



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Niko Halminen & Joona Sarjanen

AFO:n kipsitön mitanotto ja mallin- muokkaus 3D-tekniikalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Apuvälineteknikko AMK

Apuvälinetekniikka

Opinnäytetyö

15.11.2018

Tekijä(t) Otsikko	Niko Halminen & Joona Sarjanen AFO:n kipsitön mitanotto ja mallinmuokkaus 3D-tekniikalla
Sivumäärä Aika	45 sivua + 4 liitettä 15.11.2018
Tutkinto	Apuvälineteknikko AMK
Tutkinto-ohjelma	Apuvälineteknikko
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Lehtori Tomi Nurminen Yliopettaja Merja Reijonen Yliopettaja Pekka Paalasmaa
<p>Vallalla oleva perinteinen yksilöllisten AFO:jen valmistusmenetelmä perustuu vahvasti työtunteja sitovaan käsityönä tehtävään valmistukseen. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää mitanotto- ja mallinmuokkaustekniikkaa niin, että resursseja kuluu vähemmän ja työ olisi siistimpää. Tutkimus- ja kehitystavoitteena oli luoda kipsitön mitanotto- ja mallinmuokkausmenetelmä, joka vähentää AFO:jen valmistukseen kuluva aikaa ja materiaaleja. Opinnäytetyöllä ei ollut yhteistyökumppania koska kehitetyt menetelmät haluttiin pitää täysin avoimina, niin että apuvälinetekniikan opiskelijat ja ammattilaiset voivat kehittää niitä edelleen. Tämän mahdollistaa opinnäytetyön liitteenä olevat Meshmixer ja Fusion 360 mallinmuokkausohjeet.</p> <p>Perustietoa ortooseista ja AFO:jen valmistamisesta kerättiin kahdella ammattilaishaastattelulla. Muovikipsinauhan soveltuvuutta AFO:jen mitanottoon ja 3D-skannaukseen testattiin. Opinnäytetyössä kehitettiin myös footboard-mitanottoa muovikipsinauhalla. Lisäksi kartoitettiin sopivia 3D-tulostimia ja tulostusmateriaaleja. Mallinmuokkausta kehitettiin Meshmixer ja Fusion 360 ohjelmistoilla.</p> <p>Kehitetyn ja perinteisen mallinmuokkausmenetelmän vertailu osoitti, että uusilla menetelmillä voidaan AFO:n valmistukseen kuluva aikaa vähentää merkittävästi. AFO:n mallinmuokkaus on mahdollista tehdä olemassa olevilla ilmaisilla ohjelmistoilla skannatusta mallista. Kolmiulotteisen digitaalisen mallin muokkaus on mahdollista oppia osana apuvälinetekniikan muuta osaamista, ilman pitkää koulutusta. Potentiaali halvemmalle ja nopeammalle valmistukselle on olemassa. Skannerin ja tulostimen hankinta on taloudellisesti mahdollista pienillekin yrityksille ja sopivia 3D-ohjelmistoja löytyy edullisesti tai jopa ilmaiseksi.</p> <p>Tulostaminen jäi tässä työssä tekemättä, joten tarpeellisenä jatkokehityksenä olisi varsinaisen AFO:n tulostaminen ja testaaminen käytössä. Muovin kierrätys nousi esiin haastattelussa. Muovi on yleinen materiaali apuvälinetekniikassa, mutta sitä ei kierrätetä vielä laajemmalla mittakaavalla. Olisi tärkeää kehittää olemassa olevia menetelmiä vähemmän luonnonvarojen kuormittavaksi. Suomenkielisen apuvälinetekniikan perusteiden puute näkyy myös suomalaisen apuvälineiden valmistamisen kuvauksen puuttumisena. Saimme haastatteluistamme tarvittavaa hiljaista tietoa ortoosien valmistuksesta ja mitanotosta, mutta olisi silti tarpeen tehdä laajempaa haastattelututkimusta aiheesta.</p>	
Avainsanat	AFO, ortoosi, 3D-tulostus, skannaus

Author(s) Title	Niko Halminen & Joona Sarjanen Plaster free AFO casting and 3D modelmaking
Number of Pages Date	45 pages + 4 appendices November 15. 2018
Degree	Bachelor of Healthcare
Degree Programme	Prosthetics and Orthotics
Specialisation option	
Instructor(s)	Tomi Nurminen, Senior Lecturer Merja Reijonen, Principal Lecturer Pekka Paalasmaa, Principal Lecturer
<p>The current method of making AFOs is time consuming and relies heavily on handcrafting. The purpose of this bachelor's Thesis is to develop casting and rectification methods that take less recourses and are cleaner. The research and development objectives are to create a plaster free casting and rectification method that helps to reduce time and material consumption in making an AFO. We wanted to keep the developed processes as transparent as possible to ensure that they can be developed further by prosthetics and orthotics students and professionals. To help accomplish this we have made instructions for rectifying and modelling an AFO with Fusion 360 and Meshmixer. They are included in the appendix.</p> <p>Basic information about manufacturing AFOs was gathered by interviewing two CPOs that specialize in orthotics. The suitability of plaster free casting tapes for AFO casting and scanning was tested. Footboard casting method was also developed with plaster free casting tapes. Suitable 3D printers and printing materials were also surveyed. Rectification and modelling with Meshmixer and Fusion 360 was developed.</p> <p>Comparing the current method to the developed method revealed that it is possible to reduce time needed to manufacture AFOs considerably. It is possible to digitally rectify and model AFOs from scans with currently available free software. It is possible to learn 3D modelling as a part of prosthetic and orthotic work without specific training in modelling. There is potential for cheaper and faster manufacture. 3D printers and scanners are financially available for small companies and there are suitable cheap and free 3D software available for modelling.</p> <p>The actual printing could not be done within this Thesis, so it would be necessary to print and test an AFO in the future. Recycling plastics came up in the interviews. Plastic is a common material used in orthotics and prosthetics, but it is not recycled as of now. It would be important to develop existing methods of manufacturing to reduce the load on nature. The lack of books in Finnish about orthotics and prosthetics is shown as a lack of documented information in the basic methods used to manufacture orthotics in Finland. It would be necessary to further interview professionals in Finland about the methods used in orthotics and prosthetics.</p>	
Keywords	AFO, Orthosis, 3D-printing, Scanning

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Käytetyt menetelmät	2
3	Ortoosi	4
4	Pohjatietoa haastattelujen kautta	5
5	Perinteisen muovisen AFO:n valmistusmenetelmä	11
6	Kuvaus kehitettävistä menetelmistä	15
6.1	Muovikipsinauha mitanoton välineenä	16
6.2	Skannaus mitanoton välineenä	16
7	3D-tulostuksen mahdollisuuksien kartoitus	19
7.1	Markkinoilla olevat materiaalit	19
7.2	Markkinoilla olevat soveltuvat tulostimet	21
7.3	Markkinoilla olevat 3D-ohjelmistot	24
7.4	Kehitteillä olevat tulostetut alaraajaortoosit	25
8	Varsinainen prosessi	26
8.1	Mitanotto muovikipsinauhalla	26
8.2	Ohjeet mitanottoon muovikipsinauhalla	30
8.3	Skannaus	32
8.4	Mallinmuokkaus	33
9	Perinteisen ja nyt kehitetyn prosessin vertailu	35
10	Johtopäätökset	39
11	Pohdinta	40
	Lähteet	42
	Liitteet	
	Liite 1. Haastattelujen teemat	
	Liite 2. Haastatteluosuustumus	
	Liite 3. Meshmixer ohje	
	Liite 4 Fusion 360 ohje	

1 Johdanto

Ortoosi on puettava, raajoja tai muita kehon osia tukeva apuväline. Ortooseja voidaan käyttää monenlaisten liikkumisen ja kävelyn ongelmien helpottamiseen (Lusardi 2013: 219). Ortoosit jaetaan karkeasti yläraajan, alaraajan ja vartalon ortooseihin. Tässä opinnäytetyössä käsittelemme säärimittaisen nilkka-jalkateräortoosin, eli AFO:n (eng. Ankle Foot Orthosis) mitanotto- ja mallinmuokkaustekniikkaa. AFO on ylivoimaisesti yleisin alaraajan tukemiseen tarkoitettu väline (Lusardi 2013: 224).

Vallalla oleva perinteinen yksilöllisten AFO:jen valmistusmenetelmä perustuu vahvasti työtunteja sitovaan käsityönä tehtävään valmistukseen. Tarkoituksenamme on kehittää mitanotto- ja mallinmuokkaustekniikkaa niin, että aikaa ja materiaaleja kuluu vähemmän ja se on siistimpää. Resurssien kulutusta vähentämällä saadaan tuotannosta kustannustehokkaampaa. Näin saadaan tuotanto säilymään apuvälinepajoilla, eikä se karkaa kolmansille osapuolille. Myös laadunvalvonta helpottuu.

Opinnäytetyössä ei ole yhteistyökumppania, koska haluamme pitää mahdolliset tulokset kaikkien saatavilla ja prosessin mahdollisimman läpinäkyvänä. Pyrkimyksenämme on, että tässä opinnäytetyössä kuvatut menetelmät ovat toistettavissa ja edelleen kehitettävissä apuvälinetekniikan ammattilaisten ja opiskelijoiden toimesta.

Tutkimus- ja kehitystavoitteena on luoda kipsitön mitanotto- ja mallinmuokkausmenetelmä, joka vapauttaa AFO:jen valmistukseen kuluvia resursseja. Tämä vaatii ortoosimitanoton kehittämistä skannauksen ehdoilla toimivaksi kokonaisuudeksi, niin että skannatusta mallista saadaan digitaalisesti muokattua tulostettava ortoosi. Tarpeen on myös kartoittaa jo olemassa olevat soveltuvat tulostinmallit ja -materiaalit. Perimmäisenä ajatuksena on pitää yksittäisen yrityksen hallinnassa koko ortoosien valmistusketju kilpailukykyisenä. Kehitettävänä menetelminä ovat skannaus ja mallinmuokkaus 3D ohjelmistoilla.

Skannaus on menetelmä, jolla saadaan kappaleesta kuvattua kolmiulotteinen digitaalinen malli. Saatua mallia voidaan muokata 3D-ohjelmistoilla ja tulostaa 3D-tulostimilla. 3D-tulostus on materiaalia lisäävä valmistustekniikka. Toisin kuten esimerkiksi jyrsin-

nässä, jossa materiaalia poistetaan erilaisin työkaluin ahiosta, 3D tulostamisessa kerrostetaan materiaalia haluttuun muotoon. (3D Hubs 2018.) Rajaamme kehitettävän prosessin mitanottoon ja mallinmuokkaukseen ajankäytöllisistä syistä.

2 Käytetyt menetelmät

Menetelminä tässä opinnäytetyössä käytimme teemahaastattelua ja erilaisten työtapojen testausta. Testattuja työtapoja vertailimme perinteisiin menetelmiin.

Haastattelut

Dokumentoitua tietoa suomalaisten apuvälinepajojen vallitsevista ortoosien valmistusmenetelmistä, valmistamiseen kuluva ajasta ja muista resursseista, sekä erilaisten ortoosien menekistä on hyvin vähän saatavilla, vaikka alan käytänteet vaikuttavatkin erittäin yhtenäisiltä. Saadaksemme paremman käsityksen kyseisistä asioista, järjestämme teemahaastattelun kahdelle apuvälinealan ammattilaiselle, jotka valmistavat päivittäisessä työssään lähes pelkästään ortooseja.

Teemahaastattelu on puolistrukturoitu haastattelu, jossa tiedetään mistä aiheista halutaan vastauksia, mutta ei haluta tehdä tarkasti rajattuja kysymyksiä. Teemoja tulisi kuitenkin jäsentää jopa tarkkarajaisen kysymysten muotoon, koska haastattelu on aina pohjimmiltaan kysymyksiä, joihin halutaan vastauksia. Liian löyhässä haastattelussa on vaarana, ettei oikeisiin kysymyksiin saada vastauksia. Teemoista johdetut kysymykset toimivat ikään kuin työkaluina, mikäli keskustelunomainen haastattelu ei kulje haluttuun suuntaan. Teemahaastattelu vaatii joustavuutta sekä kysymysten asettelussa että vastausten vastaanottamisessa. On pyrittävä säätämään kieltä ja kysymyksiä suhteessa haastateltavaan. (Hirsjärvi & Hurme 2009:102–103.)

Haastattelun teemat perustuvat ns. ”hiljaiseen tietoon” (Vilkkä 2006: 27–31). Olemme kerryttäneet omaa ymmärrystämme ortoosin valmistuksesta apuvälinealan harjoitte-
luissa, töissä ja koulussa. Teemoista johdimme kysymyksiä ns. suppilotekniikkaa sovel-
taen. Suppilotekniikan ideana on luoda teemoja, teemoista yleisiä kysymyksiä ja taas
yleisistä kysymyksistä tarkentavia kysymyksiä. (Hirsjärvi & Hurme 2009: 106–107). Tee-
mahaastattelu valittiin sen avoimuuden vuoksi, strukturoidussa haastattelussa emme
välttämättä osaisi kysyä kaikkia tarvittavia kysymyksiä, joihin meillä on kuitenkin mah-
dollisuus saada vastaus avoimesti keskustelemalla valikoiduista teemoista.

Mitanottotestit

Kipsittömän mitanoton kehittämisen toteutamme testaamalla muovikipsinauhan soveltu-
vuutta AFO:n mitanottoon. Alustavissa testeissä käytämme perinteistä kipsinauhaa ja
verrokkina muovikipsinauhaa. Testien tarkoituksena on kuvata läpinäkyvästi muovikipsi-
nauhan käyttöä mitanoton välineenä ja todentaa muovikipsin soveltuvuus skannatta-
vaksi käytössämme olevalla skannerilla. Kehitämme mitanottoa edelleen alustavista tes-
teistä ja haastatteluista kerättyjen tietojen perusteella.

Mallinmuokkauksen testit

Mallinmuokkausta testaamme käytännössä saatavillamme olevilla 3D-mallinnusohjel-
millä. Tarkoituksena on saada skannattu alaraajan muoto muokattua digitaalseksi or-
toosin malliksi, joka olisi mahdollista tulostaa.

Vertailu resurssien kulutuksesta

Vertaamme nyt kehitettyyn ja perinteiseen valmistukseen tarvittavia resursseja toisiinsa.
Vertailussa keskeisenä osana on ammattilaisen ortoosin valmistuksessa kuluva sitova
aika, materiaalikustannukset sekä hävikki.

3 Ortoosi

Ortoosi on kehon ulkopuolinen, puettava tukilaite tai -väline. Ortooseja voidaan käyttää missä osassa kehoa hyvänsä. Ortoosit jaetaan karkeasti yläraajan, alaraajan ja vartalon ortooseihin.

Alaraajaortooseja voidaan käyttää monenlaisten liikkumisen ja kävelyn ongelmien helpottamiseen. Tällaisilla ortooseilla voidaan tukea yliliikkuvia niveliä, niillä voidaan korvata puuttuvaa lihasvoimaa tai ohjata hypertonisia raajoja. Lisäksi niitä voidaan käyttää vähentämään tai jopa poistamaan kuormitusta postoperatiivisessa hoidossa ja niitä voidaan käyttää ohjaamaan normaalia kasvua lapsilla, joilla on esimerkiksi nivelten yliliikkuvuutta tai kohonnut tonus. Alaraajaortooseilla voidaan myös vähentää kontraktuurien muodostumisen riskejä. (Lusardi 2013: 219.) Ortooseilla voidaan lisäksi vähentää spastisuutta (Kruus-Niemelä 2010: 153).

Alaraajaortoosit nimetään yleisesti niiden peittämän kehon alueen mukaan. Nimeämisessä on paikallista vaihtelua. Käytämme Metropoliaassa oppimaamme ja Suomessa laajasti käytössä olevaa nimeämistapaa, joka koostuu englannin kielestä tulevista lyhenteistä. (mm. Kruus-Niemelä 2010: 154; Gambell 2002: 338, 375) Tässä opinnäytetyössä kehityksen kohteena on siis AFO (Ankle Foot Orthosis), nilkka-jalkaterä-ortoosi, usein puhutaan myös sääriortoosista.

Näiden lyhenteiden lisäksi on yleisesti tapana kertoa ortoosin toiminnallisuudesta, esimerkiksi plantaarifleksiorajoitteesta tai vapaasta nivelestä. Lisäksi on hyvä kertoa ortoosin korkeus. Esimerkiksi puhuttaessa säärimittaisesta ortoosista ylettyy ortoosin varsi säären alueelle.

4 Pohjatietoa haastattelujen kautta

AFO on ylivoimaisesti yleisin alaraajan tukemiseen tarkoitettu väline (Lusardi 2013: 224). Tätä tukee myös omat kokemuksemme ja asiantuntijoille tekemämme haastattelut.

Dokumentoitua tietoa suomalaisten apuvälinepajojen vallitsevista ortoosien valmistusmenetelmistä, valmistamiseen kuluvasta ajasta ja muista resursseista, sekä erilaisten ortoosien menekistä on hyvin vähän saatavilla. Tästä syystä pohjatiedon saamiseksi pidimme kahdelle lähes pelkästään ortooseja valmistavalle apuvälineteknikolle teemahaastattelut. Haastatteluiden teemat liittyivät vahvasti oppimiimme käsityksiin ortoosien valmistamisesta. Teemahaastattelu mahdollisti avoimen keskustelun ammattilaisen kanssa, jolloin saimme vastauksia kysymyksiin, joita emme olisi muuten osanneet kysyä. Haastateltavien kanssa teimme sopimukset haastatteluosuudesta. Sopimuksesta käy ilmi haastateltavien oikeus kieltäytyä haastattelusta, olla vastaamatta kysymyksiin oman harkintansa mukaan, kuinka aineistoa säilytetään, sekä haastateltavien oikeus lukea ja tarkistaa opinnäytetyö ennen julkaisua. Sopimus liitteenä kokonaisuudessaan (Liite 2 Haastatteluosuutus).

Haastatteluista kävi ilmi, että suurin osa sekä lapsille että aikuisille yksilöllisesti valmistettavista ortooseista on, säärimittaisia, nilkka-jalkateräortooseja eli AFO:ja.

Mun kautta ainakin yleisimmät on varmaan sääriortoosit, plantaarifleksiorajoitus.

Kyl se aikuispuolella on ehdottomasti noi sääriortoosit. Lasten puolella sanosin et varmaan keskimäärin sama. Esimerkiks täällä ei paljon muuta menekkään, mut sitte taas niinkun ehkä muual menee nilkkamittasta DAFO:a paljon enemmän.

AFO on ortoosi, jonka yläosa ylettyy yli nilkan ja sen tehtävänä on poistaa nilkan epävakautta tai saada veltto nilkka hallintaan (Kruus-Niemelä 2010: 155). Nilkka-jalkateräortoosi on yleisesti käytössä oleva ortoosityyppi hemiplegia potilaiden kuntoutuksessa parantamassa tasapainoa ja kävelyn laatua (Cakar ym. 2010).

AFO on ylivoimaisesti yleisin alaraajan tukemiseen tarkoitettu ortoosi. AFO:lla pystytään vaikuttamaan kävelyyn kaikissa kävelyn vaiheissa. Vaikka ortoosista käytetty nimitys rajoittuu sen peittämään kehon osaan, ovat sen vaikutukset merkittäviä myös proksimaalisesti. AFO vaikuttaa esimerkiksi suoraan polven stabiiliteettiin kävelyn kuormitusvaiheessa. Plantaarifleksiorajoitettu AFO on nivelletty, nilkan dorsifleksion salliva, mutta

plantaarifleksion pois rajoittava ortoosi. Tällaisia ortooseja käytetään helpottamaan jalkaterän rullaavaa liikettä kävelyssä ja se mahdollistaa esimerkiksi kyykistymisen. (Lusardi 2013: 224, 235.) AFO:n käyttäjäryhmänä ylivoimaisesti suurin, noin puolet, on haastateltavien mukaan aivoverenkierron häiriöiden takia hemipareesin eli toispuolihalvauksen saaneet aikuiset henkilöt.

Neurologiset, tuota hemi tapaukset on yleisimpiä mitä mulle tulee.

Eli asiakasryhmänä nyt sitten tämä hemi-tyyppinen oireisto eli stroukki asiakkaat...

Aivoverenkierron häiriöillä eli AVH:lla tarkoitetaan pysyvää tai ohimenevää aivoinfarktia tai aivoverenvuotoa. Vuosittain 25000 suomalaista saa aivoverenkierron häiriön. Puolelle sen saaneista jää pysyvä haitta. Pysyvän haitan saaneista puolella haitat ovat vakavia. (Aivoliitto n.d.) AVH:n riski lisääntyy iän myötä ja suomalaisten ikärakenne aiheuttaa todennäköisesti tulevaisuudessa lisääntyvää AVH:den ilmaantuvuutta.

Aivoverenkierron häiriöiden seurauksena voi syntyä eri asteisia liikkumisen ja muun toimintakyvyn haittoja. Liikkumisen ongelmia voivat olla hemipareesi, eli toispuoleinen, raajojen osittainen heikkous ja toimintakyvyn vaje, tai toisen puolen raajojen täysi halvaus eli hemiplegia. Näihin liittyy erilaisia lihasaktiivisuuden muutoksia, jotka vaikeuttavat kävelyä, tasapainon ylläpitämistä ja liikkumista yleensä. AFO on yleisin hemipareettiselle henkilölle valmistettu ortoosi. (Kott 2002: 415–416.)

Aikuisilla muita haastatteluissa mainittuja syitä plantaarifleksiorajoitettun AFO:n käyttöön ovat pääasiassa erilaiset neurologiset ongelmat ja toiminnalliset syyt yksilöllisen ortoosin tarpeeseen ovat yleensä virheasennot, jäykkyys, kohonnut lihastonius ja spastisuus.

...Selkeesti sinne kireyteen ja-tai yliojennuspuolelle menevä sääriortoosi.

Haastattelujen perusteella myös lasten yksilöllisistä ortooseista noin puolet on plantaarifleksiorajoitettuja AFO:ja. Toisen puoliskon muodostavat pääasiassa dynaaminen nilkka-jalkaterä-ortoosi eli DAFO (eng. Dynamic AFO) ja seisomalasta eli staattinen AFO. Staattinen AFO on jäykkä nilkka-jalkateräortoosi, jonka varsi ulottuu hieman fibulan proksimaalipään alapuolelle (Lusardi 2013: 227). DAFO on liikettä salliva eli dynaaminen nilkka-jalkateräortoosi (Kruus-Niemelä 2010: 154).

Haastattelujen perusteella alaraajaortoosien valmistusmenetelmiä on Suomessa käytössä pääasiassa kolme. Suurin osa ortooseista valmistetaan edelleen kipsimallin kautta.

Sieltä haastattelun jälkeen mä otan mitat kipsinauhalla. Käytän footboardia, jos tarvii. Sit valan siitä kipsimallin, ja teen siihen normi veistot, elikkä lisäykset, veistot, poistot ja sen päälle pehmusteet, muovinvedot.

Toisena mainittuna vaihtoehtona on lähettää asiakkaan jalasta tehty kuorikko eli negatiivinen valos, tai jopa valmiiksi veistetty kipsipositiivi kolmannelle osapuolelle keskitettyyn valmistukseen. Myös asiakkaasta skannattuja tiedostoja lähetetään keskitettyyn valmistukseen. Skannauksella tarkoitetaan kappaleen kolmiulotteista kuvantamista (3D Systems Inc. 2018). Skannaaminen on kuitenkin vähäistä, ja haastattelujen perusteella Suomessa on vain viisi tai kuusi henkilöä, jotka käyttävät skannausta mitanottomenetelmänä. Useimmiten keskitetysti valmistetut ortoosit ovat hiilikuituortooseja, mutta myös muovioortooseja valmistetaan tällä tavalla. Ulkoistetulla valmistamisella pyritään kustannussäästöihin lyhentämällä ammattilaista sitovaa työaika. Haastattelussa ongelmalliseksi kolmannen osapuolen valmistamien ortoosien kanssa koettiin kuorikoiden, kipsipositiivien ja valmiiden tuotteiden kuljetus, laadun huonontuminen ja reklamaatiotilanteista johtuvat viivästykset.

Jos mä nyt lähetän vaikka Guatemalaan ortoosin muovinvetoon ja se tulee takasin, mä toteen et se on nyt liian ohut tai liian paksu, niin se on aika pitkä rundi. Jos työkaveri samalla pajalla vaikka vetää sen, ni mä nään sen siinä muovinvetovaiheessa jo... että ei onnannu... Muovinveto on kymmenen minuuttia kahdentoistatunnin työstä.

Jos siitä skannerista meinaa jotain hyötyä saada, niin senhän pitäis periaatteessa nopeuttaa prosessia ja mielellään sitä kautta tehdä halvemmaksi ja sit toisaalta laatu.. pitäis parantua tai vaihtoehtoisesti ei sais tippua liikaa.

Kolmantena haastattelussa ilmenneenä vaihtoehtona ovat valmisortoosit, joita useat suuret apuvälineyritykset valmistavat. Valmisortoosit ovat haastattelujen perusteella hyviä tuotteita henkilöille, joilla on vähäinen tuen tarve, eikä vakavia virheasentoja. Peroneuspareesi mainittiin yleiseksi syyksi käyttää valmisortooseja. Haastatteluista kävi selvästi ilmi, että ne toimivat kuitenkin harvoin riittävän hyvin henkilöillä, joilla on hemipareesi tai jokin muu merkittäviä virheasentoja ja esimerkiksi spastisuutta aiheuttava ongelma. Molempien haastateltavien mukaan tällaiset henkilöt hyötyvät selvästi yksilöllisesti valmistetun ortoosin suljetummalla muodolla saavutettavasta paremmasta, yksilöllisestä tuennasta.

Valmisortoosis on se, et se saahaan nopeesti käyttöön. Se saattaa joissain tapauksissa olla edullisempi, ja se voi olla yhtä toimiva, kun yksilöllinenkin. Toki sitä joudutaan usein muokkaamaan, tai sit tekemään jotain lisäystä siihen... Mut se on ainakin nopeasti asiakkaalla saatavilla. Sit monesti valmisortoosit saattaa olla joissain tapauksissa vähän kevyempiä.

Jos tilanne alaraajan osalta on sellainen et asennot on sen verran kraaveja, mikä vaatii sen yksilöllisen. Muodot täytyy olla sellasia, että valmisortoosi ei siinä toimi. Yksilöllisissä otetaan yleensä se kipsimuotin kautta, siitä saadaan muodot niin hyvin haltuun, se istuu paremmin. Ja siihen saa erilaisia nivelratkasuja, joita pystytään valikoimaan käytön mukaan. Se on iso etu verrattuna valmisortooseihin. Se että, lapset voi valita kuoseja yksilöllisissä on iso juttu... Yksilöllisessä saa, jos on jotain paikkoja mitkä tarvii vaikka kevennystä tai jotain, tietynlaista ohjausta johonki suuntaan, ni se pystytään kattoon ja tekemään kaikki.

Pääsääntöisesti se, että lähestulkoon kaikki valmisortoosit on niin avonaisia, ettei ne pysty pitämään sitä jalkaa siellä, eli se jää aina niinku kengän varaan. Napakal kangäl se voi hetken toimii, mut kun nahkakin on venyvää niin se antautuu. Jos se on suljetumpi, ni se ei mene kaikkien jalkaan ja sillon taas sopivuus tulee sitte ongelmaksi, siin on se paha ristiriita.

Harvois (valmis)ortooseis on sellasta mahdollisuutta, et kantapää pysyy siellä pohjassa. Sillon yleensä rupee kantapää nouseen, ja tulee jotain painehaavaa tai tämmöst iho-ongelmaa... Sitte ku usein siihen liittyy kierto niin rupeaa malleoli otta-
maan (valmis)ortoosin runkoon kiinni.

Toinen haastateltavistamme kertoi ortoosin valmistukseen kuluvan kaiken kaikkiaan maksimissaan 12 tuntia riippuen tekijästä, ja toinen haastateltavamme kertoi valmistukseen kuluvan kaikkiaan puolitoista työpäivää, eli 11 tuntia ja 15 minuuttia. Pyöristäen AFO:n valmistamiseen kuluu siis keskimäärin 12 tuntia. AFO:n työvaiheista mitanottoihin on molempien mielestä hyvä varata tunti. Myös sovitus ja luovutus vievät kokonaisajasta arviolta tunnin. Kipsintyöstön osuus kokonaisajasta arvioitiin olevan 2,5 tuntia.

Kyllä se kakstoista, ehkä pyöristäen kakstoist puol tuntii-kahteentoist tuntiin, ni siinä vois ajatella mitä se sitte ois... Niinku työaika.

Molemmat haastateltavat kertoivat footboard-mitanoton olevan tärkeä osa AFO:n valmistusta.

Footboard-mitanotto on alun perin Nancy Hyltonin CP-lasten ortoosimitanottoon kehitetty menetelmä. Menetelmässä mitanoton aikana rakennetaan yksilöllinen jalkaterän holvirakenteita ja varpaita tukeva alusta, eli footboard. Hyltonin mukaan hänen mitanoton kehitystyönsä alkoi 60-luvun lopulla ja jatkuu edelleen. (Hylton 2000: 40–44). Muunnet-
maa siitä opetetaan myös Metropoliaassa osana ortoosikursseja.

Molemmat haastateltavat ovat sitä mieltä, että footboard-menetelmällä saadaan asiakkaan jalka parempaan asentoon mitanotossa. Toinen haastateltava pitää menetelmää tärkeänä erityisesti uran alkuvaiheessa ja toinen haastateltavista kertoi käyttävänsä menetelmää aina, kun kokee sen olevan avuksi. Hän kertoi, että joissain tapauksissa menetelmällä saadaan jalka rauhoittumaan mitanotossa.

Kyl ne pääsääntöisesti tulee ilmankin, mutta tavallaan, jotta on päässy tähän, niin en mä kellekkään suosittelis ilman footboardia sen tekemistä. Että saa ne kädet niin moneen paikkaan samaan aikaan ja saa ne maamerkit sinne ja ne asennot oikein. Ei mul ois ainakaa taidot riittäny ensimmäiseen viiteen vuoteen ilman.

Jos footboardilla saahaan sitä asentoo mitanottotilanteessa paremmaks, et siitä on hyötyä, saahaan paremmin ne muodot ja saa vähän rauhoitettua sitä tilannetta alaraajan suhteen mitanotossa, ni sit mä käytän footboardia. Se on pikkasen työläämpi, menee kauemman aikaa, mutta siihen kannattaa panostaa. Se mitanotto on kumminki tosi tärkeä osa sitä, et se lopputulos on hyvä.

Haastatteluissa selvisi myös, että suomessa ortoosien mitanotossa käytetään yleisesti muovikipsinauhaa. Muovikipsinauha on keinokuitukangasta, yleisimmin polyesteriä, joka on kyllästetty polyuretaanilla (BSN Medical GmbH n.d: 23–24). Kumpikaan ei ollut kokeillut footboard-mitanottoa muovikipsinauhalla. Molemmat haastateltavat kertoivat, että kokonaisuudesta 2m² muovilevystä saadaan valmistettua kolme aikuisten plantaarifleksiorajotteista AFO:a. Materiaalikuluiksi arvioitiin maksimissaan 50€ mitanotosta valmiiseen tuotteeseen.

Jos puhutaan aikuisten sääriortoosista mikä on plantaarifleksiorajoitettu...Niin melkeen siihen yhteen menee se neliö. Siihen tulee jonku verran hukkaa, sitä ei pysytty ihan hyödyntään. Jos on täysiä levyjä (2m²), niin siitä vois aina välistä leikata sillai palasia, että kaks neliötä menis kolmeen ortoosiin.

Ni edelleen pysyn kannassani, että periaatteessa, jos me otetaan kaikki materiaalikulut tommoseen sääriortoosiin. Eihän tätä nyt ääneen kannattas sanoo, mut kylhän se viidenkympin tienoille jää.

Molemmat haastatellut pitivät muovin hävikkiä perinteisessä ortoosin valmistusmenetelmässä suurena, mutta eivät olleet sitä laskeneet. Kumpikaan ei tällä hetkellä kierrätä ortoosin valmistuksesta yli jäävää muovia, eivätkä he olleet törmänneet apuvälinetekniikan saralla muovin kierrätykseen muuallakaan.

Ei o vielä ainakaan meillä ollu mitään kierrätystä. Sehän vois olla hyvä, et jos siihen hommais jonku semmosen jatkopaikan mihin se sit roudattais tai joku kävis hake-
mas sen muovijätteen.

Molemmat haastateltavat painottivat perinteisellä menetelmällä valmistetun ortoosin olevan hyvin tehtynä erittäin toimiva sekä valmistamisen että käytön kannalta ja etteivät uudet menetelmät saisi ainakaan huonontaa ortoosien laatua ja toimivuutta.

Mut itte oon kokenu, että on paljon hyvää tos perus kipsimitanotossa ja -työstössä. Sillä saa hyvän lopputuloksen monesti.

Toinen haastateltava painotti, ettei usko ortoosien olevan lähtökohtaisesti huonoja materiaalista tai toisesta valmistettuna, vaan kyse on enemmänkin hyvin tehdystä tarpeen arvioinnista ja asianmukaisesta valmistuksesta.

Haastatteluissa nousi esiin huoli tavasta skannata asiakkaan jalka vapaasti, ilman erillistä kuorikkoa, sillä korkeintaan 10% yksilöllisten alaraajaortoosien käyttäjistä soveltuu suoraan skannattavaksi spastisuuden, virheasentojen ja paikoillaan pysymisen ongelmien takia.

Et miten se sitte toi skannaushomma tehdään, ni jokasen omaks päätettäväks jää että, jos me otetaan joku oikeen korkeen tonuksen jalka, tai spastinen, tai muuten vaan vatkava, tai lapsen jalka mikä huonosti pysyy paikallaan, tai valmiiks kovas virheasennossa, et onkse sitte mielekästä skannata siihen virheasentoon.

Epäiltiin myös yksilöllisen ortoosin tarvetta, mikäli raaja pystytään skannaamaan vapaasti ilman tukea. Tällöin voi toimintakyky olla riittävä valmisortoosien käyttöön.

5 Perinteisen muovisen AFO:n valmistusmenetelmä

Perinteisessä sääriortoosin mitanotossa, sekä valmistuksessa käytetään kipsiä keskeisenä materiaalina kipsinauhan ja kipsijauheen muodossa. Kuten jo mainittu, valmistusmenetelmä perustuu vahvasti työtunteja sitovaan käsityönä tehtävään valmistukseen. Alla yleisimmän alaraajaortoosin, eli säärimittaisen, plantaarifleksiorajoitteisen AFO:n valmistuksen vaiheet pääpiirteissään, kuten sitä Metropoliaassa opetetaan:

1. Asiakkaan raajasta otetaan kipsinauhaa käyttäen kipsinegatiivi eli kuorikko.
2. Näin saatu kuorikko täytetään kipsin ja veden seoksella, joka kovettuu noin puolessa tunnissa.
3. Kuorikko puretaan ja saatua asiakkaan jalan kopiota aletaan muokkaamaan halutulla tavalla, materiaalia poistaen ja lisäten.
4. Näin saadun kipsiposiitiivin päälle tehdään vaahtomuovista sopivat pehmusteet. Myös valmiin ortoosin nivelten rakenteet saadaan tekemällä ne vaahtomuoviin, joista muodot kopioituvat päälle vedettävään muoviin.
5. Kun pehmusteet on kiinnitetty kipsiposiitiivin päälle, sen päälle imetään kuumentettu muovilevy tyhjiömulla. Tätä kutsutaan muovinvedoksi.
6. Ensimmäisen muovinvedon jäähtyttyä saatu muovikuori irrotetaan kipsistä varoen rikkomasta kipsiä.
7. Irrotettu muovikuori leikataan ja hiotaan sopivaan muotoon, jonka jälkeen se asetetaan takaisin kipsiposiitiivin päälle pehmusteineen.
8. Tähän päälle vedetään toinen muovi samalla menetelmällä kuin aiemmin. Myös toinen muovinveto puretaan pois kipsiltä.
9. Myös toinen muovikuori leikataan haluttuun muotoon ja viimeistellään. Näin saadaan kaksi osittain päällekkäistä muovikuorta, jotka voidaan niveltää toisiinsa.
10. Erilliset ylä- ja alaosa nivelletään yhteen niittaamalla.

11. Muovinvedoissa käytetyt pehmusteet irrotetaan kipsiltä ja niitä käytetään malleina varsinaisten pehmusteiden valmistuksessa.

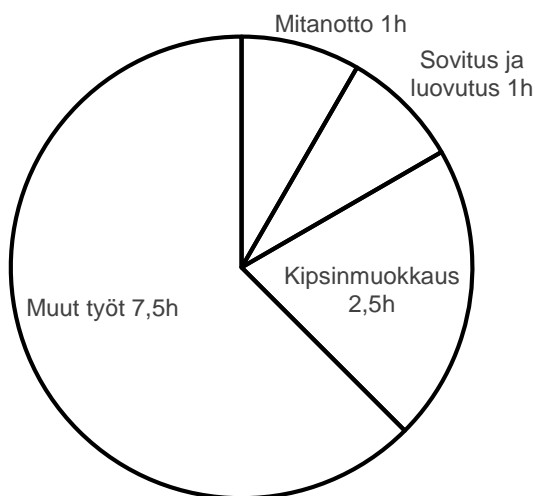
12. Ortoosiin kiitataan kiinni joko valmisremmit tai yksilöllisesti ommellut remmit.



Kuvio 1. Ortoosikurssilla perinteisellä menetelmällä valmistettu AFO. Niko Halminen & Matti Murtomäki 2017

Prosessiin kuluvat resurssit perustuvat tekemiimme asiantuntijahaastatteluihin. Prosessiin kuluu aikaa mitanotosta tuotteen luovutukseen kaiken kaikkiaan keskimäärin 12h ammattilaista sitovaa työaika. Sitovalla työajalla tarkoitetaan valmistuksen vaiheita, joiden aikana ei voida tehdä muita tehtäviä. Työvaiheista esimerkiksi kipsin tai liiman kuivumisen aikana voidaan tehdä jotain muita töitä. Kokonaisajasta noin kaksi tuntia kuluu mitanottoon, sekä sovittuun ja luovutukseen. Kipsintyöstön osuus kokonaisajasta on noin 2,5h. Arvioidut materiaalikulut ovat maksimissaan 50€.

Ortoosin valmistukseen kuluva aika



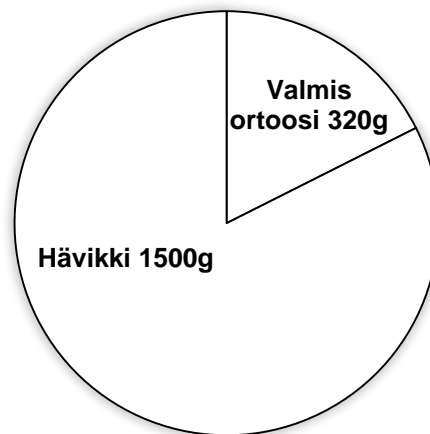
Taulukko 1. Ortoosin valmistukseen kuluva aika.

Näiden laskelmien tarkoitus on hahmottaa kulurakennetta perinteisessä menetelmässä, eikä laskelmia voida pitää varsinaisina ortoosien hintoina. Jos laskemme yrityksen tunti-veloitukseksi esimerkiksi 75€/tunti saamme 12 tunnin työlle hinnaksi 900€, johon lisäämällä arvioidut materiaalikulut saadaan loppusummaksi 950€.

Ortoosit valmistetaan polypropeenista. Muovi tulee verstaille yleisesti 1m² tai 2m² levyinä. 2m² levyistä saadaan kolme nivellettyä AFO:a, joten muovia kuluu 0,667 neliötä. Polypropeenin ominaispaino on 0,91g/cm³. 1m² kolmen millin levyä painaa 2730g. Yhden ortoosin valmistukseen tarvittava muovi painaa siis 1820g. Punnitsimme kaksi AFO:a, jotka on valmistettu 3mm PP-muovista, ilman pehmusteita. Naisten kokoa oleva 225g ja hieman isompi, keskikokoa oleva 256g. Suurimmat AFO:t ovat arviolta kolmasosan näitä suurempia eli pyöristäen 320g. Kun vähennämme 320g alkuperäisestä 1820g, saamme hävikiksi 1500g.

82% polypropeenin kokonaiskulutuksesta nivelletyn AFO:n valmistuksessa on siis hävikkiä. Kaikkien näiden aikuisten AFO:jen valmistusprosessi alkaa saman kokoisesta levystä, josta aikuisten ortooseja valmistettaessa jää kapea suikale ensimmäisen aihion leikkaamisesta. Koska jäljelle jäävä pala on niin kapea, ei sille useimmiten ole käyttöä. Toinen hävikki syntyy, kun kuumennettu muovilevy vedetään muotin päälle ja muotin ulkopuolella olevat osat leikataan pois. Kolmas hävikki syntyy, kun muovit irroitetaan muotista ja leikataan lopulliseen muotoonsa.

MUOVIN KULUTUS ORTOOSIN VALMISTUKSESSA



Taulukko 2. Hävikki suhteessa muovin kulutukseen perinteisellä menetelmällä.

6 Kuvaus kehitettävistä menetelmistä

Opinnäytetyössä pyrimme kehittämään kipsittömän mitanottomenetelmän käyttämällä perinteisen kipsinauhan sijaan muovikipsinauhaa, skannaamalla näin saatu muotti ja digitaalisesti muokkaamalla skannatusta mallista tulostettava ortoosi. Pyrimme kehittämään mitaottomenetelmän, jossa ammattilainen pystyisi mitanotossa korjaamaan asiakkaan jalan virheasentoja samalla tavalla, kuin perinteisessäkin mitanotossa.

Kehitystyön tarkoitus ei ole itse kipsittömyys, vaan kipsistä tulevan sotkun vähentäminen, käytetyn ajan lyhentäminen ja materiaalien käytön ja varastotilan tarpeen vähentäminen kokonaisuudessaan. Lisäksi prosessin kehityksen päätavoitteena on pitää ortoosin valmistuksen kaikki vaiheet apuvälinepajan sisällä.

Tekemiemme haastatteluiden perusteella footboard-menetelmä on ortoosimitanotossa tärkeä jalan saamiseksi oikeaan asentoon. Haastatellut ammattilaiset epäilivät footboard menetelmää haastavaksi muovikipsillä, joten haluamme kokeilla ja kehittää myös sitä.

Haluamme myös kehitystyön olevan täysin läpinäkyvää, jotta alalla toimivat opiskelijat ja ammattilaiset voisivat toistaa ja kehittää käyttämiämme menetelmiä edelleen.

Kehitettävät menetelmät järjestyksessä:

- Mitanotto lasikuitukipsillä
 - footboard menetelmä
- Kuorikon skannaus
 - kuorikon skannaus trimmilinjoilta
- Digitaalinen muokkaus
 - Sopivat ohjelmistot
 - Tekninen toteutus

3D-ohjelmistoiksi kehitystyöhön olemme valinneet Autodeskin Meshmixer, sekä Fusion 360 ohjelmat. Meshmixer on täysin ilmainen ohjelma ja Fusion 360 on harrastajille sekä opiskelijoille ja alle 100 000 dollarin liikevaihdon yrityksille ilmainen (Autodesk 2018).

6.1 Muovikipsinauha mitanoton välineenä

Muovikipsinauhan käyttö siisteytensä takia on haastatteluiden mukaan yleistä Suomesakin. Muovikipsinauha ei ole varsinaisesti kipsiä ollenkaan, mutta koska Suomen kielessä kipsi tarkoittaa sekä kipsiä materiaalina että murtunutta luuta tukevaa välinettä, on kipsi sana edelleen mukana muovikipsinauhassa.

Muovikipsinauha on keinokuitukangasta, joka on kyllästetty polyuretaanilla (BSN Medical GmbH n.d: 23–24). Polyuretaani kovettuu kosketuksissa ilman kosteuden kanssa ja prosessia voi vauhdittaa vedellä. Joissain lähteissä muovikipsinauhaa kutsutaan lasikuitukipsiksi, vaikka kyseessä on sama tuote. Tämä johtuu siitä, että lasikuitu oli aiemmin materiaalina kipsaamiseen tarkoitetuissa tuotteissa. Nytemmin siitä on pääosin luovuttu, mutta sitäkin on saatavilla.

Muovikipsinauha lämpenee merkittävästi kovettuessaan, erityisesti paksummista kohdista. Tämä on huomattavissa selvästi esimerkiksi poikittaisholvin tukea tehtäessä footboard mitanotossa.

Valmistaja varoittaa jopa palovammoista, mikäli muovikipsinauhaa käytetään paksult ja peitetään. Muovikipsinauhaa käytettäessä on tärkeää suojata asiakkaan ja ammattilaisen iho suoralta kontaktilta nauhan kanssa. Polyuretaani voidaan pyyhkiä alkoholilla pois ihosta, mutta on parempi, ettei ihokontaktia synny alkuunkaan. (BSN Medical GmbH n.d: 23–24.) Näistä syistä käytämme kelmulla suojaamisen lisäksi perlonsukkaa eristeenä muovikipsinauhaa käytettäessä.

6.2 Skannaus mitanoton välineenä

3D-skannauksella tarkoitetaan kappaleen kuvantamista kolmiulotteiseksi tiedostoksi. Skanneri tuottaa kohteesta digitaalisen kolmiulotteisen pistepilven eli meshin. Pistepilvi koostuu pisteistä, joita kolmiot yhdistävät. Tällaista pistepilveä pystytään muokkaamaan edelleen digitaalisesti 3D-mallinnusohjelmia käyttäen. (3D Systems Inc. 2018.)

Tekemissämme haastatteluissa kävi ilmi, että ortoosin mitanotto skannaamalla on maailmalla ja myös Suomessa käytössä. Suomessa se ei kuitenkaan ole vielä kovinkaan yleistä, ainoastaan arviolta 10% alaraajan ortooseista valmistetaan skannauksen kautta. Tällä hetkellä ortooseja ei tulosteta, vaan skannatut mitat lähetetään edelleen keskiteysti kolmansille osapuolille, jossa niistä jyretään polyuretaanimuotit. Näin tehdyt muotit lähetetään joko takaisin tilaajalle sellaisenaan tai muotilla valmistetaan valmis ortoosi, joka toimitetaan tilaajalle. Suurin osa alaraajaortooseista tehdään Suomessa kuitenkin vielä perinteisellä menetelmällä kipsiä käyttäen.

Tällä hetkellä käytössä olevilla menetelmillä skannaus tehdään usein suoraan asiakkaan jalasta. Tällaisessa menetelmässä on omat heikkoutensa. Kuten jo aiemmin mainitsimme, on suurin käyttäjäryhmä alaraajojen ortotiikassa hemipareesin saaneet henkilöt, joiden raajoissa on merkittäviä virheasentoja ja toiminnan häiriöitä. Mikäli skannataan asiakkaan alaraaja suoraan, on asiakkaan pystyttävä pitämään se paikallaan ja hyvässä asennossa. Tämä ei yleensä onnistu kyseisen asiakasryhmän kanssa. Tästä syystä skannaammekin asiakkaan raajasta otetun kuorikon, johon asentoja on jo saatu korjattua.

Metropoliassa on uutena tekniikkana kokeiltu muovikipsinauhalla otetun kuorikon skannaamista ulkopuolelta. Kuorikko peitetään riisumisen jälkeen nylon sukalla, jotta muovikipsinauhan terävät kohdat eivät kopioituisi malliin skannattaessa. Jatkokäsittelyssä digitaalisesti pienennetään mallia kauttaaltaan vastaamaan jalan kokoa. Mielestämme tällainen mitanotto hävittää merkittävästi tarpeellista tietoa, eikä siksi ole optimaalinen ortooseja valmistettaessa.

Meidän lähestymistapamme on avata kuorikko trimmilinjoilta, eli valmiin ortoosin linjoja mukaillen, ja skannata kuorikko sisäpuolelta. Näin emme hävitä tärkeää tietoa ja saamme mahdollisimman tarkan kopion asiakkaan jalasta korjatussa asennossa.

Käytämme 3D Systemsin Sense2 skanneria, koska niitä on apuvälinetekniikan koulutusohjelmalla käytössä ja olemme jo aikaisemmin käyttäneet niitä, sekä niiden mukana tulevaa ohjelmistoa. Sense2 skannerin hinta suomeen toimitettuna on noin 520€ (Niceshops GmbH 2018a). Sense skannerit ovat hinnaltaan erittäin kilpailukykyisiä ja on täten verraten helposti hankittavissa.

Skannausprosessi aloitetaan skannaustesteillä, joilla pyrimme todentamaan käytettävän mitanottotekniikan toimivuutta, ja sen riittävää mittatarkkuutta varsinaisen työn tekemiseen. Alustavat skannaustestit tehdään sekä perinteisellä kipsinauhalla että muovikipsinauhalla. Mittatarkkuus varmennetaan skannaamalla kappale, joka on helppo mitata mitanauhalla.

7 3D-tulostuksen mahdollisuuksien kartoitus

Tässä luvussa keskitymme 3D-tulostamisen mahdollisuuksiin alaraajaortotiikassa. 3D-tulostus tarkoittaa kolmiulotteisen digitaalisen mallin muuttamista fyysiseen muotoon käyttämällä materiaalia lisäävää tekniikkaa. (3D hubs 2018.)

7.1 Markkinoilla olevat materiaalit

Markkinoilla on runsaasti erilaisia tulostusmateriaaleja, koska valmistajat voivat yhdistellä materiaaleina käytettäviä muoveja, hartseja ja kuituja haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. Tässä opinnäytetyössä keskitymme ortoosimateriaalina hiilikuituvahvistettuun nailoniin, joka on todennäköisesti riittävän kestävä ja joustavaa ortoosien valmistukseen. Sitä pystyy tulostamaan hyvin filamenttitulostimella (3D hubs 2018). Hiilikuituvahvisteista nailonia löytyy monelta valmistajalta.

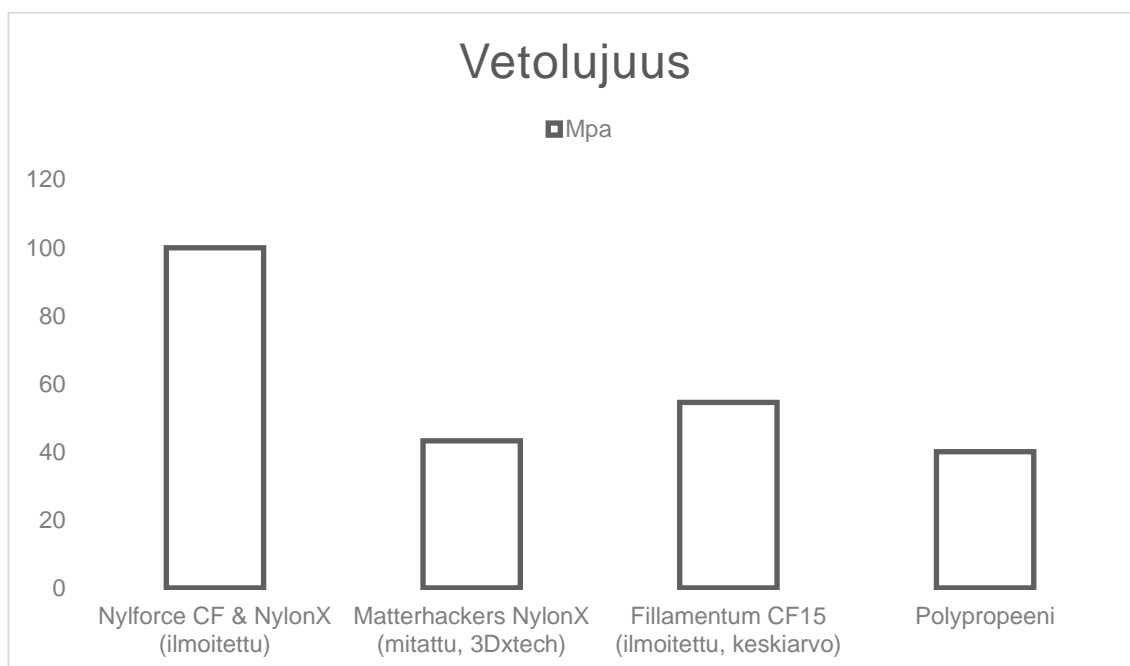
Yhtenä vaihtoehtona filamentiksi on Fiber Force Nylforce Carbon Fiber, ja Suomessa sen hinta on noin 55,80 euroa puolen kilon rullana (MAKER3D Oy n.d.). Suomesta tai vähintään suomenkielisiltä sivuilta on saatavilla myös Fillamentumin CF15 hiilikuitunylonfilamenttia puoli kiloa 54 euron hintaan (Niceshops GmbH 2018b). Lisäksi Suomesta on saatavilla eSun ePA-CF filamenttia 50 euron kilohintaan (Synaptic Oy 2017; Niceshops GmbH 2018).

Vaihtoehtona on myös 3Dxtechin CarbonX Nylon. Tuotetta ei ole saatavilla Euroopassa, mutta CarbonX Nylon:in mainosmateriaalista löytyy hyvin mielenkiintoinen testi erimerkkisten hiilikuitunailonfilamenttien ominaisuuksista. 3Dxtechin hiilikuituvahvistetun nailonin testissä NylonX sai vetolujuudeksi vain 43.2 MPa, joka taas on hyvin lähellä Polypropeenin vetolujuutta, joka on 40 MPa. NylonX:n vetokerroin oli testissä 1.9 GPa joka taas on täsmälleen sama luku kuin polypropeenillä. (3Dxtech 2018, Matweb 2018.) Taulukot 3 ja 4 havainnollistavat tutkimuksen tuloksia suhteessa polypropeeniin.

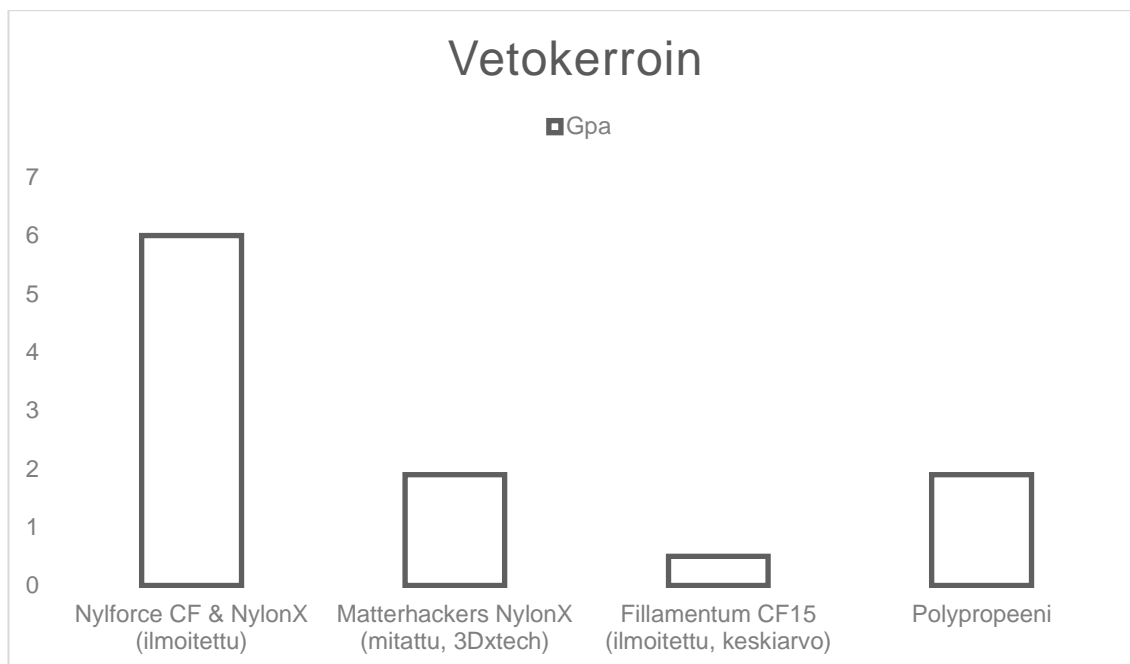
Fiber Force Italy valmistaa tuotteen, joka on täsmälleen samojen tuotetietojen perusteella ilmeisesti vain uudelleen markkinoitu Matterhackers nimiselle jälleenmyyjälle (Fiber Force Italy 2018; Matterhackers n.d.). Matterhackers ilmoittaa NylonX:n vetolujuudeksi 100 MPa, mutta kyseisessä testissä yksikään viidestä materiaalista ei yltänyt 100 MPa:n lukemaa vaan paras oli 62.9 MPa, 3Dxtechin omalta CarbonX tuotteelta. NylonX:n tuotetietojen mukaan vetokertoimen pitäisi olla 6 GPa ja yksikään tuote ei yltänyt

tähän CarbonX:n ollessa parhaana 3.9 GPa:lla. (3Dxtech 2018, Matterhackers n.d.) Testin tulokset ovat ilmoitettu samaa ISO 527:aa käyttäen. ISO 527 on muovien sekä komposiittien veto-ominaisuuksien testaamiseen tarkoitettu standardi, jolla määritellään vetolujuutta, vetokerrointa sekä venyvyyttä erilaisissa lämpötiloissa (Intertek Group plc n.d.).

On erikoista, että yksikään testin tuote ei yltänyt NylonX:lle ilmoitettuihin lujuuksiin. Kun testissä pärjasi parhaiten testin tekijän oma tuote, eivätkä muut päässeet lähelle ilmoitettuja lujuuksia, voidaan testiä pitää lähinnä suuntaa-antavana. Testin tulokset osoittavat kuitenkin, että NylonX, sekä sen sisartuote Nylforce Carbon Fiber ovat ominaisuuksiltaan hyvin lähellä polypropeeniä. Haastatteluiden perusteella perinteisen muovioortosin valmistuksessa käytetään polypropeeniä, joka on ortoosikäytössä riittävän kestävä ja joustavaa. Mikäli jatkossa ortooseja tulostetaan, olisi tämä varteenotettava materiaali.



Taulukko 3. Eri filamenttien vetolujuuksia.



Taulukko 4. Eri filamenttien vetokertoimia.

Taulukoissa 3 ja 4 on mukana materiaaleja, joita saa Suomesta ja niistä löytyy jonkinlaisia tuotetietoja. Mukana on myös 3Dxtechin testaama NylonX joka, kuten aikaisemmin mainittuna on todennäköisesti sama tuote kuin Nylforce Carbon Fiber.

Hiilikuituvahvistettu nailon on hyvin karkeaa ja se kuluttaa 3D-tulostimissa usein vakiona olevat pehmeät messinkisuuttimet nopeasti rikki, joten sen tulostamiseen vaaditaan kovaa hankausta kestävä suutin (Fiber Force Italy 2018). Hiilikuituvahvistetun nailonin säilyttämisessä on omat hankaluutensa, nailon imee ilmasta tehokkaasti kosteutta, joka taas aiheuttaa tulostettaessa haitallista materiaalin kiehumista, joten tulostusmateriaali on säilytettävä ilmatiiviisti ja tarvittaessa kuivatettava uunissa ennen käyttöä (Fiber Force Italy 2018).

7.2 Markkinoilla olevat soveltuvat tulostimet

3D-tulostimia löytyy markkinoilta paljon, muutaman sadan euron arvoisista kotikäyttöön tarkoitetuista tulostimista, aina satojen tuhansien eurojen arvoisiin teollisuustulostimiin. Kehitys sekä tulostimien että materiaalien osalta on nopeaa, joten olemme sisällyttäneet kartoitukseen myös tulostimia, joita ei tällä hetkellä ole saatavilla Suomessa.

Kaksi yleisintä 3D-tulostimien käyttämistä tekniikoista ovat filamenttitulostus (FDM), sekä lasersintraus (SLS). Filamenttitulostin tulostaa filamentti- eli lankarullasta materiaalia kerroksittain sulattamalla tulostuspedille. Toinen yleisimmistä tulostustekniikoista on

lasersintraus, joka on yleisesti käytössä teollisuudessa ja sillä voidaan tulostaa myös metallia. (3Dhubs 2018.) Näiden kahden yllämainitun tekniikan merkittävin ero pienelle toimijalle on hinta. Laadukas filamenttitulostin riittävällä rakennuskoolla maksaa joitain tuhansia euroja, mutta vastaavalla rakennuskoolla varustetut lasersintraustulostimet maksavat helposti yli 100 000 euroa.

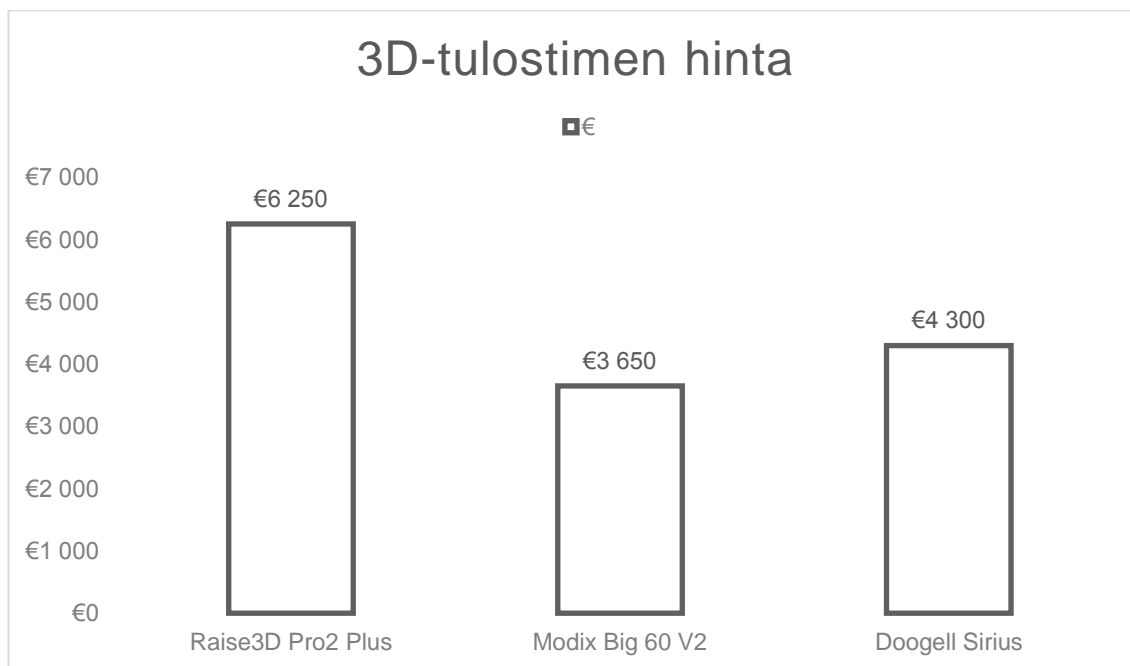
Tässä opinnäytetyössä keskitymme pienyrityksen kannalta realistisen hintaisiin filamenttitulostimiin. Tulostimelta vaadittavat ominaisuudet perustuvat enimmäkseen tulostusmateriaalin valintaan ja sen vaatimiin ominaisuuksiin. Hiilikuituvahvisteisella nylonilla tulostettaessa tulostimen kuumapään on päästävä vähintään 240°C lämpötilaan, ja tulostuspedin on oltava 70-80°C. Tulostimen suuttimen koon olisi hyvä olla vähintään 0.6mm hyvän rakennekestävyyden takaamiseksi. Suuttimen pitää lisäksi olla kova, jotta se kestää karkean hiilikuitunailonin kuluttavaa hankausta (Fiber Force Italy 2018).

Jotta ortoosin tulostaminen olisi mahdollista, täytyy 3D-tulostimen rakennekoon olla riittävän suuri yksiosaisten, säärimittaisten AFO:jen tulostamiseen. Valitulle materiaalille soveltumisen lisäksi, tulostimessa on tärkeää käyttöönoton helppous, sekä sujuva käyttö. Tulostimen pitää myös olla suljettu malli, jotta lämpötila pysyy tasaisena, eivätkä muovin sulatuksessa syntyvät höyryt pääse vapaasti huoneilmaan.

Tulostimessa on lisäksi hyvä olla kaksi tulostuspäätä, jotta toisella voidaan samanaikaisesti tulostaa tarvittavia tukirakenteita, esimerkiksi vesiliukoisella muovilla. Vesiliukoinen muovi saadaan liuotettua tulosteesta pois lämpimällä vedellä. Vesiliukoisen muovin hinta on Suomessa 52€ 350 gramman kelassa (MAKER3D Oy n.d.).

Tähän työhön valitsimme kolme vaatimukset täyttävää tulostinta, joiden keskihinta on 4733€. Näistä yhtä myydään Suomessa. (Infinity 3D Printing 2018, Modix 2018, Infinity 3D Printing 2018, Raise3D 2018.) Yksi kriteerit täyttävä tulostin on Raise3D:n pro2 Plus, jonka hinta suomalaisessa verkkokaupassa on hieman yli 6000 euroa (AN-Cadsolutions n.d.). Tulostin on suljettu malli ja sen rakennuskoko, eli tulostettavan kappaleen enimmäiskoko on 305x305x605mm. Mikäli tulostetaan tulostuspedin kulmasta kulmaan, on maksimipituus 430mm. Tulostinta ei tarvitse itse kasata vaan se toimitetaan käyttövalmiina. (Raise3D 2018).

Toinen kriteerit täyttävistä tulostimista on Modix:in Big 60 V2, jota ei myydä Suomessa. Hinnat valmistajan omilla sivuilla alkavat noin 3500 dollarista. Tulostimen rakennuskoko on 610x610x610mm. Erikoisuutena tulostimeen on saatavissa 2500 dollarin lisävaruste "Modix Extra Large 120X add-on", jolla rakennekoon pystyy kasvattamaan 1200x610x610. Tulostin on itse koottava. (Modix 2018).



Taulukko 5. Tulostimien hinnat vertailtuna.

Kolmantena kriteerit täyttävänä tulostimena on Doogell:in Sirius, jota ei myöskään myydä Suomessa ja sen markkinat vaikuttaisivat olevan Australiassa. Sieltä tulostinta onkin saatavilla noin 7000 Australian dollarin hintaan. Tulostimen rakennuskoko on 400x400x600mm ja se toimitetaan myös valmiiksi kasattuna. (Infinity 3D Printing 2018.)

Kaaviossa vertaillaan 3D-tulostimien hintoja, Modix Big 60 v2 tulostimen hintaan on laskettu mukaan 650 dollarin lisävaruste "Closed Enclosure", jolla tulostimen saa suljetuksi malliksi (Modix 2018).

Listatuista tulostimista sopivimmalta vaikuttaa Raise3D:n Pro2 plus. Tulostin on hieman kalliimpi kuin kilpailijansa, mutta se on ainoa, jota saa suoraan Suomesta, joka on suuri etu. Pro2 Plus on myös 3D-tulostusyhteisön suosima ja se on valittu All3dp:n toimesta "Syksyn 2018 parhaaksi suureksi 3D-tulostimeksi" (All3dp 2018).

Modix Big 60 v2 on muuten hyvä vaihtoehto, mutta tulostimen huonona puolena on, että se pitää kasata itse. Tulostimen kasaaminen ei onnistune keneltä tahansa, vaan se vaatii osaamista ja omistautumista asialle. Toisaalta, huolto helpottuu, mikäli tulostimen osaa itse purkaa ja kasata. Doogell Sirius on ominaisuuksiensa puolesta hyvä, mutta tulostimesta on hyvin vaikea löytää minkäänlaisia käyttökokemuksia, joten olisi riski tilata tuote toiselta puolelta maapalloa.

7.3 Markkinoilla olevat 3D-ohjelmistot

Mahdollisia ohjelmistoja 3d-käyttöön löytyy runsaasti ilmaisista open-source ohjelmistoista aina ammattilaiskäyttöön tarkoitettuihin ohjelmistoihin. Tässä opinnäytetyössä käytetään mahdollisuuksien mukaan Autodeskin ilmaista Meshmixeriä, sekä samaisen ohjelmistotalon Fusion 360 3D-ohjelmistoa. Opinnäytetyössä käytössä on opiskelijalicenssit. Metropolialta löytyy myös lisenssi kyseisen ohjelman käyttöön.

Meshmixer versio 3.5.474

Meshmixer toimii hyvin kipsinveiston omaisessa työstössä. Samankaltaisuuksia perinteiseen kipsimallin muokkaukseen on kuvanveistomaisuus, jossa ei työskennellä tiettyjen numeeristen mittojen kanssa, vaan työstetään mallia näppituntumalla. Siirtymä kipsillä työskentelystä Meshmixerin käyttöön on melko saumatonta. Meshmixer on parhaimmillaan virheasentojen korjaamisessa, sekä poistojen ja lisäysten tekemisessä. Se on myös näppärä työkalu siistittäessä skannattua mallia muokattavaan muotoon.

Fusion360

Fusion 360 on erittäin monipuolinen ohjelmisto, jolla pystyy tekemään tietokoneavusteista suunnittelua, mallinnusta ja tuotantoa. Fusion 360 on yksityisille ja yrityksille aina 100 000 dollarin liikevaihtoon asti ilmainen vuosittain uusittavalla "Enthusiast" lisenssillä (Autodesk 2018).

Blender

Blender on ilmainen 3D-ohjelmisto, joka on myös erittäin monipuolinen. Blenderin käyttöliittymä on aivan erilainen, kuin mihin olemme 3D-ohjelmistoissa tottuneet, joten ajallisesti emme voineet alkaa sen käyttöä opettelemaan.

Rhinoceros

Rhinoceros on ammattilaiskäyttöön tarkoitettu 3D-ohjelmisto, jonka käyttöön tarvitaan maksullinen lisenssi. Metropolialla on Rhinocerosin lisenssi ja meillä on jonkin verran kokemusta sen käyttämisestä. Maksullisuuden takia emme käytä Rhinocerosia tässä opinnäytetyössä muuhun kuin mittatarkkuuden varmentamiseen.

7.4 Kehitteillä olevat tulostetut alaraajaortoosit

Alaraajan ortooseja tulostetaan vielä melko vähän. Andiamo on vuonna 2014 perustettu startup yritys, joka tekee lasten ortooseja 3D-tulostamalla. Yritys on voittanut monia palkintoja ja se on valittu vuonna 2017 kuudentoista parhaan start-up yrityksen joukkoon maailmassa. Andiamon mukaan heidän ortoosinsa ovat hyvin kevyitä, jopa 65% kevyempiä kuin yleensä, sekä niin ohuita, että ne mahtuvat sellaisenaan normaaleihin kenkiin (Andiamo 2018). Toinen haastateltavamme antoi meille vinkin kyseisestä yrityksestä ja samalla epäili vahvasti Andiamon markkinointitekstien paikkansa pitävyyttä niissä, kun selvästi aliarvioidaan perinteisellä menetelmällä tehtyjä ortooseja. Andiamon jonotuslistalle on asiakkaan oltava alle 18 vuotias tai alle 50 kiloa painava (Andiamo 2018). Tulostusmateriaalista ei kerrota Andiamon sivuilla sen tarkemmin mutta oletamme sen olevan jonkinlaista muovi/komposiitti seosta.

AdditiveOP on toinen yritys, joka toimii keskitettynä ortoosien ja proteesien tulostajana. Yritys on verraten nuori, eikä sen verkkosivuilta ole saatavilla juurikaan tietoa (Additiveop n.d.). Molemmat tulostettuja ortooseja tekevät yritykset perustavat toimintansa keskittelylle valmistamiselle. Toisin sanoen, ortoosien valmistus ulkoistetaan kolmansille osapuolille.

8 Varsinainen prosessi

8.1 Mitanotto muovikipsinauhalla

Mitanottotestit teimme toisillemme. Alustavissa testeissä teimme kolme mitanottoa. Yhden mitanoton perinteisellä kipsinauhalla ja kaksi muovikipsinauhalla.



Kuvio 2. Alustavien testien kuorikko umpinaisena ja avattuna lähelle valmiin ortoosin linjoja.

Yhden alustavista testeistä teimme e-cast 10cm*3,6m muovikipsinauhalla Ortho Euro-pelta, jota sattui olemaan koulussa testattavana. Lisäksi saimme toiselta haastateltavaltamme kokeiltavaksi yhden rullan saman kokoista BSN Medicalin Delta-Cast Confor-mable muovikipsinauhaa, jonka ominaisuudet eivät eronneet e-cast-nauhasta.

Kuorikkoon käytimme yhden rullan muovikipsinauhaa. Se riitti juuri ja juuri peittämään koko säären ja nilkan keskimittaiselta (178 cm) Joonalta. Optimaalisesti yhteen AFO-mitanottoon kannattaa alustavien testien perusteella varata kaksi rullaa, ja mikäli tehdään footboard-mitanotto, vie se yhden rullan lisää. Lasikuitukipsinauha vaatii selvästi ripeämpiä otteita, kuin perinteinen kipsinauha. Vaikka kuorikosta tuli verraten ohut, piti se silti muotonsa hyvin. Kuorikko oli myös helppo aukaista ja riisua. Kuorikosta tuli lisäksi erittäin kevyt suhteessa kipsiseen kuorikkoon, ja sitä oli helppo leikata saksilla vastamaan haluttuja muotoja. Myöhemmissä mitanotoissa, joissa kuorikon seinämänvahvuus oli paksumpi, oli hieman hankalampi leikata kuorikkoa. Alustavissa skannaustesteissä huomasimme, että liian läheltä skannattuna alkaa muovikipsinauhan verkkomainen rakenne haitata. Lisäksi havaitsimme, että malleolit eivät kopioituneet riittävän hyvin kuorikkoon.

Varsinaisiin mitanottoihin saimme BSN Medicalilta kymmenen rullan paketin Delta-Cast Conformable muovikipsinauhaa.

Käytimme varsinaisissa mitanottotesteissä kaksi rullaa muovikipsinauhaa. Mikäli olisimme ottaneet mittoja merkittävämmistä virheasunnoista tai isommista henkilöistä olisi rullia tarvittu enemmän. Mitanotot sujuivat hyvin ja saimme käyttökelpoiset kuorikot skannaamista varten. Yhtenä ongelmana alustavissa testeissä oli malleolien esiin saaminen, joten kiinnitimme siihen enemmän huomiota, kuin alustavissa testeissä. Kokeilimme myös pienten merkkauksnappien teippaamista malleolien merkeiksi, mutta ne eivät pysyneet paikoillaan. Skannattaessa kuorikon muodot ikään kuin keskivertaistuvat, eli jyrkät muodot pyöristyvät ja pienet raot katoavat.

Varsinaisissa mitanotoissa kokeiltiin footboard-menetelmää muovikipsillä molempien tekemänä. Footboardin runko tehtiin Metropoliasa oppimallamme tavalla, jossa kahdesta jalan kokoisesta 4-6mm vaahtomuovin palasta tehdään runko, jonka päälle asetellaan kipsinauhasta lisäyksiä, mediaali-, lateraali- ja poikittaisholvia tukemaan.



Kuvio 3. Footboardin runko ennen lisäyksiä.

Footboard-mitanotossa tuli jälleen esiin muovikipsin nopeus. Kokeilimme aluksi samantilaista lähestymistapaa, kuin perinteisellä kipsinauhalla, jossa yhden lisäyksen jälkeen asetetaan jalka takaisin muotin päälle ja annetaan lisäyksen kovettua. Näin toimiessa ehti suurin osa muovikipsirullaa kovettua pelkästään ilman kosteudesta. Saimme footboard mitanoton onnistumaan asettamalla kaikki lisäykset kerralla runkoon ja asettamalla jalan vasta sitten päälle.



Kuvio 4. Footboardin lisäykset ennen paikoilleen laittamista.

Leikkasimme kaikki lisäyspalat melko lähelle lopullista muotoa, ensin taittelemalla nauhaa monin kerroin riittävän paksuuden saavuttamiseksi. Mediaaliholvin tuki tehtiin tarkoituksella liian leveäksi, jotta rungon ulkopuolelle jäävää osaa voi tarpeen vaatiessa työntää lisätueksi holvin alle. Samalla ajatuksella saadaan myös lateraaliholvin tuki sopivaksi.



Kuvio 5. Footboardin lisäykset ennen jalan asettamista päälle.

8.2 Ohjeet mitanottoon muovikipsinauhalla

Tarvikkeet mitanottoa varten:

- Elmukelmu
- Perlonsukka
- Muovikipsinauhaa 1-2 rullaa
- Leikkauslista
- Vesiastia
- Palaveitsi
- Kosmoskynä
- EVA-nappeja merkkeäamista varten

Mahdollista footboardia varten:

- 5-6mm EVA:a
- Kuulakärkikynä
- Sakset
- Lisärulla muovikipsinauhaa

Mitanotto tehdään kuten perinteisessäkin kipsimitanotossa. Aluksi suojataan asiakkaan jalka kelmulla ja puetaan perlonsukka, jonka alle laitetaan leikkauslista. Muovikipsinauhaa aletaan rullaamaan alaraajan distaalipäästä peittämällä ensin varpaat jalkaterän suuntaisella, dorsaalipuolisella läpällä. Näin varpaat eivät mene niin helposti ruttuun, kuin pelkästään rullaamalla ympäri. Näin myös varmistetaan kärjen aukottomuus.

Mitanotossa on huomioitava kaikki asiat, kuten perinteisessäkin kipsimitanotossa. Poikkeuksena kipsimitanottoon verrattuna, on muovikipsinauha nopeammin kovettuvaa. Varsinainen muotin kovettuminen irrotusvaiheeseen on suurin piirtein yhtä hidasta, mutta rulla jää helposti kiinni itseensä, mikäli sitä ei rullata riittävän nopeasti päälle.

Lopullinen kovettuminen muovikipsinauhalla tapahtuu nopeasti, joten kuorikko pitää sulkea oikeaan muotoonsa nopeasti riisumisen jälkeen. Kuorikko on hyvä sulkea esimerkiksi kelmulla heti pois ottamisen jälkeen. Näin se kovettuu hyvin muotoonsa, eikä avaudu myöhemmin trimmilinjoja leikattaessa. Lopullinen kovettuminen tapahtuu 20 minuutissa.

Muovikipsinauhaa tarvitaan yhdestä kolmeen rullaa per mitanotto. Merkittävänä tekijänä on virheasentojen voimakkuus, jolloin varsinkin nilkan ja jalkaterän osuus on oltava tukevampaa tekoa. Näin kuorikko kestää esimerkiksi vääntöjä paremmin mitanoton aikana. Kuorikko saadaan irti samalla tavalla, kuin perinteisessäkin mitanotossa, mutta muovikipsinauhaa on helpompi leikata veitsellä, kuin perinteistä kipsinauhaa.

Footboardia tehdessä täytyy lähestymistavan olla modulaarisempi kuin perinteisellä kipsinauhalla. Muovinauha ei muodosta samalla lailla tasalaatuista massaa kuin kipsinauha. Muovinauha jää siis enemmän alkuperäiseen muotoonsa. Hankaluutena muovinauhalla on myös sen kovettuminen nopeasti, jo muutamassa minuutissa, joutuessaan kosketuksiin ilman kanssa. Huolimatta siis vedellä aktivoinnista. Näin ollen täytyy footboardin kaikki osat leikata haluttuun muotoon nopeasti ja asettaa ne runkoa vasten paikalleen saman aikaisesti.

Muovinauha ei myöskään tartu käärittävään pintaan kuten kipsinauha, joten sitä on käytettävä hieman eri tavalla. Footboardin runko on esimerkiksi hankala liittää mukaan kuorikkoon, muovikipsinauha kun ei ainoastaan päälle laskemalla tartu footboardin runkoon. On siis järkevämpää tehdä footboard ainoastaan telineeksi, jonka päälle jo kääritty jalka asetetaan. Näin saadaan varmemmin myös kohdistettua jalka takaisin footboardin päälle, kun kieputettu muovinauha halaa jalan muotoja. Mikäli footboard kieputetaan sisälle kuorikkoon, jää sinne helposti tyhjää tilaa. Muovikipsinauha ei laskeudu vastaan kopioitavia muotoja, kuten perinteinen kipsinauha.

Jo alustavissa testeissä muovikipsikuorikon skannaaminen tuntui helpommalta, koska siihen ei jäänyt leikatessa niin rosoisia reunoja kuin kipsikuorikkoon. Kipsin seassa oleva

kangas jättää epätasaista pintaa ja lankoja leikkauspintaan, joka osaltaan sekoittaa skannerin toimintaa. Muovikipsikuorikon skannaamisessa taas pitää huomioida riittävä etäisyys skannattavasta pinnasta. Liian lähelle mentäessä skannerin erottelukyky riittää muovikipsin verkkomaisen rakenteen kuvantamiseen, joka aiheuttaa ongelmia mallin rakentumisessa. Liian läheltä skannatussa mallissa alkaa ilmetä lumisadetta ja haamupintoja.

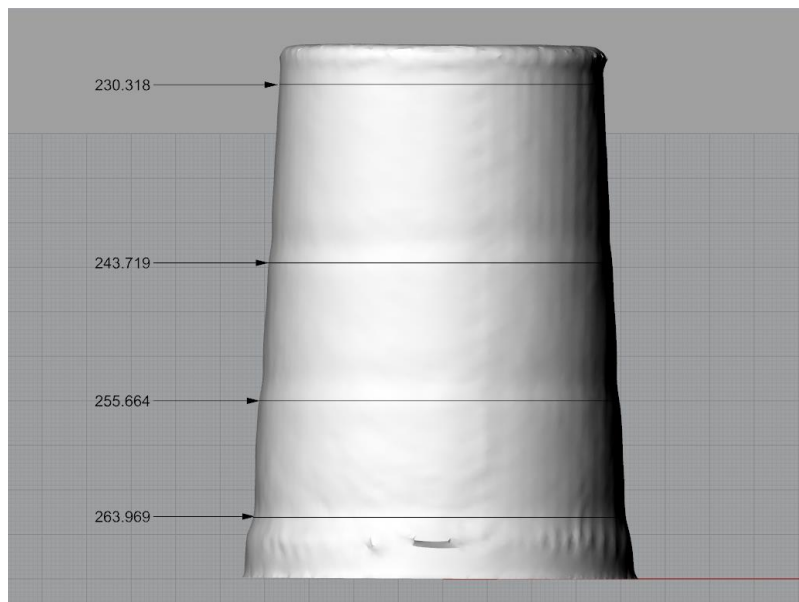
8.3 Skannaus

Skannaukset onnistuivat pienen laitejumpan jälkeen sujuvasti. Suurimmaksi kompastuskiveksi osoittautuivat käyttöjärjestelmän päivitykset, jotka sotkivat skannerin toiminnan täysin. Kun päivitykset asennettiin kokonaisuudessaan, saatiin skanneri taas toimimaan. Tämä toistui useasti koko prosessin aikana, ei kuitenkaan koskaan saman päivän aikana uudestaan. On siis huomioitava käyttöjärjestelmän taustatoiminnot, ennen kuin alkaa epäilemään laitevikaa.

Sensen ohjelmiston asetuksissa oleva "object recognizing" otettiin pois päältä, koska se aiheutti häiriöitä skannauksessa. Säädimme ohjelmiston asetuksista myös skannauksen resoluution maksimiin ja skannattavan objektin koon mediumiin.

Varsinaiset skannaukset tehtiin aikaisemmin hyviksi havaituilla asetuksilla, ainoana erona alustaviin testeihin oli, että skannasimme molemmat kuorikot ilman perlonsukkaa sisällä, oikeastaan vain siitä syystä, että toisesta kuorikosta perlonsukka lähti irti sitä riisuttaessa. Huomasimme, että tällä tavalla skanneri otti paremmin kuvaa, kunhan taas piti huolen, että skanneri oli tarpeeksi kaukana kuorikosta. Skannasimme myös foot-board-menetelmällä otetut kuorikot ja tarvittavat muodot saatiin hyvin esiin.

Mittaustarkkuuden varmistamiseksi valmistettiin kipsinen mittakappale täyttämällä muovikuppi kipsillä. Kipsin kuivuttua merkittiin ja jyrsittiin siihen urat, jotka näkyvät skannauksessa. Skannauksen jälkeen otimme käyttöön Rhinocerosin mittatyökalun, jolla mitattiin kipsimallin ympärysmitta ja verrattiin mittoja nauhamittoihin samoista kohdista.



Kuvio 6. Mittatarkkuuden varmistaminen Rhinoceros-ohjelmalla.

Nauhamitat ovat kauttaaltaan noin 3-4 millimetriä pienempiä kuin skannaamalla saadut mitat. Ympärysmitoissa olevat 3-4mm heitot tarkoittavat noin millimetrin heittoa halkaisijamitoissa. Mittanauhalla mitattaessa ei mielestämme päästä tämän parempiin tarkkuuksiin, emmekä usko sillä olevan merkittävää vaikutusta ortoosin valmistuksessa. 3D-mallit tallennettiin Sensen ohjelmiston export-toiminnolla stl-muodossa ennen niiden tuomista Meshmixer-ohjelmaan.

8.4 Mallinmuokkaus

Mallinmuokkaus aloitettiin opettelemalla ensin valittujen ohjelmien käyttöä. Meshmixer oli ollut meillä jo käytössä erinäisillä kursseilla koulun aikana, mutta Fusion 360-ohjelman opettelu piti aloittaa käytännössä alusta. Hyvänä apuna alkuun pääsemisessä oli Lars Christensenin YouTube-kanava, josta löytyy opetusvideoita aloittelijoille (Lars Christensen 2017). Mesh-tiedoston muokkauksesta lisäoppia saimme Autodesk Fusion 360 kanavalta löytyvästä pikaohjeesta ja name notimportant kanavalta löytyvästä ohjevideosta. (Autodesk Fusion 360 2017 ; name notimportant 2017).

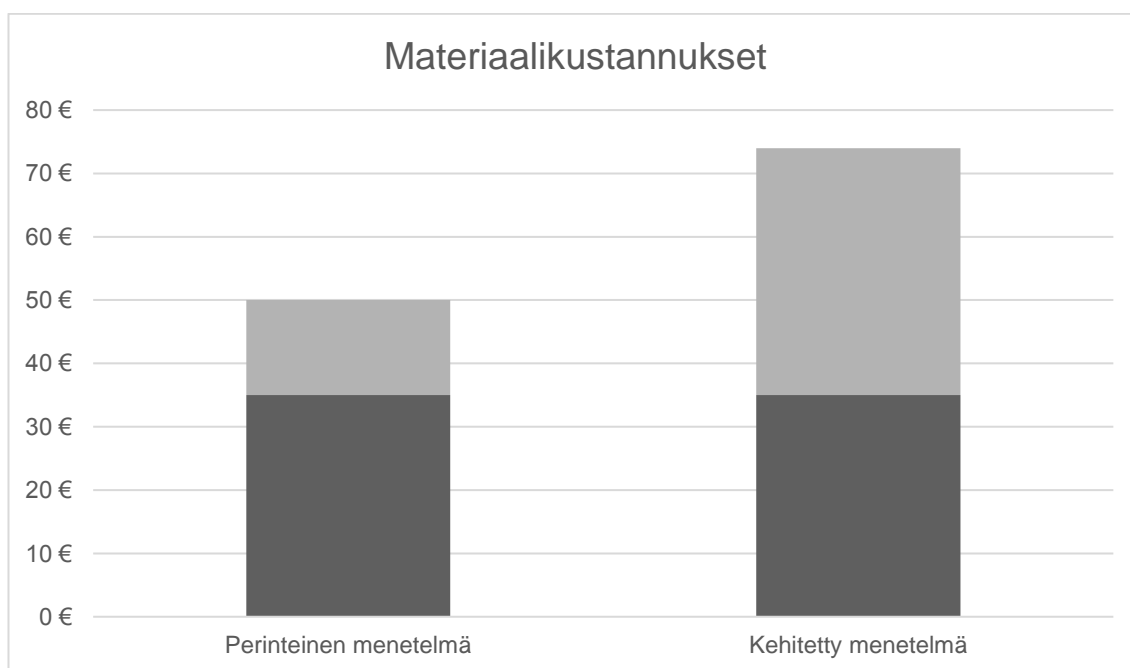
Oppimateriaalia kolutessamme vastaan tuli muutamia apuvälinetekniikkaan suoraan liittyviä ohjevideoita Fusion 360-ohjelman käytöstä. Molemmissa videoissa opastettiin, kuinka malli saadaan vastaamaan skannaamalla tuotettua mesh-tiedostoa (3D Print Bro's 2017; Marymount University 2017). Meshmixer-ohjelmaan syventyminen ortoosien kannalta onnistui Gyropod YouTube-kanavalta löytyvän ohjevideon avulla (Gyropod 2016). Kyseiseltä videolta poimimme käytännössä kaikki periaatteet, joita käytimme ortosimallinmuokkauksessa Meshmixer-ohjelmalla. Myös Meshmixerin omilta sivuilta löytyy hyviä ohjeita (Autodesk n.d.).

Näitä videoita, YouTube-kanavia ja verkkosivuja suosittelemme oppimateriaaliksi, ennen vastaavien projektien aloittamista. Tämän opinnäytetyön liitteenä on lisäksi kuvitetut mallinmuokkausohjeet sekä Fusion 360- että Meshmixer-ohjelmille. Ohjeet toimivat samalla myös tarkempina prosessikuvauksina. Digitaaliseen mallinmuokkaukseen meni aikaa viimeisellä testikerralla, kun prosessi oli jo vaihe vaiheelta harjoiteltu ohjeita tehdessä, 1 tunti ja 40 minuuttia.

9 Perinteisen ja nyt kehitetyn prosessin vertailu

Kipsinauha on halpaa verrattuna muovikipsinauhaan, noin parin euron kipsirullasta 8-10 euron muovikipsinauharullaan. Mutta kipsi taas on paljon sotkuisempaa mitanotossa ja kuorikkovaiheessa hieman vaikeampaa työstää. Muovikipsi on lämpötilasta riippumatta nopeasti kovettuvaa. Muovikipsiä voi käyttää ja käytetäänkin myös perinteisessä mitanotossa. Voidaan ajatella, että muovikipsinauhan korkeampi hinta korvaantuu siivoukseen kuluvaan lyhyemmässä ajassa.

Kehitetty mitanottotapa ei eroa paljoakaan perinteisestä tavasta tehdä. Erot alkavat tulla esille vasta, kun kuorikko on otettu pois asiakkaan jalasta. Nyt kehitetyssä prosessissa kuorikko skannataan, kun taas perinteisellä tavalla kuorikko täytetään kipsillä ennen kipsinmuokkauksen aloittamista. Tässäkin kipsittömyys on siisteyden kannalta iso etu, eikä varastotilaa tarvita, kun malli on digitaalisessa muodossa kovalevyllä.



Taulukko 6. Materiaalikustannusten vertailu.

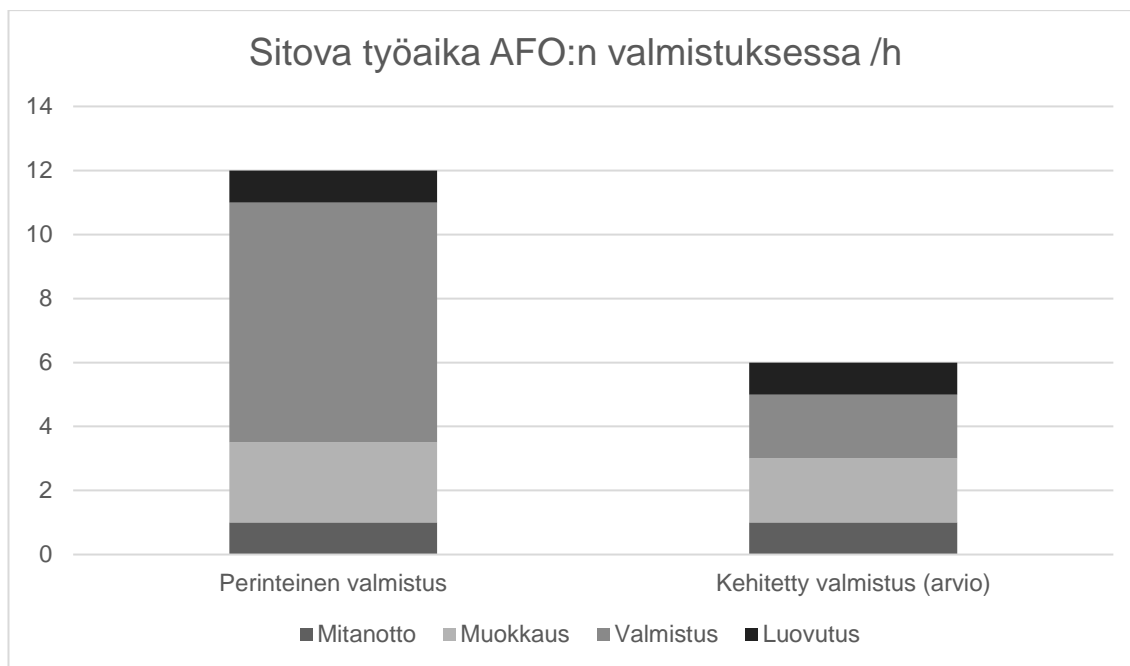
Materiaalikustannukset ovat kehitetyssä menetelmässä suuremmat, kuin perinteisessä tavassa tehdä, mutta sitovan työajan vähentyminen kompensoi suuremmat materiaalikustannukset. Perinteisen menetelmän materiaalikustannukset määrittävät haastattelujemme perusteella. Perinteisen menetelmän materiaalikustannukset ovat 50€. Kuorikko-

mitanotto ei eroa mitenkään menetelmien välillä, joten kun vanhan menetelmän kustannuksista poistetaan polypropeenin ja kipsijauheen kustannukset, jäljelle jää vain mitanoton kustannukset. Kun mitanoton kustannuksiin lisätään tulostusmateriaalien kustannukset, saadaan nyt kehitetyn menetelmän materiaalikustannukset.

3mm polypropeenilevyn neliöhinta on 22,60€ (Vink Finland Oy n.d.). Yhteen AFO:on muovia käytetään 0,66m². Näin ollen AFO:n muovit maksavat noin 15€. Kipsijauheen osuus perinteisessä mitanotossa on arviolta n. 5€. 25kg kipsisäkin hinta on 25€ (Kerasil Oy n.d.). Kipsiä kuluu noin 5 kiloa yhden ortoosin valmistukseen.

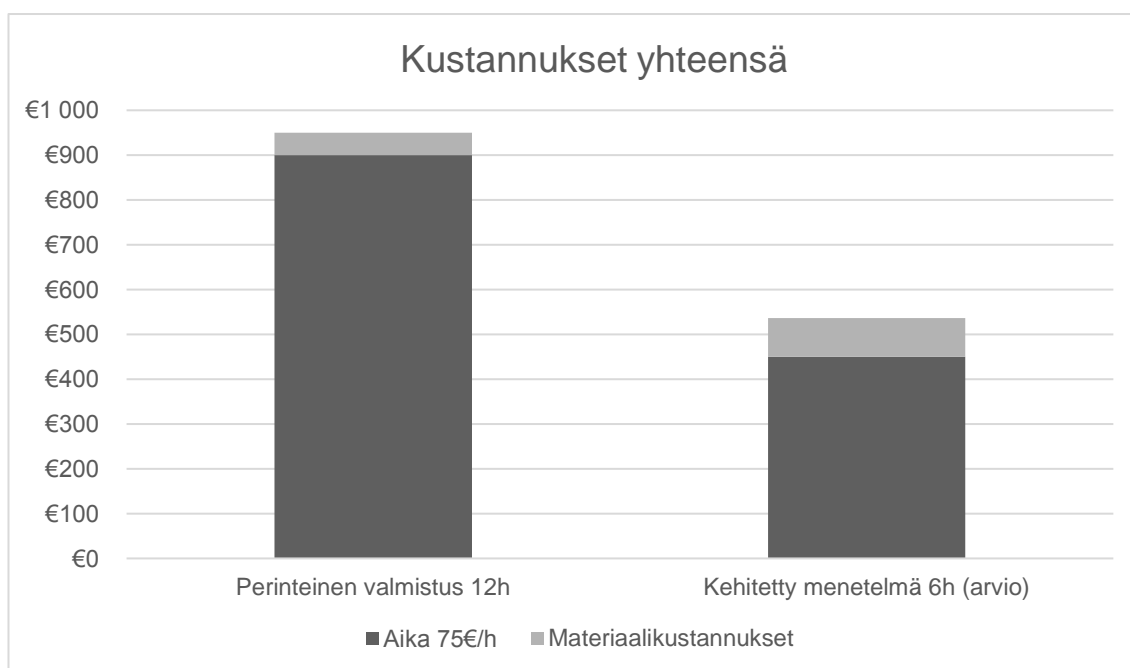
Tulostusmateriaalin käyttö on laskettu 320g painavan polypropeenista valmistetun AFO:n mukaan. Polypropeenin ominaispaino on 0,91g/cm³ (Röchling Engineering Plastics SE & Co. 2014). Hiilikuituvahvistetun nailonin ominaispaino on 1,00g/cm³ (Fiber Force Italy 2018). Tällä perusteella hiilikuitunailonista valmistetun AFO:n paino laskettuna samoilla seinämävahvuuksilla on noin 350 grammaa. 500g tulostusmateriaalia maksaa 55,80€ (MAKER3D Oy n.d.). Tulostusmateriaalikustannus yhdelle tulostetulle AFO:lle on noin 39€. Myös tukifilamentti on laskettu mukaan valmistusmateriaaleihin. Tukifilamentin hinta on 52,08€ 350g kelassa (MAKER3D Oy n.d.). Tukifilamentin kulutus riippuu tulostettavan esineen muodosta ja arvioimme sitä kuluvan ortoosissa noin 1/3 hiilikuitunailonin kulutuksesta, joka on noin 117 grammaa. Tukifilamentin hinnaksi tulee noin 17,50€. Tulostetun AFO:n materiaalikustannukset kokonaisuudessaan ovat siis n. 86,50€.

Mallinmuokkauksessa pätevät samat periaatteet, tehtiin se sitten 3D-ohjelmistoilla tai kipsiä muokkaamalla. Toisessa muokkaus vain tehdään virtuaalisesti. Digitaalinen mallimuokkaus ilman niveliä tai muuta rakennesuunnittelua kestää testien mukaan 1 tunti 40 minuuttia. Laskelmissa arvioimme digitaalisen mallinmuokkauksen kestävän kaiken kaikkiaan 2 tuntia, kun malliin liitetään valmiina komponentteina aikaisemmin mallinnetut nivelet ja kiinnikkeet remmeille.



Taulukko 7. Sitovan työajan vertailu. Kehitetyn menetelmän arvot ovat osittain arvioita.

Erot menetelmien välillä tulevat parhaiten esiin varsinaisen tuotteen valmistuksessa. Perinteisellä menetelmällä valmistettu AFO sitoo paljon ammattilaisen työtä, mutta tulostaminen tapahtuu pääasiassa itsenäisesti. Tulostamisen sitovaan työaikaan on mallinmuokkauksen ja mitanoton sekä luovutuksen lisäksi laskettu kaksi tuntia viimeistelyä ja tulostimen hallintaa.



Taulukko 9. Kokonaiskustannusten vertailu. Kehitetyn menetelmän arvot ovat osittain arvioita.

Kuten kaaviossa näkyy, kehitetyssä valmistusmallissa voidaan säästää ammattilaisen sitovaa työaikaa jopa puolella. Viimeistely ja luovutusvaiheet ovat luultavimmin täysin samanlaiset molemmissa menetelmissä. Molempiin täytyy valmistaa kiinnitysremmit ja pehmusteet. Molemmat täytyy myös sovittaa ennen luovutusta asiakkaalle.

10 Johtopäätökset

Opinnäytetyön prosessin alussa suunnittelimme saavamme valmiiksi nivelletyn 3D-mallin plantaarifleksiorajoitteisesta AFO:sta. Mallinnuksen hankaluuksien takia saimme valmiiksi kuitenkin vain aihion, josta voidaan niveliä ja yksityiskohtia lisäämällä saada tulostettava ortoosi. Pystyimme siis todentamaan, että tekniikka on riittävällä tasolla, mutta ajallisesti emme ehtineet saada mallia valmiiksi.

Muovikipsinauha soveltuu hyvin mitanottoon, sekä skannaukseen ja footboard-mitanotto on mahdollista tehdä muovikipsinauhalla. Muovikipsin hyödyt tulevat esiin sen siisteydessä ja keveydessä. Kuorikon pystyy sujuvasti skannaaman sisäpuolelta, kun kuorikko on avattu lähelle valmiin ortoosin linjoja. Kuorikko sisäpuolelta skannattaessa, saadaan mielestämme asiakkaan jalasta erittäin tarkka malli. Skannaamalla ja tulostamalla valmistettu ortoosi vie vähemmän varastotilaa, eikä vaadi kipsintyöstölle ominaista tilaa, jossa mallinmuokkaus tehdään.

AFO:n mallinmuokkaus on mahdollista tehdä olemassa olevilla ilmaisilla ohjelmistoilla skannatusta kuorikosta. Kolmiulotteisen digitaalisen mallin muokkaus on mahdollista oppia osana apuvälinetekniikan muuta osaamista, ilman pitkää koulutusta. Ajansäästöihin on mahdollista päästä, mikäli mitanottoa ja mallinmuokkausta seuraavat vaiheet eivät vaadi paljoa ammattilaista sitovaa aikaa. Potentiaali halvemmalle ja nopeammalle valmistukselle on olemassa. Myös skannerin ja tulostimen hankinta on taloudellisesti mahdollista pienillekin yrityksille ja sopivia 3D-ohjelmistoja löytyy edullisesti tai jopa ilmaiseksi.

11 Pohdinta

Alkuperäisenä tarkoituksena oli luoda koko prosessi mitanotosta valmiiksi tuotteeksi, mutta opinnäytetyölle varattu aika ei olisi tähän riittänyt. Tämän opinnäytetyön tarpeellisenä jatkokehityksenä olisikin varsinaisen AFO:n tulostaminen ja testaaminen käytössä. Emme vielä tiedä olisiko valitsemamme materiaali soveltuvaa, emmekä vielä osaa sanoa, pystytäänkö hiilikuitunylonista tulostettua ortoosia esimerkiksi lämpömuokkaamaan jälkikäteen, niin kuin polypropeenista valmistettua ortoosia on tarvittaessa tapana muokata. Digitaalisen mallinmuokkauksen kokonaisaika on myös arvio, koska emme ehtineet mallintaa niveliä, emmekä esimerkiksi remmien kiinnikkeitä.

Suurin kompastuskivi prosessin aikana oli oma mallinnusosaamisemme. On kuitenkin rohkaisevaa, ettei tehtävä osoittautunut mahdottomaksi ilman varsinaista kolmiulotteisen suunnittelun koulutusta ja, että ilmaisilla ohjelmistoilla on mahdollista tehdä näinkin erikoistunutta suunnittelua.

Tulostaminen on nykypäivää ja mielestämme on vain ajan kysymys, milloin 3D-tulostamista ruvetaan käyttämään etenevissä määrin myös ortotiikassa. Ortoosien ja proteesien 3D-tulostamista tulisikin jatkossa kehittää koulussa ja kentällä. 3D-tekniikalla valmistettuja ortooseja voisi kehittää alkuun kolmannen osapuolen tulostuspalvelun kautta, ilman, että tarvitaan omaa konekantaan. On kuitenkin hyvä tiedostaa tulostamisen mahdollisuudet osana yksittäisen toimijan valmistusmenetelmiä. Tulostamisen mahdollisuudet eivät rajoitu vain yksittäisiin tuotteisiin vaan tulostaa voidaan myös esimerkiksi komponentteja.

3D-tulostusmaailman kehitys on hyvin nopeaa ja uusia skannereita, tulostimia sekä materiaaleja kehitetään koko ajan enenevissä määrin. Kehitysnopeus on huimaa ja ensi vuonna samaan aikaan suosittelimamme tulostimet ja materiaalit voivat olla täysin erilaisia kuin mitä olemme tässä opinnäytetyössä esitelleet.

Tulostusmateriaalina hiilikuituvahvistettu nailon ei ole ideaali ympäristön kannalta ja haluaisimme käyttää materiaalina mieluiten jotain ympäristölle vähemmän haitallista, kuten jonkinlaista puukuitua. Luonnonkuiduilla vahvistettuja tulostusmateriaaleja on tämän opinnäytetyön tekemisen aikana ilmestynyt runsaasti verkkokauppoihin ja niiden ominaisuuksia pitäisi tutkia jatkossa.

Muovin kierrätys nousi esiin haastatteluissa tärkeänä asiana. Vaikka opinnäytetyömme yhtenä tähtäimenä on materiaalin kulutuksen vähentäminen 3D-tekniikkaa hyödyntäen, on silti tärkeää kehittää olemassa olevia menetelmiä vähemmän luonnonvaroja kuormittavaksi. Muovi on materiaalina erittäin yleistä apuvälinetekniikan alalla, mutta sitä ei kierrätetä vielä, ainakaan laajemmassa mittakaavassa. Tämän hetken yhteiskunnassa, muovinkierrätyksen piiriin kuuluu ainoastaan pakkausmuovi.

Vaikka saimmekin haastatteluistamme tarvittavaa hiljaista tietoa ortoosien valmistuksesta ja mitanotosta, olisi silti hedelmällistä tehdä laajempaa haastattelututkimusta aiheesta. Teimme itse ensimmäistä kertaa puolistrukturoitua teemahaastattelua. On selvää, että emme ensikertalaisina saa esiin metodin koko potentiaalia. Kaipaisimme alalle enemmän tämän kaltaista perustietoa oppimis- ja kehittämistarpeeseen. Suomenkielisen apuvälinetekniikan perusteosten puute näkyy myös suomalaisen apuvälineiden valmistamisen kuvauksen puuttumisena.

Käyttämämme metodit mallinmuokkauksessa ja 3D-mallinnuksessa ovat vain yksi tapa tehdä asioita. Sekä Meshmixer että Fusion 360 ovat monipuolisia ohjelmia, joiden mahdollisuuksia olemme käyttäneet tässä opinnäytetyössä vielä vähän. Molemmat ohjelmat ovat ilmaisia opiskelijoille ja Meshmixer kaikille käyttäjille, joten ne ovat erinomaisia välineitä opetella modernien menetelmien mahdollisuuksia. Toivomme, että tällä työllä rohkaishemme sekä ammattilaisia että opiskelijoita tarttumaan uusien valmistusmenetelmien mahdollisuuksiin. Itsellämme on tarkoitus tehdä loppuun digitaalinen malli ja tulostaa AFO, sekä koekäyttää sitä.

Mikäli pääsemme eroon kipsistä työpaikoilla, säästyy tilaa tärkeämmille toiminnoille, esimerkiksi asiakkaan toimintakyvyn arviointiin. Toisaalta mikäli kipsinveistotiloja ei tarvita, pienenevät kiinteät kulut ortoosien valmistajilta. Minimissään voidaan mallinmuokkaus tehdä tulevaisuudessa esimerkiksi kotitoimistosta käsin. Mitanotto ja asiakkaan toimintakyvyn arviointi voidaan taas tehdä esimerkiksi kuntouttavan sairaalan tiloissa, tai asiakkaan kotona. Ainut selvä tilantarve on tulostimelle tai tulostimille tarvittava, hyvin ilmastoitu tila. Tulostimien ja materiaalien kehitys saattaa tulevaisuudessa toki mahdollistaa jopa mukana kulkevan valmistuksen.

Lähteet

3D Hubs 2018. What is 3D Printing? The definitive guide to additive manufacturing. Saatavana osoitteessa: <<https://www.3dhubs.com/what-is-3d-printing>>. Luettu 10.4.2018.

3D Print Bro's 2017. Prosthetic Design, Speed Modeling, Fusion 360 (Part 1). Saatavana osoitteessa: <<https://www.youtube.com/watch?v=SwlmtNmlcp4>> Luettu 27.10.2018

3D Systems Inc. 2018. A guide to 3D scanner technology. Saatavana osoitteessa: <<https://www.3dsystems.com/3d-scanner/scanner-guide>> Luettu 20.10.2018

3Dxtech 2018. CarbonX Carbon Fiber Nylon (Gen 3) 3D Printing Filament. Saatavana osoitteessa: <<https://www.3dxtech.com/carbonx-carbon-fiber-nylon-gen-3-3d-printing-filament/>>. Luettu 20.10.2018.

Additiveop n.d. Additive Orthotics and Prosthetics. Saatavana osoitteessa: <<http://www.additiveop.com/>> Luettu 27.10.2018

Aivoliitto n.d. Perustietoa AVH:sta. Saatavana osoitteessa: <[https://www.aivoliitto.fi/aivoverenkiertohairio_\(avh\)/perustietoa_avh_sta](https://www.aivoliitto.fi/aivoverenkiertohairio_(avh)/perustietoa_avh_sta)> Luettu 3.11.2018

All3dp 2018. Best Large-Format 3D Printer of Fall 2018. Saatavana osoitteessa: <<https://all3dp.com/1/raise3d-pro2-plus-review-3d-printer/>> Luettu 21.10.2018.

AN-Cadsolutions n.d. Raise3D Pro2 Plus 3D-tulostin. Saatavana osoitteessa: <<https://www.an-cadsolutions.fi/tuote/raise3d-pro2-plus-3d-tulostin/>> Luettu 21.10.2018.

Andiamo 2018. The highest quality orthoses. Saatavana osoitteessa: <<https://andiamo.io/>> Luettu 20.10.2018

Autodesk 2018. How to activate Start-up, Student or Educational licensing for Fusion 360. Saatavana osoitteessa: <<https://knowledge.autodesk.com/support/fusion-360/learn-explore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/How-to-activate-start-up-or-educational-licensing-for-Fusion-360.html>> Luettu 21.10.2018.

Autodesk Fusion 360 2017. QUICK TIP: Mesh to Solid. Saatavana osoitteessa: <<https://www.youtube.com/watch?v=8Z0liVKt5Hg>> Luettu 27.10.2018 (viitattu)

Autodesk n.d. Autodesk Meshmixer. Saatavana osoitteessa: <<https://help.autodesk.com/view/MSHMXR/2019/ENU/>> Luettu 27.10.2018

BSN Medical GmbH. Delta-Cast® Delta-Lite® Käyttöohje.

Cakar, E. & Durmus, O. & Tekin, L. & Dincer, U. & Kiralp, M.Z. 2010. The ankle foot orthosis improves balance and reduces fall risk of chronic spastic hemiparetic patients. Saatavana osoitteesta: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20927002>> Luettu 26.4.2018.

Fiber Force Italy 2018. Nylforce Carbon Fiber. Saatavana osoitteesta: <<http://www.fiberforce.it/nylforce-carbon-fiber/>>. Luettu 20.10.2018.

Gambell, Carol 2002. Orthoses for Orthopedic Conditions. Teoksessa: Evans, Mary & Kott, Karen & Miller, Kendra & Miller, Susan & Seymour, Ron & Yankowitz, Gabriel 2002. Prosthetics and Orthotics Lower Limb and Spinal. Lippincott Williams&Wilkins. New York. 337–366.

Gyropod 2016. Foot Orthotics for Gensole Using Meshmixer. <<https://www.youtube.com/watch?v=LVlcKBagIN0>>Luettu 27.10.2018

Hylton, Nancy 2000. Dynamic Orthotic Concepts Background and Experiences-Konzepte der dynamischen Orthetik Hintergrund und Erfahrungen. Verlag Orthopädie-Technik. Dortmund.

Infinity 3D Printing 2018. Doogell Sirius. Saatavana osoitteesta: <<https://www.infinity3dprinting.com/3d-printers/doogell-sirius/>> Luettu 20.10.2018.

Intertek Group plc n.d. Tensile Testing of Plastics ISO 527-1. Saatavana osoitteesta: <<http://www.intertek.com/polymers/tensile-testing/iso-527-1/>> Luettu 21.10.2018.

Kerasil Oy n.d. Mallikipsi Supraduro, säkki 25kg. Saatavana osoitteesta: <<https://www.kerasil.fi/Kipsi-Supraduro-saekki-25-kg>> Luettu 4.11.2018

Kott, Karen 2002. Orthosis for Patients with Neurologic Disorders-Clinical Decision Making. Teoksessa: Evans, Mary & Gambell, Carol & Miller, Kendra & Miller, Susan & Seymour, Ron & Yankowitz, Gabriel 2002. Prosthetics and Orthotics Lower Limb and Spinal. Lippincott Williams&Wilkins. New York.367–426.

Kruus-Niemelä, Maria 2010. Proteesit ja ortoosit. Teoksessa Aarnikka, Tuomo & Hakkarainen, Marianne & Hiltunen, Nuutti & Holmberg, Kristina & Hurnasti, Tuula & Huuh-tanen, Kristina & Ikävalko, Henna & Juntunen, Reijo & Kanto-Ronkanen, Anne & Koisti-nen, Anna-Kaisa & Konola, Pirjo & Leivo, Harri & Mustonen, Minna & Mäntyniemi, Raili & Nordqvist, Barbro & Ohtonen, Marianna & Parviainen, Jukka & Ruutiainen, Juhani & Saaranto, Eeva-Maija & Saari, Aija & Sahlman-Kiiski, Anne & Salminen, Anna-Liisa (toim.) & Töytäri, Outi & Väisänen, Jari & Väätäinen, Sirkku-Marja & Ylätupa, Maija: Apuvälinekirja. Helsinki: Kehitysvammaliitto ry. 148–161.

Lars Christensen 2017. Fusion 360 for Absolute Beginners. <https://www.youtube.com/playlist?list=PL40d7srwyc_Ow4aaOGXIP2idPGwD7ruKg> Luettu 27.10.2018

Lusardi, Michelle 2013. Principles of Lower Extremity Orthoses. Teoksessa: Jorge, Milagros & Nielsen, Caroline 2013. Orthotics&Prosthetics in Rehabilitation. Elsevier Saunders. St. Louis. 219–265.

MAKER3D Oy n.d. Fiber Force Nylforce Carbon Fiber. Saatavana osoitteessa: <https://www.3d-tulostus.fi/epages/3dtulostus.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/20131018-11092-264846-1/Products/nylforce-carbon/SubProducts/nylforce-carbon-175> Luettu 21.10.2018

MAKER3D Oy n.d. Ultimaker PVA 350g. Saatavana osoitteessa: <https://www.3d-tulostus.fi/epages/3dtulostus.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/20131018-11092-264846-1/Products/ult-pva-285-350g> Luettu 4.11.2018

Marymount University 2017. Pulling a tspline to a Mesh for Fusion 360 Hand Modeling. Saatavana osoitteessa: <<https://www.youtube.com/watch?v=SdMxINhKBmg>> Luettu 27.10.2018

MatterHackers n.d. Technical data sheet. MatterHackers.

Matweb 2018. Tensile Property Testing of Plastics. Saatavana osoitteesta: <<http://www.matweb.com/reference/tensilestrength.aspx>>. Luettu 20.10.2018.

Modix 2018. Large Scale 3D Printers. Saatavana osoitteesta: <<http://www.modix3d.com/>> Luettu 20.10.2018.

name notimportant 2017. T-Splines and Other Stuff in Fusion 360. Saatavana osoitteesta: <<https://www.youtube.com/watch?v=Gf1INAGEalQ>> Luettu 27.10.2018

Niceshops GmbH 2018a. 3D Systems Sense2 3D Scanner. Saatavana osoitteesta: <<https://www.3djake.fi/3d-jaerjestelmaet/sense2-3d-scanner>> Luettu 20.10.2018.

Niceshops GmbH 2018b. Fillamentum CF15 Carbon. Saatavana osoitteesta: <<https://www.3djake.fi/fillamentum/nylon-cf15-carbon>> Luettu 20.10.2018.

Raise3D 2018. N2 Plus FFF 3D Printer. Saatavana osoitteessa: <<https://www.raise3d.eu/collections/3d-printer/products/raise3d-n2-plus-fff-3d-printer>>. Luettu 20.10.2018.

Raise3D 2018. Pro2 Plus 3D Printer. Saatavana osoitteessa: <<https://www.raise3d.eu/collections/3d-printer/products/pro2-plus-3d-printer>>. Luettu 20.10.2018.

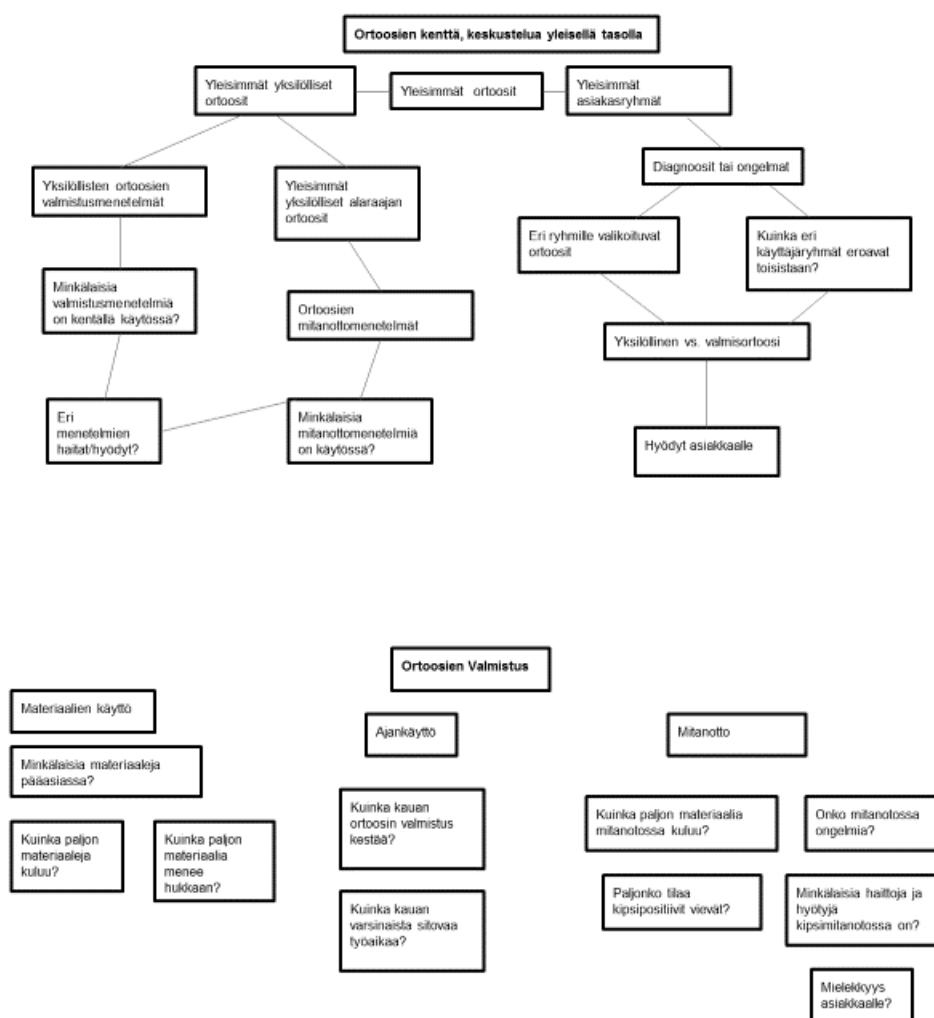
Röchling Engineering Plastics SE & Co. 2014. Technical data sheet Polystone®P copolymer. Saatavana osoitteessa: <<https://www.vink.fi/media/wysiwyg/Datasheets/Datasheet-Polystone-P-copolymer-EN.pdf>> Luettu 5.11.2018

Synaptic Oy 2017. 3D FILAMENT ePA-CF. Saatavilla osoitteesta: <<https://www.3d-tarvikkeet.fi/3d-filament-epa-cf-esun.html>> Luettu 21.10.2018

Vilkka, Hanna. 2006. Tutki ja havainnoi. Saatavana myös osoitteessa:
<<http://hanna.vilkka.fi/wp-content/uploads/2014/02/Tutki-ja-havainnoi.pdf>>

Vink Finland Oy n.d. PP Polypropeeni hinnasto. Saatavana osoitteesta:
<https://www.vink.fi/media/wysiwyg/Hinnastot/2018/Vink_PP_Polypropeeni.pdf> Luettu
4.11. 2018

Haastattelujen teemat



Työnimellä “AFO:n kipsitön valmistus- ja mitanotto 3D tekniikalla” kulkevan opinnäytetyön haastattelusuostumus

Opinnäytetyötä tekevät opiskelijat Niko Halminen ja Joona Sarjanen Metropolia Ammattikorkeakoulusta. Opinnäytetyötä ohjaavat lehtori Tomi Nurminen ja yliopettaja Pekka Paalasmaa.

Yhteystiedot:

Opiskelijat: Niko Halminen
xxxxxxxxxxxxxxxxxxx puh: xxx xxxxxxx

Joona Sarjanen
xxxxxxxxxxxxxxxxxxx puh: xxx xxxxxxx

Ohjaajat: Tomi Nurminen
xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Pekka Paalasmaa
xxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Tarkoitus

Tarkoituksena on asiantuntijahaastatteluna kartoittaa vallitsevaa AFO:jen valmistus ja mitanottomenetelmää, siihen kuluva aikaa ja muita resursseja. Haastateltavalla on oikeus kieltäytyä antamasta haastattelua tai olla vastaamatta kysymyksiin oman harkintansa mukaan, ilman minkäänlaisia seuraamuksia. Haastattelu nauhoitetaan ja litteroidaan. Haastattelussa kerätty tieto on tarkoitettu ainoastaan kyseessä olevan opinnäytetyön taustatiedoksi, eikä tietoja käytetä muuhun. Haastattelussa saatuja tietoja voidaan julkaista kyseessä olevassa opinnäytetyössä. Yksittäinen haastateltava ei ole tunnistettavissa opinnäytetyön aineistossa, analyysissä tai tuloksissa. Haastateltavilla on oikeus lukea opinnäytetyö ennen julkaisua.

Hyväksyn yllä mainitut ehdot,

Paikka ja aika

Allekirjoitus

Nimen selvennys

Meshmixer ohje

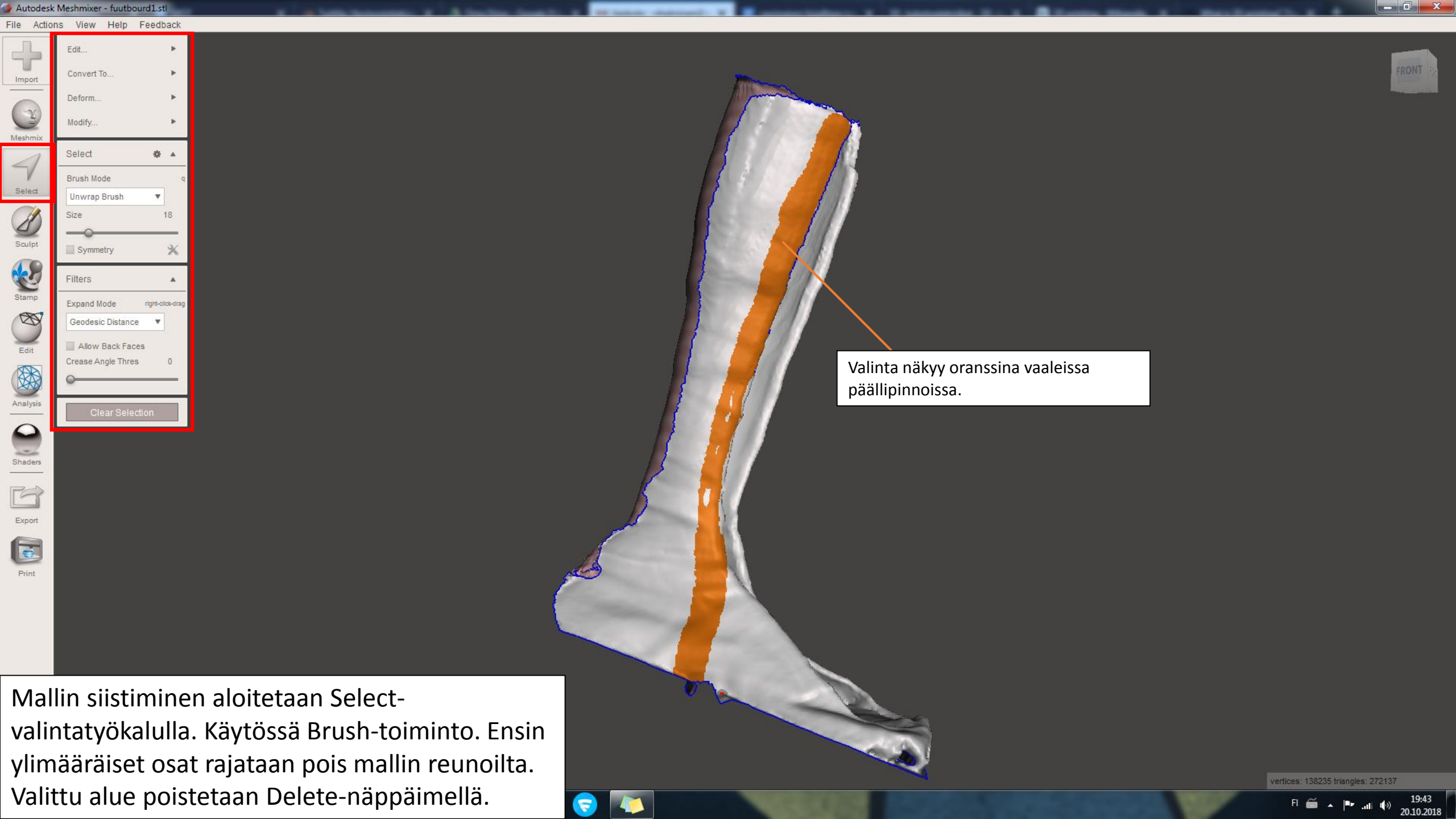
Ohje AFO:a varten skannatun mallin muokkaukseen Meshmixer-ohjelmalla

Niko Halminen & Joona Sarjanen



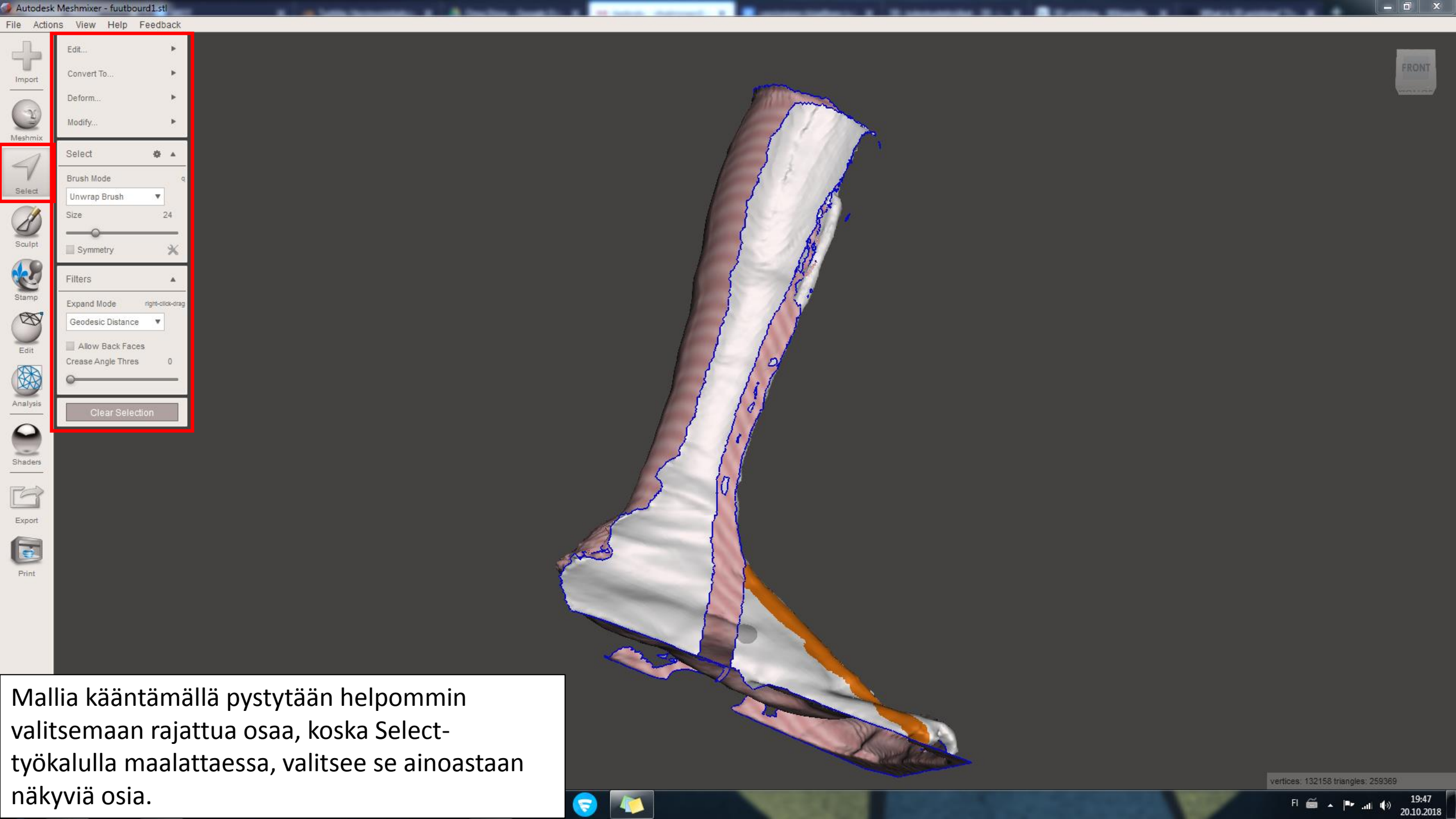
STL-tiedosto tuotuna Import-komennolla
Meshmixeriin.





Valinta näkyy oranssina vaaleissa
päällipinnoissa.

Mallin siistiminen aloitetaan Select-valintatyökalulla. Käytössä Brush-toiminto. Ensin ylimääräiset osat rajataan pois mallin reunoilta. Valittu alue poistetaan Delete-näppäimellä.



Mallia kääntämällä pystytään helpommin valitsemaan rajattua osaa, koska Select-työkalulla maalattaessa, valitsee se ainoastaan näkyviä osia.



- Edit...
- Convert To...
- Deform...
- Modify...

Select

Brush Mode

Unwrap Brush

Size 48

☐ Symmetry

Filters

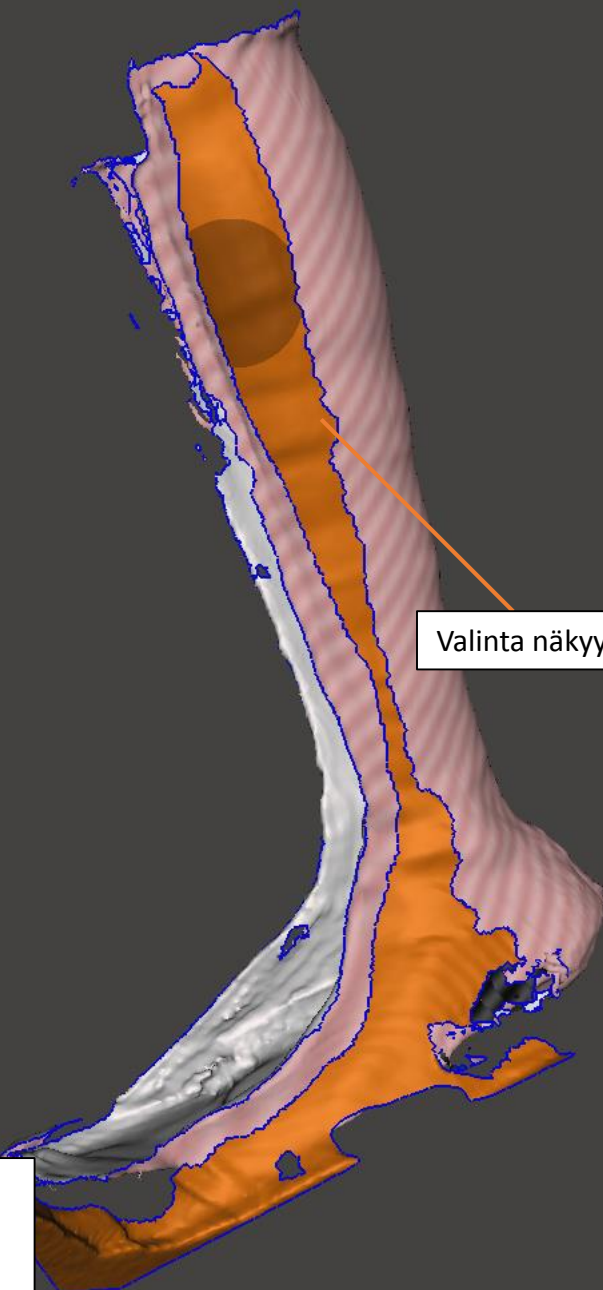
Expand Mode right-click-drag

Geodesic Distance

☐ Allow Back Faces

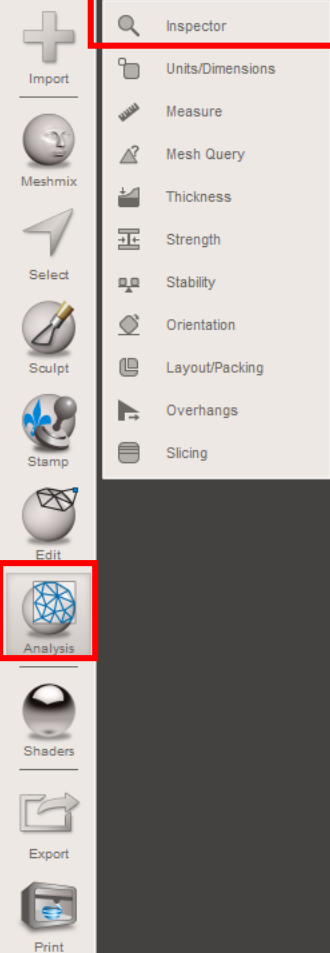
Crease Angle Thres 0

Clear Selection

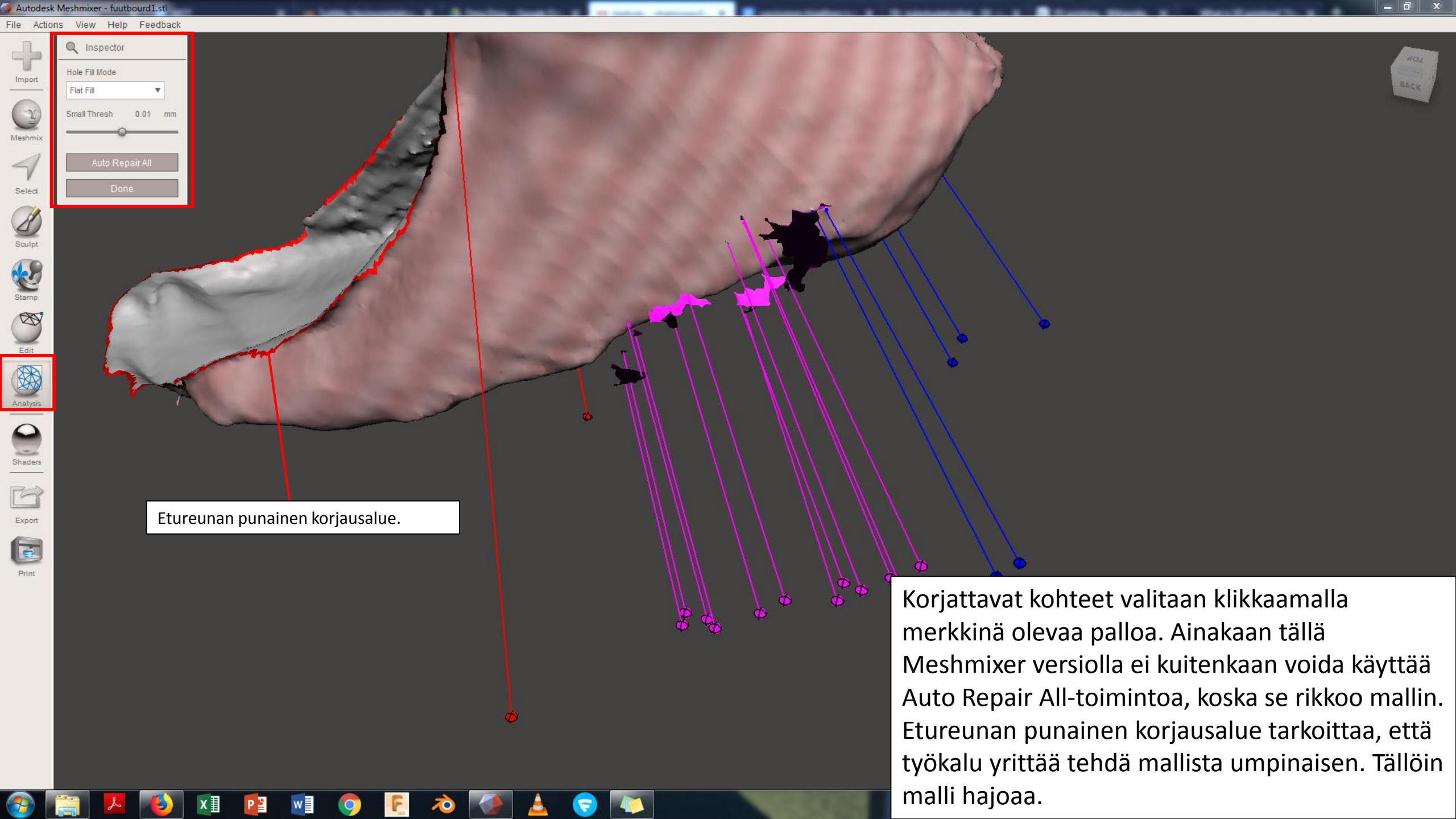


Valinta näkyy oranssina päällipinnoissa.

Kun kappaleen reunat on ensin siistitty, on helppo valita ja poistaa jäljelle jääneitä ylimääräisiä alueita.

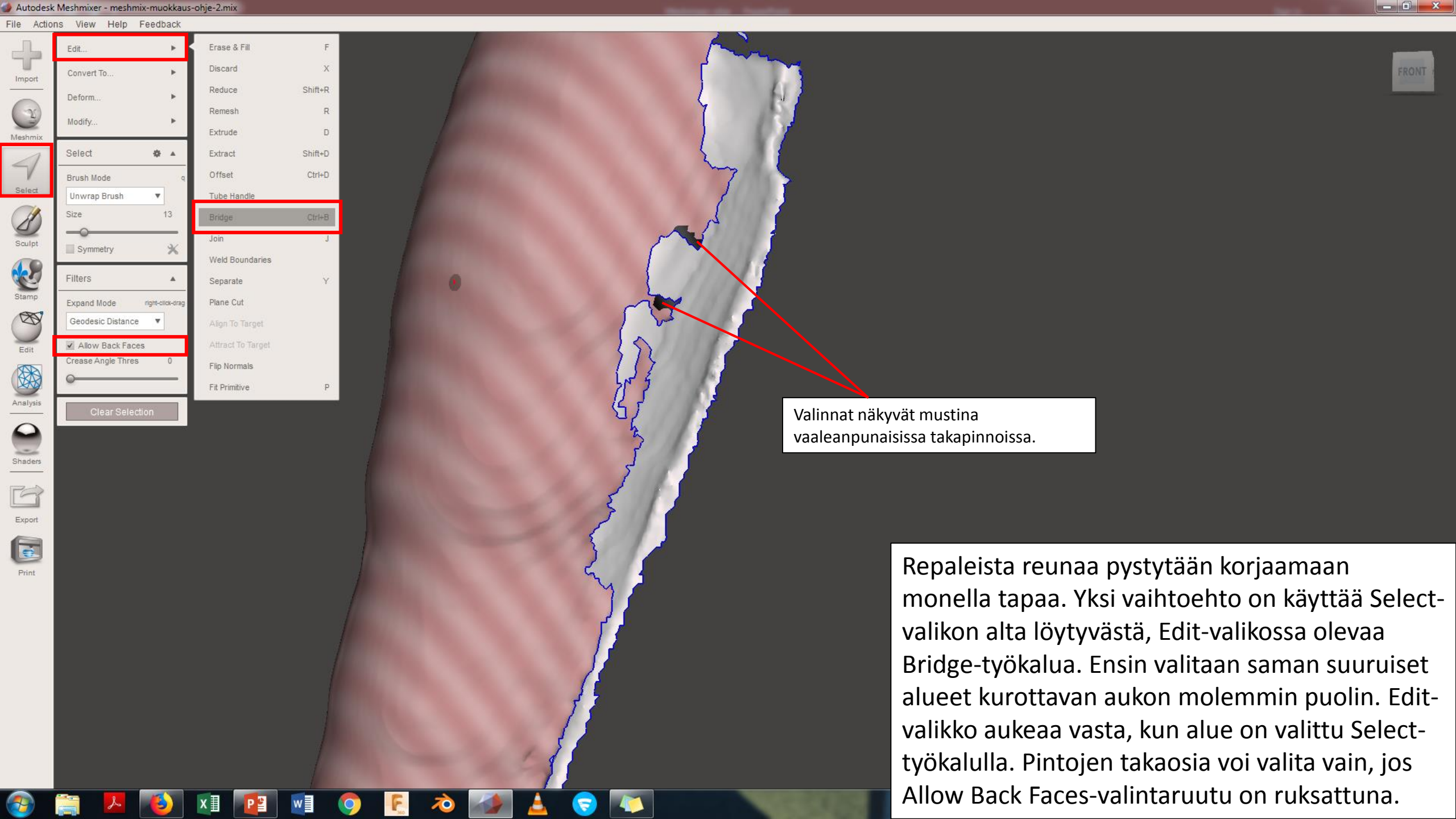


Kun suurin osa mallia on siistitty, voidaan käyttää Analysis-valikosta löytyvää Inspector-työkalua, joka automatisoi pienten roskien ja reikien korjausta. Magentan väriset pallot merkkäävät ylimääräistä roskaa, siniset pallot reikiä ja punaiset pallot reunuksen ongelmia mallissa. Viimeistään ennen Inspector-työkalun käyttöä on hyvä tallentaa työ Meshmixer Format (*.mix)-muodossa.



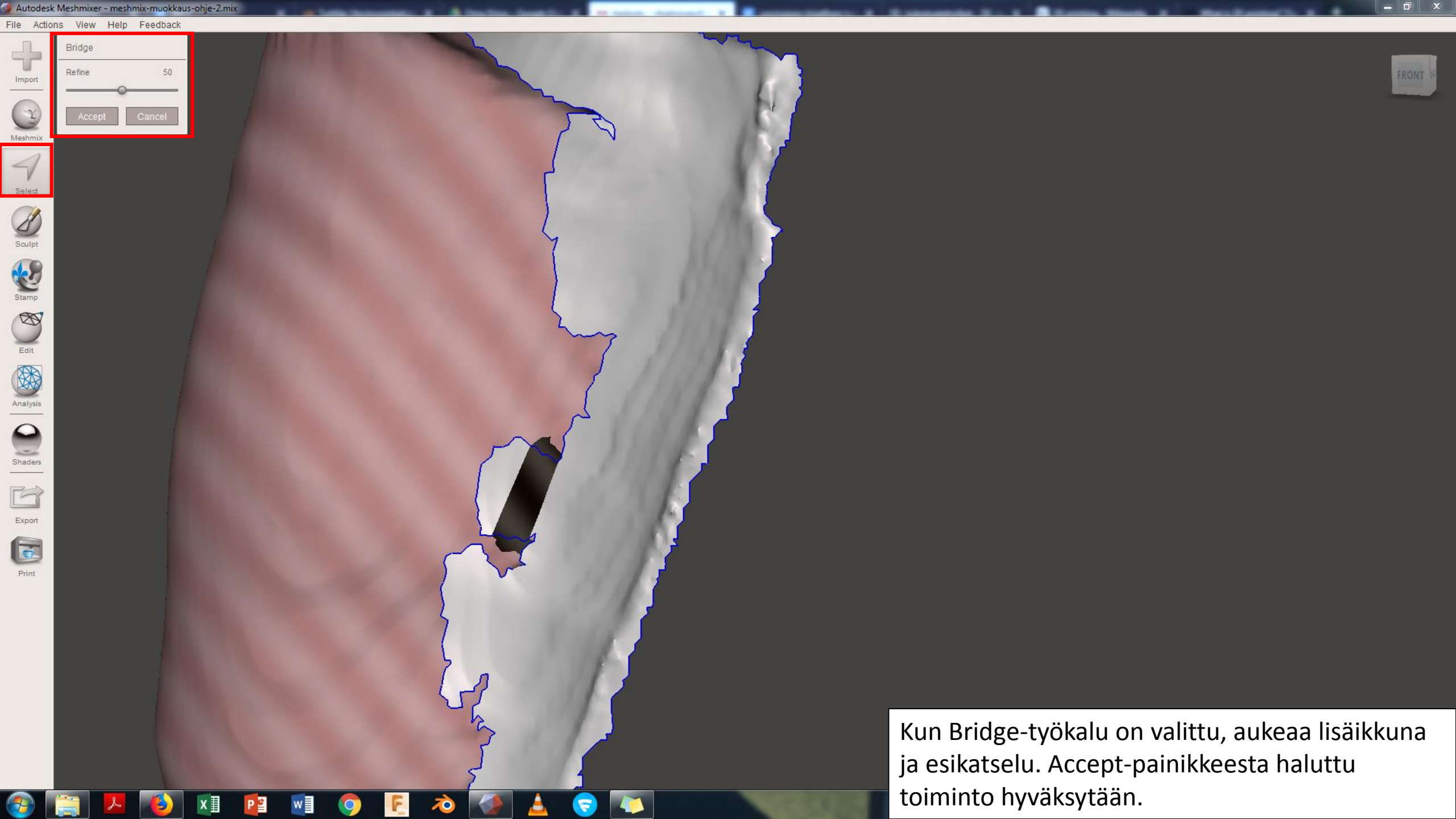
Etureunan punainen korjausalue.

Korjattavat kohteet valitaan klikkaamalla merkinä olevaa palloa. Ainakaan tällä Meshmixer versiolla ei kuitenkaan voida käyttää Auto Repair All-toimintoa, koska se rikkoo mallin. Etureunan punainen korjausalue tarkoittaa, että työkalu yrittää tehdä mallista umpinaisen. Tällöin malli hajoaa.

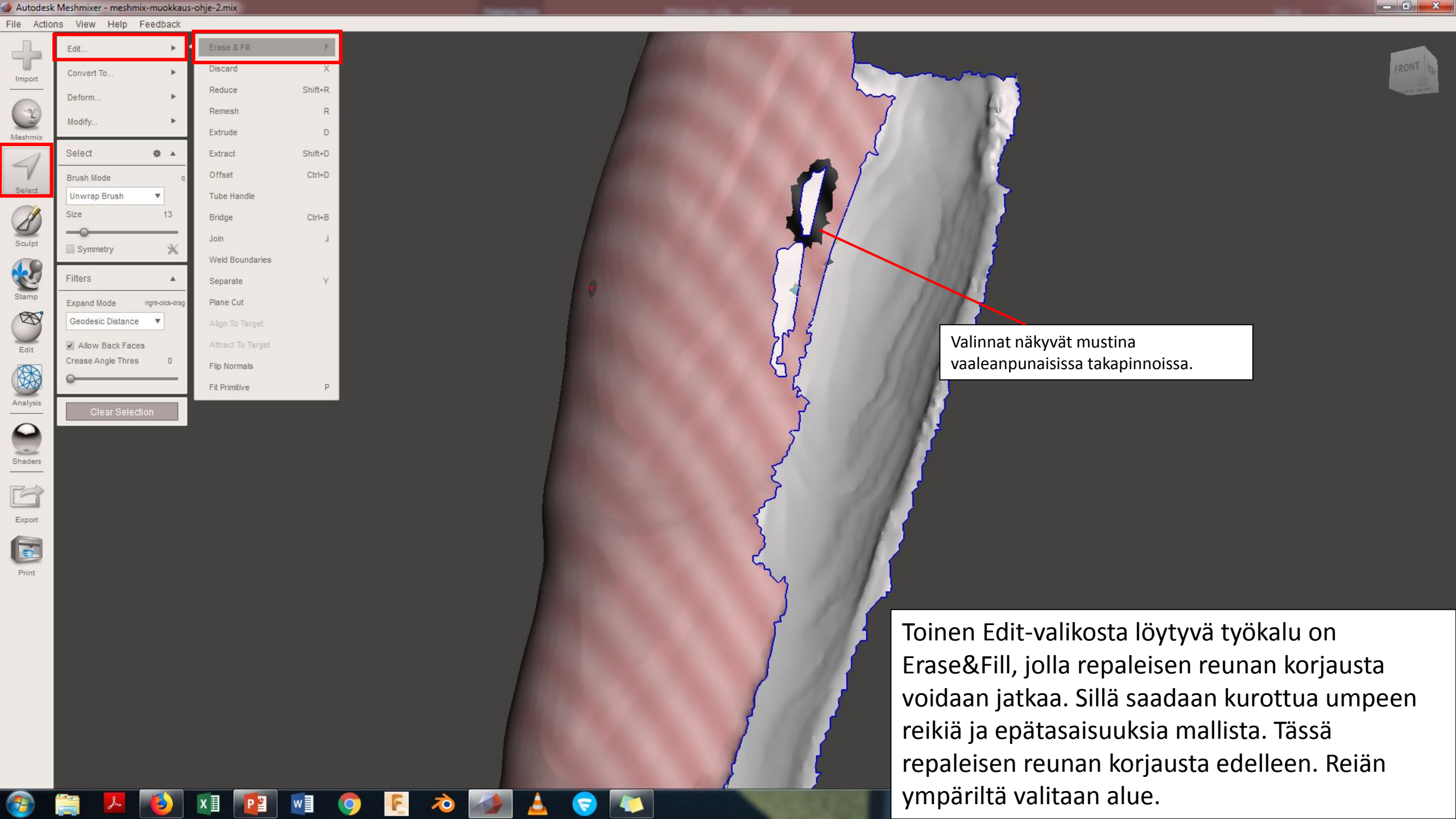


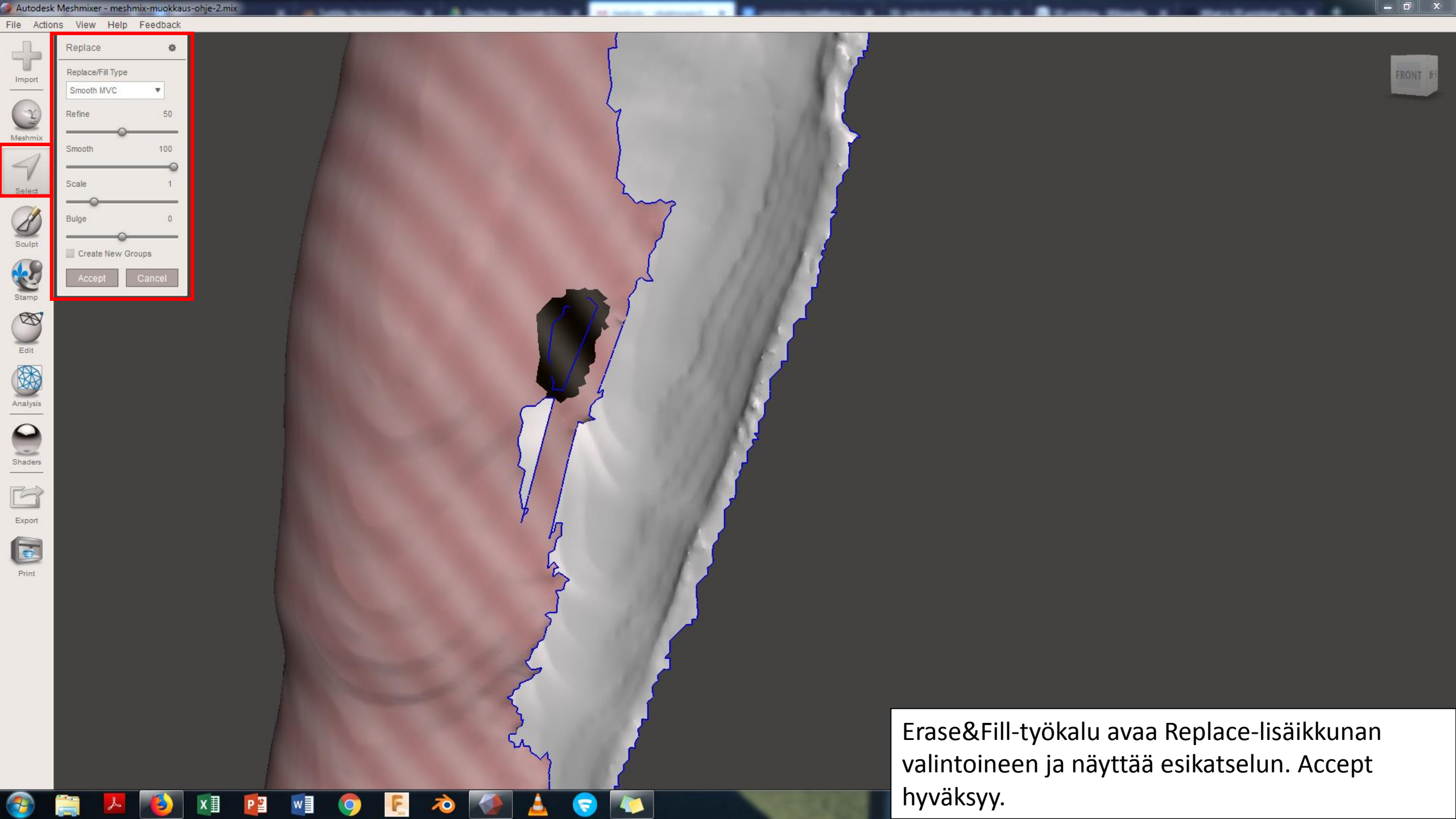
Valinnat näkyvät mustina
vaaleanpunaisissa takapinnoissa.

Repaleista reunaa pystytään korjaamaan monella tapaa. Yksi vaihtoehto on käyttää Select-valikon alta löytyvästä, Edit-valikossa olevaa Bridge-työkalua. Ensin valitaan saman suuruiset alueet kurottavan aukon molemmiin puolin. Edit-valikko aukeaa vasta, kun alue on valittu Select-työkalulla. Pintojen takaosia voi valita vain, jos Allow Back Faces-valintaruutu on ruksattuna.

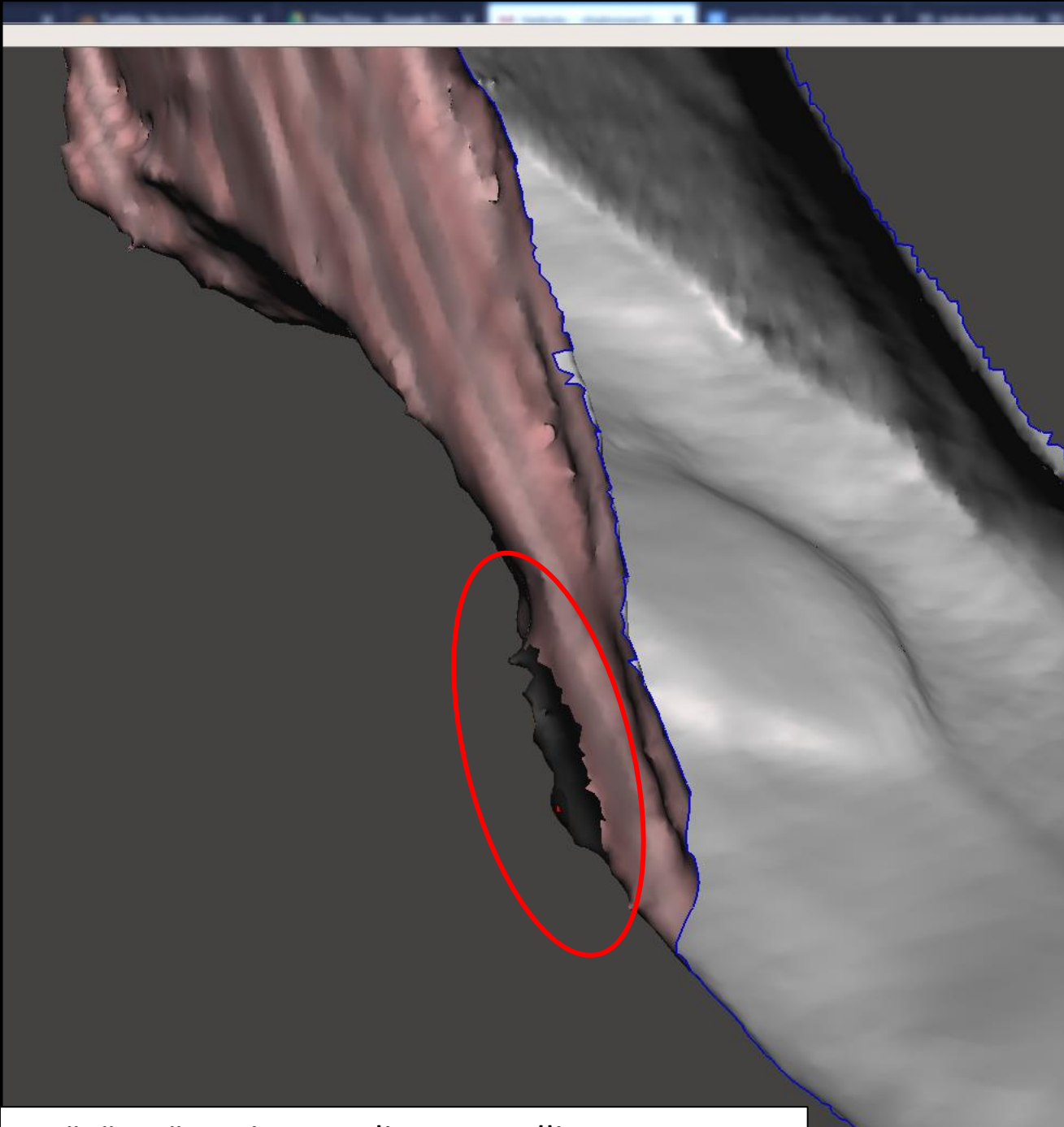


Kun Bridge-työkalu on valittu, aukeaa lisäikkuna ja esikatselu. Accept-painikkeesta haluttu toiminto hyväksytään.

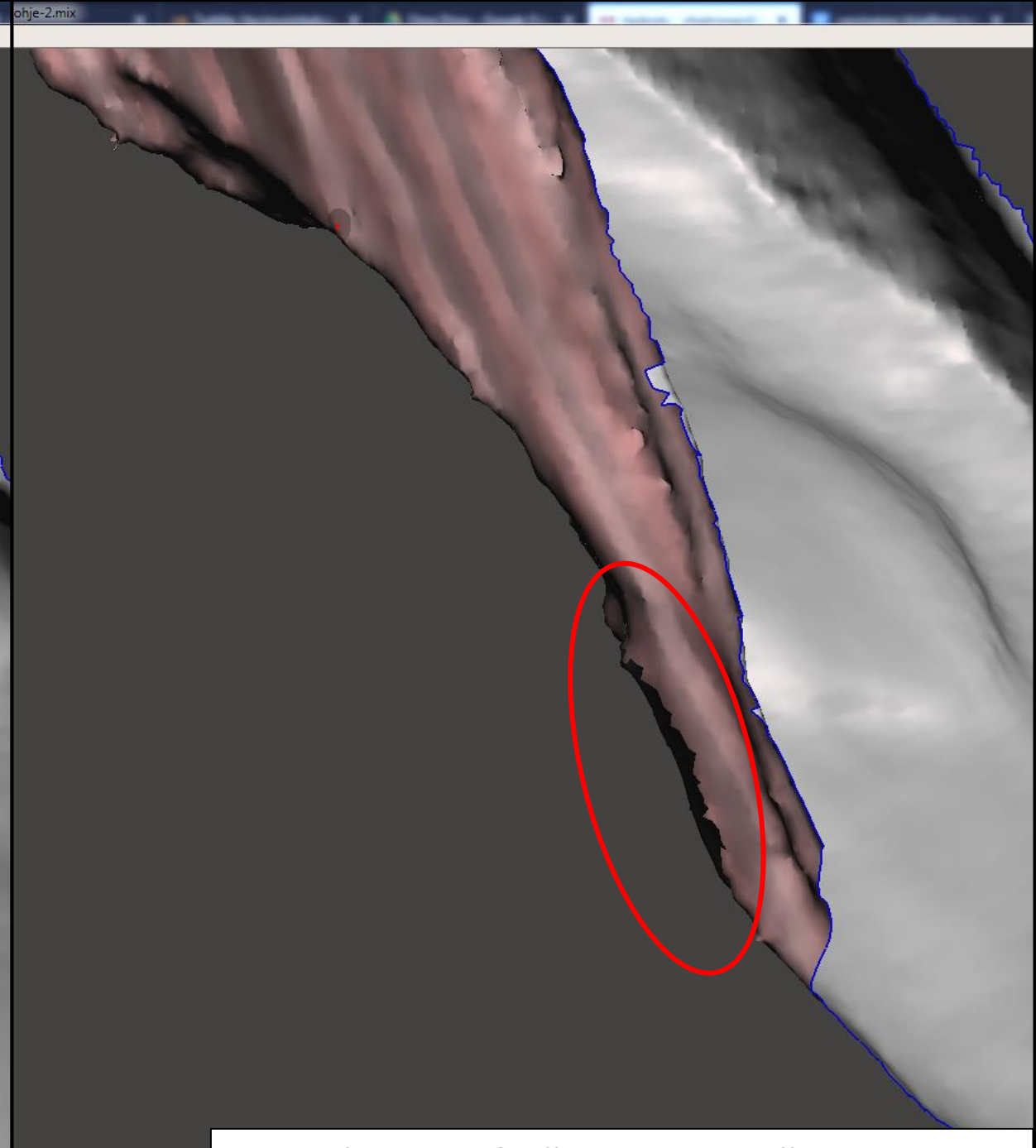




Erase&Fill-työkalu avaa Replace-lisäikkunan valintoineen ja näyttää esikatselun. Accept hyväksyy.

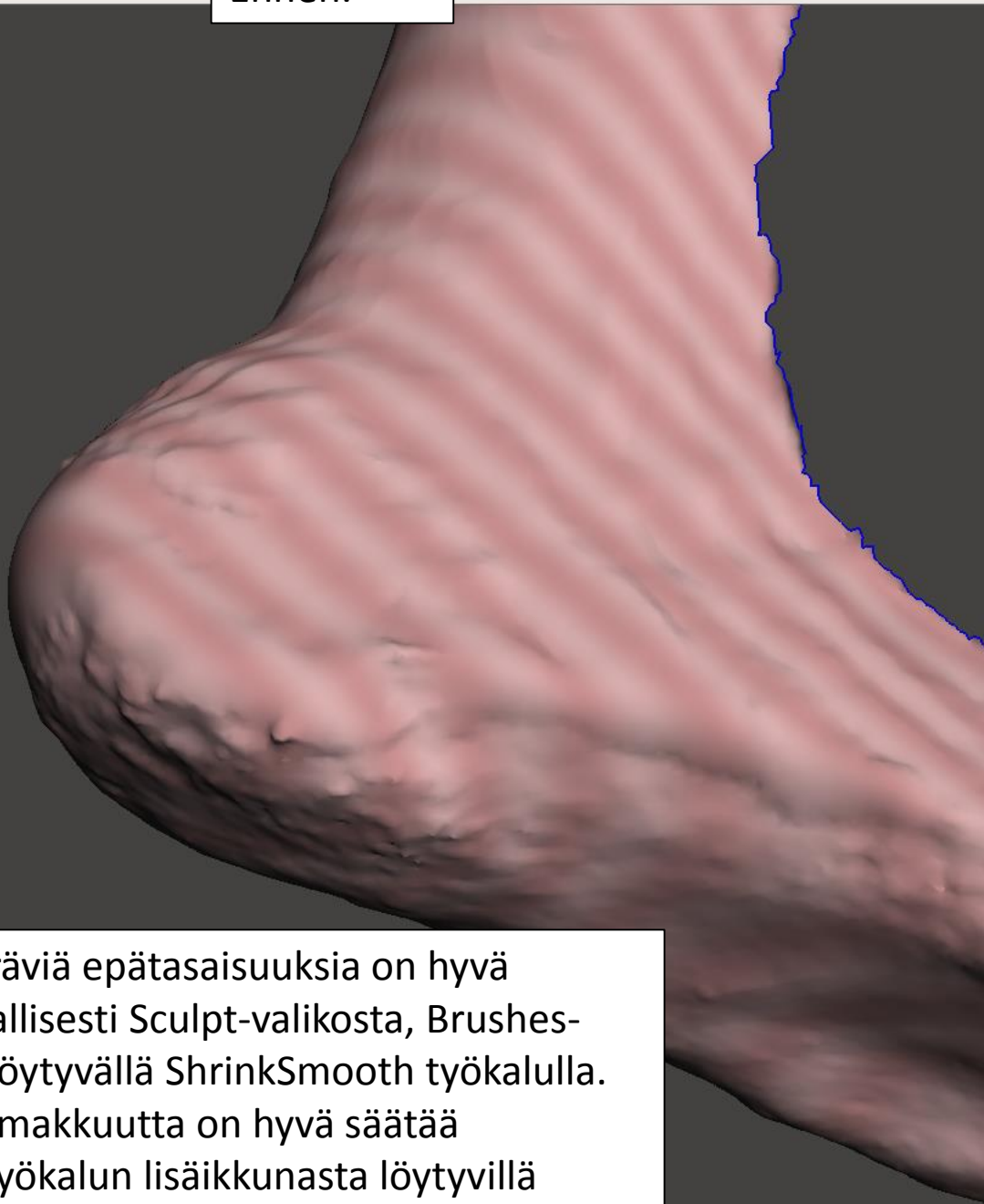


Terävä epätasaisuus valittuna mallista.

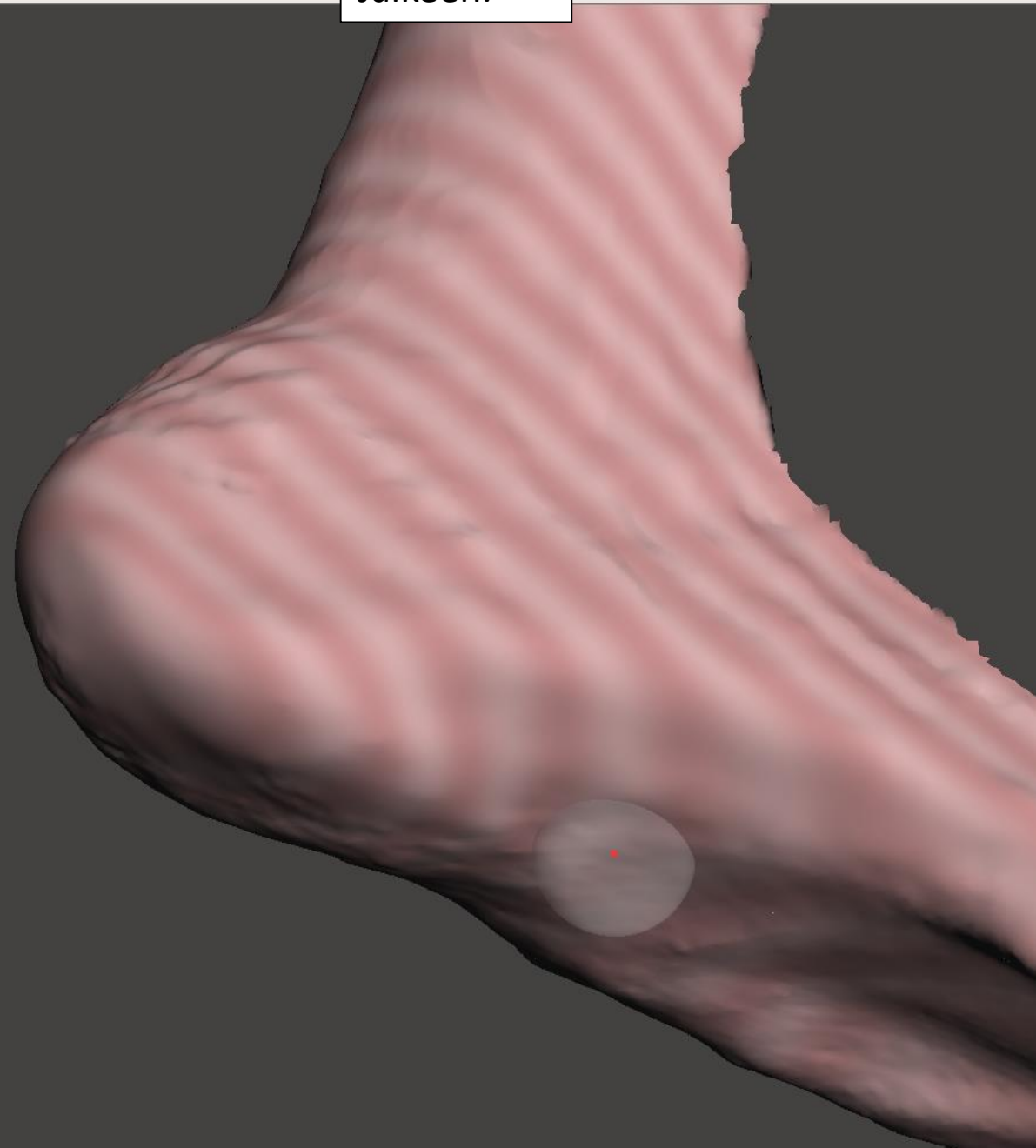


Sama alue Erase&Fill-toiminnon jälkeen.

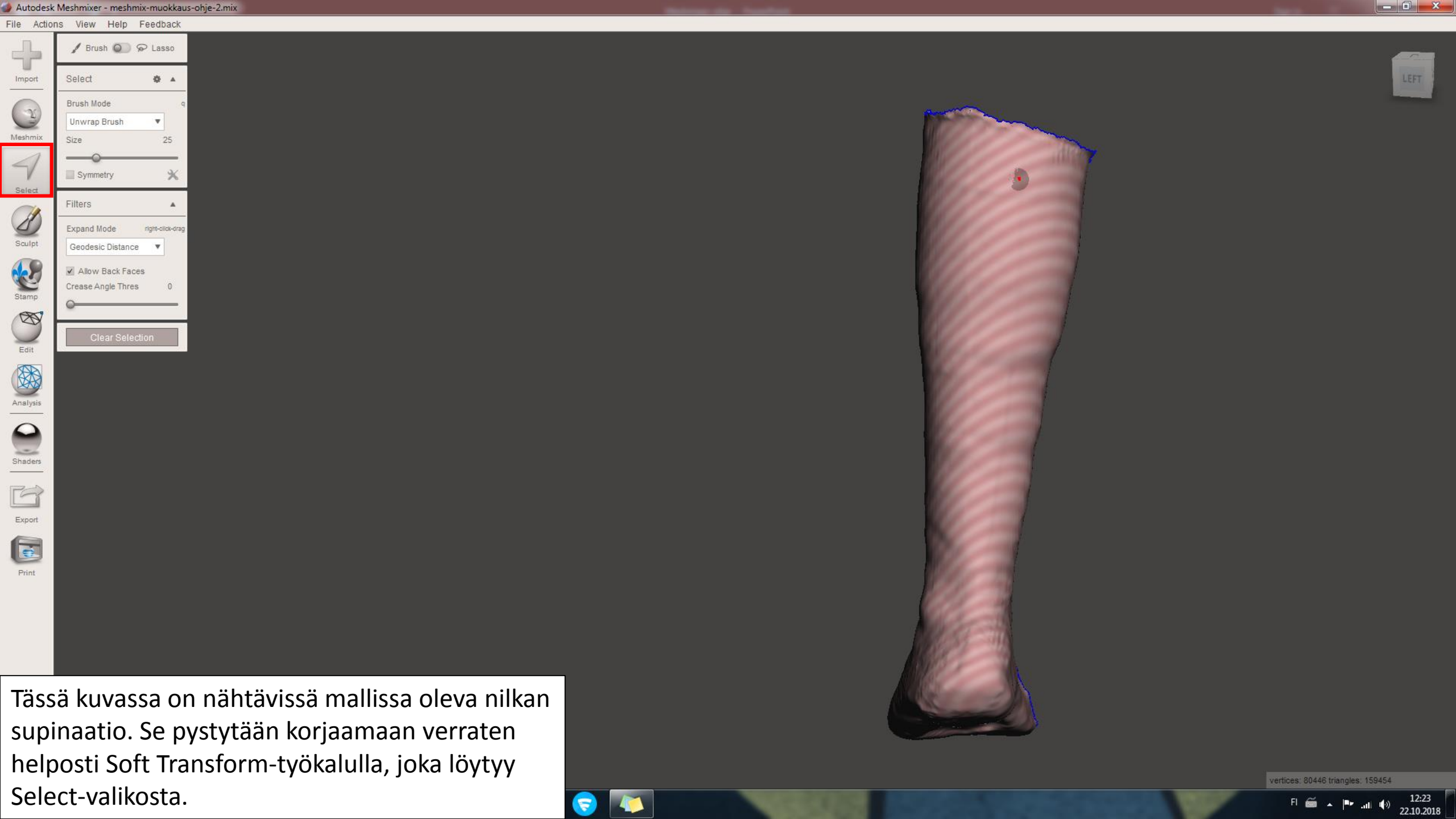
Ennen.



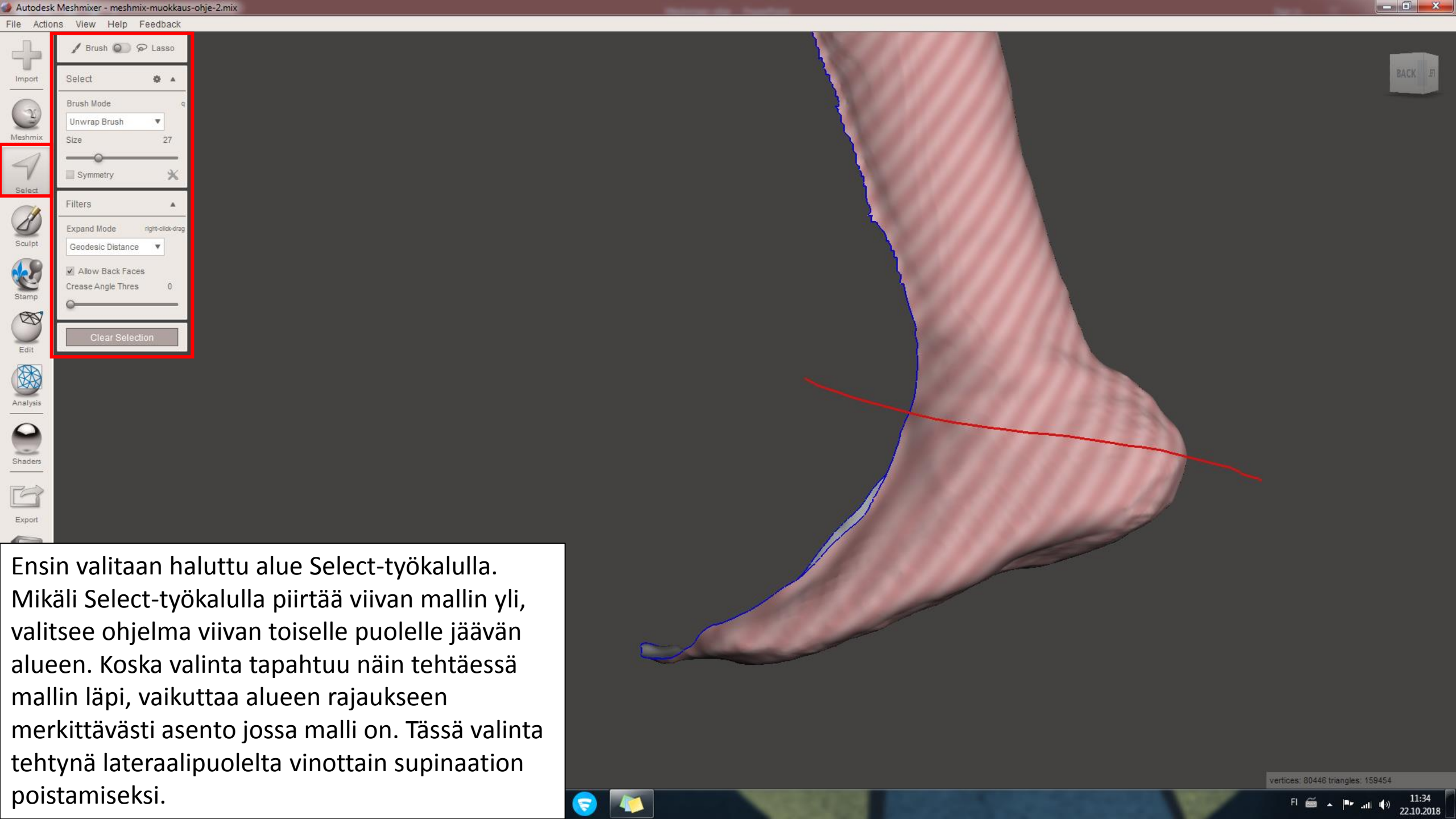
Jälkeen.



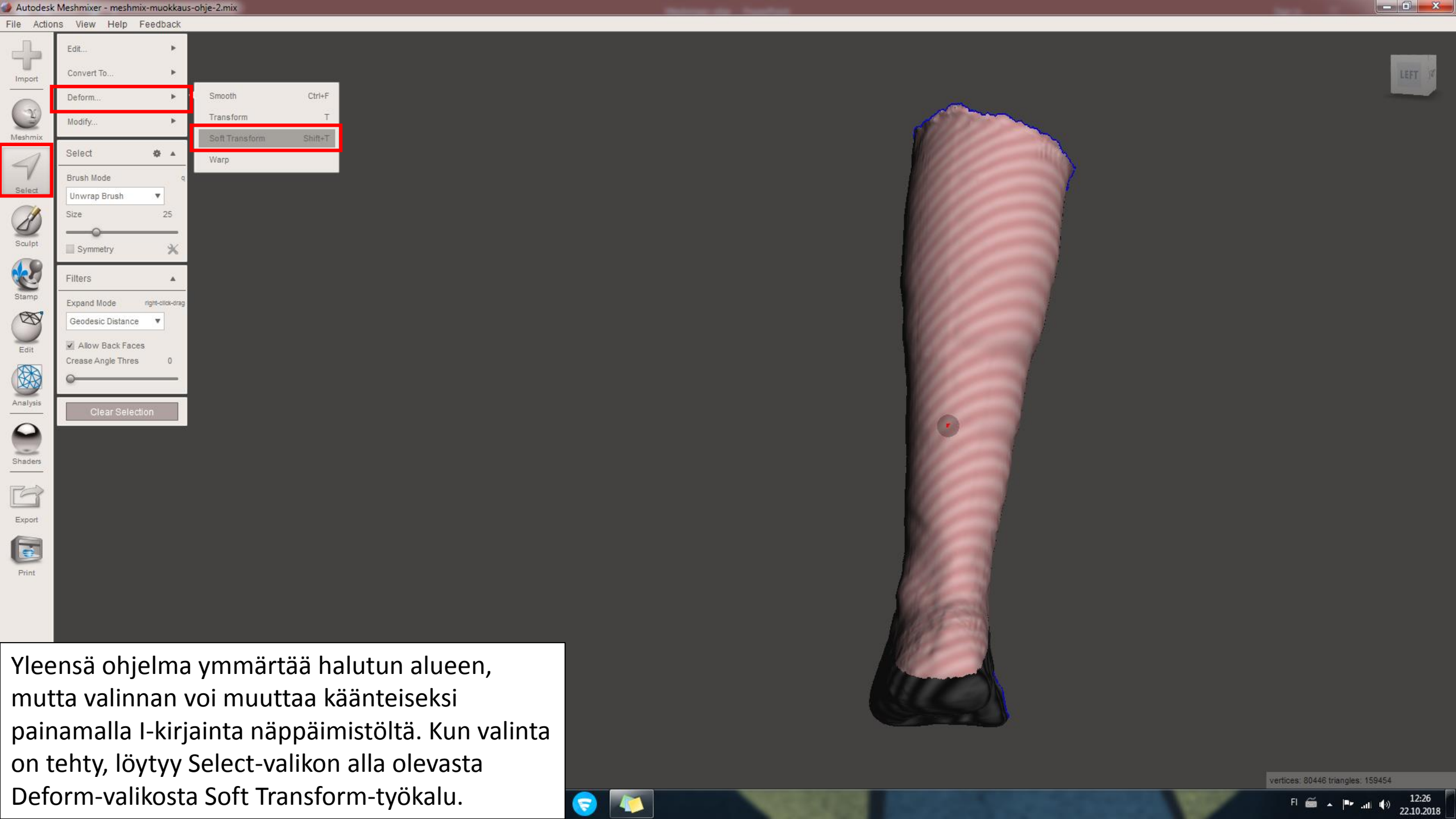
Pahimpia teräviä epätasaisuuksia on hyvä poistaa paikallisesti Sculpt-valikosta, Brushes-valikon alta löytyvällä ShrinkSmooth työkalulla. Työkalun voimakkuutta on hyvä säätää mieluisaksi työkalun lisäikkunasta löytyvillä liukukytkimillä.



Tässä kuvassa on nähtävissä mallissa oleva nilkan supinaatio. Se pystytään korjaamaan verraten helposti Soft Transform-työkalulla, joka löytyy Select-valikosta.



Ensin valitaan haluttu alue Select-työkalulla. Mikäli Select-työkalulla piirtää viivan mallin yli, valitsee ohjelma viivan toiselle puolelle jäävän alueen. Koska valinta tapahtuu näin tehtäessä mallin läpi, vaikuttaa alueen rajaukseen merkittävästi asento jossa malli on. Tässä valinta tehtynä lateraalipuolelta vinottain supinaation poistamiseksi.



Yleensä ohjelma ymmärtää halutun alueen, mutta valinnan voi muuttaa käänteiseksi painamalla I-kirjainta näppäimistöltä. Kun valinta on tehty, löytyy Select-valikon alla olevasta Deform-valikosta Soft Transform-työkalu.

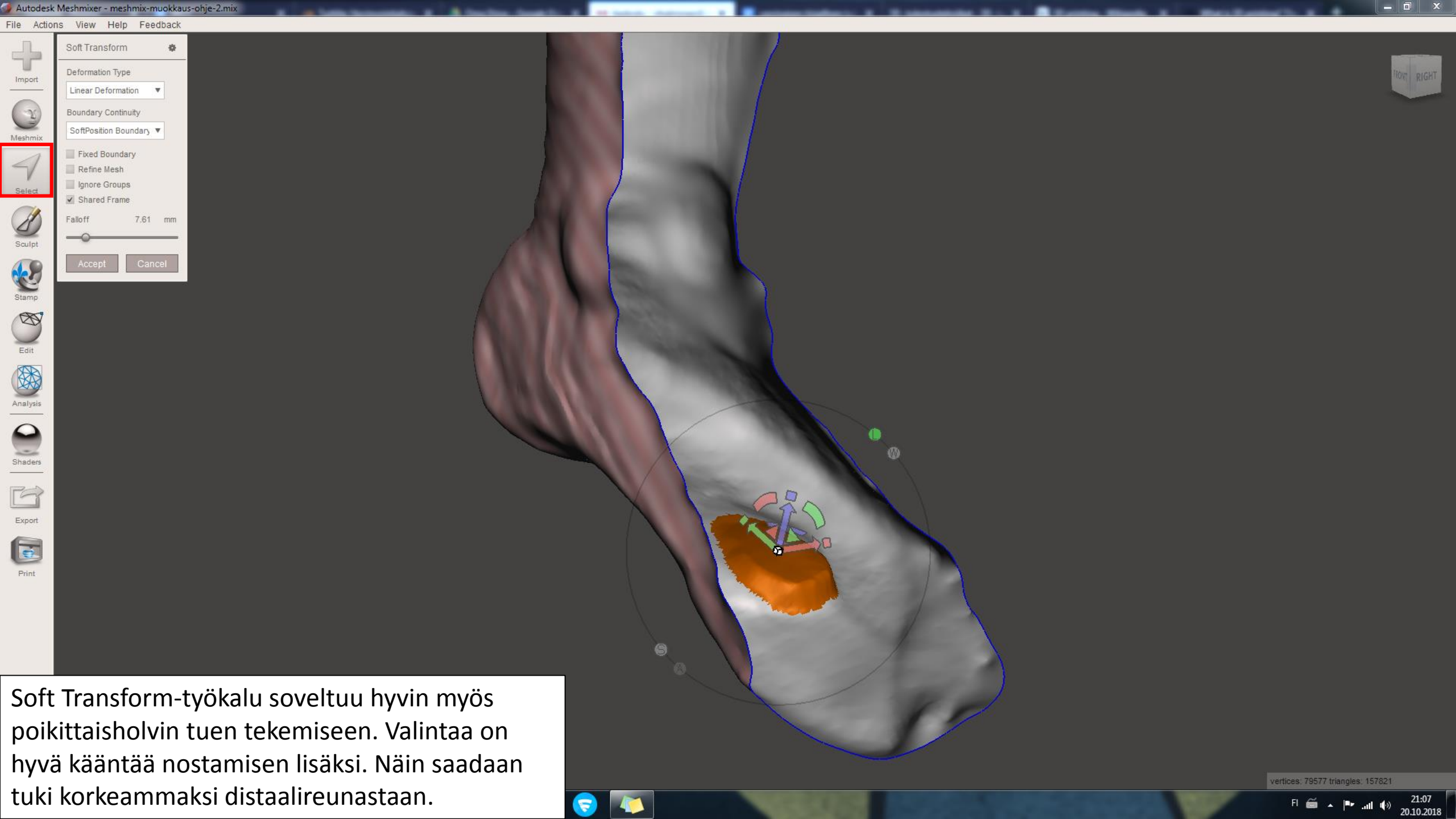


Falloff-liukukytkimellä voidaan vielä säätää vaikutusaluea.

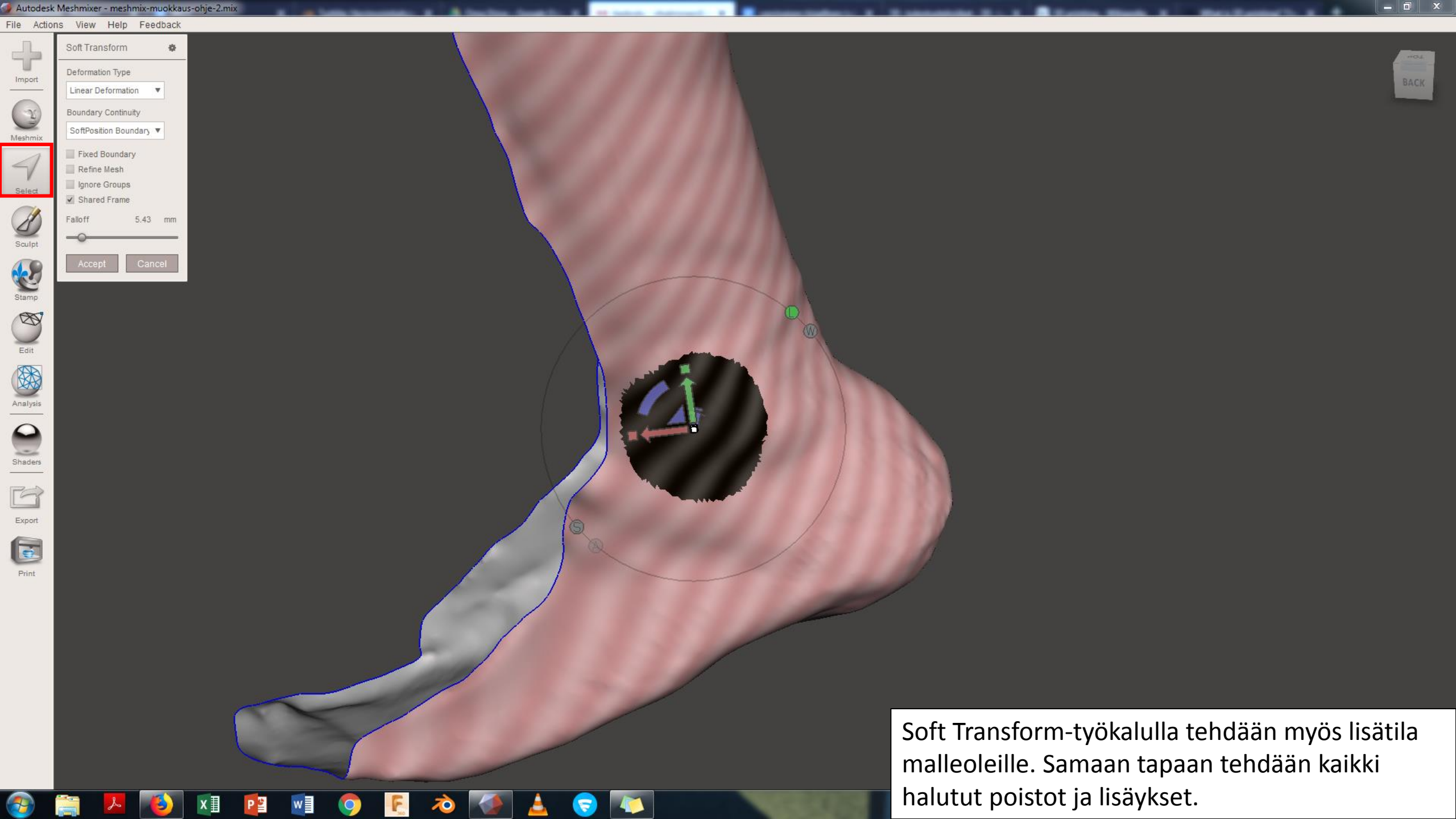
Local ja World

Soft Transform-työkalu mahdollistaa valinnan vääntämisen, venyttämisen, supistamisen ja skaalaamisen kolmen akselin suhteen. Kehällä olevat pallot L ja W tarkoittavat akselin orientaatiota avaruudessa. L on Local, joka asemmoi akselit suhteessa valintaan ja W on World, joka käyttää ohjelman kolmiulotteisen avaruuden vakio X, Y ja Z akseleita. Tässä valittuna L eli Local. Raahaamalla punaisen ja sinisen nuolen välissä olevaa kaarevaa, vihreää palikkaa kääntyy valittu alue suhteessa malliin.

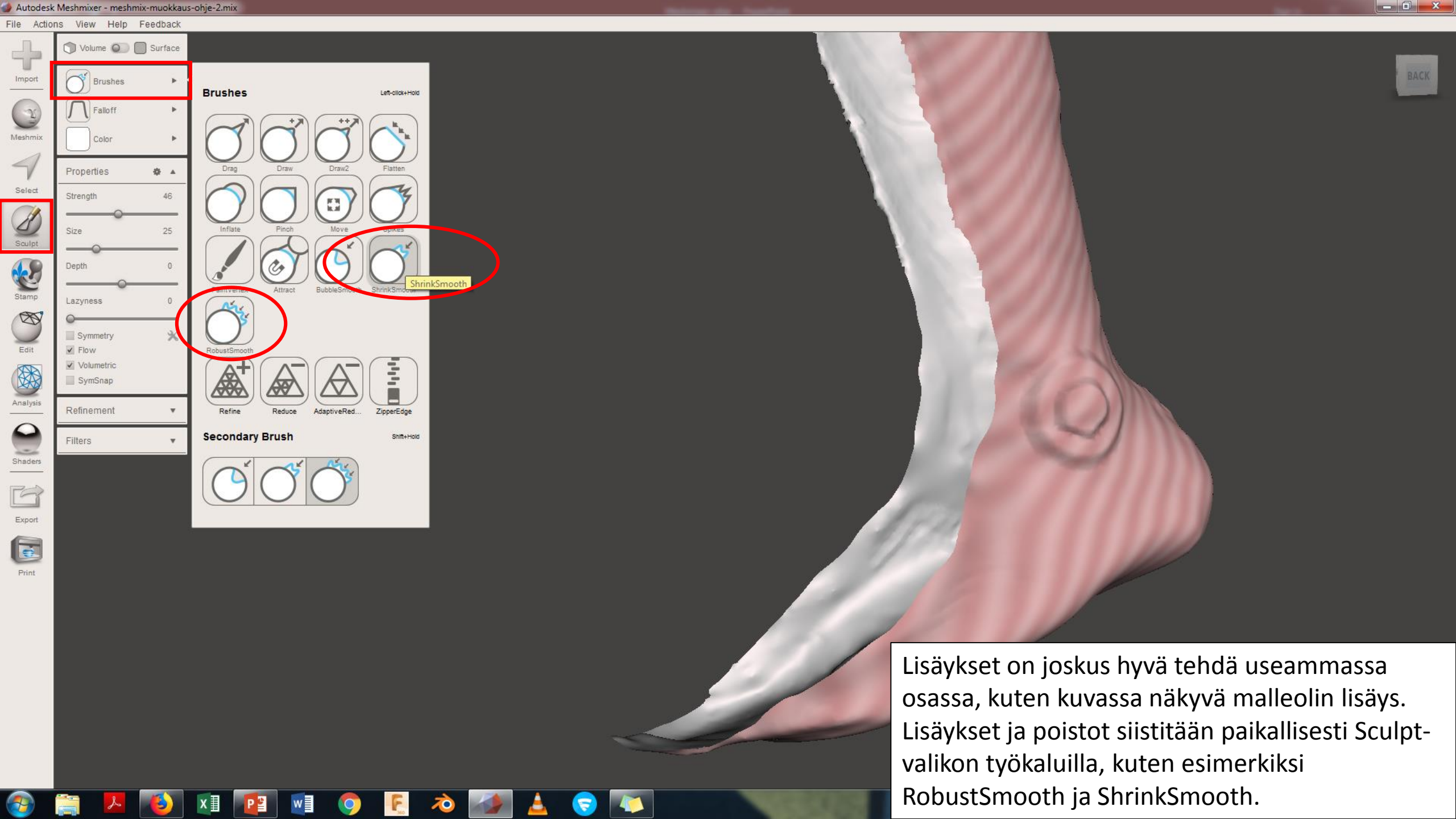
Samalla tavalla voidaan kääntää muutkin ilmenevät virheasennot mallista.



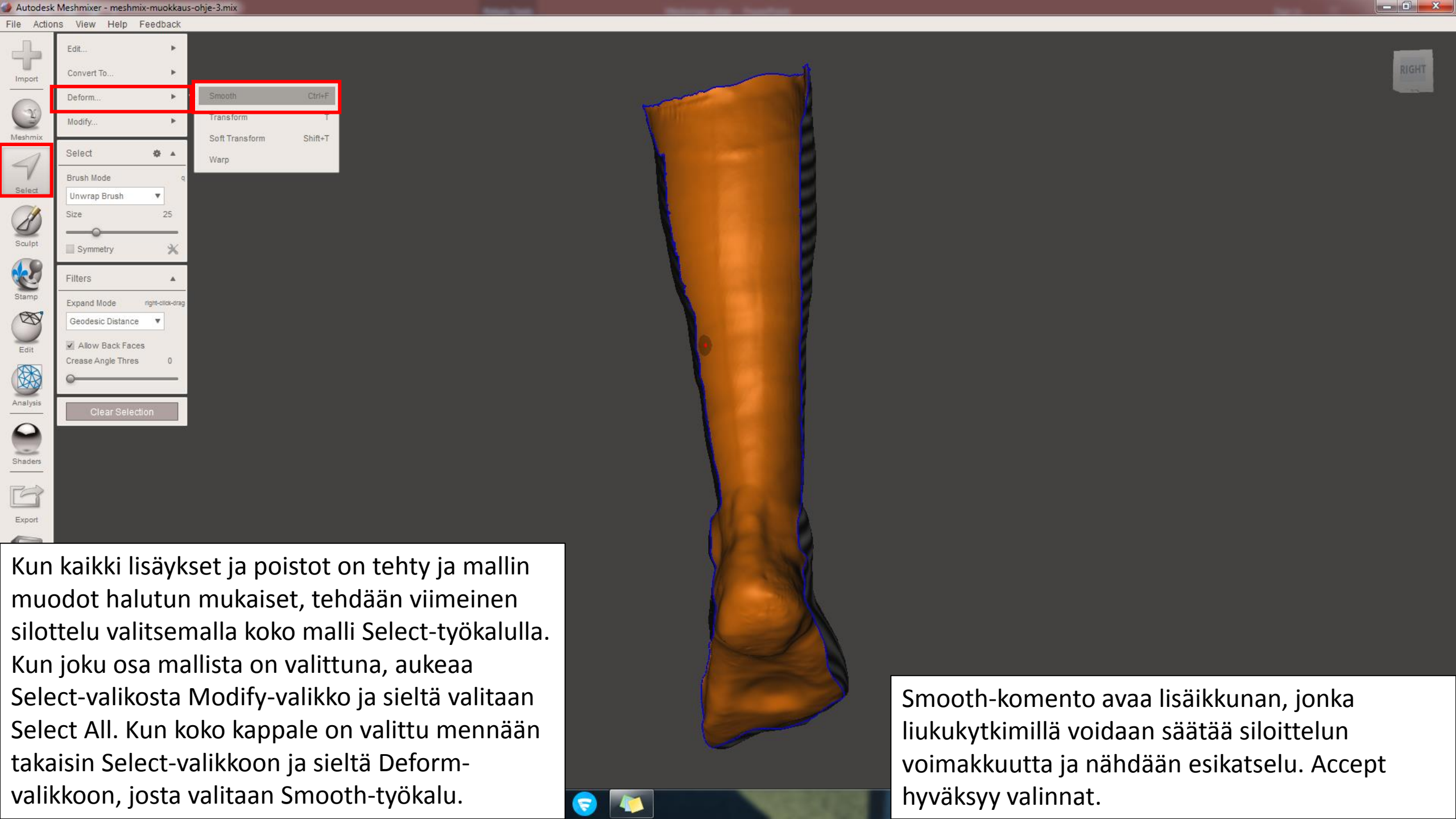
Soft Transform-työkalu soveltuu hyvin myös poikittaisholvin tuen tekemiseen. Valintaa on hyvä kääntää nostamisen lisäksi. Näin saadaan tuki korkeammaksi distaalireunastaan.



Soft Transform-työkalulla tehdään myös lisätila malleoleille. Samaan tapaan tehdään kaikki halutut poistot ja lisäykset.

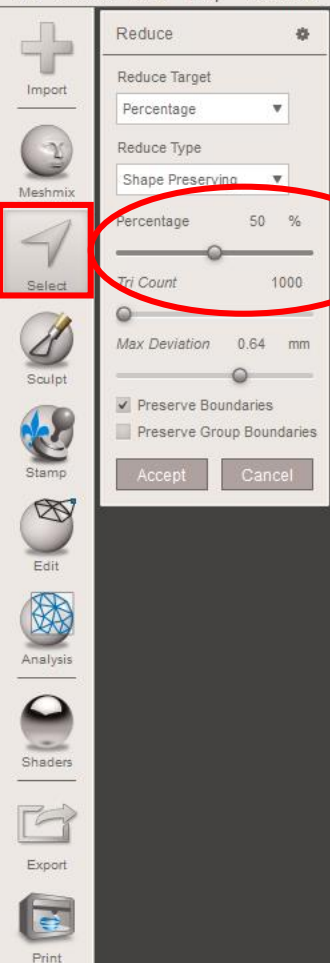


Lisäykset on joskus hyvä tehdä useammassa osassa, kuten kuvassa näkyvä malleolin lisäys. Lisäykset ja poistot siistitään paikallisesti Sculpt-valikon työkaluilla, kuten esimerkiksi RobustSmooth ja ShrinkSmooth.



Kun kaikki lisäykset ja poistot on tehty ja mallin muodot halutun mukaiset, tehdään viimeinen silottelu valitsemalla koko malli Select-työkalulla. Kun joku osa mallista on valittuna, aukeaa Select-valikosta Modify-valikko ja sieltä valitaan Select All. Kun koko kappale on valittu mennään takaisin Select-valikkoon ja sieltä Deform-valikkoon, josta valitaan Smooth-työkalu.

Smooth-komento avaa lisäikkunan, jonka liukukytkimillä voidaan säätää siloittelun voimakkuutta ja nähdään esikatselu. Accept hyväksyy valinnat.



Liukukytkimellä
säädetään tarkkuutta.



Kun koko kappale on vielä valittuna voidaan Select-valikosta löytyvästä Modify-valikosta käyttää Reduce-työkalua. Tällä saadaan vähennettyä tarkkuutta mallista, jolloin sitä on helpompi muokata 3D-mallinnusohjelmalla. Reduce pienentää tarkkuutta vähentämällä pisteiden ja niitä yhdistävien kolmioiden määrää Mesh-tiedostossa, joten on arvioitava minkälainen tarkkuus on riittävää, mutta ei liiallista.

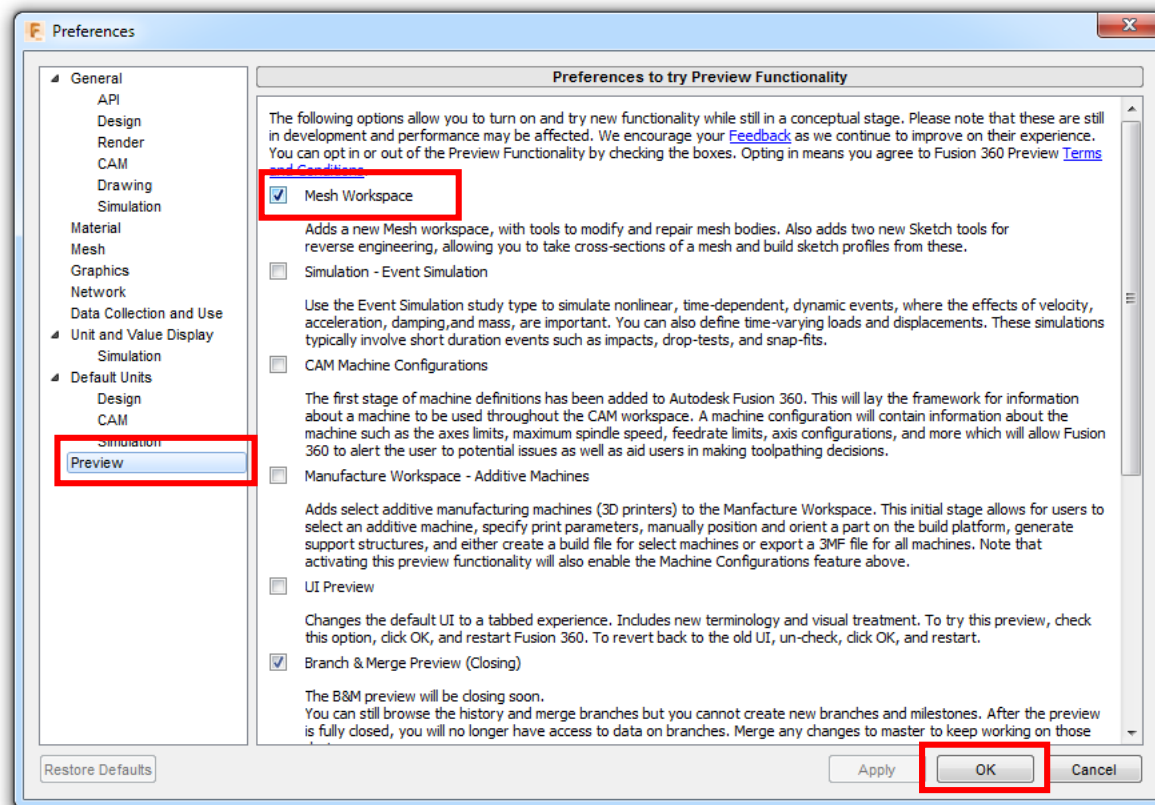
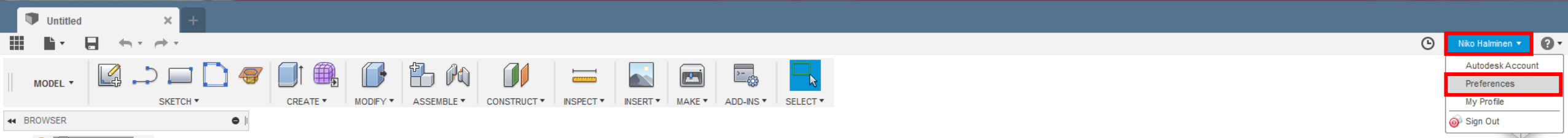


Siistimisen jälkeen on malli hyvä tallentaa Meshmixer Format (*.mix)-muodossa. Näin mallin muokkaukseen pääsee kätevästi takaisin, mikäli tarve vaatii. Tämän jälkeen malli tallennetaan vielä Export-toiminnolla STL muodossa. Malli on valmiina työstettäväksi 3D-mallinnusohjelmassa.

Fusion 360 ohje

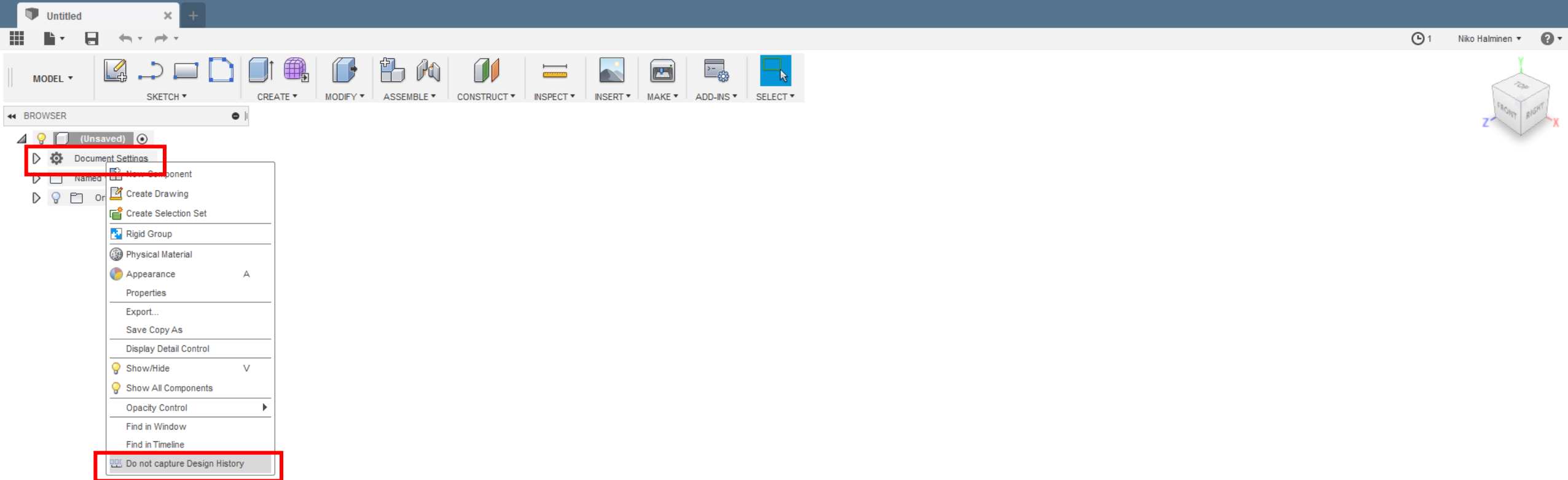
Ohje AFO:a varten skannatun mallin muokkaukseen Fusion 360-ohjelmalla

Niko Halminen & Joona Sarjanen



Jotta mesh-tiedostoja voidaan tuoda ja muokata fusion 360 ohjelmassa on ensin laitettava Preferences-valikosta Preview-välilehdeltä Mesh Workspace päälle. Tämä Mesh-tiedostojen muokkausominaisuus on vielä kehitteillä ja lisää toimintoja julkaistaan jatkuvasti.



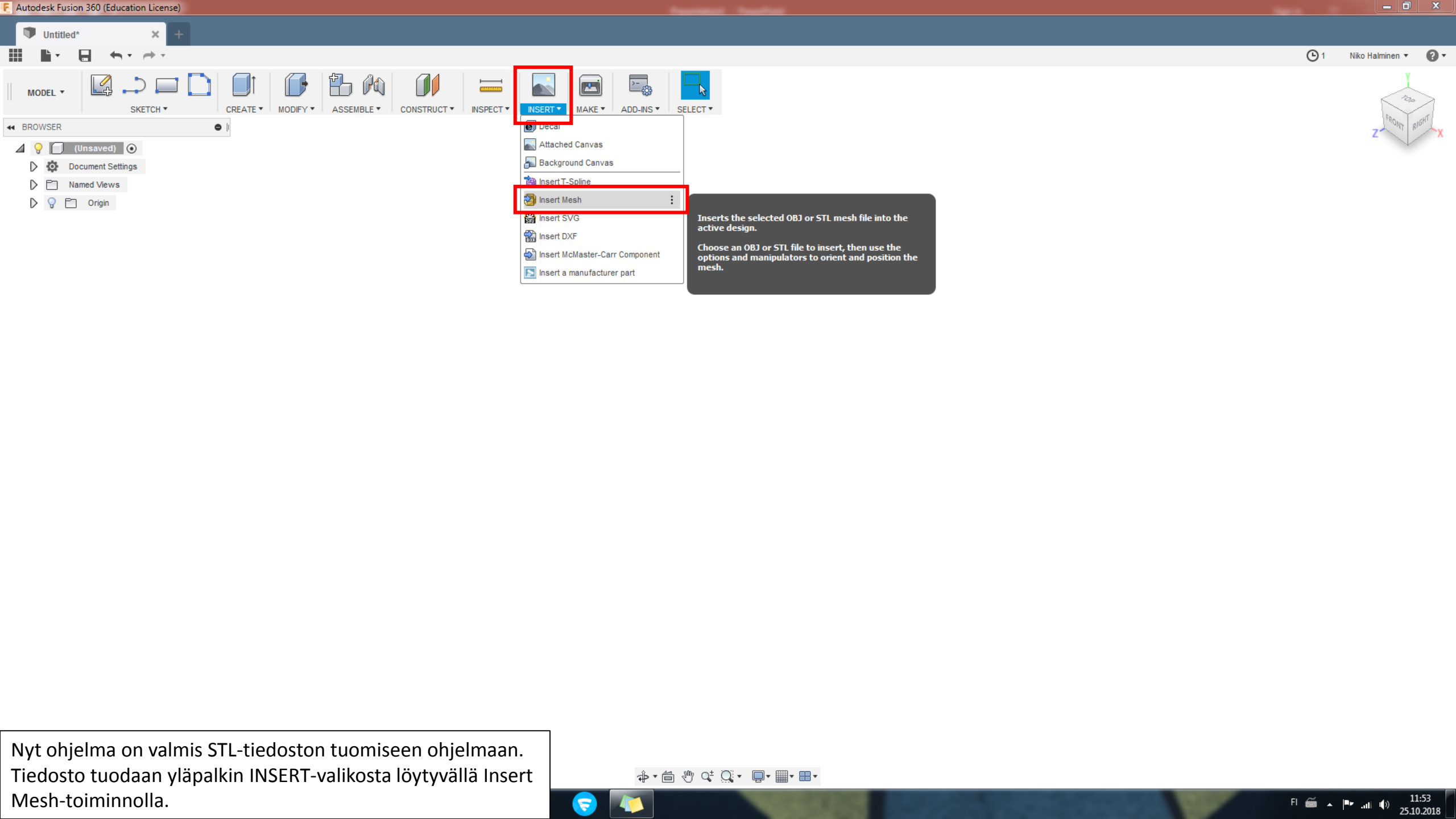


Vielä ennen kuin mesh-tiedostoja voidaan tuoda ohjelmaan, pitää Document Settings-valikosta hiiren **oikean** näppäimen painalluksella aukeavasta alavalikosta valita **Do not capture Design History**.

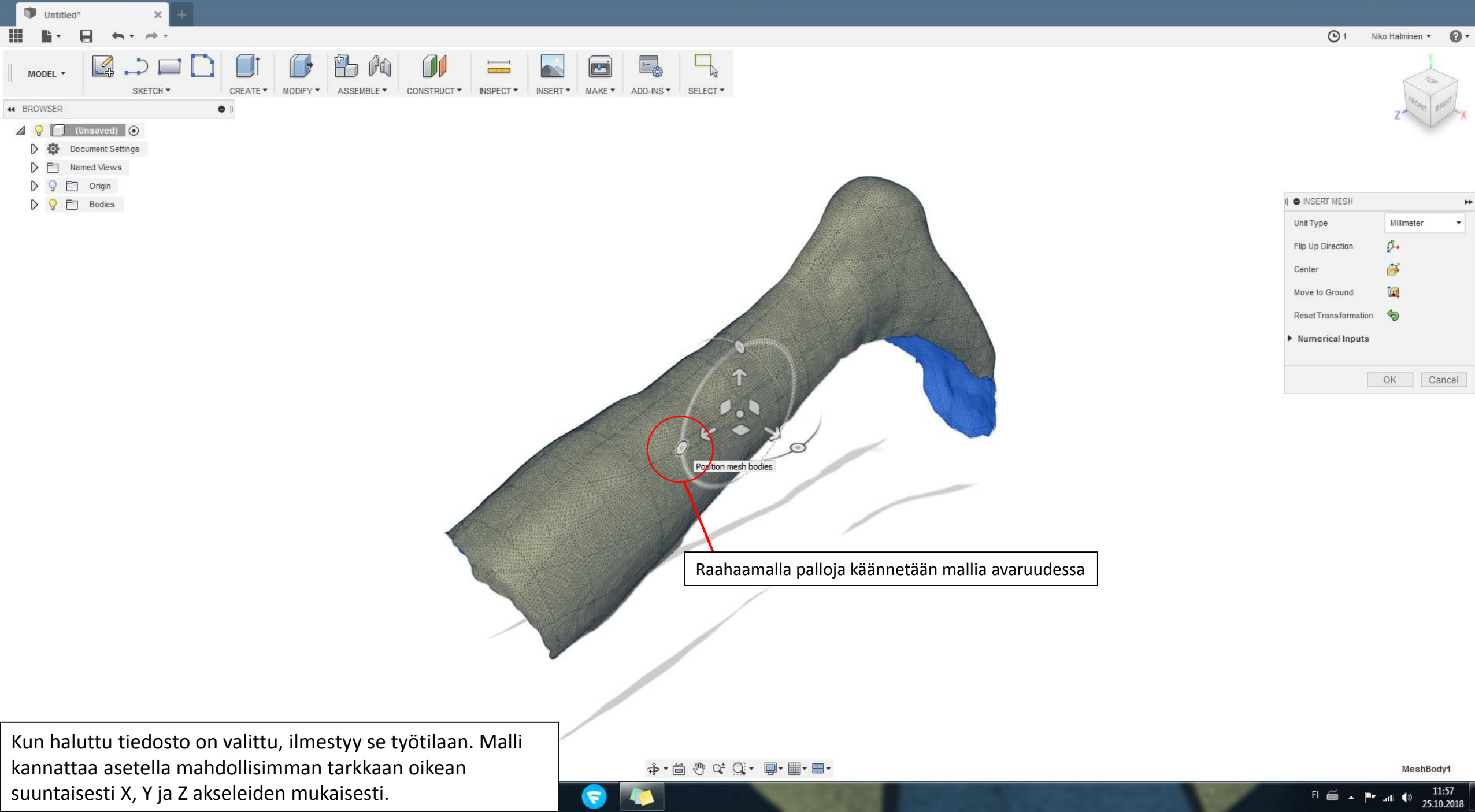


(Unsaved)

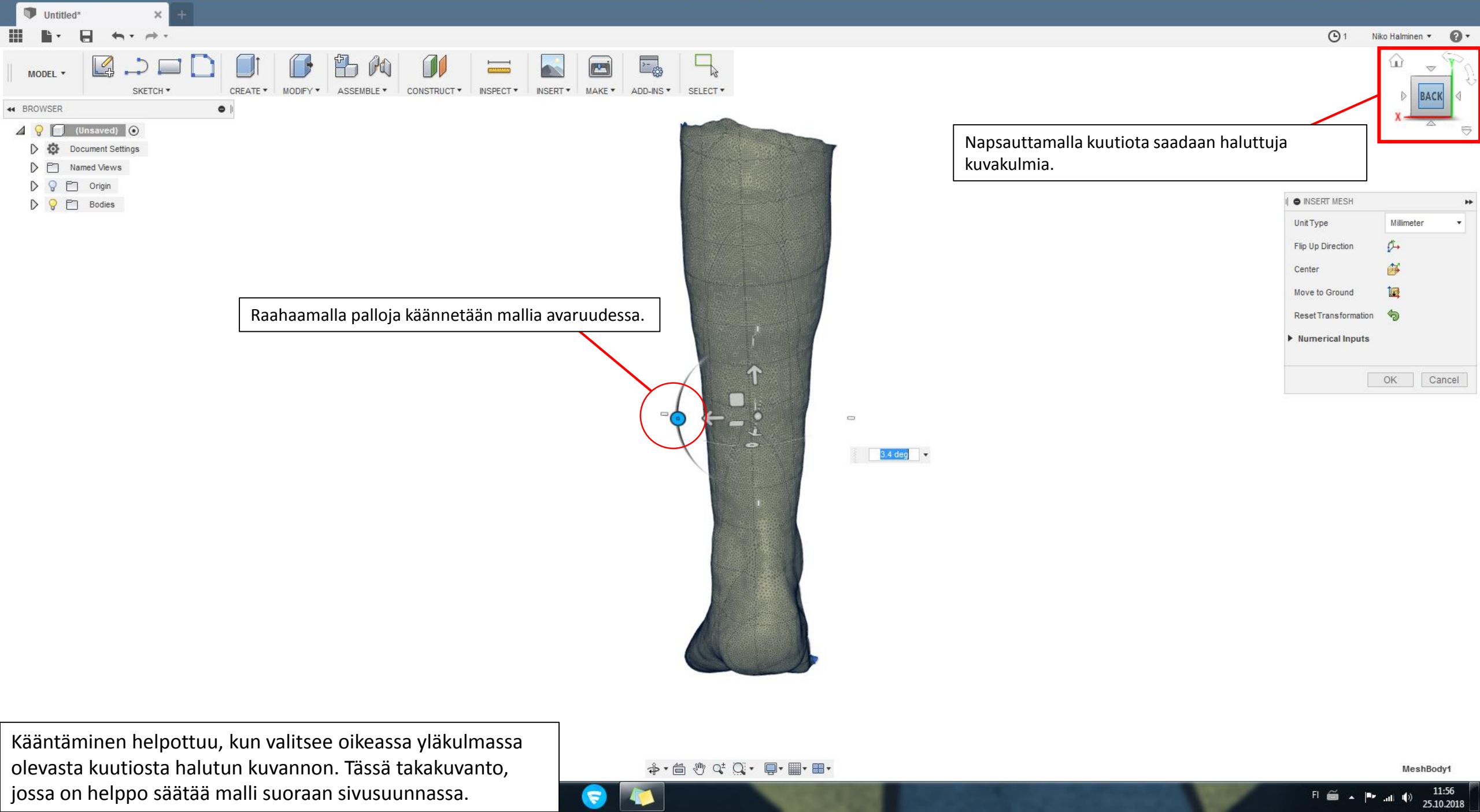




Nyt ohjelma on valmis STL-tiedoston tuomiseen ohjelmaan. Tiedosto tuodaan yläpalkin INSERT-valikosta löytyvällä Insert Mesh-toiminnolla.



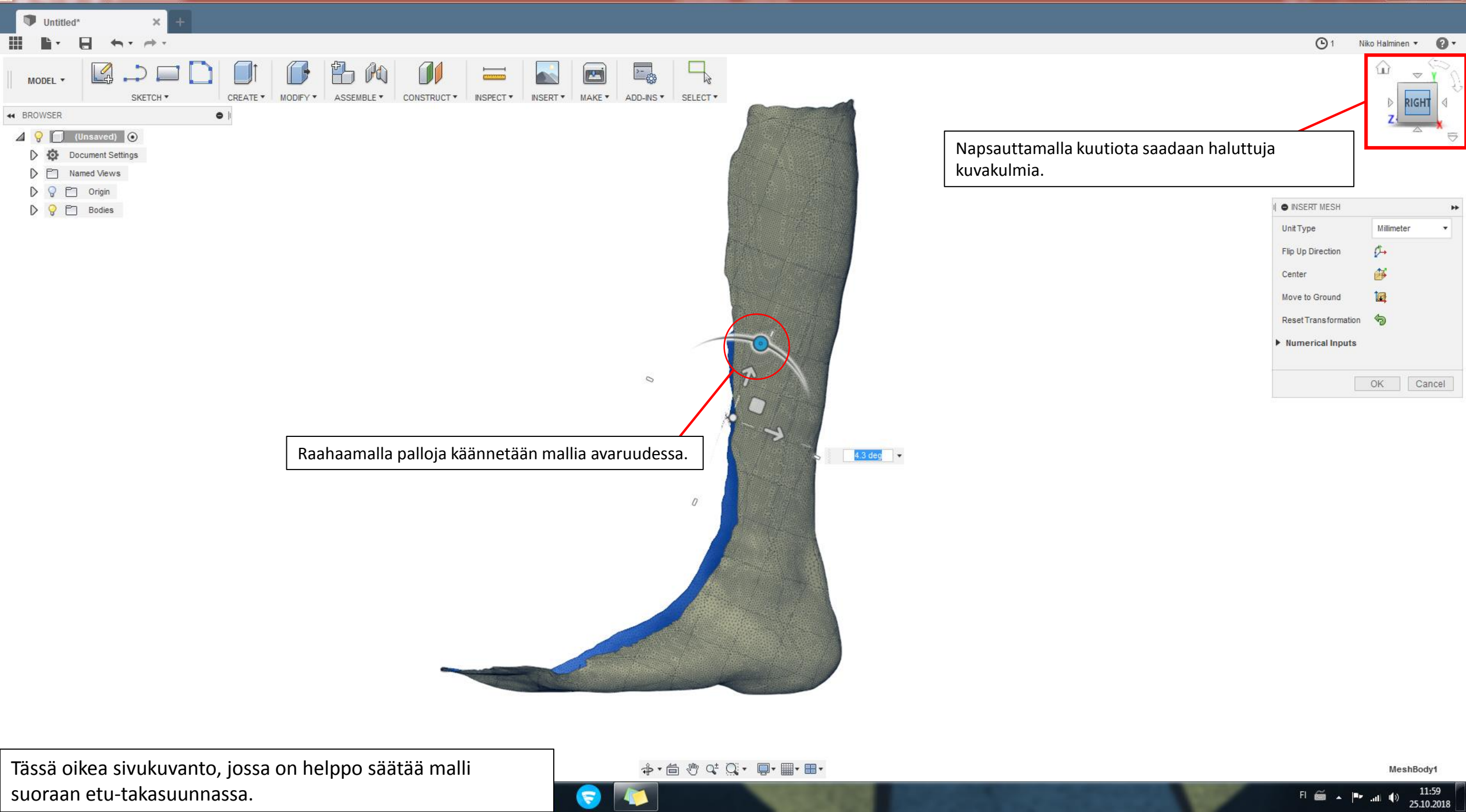
Kun haluttu tiedosto on valittu, ilmestyy se työtilaan. Malli kannattaa asettaa mahdollisimman tarkkaan oikean suuntaisesti X, Y ja Z akseleiden mukaisesti.

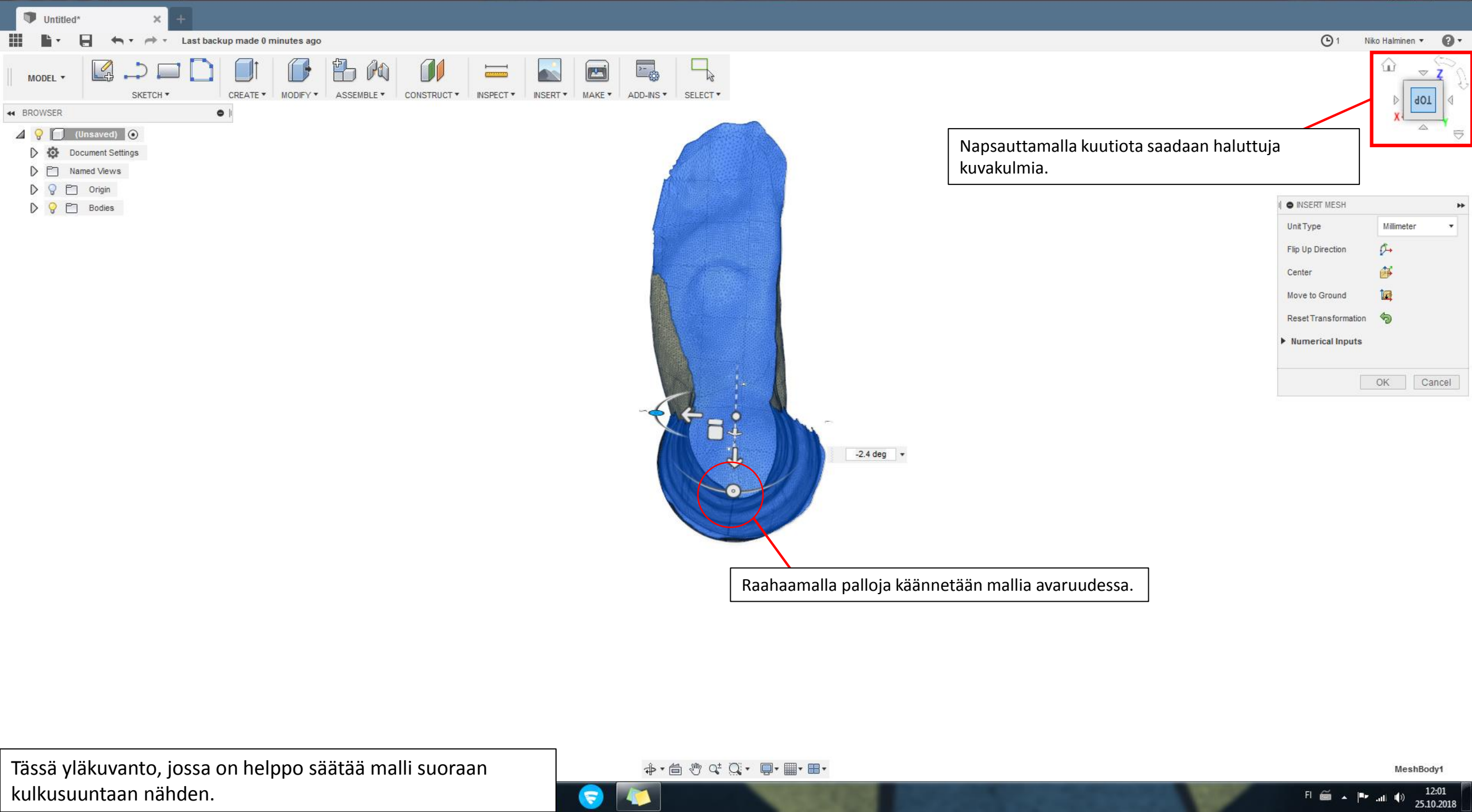


Raahaamalla palloja käännetään mallia avaruudessa.

Napsauttamalla kuutiota saadaan haluttuja kuvakulmia.

Kääntäminen helpottuu, kun valitsee oikeassa yläkulmassa olevasta kuutiosta halutun kuvannon. Tässä takakuvanto, jossa on helppo säätää malli suoraan sivusuunnassa.

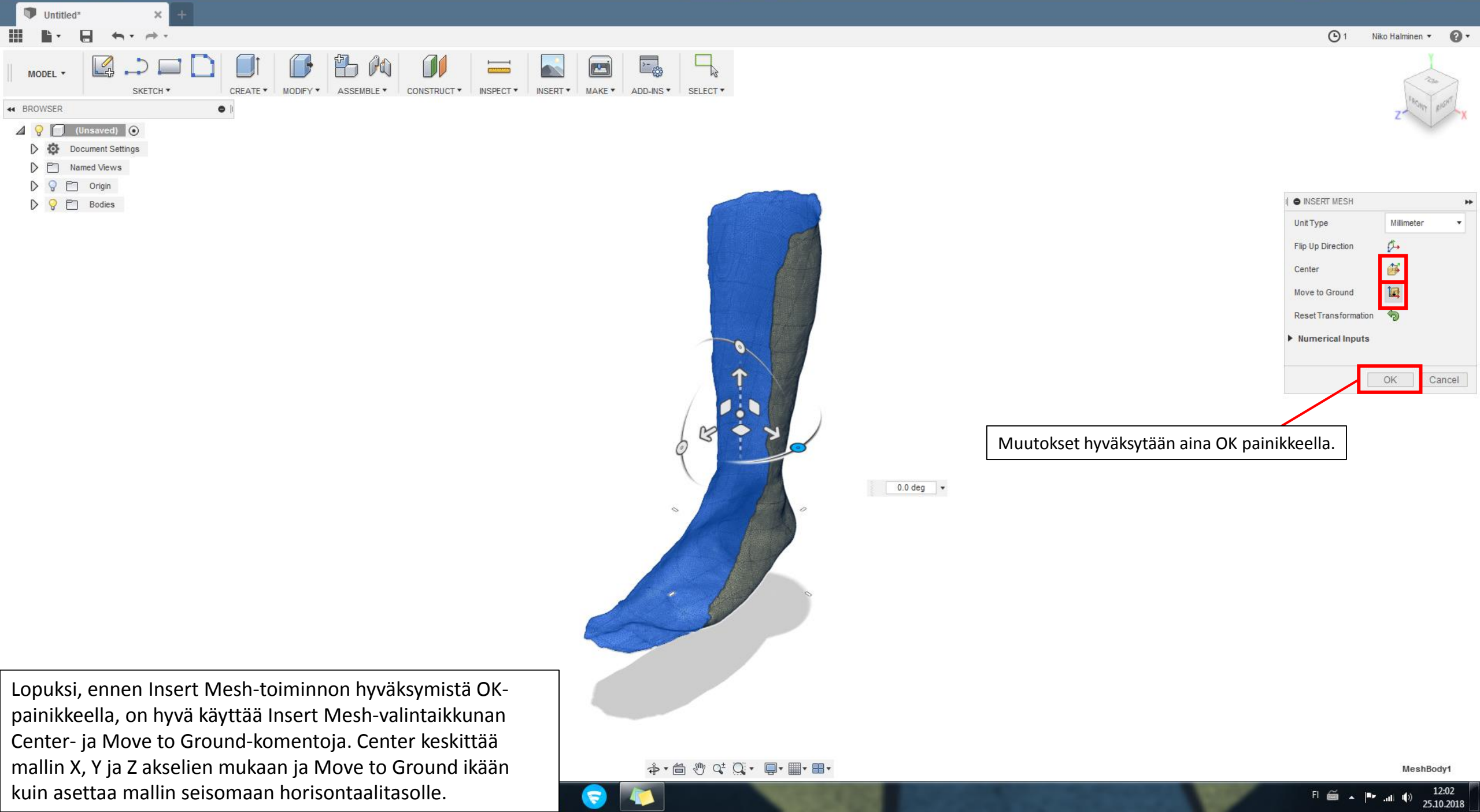


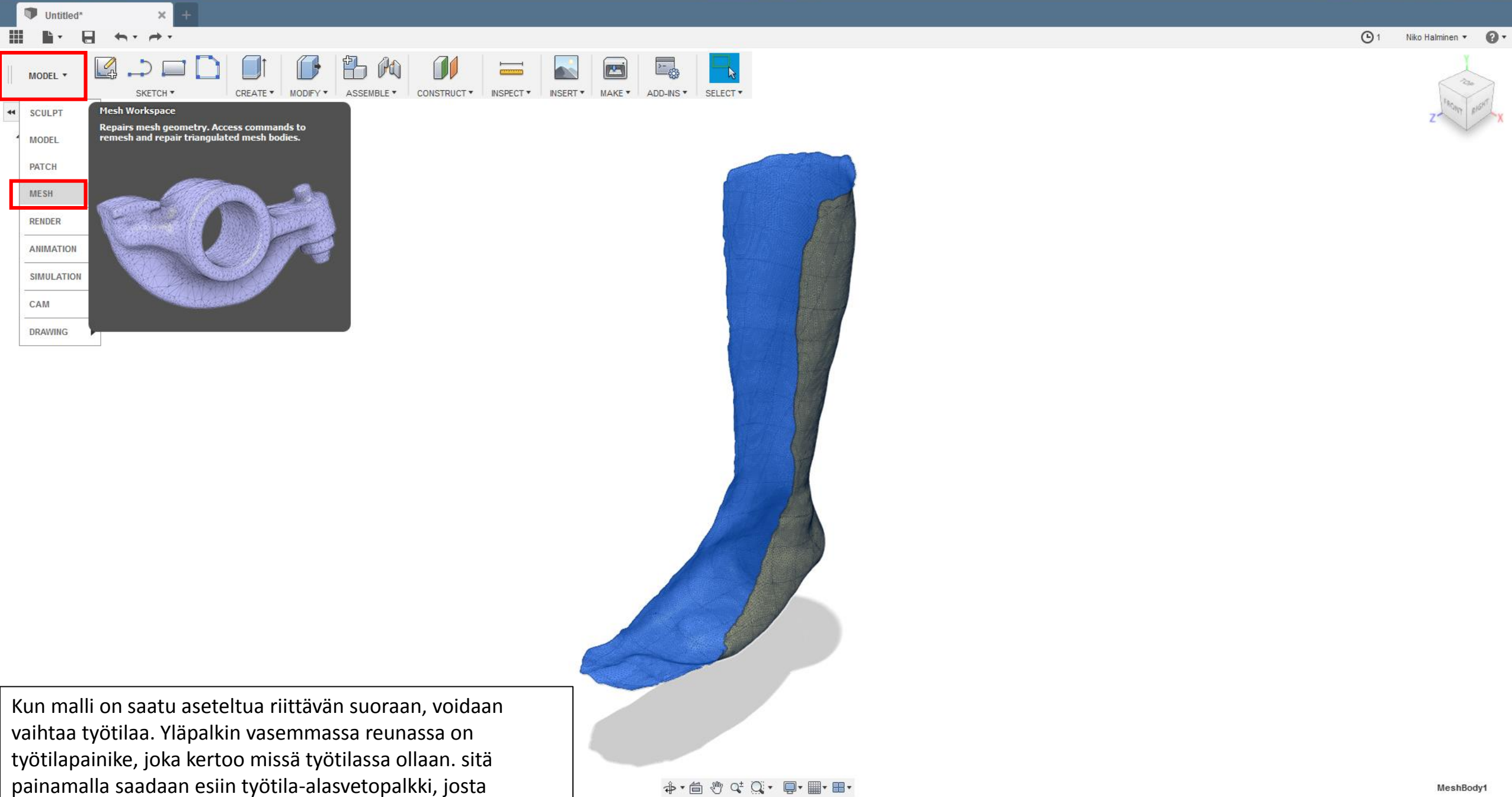


Napsauttamalla kuutiota saadaan haluttuja kuvakulmia.

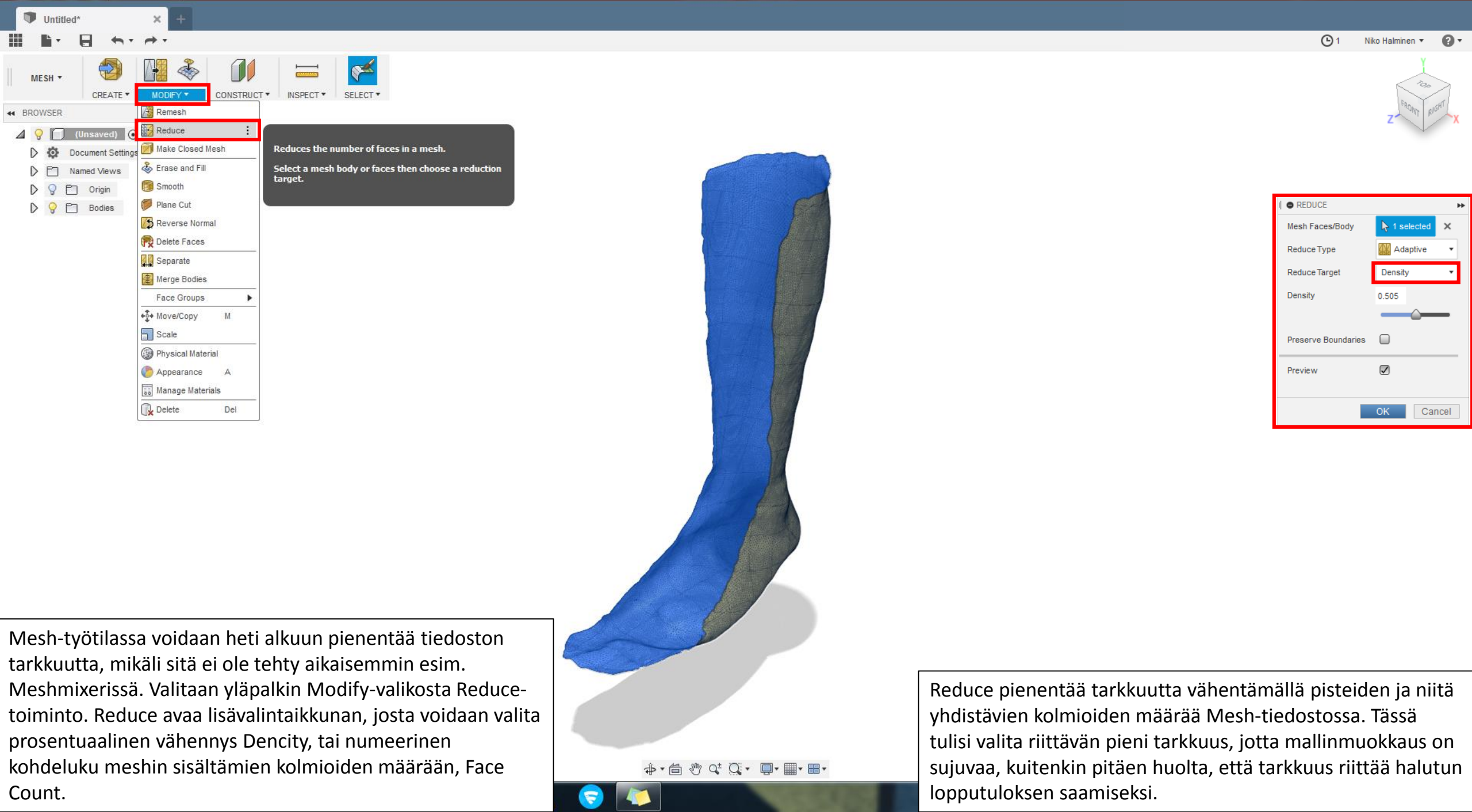
Raahaamalla palloja käännetään mallia avaruudessa.

Tässä yläkuvanto, jossa on helppo säätää malli suoraan kulkusuuntaan nähden.



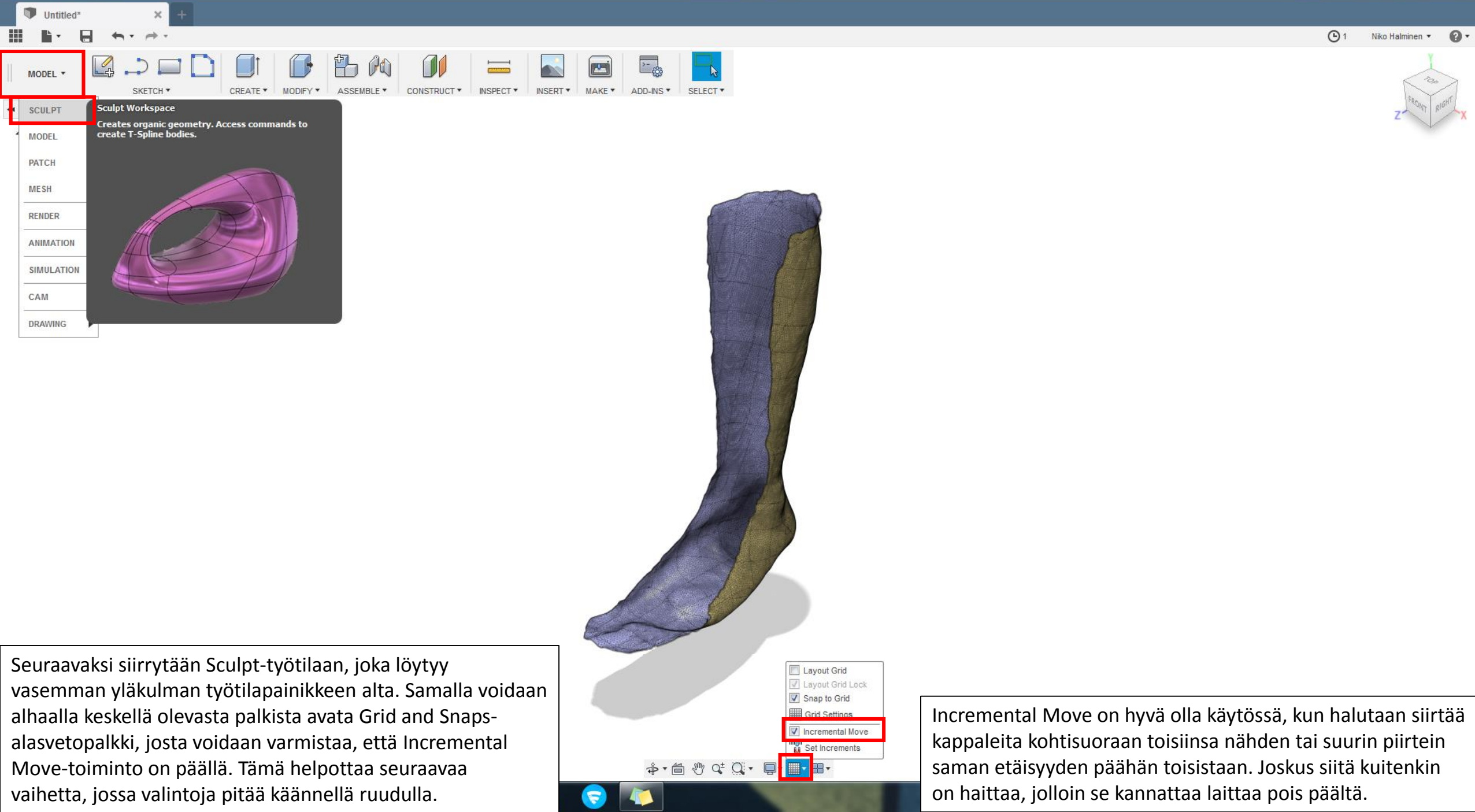


Kun malli on saatu aseteltua riittävän suoraan, voidaan vaihtaa työtilaa. Yläpalkin vasemmassa reunassa on työtilapainike, joka kertoo missä työtilassa ollaan. sitä painamalla saadaan esiin työtila-alasvetopalkki, josta valitaan MESH-työtila.



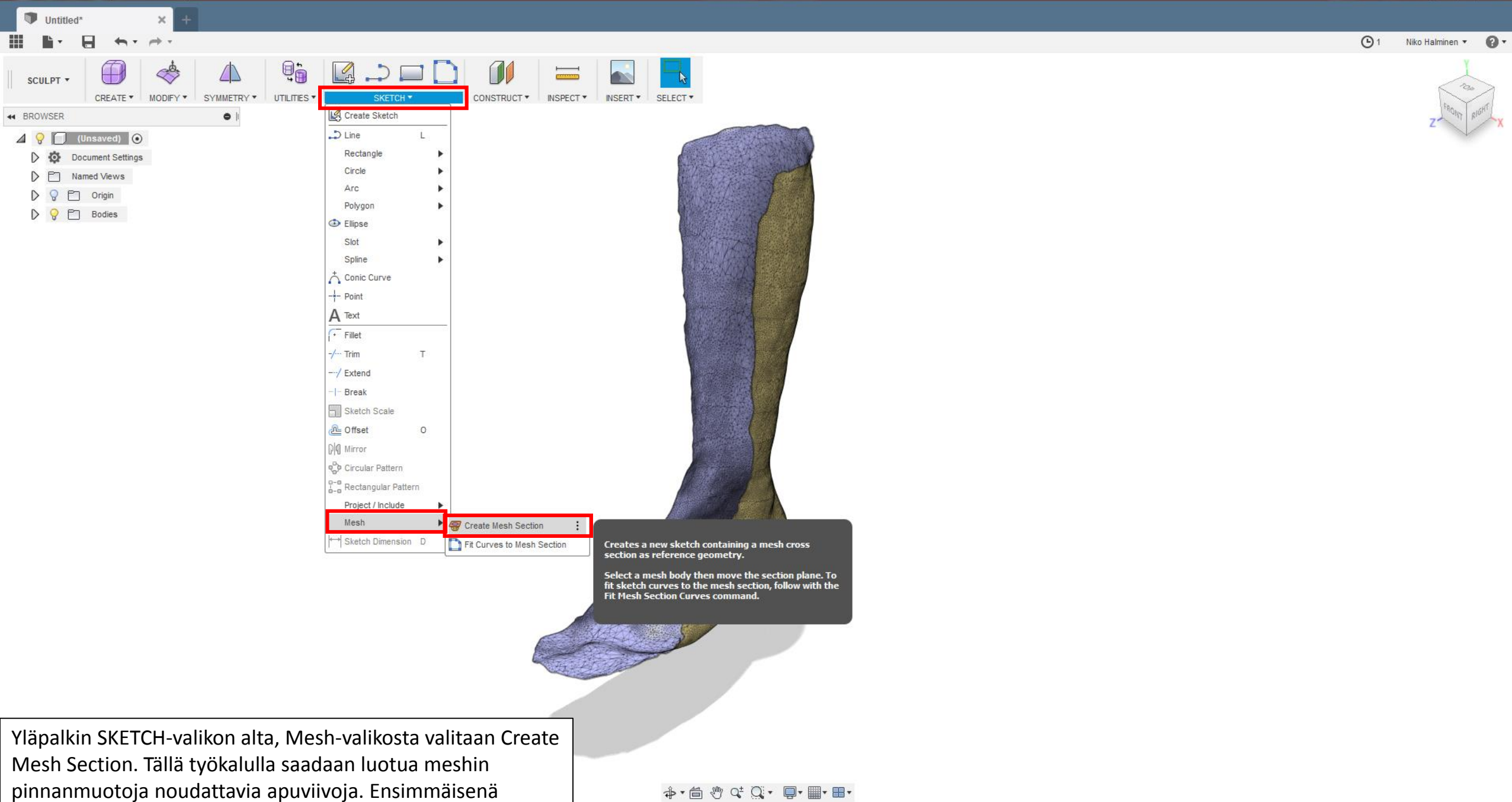
Mesh-työtilassa voidaan heti alkuun pienentää tiedoston tarkkuutta, mikäli sitä ei ole tehty aikaisemmin esim. Meshmixerissä. Valitaan yläpalkin Modify-valikosta Reduce-toiminto. Reduce avaa lisävalintaikkunan, josta voidaan valita prosentuaalinen vähennys Dencity, tai numeerinen kohdeluku meshin sisältämien kolmioiden määrään, Face Count.

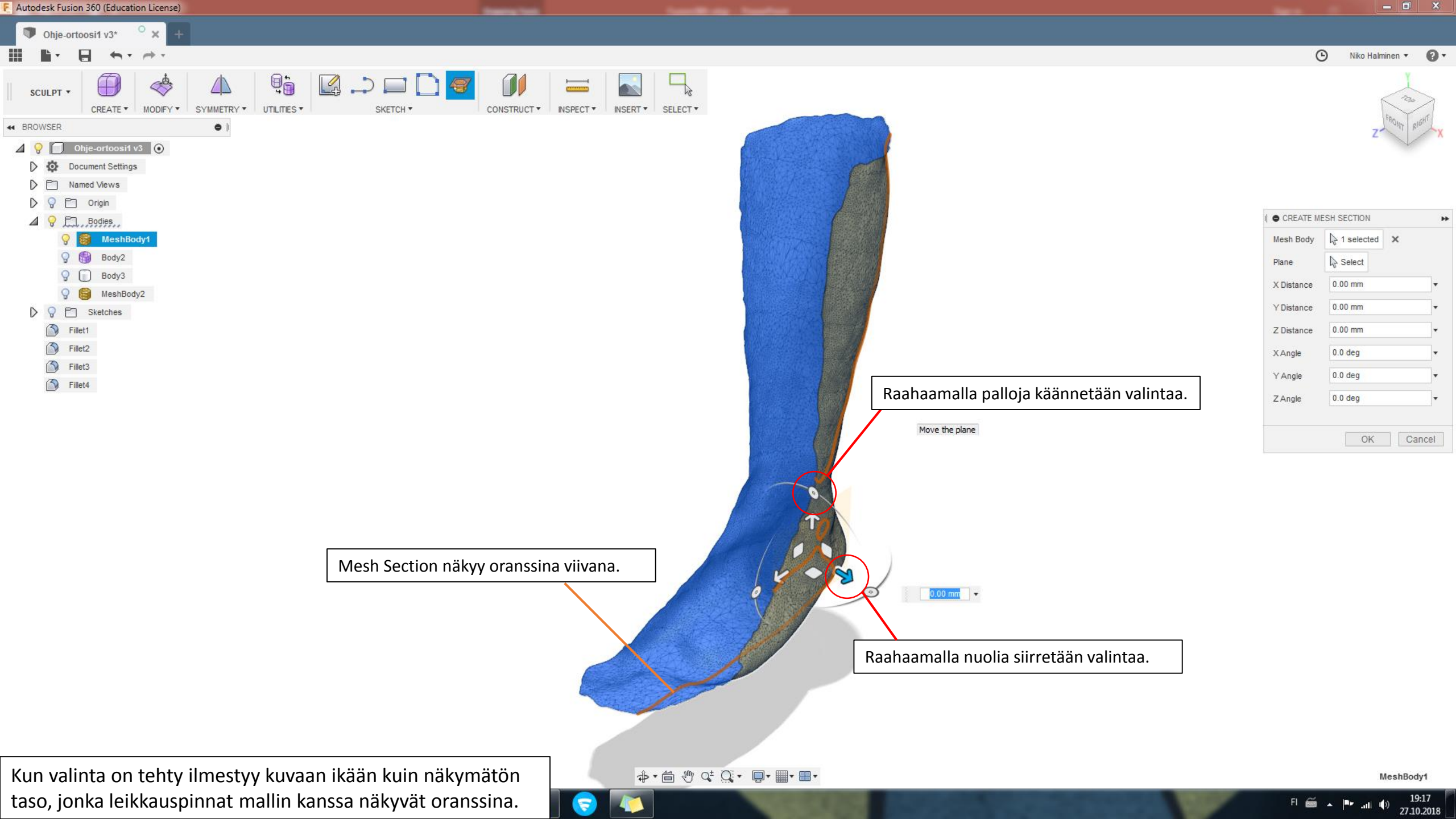
Reduce pienentää tarkkuutta vähentämällä pisteiden ja niitä yhdistävien kolmioiden määrää Mesh-tiedostossa. Tässä tulisi valita riittävän pieni tarkkuus, jotta mallinmuokkaus on sujuvaa, kuitenkin pitäen huolta, että tarkkuus riittää halutun lopputuloksen saamiseksi.

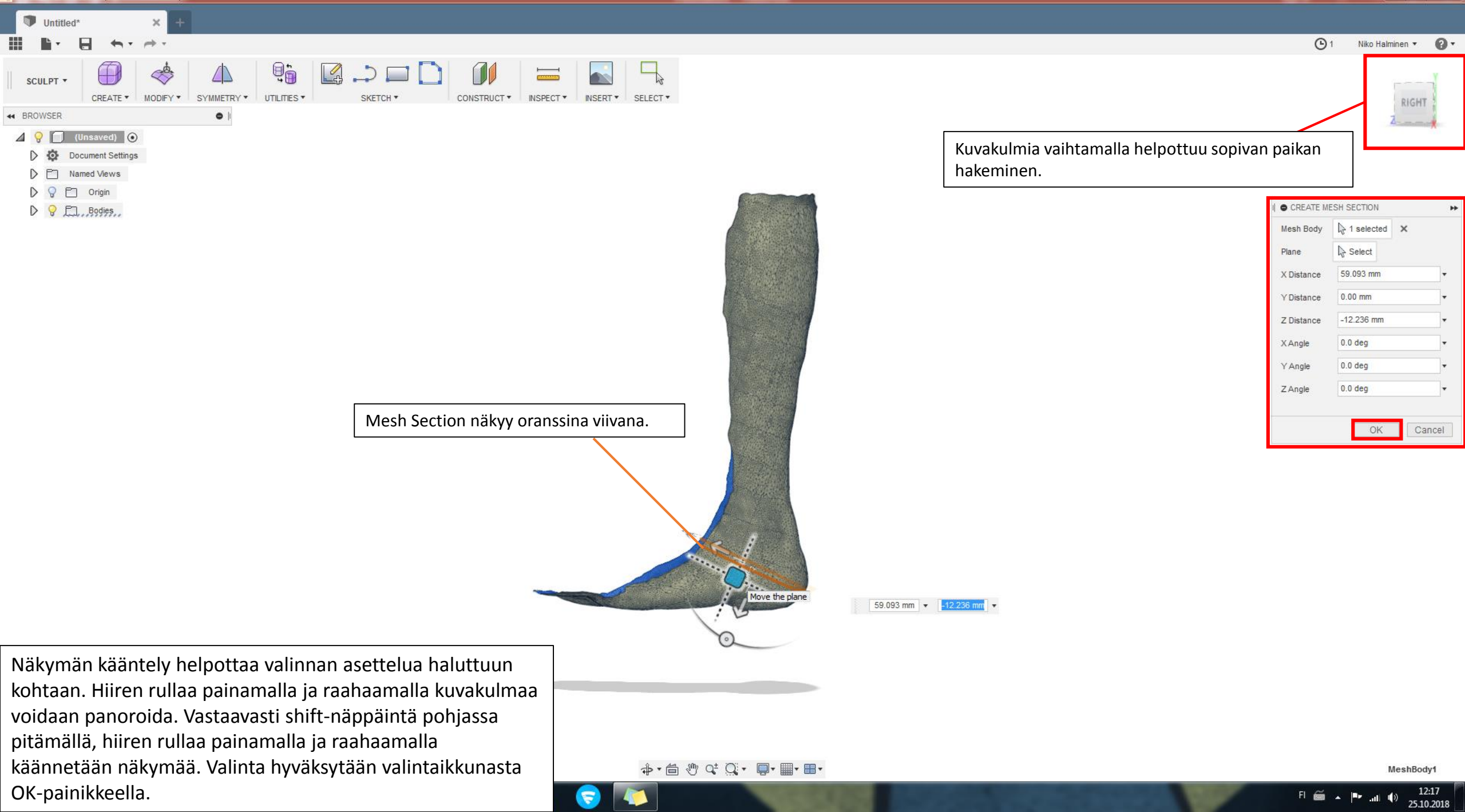


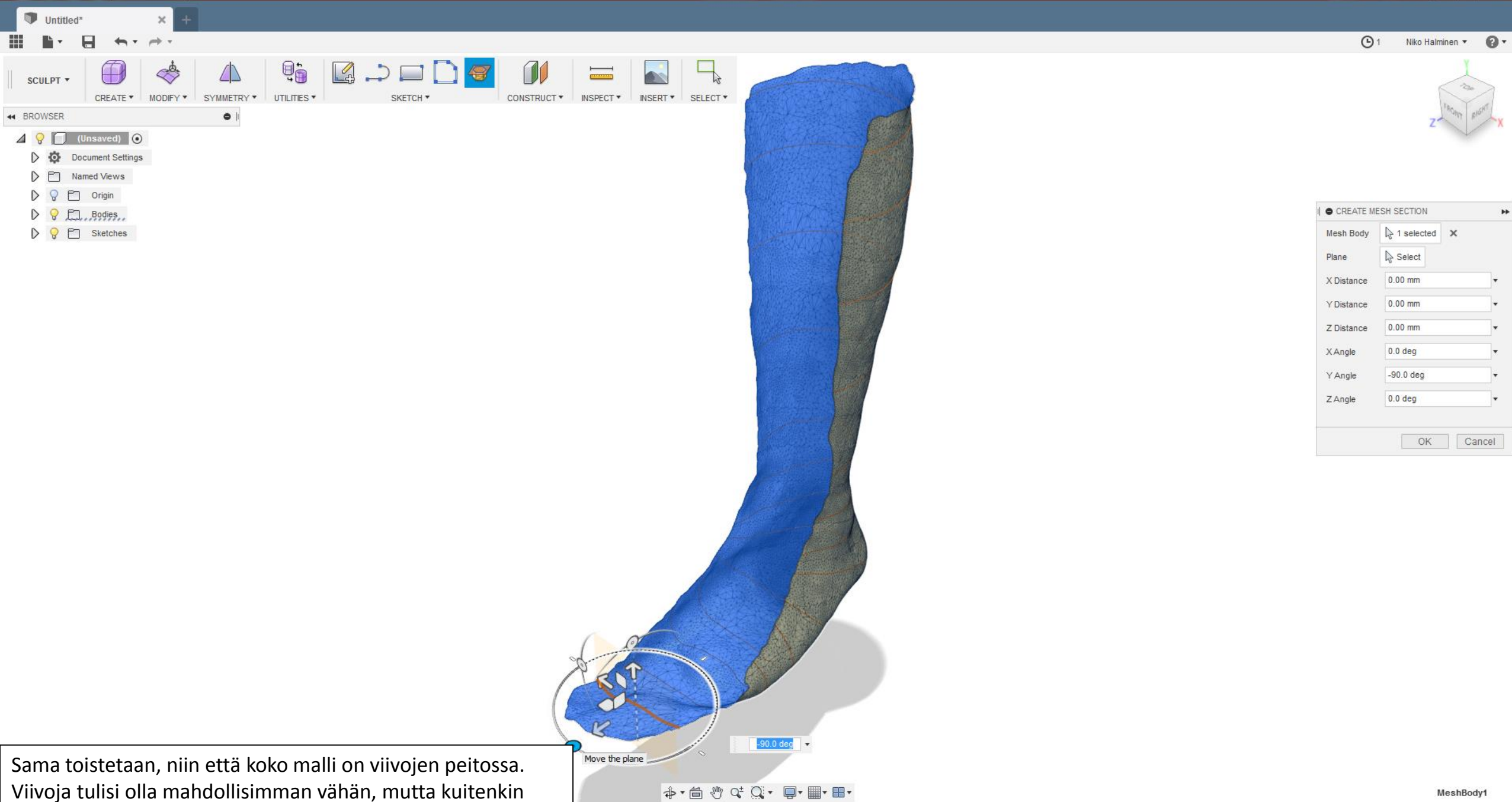
Seuraavaksi siirrytään Sculpt-työtilaan, joka löytyy vasemman yläkulman työtilapainikkeen alta. Samalla voidaan alhaalla keskellä olevasta palkista avata Grid and Snaps-alasvetopalkki, josta voidaan varmistaa, että Incremental Move-toiminto on päällä. Tämä helpottaa seuraavaa vaihetta, jossa valintoja pitää käänneellä ruudulla.

Incremental Move on hyvä olla käytössä, kun halutaan siirtää kappaleita kohtisuoraan toisiinsa nähden tai suurin piirtein saman etäisyyden päähän toisistaan. Joskus siitä kuitenkin on haittaa, jolloin se kannattaa laittaa pois päältä.

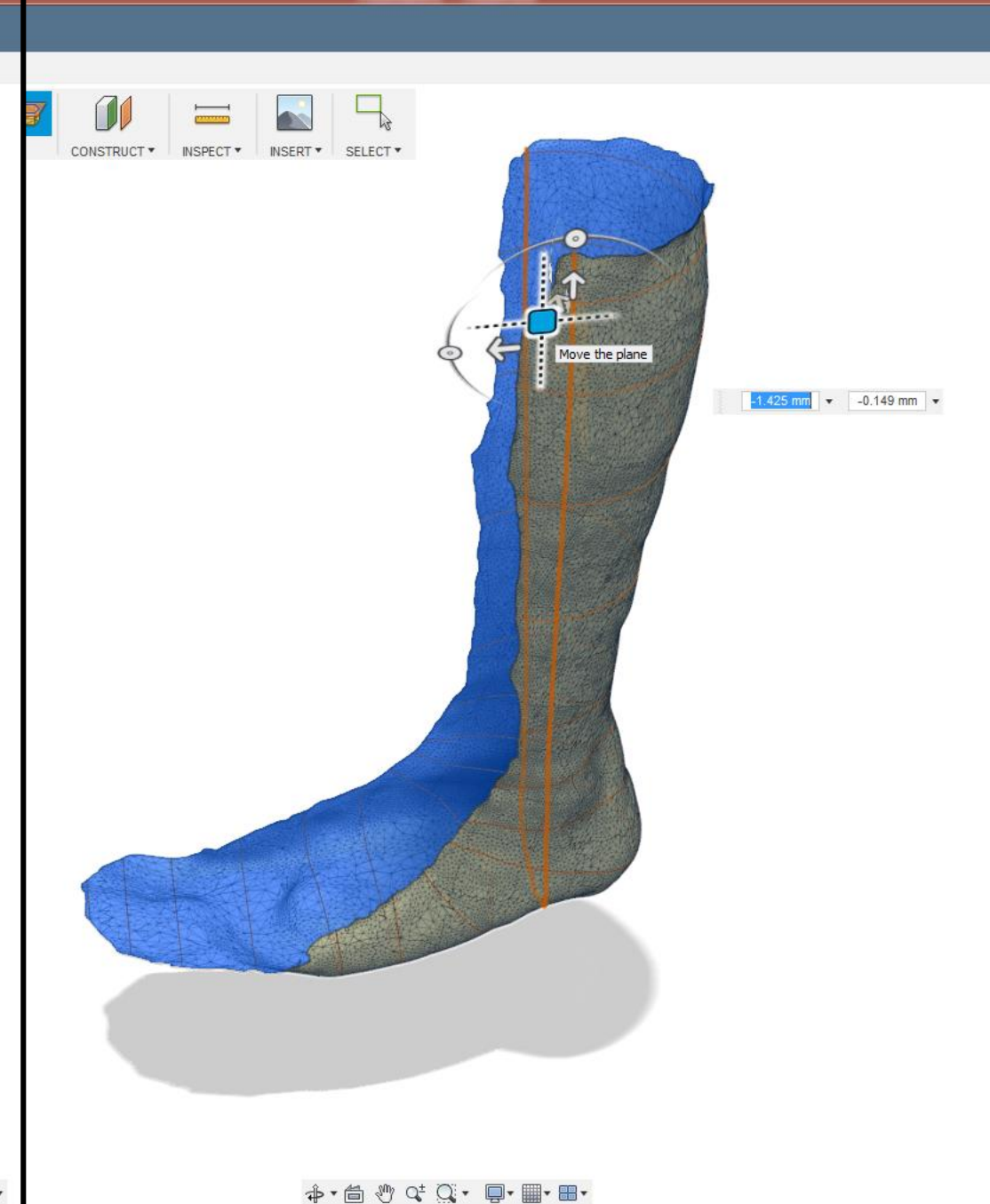
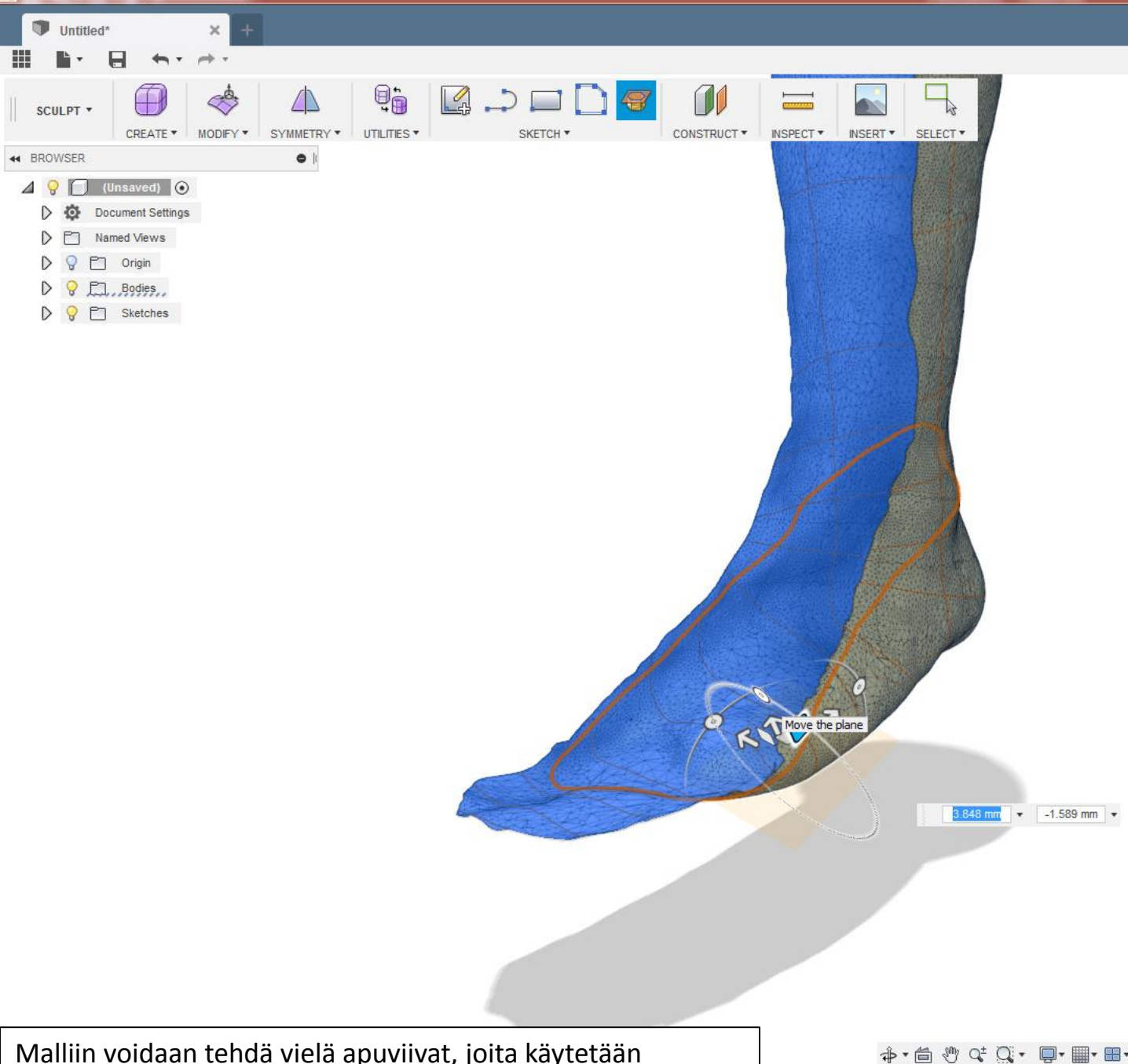




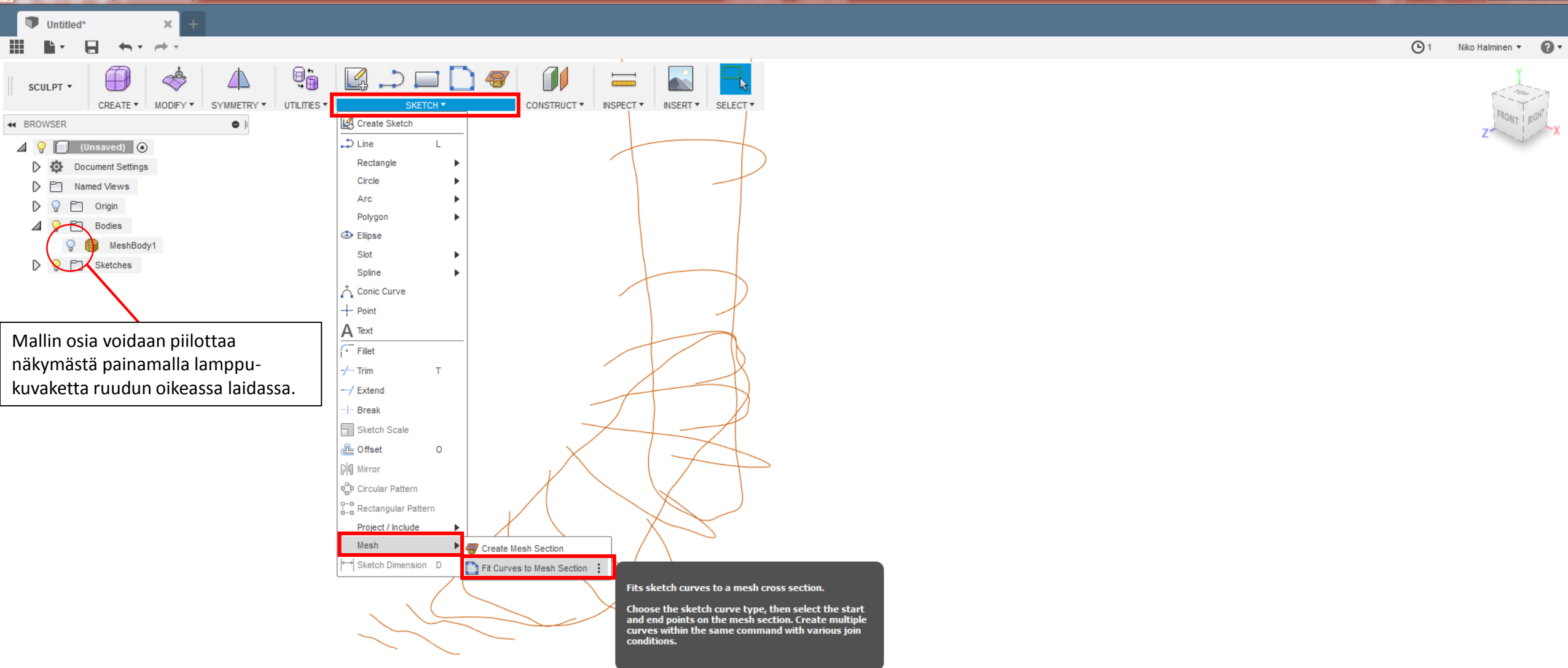




Sama toistetaan, niin että koko malli on viivojen peitossa. Viivoja tulisi olla mahdollisimman vähän, mutta kuitenkin sitä enemmän, mitä enemmän mallissa on yksityiskohtia.



Malliin voidaan tehdä vielä apuviivat, joita käytetään määrittämään tulevan ortoosin reunoja.



Näin saatuja Mesh Sectioneja käytetään apuna Fit Curves to Mesh Section-työkalulle. Työkalu löytyy yläpalkin SKETCH-valikosta, Mesh-valikon alta.

Valitaan haluttu Mesh Section.

Ensin valitaan oranssi Mesh Section, jonka mukaan Fit Curves to Mesh Section-työkalu tekee uuden viivan. Lisävalintaikkunassa Fit Curve Type valitaan Spline. Näin viiva seuraa Mesh Sectionia.

FIT CURVES TO MESH SECTION

Fit Curve Type: Spline

Path Direction: Normal

Spline Fit Tolerance: 0.01 mm

First Point on Section: Select

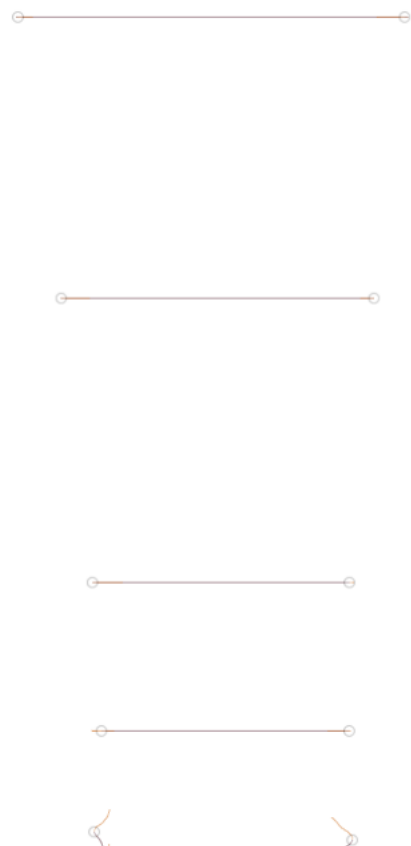
Match Tangent: ☐

Second Point on Section: Select

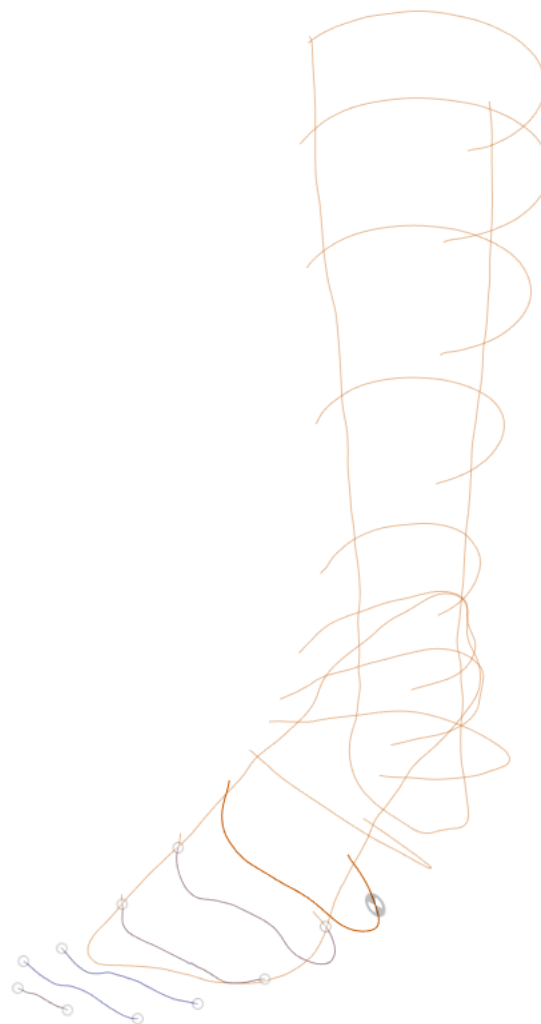
Match Tangent: ☐

Max Curve Deviation: 0.00 mm

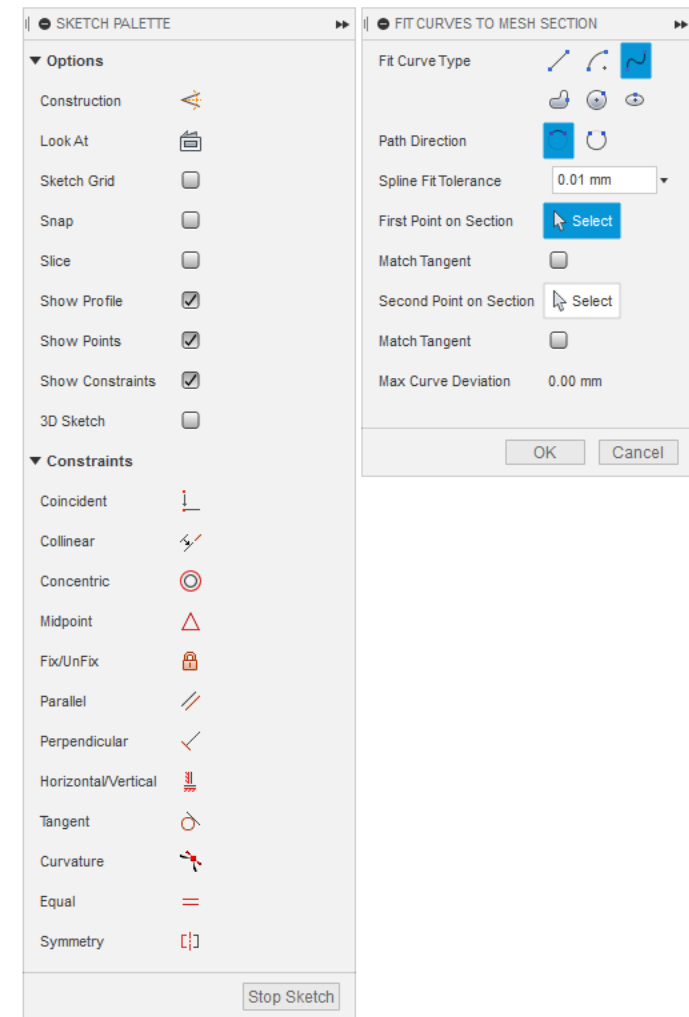
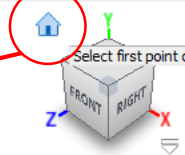
OK Cancel

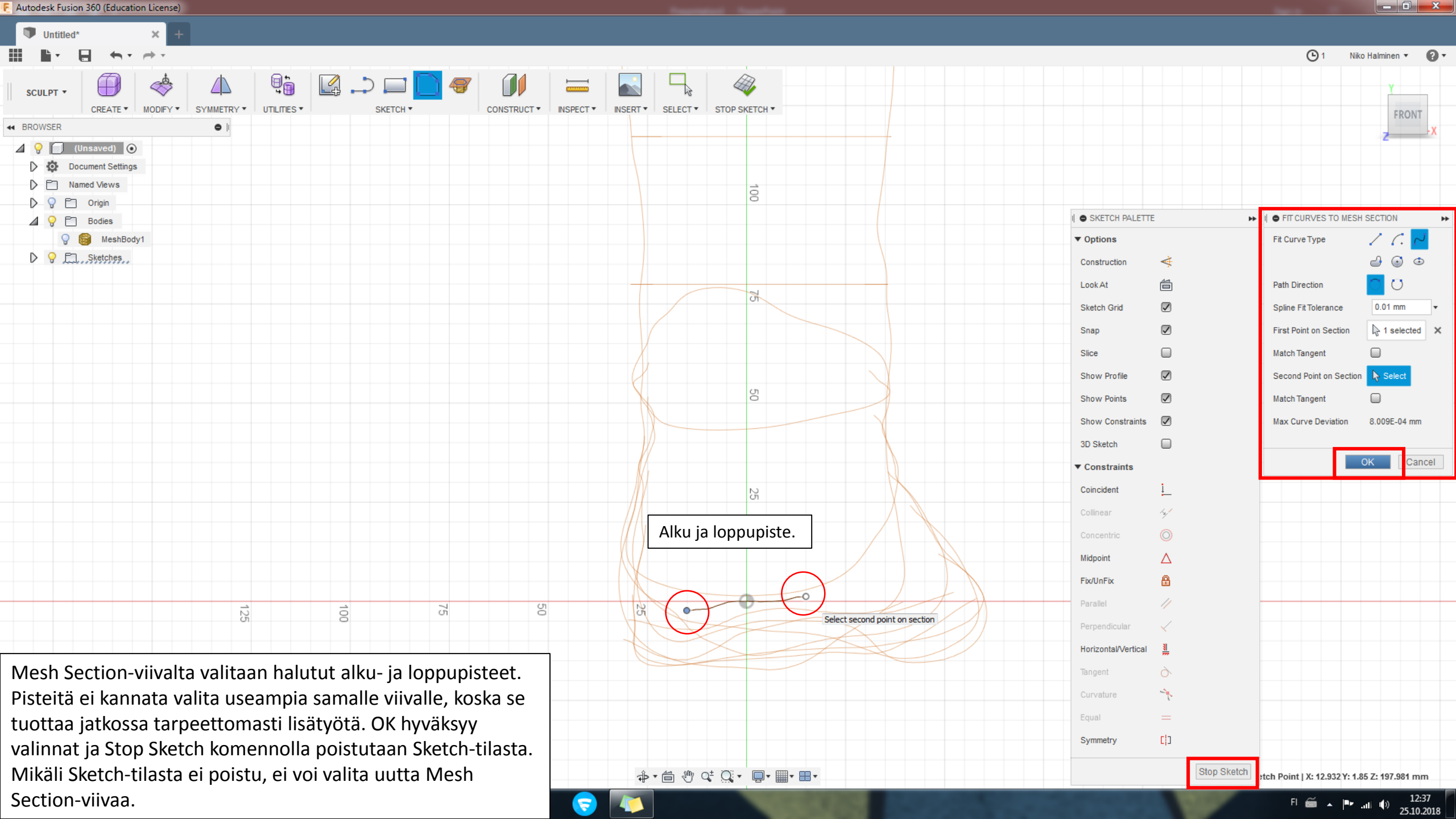


Valinta heittää näkymän tasolle, jolla Mesh Section sijaitsee. Tämä saattaa hävittää valitun osan näkymän ulkopuolelle. Näkymän saa helpoiten palautettua sopivaksi painamalla oikeassa yläkulmassa olevaa talo-kuvaketta.

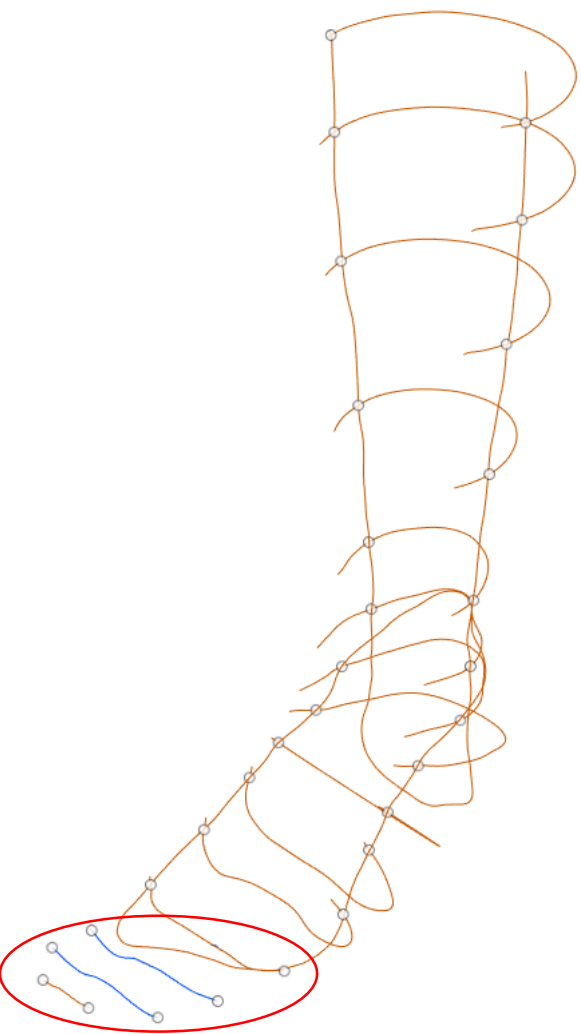
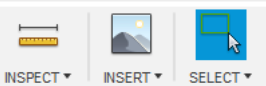


Näkymän saa palautettua oletukseen talon kuvaa painamalla.

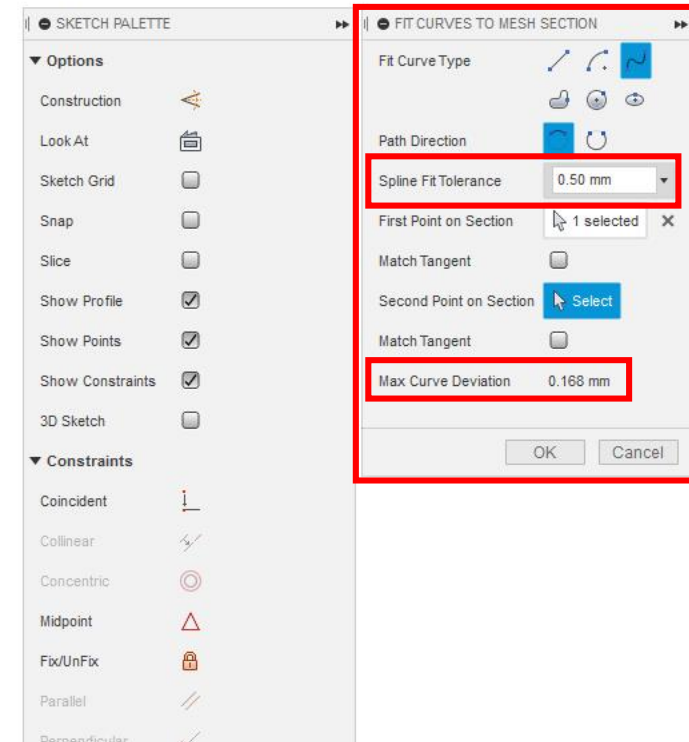
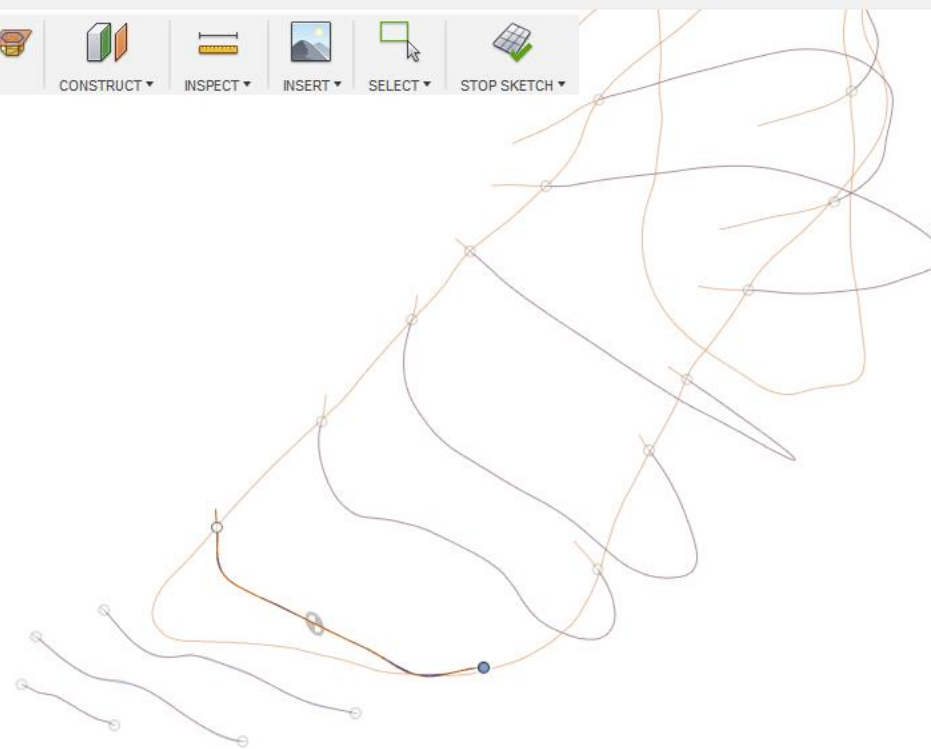




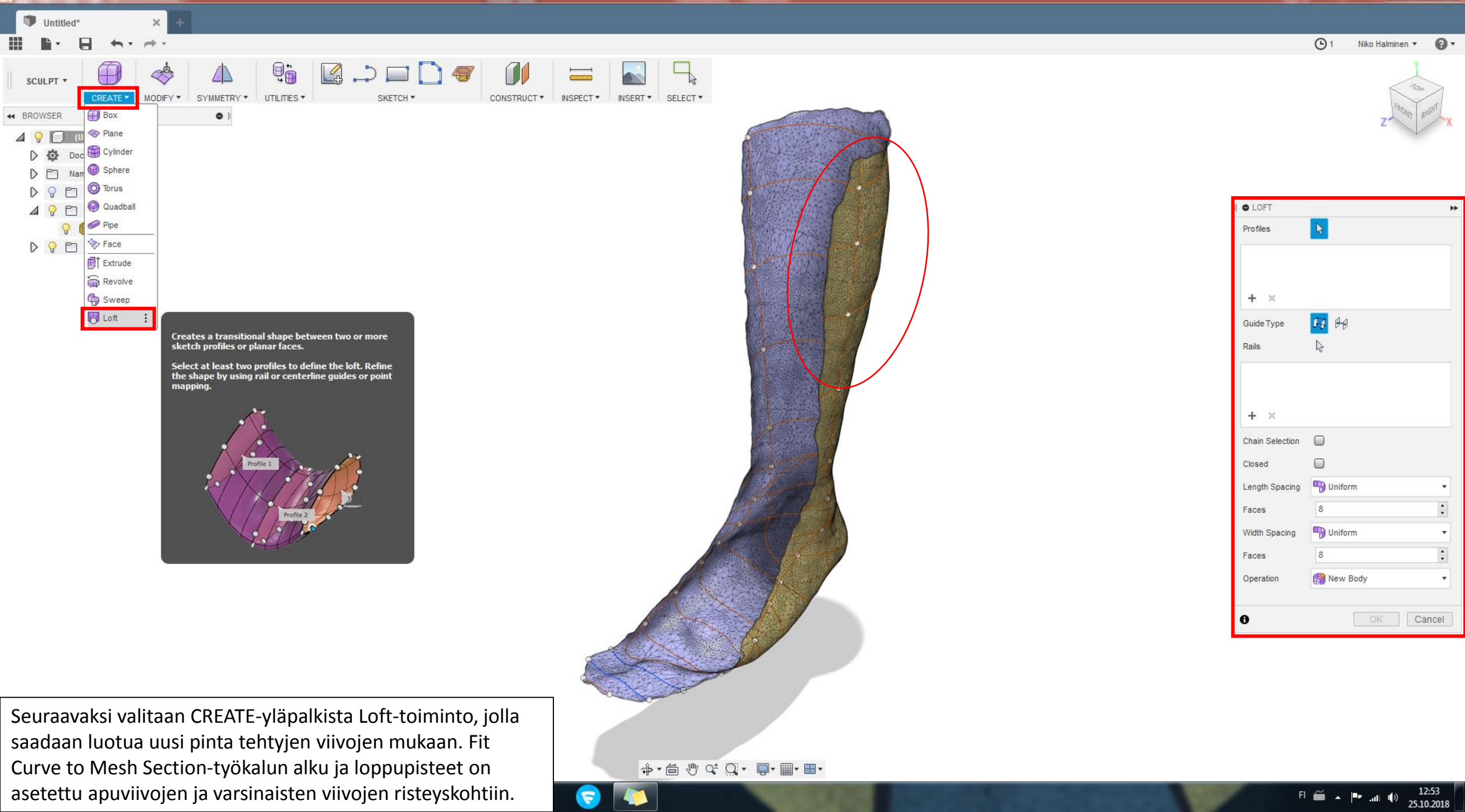
Mesh Section-viivalta valitaan halutut alku- ja loppupisteet. Pisteitä ei kannata valita useampia samalle viivalle, koska se tuottaa jatkossa tarpeettomasti lisätyötä. OK hyväksyy valinnat ja Stop Sketch komennolla poistutaan Sketch-tilasta. Mikäli Sketch-tilasta ei poistu, ei voi valita uutta Mesh Section-viivaa.



Mikäli tehdyt viivat näkyvät sinisinä, voi niissä olla ylimääräisiä silmukoita, eikä seuraavana tehtävä Loft-komento onnistu.



Silmukat johtuvat pienistä häiriöistä ohjelman automatiikassa. Kun lisävalintaikkunan Spline Fit Tolerance-lukua muuttaa suuremmaksi, ei synny enää päällekkäisiä silmukoita. Esimerkiksi puolen millin poikkeama muodon pinnasta ei vielä häiritse valmiin ortoosin toimivuutta. Max Curve Deviation kertoo varsinaisen poikkeaman Mesh Section-viivasta.



Seuraavaksi valitaan CREATE-yläpalkista Loft-toiminto, jolla saadaan luotua uusi pinta tehtyjen viivojen mukaan. Fit Curve to Mesh Section-työkalun alku ja loppupisteet on asetettu apuviivojen ja varsinaisten viivojen risteyskohtiin.

The screenshot shows the Autodesk Fusion 360 interface. The main workspace displays a 3D model of a foot with a blue mesh and a green solid body. A LOFT dialog box is open on the right, showing a list of profiles (Profile 1 to Profile 8) and a 'Length Spacing' dropdown menu set to 'Curvature'. The 'OK' button is highlighted. The left sidebar shows the 'BROWSER' panel with a tree view of the model's structure, including 'MeshBody1', 'Body2', 'Body3', 'MeshBody2', and 'Sketches' (Fillet1 to Fillet4). The top toolbar contains various tools for creating, modifying, and inspecting the model.

LOFT

Profiles

- Profile 1
- Profile 2
- Profile 3
- Profile 4

+ x

Guide Type

Rails

+ x

Chain Selection ☐

Closed ☐

Length Spacing **Curvature**

Deviation Uniform Curvature

Width Spacing Uniform

Faces 8

Operation New Body

OK Cancel

Select loft inputs

Profile 8

Profile 7

Profile 6

Profile 5

Profile 4

Profile 3

Profile 2

Profile 1

MeshBody1

Body2

Body3

MeshBody2

Sketches

Fillet1

Fillet2

Fillet3

Fillet4

Document Settings

Named Views

Origin

Bodies

CREATE

MODIFY

SYMMETRY

UTILITIES

SKETCH

CONSTRUCT

INSPECT

INSERT

SELECT

Ohje-ortoosi1 v3*

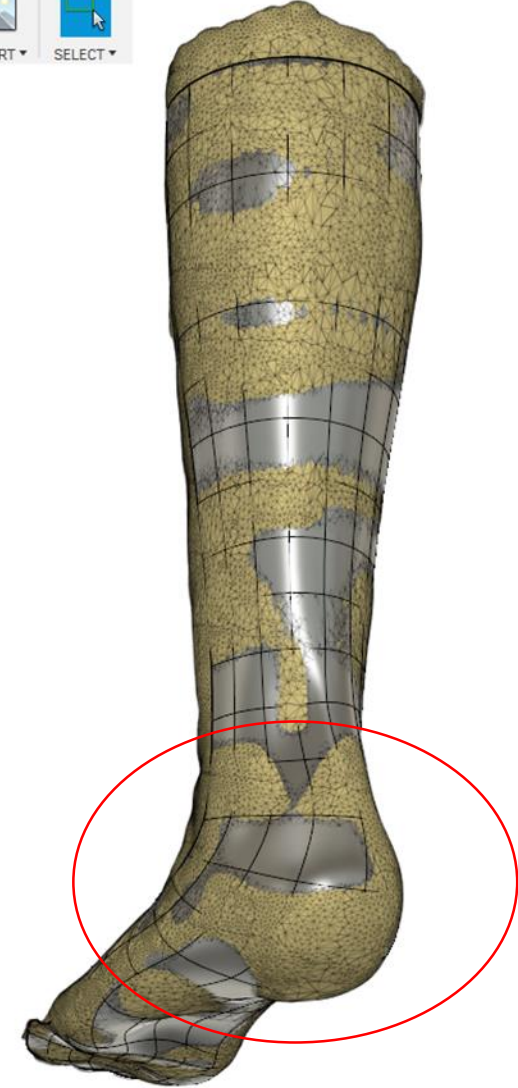
1 Niko Halminen ?

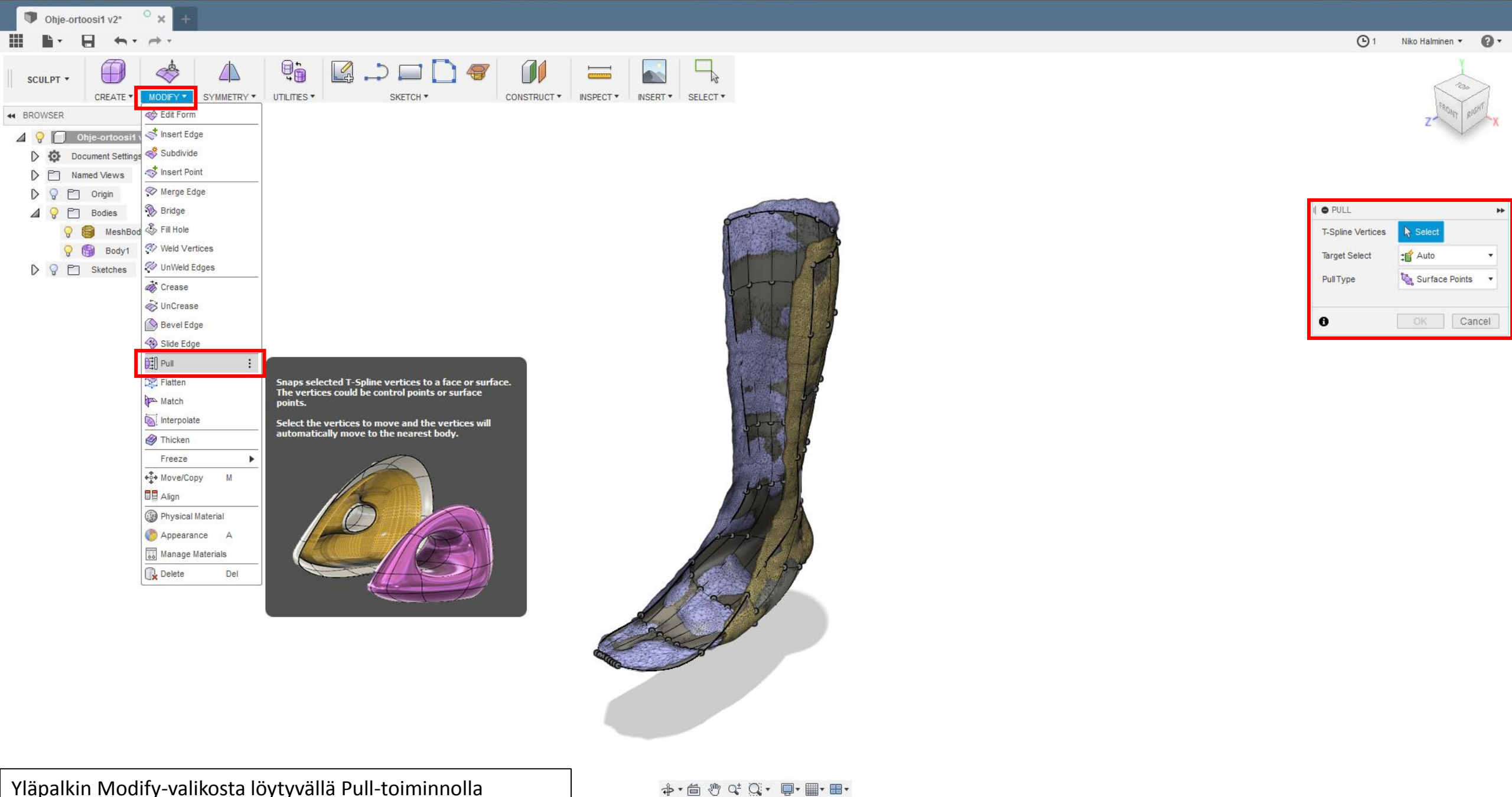
Multiple selections

15:12 25.10.2018

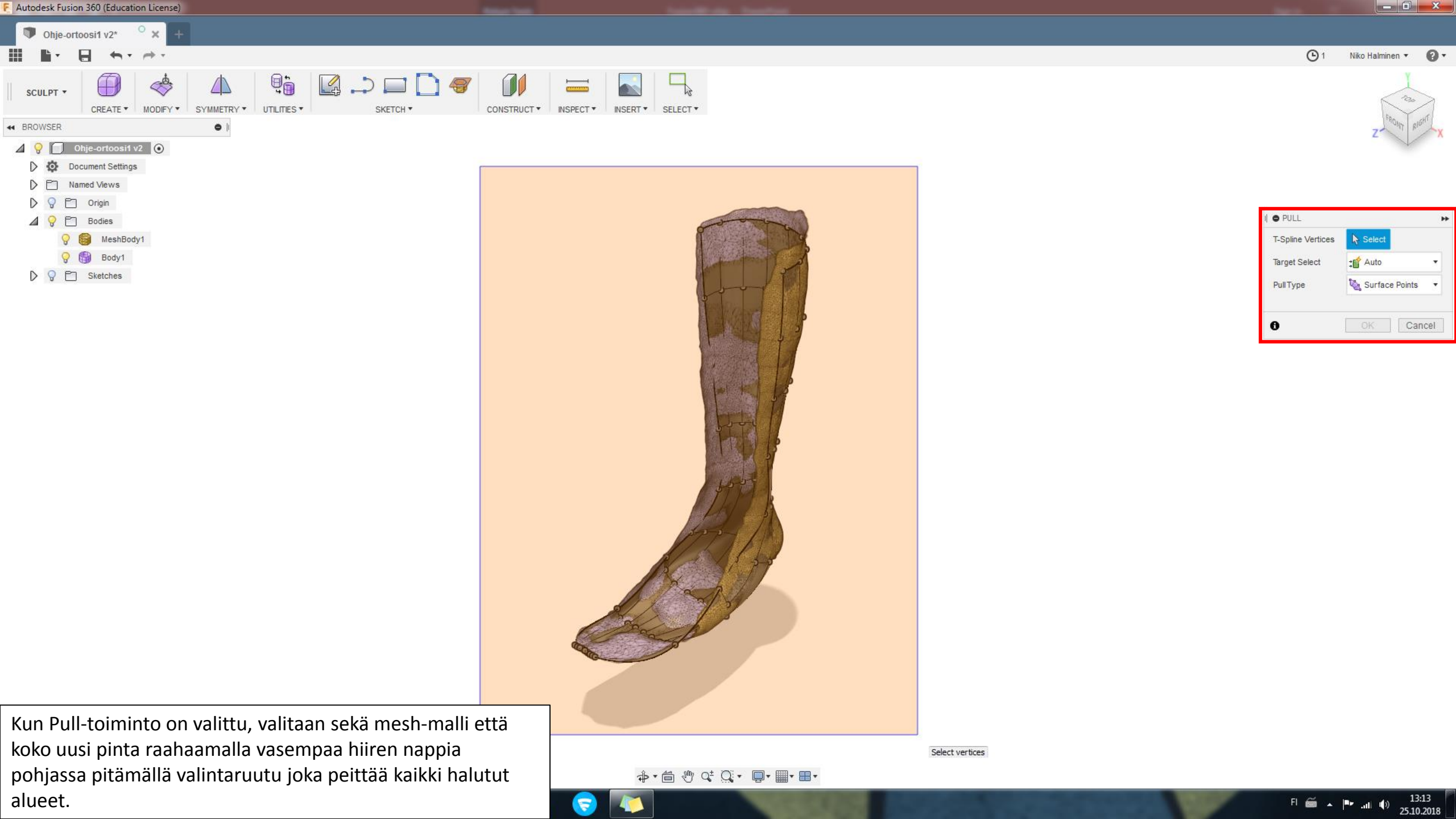
Klikkaamalla edellisessä vaiheessa luotuja Curve-viivoja, alkaa ohjelma tekemään niiden mukaan uutta pintaa. Alkuperäinen mesh-tiedosto kannattaa pitää näkyvissä ja valintaikkunan Length Spacing kohdassa valita Curvature. Näin saadaan uusi pinta vastaamaan parhaiten haluttuja muotoja. Kun kaikki halutut viivat on valittu, OK hyväksyy.

Loft-toiminnolla saadaan jo kohtalaisen hyvin alkuperäistä mallia mukaileva pinta. Paikoin on kuitenkin vielä alueita jotka eivät riittävällä tavalla vastaa mallia.

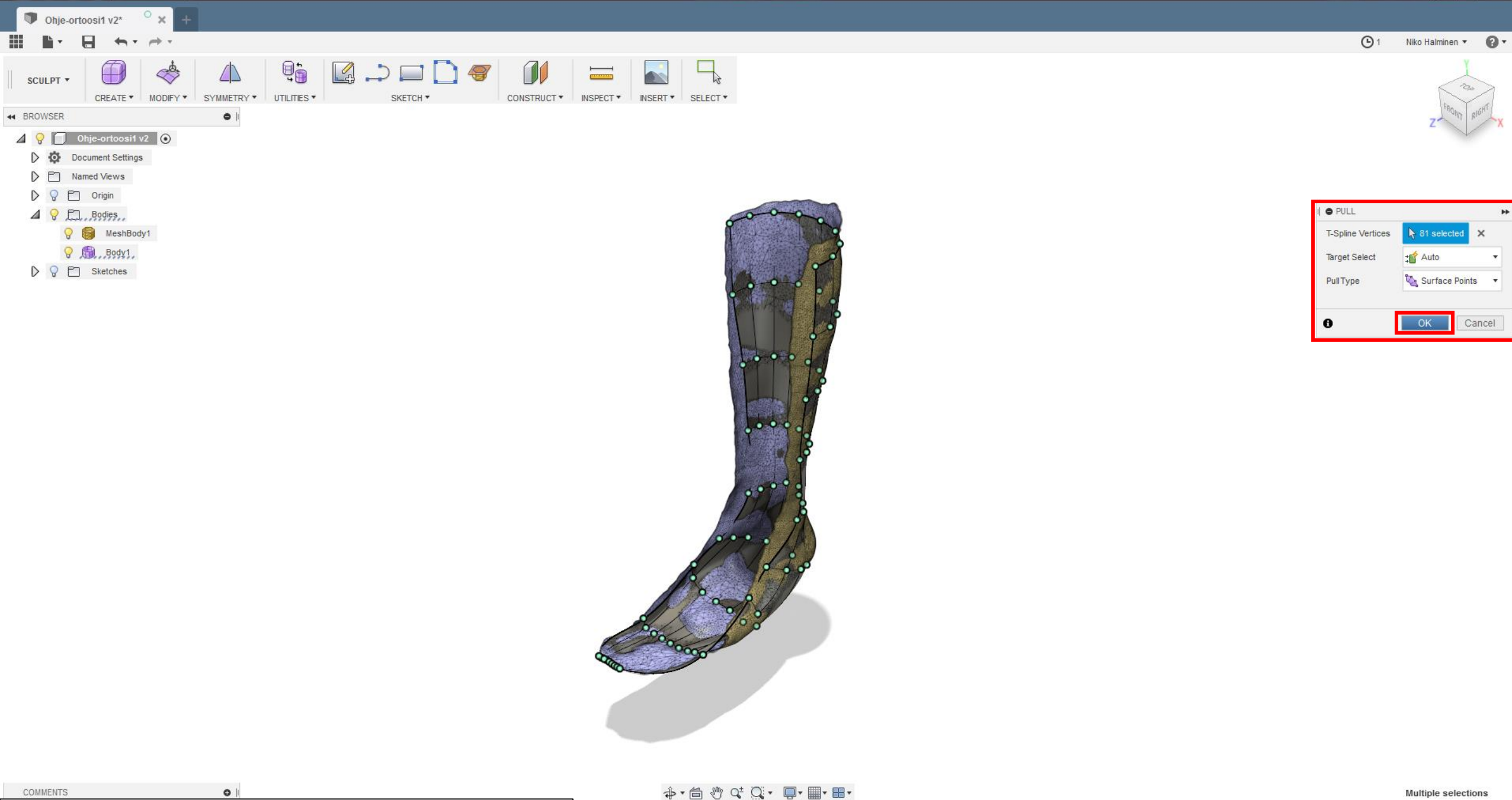


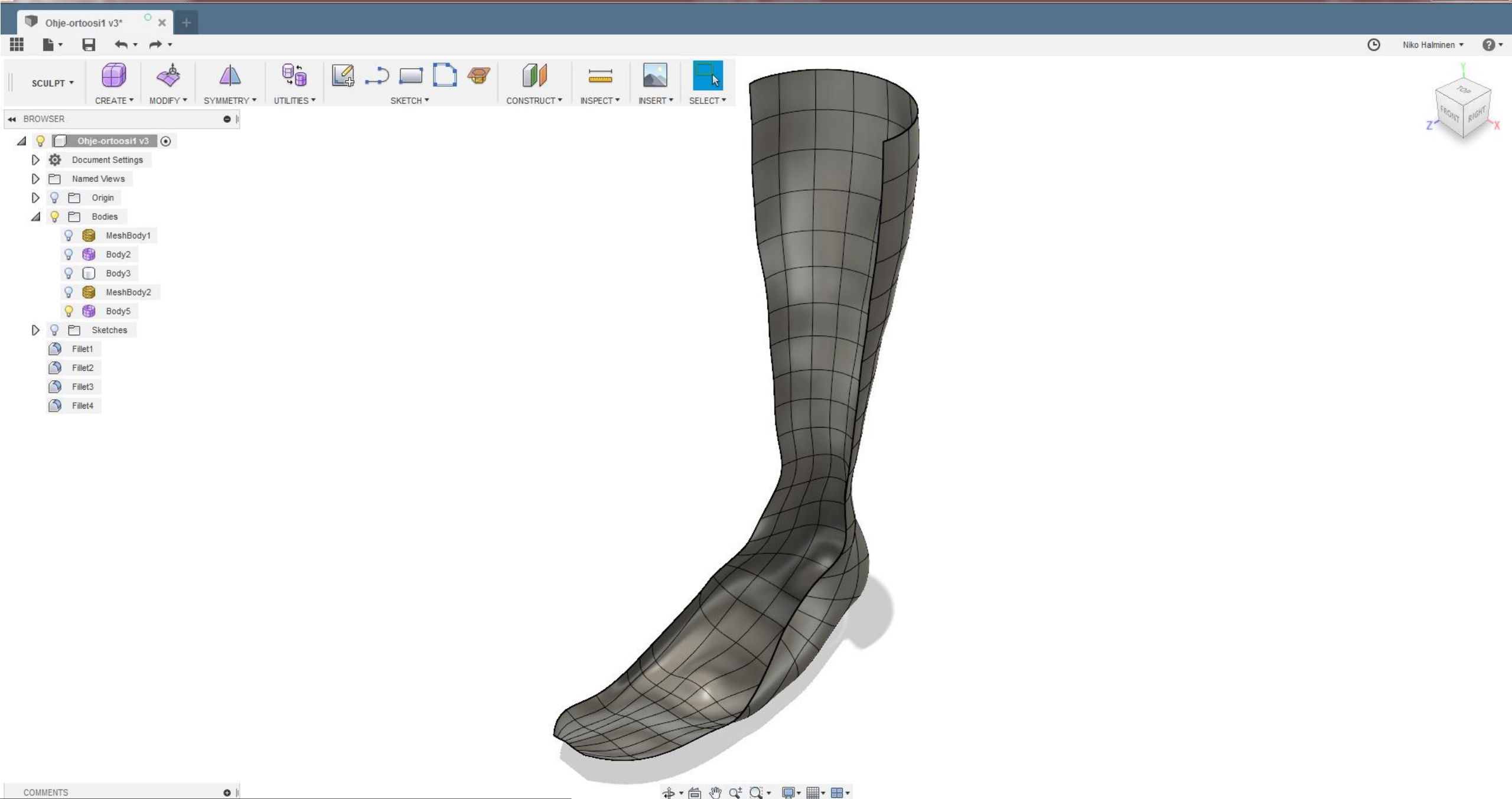


Yläpalkin Modify-valikosta löytyvällä Pull-toiminnolla saadaan pinta painettua meshin muotoja vasten.



Kun Pull-toiminto on valittu, valitaan sekä mesh-malli että koko uusi pinta raahaamalla vasempaa hiiren nappia pohjassa pitämällä valintaruutu joka peittää kaikki halutut alueet.

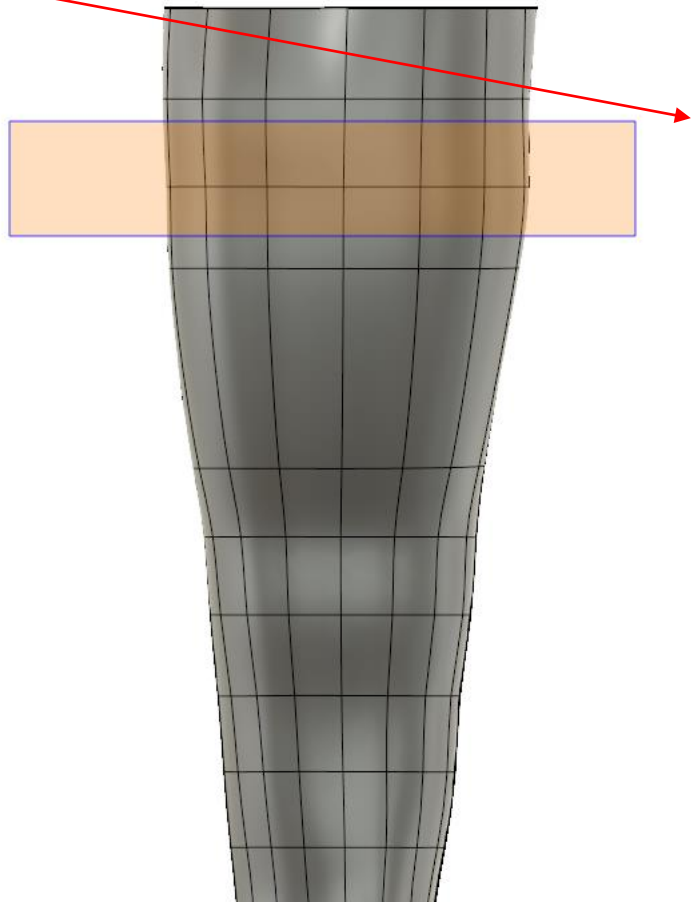




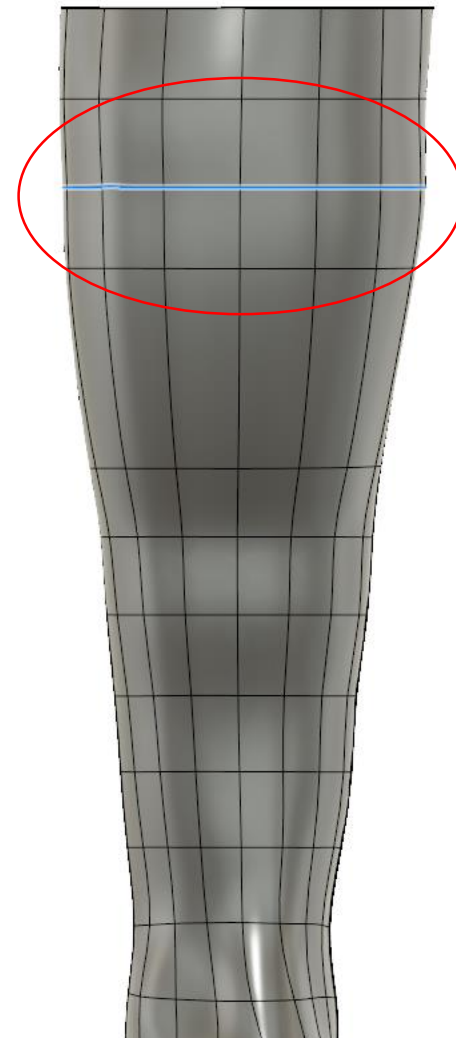
Pintamallinnus valmiina muokattavaksi.



Window Select valintasuunta.

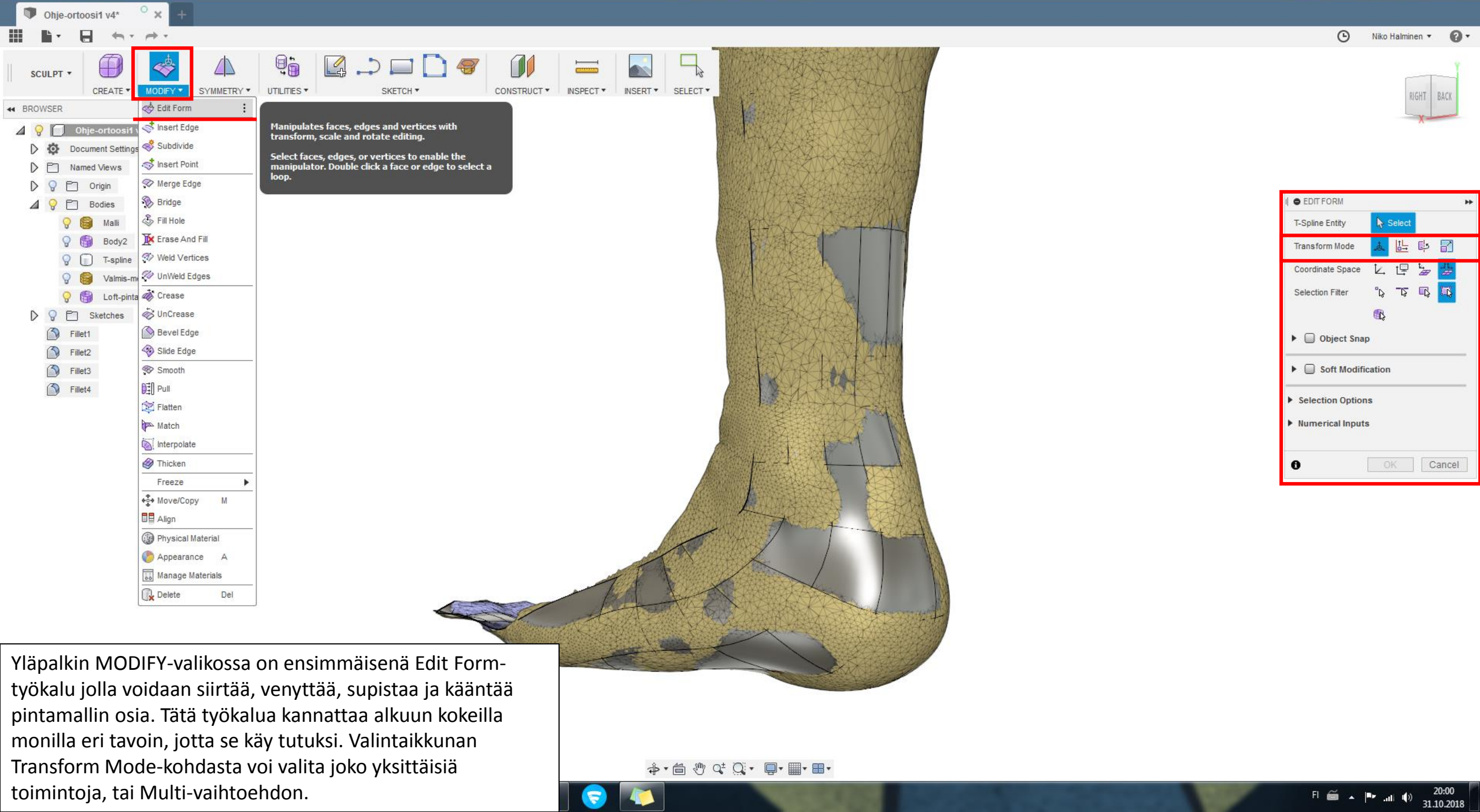


Yläosasta voidaan poistaa ylimääräisiä muotoviivoja Window Select-toiminnolla. Näin saamme ortoosin muotoja rauhallisemmiksi, kun varsi ei aaltoile. Vasemmalta oikealle raahattu valintaikkuna valitsee vain kaikki sen sisään kokonaisuudessaan jäävät asiat.

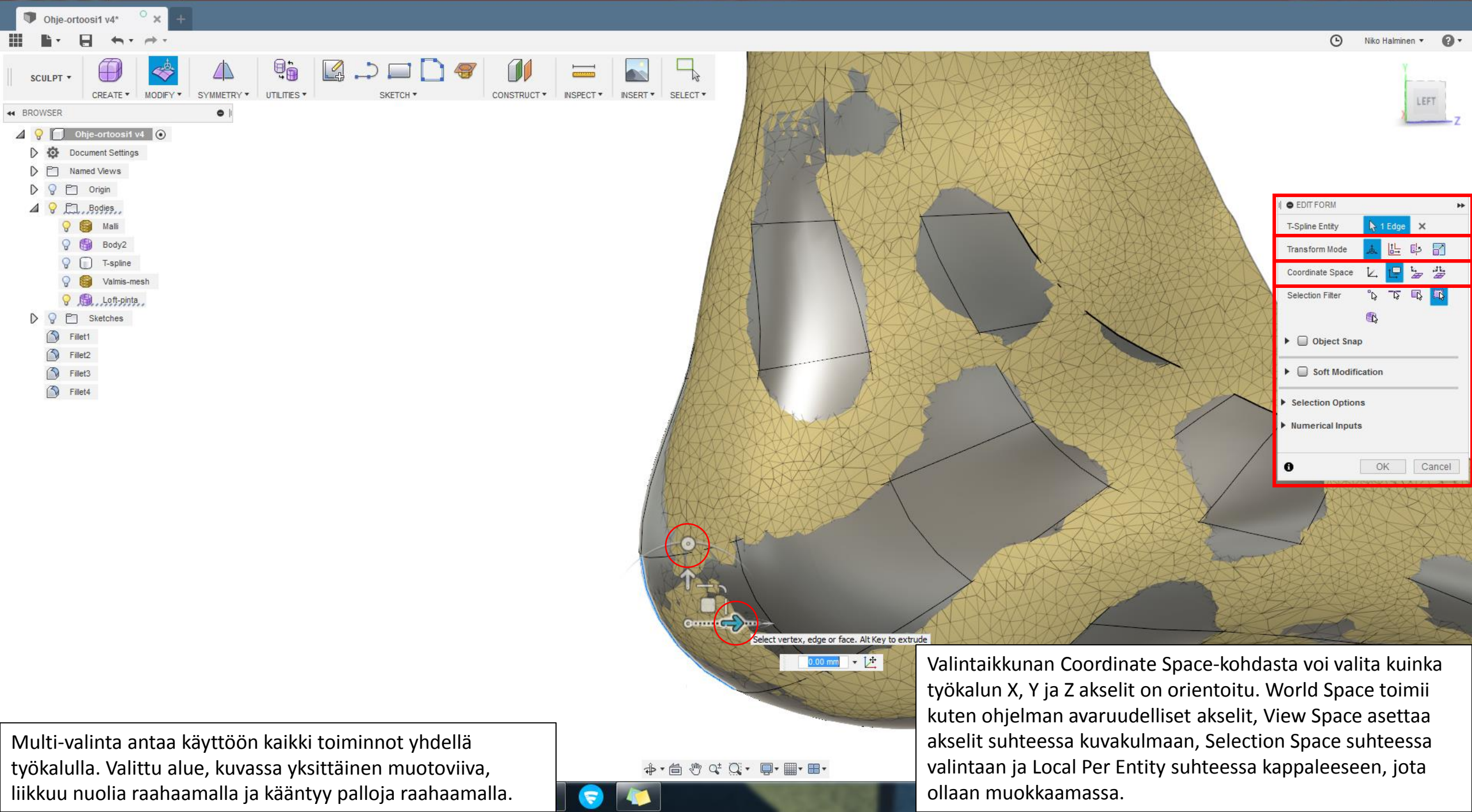


Näin saadaan valittua yksittäisiä muotoviivoja. Delete-näppäin poistaa.



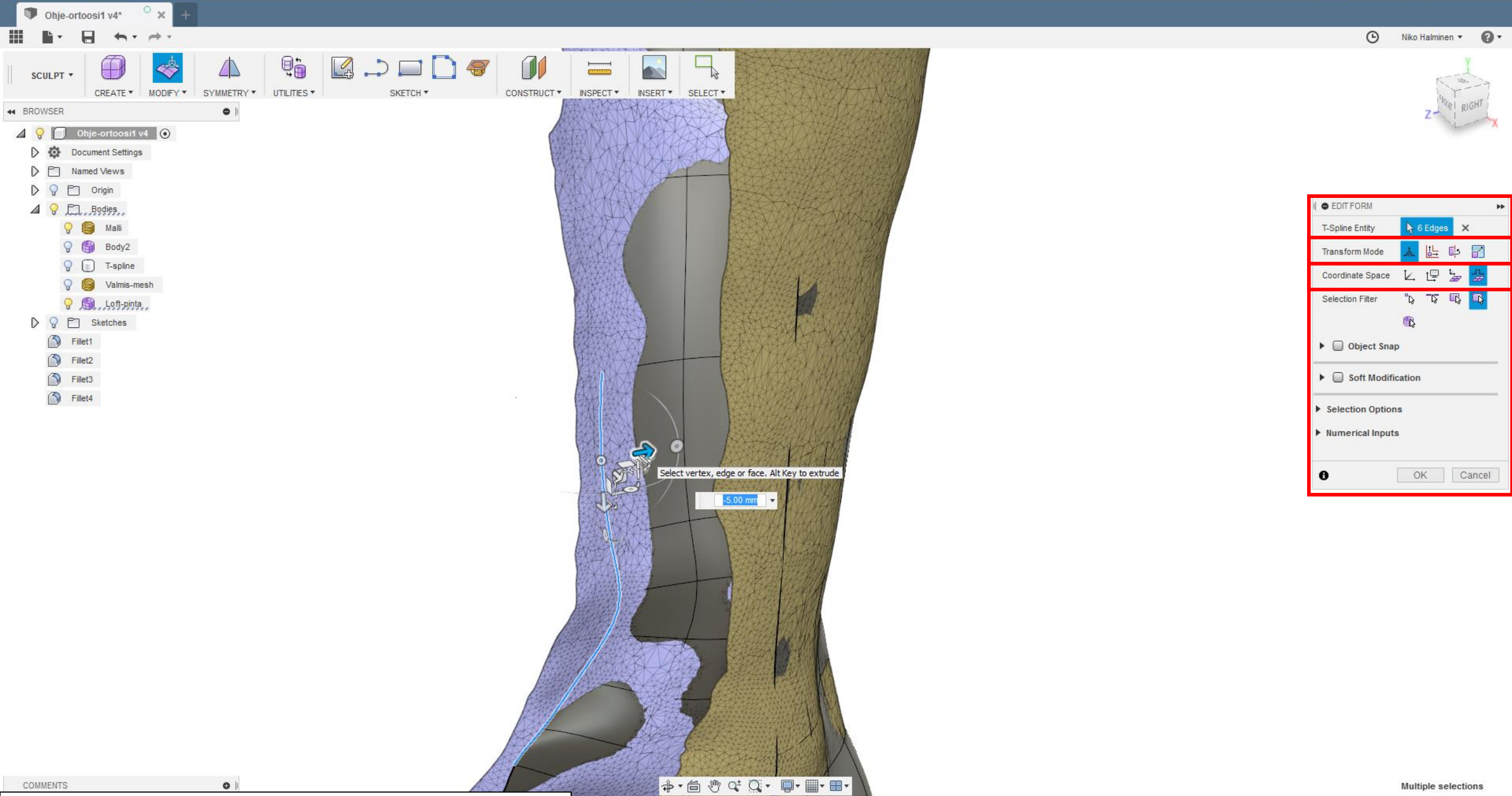


Yläpalkin MODIFY-valikossa on ensimmäisenä Edit Form-työkalu jolla voidaan siirtää, venyttää, supistaa ja kääntää pintamallin osia. Tätä työkalua kannattaa alkuun kokeilla monilla eri tavoin, jotta se käy tutuksi. Valintaikkunan Transform Mode-kohdasta voi valita joko yksittäisiä toimintoja, tai Multi-vaihtoehtoon.

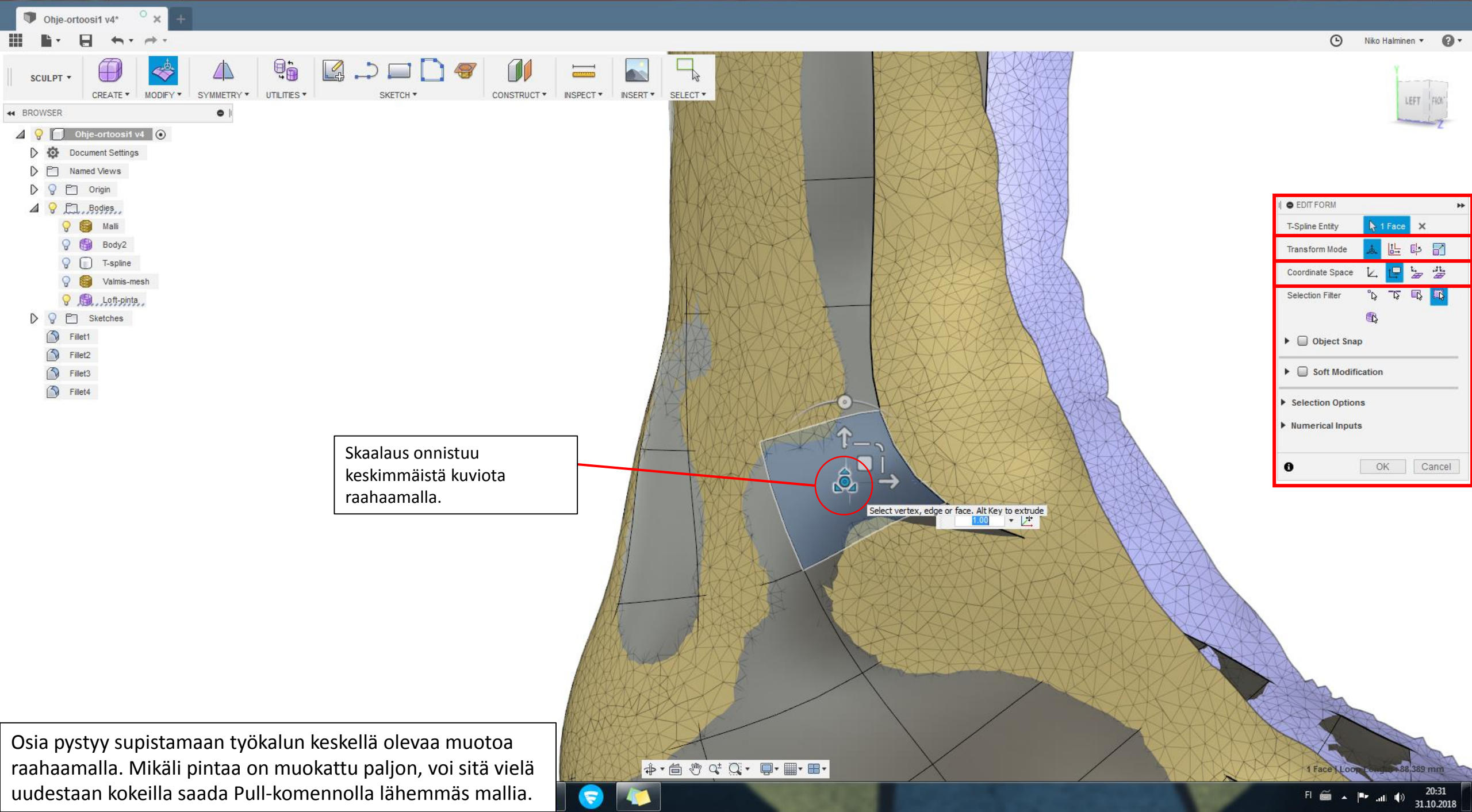


Multi-valinta antaa käyttöön kaikki toiminnot yhdellä työkalulla. Valittu alue, kuvassa yksittäinen muotoviiva, liikkuu nuolia raahaamalla ja kääntyy palloja raahaamalla.

Valintaikkunan Coordinate Space-kohdasta voi valita kuinka työkalun X, Y ja Z akselit on orientoitu. World Space toimii kuten ohjelman avaruudelliset akselit, View Space asettaa akselit suhteessa kuvakulmaan, Selection Space suhteessa valintaan ja Local Per Entity suhteessa kappaleeseen, jota ollaan muokkaamassa.

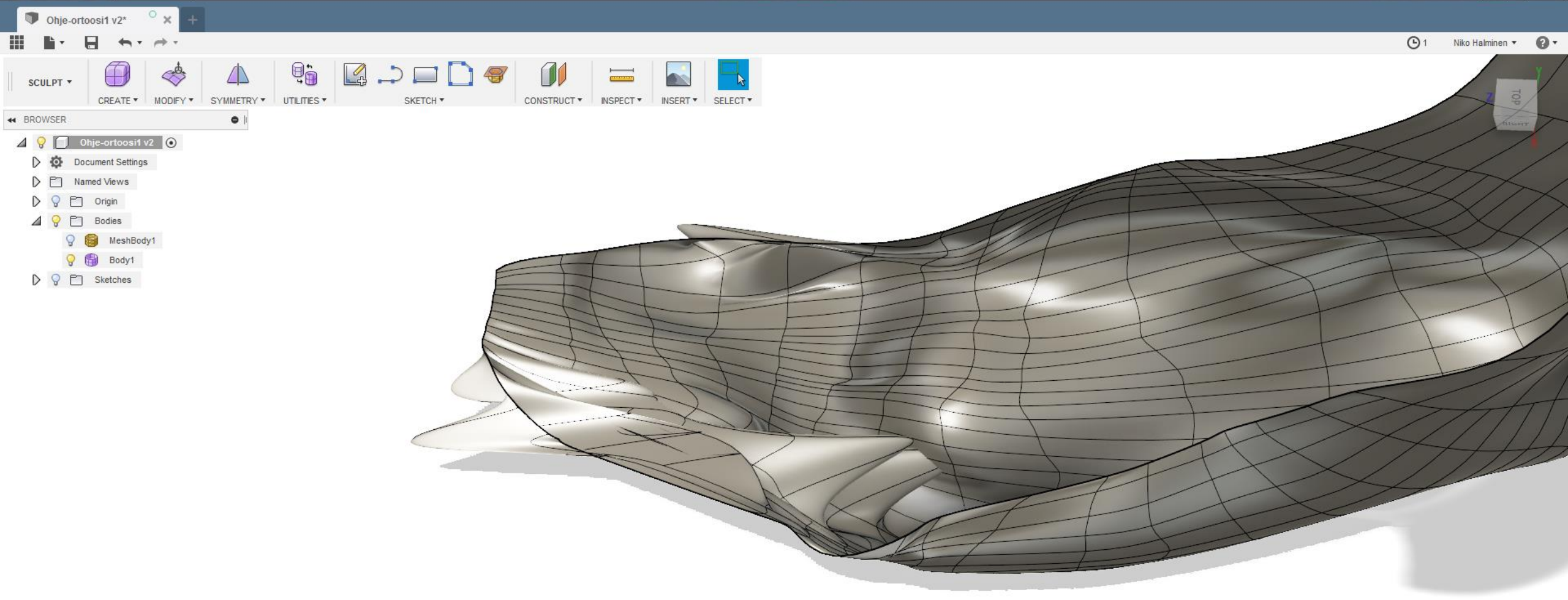


Tässä siirretään taakse jäänyttä etureunaa ulospäin.

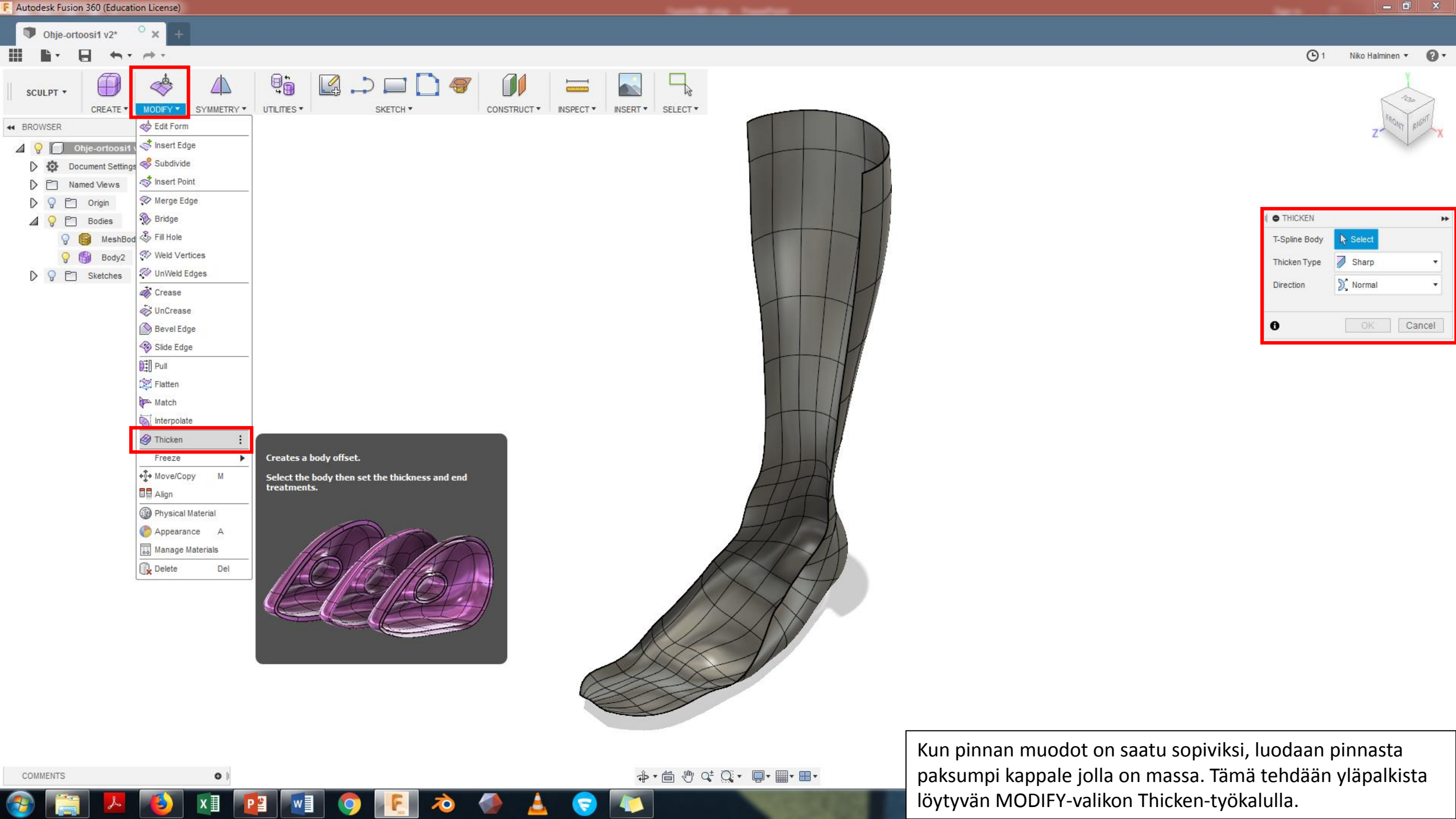


Skaalaus onnistuu
keskimmäistä kuviota
raahaamalla.

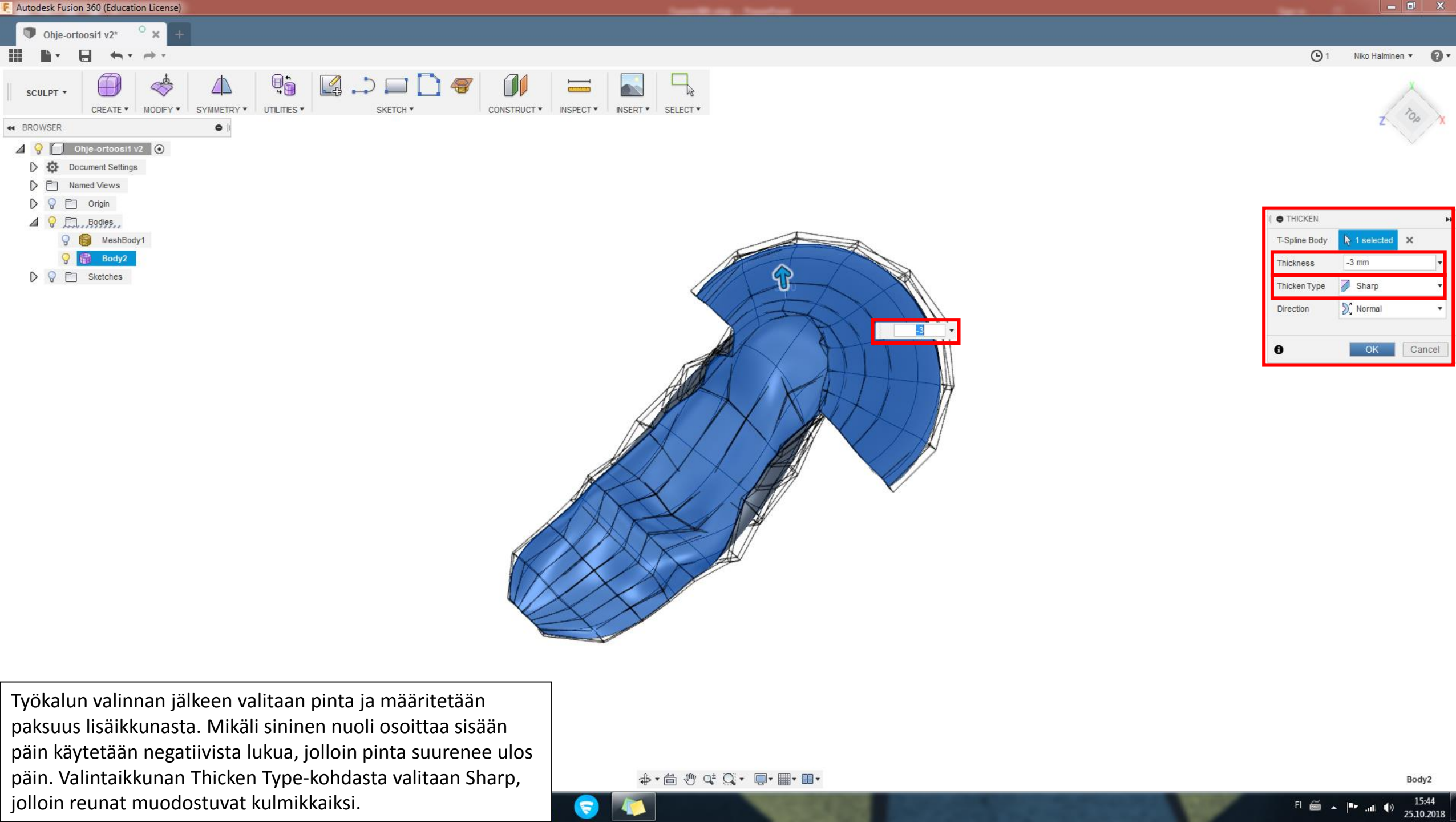
Osia pystyy supistamaan työkalun keskellä olevaa muotoa
raahaamalla. Mikäli pintaa on muokattu paljon, voi sitä vielä
uudestaan kokeilla saada Pull-komennolla lähemmäs mallia.



Jos mallissa on liikaa osia, joita on säädetty paljon Edit Form-työkalulla, saattaa Pull-komento aiheuttaa mallin hajoamisen. Mikäli pinta ei tahdo seurata mallin muotoja, kannattaa harkita Loft-komennon tekemistä uudestaan eri määrällä Mesh Section-viivoja.



Kun pinnan muodot on saatu sopiviksi, luodaan pinnasta paksumpi kappale jolla on massa. Tämä tehdään yläpalkista löytyvän MODIFY-valikon Thicken-työkalulla.



Työkalun valinnan jälkeen valitaan pinta ja määritetään paksuus lisäikkunasta. Mikäli sininen nuoli osoittaa sisään päin käytetään negatiivista lukua, jolloin pinta suurenee ulos päin. Valintaikkunan Thicken Type-kohdasta valitaan Sharp, jolloin reunat muodostuvat kulmikkaiksi.

UTILITIES

- Display Mode
- Repair Body
- Make Uniform
- Convert**
- Enable Better Performance

Changes the body type of the selected object. Converts BRep (solid or surface) faces to a T-Spline face. Converts a T-Spline body to a BRep body. Converts a quad mesh to a T-Spline body.

Select the object to convert.

CONVERT

Convert Type: T-Splines to BR...

Selection: 1 selected

Keep Edges: Select

Maintain symmetry: ☐

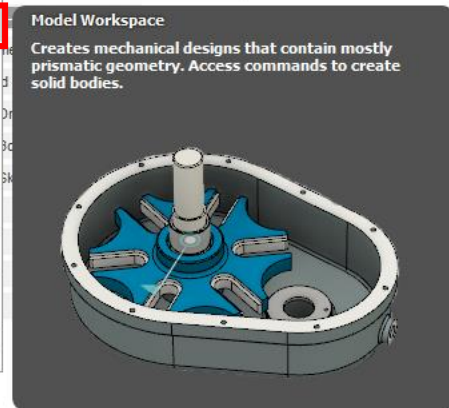
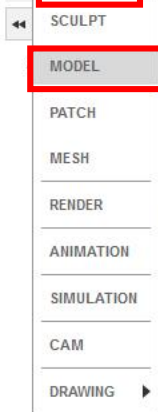
Flip Normal: ☐

Operation: New Body

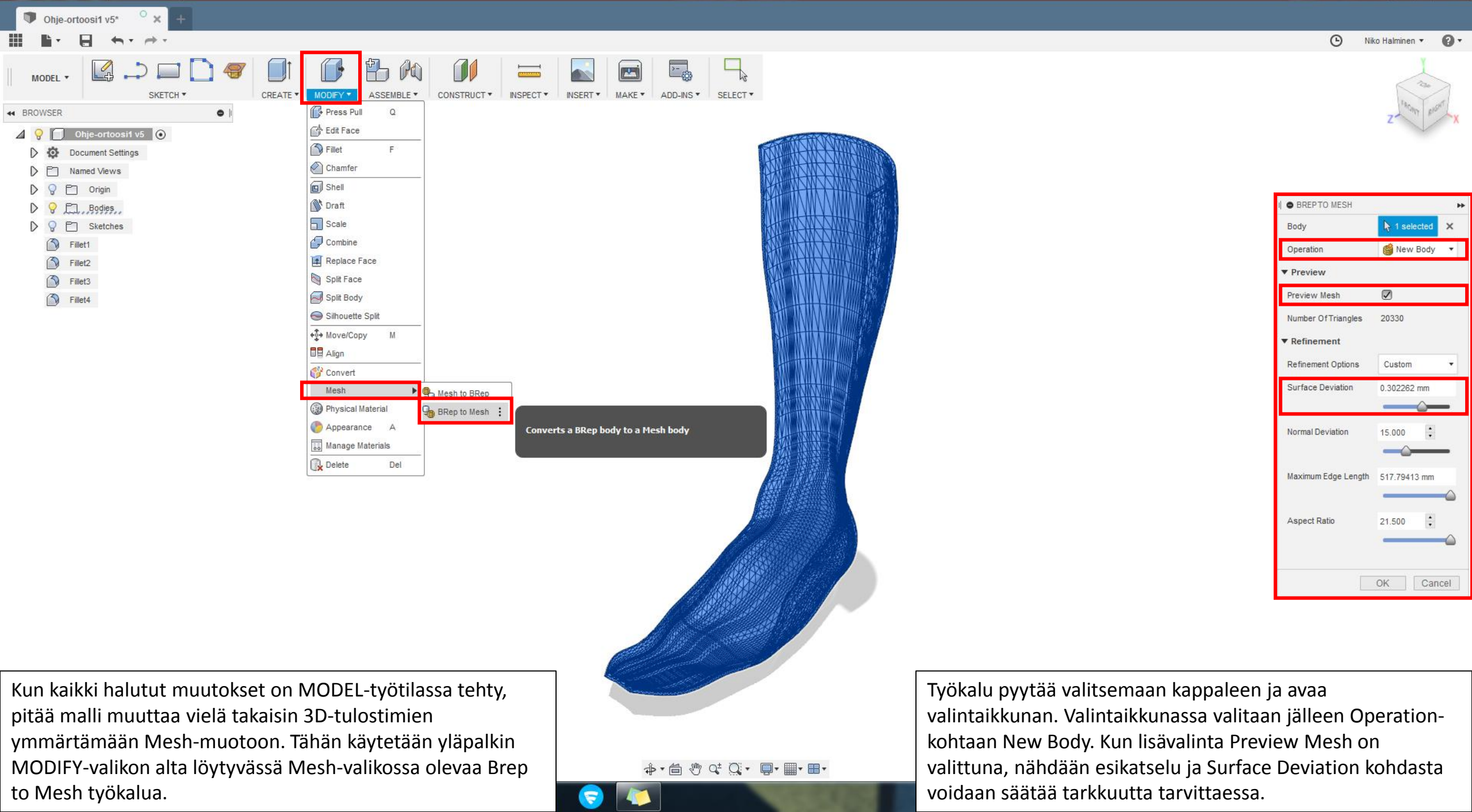
OK Cancel

Näin saatua kappaletta voidaan muokata vielä SCULPT-työtilassa. Jotta siihen saataisiin rakennettua niveliä tai muita monimutkaisempia osia, pitää sitä voida muokata MODEL-työtilassa. Tämä vaatii muuntamista T-Spline-muodosta BRep-muotoon. Tähän käytetään yläpalkin UTILITIES-valikosta löytyvää Convert-toimintoa.

Convert pyytää valitsemaan halutun kappaleen ja avaa valintaikkunan, jonka Convert Type-kohdasta valitaan T-Splines to Brep. On myös hyvä valita Operation-kohdasta New Body, jolloin alkuperäinen T-Spline-malli säilyy. Näin siihen voidaan tarpeen vaatiessa palata.

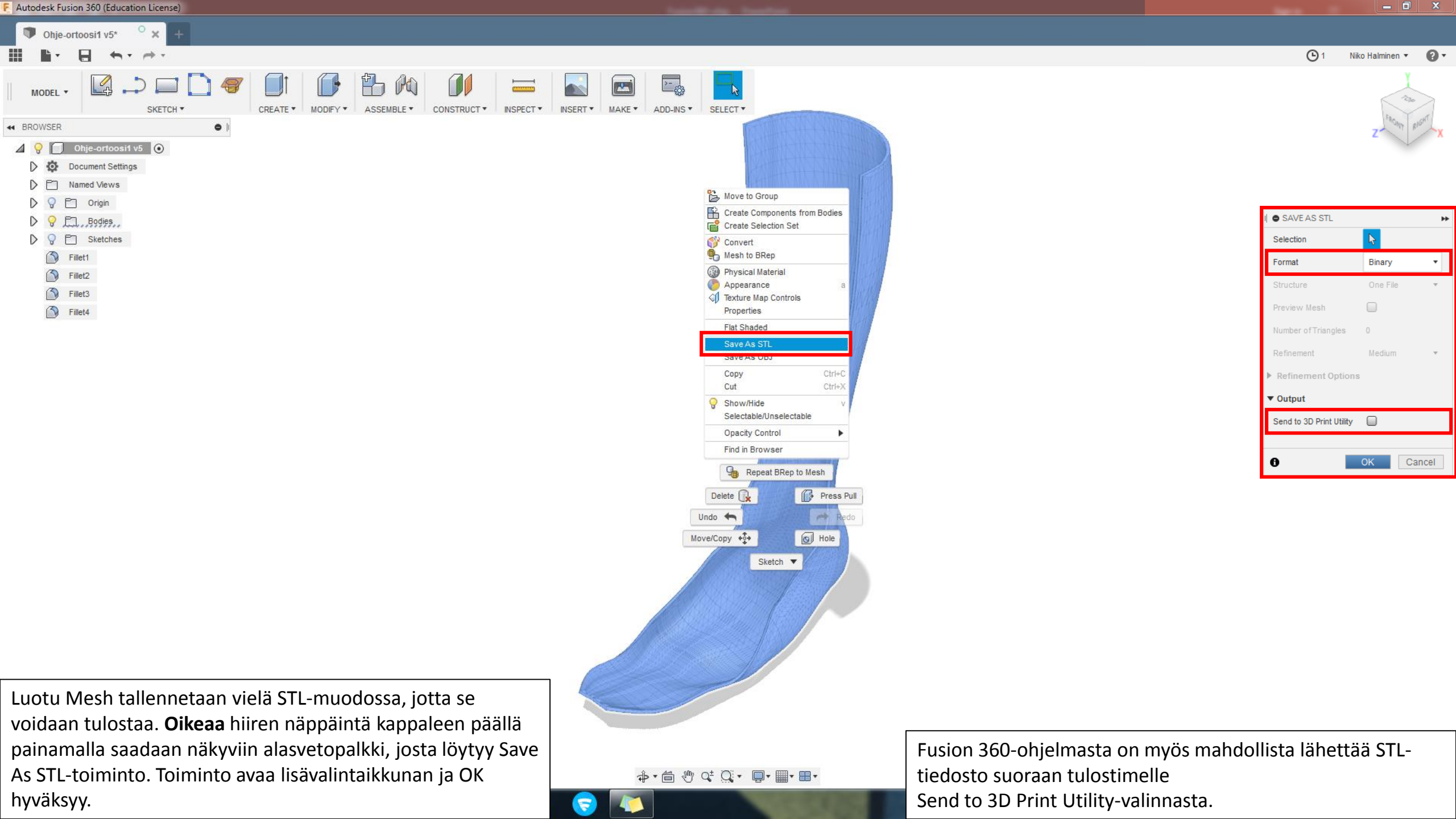


Näin saatua Brep-kappaletta voidaan muokata MODEL-työtilassa. MODEL-työtilassa on esim. mahdollista rakentaa ja liittää malliin mekaanisia osia kuten niveliä tai leikata siihen halutun muotoisia aukkoja. Näitä vaiheita ei kuitenkaan käsitellä tässä ohjeessa.



Kun kaikki halutut muutokset on MODEL-työtilassa tehty, pitää malli muuttua vielä takaisin 3D-tulostimien ymmärtämään Mesh-muotoon. Tähän käytetään yläpalkin MODIFY-valikon alta löytyvässä Mesh-valikossa olevaa Brep to Mesh työkalua.

Työkalu pyytää valitsemaan kappaleen ja avaa valintaikkunan. Valintaikkunassa valitaan jälleen Operation-kohtaan New Body. Kun lisävalinta Preview Mesh on valittuna, nähdään esikatselu ja Surface Deviation kohdasta voidaan säätää tarkkuutta tarvittaessa.



Luotu Mesh tallennetaan vielä STL-muodossa, jotta se voidaan tulostaa. **Oikeaa** hiiren näppäintä kappaleen päällä painamalla saadaan näkyviin alasvetopalkki, josta löytyy Save As STL-toiminto. Toiminto avaa lisävalintaikkunan ja OK hyväksyy.

Fusion 360-ohjelmasta on myös mahdollista lähettää STL-tiedosto suoraan tulostimelle Send to 3D Print Utility-valinnasta.

Ohjeen käyttäjälle

Tämän ohjeen viimeiset mallinmuokkaukset on tehty lokakuussa 2018. Tämän mallinmuokkausohjeen tekemisen aikana syksyllä 2018 on Fusion 360 päivittynyt useita kertoja, tuoden joka kerta jotain uutta ohjelmaan. On siis suotavaa käyttää tätä ohjetta hahmottamaan periaatteellisia mahdollisuuksia ohjelman käytöstä, ei niinkään orjallisesti seurattavana totuutena. Fusion 360 on laaja ohjelmisto, jonka mahdollisuuksia on kuvattu tässä ohjeessa vasta vähän.

Innokkaita mallinnushetkiä,

Niko Halminen & Joonas Sarjanen