttien valmistuksessa yksilöille. (Edl ym. 2018, 4.)

Mekaniikka- ja prosessitekniikan suunnittelutehtävissä voidaan laserskannausta hyödyntää ”tuomalla tuotantotila insinöörien luokse”. Tämä tarkoittaa, että suunnittelutyötä tekevä insinööri voi mallintaa suunnittelun tavoitteiden mukaiset muutokset ja lisäykset olemassa oleviin tuotantotiloihin 3D-mallina, mikä selkeyttää suunnitteluprosessia minimoiden virheiden mahdollisuudet. (DJM Design CAD & Coordination 2021.)

3.4.3 Laserskannauksen edut ja heikkoudet

Eräs laserskannauksen eduista on menetelmän tarkkuus. Keinänen ja Järvisen (2014) mukaan menetelmällä voidaan mitata olosuhteista (kuten valo, pintamateriaalit, puhtaus ja lämpötila) ja laitteistosta riippuen kohteen piirteet millimetrin murto-osien tarkkuudella. Skannauksen tarkkuus riippuu laitteiston lisäksi mm. mittausetäisyydestä. (Keinänen & Järvinen 2014, 170.) 1st Horizonin (2018) mukaan menetelmän tarkkuus ja mittausprosessiin liittyvä mitaajan vaikutuksen vähäisyys vähentää inhimillisten virheiden mahdollisuutta. Mittaustyö tehdään menetelmässä myös sellaisille kohteille, joita ei välttämättä ajateltu tarvittavan prosessin alussa, mutta jotka saattavat kuitenkin osoittautua tärkeiksi. Näin menetelmää hyödyntämällä saatetaan säästyä mittaustapahtuman uusimiselta ja säästää aikaresursseja. (1st Horizon 2018).

Laserskannaus on nopea mittausmenetelmä, joten perinteisiin mittaustapoihin verrattuna se mahdollistaa käytetyn työajan vähentämisen. Lisäksi koska mittaus vaatii yleensä tuotantokatkoksen, nopeuden ansiosta myös katkokset lyhenevät (1st Horizon 2018). Edellä mainittujen ominaisuuksien ansiosta mittaustavan mahdollistamat etäisyydet ja kontaktittomuus saattavat tietyissä tapauksissa mahdollistaa myös tuotantokatkosten välttämisen kokonaan. Kun nämä seikat yhdistetään yhä edullisempiin hankintakustannuksiin, laserskannauksella voidaan oletettavasti saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä.

Laserskannausmenetelmä vaikuttaa myös suoraan mittausten tekijöiden työhön. 3D-laserskannaus mahdollistaa tarkan suunnittelutyön insinööriille ilman erillistä käyntiä työkohteessa. Suunnittelutyötä suorittava taho voi saada toisen osapuolen keräämän ja mahdollisesti jalostaman skannausdatan käyttöönsä ja voi luottaa sen tarkkuuteen. (DJM Design CAD & Coordination 2021.)

Laserskannauksella voidaan parantaa mittaustyön aikaista työturvallisuutta. Menetelmän ollessa kontaktiton ja tekniikasta riippuen tarkka myös pitkillä etäisyyksillä, voidaan mittaukset hankalista ja vaarallisista paikoista suorittaa turvallisen etäisyyden päästä. (1st Horizon 2018.)

3D-laserskannauksen haittapuolena voidaan mainita menetelmän kustannukset. Vaikka menetelmään tarvittavat työkalut muuttuvatkin jatkuvasti edullisimmiksi, erityisesti aloitusinvestointi laadukkaaseen kalustoon ja henkilökunnan kouluttamiseen sekä ohjelmistoon on merkittävä. Mittaus voidaan myös ulkoistaa esimerkiksi jonkin insinööritoimiston toteutettavaksi, mutta säännöllisessä käytössä investointi työkaluihin ja koulutukseen saattaa olla kannattavaa. (3Space 2020.)

Mittausmenetelmän hyödyllisyyttä rajoittaa se, että lasersäteiden tuottama data käytännössä vaatii esteettömän näköyhteyden skannerilta kohteeseen. Täten piilossa olevat muodot kuten reiät ja kanavat ovat mahdottomia mitata laserskannaamalla. (3Space 2020.)

Laserskannausta rajoittavat myös mittausympäristöön- ja kohteen optisiin ominaisuuksiin liittyvät seikat. Esimerkiksi heijastavat tai mustat pinnat, kirkas aurin-
gonpaiste tai sumu saattavat heikentää skannatun datan laatua jopa käyttökellottomaksi. (3Space 2020.) Tämän työn raakadatan keräysluvussa tutustutaan edellä mainitun kaltaisiin skannauksen käytännön ongelmiin sekä myöhemmin niistä johtuviin haasteisiin data jalostuksessa.

3.4.4 Ohjelmistot pistepilvidatan ja pintaverkkomallien käsittelyyn

Pistepilvi- ja pintaverkkomallien jatkokäsittelyllä tarkoitetaan datan prosessointia sellaiseen formaattiin, mikä on soveltuva tiettyä käyttötarkoitusta varten.

Useimmiten laserskannatulle datalle suoritetaan pintojen rekonstruktio, jolla saadaan aikaan käyttökelpoinen 3D-tilavuus- tai pintamalli. Lisäksi datasta saatetaan haluta poistaa tai lisätä piirteitä. (Giraudot 2022.)

Laserskannatun datan käsittelyyn tarkoitetut ohjelmistot ovat aikaisemmin olleet tiukasti integroituna mittausvälineisiin, ja siten ohjelmiston valintakriteereistä tärkein on ollut yhteensopivuus. Viime vuosina tapahtuneen laserskannaukseen liittyvän teknologisen murroksen myötä ohjelmiston valinta liittyy yhä enemmän erilaisten skannerityyppien datan käsittelyyn, työnkulun helpottamiseen ja yleisen käyttökokemuksen tehokkuuteen. (Cropp 2021.)

Pistepilvi- ja pintaverkkomallidatan käsittelyyn on olemassa mittava skaala eri valmistajien ohjelmistoja, jotka soveltuvat monenlaisiin käyttötarkoituksiin. Suurin osa ohjelmistoista pystyy käsittelemään sekä pistepilvi- että pintaverkkomalleja. Ohjelmistojen yhteensopivuus eri tiedostoformaattien kanssa vaihtelee, ja osa ohjelmistoista on edelleen suunniteltu toimimaan tietyn valmistajan mittauslaitteiden kanssa integroituna. Osa ohjelmistoista toimii tiettyjen CAD- ja CAE-ohjelmistojen laajenuksena ja tekee siten datan käsittelyprosessista mahdollisesti sujuvampaa. (Cropp 2021.)

4 TAKAISINMALLINNUS

4.1. Takaisinmallinnuksen määritelmä ja käyttötarkoitukset

Tässä työssä suoritettavassa datan keräysosiossa mitataan laserskannerilla esineitä ja kerätyn datan perusteella suoritetaan takaisinmallinnus. Eräs tavoitteisiin liittyvän datan jalostuksen onnistumisen kriteereistä tässä työssä on takaisinmallinnuksen onnistumisen aste.

Edlin ym. (2018) mukaan takaisinmallinnuksella tarkoitetaan kykyyn tuottaa uudelleen olemassa olevan kappaleen muoto (Edl, ym. 2018, 3). Lutkevichin (2021) laajemman määritelmän mukaan takaisinmallinnus tarkoittaa kohteen toiminnallisuuksien ja piirteiden purkamista sen analysointia varten, ja sitä hyödynnetään usein kohteen kopioimiseen tai toimintojen muokkaamiseen. Pelkistetysti voidaan sanoa, että takaisinmallinnuksen tavoite on selvittää, kuinka jokin kohde toimii. Näiden tarkoitusten lisäksi takaisinmallinnusta voidaan hyödyntää myös esimerkiksi opetuskäyttöön tai kohteen kierrättämiseksi uutta käyttötarkoitusta varten. (Lutkevich 2021.)

4.2. Takaisinmallinnusprosessi

Takaisinmallinnusta voidaan hyödyntää lukuisissa eri konteksteissa. Se on yleistä niin ohjelmistosuunnittelussa kuin mekaanisissa sovelluksissa. Riippumatta kontekstista, takaisinmallinnuksen prosessi on perusrakenteeltaan aina sama. Takaisinmallinnusprosessi voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: tiedon kerääminen, mallinnus ja arviointi. (Lutkevich 2021).

Ensimmäisessä vaiheessa kerätään tietoa mallista. Tämä voi tapahtua mekaanisissa sovelluksissa erilaisilla mittausmenetelmillä (etäisyydet, pinnan laatu ym.) ja mahdollisesti purkamalla kohde osiin. Toisessa vaiheessa laaditaan kerätyn informaation pohjalta mallinnus. Mallinnus voi tarkoittaa mitä tahansa käsin piirretystä luonnoksesta tuotetietoja sisältävään 3D-malliin. Kolmannessa vaiheessa arvioidaan mallinnuksen onnistuneisuus vertaamalla sitä alkuperäiseen objektiin. (Lutkevich 2021.)

4.3. Takaisinmallinnus hyödyntäen laserskannattua dataa

Tässä työssä esiteltyjen ominaisuuksien ansiosta modernit laserskannausmenetelmät ja työkalut mahdollistavat fyysisten objektien takaisinmallinnukseen liittyvien tiedonkeruuvaiheiden nopeamman ja tarkemman suorittamisen verrattuna perinteisiin manuaalisiin tiedonkeruumenetelmiin. Laserskannaus ei kuitenkaan nykytekniikalla pysty arvioimaan esimerkiksi kappaleen pinnanlaadun ja materiaalien ominaisuuksia vaan rajoittuu dimensioihin sekä joskus väriominaisuuksiin. Jos siis takaisinmallinnuksen tavoitteena on analysoida myös edellä mainittuja tai muita ominaisuuksia, mitkä eivät ole mitattavissa laserskannauksella, on kyseisten ominaisuuksien osalta mittauksia suoritettava vaihtoehtoisilla menetelmillä.

Takaisinmallinnuksen vaiheet voidaan sovellettuna laserskannaukseen kuvailla seuraavasti: Ensimmäisessä vaiheessa tiedonkeruu toteutetaan laserskannerilla fyysisestä kohteesta. Tuloksena on joko pistepilvidata tai työkaluista riippuen pintaverkkomalli. Tämän työn luvussa 6 Datan keräys suoritetaan nämä toimenpiteet kolmelle kohteelle Handyscan 700-laserskannerilla ja tuloksena saadaan pintaverkkomallin muodossa olevaa raakadataa.

Toisessa vaiheessa mallinnus toteutetaan tiedonkeruuvaiheessa tuotetulle datalle, mistä saadaan tuloksena tavoitteiden mukainen 3D-malli. Tässä työvaiheessa käytetään CAD-ohjelmistoa, ja/tai erityistä pistepilvi- ja pintaverkkomallien jalostukseen tarkoitettua ohjelmistoa. Tässä opinnäytetyössä suoritetaan nämä toimenpiteet käyttämällä SolidWorksiä ja sen pistepilvi- ja pintaverkkomallien prosessointiin tarkoitettua laajennusta ScanTo3D:tä.

Kolmannessa vaiheessa mallinnuksen onnistuneisuus arvioidaan vertaamalla sitä alkuperäisiin fyysisiin kohteisiin. Mikäli mallinnus ei vastaa asetettuja tavoitteita, voidaan prosessi aloittaa alusta skannaamalla kohde uudestaan. Vaihtoehtoisesti mallinnusta voidaan muokata jollakin ohjelmistolla vastaamaan tavoitetta. Tässä opinnäytetyössä datan jalostuksessa suoritetaan joitakin mallia parantelevia toimenpiteitä käyttämällä ScanTo3D:tä. Tässä asiayhteydessä on kuitenkin syytä huomauttaa, että huonon skannausdatan laatua on suhteellisen vaikea parantaa käyttämällä ohjelmistoa.

5 TYÖKALUT DATAN KERÄYKSESSÄ SEKÄ JALOSTUKSESSA

5.1. Työkalut raakadatan keräyksessä

Tämän opinnäytetyön datan keräys -osiossa suoritettavissa mittauksessa käytetään käsikäyttöistä, niin sanottua handheld-3D laserskanneria mallia Handyscan 700. Skanneri on Tampereen ammattikorkeakoulun omistuksessa ja opetuskäytössä. Laite on kanadalaisen Creaformin valmistama ja kuuluu käsikäyttöisten skannereiden edullisempaan Silver-sarjaan, mikä on valmistajan mukaan ammattilaiskäyttöön soveltuva. (Creaform 2021.)

Valmistajan mukaan Handyscan 700 tuottaa tarkkaa ja luotettavaa 3D-skannausdataa riippumatta mittaajan kokemustasosta. Sekä mitattava kappale, että mitausväline voivat liikkua mittaustapahtuman aikana. Laite hyödyntää optisten heijastimien triangulaatiota, eikä tarvitse jalustaa tai muuta ulkoista paikannuslaitetta. Laite on kompakti ja kulkee helposti mukana toimitettavassa salkussa. Lisäksi laite on valmistajan mukaan ergonominen ja tarkka riippumatta kohteen muodon monimutkaisuudesta, väristä ja heijastavuusominaisuuksista. Laserskannerin tallennusformaatit ovat .dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr sekä .3mf. (Creaform 2021.)

5.2. CAE-ohjelmisto datan jalostuksessa

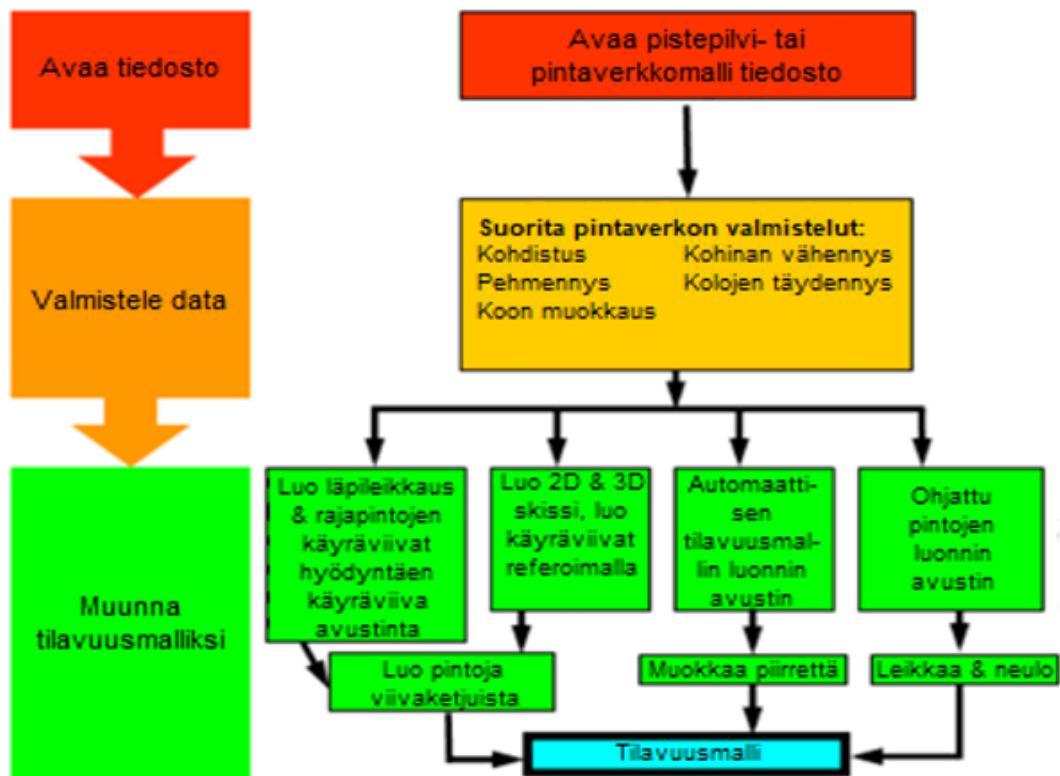
SolidWorks on vuonna 1995 Dassault Systemes:in erityisesti mekaniikkasuunnitteluun tarkoitettu parametrinen CAD/CAE ohjelmisto. SolidWorksilla voidaan toteuttaa pinta- ja tilavuusmallinnuksia. SolidWorks on laajennettavissa runsaalla tarjonnalla lisensseihin sisältyvillä- tai erikseen hankittavilla lisäosilla. (Avia Systems 2017.)

SolidWorks on erittäin laajasti käytössä monilla aloilla eri käyttötarkoituksiin soveltuvien ominaisuuksiensa, suhteellisen edullisen hankintakustannuksen sekä käyttäjäystävällisyytensä takia. (Avia Systems 2017.) SolidWorksin lisäosilla voidaan myös esimerkiksi tehdä sähkösuunnittelua, tuottaa realistisen näköisiä renderöintejä tai tehdä fluidisimulaatioita.

5.3. Datan jalostuksessa käytetty CAE-ohjelmiston lisäosa

SolidWorks ScanTo3D on SolidWorksin Premium- ja Professional-lisensseihin sisältyvä lisäosa, mikä on tarkoitettu 3D-skannatun datan jalostamiseen. ScanTo3D pystyy käsittelemään sekä pistepilvi- että pintaverkkotiedostoja formaateissa .xml, .3ds, .obj, .stl, .ply, .xyz, .asc, .vda sekä .igs. Ohjelmiston valmistajan mukaan ScanTo3D on helppokäyttöinen ja kustannustehokas ohjelmisto, mikä pystyy vastaaviin tuloksiin kuin kalliimmat ja monimutkaisemmat 3D-skannatun datan käsittelyyn tarkoitetut ohjelmistot. (ScanTo3D 2022.)

ScanTo3D:llä pystyy jalostamaan 3D-skannatun datan tilavuusmalliksi. Tilavuusmalleja voidaan hyödyntää lukuisin tavoin esimerkiksi suunnittelu- ja tuotekehitystehtävissä. Kuviossa 2 on esitetty pelkistetty kaavio prosessista, millä saadaan aikaan tilavuusmalli 3D-skannatusta datasta.



KUVIO 2. 3D-skannatun datan jalostus tilavuusmalliksi. (Dassault Systèmes SE. 2021, muokattu.)

Prosessi alkaa avaamalla 3D-skannattu data. Datan on oltava ohjelmiston hyväksymässä pistepilvi- (point cloud) tai pintaverkkomalli-formaatissa (mesh). Datan onnistuneen avaamisen jälkeen suoritetaan pintaverkkomallin valmistelu, mikä voi datan laadusta riippuen sisältää kohdistuksen, mittavirheiden korjaamisen, koon korjaamisen, tasoittamisen ja reikien paikkaamisen. Tämän jälkeen pintaverkkomalli-data muunnetaan tilavuusmalliksi ScanTo3D:n automaattisilla tai manuaalisilla työkaluilla. (Dassault Systèmes SE 2021.)

6 DATAN KERÄYS

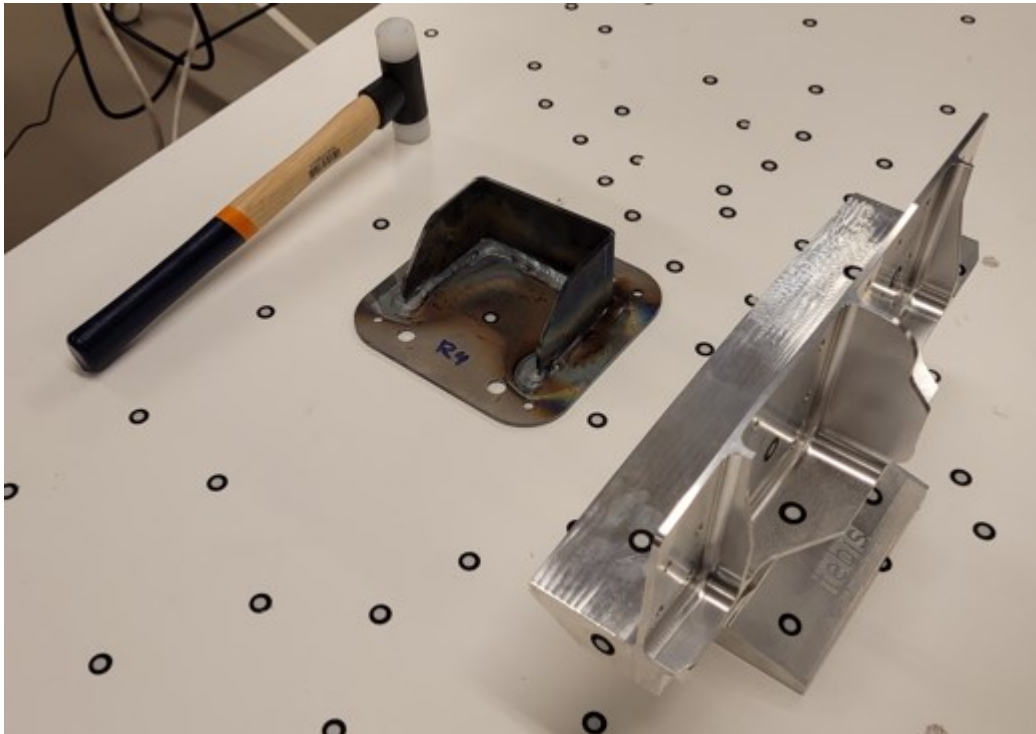
6.1. Valmistelut

Datan keräys suoritettiin Tampereen ammattikorkeakoulun pääkampuksen tiloissa 19.1.2022. Ennen varsinaista datan keräystä eli mittaustapahtumaa, oli tässä työssä suoritettava mittaustapahtuman valmistelut.

Mittaustapahtumat suoritettiin samassa tilassa kaikille esineille. Koska mittaukset suoritettiin sisätiloissa kuivassa, puhtaassa ja lämmitetyssä tilassa samassa keinolaistuksessa kahden tunnin aikaikkunassa, mittaustuloksiin mahdollisesti vaikuttavat tekijät kuten ympäristön lämpötila ja valo-olosuhteet sekä epäpuhtaudet oletetaan kaikissa mittaustapauksissa vakioiksi.

6.1.1 Kappaleiden valinta

Datan keräystä varten valittiin kolme toisistaan geometrian, materiaalien ja värin puolesta erilaista esinettä (kuva 1). Esineet lainattiin Tampereen ammattikorkeakoulun kokoelmasta.



KUVA 1. Datan keräyksessä käytetyt kappaleet.

Esine 1 on pieni kumivasara, missä on erivärisiä maalattuja ja lakattuja pintoja, sekä metalli- ja kumipintaa. Esine 2 on ohutlevy, pintakäsittelemätöntä, mustaa terästä (seos tuntematon), mikä on karkeasti hitsattu vastaavaan teräksiseen pohjalevyyn pienaliitoksella. Kappaleessa on hieman värivaihtelua hitsauksen seurauksena sekä karkeasta hitsausaumasta johtuvaa geometrisesti epäsäännöllistä pintaa. Esine 3 on geometrialtaan muita kappaleita monimutkaisempi alumiininen (seos tuntematon) jyrsimällä koneistettu kappale. Kappale on melko kiiltävä ja koneistusjälkiä lukuun ottamatta pinnaltaan ja väritykseltään yhtenäinen.

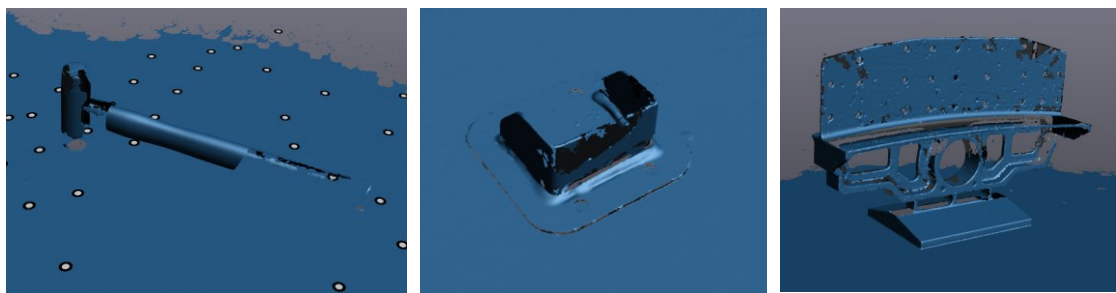
6.1.2 Mittauslaitteen kalibrointi ja mittauskohteiden merkkkaus

Mittauslaite kalibroidiin käyttämällä TAMK:in tiloista löytyvää kalibrointilevyä. Mittausresoluutio säädettiin yhteen millimetriin.

Mittauskohteet merkattiin tarroilla. Mittausalustana käytettiin tähän tarkoitukseen valmiiksi merkattua pöytää. Esineitä ei tarvittu tätä työtä varten skannata pohjasta, joten mittaus voitiin suorittaa pöydällä. Tämän takia myös skannattuun dataan sisältyi pöytä osana kohdetta. Tämän opinnäytetyön datan jalostusvaiheessa käsitellään yhtenä osa-alueena mallien siistimistä ScanTo3D:llä, mikä sisältää pöydän poistamisen datasta.

6.2. Mittaus

Mittaus suoritettiin Creaform:in valmistalla Handyscan 700 käsikäyttöisellä laserskannerilla. Kohteet pidettiin mittauksen aikana paikallaan mittaajan kiertäessä kuvauskohteet ympäri osoittaen skannerilla kohdetta samalla seuraten etäisyysilmaisinta. Mittaustapahtuman tuloksena saatiin kerättyä datan jalostuksessa hyödynnettävää raakadataa, mikä on tässä tapauksessa pistepilven sijasta valmiiksi pintaverkkomalli (kuva 2).



KUVA 2. Mittaustapahtumassa kerätty raakadata eli pintaverkkomallit

Mittausten laadussa havaittiin selkeitä puutteita. Malli 1:n (vasara) kohdalla mustaksi maalatut pinnat jäivät käytännössä kokonaan puuttumaan. Lisäksi vasaran kumiset päät ja mustaksi maalattu metalliosa näkyvät heikosti. Malli 2:n kohdalla vastaavasti erityisesti kappaleen hitsauksessa tummuneet kohdat ovat skannauslaadultaan heikot. Malli 3:n kohdalla (koneistettu alumiini) taas havaittiin heikkoa skannaustulosta erityisesti huoneen loisteputkia kohti suuntautuneista pinnoista, mikä johtuu oletettavasti kappaleen heijastavuudesta.

Vaikka tämän työn aiheena ei ole itse datan keräyksen ja siihen liittyvien välineiden arviointi, on aiheeseen liittyen mainittava, että luvussa 5 esitelyihin Handyscan 700 -laitteen valmistajan tietoihin verrattuna laitteen käsittely koettiin subjektiivisesti hitaaksi ja kömpelöksi. Myöskään skannausten lopputulos ei vastannut valmistajan tietoja, sillä kappaleiden heijastusominaisuudet, väri sekä geometria vaikuttivat selkeästi skannauksen lopputulokseen, vaikka skannausolosuhteet todettiin lähes optimaalisiksi. Tuloksiin saattoi vaikuttaa käyttäjien kokemattomuus vastaavasta handheld-skannauslaitteesta. Kyseisen seikan ei kuitenkaan pitäisi vaikuttaa skannaustulokseen, sillä valmistaja ilmoittaa materiaalisiaan, että laite tuottaa laadukasta skannausdataa riippumatta käyttäjän kokemustasosta (Creaform 2021). Lisäksi datan keräyksen suorittajilla oli merkittävää ammatillista kokemusta muista 3D-skannausmenetelmistä kuten keilauksesta sekä ymmärrystä prosessin periaatteista ja teoriasta, joten täysin kokemattomista henkilöistä ei ollut kyse.

Mittaustulosten puutteista huolimatta ne todettiin tämän työn tarkoitukseen täysin vaatimukset täyttäviksi, koska mittaustulosten laadun korjaus on yksi osa-alue tässä työssä suoritettavaa datan prosessointia. Tässä opinnäytetyössä tullaan

käsittelmään omana osionaan edellä mainittujen puutteiden korjauksessa käytettäviä ScanTo3D:n työkaluja sekä niiden tarkoituksenmukaisuutta.

7 DATAN JALOSTUS

7.1. Tavoitteet ja menetelmät datan jalostuksessa

Kuten mainittu, tämän opinnäytetyön tavoite on selvittää SolidWorks ScanTo3D:n tarkoituksenmukaisuus Tampereen ammattikorkeakoulun opetuskäytössä. Toimeksiantajan kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta ohjelmistoa voidaan arvioida tietyin kriteerein, mitkä otetaan huomioon vaihtelevin painoarvoin arvioitaessa tämän työn tuloksia.

Tärkein arviointikriteereistä on datan jalostusprosessista saatavan lopputuloksen laatu. 3D-skannatun datan kontekstissa siis arvioidaan täyttävätkö prosessin tuloksena saadut mallit asetetut vaatimukset. Edellä mainitun kriteerin täytyminen edes välttävästi on edellytys ohjelmiston käyttöönotolle toimeksiantajalla, mikä tarkoittaa, että jos se jää täyttämättä, muut kriteerit ovat täysin toisarvoisia. Lopputuloksen laatu arvioidaan subjektiivisin kriteerein.

Toinen arviointikriteeri on ohjelmiston käytettävyys. Tämä käsittää seikat kuten minkälainen käyttäjäkokemus on, koetaanko ohjelmiston käyttäminen helpoksi ja minkälaisen hyödyn ohjelmisto tarjoaa opetukseen. Käyttäjäkokemukseen liittyvien tavoitteiden arviointi jää tässä työssä työn laatijoiden subjektiivisen arvioinnin varaan.

Kolmas arviointikriteeri on kustannustehokkuus, mikä täyttyy käytännössä tämän työn toimeksiantajan kohdalla automaattisesti, sillä Tampereen ammattikorkeakoulun SolidWorksin akateemiseen lisenssiin sisältyy ScanTo3D ja näin ollen minkäänlaisia kustannuksia ei synny ohjelmiston hankinnasta. Kustannustehokkuuteen liittyy myös opetuksen resurssien käyttö, mitkä pyritään minimoimaan tekemällä ohjelmistosta pääosin itseopiskeltava tämän työn liitteenä olevan ohjeen avulla.

Tämän työn tavoitteeseen eli ohjelmiston tarkoituksenmukaisuuden selvittämiseen päästään toteuttamalla datan jalostusprosessi kolmella eri raakadatalla. Toiston välttämiseksi tässä työssä esitellään pääasiassa yhtä työestettyä kappa-

letta. Jalostusprosessi toteutetaan seuraamalla ohjelmiston valmistajan tarjoamaa online -käyttöohjetta vaihe vaiheelta hyödyntäen omaa osaamista ja kokemusta aihepiiristä. Tämän työn laatijoilla on kertynyt runsaasti ammattitaitoa CAD-ohjelmistojen (mukaan lukien SolidWorks) sekä 3D-skannatun datan jalostuksessa käytettävien ohjelmistojen ja lisäosien käytöstä, mikä tuo prosessin arviointiin näkemystä.

7.2. Tiedostojen tuontiominaisuudet

SolidWorks ScanTo3D:n tiedostojen tuontiominaisuuksilla voidaan avata skannattu pistepilvi- tai pintaverkkotiedosto tai matematiikkasovelluksen tuottama käyrädata formaateissa .xml, .3ds, .obj, .stl, .ply, .xyz, .asc, .vda ja .igs. (Javelin Technologies Inc 2022; Dassault Systèmes SE 2021.)

Kuten kappaleessa 6 tarkemmin kuvailtiin, tässä työssä datan keräys suoritettiin kolmesta eri esineestä eri formaatteihin. Data tuotiin jalostusta varten SolidWorksiin hyödyntäen ScanTo3D:tä .obj-formaatissa. Kyseinen tiedostomuoto .obj on avoimen lähdekoodin neutraali tekstipohjainen formaatti, mikä toimii yleisesti monissa CAD-ohjelmistoissa ja on siksi hyvin suosittu esimerkiksi suunnittelukäytössä. Formaatti on yksi tunnetuimmista ja toimivimmista tavoista tuoda ja viedä pintaverkkomallidataa suunnitteluohjelmien välillä (Chakravorty 2023). Vaikka formaatti on hyvin toimiva tekstipohjaisen rakenteen vuoksi, kerätystä datasta huomattiin, että haittapuolena on yleensä verrattain suuret tiedostot verrattuna muihin binääripohjaisiin formaatteihin. Tässä tapauksessa esimerkkikappaleiden datan määrä oli kuitenkin hyvin pieni, joten .obj formaatin valinta oli hyvin toimiva ratkaisu.

7.3. Pintaverkkomallin valmistelu

SolidWorks ScanTo3D:n pintaverkkomallin valmistelutyökalut ovat nimeltään pintaverkkomallin valmisteluavustaja (Mesh Prep Wizard) ja pintaverkkomallin muokkaus (Mesh Edit).

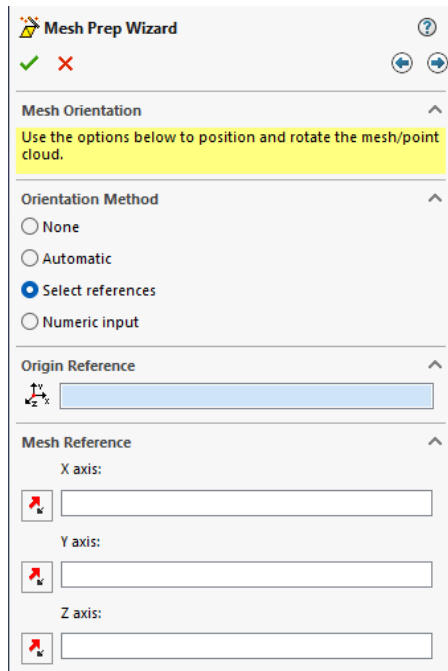
Pintaverkkomallin valmisteluavustajan toimintojen tarkoituksena on antaa käyttäjälle apuvälineitä pintaverkkomallin käsittelyyn liittyviin toimintoihin, joita ovat kappaleen asemointi paikalliskoordinaatistossa, kohinan vähennys, datan siivoaminen, pintaverkkomallin yksinkertaistaminen, särmien pyöristäminen sekä aukkojen paikkaaminen.

Pintaverkkomallin muokkaustoimintojen tarkoituksena on antaa käyttäjälle apuvälineitä toimintoihin, joita ovat pintaverkkomallin siirtäminen ja kopioiminen, kappaleen skaalaaminen sekä poikkeaman luominen.

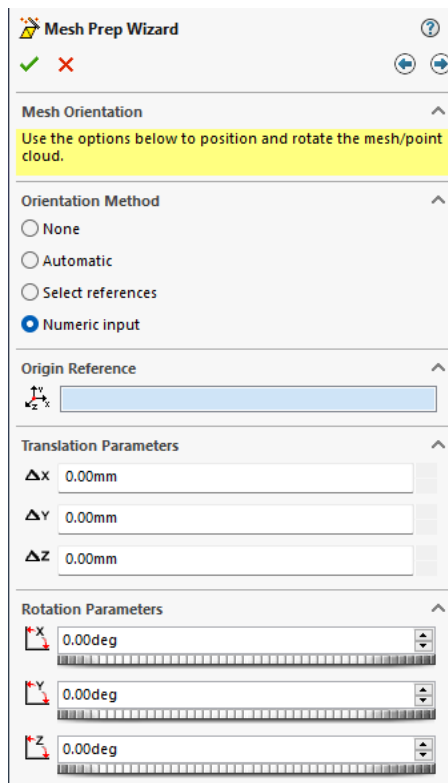
Edellä mainitut toiminnot suoritetaan normaalisti ScanTo3D:n pintaverkkomallin valmisteluavustajan ja pintaverkkomallin muokkaustyökaluilla, pintaverkkomallin esikäsitteilyprosessissa edellä mainitun luettelon mukaisessa järjestyksessä. Tätä työtä tehdessä järjestys todettiin toimivaksi, eikä siitä poikkeamiseen nähty syytä, ellei toisin ole mainittu. Prosessi voidaan suorittaa eri järjestyksessä ohjelmiston käyttäjän toimesta, mikäli se nähdään tarpeelliseksi. On kuitenkin huomattava, että prosessi saattaa tämän takia toimia eri tavalla kuin se on tarkoitettu ja siksi se ei ole ilman hyvää syytä suositeltavaa. Edellä mainittujen työkalujen käyttö käydään läpi vaihe vaiheelta tämän työn liitteessä 1.

7.4. Kappaleen asemointi pintaverkkomallin valmisteluavustajalla

Pintaverkkomallin valmisteluavustajan ensimmäinen toiminto on kappaleen asemointi käyttämällä hyväksi referenssiorigoa. Toiminnosta löytyy vaihtoehtoisia tapoja kolme, joilla voidaan määrittää kappaleelle suunta x,y ja z -akseleiden mukaisiksi. Toiminnot ovat automaattinen, referenssipisteiden valitseminen tai numeerinen syöttö (kuvat 3 ja 4).



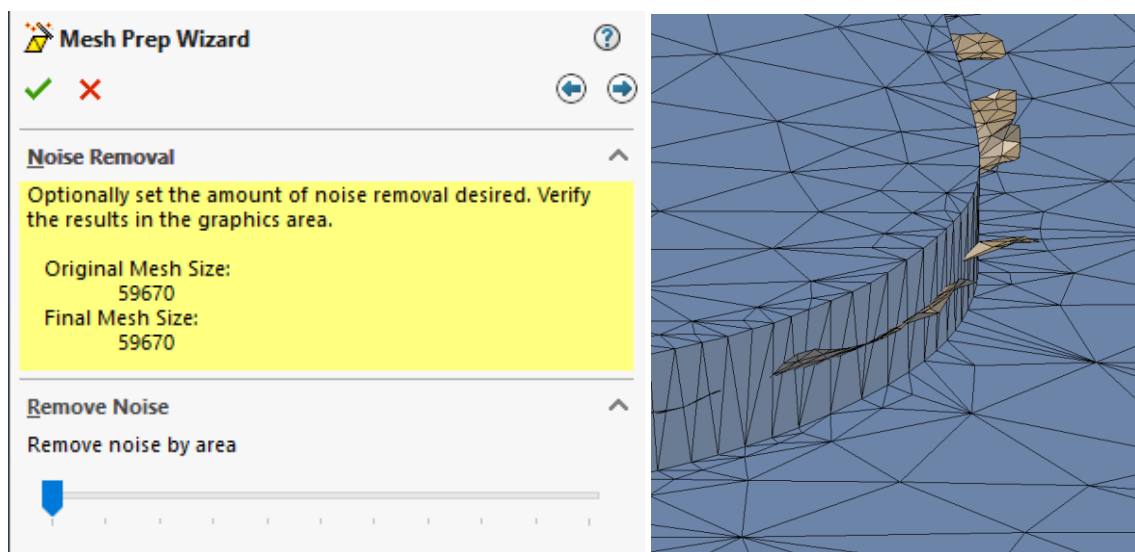
KUVA 3. Kappaleen asemointi referenssipisteiden avulla.



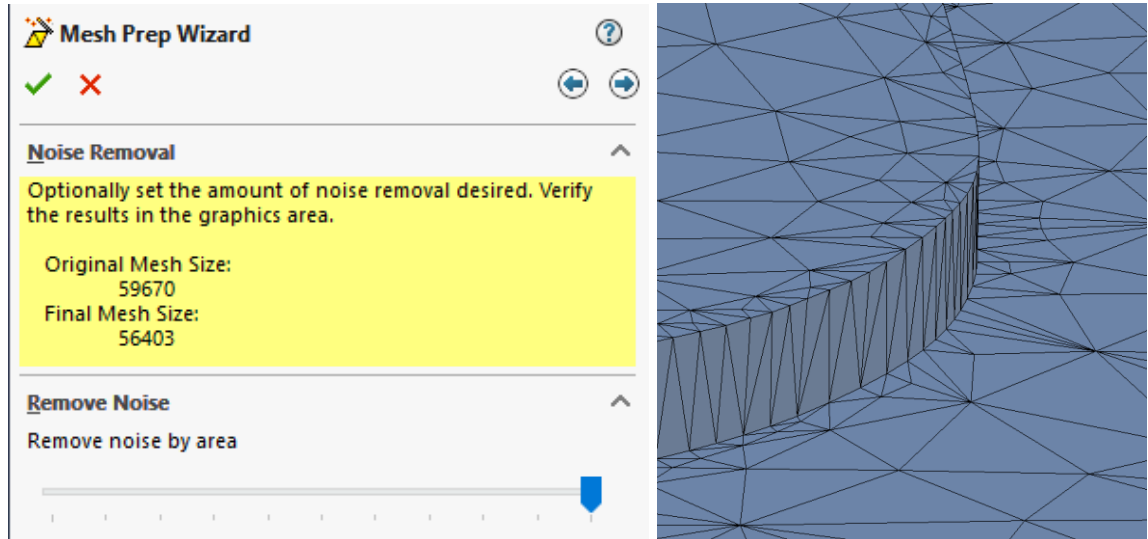
KUVA 4. Kappaleen asemointi numeerisella syötöllä.

7.5. Kohinan vähennys pintaverkkomallin valmisteluavustajalla

Kohinan vähennyksellä (kuva 5) on tarkoitus saada kappaleen raakadatan tuomat virhealueet hävitettyä. Vertaamalla visuaalisesti datan keräyksessä käytettyjä kappaleita ja tämän prosessin tuloksena saatua raakadataa, pystyttiin toteamaan, että yleensä nämä pienet pintaverkkoalueet syntyvät heijastumista tai muista skannaustapahtuman häiriöistä. Edellä mainittu havaittiin kiiltävän alumiinikappaleen skannausdatassa esiintyvistä runsaasta kohinan määrästä verrattuna muihin, vähemmän kiiltäviin esineisiin. Toiminto pyrkii tunnistamaan pieniä pintaverkkoalueita, jotka eivät ole kiinnittäytyneet isompaan kokonaisuuteen. Kohinan poistossa käytössä on vain yleinen liukusäädin (kuva 6), joten toiminto vaikuttaa koko pintaverkkomalliin samanaikaisesti, eikä mahdollisuutta ole kohdistaa toimintoa paikallisesti tiettyyn alueeseen. Kohinan poistossa on syytä olla varovainen, että olennaisia piirteitä ei hävitetä.



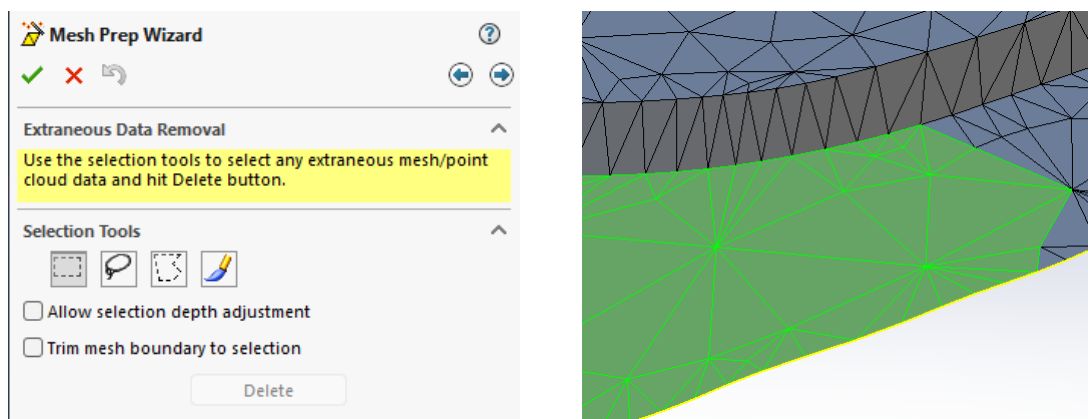
KUVA 5. Kohinan poisto ja toiminnon havaitsemia irtonaisia pintaverkkomallialueita.



KUVA 6. Kohinan poistotoiminnon liikusäätimen asetus ja virhealueiden poisto.

7.6. Ylimääräisen datan siivoaminen pintaverkkomallin valmisteluavustajalla

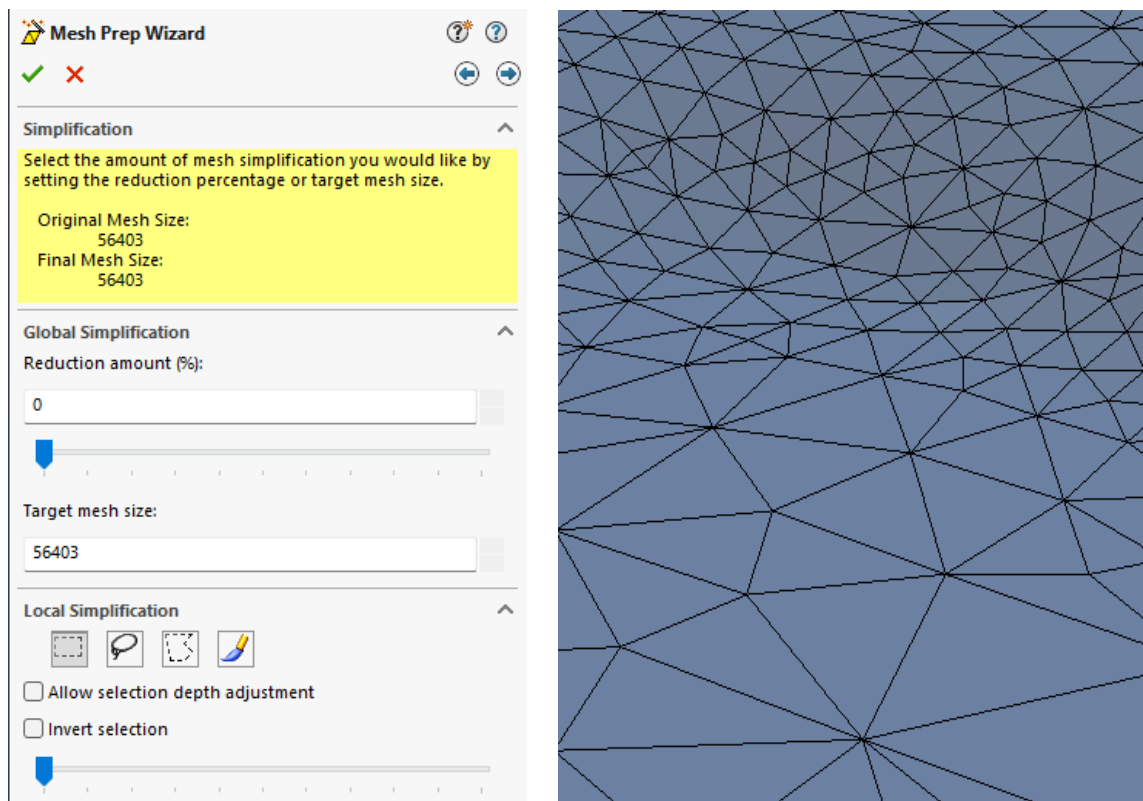
Ylimääräisen datan siivoamisen toiminnolla on tarkoitus saada poistettua kaikki pintaverkkomallin epäolennainen data suunnittelutyön helpottamiseksi. Lähes kaikissa suunnitteluohjelmaan tuoduissa raakadatoissa sisältyy ylimääräisiä skannaustapahtuman tuomia objekteja. Ylimääräistä dataa ei tarvita kappaleen mallinnuksessa. Nämä ovat esimerkiksi skannaustapahtumassa olleen kappaleen kiinnitin tai pöytä, jonka päällä kappale on skannattu. Toiminto antaa erilaisia valintatyökaluja, joilla voidaan valita halutut alueet ja objektit poistamista varten (kuva 7). Kaikki valintatyökalut ovat manuaalisia ja niiden käytössä on syytä noudataa varovaisuutta hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi.



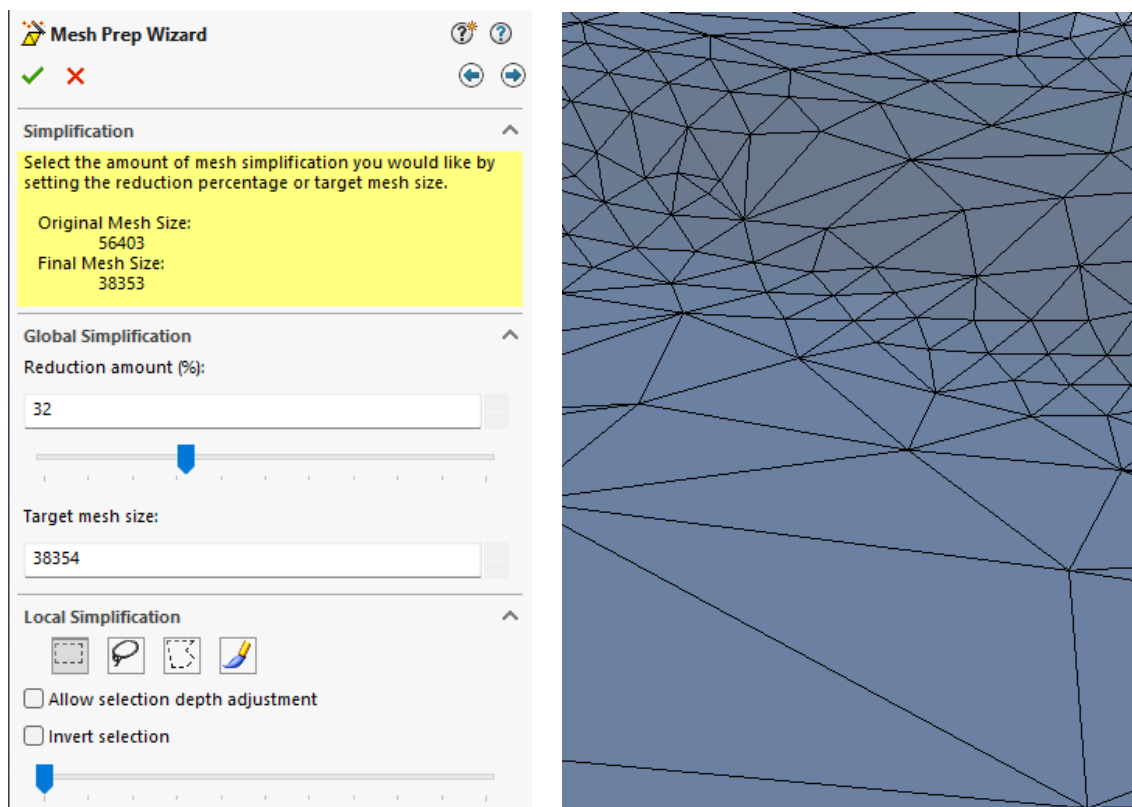
KUVA 7. Ylimääräisen datan siivoamisen valintatyökalut ja alueiden valinta.

7.7. Pintaverkkomallin yksinkertaistaminen pintaverkkomallin valmisteluavustajalla

Pintaverkkomallin yksinkertaistamisen toiminnon tarkoitus on saada pintaverkkomallin geometriasta kevyempi. Toiminto yhdistää pintaverkkomallissa olevia kolmiogeometrioita, jolloin pintaverkkomallin pintojen määrä vähenee ja tiedostokoko pienenee. Toiminnosta löytyy yleinen ja paikallinen yksinkertaistaminen. Yleinen yksinkertaistaminen vaikuttaa koko pintaverkkomalliin samanaikaisesti. Yleisen yksinkertaistamisen lopputuloksen haluttua arvoa voidaan muuttaa prosentuaalisesti tai pintaverkkokolmioiden lukumäärällä. Paikallisessa yksinkertaistamisessa on käytössä samat valintatyökalut, kuin ylimääräisen datan siivoamisessa. Paikallisen yksinkertaistamisen lopputuloksen haluttua arvoa voidaan muuttaa vain prosentuaalisesti (kuva 8 ja 9).



KUVA 8. Esimerkki pintaverkkomallin yksinkertaistamisen lähtötilanteesta.



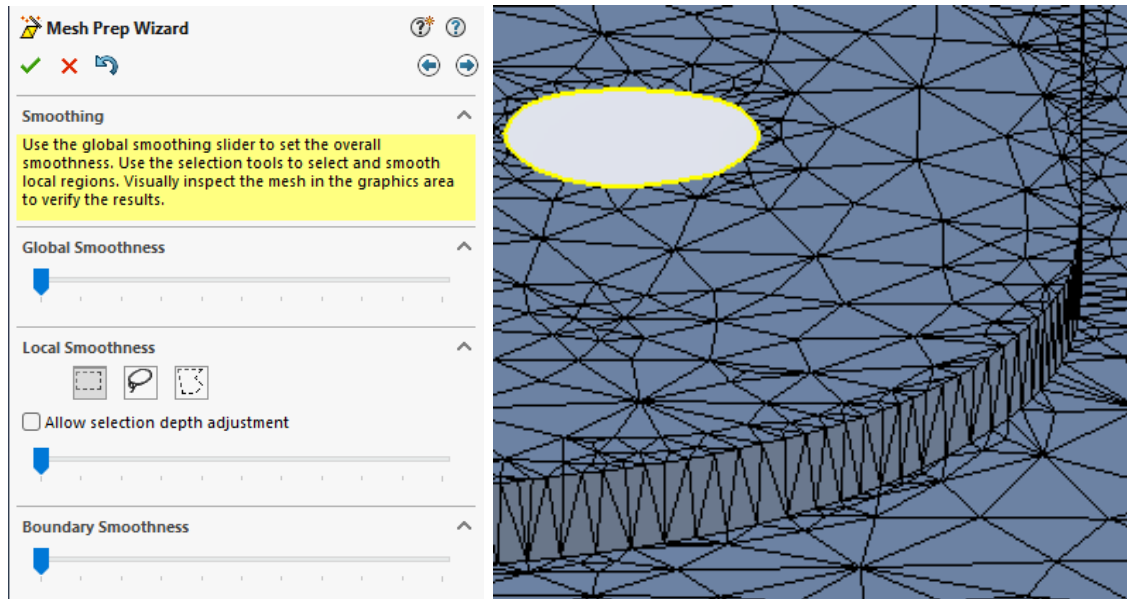
KUVA 9. Esimerkki pintaverkkomallin yksinkertaistamisen lopputuloksesta.

7.8. Särmien pyöristäminen pintaverkkomallin valmisteluavustajalla

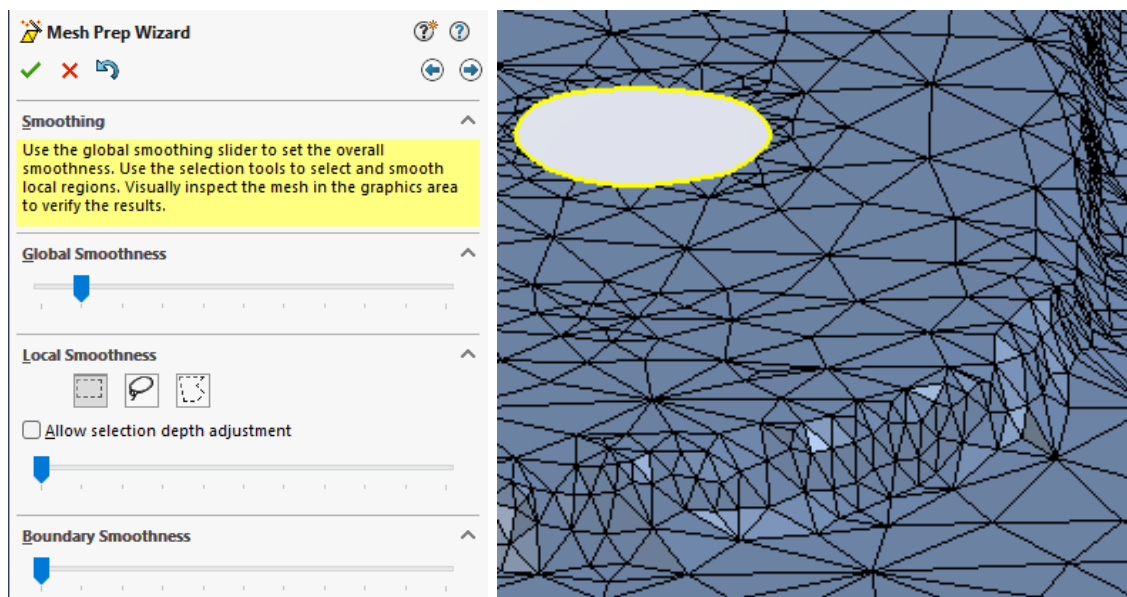
Terävien särmien pyöristämisen toimintoa voidaan kutsua myös nimellä ”pehmentäminen”. Toiminnolla saadaan pyöreiden kappaleiden särmiä pyöristettyä ja lopputuloksesta voidaan saada parempi kokonaisuus.

Toiminnosta löytyy yleinen ja paikallinen pehmentäminen. Yleinen pehmentäminen vaikuttaa koko pintaverkkomallin alueisiin samanaikaisesti ja paikallinen vaihtoehto vain valittuun alueeseen. Yleisen pehmentämisen lopputuloksen haluttua arvoa voidaan muuttaa liukusäätimen avulla, 10:llä eri vahvuusasteilla. Paikallisessa yksinkertaistamisessa on käytössä samat valintatyökalut, kuin aikaisemmissa toiminnoissa. Paikallisen pehmentämisen vahvuuden säätö tapahtuu myös liukusäätimellä, 10:llä eri vahvuusasteilla.

Lisäksi pehmentämistoiminnon viimeisenä liukusäätimenä löytyy reunojen pehmentäminen. Reunojen pehmentämisen avulla saadaan pintaverkkomallin reunaviivojen teräväpiirteisyyttä muutettua kaarevammaksi. Vahvuuden säätö tapahtuu liukusäätimen avulla, 10:llä eri vahvuusasteilla (kuvat 10 ja 11).



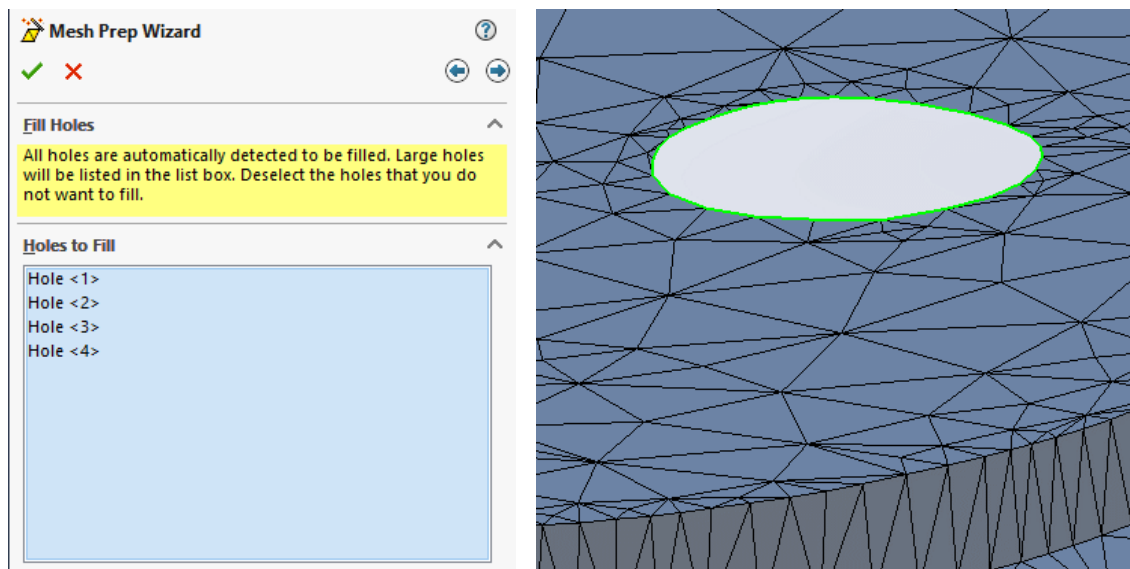
KUVA 10. Esimerkki terävien särmien pyöristämisen lähtötilanteesta.



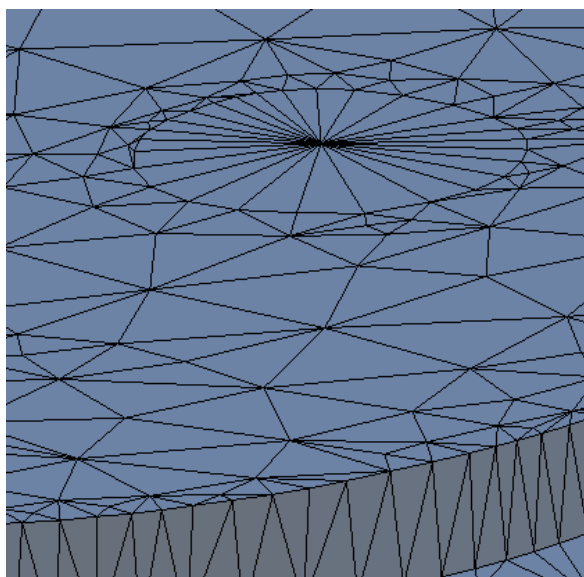
KUVA 11. Esimerkki terävien särmien pyöristämisen lopputuloksesta.

7.9. Aukkojen paikkaaminen pintaverkkomallin valmisteluavustajalla

Aukkojen paikkaamisen toiminnon tarkoitus on täyttää pintaverkkomallista epäkohdat lisäämällä kolmiogeometriaa löytyneisiin aukkoihin. Toiminto havaitsee tasaisilla pinnoilla olevat aukot automaattisesti koko pintaverkkomallista. Listaus täytettävistä aukoista syntyy automaattisesti ja käyttäjä pystyy poistamaan valintoja listasta, mutta ei itse lisäämään aukkoja manuaalisesti (kuvat 12 ja 13).



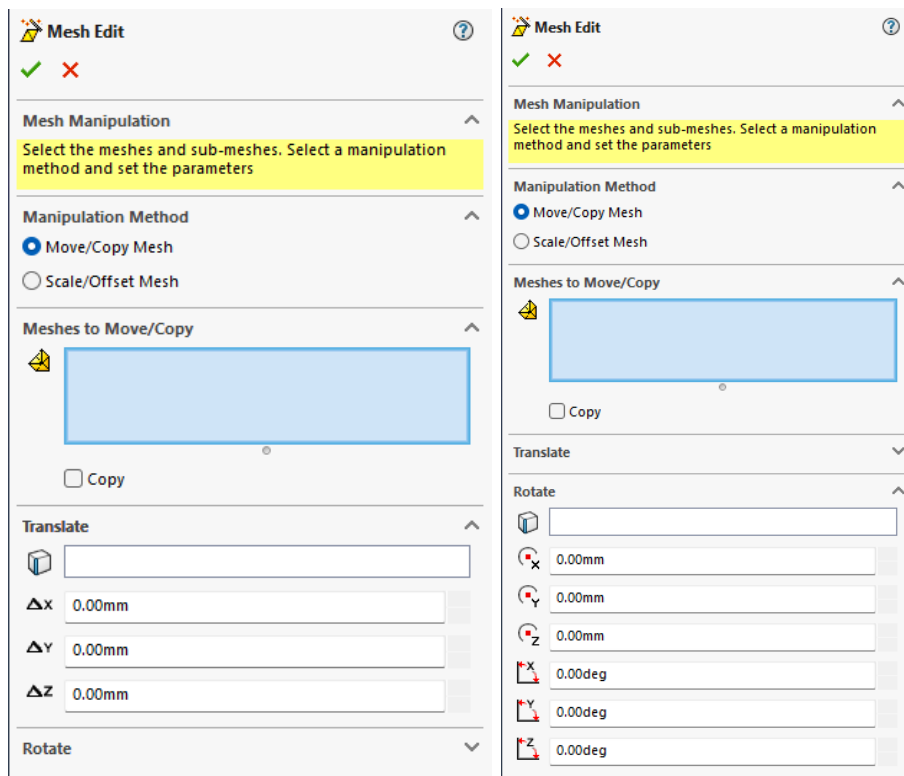
KUVA 12. Aukkojen paikkaamisen toiminnon havaittu reikä.



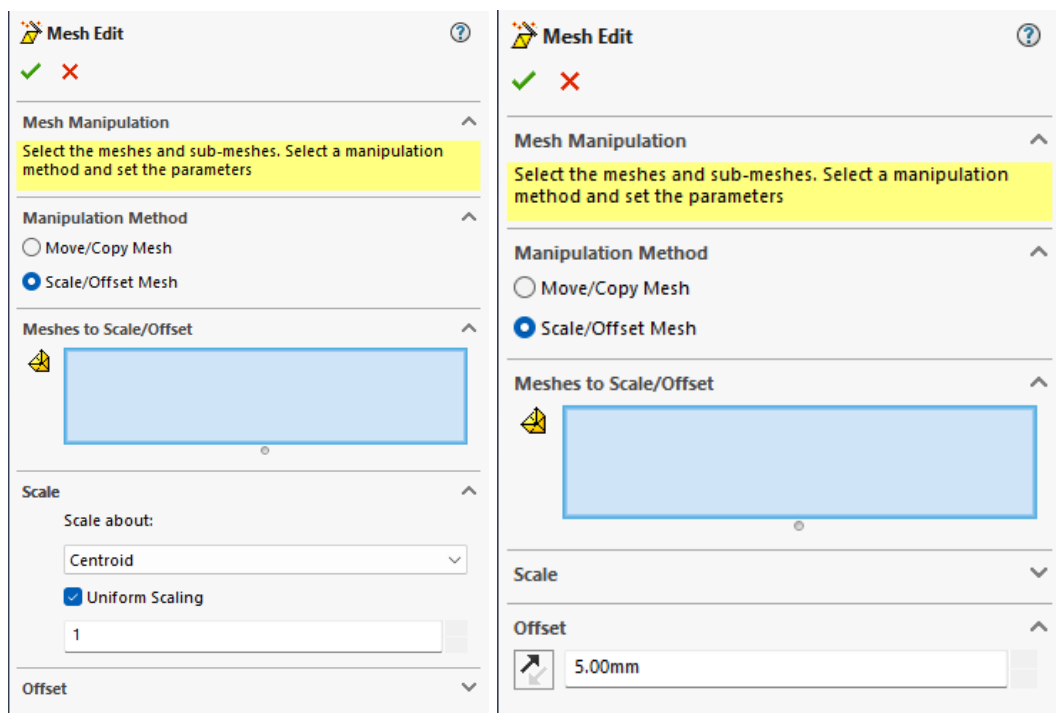
KUVA 13. Aukkojen paikkaamisen toiminnon täytetty reikä.

7.10. Pintaverkkomallin muokkaustyökalu

Pintaverkkomallin muokkaustyökalulla voidaan manipuloida pintaverkkomallia. Toimintoa voidaan käyttää ainoastaan yleisesti vaikuttaen koko pintaverkkomalliin. Manipulointitapoja löytyy kaksi, pintaverkkomallin siirtäminen tai kiertäminen, jolla voidaan myös kopioida koko pintaverkkomalli. Toinen tapa on pintaverkkomallin skaalaaminen tai poikkeaman luominen (kuvat 14 ja 15).



KUVA 14. Siirtämisen ja kiertämisen manipulointitavat.



KUVA 15. Skaalaamisen ja poikkeaman manipulointitavat.

7.11. Datanjalostusprosessi

Datanjalostusprosessi sisältää kaikki työvaiheet skannatusta raakadatatista valmistellun datan ja valmiiksi mallinnetun kappaleen välillä. Datanjalostusprosessit

voivat vaihdella suuresti suunnitteluohjelmasta ja kappaleesta riippuen. Datanjalostusprosessi on siis yksiselitteinen termi, mutta prosessin välivaiheet ja sisältö ovat yleensä erilaiset. Prosessin alku ja loppu ovat kuitenkin samat, mutta kappaleen lopputuloksesta voidaan saada kuitenkin eriarvoinen.

Yleensä datanjalostuksen lopputuloksena on pintaverkkomallista mallinnettu älykäs tilavuusmalli, joka voi sisältää metatietoja kuten materiaalin, värin, pinnanlaadun, painon ja muuta lisäarvoa antavaa informaatiota. On myös huomattava, että tietyissä formaateissa myös pintaverkkomalli tai pintamalli voi sisältää metadatta. Esimerkiksi tässä työssä käytetty .obj -pintaverkkomallin tiedostomuoto voi sisältää väriin ja pinnanlaatuun liittyviä tietoja (Chakravorty 2023.), vaikka työssä käytetty skanneri ei niitä pystykään keräämään.

Metatietoja voidaan myös joissain sovelluksissa määrittää käyttäjän toimesta pintaverkko- tai pintamallille manuaalisesti. Näissä tapauksissa tiedot kerätään esimerkiksi aistihavainnoilla tai muilla mittausmenetelmillä kuten kappaleen massan tapauksessa punnitsemalla. Tällöin kuitenkin kappaletta muokattaessa ohjelmistossa kyseiset käyttäjän määrittämät metatiedot eivät muutu. Suuri osa olennaisista metatiedoista vaatii toimiakseen mallin tilavuustiedon, mistä materiaalin tiheyden kautta saadaan laskettua monia esimerkiksi suunnittelussa ja lujuuslaskennassa olennaisia kappaleen ominaisuuksia.

7.11.1 Kolme prosessia skannatun datan jalostukseen

SolidWorks ScanTo3D:ssä voidaan käyttää kolmea toisistaan eroavaa työtapaa skannatun datan jatkojalostuksessa ennen kappaleen muuntamista pintamalliksi tai tilavuusmalliksi: Automaattista, manuaalista, tai puoliautomaattista menetelmää. Menetelmä tulisi valita ennen työskentelyn aloittamista tai viimeistään pintaverkkomallin valmistelun jälkeen.

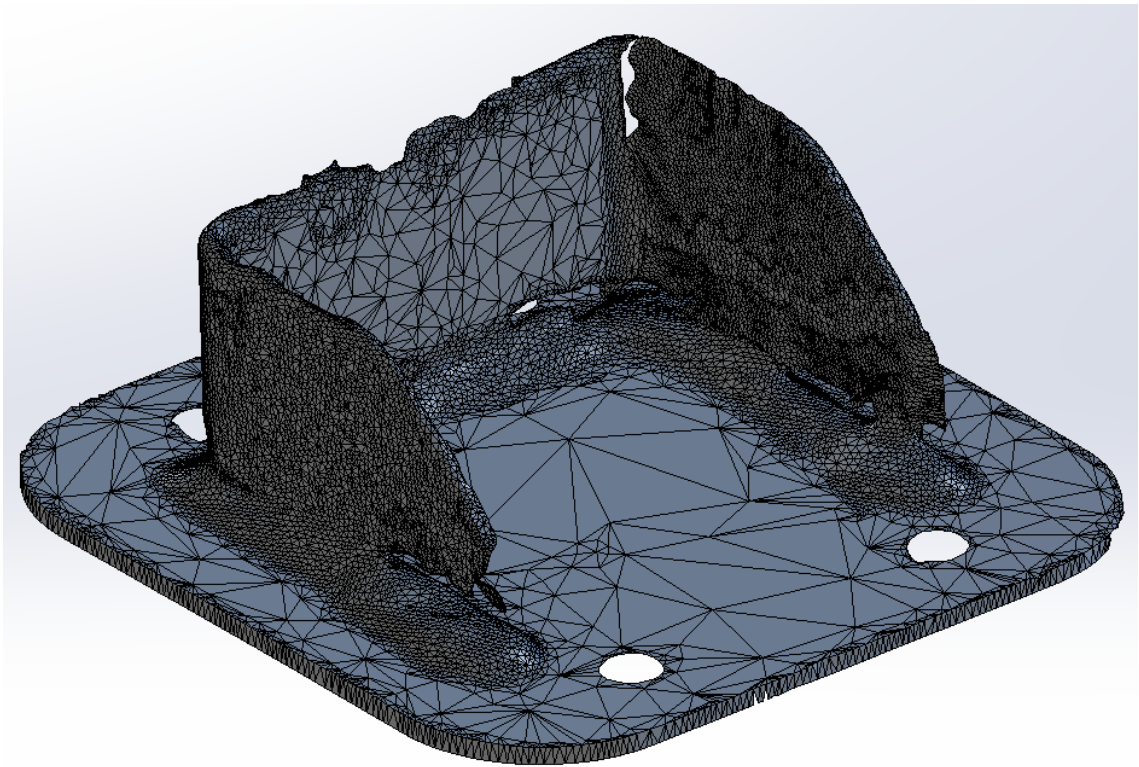
Puolimanuaalinen (Suora pintaverkkoihin viittaus) menetelmä sopii erityisesti monimutkaisen geometrian omaaville skannausdatoille. Yksinkertaisempien geometrioiden käsittelyyn puoliautomaattinen prosessi sopii hyvin (Dassault Systèmes SE 2021.). Lisäksi prosessi voidaan suorittaa täysin manuaalisesti

hyödyntäen pintaverkkomallia referenssinä piirtämällä SolidWorksin skissityökalulla (sketch tool) mahdollisimman tarkasti pintaverkkomallin mukaisia muotoja ja muodostamalla näistä pinta- tai tilavuusmalli. Edellä mainittu menetelmä sopii hitautensa ja epätarkkuutensa takia vain yksinkertaisille geometrioille, minkä skannaus on jostain syystä pahasti epäonnistunut tai jos geometriaa halutaan käyttää vain suuntaa antavana referenssinä, eikä mahdollisimman tarkka takaisinmallinnus ole työn tavoitteena. Edellisessä luvussa käsitellyt skannatun raakadatan valmistelun työvaiheet ovat samat (joskin kappaleesta ja työn tavoitteista riippuen laadullisesti vaihtelevat) kaikille edellä mainitulle työtavalle ja ne suoritetaan aina ennen etenemistä prosessissa seuraavaan valittuun menetelmään. Seuraavissa luvuissa käydään läpi menetelmien työvaiheet. Tarkka, vaihe vaiheelta käsitelty puoliautomaattinen prosessi kuvataan tämän työn liitteessä 1.

7.11.2 Puolimanuaalinen menetelmä

Puolimanuaalinen ScanTo3D:n datanjalostusprosessi on suora tapa referoida ja hyödyntää pintaverkkomallin pintoja, minkä lopputuloksena on tavoitteesta riippuen pintamalli tai tilavuusmalli. Prosessin aikana käytetään ScanTo3D:n ja SolidWorksin perustyökaluja. Lähtökohtana on valmisteltu pintaverkkomalli, josta tavoite on tässä työssä luoda metadataa sisältävä tilavuusmalli. Tässä työssä sama prosessi toistettiin kolmelle luvussa 6 esitellylle kappaleelle. Seuraavissa työvaiheiden kuvauksissa käsitellään kuitenkin pääasiassa vain yhtä kappaletta toiston välttämiseksi. Lisäksi kahden muun mittauskohteen kohdalla skannauksen raakadata oli laadullisesti niin huonoa, että niiden korjaaminen olisi vaatinut erittäin työlästä manuaalisten SolidWorksin perustyökalujen käyttöä, eikä siten olisi ollut tarkoituksenmukaista tämän työn tavoitteiden sekä laatijoiden käytettävissä olevien aikaresurssien puitteissa.

Parhaankin mittauskohteen tapauksessa lähtökohtana on suhteellisen epäonnistunut datankeräys, mitä ei datan esivalmistelussa saatu merkittävästi korjattua. Ensimmäisenä tehtävänä puolimanuaalisessa datanjalostusprosessissa on tarkastella kappaletta ja tunnistaa, mitä osia tai alueita voidaan hyödyntää skissausvaiheessa (kuva 16).



KUVA 16. Esimerkkikappale valmiina datanjalostukseen.

7.11.3 Skissausvaihe

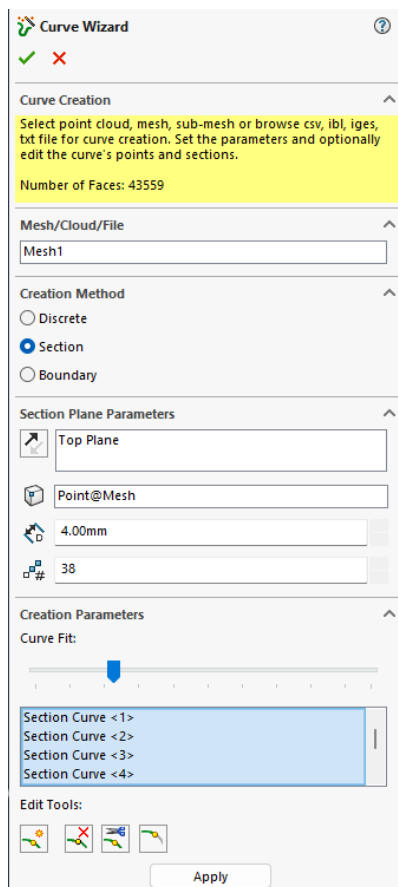
Skissausvaihe (sketch) sisältää kaikki viivageometrian luomisen vaiheet, joka sisältää tasojen luomista, sekä tasolle viivageometrioiden muodostamista. Lähtötilanteessa tarkoitus on luoda leikkaavia skissitasoja kappaleen läpi, joihin referoidaan pintaverkkomallin rajoja. Tämä toiminto sopii erityisen hyvin monimutkaisille ja muuttuville geometrioille.

Tarvittaessa tehdään myös skissitasoja, johon referoidaan kappaleen reunojen rajaviivoja. Tämä sopii erittäin hyvin suorille levypinnoille, josta voidaan referoida levypinnan ääriajat, jonka avulla pintatason (surface plane) luonti onnistuu helposti.

Skissitasojen tarvittava määrä riippuu täysin siitä, kuinka monimutkainen kappaleen geometria on ja kuinka tarkasti mallinnus halutaan toteuttaa. Yleensä kappaleen geometrian muutoskohdissa olisi syytä tehdä skissitasoja tiheämmin ja useammin, kuin esimerkiksi suorilla pinnoilla. Näin ollen saadaan geometrian

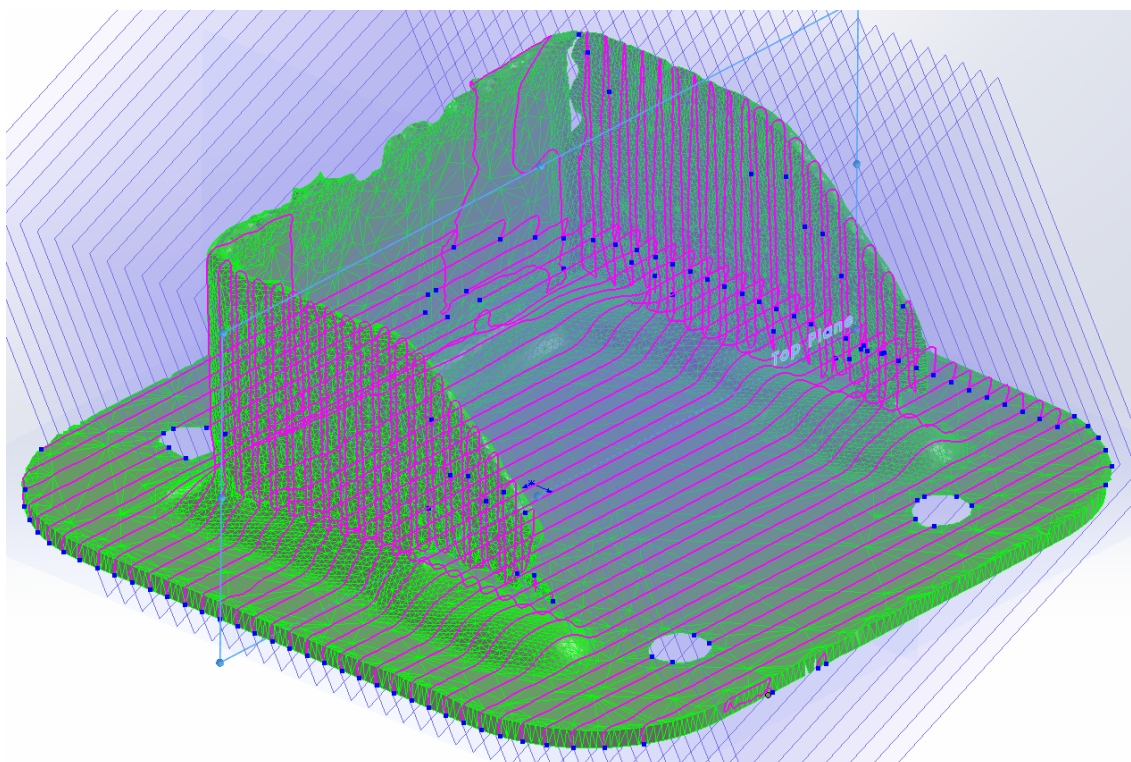
muutokset mahdollisimman tarkasti jatkojalostettua. Vaihtoehtona tällaisessa tapauksessa on käyttää harvempaa skissitasojen tiheyttä, mutta silloin menetetään osa mallin yksityiskohdista. Skissausvaiheessa voidaan tehdä leikkaavat tasot ja referoidut viivageometriat kahdella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on käyttää Solidworksin perustyökaluihin kuuluvaa referenssigeometriatasotyökalua (Reference Geometry Plane). Luoduille tasoille voidaan tehdä skissitaso, johon referoidaan viivageometriaa. Toinen lähestymistapa on käyttää ScanTo3D:n Viivageometria-avustajatyökalua (Curve Wizard), joka luo tasot ja viivageometriat referoituna puoliautomaattisesti. Tässä työssä luvussa 7 määriteltyjen rajausten mukaisesti keskitymme hyödyntämään ScanTo3D:n sisältyvää viivageometria-avustajatyökalua.

Leikkaavien tasojen toiminnon parametriarvoihin asetettiin 38 kappaletta tasoja ja toisto 4 mm välein (kuva 17). Tällä saatiin mahdollisimman tiheä viivageometria, jotta lopputulos tulisi olemaan hyvin tarkka, joka vastaisi pintaverkkomallin geometriaa.



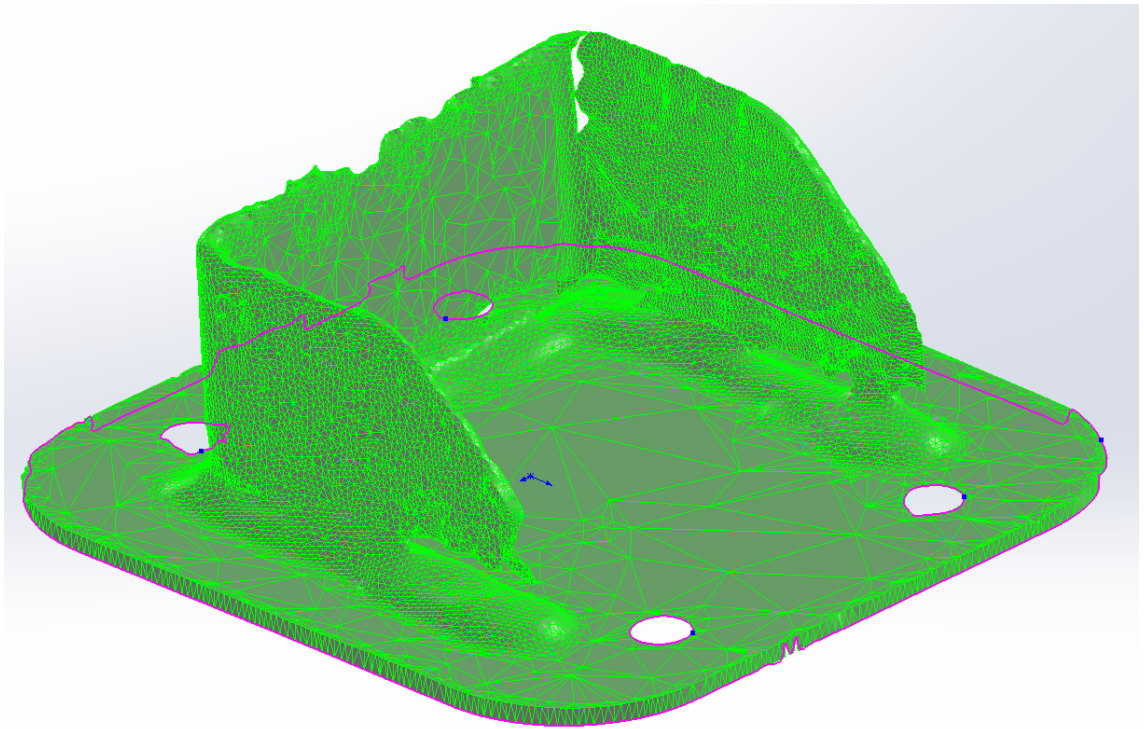
KUVA 17. Viivageometria-avustajatyökalun käytetyt parametriarvot.

Raakadatasta esivalmistellussa mallissa on auknomaisia ongelmakohtia (kuva 18), jotka ovat peräisin skannausvaiheessa eli raakadatan keräyksessä syntyneistä puutteista. Tämä luo paljon korjattavaa, mikä on manuaalista lisätyötä. Jokainen virheellinen aukko joudutaan korjaamaan manuaalisesti viivaketjuja muokkaamalla. Viivageometria-avustajatyökalu luo mallipuurakenteeseen yhden 3D skissitason, joka sisältää kaikki viivageometriat. Viivageometriaa pääsee muokkaamaan 3D skissitason kautta. Parametriarvoihin suositellaan käyttämään mahdollisimman montaa tasoa ja tiheämpää tasojen väliä, koska käyttämättömäksi jääneitä viivageometrioita on helppo poistaa myös jälkeinpäin.



KUVA 18. Viivageometria referoituna leikkaaville tasoille.

Kappaleen geometria sisältää myös suoran levypinnan, joten levyn ääri rajojen viivageometriaa kannattaa hyödyntää. Tähän sopii kuvassa 19 käytetty toiminto, kappaleen reunaviivoista referointi.

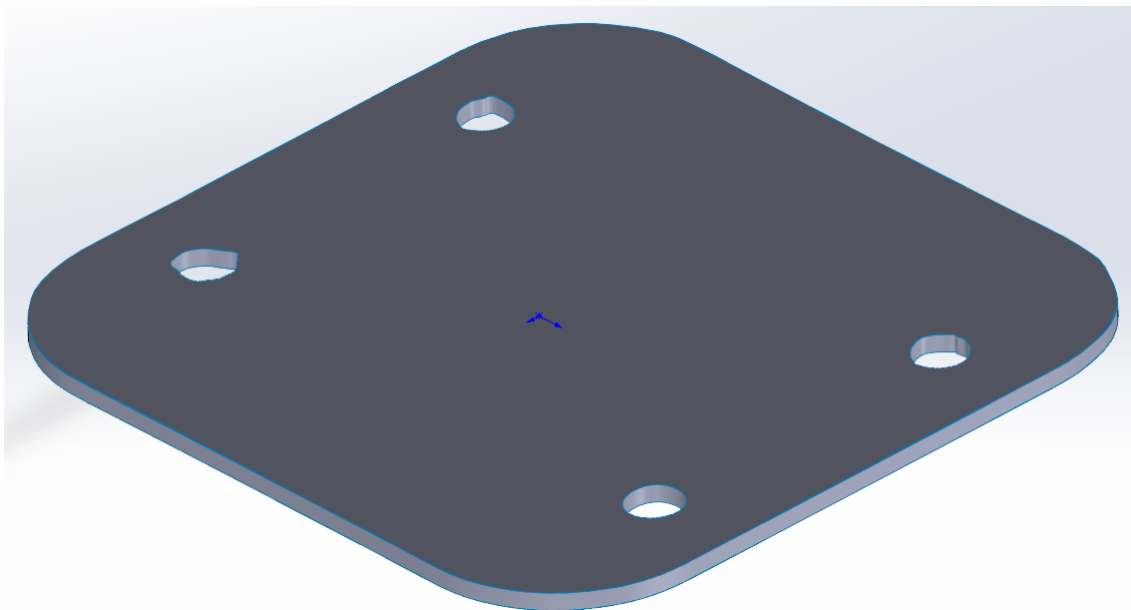


KUVA 19. Levypinnan reunaviivojen referointi viivageometriaksi.

7.11.4 Pintamallinnus- ja tilavuusmallivaihe

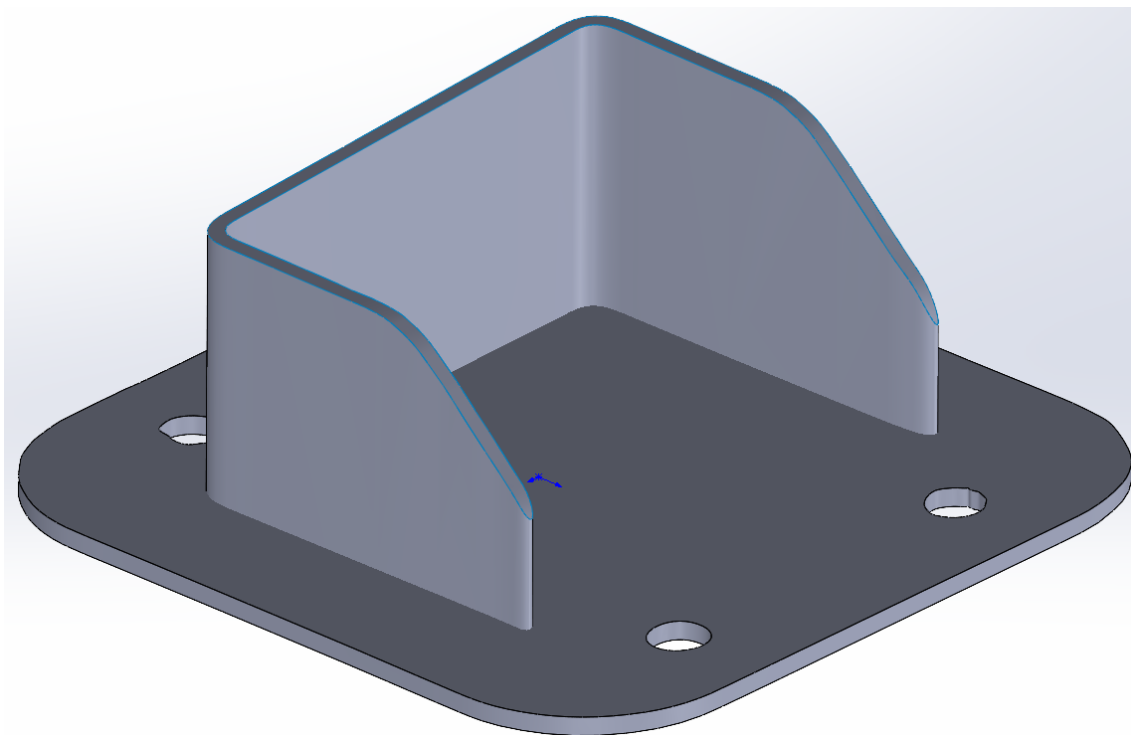
Pintamallinnusvaihe sisältää kaikki mallinnuksen vaiheet, joka sisältää kuorimallin muodostamisen. Tämä edellyttää edellisen skissivaiheen suorittamista, koska pintamallin pinnat luodaan skissitasoilla olevista viivaketjuista. Tässä työssä ei käydä yksityiskohtaisesti läpi SolidWorksiin kuuluvia pintamallityökalun (surface) toimintoja ja miten pintamallin pintoja luodaan luvussa 7 määriteltyjen työn rajoitusten mukaisesti, koska kyseiset työkalut kuuluvat SolidWorksin perustyökaluihin.

Pintamallin luominen voidaan suorittaa monella tavalla ja eri järjestyksissä. Tässä työssä aloitimme pintamallin luomisen suorasta levypinnasta kyseisen osan geometrian yksinkertaisuuden vuoksi sekä luodaksemme loogisella tavalla pohjan mallille (kuva 20).



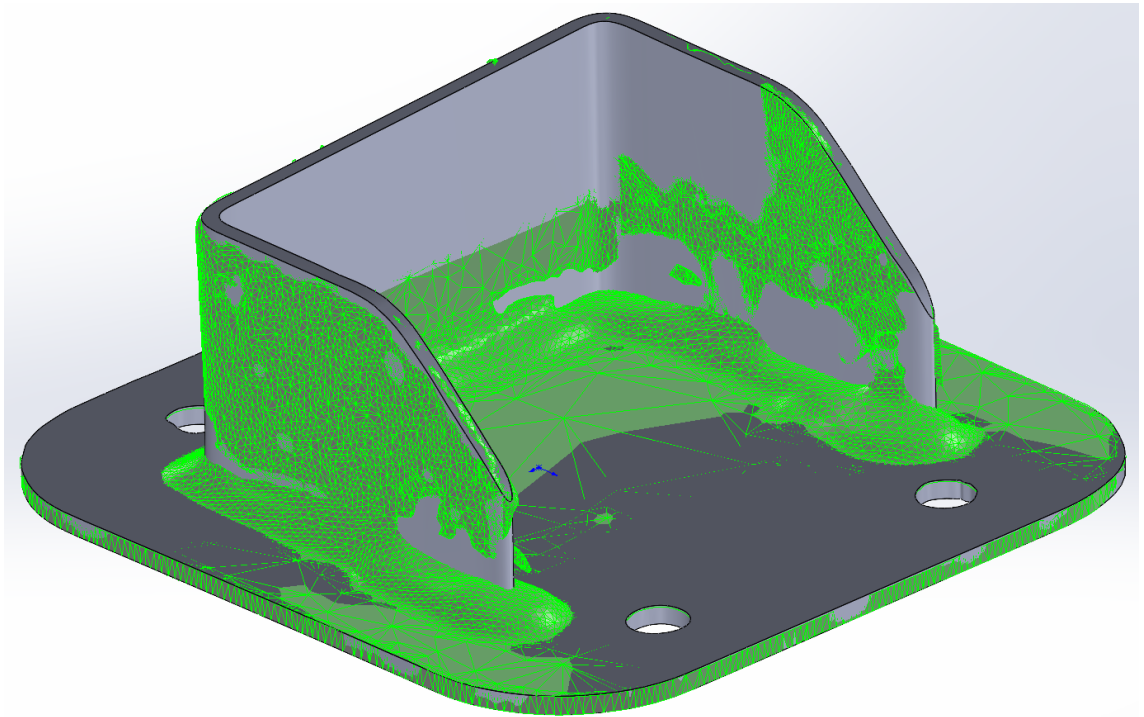
KUVA 20. Vaakalevy mallinnettu pintamalliksi.

Kappaleen pystysuoran taivutetun levyn pintamalli (kuva 21) luotiin samalla tavalla hyödyntäen leikkaavia skissitasoja sekä reunaviivojen referointia viiva-geometria-avustajatyökalun avulla. Reunojen 45 asteen viisteet leikattiin luomalla taso kappaleen kylkeen ja referoimalla pintaverkkomallin rajoja.



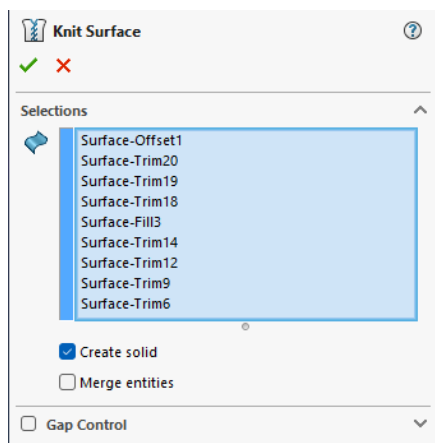
KUVA 21. Pystylevy mallinnettu pintamalliksi.

Pintaverkkomallia ja sen pohjalta luotua pintamallia voidaan verrata päällekkäin (kuva 22). Tässä tapauksessa hitsaussaumot päätettiin jättää mallintamatta niiden geometrisen monimutkaisuuden ja siitä johtuvan vaikeuden takia. Lisäksi hitsaussaumoja ei koettu esineen toiminnan kannalta oleelliseksi. Mainittakoon, että hitsaussaamaa vastaavaa geometriaa voi toteuttaa SolidWorksissa useilla eri tavoilla hyödyntämällä perustyökaluja. Muilta osin mallinnuksessa saatiin korjattua raakadatan laadun puutteista johtuva mallin aukkoisuus.



KUVA 22. Pintaverkkomallin ja pintamallin vertailu.

Lopuksi pintamallin särmäreunat yhdistetään SolidWorksin pintamallinnustyökaluista (surface) löytyvällä pinnanyhdistämistoiminnolla (knit surface) (kuva 23). Toiminnossa valitaan kaikki pinnat ja valitaan "luo tilavuusmalli" (Create Solid), jolla saadaan pintamallista luotua tilavuusmalli. Särmien on oltava riittävän lähellä toisiaan (1mm), että työkalu toimii. Särmiä on mahdollista korjata lähemmäs, mikäli edellä mainittuja puutteita löytyy pintamallista. Prosessin lopputuloksena on solidi- eli tilavuusmalli.



KUVA 23. Pinnanyhdistämistoiminto.

8 TULOKSET

8.1. Tulosten jäsentely

Tässä osiossa esitellään työn tulokset sekä havainnot. Tuloksia verrataan luvussa 7 esiteltyihin työn tavoitteisiin. Tämän työn tavoitteissa määritellyt kriteerit ovat luonteeltaan sellaisia, mitä on mahdotonta objektiivisesti mitata. Tämän takia kerätyt tulokset perustuvat tämän työn laatijoiden subjektiivisiin kokemuksiin.

Seuraavissa luvuissa arvioidaan ScanTo3D:n työkalut samassa järjestyksessä, kuin ne on luvussa 7 esitelty. Arviointikriteerit pohjautuvat pääosin toimeksiantajan tarpeiden ja tämän työn tavoitteiden mukaisesti. Edellä mainittujen lisäksi työkaluista annetaan yleisiä huomioita niiltä osin kuin tämän työn laatijat ovat tarpeelliseksi nähneet.

8.2. Kappaleen asemointityökalun arviointi

Pintaverkkomallin valmisteluavustajan asemointityökalut todettiin tarkoituksenmukaiseksi. Kuten tässä työssä aiemmin mainittiin, työkaluilla voidaan määrittää kappaleen asemointi hyödyntämällä referenssiorigoa. Referenssipisteiden perusteella asemointi toimi hyvin, mutta tulos on kappaleen geometriasta riippuen suurpiirteinen.

Numeerisella syötöllä toteutettu kappaleen orientointi on tarkka tapa, mutta vaatii joko runsaasti aikaa ja kokeilua, että sopivat numeeriset arvot löytyvät. Tämän takia absoluuttinen tarkkuus saavutetaan vain käyttämällä ennalta tunnettua dataa oikeista arvoista.

8.3. Kohinanvähennystyökalun arviointi

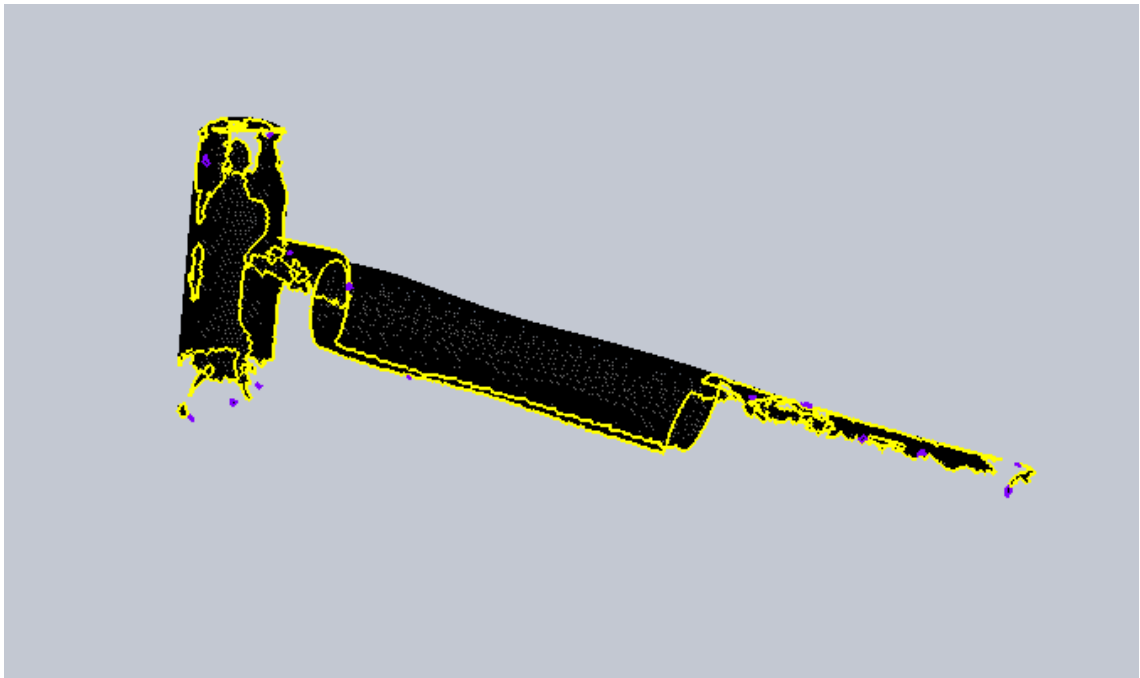
Kohinan vähennyksellä on tarkoitus saada kappaleen raakadatan tuomat virhealueet hävitettyä. Työkalua on syytä käyttää varoen erityisesti heikomman raakadatan tapauksessa. Esimerkiksi vasaralle suoritettussa kohinan poistossa onnistuttiin tätä työtä tehdessä hävittämään mittauskohde kokonaan pelkän skannausalustan pintaverkon jäädessä malliin. Tämän tulkittiin johtuvan siitä, että

työssä käytetyllä skannerilla oli vaikeuksia saada esineen mustista pinnoista dataa ja kappale oli skannausalustaan kosketuksissa juuri edellä mainituilla mustilla osilla. Näin ollen koko skannattu kappale näyttäytyy irrallisena suurimmasta osasta dataa ja tulkitaan kohinana, kun kohinan poisto on säädetty suurelle asetukselle (kuva 24).



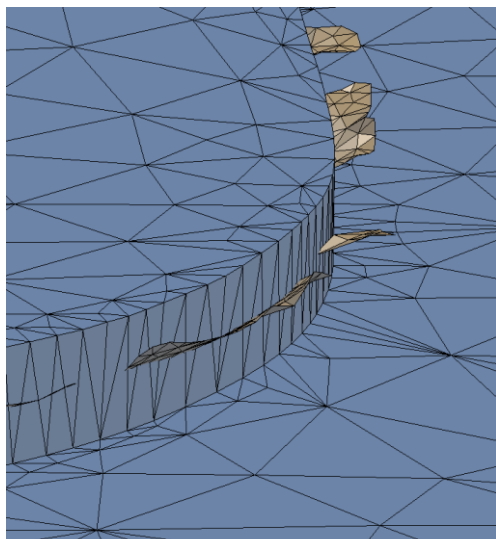
KUVA 24. Vasaran raakadatassa mittauskohde on irrallinen alustasta.

Edellä mainitut ongelmat kohinan poistossa olisivat todennäköisesti vältettävissä, mikäli työkalussa olisi käytettävissä yleisen asetuksen lisäksi paikallinen asetus valintatyökaluineen. Toisaalta edellä mainittu ominaisuus tekisi työkalun käytöstä hitaamman. Vasaraobjektista kerätyn datan tapauksessa ongelma olisi ratkaistavissa jättämällä kohinan poiston työvaihe väliin toistaiseksi ja suorittamalla prosessin seuraava vaihe eli ylimääräisen datan siivous pois ensin (kuva 25). Tällä tavalla voitaisiin poistaa alustasta syntyneet turhat pintaverkot pois ja tämän jälkeen siirtyä takaisin kohinanpoistovaiheeseen. Tämä menetelmä ei tietenkään sovi, jos kyseinen poistettava pintaverkkomallin osa olisi sellainen, mikä haluttaisiin säilyttää.

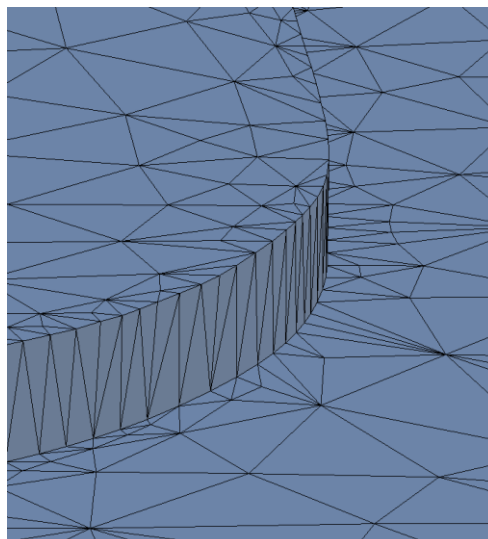


KUVA 25. Vasaraobjektista poistettu ylimääräinen data ja suoritettu kohinan poisto

Vasaraobjektista kerätyn datan kohinan poistossa ilmenneitä ongelmia voidaan pitää erityistapauksena, mikä johtuu erittäin heikosta raakadatasta. Hitsatun teräsobjektin tapauksessa, missä data saatiin paremmin kerättyä kohinan poisto toimi paremmin. Kappaleessa esiintyi kohinaa, minkä voidaan olettaa tulleen kappaleen maltillisesta heijastavasta ominaisuudesta mittaustilan loisteputkivalaistuksen alla. Kuvat 26 ja 27 demonstroivat onnistunutta kohinan poistoa, kun työkalu on asennettu maksimiasentoonsa.



KUVA 26. Kohinasta johtuvaa pinta-
verkkoa valittuna kohinanpoistotyöka-
lulla



KUVA 27. Onnistunut kohinan poisto

8.4. Ylimääräisen datan siivoaminen

Ylimääräisen datan siivoamistyökalulla on mahdollista saavuttaa hyvä ja useimpiin sovelluksiin riittävän tarkka lopputulos. Työn haasteellisuuteen vaikuttaa datan keräyksen kohteena olevan kappaleen sekä kiinnitysvälineen geometria. On myös huomattava, että kiinnitysvälineestä saattaa aiheutua ylimääräistä dataa malliin, kuten edellisessä kappaleessa käsiteltyä kohinaa, mikä on yleensä tarkoituksenmukaista poistaa jollakin työkalulla.

Tässä työssä käytetyissä raakadatan keräystä varten skannatuissa esineissä kiinnitys tapahtui painovoimalla pöytää vasten. Tämä lienee yleisin ja yksinkertaisin kiinnitystapa niin raakadatan keräysprosessin kuin datan käsittelyprosessinkin kannalta. Datan esikäsittelyvaiheessa tasainen pinta on helppo poistaa. Mikäli esineissä olisi skannattavaa lopputuloksen kannalta oleellista geometriaa myös pohjassa, tulisi käyttää jotakin toista kiinnitystapaa.

ScanTo3D:n ylimääräisen datan poistotyökalun valintatyökalut ovat kaikki manuaalisia. Tämän takia, mikäli halutaan tarkka lopputulos, on prosessi väistämättä käyttäjältään tarkkuutta vaativa ja aikaresursseja kuluttava. Ohjelmistossa on siis

työkalun toimivuudesta huolimatta selkeänä puutteena ylimääräisen datan siivoamiseen tarkoitettu automaattinen työkalu, missä olisi mahdollisesti yleinen ja paikallinen asetus sekä paikalliseen asetukseen liittyvät valintatyökalut, mitä voisi käyttää suurpiirteisemmin. Tällaisella työkalulla prosessi sujuisi nopeammin ja mahdollisesti käyttäjävirheiltä vältyttäisiin.

8.5. Pintaverkkomallin yksinkertaistamistyökalun arviointi

Pintaverkkomallin yksinkertaistamiseen tarkoitettu työkalu todettiin täysin tarkoituksenmukaiseksi. Tässä työssä käytetty data oli kuitenkin kerätty pienikokoisista kohteista, missä vaadittiin yhtenäistä yksityiskohtaisuuden tasoa koko mallin tasolla. Tämän takia kyseisestä työkalusta ei saatu juuri lisäarvoa tiedostokokojen ollessa jo valmiiksi tarpeeksi pienet. Suuremmissa skannausdatoissa työkalusta on todennäköisesti enemmän hyötyä sekä yleisellä, että paikallisella tasolla, kun tiedostoko saattaa olla varsin suuri ja vain osasta mallia on tarve säilyttää tarkka yksityiskohtien taso, mutta myös epätarkat osiot saatetaan haluta jättää malliin esimerkiksi kontekstiksi ja siten niitä ei kannata poistaa ylimääräisenä datana.

Työkalun tarkempaa arviointia varten olisi tässä työssä ollut hyödyllistä käsitellä myös huomattavasti suurempaa skannattua raakadataa. Tällöin olisi saatu kerättyä näyttöä siitä, saadaanko työkalulla muutettua kokonsa puolesta epäkäytännölliset pintaverkkomallitiedostot pienennettyä paremmin käsiteltävään muotoon. Tämä prosessi olisi kuitenkin ollut vaikea toteuttaa tässä työssä käytettävissä olevilla datankeräystyökaluilla sekä aikaresurssien puitteissa.

8.6. Särmien pyöristämisen arviointi

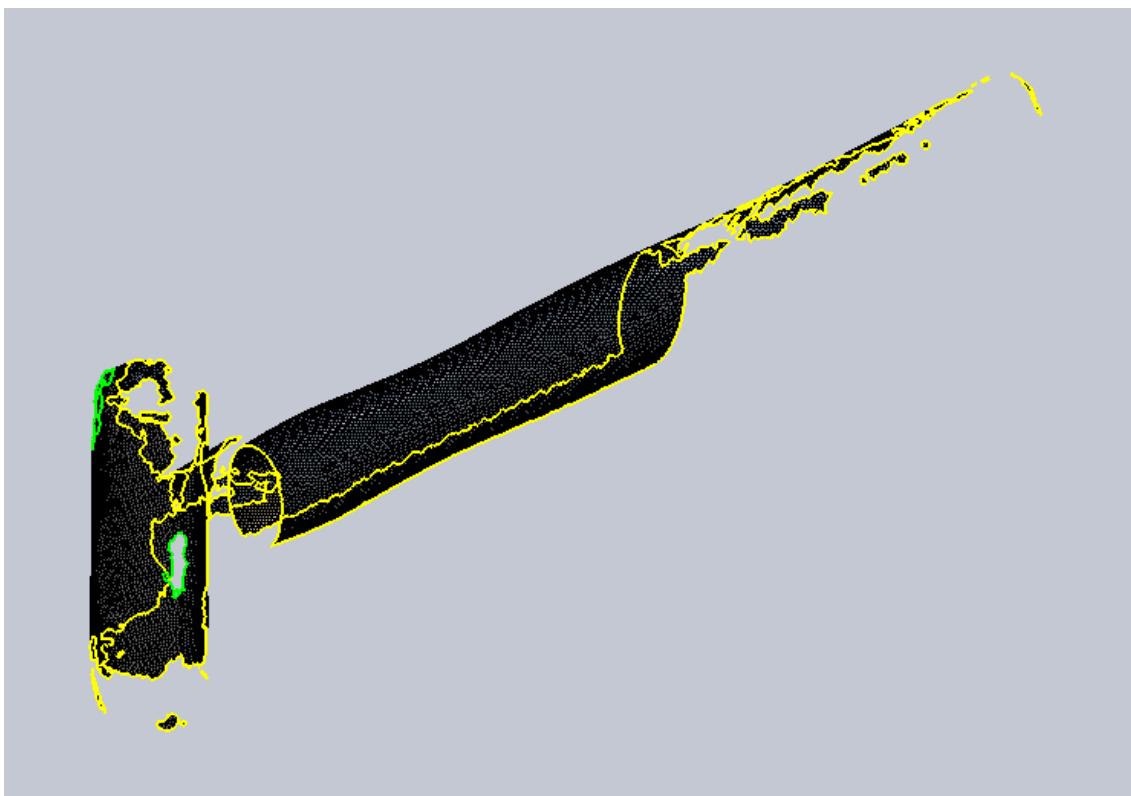
Särmien pyöristys paikallisilla ja yleisillä asetuksilla todettiin toimivaksi, joskin työkalun hyödyllisyys riippuu täysin halutusta tuloksesta ja tässäkin työkalussa on syytä noudattaa varovaisuutta sekä edetä vähän kerrallaan. Esimerkiksi jos takaisinmallinnettavassa esineessä on terävät särmät, ei työkalun käyttäminen ole välttämättä ollenkaan tarkoituksenmukaista.

Pyöristettyt särmät voivat olla hyödyllisiä valmistusteknisesti, jos esimerkiksi halutaan valmistaa takaisinmallinnettu kohde 3D-tulostamalla. Tällöin osassa tulosmenetelmiä on suositeltavaa pehmentää kulmat ja tämä vaihe saattaa olla helpompaa toteuttaa ScanTo3D:n pintaverkkomallin valmisteluavustajan työkaluilla kuin esimerkiksi SolidWorksin pyöristys (fillet) -työkalulla, mikä ei välttämättä toimi käytettäessä epäsäännöllisiin tai monimutkaisiin geometrioihin sekä saattaa olla erittäin työläs käyttää.

Terävien särmien pyöristämisen toiminnossa reunaviivojen pehennystä käyttäessä havaittiin suhteellisen suurta geometrian muutosta. Esimerkiksi reiän halkaisijan reunaviivat lähenivät keskipistettä, josta seurasi reiän halkaisijan pieneneminen. Halkaisijan koon vääristyminen on useissa tapauksissa haitallista ja voi aiheuttaa takaisinmallinnusvaiheessa väärän kokoisen reiän. Esimerkiksi hitsatun teräskappaleen tapauksessa, mikäli takaisinmallinnettu kappale valmistettaisiin edellä mainitun käsittelyn jälkeen 3D-tulostuksena, saattaisi työkalun käytön seurauksena kiinnitysreikien halkaisija olla pienentynyt niin paljon, että alun perin tarkoitetun kokoiset ruuvit eivät enää mahtuisi kiinnitysrei'istä.

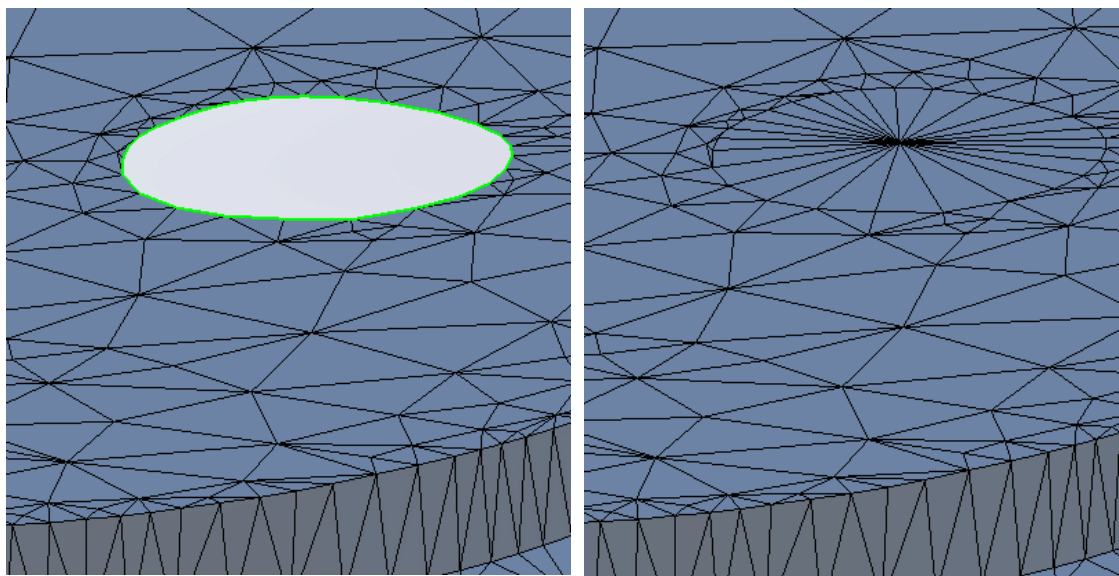
8.7. Aukkojen paikkaamistyökalun arviointi

Aukkojen paikkaaminen ScanTo3D:ssä toimii rajoitetuissa tapauksissa hyvin. Kohtuullisen reiän muodossa esiintyneet kokoiset puutteet pintaverkkomallin geometriassa pystyttiin paikkaamaan, mutta esimerkiksi vasaraobjektista kerätyn datan laajemmat puutteet eivät olleet korjattavissa. Kuvassa 28 on esitetty edellä mainittu työvaihe, missä vihreällä merkityt vihreät alueet pystyttiin paikkaamaan. Kuten kuvasta huomataan, paikattavissa olevat alueet ovat suhteellisen pieniä. Lisäksi geometrialtaan sylinterimäisen kohdan paikkauspinta esiintyi litteänä prosessin jäljiltä.



KUVA 28. Aukkojen paikkaus vasaraobjektissa

Hitsatulle teräskappaleelle aukkojen paikkaus toimi paremmin, mikä johtui yksinomaan huomattavasti paremmin onnistuneesta raakadatan keräyksestä. Tämänkin työkalun käytössä on syytä olla tarkkana, sillä työkalu havaitsi hitsatun teräsohjettin kiinnitysreiät paikattaviksi ja ne on siksi syytä poistaa listalta, mikäli kappale on tarkoitettu ruuveilla kiinnitettäväksi (kuva 29). Toisaalta työkalu ei pystynyt havaitsemaan suurempia puuttuvia alueita tästäkään datasta.



KUVA 29. Ruuvikiinnitykseen tarkoitetun reiän paikkaus

8.8. Pintaverkkomallin muokkaustyökalu

Pintaverkkomallin muokkaustyökalulla voidaan manipuloida pintaverkkomallia yleisellä tasolla siirtämällä, kiertämällä, skaalaamalla tai luomalla poikkeama. Tässä työkalussa todettiin melko suuri puute siinä, että mallista ei voida määrittää tarkkaa origopistettä valitsemalla sen pintaverkosta piste.

Kappaleen siirtäminen onnistuu vain numeraalisena arvona tai vetämällä kappaletta hiiren cursorilla. Numeraalisena arvona määrittäminen on tarkka tapa, joskin arvon hakeminen ilman lähtötietoa on todella työlästä ja siksi monessa tapauksessa ei kovin tarkoituksenmukaista. Cursorilla vetäminen taas on väistämättä hyvin suurpiirteinen tapa siirtää mallia. Muut pintaverkkomallin muokkaustyökalut todettiin toimiviksi.

8.9. Pintaverkosta tilavuusmalliksi puolimanuaalisella menetelmällä

ScanTo3D:tä hyödyntäen puolimanuaalinen datan jalostus esivalmistellusta pintaverkkomallista pinta- tai tilavuusmalliksi on työläs menetelmä, mikäli skannattu raakadata on heikkolaatuista ja halutaan säilyttää mallin korkea yksityiskohtaisuuden aste. Kuten aiemmissa luvuissa useaan kertaan on todettu, tässä työssä käytetty skannattu raakadata oli varsin heikkolaatuista, joten jalostusprosessi oli lopputuloksena saadun tilavuusmallin yksinkertaisuudesta huolimatta melko työläs. Tästä syystä epäsäännöllisen sekä monimutkaisen geometrian mallinnuksesta luovuttiin (esimerkiksi rautakappaleen hitsaussaumot). Kappaleesta kuitenkin saatiin lopputuloksena fyysistä kappaletta pääpiirteittäin vastaava malli, millä olisi monella valmistusmenetelmällä toteutettuna fyysiseksi osaksi alkuperäistä vastaavat ominaisuudet.

Datanjalostusvaiheesta työlään tekevät lukuisat manuaaliset vaiheet. Manuaalisuus lisää myös inhimillisten virheiden mahdollisuutta. Valitettavasti ohjelmisto ei pysty ihmeisiin ja mallin ollessa vakavasti puutteellinen korjausten tekemiseen ei ole muuta vaihtoehtoa. Edellä mainitut puutteet eivät välttämättä johdu ohjelmiston puutteista, sillä laadukkaalla raakadatalle menetelmä olisi ollut helpompi ja lopputulos laadukkaampi. Datankeräysvaiheen onnistuneisuus tulisi varmistaa.

8.10. Pintaverkosta tilavuusmalliksi automaattisella menetelmällä

ScanTo3D:ssä on ominaisuus, mikä pystyy luomaan pinta- tai tilavuusmallin pintaverkkomallitiedostosta täysin automaattisesti jo tiedoston import-vaiheessa. Tässä työssä käytetyllä raakadatalla kyseinen toiminto ei kuitenkaan laadun puutteiden takia toiminut. Oletettavasti kuitenkin toimiessaan kyseinen ominaisuus olisi erittäin hyödyllinen. Olettaa voidaan myös, että kunnollinen toiminta edellyttää pääosin aukotonta, laadukasta raakadataa.

Mikäli käytössä on aukoton raakadata, myös edellisessä kappaleessa kuvailtu puolimanuaalinen datanjalostusprosessi olisi pienellä harjoittelulla toteutettavissa nopeasti. Samalla käymällä läpi edellä puolimanuaalisen prosessin vaiheet varmistuttaisiin tuloksena syntyvän mallin laadusta.

8.11. Pintaverkosta tilavuusmalliksi manuaalisella menetelmällä

Manuaalinen menetelmä pintaverkon jalostamisessa tilavuusmalliksi painottuu puolimanuaalista menetelmää enemmän SolidWorksin perustyökaluihin ja sen takia sitä ei tässä työssä käsitellä yksityiskohtaisesti erikseen. Käytännössä tässä menetelmässä työvaiheet ovat samat kuin puolimanuaalisessa menetelmässä, mutta ScanTo3D:n viivageometria-avustajatyökalun (Curve Wizard) referenssigeometriaa ei hyödynnetä. Tämän sijasta kaikki geometria piirretään käsin SolidWorksin skissityökalulla (sketch tool). Tämä prosessi tekee monimutkaisen geometrian mallintamisen erittäin työlääksi ja alttiiksi virheille. Toisaalta monissa sovelluksissa voi olla tarkoituksenmukaista poistaa tarpeetonta geometriaa esimerkiksi valmistusteknisistä syistä, vaikkapa koneistettavaa kappaletta mallinnettessa. Tällöin tyypillisesti kappaleen turhat piirteet aiheuttavat kustannuksia valmistuksessa ja näissä tapauksissa yksinkertaistamisesta voi olla hyötyä.

Täysin manuaalinen menetelmä sopii siis joko yksinkertaisen geometrian omaavan kappaleen takaisinmallinnukseen, kun skannausdata on heikkolaatuista tai siinä tapauksessa, kun skannattua raakadataa halutaan ainoastaan käyttää viitteellisenä referenssinä ja mallia halutaan yksinkertaistaa tarkoituksellisesti.

Edellä mainittuja tapauksia voidaan kuitenkin pitää harvinaisina ja näihin voidaan soveltaa helposti myös perinteisiä mittausmenetelmiä.

9 POHDINTA

Ohjelmisto todettiin toimeksiantajan kanssa pidetyssä kokouksessa (liite 2) soveltuvaksi toimeksiantajan käyttöön luvun 8 aiemmissa osissa esitellyistä puutteista huolimatta. Arvioinnissa huomioitiin se, että ohjelmisto tulee opetuskäyttöön vastaavilla työkaluilla sekä olosuhteissa kuin tämän työn datankeräysosiossa. Kiteytettynä SolidWorks ScanTo3D pystyy pääpiirteittäin tuottamaan 3D-laserskannatun raakadatan jalostuksen kuin vastaavat ohjelmistot. Erityisesti ohjelmisto koettiin riittävänä opetuskäytössä, kun toimivuudelle ei ole asetettu ankaria taloudellisia paineita, vaan tarkoitus on perehtyä prosessiin yleisesti tai työkaluna osana muita opintoja. Tässä yhteydessä on syytä huomauttaa, että tämän työn tutkimusmenetelmien kokemuksellisuudesta johtuen tulokset ovat subjektiivisia ja siksi onkin mahdollista, että jollain toisella ohjelmistoa käyttävällä taholla on täysin erilainen käyttäjäkokemus. Kannustammekin tämän työn lukijaa kokeilemaan ohjelmiston toimintoja itse avoimin mielin.

Positiivisina asioina ohjelmistossa pidettiin myös sitä, että jokaisella Tampereen ammattikorkeakoulun opiskelijalla on kyseinen ohjelmisto saatavilla joko omalle laitteelle tai toimeksiantajan tiloissa sijaitsevalle laitteelle, sillä ohjelmisto sisältyy SolidWorksin Premium sekä Student Edition-lisensseihin. SolidWorksin perustyökalujen opiskelu kuului tämän työn kirjoittamishetkellä Tampereen ammattikorkeakoulussa esimerkiksi konetekniikan perusopintoihin, joten SolidWorksin lisäosan opiskelu tapahtuisi todennäköisesti matalalla kynnyksellä. Ohjelmiston käyttö on oppilaitokselle taloudellista, sillä se sisältyy jo olemassa olevaan lisenssiin (Huhtiniemi 2023).

Tämä opinnäytetyö viivästyi sen laatimisprosessin aikana useasti. Laatiminen kesti kokonaisuutena n. 1,5 vuotta. Näin ollen tämän projektin aikataulutuksen epäonnistui selvästi, mikä vaikutti laatijoiden valmistumisaikatauluun sekä toimeksiantajan edustajan mukaan aiheutti ohjelmiston käyttöönoton viivästymisen (Huhtiniemi 2023). Työn viivästymisen todettiin johtuneen yltiöoptimistisesta suhtautumisesta ajankäyttöön tilanteessa, missä kumpikin työn laatijoista ovat perheellisiä sekä tekemässä uraa asiantuntijatehtävissä. Lisäksi työn laatijat kohtasivat opinnäytetyöprosessin aikana merkittäviä, aikaa vaativia muutoksia elämässään muun muassa perheenlisäyksen muodossa.

Työn aikana huomattiin, että myös ohjelmiston kyvykkyys raakadatan käsittelyyn yliarvioitiin. Skannaustapahtumassa (luku 6) kerätyn datan laatu oli erittäin heikkoa. Tämä seikka arvioitiin osittain positiiviseksi, sillä käsiteltävä raakadata halettiin riittävän haastavaksi ohjelmiston ominaisuuksien arviointia varten. Ohjelmistoa käytettäessä kuitenkin huomattiin, että suurten virheiden korjaaminen heikosta raakadatasta ei ole ScanTo3D:llä tarkoituksenmukaista ja aiheutti tarpeellonta työtä.

Työn laatijat oppivat opinnäytetyöprosessin aikana ScanTo3D:n ominaisuudet kattavasti. Yhden laserskannatun datan jalostukseen tarkoitetun ohjelmiston osaaminen antaa myös perusteet muiden samankaltaisten ohjelmistojen käyttöön. Työn liitteeksi laadittu käyttöohje (liite 1.) antaa myös jokaiselle aiheesta kiinnostuneelle opiskelijalle mahdollisuuden oppia vastaavat taidot, kun ohje suoritetaan alusta loppuun ajatuksen kanssa, samalla itse kokeillen ja pohtien prosessia. Myös tämän opinnäytetyön lukeminen toimii vastaavassa tarkoituksessa antaen yleiskatsauksen laserskannatun datan jalostukseen monessa kontekstissa sekä syventyen ScanTo3D:n ominaisuuksiin yksityiskohtaisemmin. Ohje ja tämä opinnäytetyö koettiin hyödylliseksi ja onnistuneeksi myös toimeksiantajan puolesta (Huhtiniemi 2023).

LÄHTEET

1st Horizon Surveying and Engineering limited. 2018. Advantages of 3D laser scanning. Verkkosivu. Viitattu 6.2.2022. <https://1sth.co.uk/advantages-3d-laser-scanning/>

3Space. 2020. Advantages and disadvantages of 3D laser scanning. Verkkosivu. Viitattu 6.2.2022 <https://3space.com/blog/advantages-disadvantages-of-3d-laser-scanning/>

Avia Systems. 2017. A brief history of SolidWorks. Verkkosivu. Viitattu 27.1.2022. <https://www.scan2cad.com/cad/solidworks-history/>

Chakravorty, D. 2023. The OBJ file format – simply explained. All3DP. Verkkosivu. 30.3.2023. Viitattu 18.4.2023. <https://all3dp.com/1/obj-file-format-3d-printing-cad/>

DJM Design CAD & Coordination. 2021. Laser Scanning: Here's Everything You Need to Know. Verkkosivu. Viitattu 4.12.2022 <https://caddjm.com/a-complete-guide-to-laser-scanning-in-construction/>

Creaform. 2021. Handyscan 3D Silver Series. Verkkosivu. Viitattu 6.2.2022. https://www.mltfinland.fi/wp-content/uploads/2021/04/HandySCAN3D_SILVER_Series_Brochure_EN_EMEA_20210127.pdf

Cropp, C. 2021. What Are the Most Popular Types of Point Cloud Processing Software? Vericator. Verkkosivu. Viitattu 11.8.2022. <https://info.vericator.com/blog/popular-point-cloud-processing-software>

Dassault Systèmes SE. 2021. ScanTo3D overview. Verkkosivu. Viitattu 27.1.2022. https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/scanto3d/c_Scanto3d_overview.htm

Edl, M., Mizerák, M., & Trojan, J. 2018. 3D Laser Scanners: History and Applications. Acta Simulatio, 4(4), 1–5. <https://doi.org/10.22306/asim.v4i4.54>

Giraudot, S. 2022. Surface Reconstruction from Point Clouds. The Computational Geometry Algorithms Library. Verkkosivu. Viitattu 4.12.2022 https://doc.cgal.org/latest/Manual/tuto_reconstruction.html

Mäkeläinen, V. 2022. What is the difference between a point cloud and a 3D model? Gisgro Oy. Verkkosivu. Viitattu 10.8.2022. <https://www.gisgro.com/the-difference-between-a-point-cloud-and-a-3d-model/>

Huhtiniemi, J. lehtori. 2021. Haastattelu 28.9.2021. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Huhtiniemi, J. lehtori. 2023. Haastattelu 12.5.2023. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Huang, A. & Nielson, G. 2003. Surface approximation to point cloud data using volume modelling. Teoksessa Post, F. Nielson, G. & Bonneau, G. (toim.) The Springer International Series in Engineering and Computer Science, vol 713. Boston, MA: Springer US, 333-343.

Javelin Technologies Inc. 2022. SolidWorks ScanTo3D. Verkkosivu. Viitattu 27.1.2022. <https://www.javelin-tech.com/3d/solidworks-scanto3d/>

Keinänen, T. & Järvinen, M. 2014. Mittaustekniikka. 1. painos. Helsinki: Sanoma Pro.

Luminar Technologies Inc. 2022. Luminar CEO Says Volvo EX90 Defines a New Era of Safety. Verkkosivu. Viitattu 4.12.2022 <https://www.luminartech.com/ex90/>

Lutkevich, B. 2021. Reverse-engineering. TechTarget. Verkkosivu. Viitattu 11.8.2022. <https://www.techtarget.com/searchsoftwarequality/definition/reverse-engineering>

MoviMED. 2018. What is laser triangulation? Verkkosivu. Viitattu 10.8.2022. <https://www.movimed.com/knowledgebase/what-is-laser-triangulation/>

Pfeifer, N. & Briese, C. 2006. Laser scanning – principles and applications. GeoSiberia 2007 - International Exhibition and Scientific Congress, 25-27th April 2007, cp-59-00077. Viitattu 27.1.2022. https://publik.tuwien.ac.at/files/pub-geo_1951.pdf

Topodot. 2020. What is laser scanning and how can it be used. Verkkosivu. Viitattu 27.1.2022. <https://blog.topodot.com/what-is-laser-scanning-and-how-can-it-be-used/>

LIITTEET

Liite 1. SolidWorks ScanTo3D apuohjelman käytön ohjeistus

1(32)



SolidWorks ScanTo3D apuohjelman käytön ohjeistus

Aleksi Hynninen

Teemu Ängeslevä

SISÄLLYS

2(32)

1	JOHDANTO	63
2	SOLIDWORKS:IN SCANTO3D APUOHJELMAN KÄYTTÖÖNOTTO	64
3	PINTAMAVERKKOMALLIN AVAUS SOLIDWORKS:IIN	65
4	ALKUASETUKSET JA MALLIYMPÄRISTÖN LUONTI	67
4.1	ScanTo3D työkalupalkki.....	67
4.2	Kokoonpanon luonti ja osatiedoston liittäminen	68
4.3	ScanTo3D työkalujen käyttöönotto.....	69
5	SCANTO3D TYÖKALUT	70
5.1	Mesh Prep Wizard.....	70
5.2	Mesh Edit	82
5.3	Curve Wizard	83
5.4	Surface Wizard.....	86

1 JOHDANTO

3(32)

Tämän dokumentin tarkoitus oli tukea ja olla liitteenä opinnäytetyöhön liittyvään aiheeseen käyttöohjeen muodossa. Dokumentin tavoitteena oli antaa aloittelija-käyttäjälle mahdollisimman selkeä ja hyvin opastava dokumentti apuohjelman käytöstä. Ohjeistuksen sisältö liittyy Solidworks:in ScanTo3D apuohjelmaan ja sen toimintoihin laserskannatun raakadatan jalostuksessa.

Ohjetta voidaan käyttää oppimistyökaluna käymällä koko kuvailtu prosessi läpi vaihe vaiheelta tai ohjelmaa käytettäessä erillisen ongelman ratkaisuun. Tämän dokumentit ensisijaisena lähteenä on käytetty Dassault Systemes:n online-käyttöopasta ScanTo3D-ohjelmistolle.

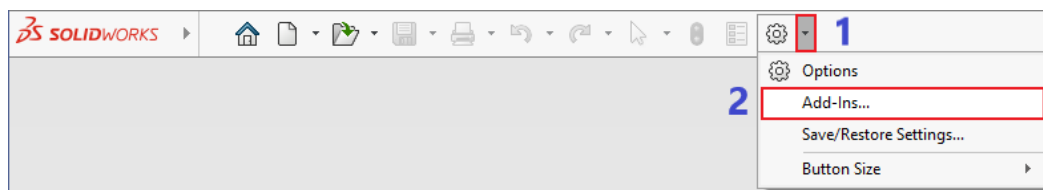
Mikäli tätä käyttöohjetta lukevalle henkilölle herää mielenkiinto syvällisempään tietoon käsiteltävästä asiasta, suosittelemme lukemaan myös opinnäytetyön, missä tämä dokumentti on liitteenä.

2 SOLIDWORKS:IN SCANTO3D APUOHJELMAN KÄYTTÖÖNOTTO

4(32)

ScanTo3D apuohjelman käyttö vaatii, että käyttäjällä on Solidworks Professional tai Solidworks Premium asennettuna. Tässä apuohjelman käyttöohjeessa käytämme Solidworks 2021 Premium versiota Student Edition lisenssillä.

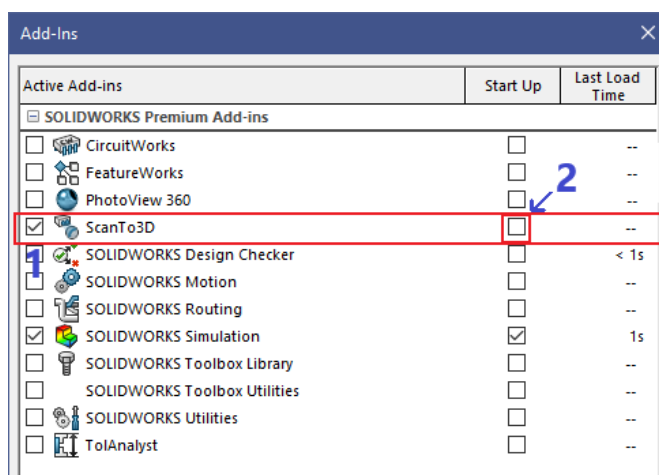
Solidworksin perusasetuksissa ScanTo3D apuohjelma on kytkettynä pois päältä. Alla olevan kuvan mukaisesti, löydät apuohjelma valikon.



KUVA 1. Solidworks:in apuohjelmavalikon avaaminen.

1. Valitse hiiren vasemmalla painikkeella, hammasrattaan vierestä alasvetovalikko.
2. Valitse Add-Ins...

Apuohjelma valikon avauduttua etsi listasta ScanTo3D.



KUVA 2. ScanTo3D apuohjelman käynnistäminen.

1. Valitse ScanTo3D valintaruutu vasemmasta reunasta.
2. Valitse valintaruutu oikeasta reunasta, jos haluat apuohjelman käynnistyvän jokaisella kerralla, kun Solidworks käynnistetään (valinnainen).

3 PINTAMAVERKKOMALLIN AVAUS SOLIDWORKS:IIN

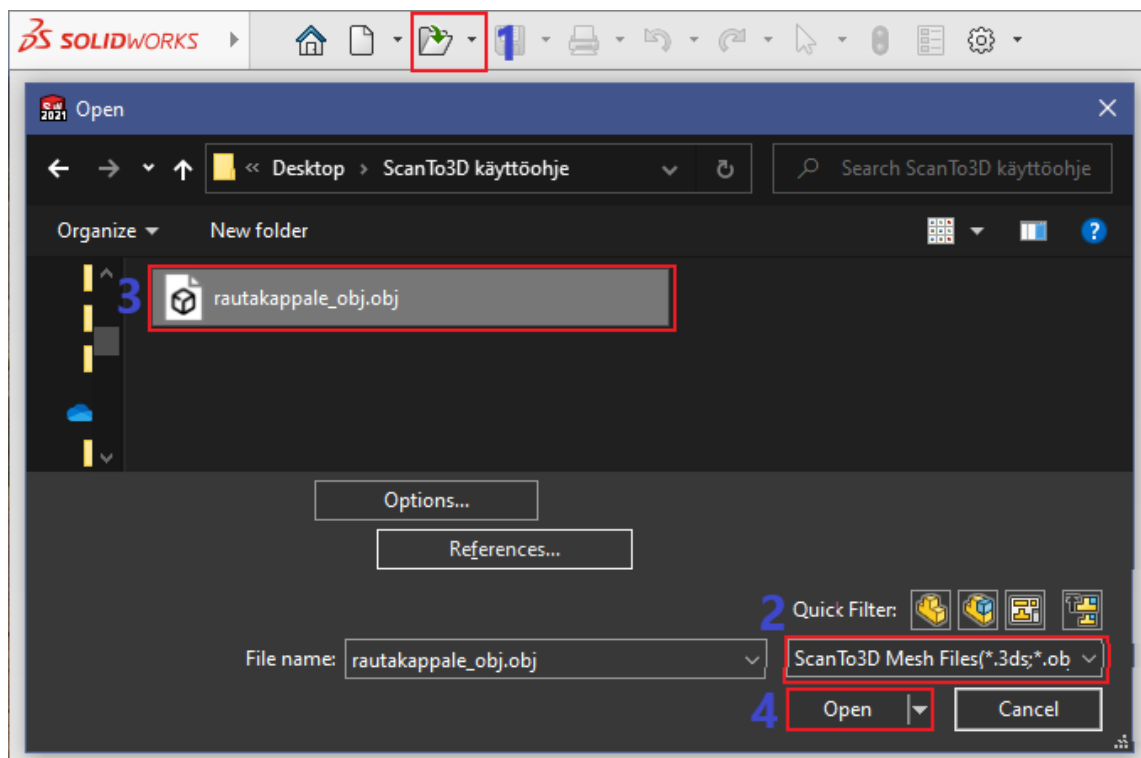
5(32)

Pintaverkkomallin avaaminen Solidworks:iin toimii samanlailla, kuin muidenkin tiedostoformaattien avaus.

Tuetut tiedostoformaatit ovat:

- Pintaverkkomalli "mesh" tiedostot (*.3ds; *.obj; *.stl; *.wrl; *.ply; *.ply2)
- Pistepilvitiedostot (*.xyz; *.txt; *.asc; *.vda; *.igs; *.ibl)

Tässä käyttöohjeessa käytämme esimerkkitiedostona mesh pintaverkkomalli tiedostoa, jonka päätte on (*.obj).



KUVA 3. Mallitiedoston avaaminen Solidworks:iin.

1. Valitse ylälaidasta Open.
2. Valitse alasvetovalikosta haluamasi tiedostoformaatti.
3. Etsi tiedosto haluamastasi tiedostopolusta.
4. Valitse Open.

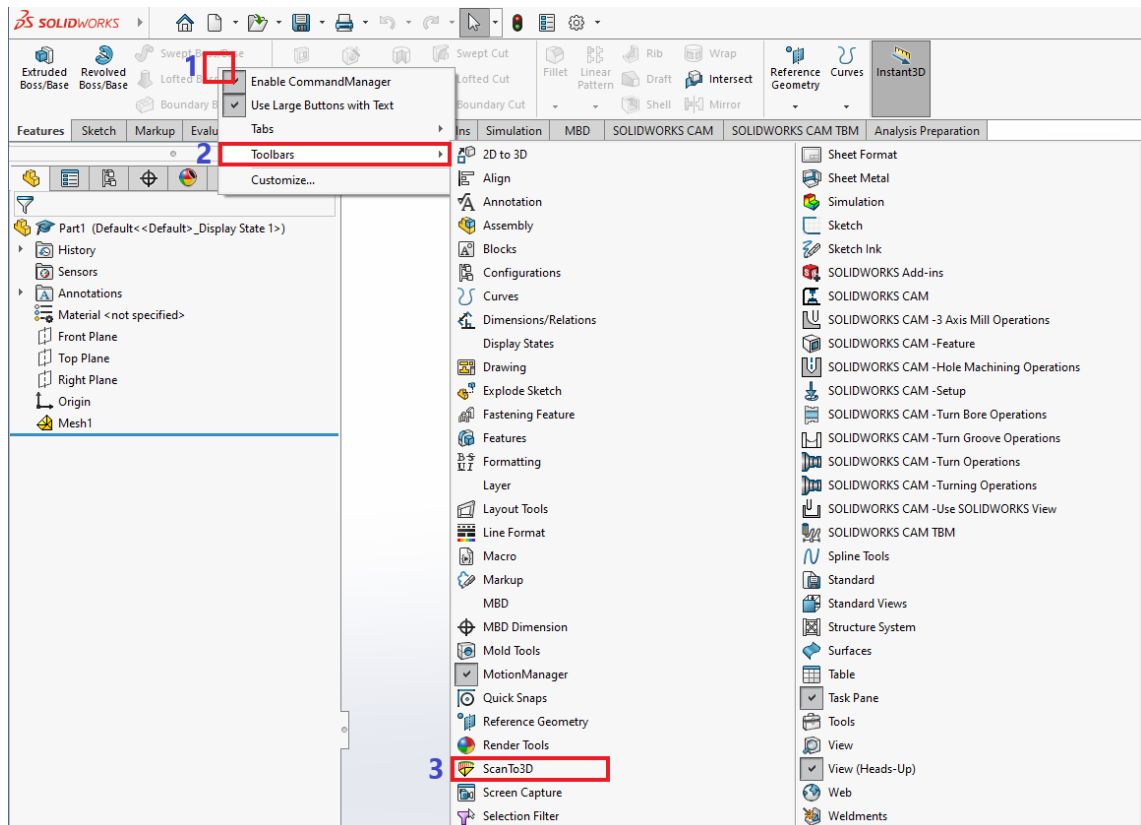
HUOM. Joillain asetuksilla Solidworks avaa oletuksena tiedoston tilavuus- tai pintamallina. Käy tarkistamassa Options- kohdasta Import as -osion alta, että kohta Graphics body on valittuna. Tällöin tiedosto avautuu tähän sovellukseen tarkoituksenmukaisesti pintaverkkomallina.

4 ALKUASETUKSET JA MALLIYMPÄRISTÖN LUONTI

7(32)

4.1. ScanTo3D työkalupalkki

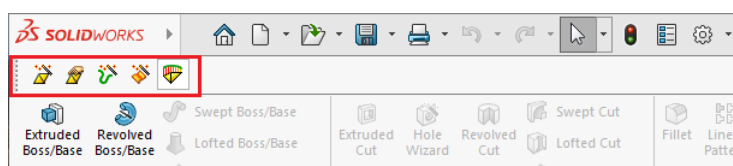
ScanTo3D työkalupalkki ei tule näkyviin automaattisesti, vaikka apuohjelma aktivoitiin päälle kohdassa 1. Työkalupalkki saadaan näkyviin seuraavasti:



KUVA 4. ScanTo3D työkalupalkin avaaminen.

1. Paina hiiren oikeaa näppäintä työkalupalkkirivin päällä.
2. Vie kursori "Toolbars" valinnan kohdalle, josta avautuu alivalikko.
3. Valitse hiiren vasemmalla näppäimellä ScanTo3D.

Tämän jälkeen pitäisi ScanTo3D työkalupalkki tulla näkyviin.



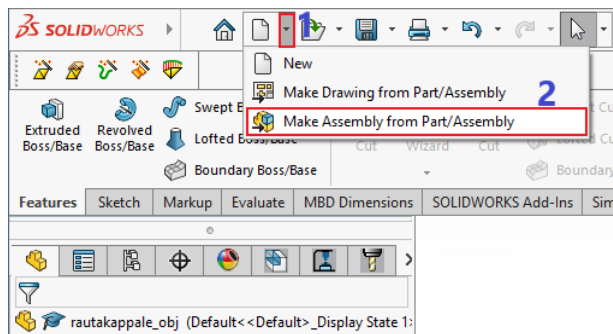
KUVA 5. ScanTo3D työkalupalkki.

4.2. Kokoonpanon luonti ja osatiedoston liittäminen

8(32)

Ennen varsinaista mallinnuksen aloittamista, tarvitaan perustaa uusi kokoonpano, minne pintaverkkomallin osatiedosto paikoitetaan.

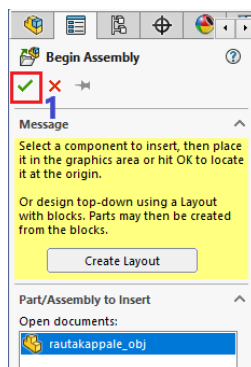
Kun osatiedosto on avattuna näytöllä, seuraava toiminto on helppo ja nopea tapa luoda uusi kokoonpano.



KUVA 6. Kokoonpanon luominen suoraan osatiedostosta.

1. Valitse hiiren vasemmalla näppäimellä "New" napin vierestä oleva alasvettovalikko.
2. Valitse "Make Assembly from Part/Assembly" hiiren vasemmalla näppäimellä.

Tämän jälkeen avautuu uusi kokoonpano. Samalla paikoitetaan osa origoon, joka tapahtuu automaattisesti vain hyväksymällä toiminto. Vaihtoehtoisesti osatiedosto voidaan paikoittaa kokoonpanon origoon luomalla coincident-tyypin mate jokaisen osan ja kokoonpanon front- right sekä top planen välille.



1. Tarkasta, että osatiedosto on valittuna ja paina hyväksy merkkiä.

KUVA 7. Osatiedoston liittäminen kokoonpanon origoon.

4.3. ScanTo3D työkalujen käyttöönotto

9(32)

ScanTo3D työkalut eivät ole aktiivisina kokoonpanotilassa. Osatiedosto pitää avata erikseen, jotta työkalupalkin toiminnot tulevat aktiivisiksi.

Kokoonpanotilassa:



KUVA 8. Työkalupalkki inaktiivinen.

Osatiedosto erikseen avattuna:



KUVA 9. Työkalupalkki aktiivinen.

Avaa osatiedosto kokoonpanopuusta "Open Part" komennolla omaan ikkunaan.

5 SCANTO3D TYÖKALUT

10(32)

5.1. Mesh Prep Wizard

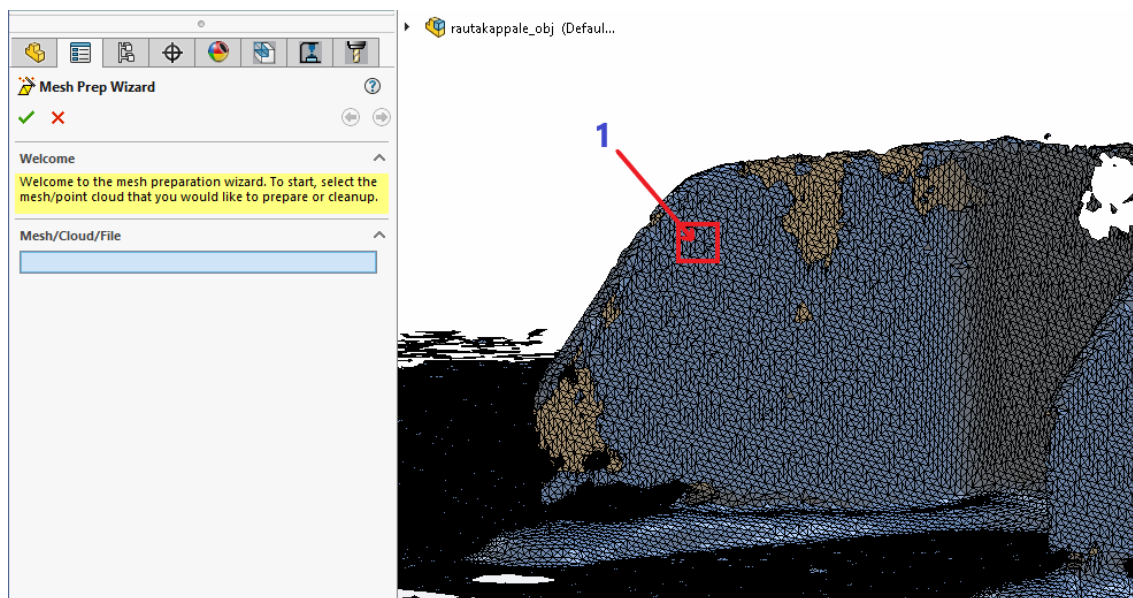
Tässä osiossa käydään läpi Mesh Prep Wizard toiminto. Tämä sisältää työkaluja, joiden avulla voit käsitellä alkuperäistä pintaverkkomallia. Voit siirtää verkkoa, pyörittää ja poistaa tarpeettomia alueita. Verkkoa voidaan myös säätää, käyttämällä yleisiä ja paikallisia yksinkertaistamis- ja sileysasetuksia.



KUVA 10. Mesh Prep Wizard toiminto.

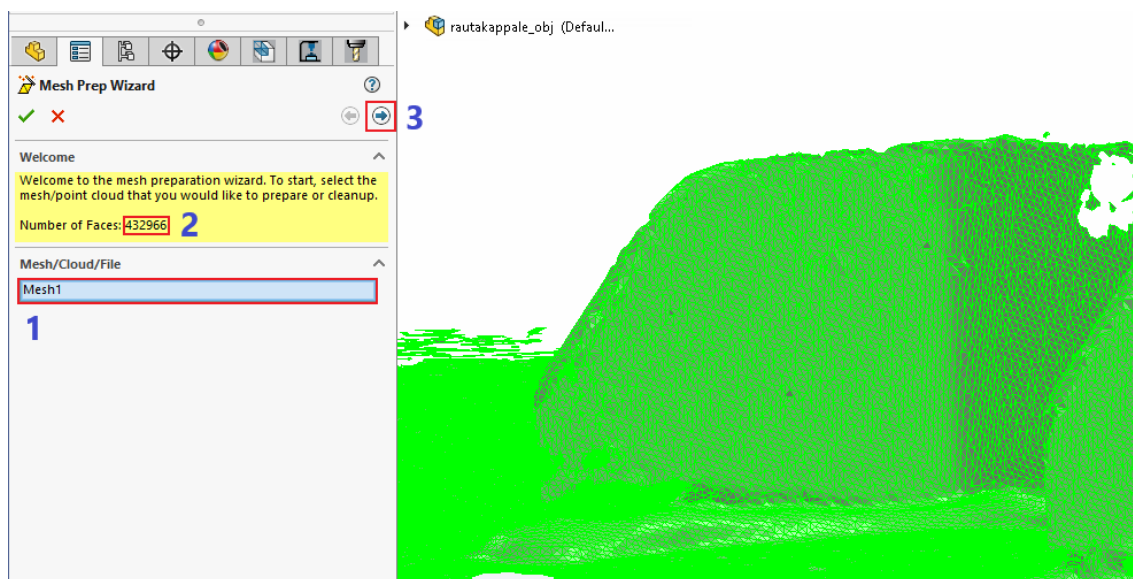
Pintaverkkomallin valinta

Valitsemalla Mesh Prep Wizard toiminnon, avautuu toimintoikkuna vasempaan reunaan.



KUVA 11. Pintaverkkomallin valinta.

1. Valitse hiiren vasemmalla näppäimellä pintaverkkomalli näytöltä.

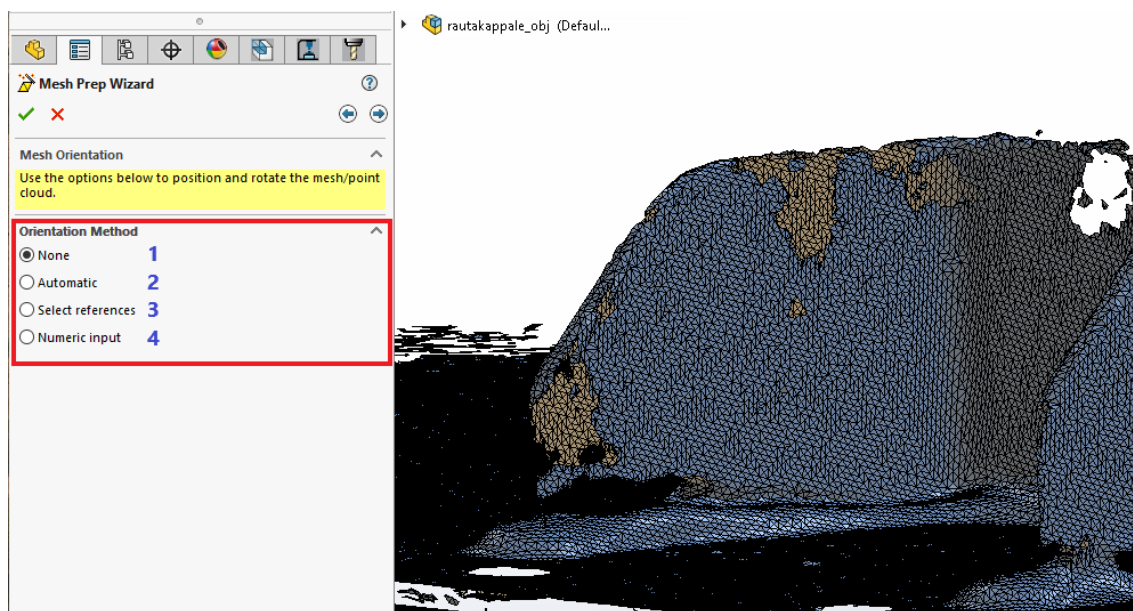


KUVA 12. Pintaverkon informaatio.

1. Valitun pintaverkkomallin nimi
2. Kyseisen pintaverkkomallin pintojen lukumäärä.
3. Hyväksytään valinta ja jatketaan eteenpäin.

Pintaverkkomallin suunta ja pyöräytys

Pintaverkon valinnan jälkeen pystytään pyöräyttämään pintaverkkomalli haluttuun asentoon koordinaatistossa.

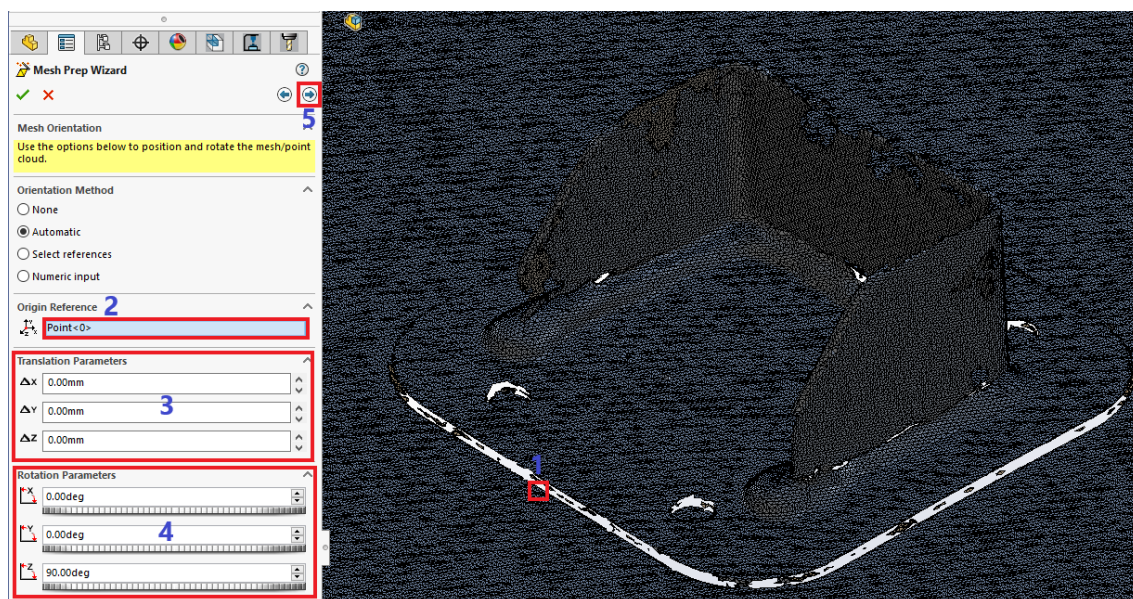


KUVA 13. Pintaverkon pyöräytysmenetelmät.

1. "None" menetelmällä, ei tehdä pintaverkkomallille mitään. Tällä vaihtoehdolla pääset eteenpäin ilman pintaverkon pyöräytystä.
2. "Automatic" menetelmällä sovellus itse kääntää pintaverkon kohtisuoraan koordinaatiston suuntaiseksi.
3. "Select references" menetelmällä, toiminto pyytää määrittämään akselien suunnat.
4. "Numeric input" menetelmä on täysin sama, kuin "Automatic" ilman ohjelman tuottamaa alkupyöräytystä.

Kaikissa pyöräytysmenetelmissä, ohjelma pyytää näyttämään pintaverkkomallille origopisteen.

Tässä esimerkissä käytämme "Automatic" menetelmää.

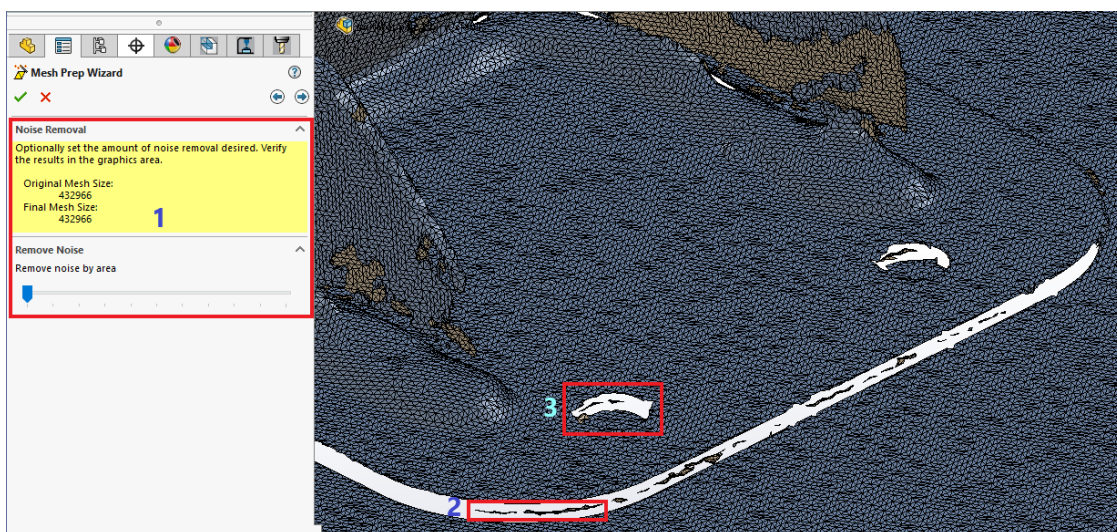


KUVA 14. Pintaverkon pyöräytys.

1. Ensimmäisenä toiminto pyytää määrittämään origopisteen mallista. Valitse haluttu origo vasemmalla hiiren näppäimellä mallista.
2. Valittu origo ilmaantuu kyseiseen laatikkoon.
3. Kolmannen kohdan laatikossa, voit muokata mallin siirtymää, koordinaatiston suhteen.
4. Neljännen kohdan laatikossa, voit pyöräyttää mallia eri asentoon, koordinaatiston suhteen.
5. Kun malli on halutussa asennossa ja origo määritettynä, valitse "Next".

Pintaverkon kohinan vähennys

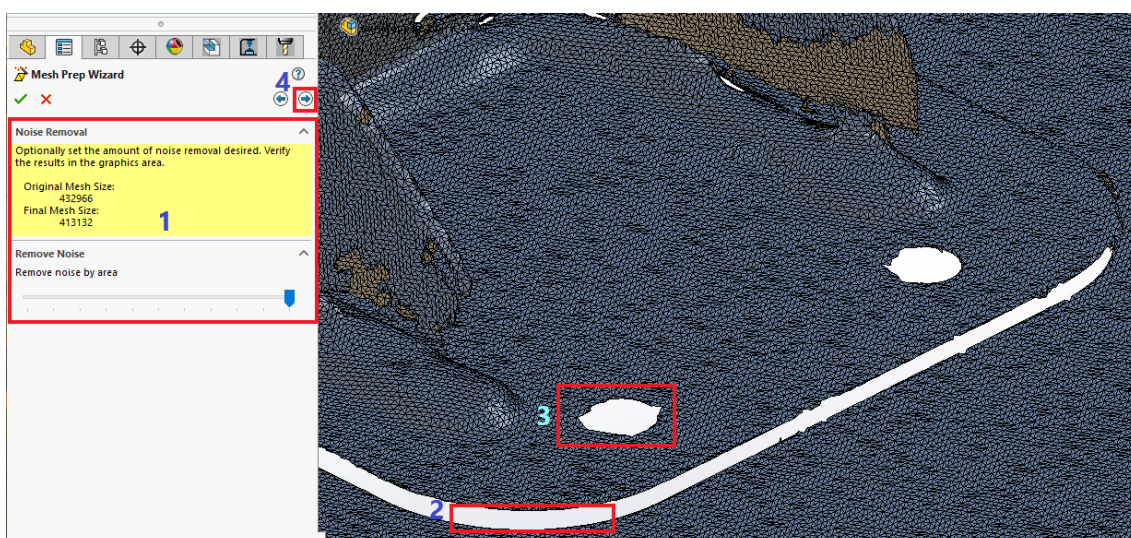
Pintaverkon kohinan vähennyksessä on tarkoituksena vähentää yksittäisiä ja hajanaisia pintaverkkomallin elementtejä. Toiminnolla pyritään poistamaan ylimääräistä kohinaa mallin selkeyttämiseksi. Toiminto ilmoittaa alkuperäisen elementtien lukumäärän ja muutoksen jälkeisen elementtien lukumäärän.



KUVA 15. Alkutilanne ennen kohinan vähennystä.

1. Ensimmäisessä laatikossa, näkyy elementtien määrän muutos. Liukusäädintellä "Remove noise by area", valitaan haluttu voimakkuus kohinan poistoon.
2. Esimerkki kohinasta, jossa elementit ovat irtonaisena isommasta kokonaisuudesta kappaleen levyn kyljessä.
3. Esimerkki kohinasta, jossa elementit ovat irtonaisena reiän kyljessä. Myös reiän läpinäkyvän tason elementit näkyvät.

Kohinan liukusäädintä liikuttamalla ohjelma laskelmoi hetken poistettavia elementtejä, jonka jälkeen voit esikatsella mallia ennen hyväksyntää.

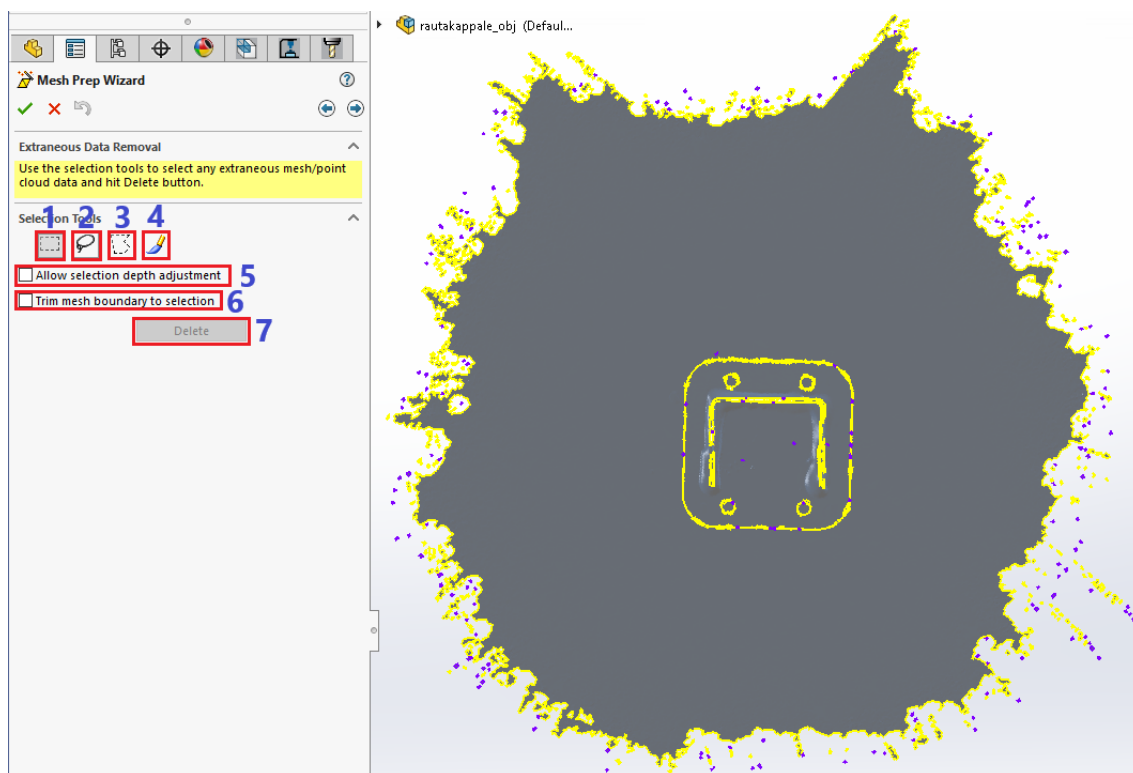


KUVA 16. Lopputilanne kohinan vähennyksen jälkeen.

1. Ensimmäisessä laatikossa näkyy, kohinan vähennyksen jälkeinen erotus elementtien määrässä. Tässä esimerkissä on liikusäädin laitettu voimakkaimmaksi, jotta elementtien poisto olisi huomattava.
2. Esimerkki kohinan poistosta, jossa irtonaiset elementit ovat poistuneet kappaleen levyn kyljestä.
3. Esimerkki kohinan poistosta, jossa irtonaiset elementit ovat poistuneet reiän kyljestä. Myös reiän läpi näkyvän tason elementit ovat hävinneet.
4. Hyväksytään kohinan poiston määritykset valitsemalla "Next".

Ylimääräisten elementtien poisto

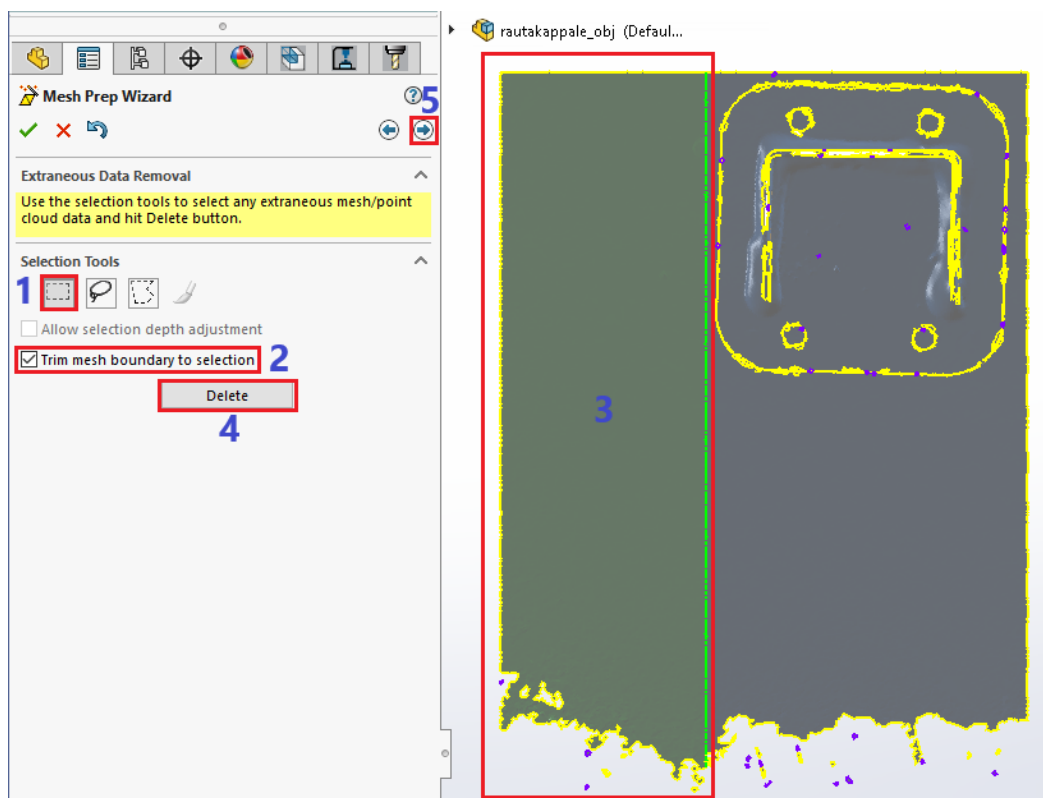
Seuraava toiminto antaa käyttäjälle työkalut itse valita halutut elementit pintaverkkomallista, jotka poistetaan. Tällä voidaan tehokkaasti poistaa skannatun kappaleen ympäriltä olevia turhia elementtejä, mitkä eivät ole olennaisia kappaleen mallinnuksessa. Toiminto sisältää myös useita erilaisia valintamenetelmiä, jotka helpottavat elementtien valinnassa.



KUVA 17. Elementtien poiston valintatyökalut.

1. Suorakulmion muotoinen valintatyökalu. Tällä työkalulla voit manuaalisesti piirtää suorakulmion muotoisen valinta-alueen.
2. Lasso-valintatyökalu. Tällä työkalulla voit manuaalisesti piirtää vapaasti ”lenkillä” rajatun valinta-alueen.
3. Monikulmion muotoinen valintatyökalu. Tällä työkalulla voit piirtää halua-masi monikulmion muotoisen valinta-alueen.
4. Sivellin -valintatyökalu. Tällä työkalulla voit ”värittää” tietyn paksuisella piir-totyökalulla alueen, minkä haluat valita.
5. Kohta viisi valittuna saadaan elementtien valitsemiseen myös kolmiulottei-suus syvyys mukaan. Tämä helpottaa valitsemaan elementtejä vaikeam-mistakin paikoista.
6. Kohta kuusi valittuna saadaan elementtien valintaraja tarkemmaksi. Toi-minto muuttaa jäljelle jäävien elementtien leikattua rajapintaa yhtenäisem-mäksi.
7. Delete-painikkeella poistetaan valitut elementit.

Esimerkki elementtialueiden poistosta:



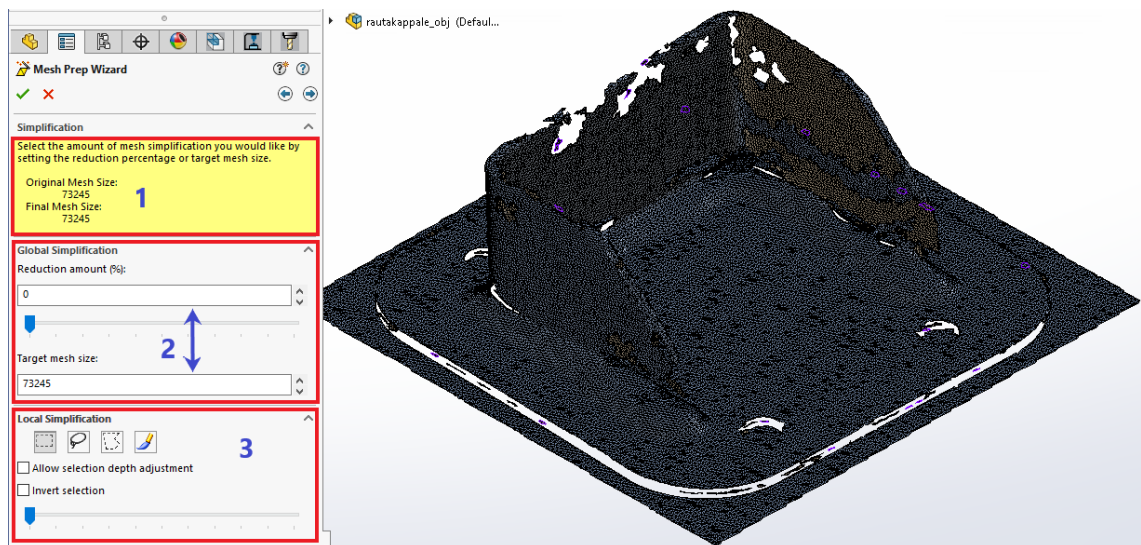
KUVA 18. Elementtien poisto.

1. Käytetään suorakulmion muotoista valintatyökalua
2. Käytetään leikkauksen rajapinnan tasoitustyökalua
3. Valitaan haluttu alue mallista
4. Hyväksytään valittujen elementtien poisto
5. Toistetaan kohdat 1-4 niin monta kertaa, kun halutut elementit ovat poistettu. Siirrytään eteenpäin painamalla "Next"

Tässä esimerkissä poistettiin valtaosa skannauksen alustana toimineesta pöydästä. Huomaa, että jos aiot käyttää kappaletta tilavuusmallina myöhemmässä työvaiheessa, kappaleen geometrian muuttaminen on mahdollista myös normaaleilla Solidworksin työkaluilla kuten Cut Extrude -toiminnolla.

Pintaverkkomallin yksinkertaistaminen

Tämä toiminto on suunnattu isokokoisille pintaverkkomallitiedostoille. Yksinkertaistamisella saadaan pintaverkkomallin elementtien määrää vähennettyä sopivaksi oman työaseman tehoon suhteutettuna. Tämä helpottaa pintaverkkomallin pyörittämistä ja latausaikoja ennen kappaleen mallinnusta.

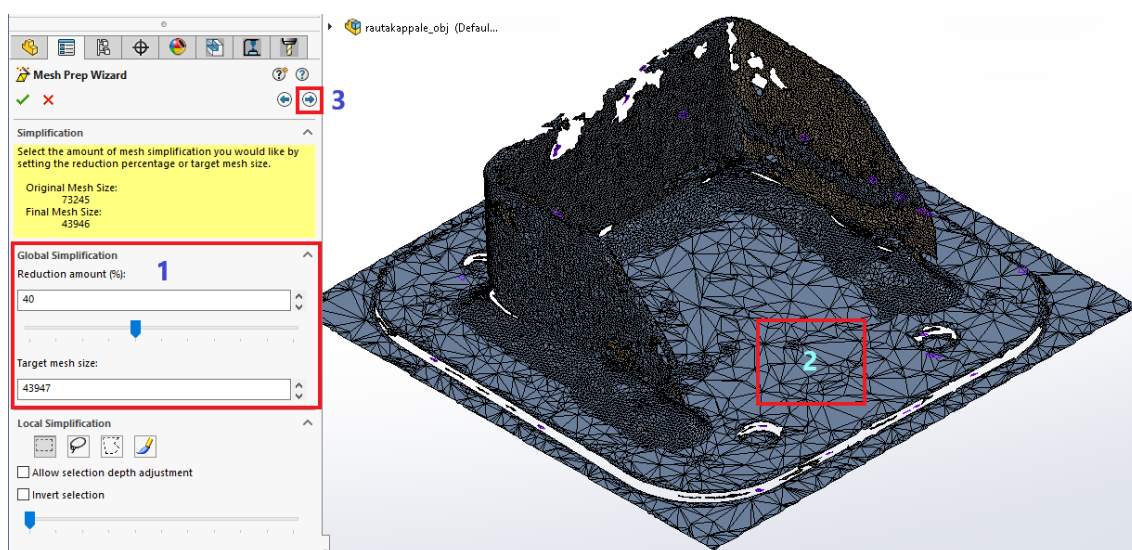


KUVA 19. Pintaverkkomallin yksinkertaistamisen työkalut.

1. Ensimmäisessä kohdassa, näkyy elementtien määrän muutos.

2. Globaalilla yksinkertaistamisella voit halutessasi käyttää yksinkertaistamisessa prosentuaalista tai lukuarvollaista vähennystapaa koko kappaleeseen.
3. Paikallisella yksinkertaistamisella voit halutessasi määrittää halutun alueen valintatyökaluilla ja käyttää liukusäädintä yksinkertaistamisen voimakkuuden säätämiseen.

Esimerkki pintojen yksinkertaistamisesta käyttäen globaaliasetusta:



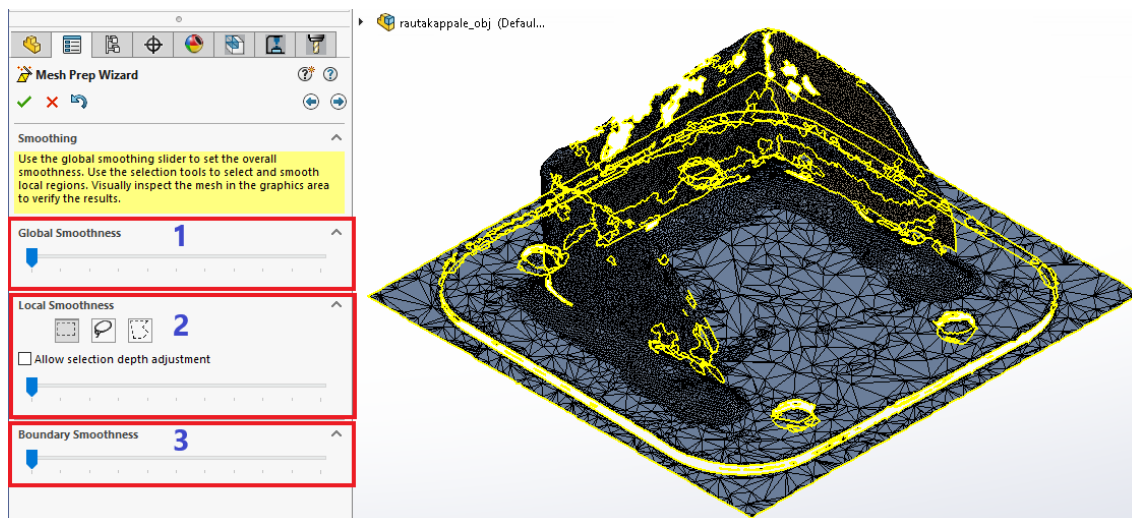
KUVA 20. Pintaverkkomallin yksinkertaistaminen.

1. Valitaan sopiva prosentuaalinen vähennys, tässä tapauksessa käytetty 40%.
2. Pintaverkkomallista näkyy esikatseltuna lopputulos ennen hyväksymistä.
3. Hyväksytään valinta ja jatketaan seuraavaan työvaiheeseen.

Pintaverkkomallin tasoitus

Pintaverkkomallin tasoituksella saadaan elementtien muodostamasta verkosta tasaisempi. Toiminto vähentää jyrkkiä muodonmuutoksia ”pehmeämmäksi”, joka voi selkeyttää pintaverkkomallia entisestään. Tasoitus ei ole välttämätön, mutta

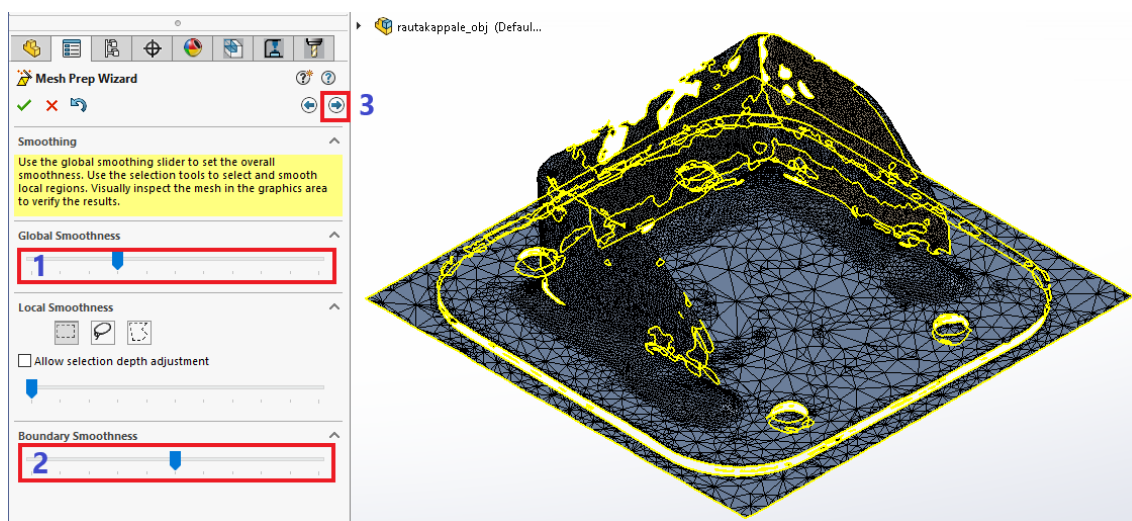
se antaa käyttäjälle mahdollisuuden selkeyttää pintaverkkomallia globaalisti tai lokaalisti.



KUVA 21. Pintaverkkomallin tasoituksen työkalut.

1. Globaalisen tasoituksen vahvuuden määrittäminen liukusäätimen avulla.
2. Lokaalisen tasoituksen valintatyökalut, sekä vahvuuden määrittäminen liukusäätimen avulla.
3. Pintaverkkomallissa olevien äärirajojen tasoituksen vahvuuden määrittäminen liukusäätimen avulla.

Esimerkki pintojen tasoituksesta, käyttäen globaaliaasetusta:

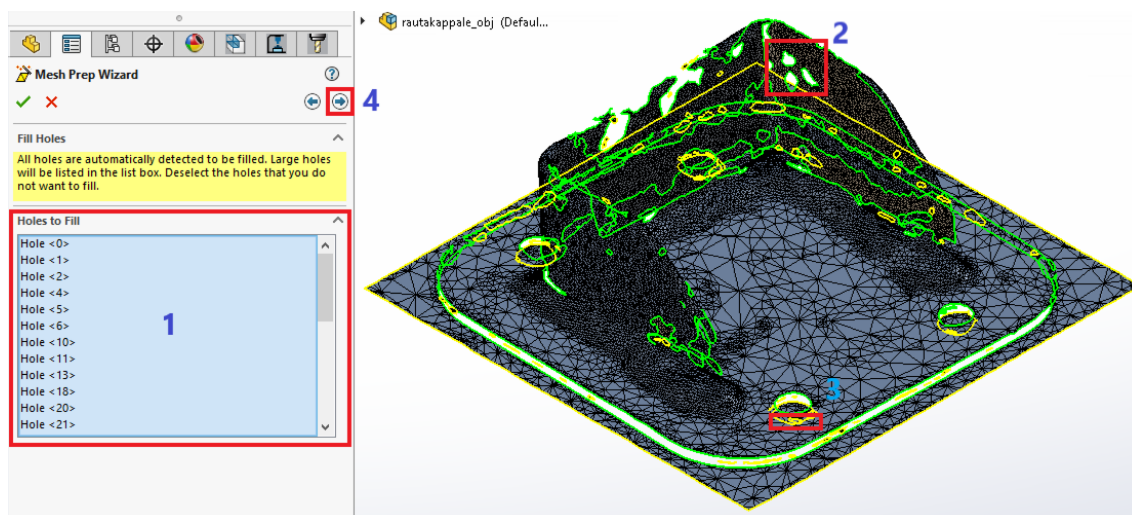


KUVA 22. Pintaverkkomallin tasoitus.

1. Valitaan haluttu globaalinen vahvuus pintaverkkomallin tasoitukselle.
2. Valitaan haluttu vahvuus pintaverkkomallin ääri rajojen tasoitukselle.
3. Hyväksytään valinta ja jatketaan eteenpäin.

Pintaverkkomallin aukkojen paikkaus

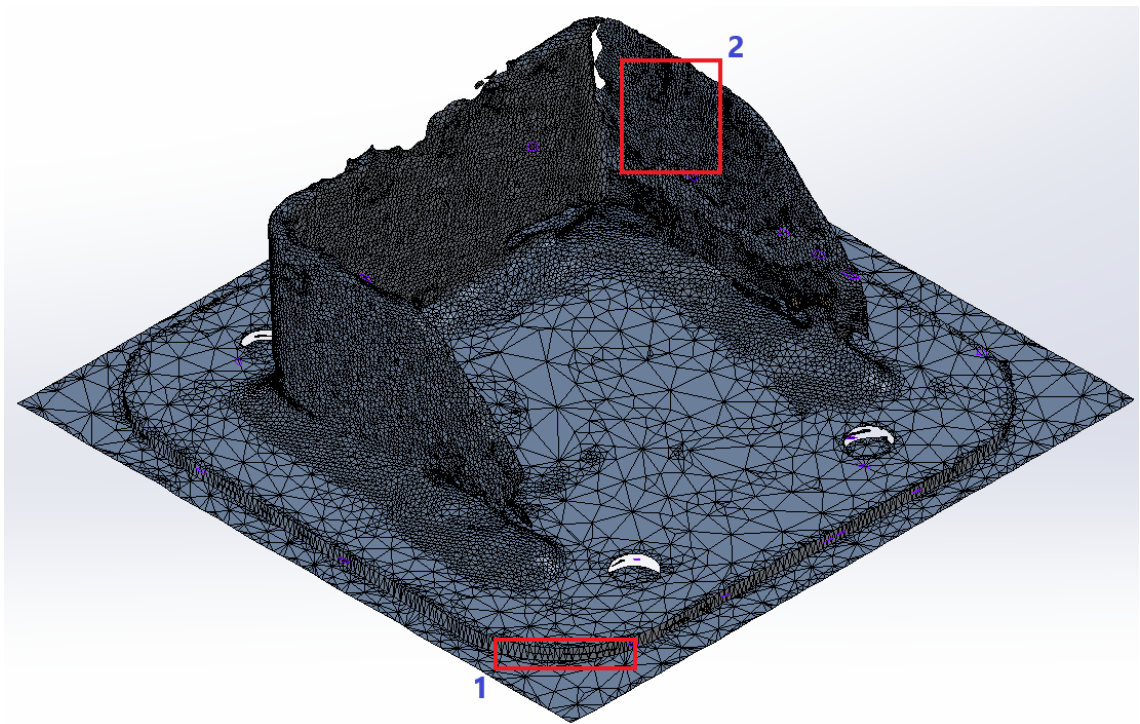
Yleensä pintaverkkomalleissa ilmenee epäkohtia, joista puuttuu pintaverkkomallin elementtejä. Paikkaus työkalulla saadaan lisättyä pintaverkkoa puuttuviin kohtiin. Toiminto on automaattinen, jossa käyttäjä valitsee haluamansa epäkohdat täytettäväksi.



KUVA 23. Pintaverkkomallin aukkojen paikkaus.

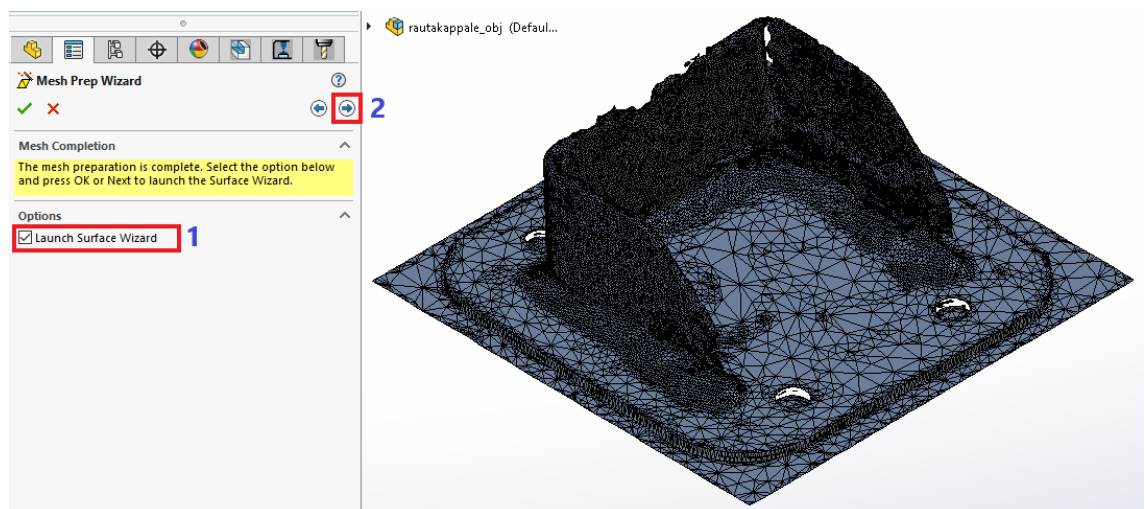
1. Kaikki automaattisesti tunnistetut aukot ovat valmiiksi valittuna, poista valintoja hiiren vasemmalla painikkeella listasta.
2. Vihreällä reunaviivalla ovat valittuja aukkoja, jotka täytetään.
3. Keltaisella reunaviivalla olevat alueet, eivät ole valittuja ja ne jäävät ennalleen.
4. Hyväksytään valinta ja jatketaan eteenpäin.

Esimerkki pintaverkkomallin aukkojen paikkaustyökalun lopputuloksesta:



KUVA 24. Pintaverkkomallin aukkojen täyttämisen lopputulos.

Pintaverkkomallin aukkojen täydentämisen jälkeen, Mesh Prep Wizardin työkalun käyttäminen on valmis. Ohjelma ehdottaa siirtymistä seuraavaan vaiheeseen käyttämään Surface Wizard työkalua.



KUVA 25. Siirtyminen Surface Wizard työkalun käyttöön.

1. Valitaan halutessa "Launch Surface Wizard" valintaruutu painike aktiiviseksi, jos halutaan siirtyä suoraan pintojen luontiin. Tässä käyttöohjeessa siirrytään seuraavaksi Mesh Edit toimintoon, joten jätetään valinta pois.
2. Hyväksytään ja jatketaan eteenpäin.

5.2. Mesh Edit

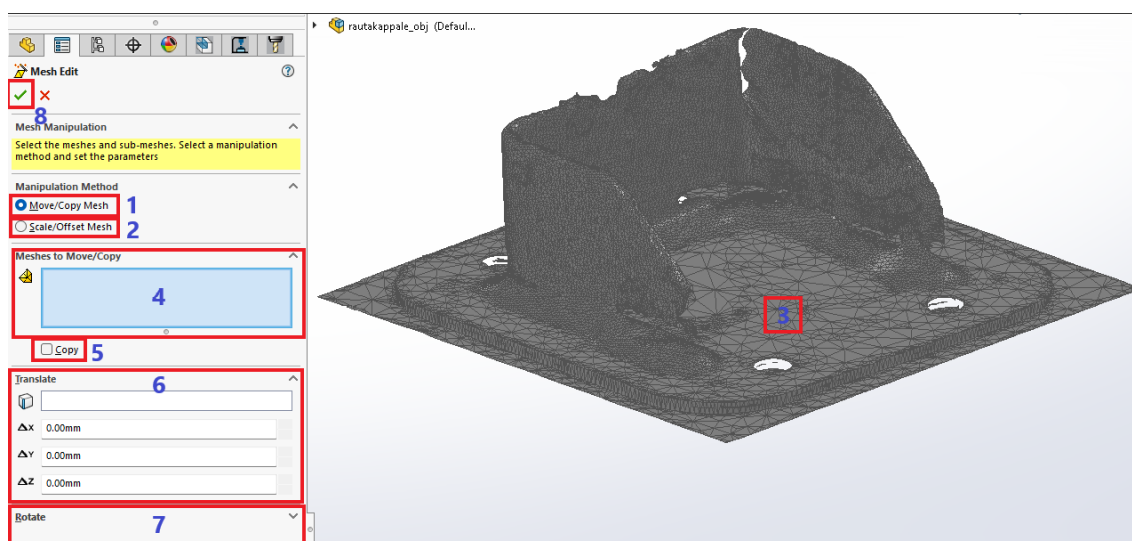
Tässä osiossa käydään läpi Mesh Edit toiminto. Tämä sisältää työkaluja, joiden avulla voit manipuloida pintaverkkomallin kokonaisuutta tai osakokonaisuutta. Tällä toiminnolla on tarkoitus saada pintaverkkomalli siirrettyä ja pyöräytettyä oleelliseen asentoon mallinnusohjelman origoa ja akseleita hyödyntäen.



KUVA 26. Mesh Edit toiminto.

Pintaverkon manipulointi

Pintaverkon manipulointi sisältää perustyökaluja pintaverkkomallin siirtämiseen, kopioimiseen, pyörittämiseen sekä skaalaukseen. Pintaverkon manipulointi ei ole välttämätön, mutta helpottaa pintaverkon jatkokäsittelyä. On suositeltavaa asettaa origo optimaaliselle paikalle pintaverkkomalliin, sekä akselit kappaleen suuntaisiksi.



KUVA 27. Pintaverkkomallin manipulointityökalut.

1. Siirrä tai kopioi pintaverkkomallia
2. Skaalaa tai lisää poikkeama kopio pintaverkkomalliin
3. Valitaan haluttu pintaverkkomalli
4. Valittu pintaverkkomalli
5. Valinta, jos halutaan kopioida, eikä vain siirtää pintaverkkomallia
6. Pintaverkkomallin siirtäminen numeerisesti
7. Pintaverkkomallin pyörittäminen aktivoidaan, valitsemalla aluolivalikko.
8. Tarvittavien toimenpiteiden jälkeen hyväksytään ja lopetetaan Mesh Edit.

5.3. Curve Wizard

Curve Wizard toiminto sisältää työkaluja, joiden avulla voit luoda pintaverkkomallin muodoista luonnostasojille viivageometrian. Tätä toimintoa voi hyödyntää, jos haluaa luoda pinnat manuaalisesti jatkojalostusvaiheessa. Curve Wizard:in käyttö on yksi tapa muodostaa pintamalli, mutta työläämpi ratkaisu. Joissakin pinnan muodoissa tämä voi olla oikea lähestymistapa.

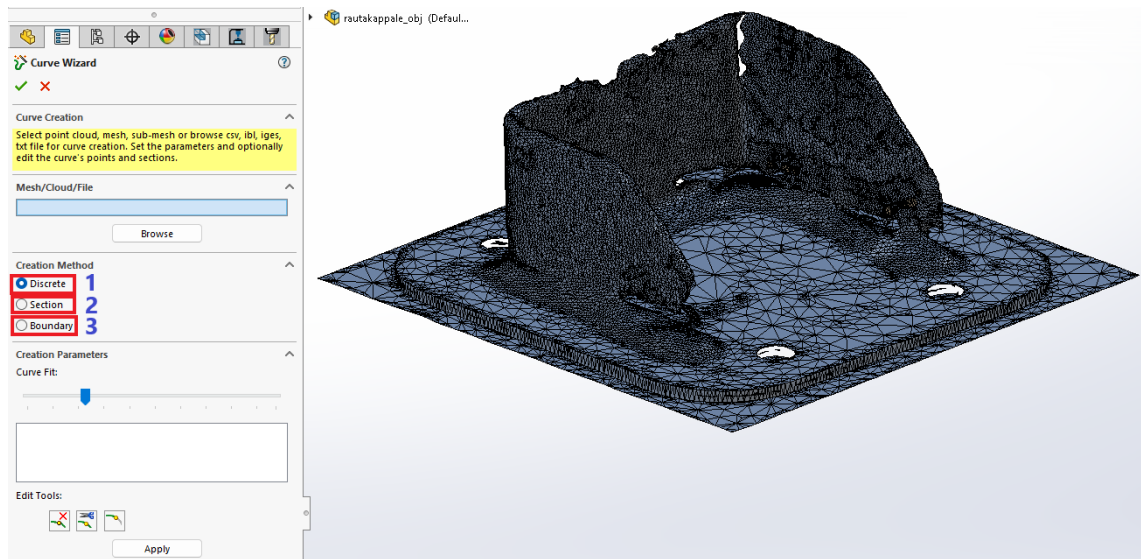


KUVA 28. Curve Wizard toiminto.

Viivakäyrä geometrian luominen

23(32)

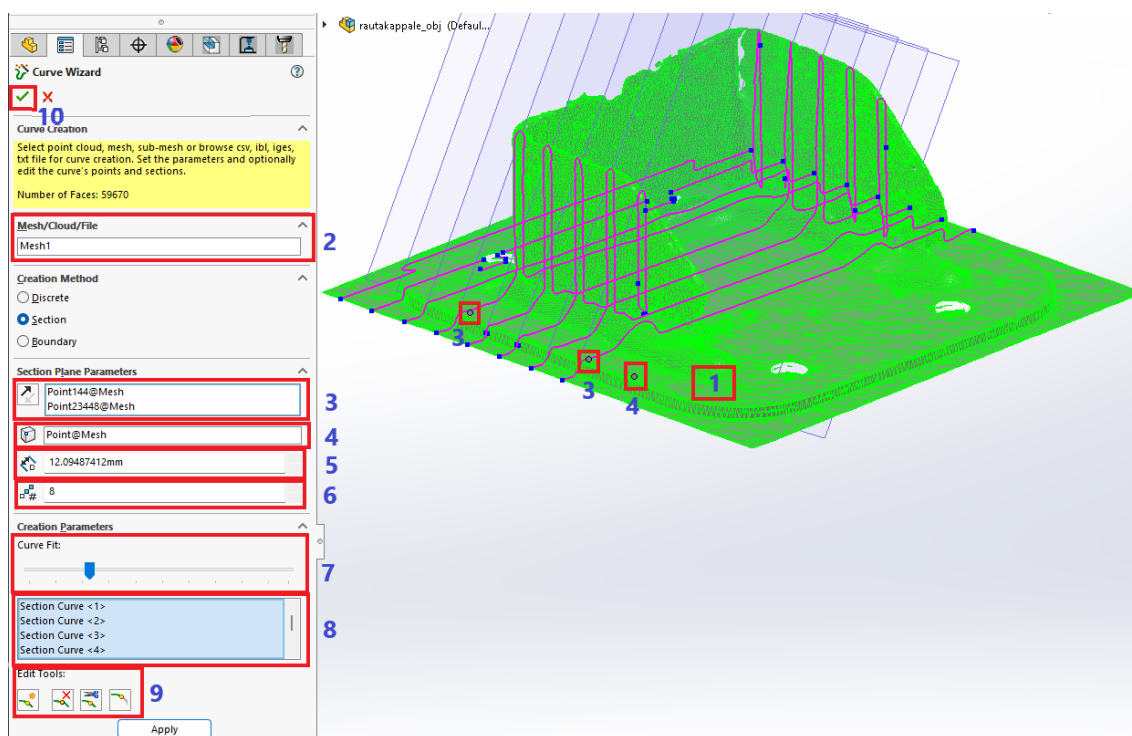
Viivakäyrä geometrian luomisessa on kolme vaihtoehtoista tapaa. Ensimmäinen ”Discrete” toimintoa harvemmin käytetään, koska tässä viivageometrian parametrit tulevat erillistiedostosta. Yleisesti käytetään ”Section”- tai ”Boundary” toimintoja, jolla saadaan geometria luotua leikkaavilla tasoilla tai äärirajoilla.



KUVA 29. Curve Wizard:in kolme vaihtoehtoista toimintoa.

1. ”Discrete” luodaan viivageometria erillistiedostosta.
2. ”Section” luodaan viivageometria leikkaustasojen avulla, jotka leikkaavat kappaleen lävitse.
3. ”Boundary” luodaan viivageometria pintaverkkomallin äärirajoista.

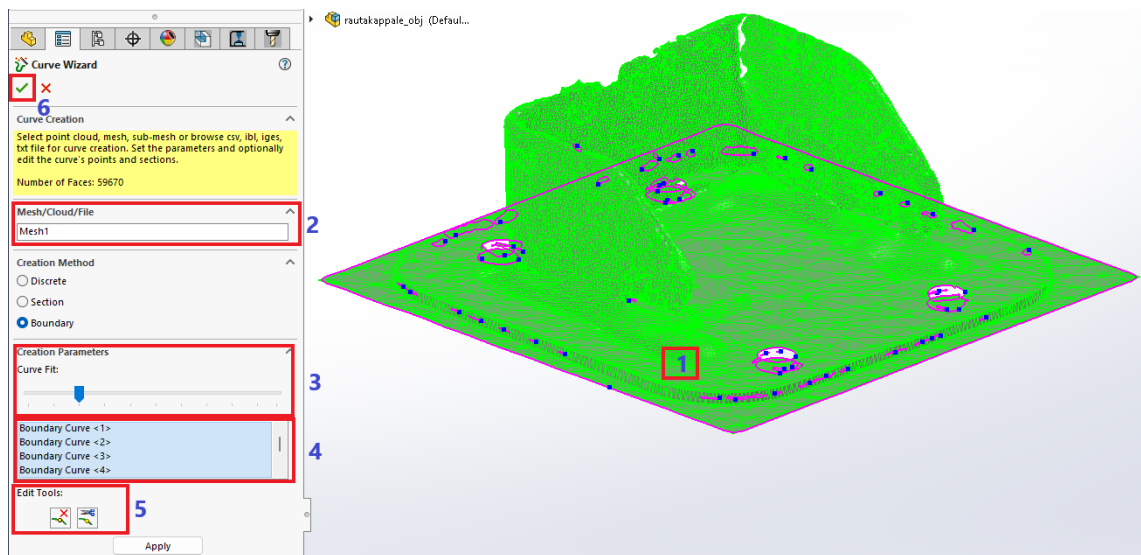
Esimerkki ”Section”-toiminnon käyttämisestä:



KUVA 30. Section toiminnon esimerkki.

1. Ensimmäisenä valitaan hiiren vasemmalla painikkeella pintaverkkomalli näytöltä.
2. Valittu pintaverkkomalli tulee näkyviin valintalaatikkoon.
3. Valitaan näytöltä alku- ja loppupiste, joka muodostaa janan. Tämä jana osoittaa leikkaavien tasojen suunnan.
4. Valitaan näytöltä ensimmäisen tason aloituspiste.
5. Määritetään leikkaavien tasojen välinen mitta-arvo.
6. Määritetään lukumäärä, montako leikkaavaa tasoa luodaan.
7. "Curve Fit" toiminnolla voidaan muokata viivan terävyyttä, kuinka tarkasti muodostuva viivageometria seuraa pintaverkkomallin äärirajoja.
8. Valinta laatikossa, voidaan poistaa välitasojen viivageometrioita tarvittaessa.
9. "Edit Tools" työkaluilla pystytään muokkaamaan automaattisesti luotuja viivageometrioita, luoduilla tasoilla.
10. Kun halutut asetukset ja luodut viivageometriat ovat valmiita, hyväksytään ja lopetetaan "Curve Wizard"-toiminto.

Esimerkki "Boundary"-toiminnon käyttämisestä:



KUVA 31. Boundary toiminnon esimerkki.

1. Ensimmäisenä valitaan hiiren vasemmalla painikkeella pintaverkkomalli näytöltä.
2. Valittu pintaverkkomalli tulee näkyviin valinta laatikkoon.
3. "Curve Fit"-toiminnolla voidaan muokata viivan terävyyttä, kuinka tarkasti muodostuva viivageometria seuraa pintaverkkomallin äärirajoja.
4. Valintalaatikossa voidaan poistaa viivageometrioita tarvittaessa.
5. "Edit Tools"-työkaluilla pystytään muokkaamaan automaattisesti luotuja viivageometrioita luoduilla tasoilla.
6. Kun halutut asetukset ja luodut viivageometriat ovat valmiita, hyväksytään ja lopetetaan "Curve Wizard"-toiminto.

5.4. Surface Wizard

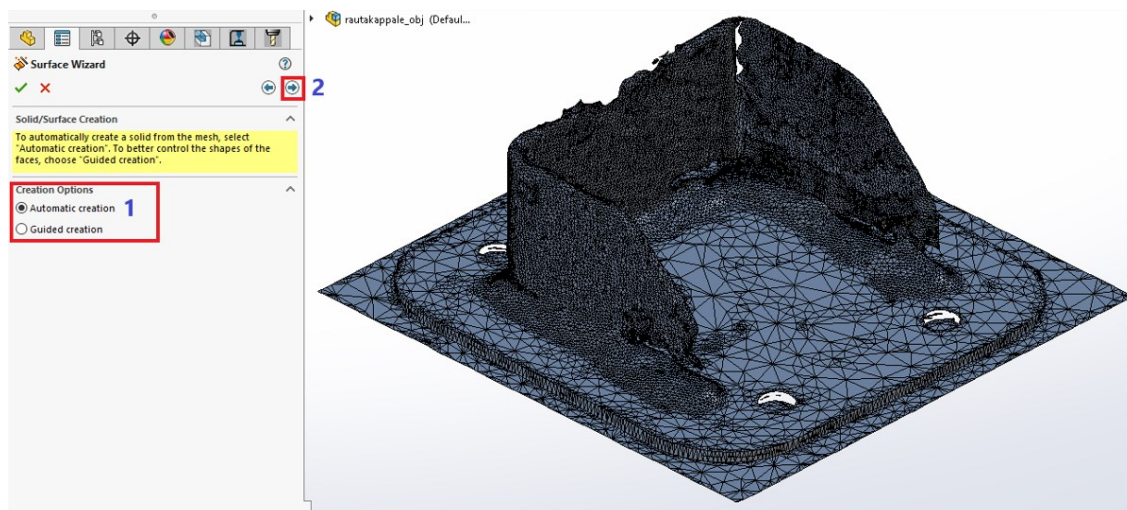
Tässä osiossa käydään läpi Surface Wizard toiminto. Tämä sisältää työkaluja, joiden avulla voit luoda pintaverkkomallin perusteella, tila- tai pintamallin suunnitteluhjelmaan. Tämä toiminto on välttämätön, jotta suunnitteluhjelman muokkaustyökalut tulevat käytettäviksi jatkojalostusta varten.



KUVA 32. Surface Wizard -toiminto.

Pintojen luonti jatkojalostusta varten

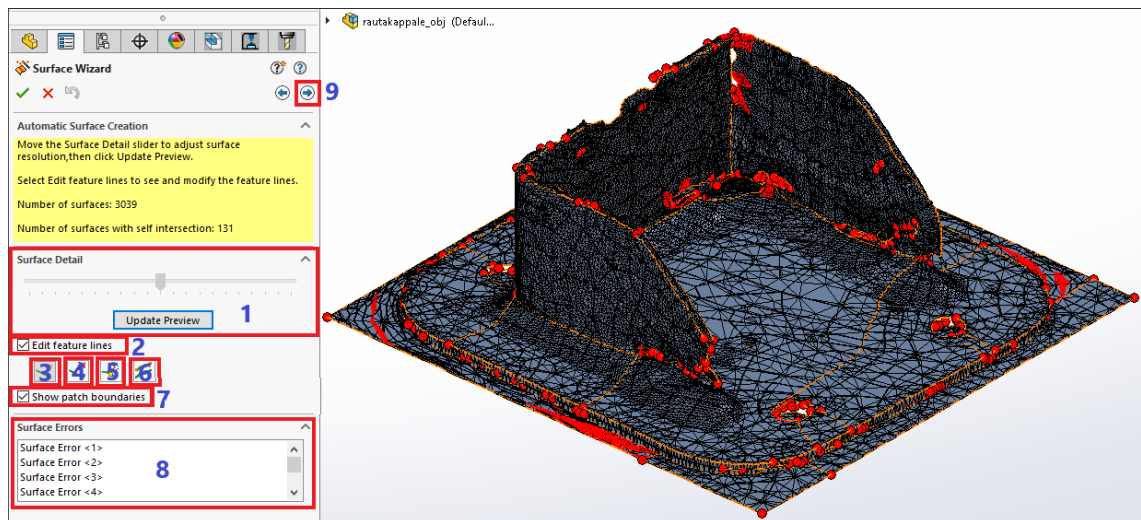
Tilavuusmallin luomisessa on kaksi vaihtoehtoista toimintoa. Automaattinen tai manuaalinen. Jos automaattisen työkalun lopputulos ei miellytä, suositellaan manuaalisen toiminnon käyttämistä. Käyttöohjeessa käsitellään molemmat vaihtoehdot.



KUVA 33. Vaihtoehdot tilavuusmallin luomiseen.

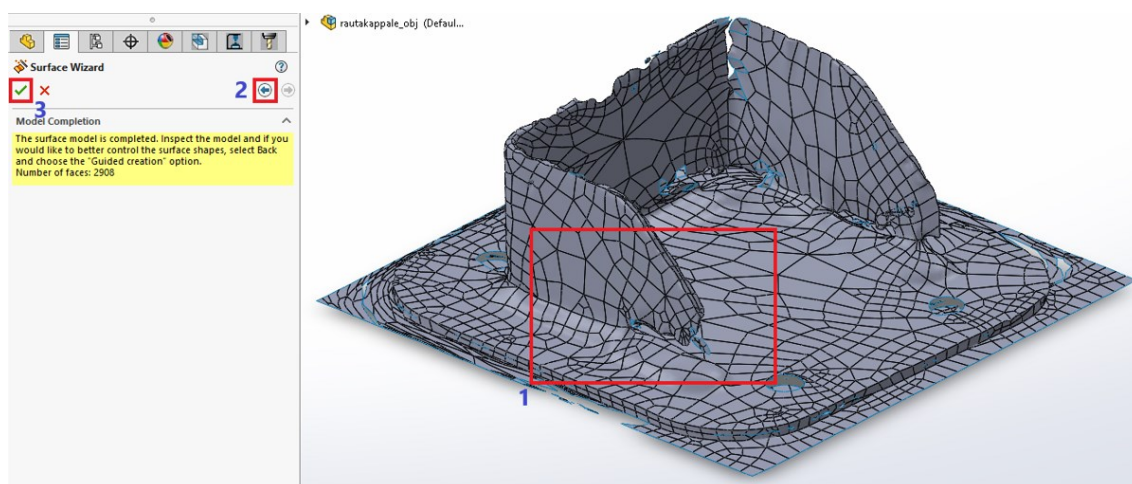
1. Valitaan "Automatic creation" valintaruutu painike aktiiviseksi.
2. Hyväksytään valinta ja jatketaan eteenpäin.

Esimerkki automaattisen toiminnon käyttämisestä:



KUVA 34. Vaihtoehdot tilavuusmallin luomiseen.

1. Ensimmäisessä laatikossa olevalla liukusäätimellä, valitaan haluttu tarkkuus pintojen muodostamisessa. "Update Preview" painikkeella voidaan päivittää näkymä, jolla nähdään liukusäätimellä asetettu vaikutus kappaleeseen.
2. "Edit feature lines" valintaruutu valittuna, päästään muokkaamaan piirteiden ääri viivoja.
3. Uusien ääri viivojen lisäys.
4. Olemassa olevien ääri viivojen poisto.
5. Ääri viivan päätysteiden siirto.
6. Ääri viivojen "rentoutus", jolla voidaan pehmyyttään viivan kulkemaa janaa.
7. "Show patch boundaries" valintaruutu valittuna, näyttää esikatselun muodostuvista pinnoista mallikappaleessa.
8. Viimeisessä luettelossa näkyy virheet listattuna, jota automaatti toiminto ei osaa käsitellä.
9. Hyväksytään valinta ja jatketaan eteenpäin.

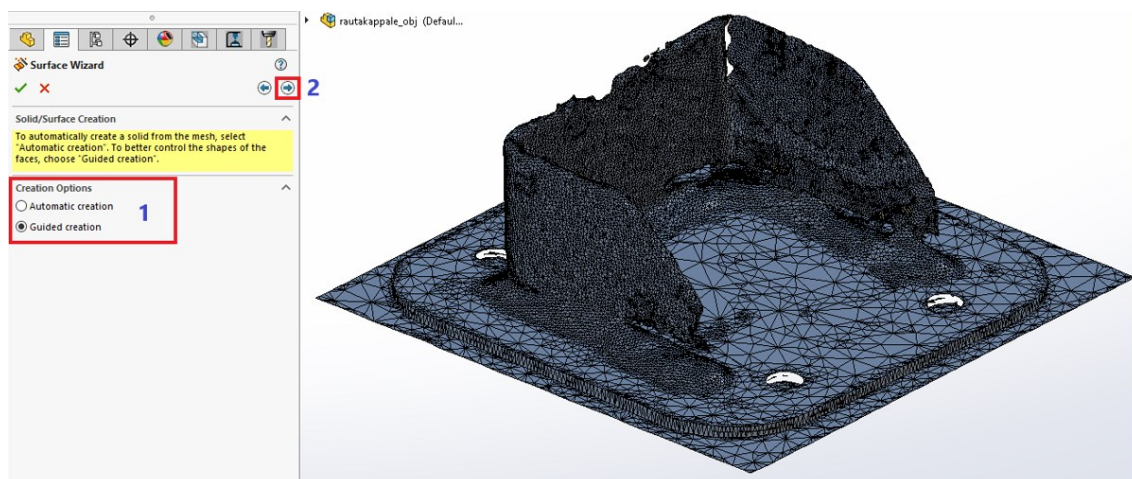


KUVA 35. Automaattisen toiminnon lopputulos.

1. Tutkitaan kappale, onko lopputulos tyydyttävä.
2. Jos lopputulos ei ole tyydyttävä, palataan taaksepäin.
3. Jos lopputulos on hyvä, voidaan Surface Wizard toiminto päättää.

Tässä tilanteessa, lopputulos ei ole tyydyttävä, joten palataan taaksepäin menemällä kaksi askelta taaksepäin painikkeella 2.

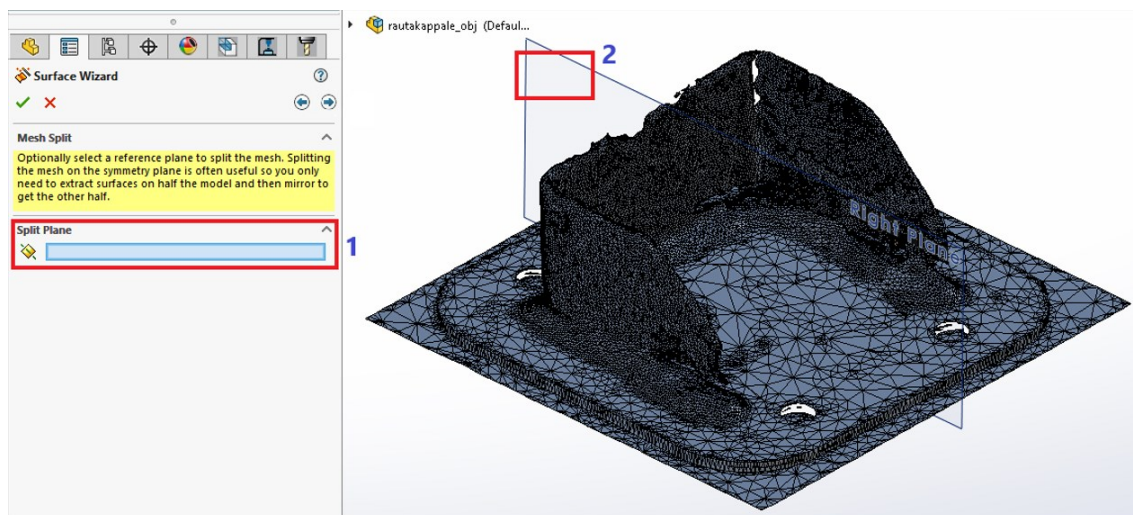
Esimerkki manuaalisen toiminnon käyttämisestä:



KUVA 36. Vaihtoehdot tilavuusmallin luomiseen.

1. Valitaan "Guided creation" -valintaruutu painike aktiiviseksi.
2. Hyväksytään valinta ja jatketaan eteenpäin.

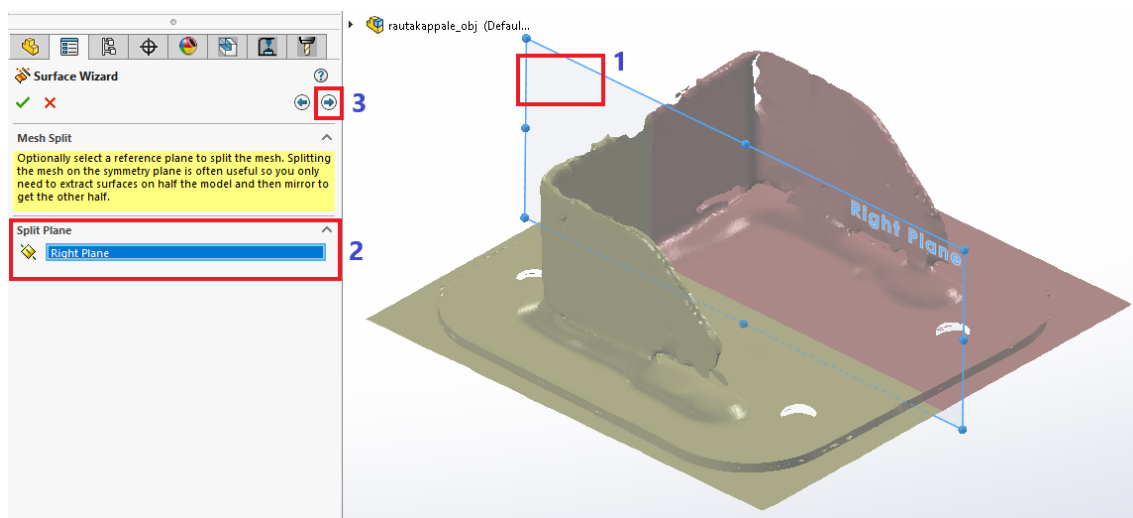
Seuraavassa vaiheessa joko valitaan kappaleen leikkaava taso tai ollaan valitsematta tasoa ollenkaan. On suositeltavaa luoda taso kappaleen halki, jos kappale on symmetrinen. Tällöin tarvitsee työstää kappaleesta vain toinen puoli. Toinen puoli voidaan kopioida peilaustyökalulla.



KUVA 37. Symmetriatason valinta.

1. Valittu taso.
2. Erikseen luotu taso käyttäen "Reference geometry" työkalua.

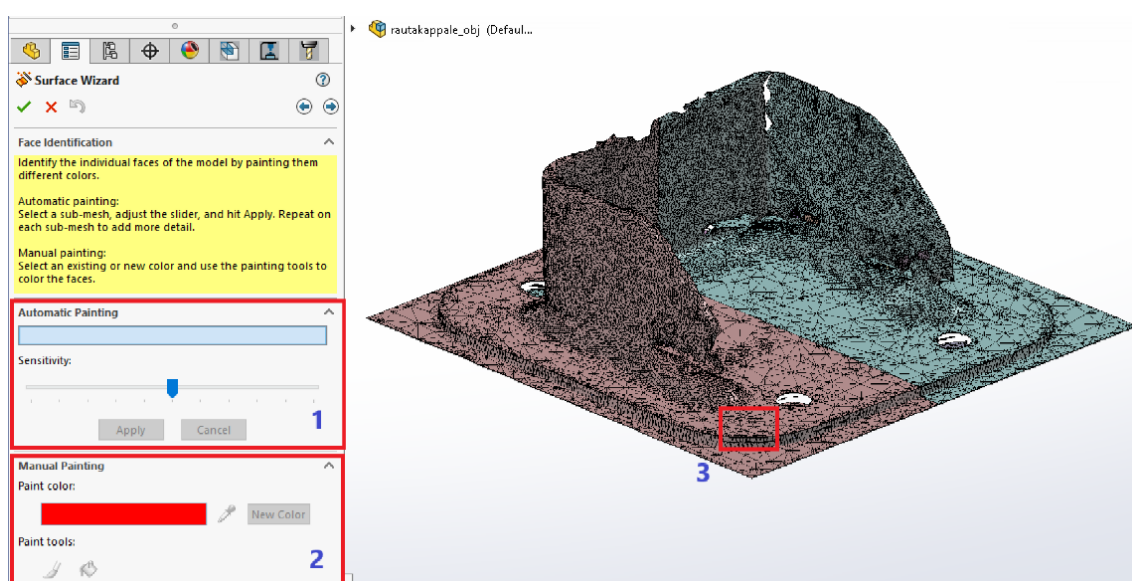
Esimerkki leikkaavan tason valitsemisesta:



KUVA 38. Symmetriataso valittuna.

1. Valitaan taso hiiren vasemmalla painikkeella.
2. Valittu taso näkyy laatikossa.
3. Hyväksytään valinta ja jatketaan eteenpäin.

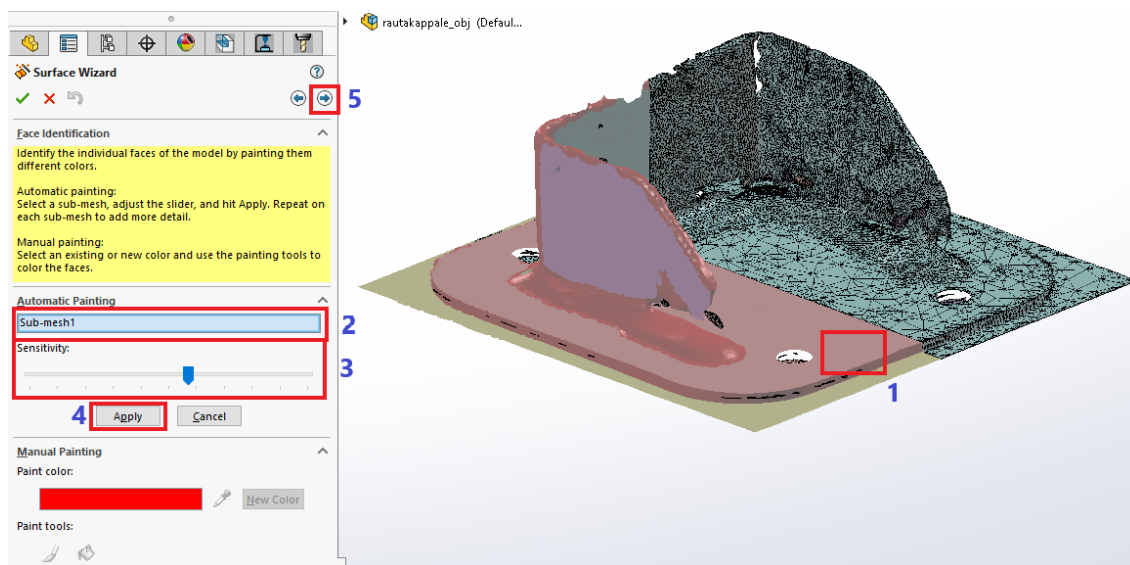
Pintojen identifioinnilla luodaan pintaryhmiä, jolla saadaan kappale eroteltua ryhmiin. Esimerkiksi kappaleen samalla pinnalla olevat lukuisat pienet pintakolmiot yhdistetään yhteen ryhmään. Vaihtoehtona on automaattinen tai manuaalinen maalaus.



KUVA 39. Pintojen identifiointi.

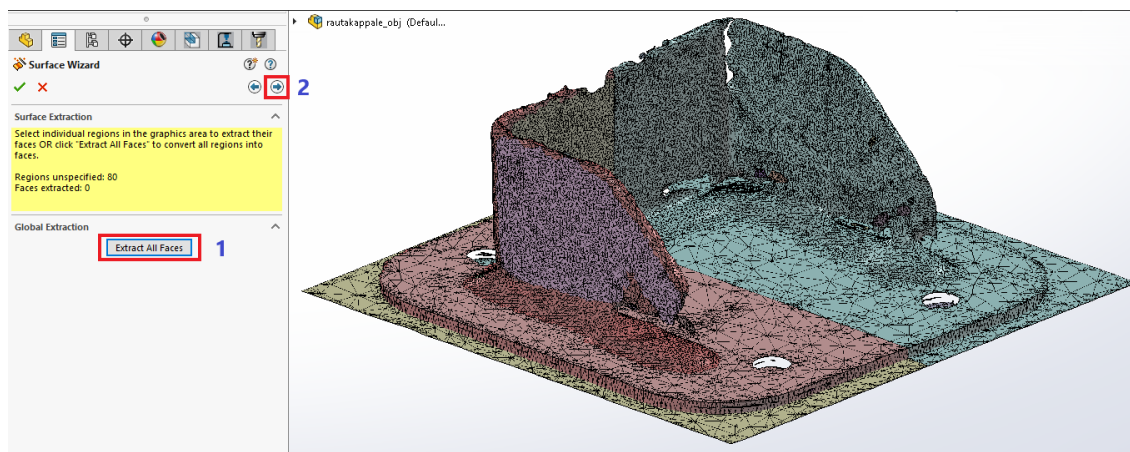
1. Automaattinen pintojen maalaus, sekä liukusäädin herkkyyden säätämiseksi.
2. Manuaalinen pintojen maalaus, värien vaihto, sekä kaksi erilaista maalaustyökalua.
3. Malli näkyy katkaistuna kahteen osaan, josta voidaan toinen valita työstelläväksi.

Esimerkki automaattisen maalauksen käyttämisestä:



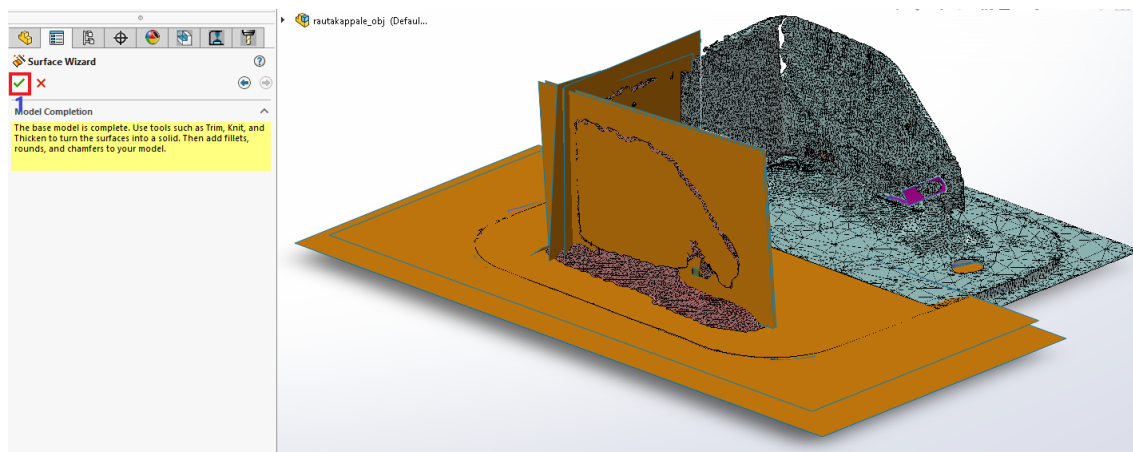
KUVA 40. Pintojen automaattinen maalaus ryhmiin.

1. Valitaan kappaleen toinen puolisko työstettäväksi.
2. Valittu kappale tulee näkyviin valintalaatikkoon.
3. Haetaan sopiva herkkyysasetus liukusäätimellä, että kappaleen väritetyt alueet jakautuvat sopivista rajakohdista omiin ryhmiin.
4. "Apply" valintapainikkeella hyväksytään osa-alueiden luonti, sekä päästään osa-alueita jakamaan vielä pienempiin ryhmiin. Tämän toiminnon voi ohittaa, ja mennä suoraan kohtaan 5.
5. Hyväksytään osa-alueiden muodostaminen ja jatketaan eteenpäin.



KUVA 41. Pintojen luominen, osaryhmittelyjen perusteella.

1. Toiminto luo pinnat automaattisesti osaryhmittelyjen perusteella.
2. Hyväksytään ja jatketaan eteenpäin.



KUVA 42. Pinnat luotuna jatkokäsittelyä varten.

1. Pinnat ovat nyt luotu ja "surface wizard" toiminto voidaan lopettaa.

Tässä käyttöohjeessa ei käsitellä kappaleen jatkojalostusta tilavuusmalliksi.

Liite 2. Kokouspöytäkirja

Kokouspöytäkirja: Opinnäytetyön ja sen tulosten läpikäynti toimeksiantajan edustajan kanssa 12.5.2023

Osallistujat:

Juuso Huhtiniemi (Toimeksiantajan TAMK edustaja)

Alexi Hynninen (opiskelija)

Teemu Ängeslevä (opiskelija)

Kokouksen sisältösuunnitelma

Kokouksessa käydään läpi seuraavat asiat:

- Onko työssä tarvittavat asiat
- Yleiset huomiot
- SolidWorks ja ScanTo3D Työkalujen ominaisuudet yksittäin
- Ohjelmiston soveltuvuus yleisesti

Keskustelun tulokset

- Opinnäytetyössä hyvää kirjoittamista: asia on esitelty kattavasti ja selkeästi.
- Työn myöhästymisestä pieni miinus.
- Käyttöohje (liite 1) on hyvän ja erinomaisen välissä, tarkoituksenmukainen, yksityiskohtainen, sopii opetuskäyttöön.
- Ohjelmisto todettiin soveltuvaksi opetuskäyttöön.
- Ohjelmistossa nyanssieroja muihin verrattaviin ohjelmistoihin, mutta kokonaisuutena tarkoituksenmukainen.
- Yksittäisiä ohjelmiston ominaisuuksia ei keskusteltu läpi, työssä oli käyty ne läpi kattavasti.