

Úvod

„Fantázia je semienkom tvorivosti, tvorivosť je hybnou silou pokroku a pokrok je živinou pre fantáziu.“

Zdeněk Hanka

V dnešnej dobe pokroku v oblasti vedy a techniky môžeme badať rôzne zmeny v liečení chorôb aj zmeny vo výrobe liečebných prostriedkov. Ochorenia, ktoré sa kedysi liečili operačne, silnými liekmi, alebo boli neliečiteľné sa dnes dajú liečiť pomocou ortéz.

V súčasnosti sa ortézy vyrábajú ručne. My však vidíme budúcnosť zostrojovania ortéz v aditívnych technológiách. Výroba ortéz aditívnymi technológiami, alebo ľudovo povedané 3D tlačou by priniesla pacientovi úľavu z ekonomického hľadiska, ako aj možnosť širšieho výberu ortézy z dizajnového hľadiska.

Čo je to ortéza?

„Podľa klasickej definície je hlavnou úlohou ortéz chrániť a stabilizovať pohybový aparát. Ortézy a bandáže sú zdravotnícke pomôcky predpisované lekármi v prípade zranenia alebo ochorenia opornej a pohybovej sústavy, ktoré môžu podporiť liečbu. (preložené autorom)“[2]

Slúžia hlavne na zvýšenie pohyblivosti pacienta a podporujú liečbu. Medzi ich ďalšie funkcie patria:

- Kontrola, oprava, limitácia pohybu/znehybnenie kĺbu alebo inej časti tela z určitých dôvodov
- Asistencia pri pohybe
- Pomoc pri rehabilitácii
- Upravovať tvar, funkciu určitej časti tela
- Opravovať držanie tela
- Korigujú/predchádzajú prílišnému zaťaženiu tela/končatín
- Pôsobia preventívne proti bolesti alebo ju zmierňujú
- Nahrádzajú stratené telesné funkcie (v prípade parézy končatiny)

Ortézy klasifikujeme podľa časti tela na ktorej sú aplikované. Poznáme miechové, ortézy na horné končatiny, ortézy dolných končatín, pohybové ortézy. Z hľadiska funkčnosti existujú fixačné, oporné, stabilizačné, korekčné, mobilizačné.

Liečba pomocou ortéz

Podľa klasickej definície môžu ortézy slúžiť na stabilizáciu, znehybnenie, či uvoľnenie tela alebo končatín. Ortézy je možné použiť aj na korekciu držania tela, či pohybu, špecializované moderné ortézy sú schopné nahrádzať aj stratené telesné funkcie (napríklad v prípade parézy končatiny). Ortézou hornej končatiny je možné liečiť choroby:

Detská mozgová obrna

Ortézou hornej končatiny sa dajú liečiť rôzne formy tohto ochorenia ako napríklad hemiplégia, pri ktorej sú postihnuté končatiny jednej strany tela, pričom závažnejšie poškodenie je v oblasti horných končatín, alebo obojstranná hemiplégia, ktorá spôsobuje ochrnutie všetkých štyroch končatín, pričom sú horné končatiny postihnuté závažnejšie, ako tie dolné.

Motorická paralýza

Delí sa na periférnu a centrálnu podľa rozsahu postihnutia. O periférnej motorickej paralýze hovoríme vtedy, keď dochádza k poškodeniu priebehu nervu po vstupe do miechy, alebo k ochoreniu nervu na mieste jeho vzniku v mieche. V tomto prípade postihnuté končatiny nevykazujú žiadne napätie. O centrálnu motorickú paralýzu sa jedná v prípade, keď sa miesto ochrnutia nachádza vyššie, v dlhých, alebo tiež pyramídových dráhach miechy (miechová obrna), alebo v samotnom mozgu (mozgová obrna). Podľa rozsahu ochorenia centrálnou motorickou paralýzou rozlišujeme monoplégiu (ochrnutie jednej končatiny), paraplégiu (ochrnutie horných alebo dolných končatín), tetraplégiu (ochrnutie všetkých končatín) alebo hemiplégiu (ochrnutie jednej strany tela).

Osteoporóza

Pri tomto ochorení sa jedná o rednutie kostí v rozsahu celej kostry, pričom môžu byť špecifické oblasti zasiahnuté vo väčšej miere. Dochádza k zvyšovaniu pórovitosti kostí, čo má za následok zvyšujúce sa riziko zlomenín.

Nestabilita ramena

Toto ochorenie môže byť spôsobené nadmerným natiahnutím väzivových štruktúr kĺbového puzdra, poruchou funkcie svalstva, no inokedy môžu byť príčinou aj traumatické a pooperačné stavy. Nestabilita ramena často postihuje kĺb, ktorý spája ramennú kosť s vonkajším okrajom lopatky. V najzávažnejších prípadoch však môže byť postihnutý celý ramenný pletenec. Nestabilita môže viesť až k vykĺbeniu (luxácii) ramena.

Cievna mozgová príhoda

Vyskytuje sa v dvoch základných zdravotných problémoch a to v nedokrvení mozgu, v dôsledku upchania mozgovej cievy krvnou zrazeninou, alebo v krvácaní do mozgu v dôsledku prasknutia cievy spôsobenom nadmerne vysokým krvným tlakom. Hoci je mechanizmus poškodenia mozgu v oboch prípadoch odlišný, následky sú veľmi podobné. Cievna mozgová príhoda môže poškodiť rôzne centrá mozgu, čo môže mať rôzne následky. Ak je poškodená pravá strana mozgového centra, postihnutá je zvyčajne ľavá horná a dolná končatina a naopak.

Tenisový (golfový) lakeť

Je spôsobený preťažením svalstva predlaktia. Jeho spúšťačom je častokrát nesprávna technika pri raketových športoch (tenis, bedminton), jednostranná záťaž pri používaní počítačovej klávesnice a myši, alebo nesprávne držanie tela.

Artróza

Opotrebovanie zápästia, ktoré vzniká opotrebovaním chrupavky, ktorá pokrýva povrchy kĺbu, pričom postupne dochádza k poškodeniu chrupavky a neskôr až k poškodeniu kostí, ktoré je sprevádzané bolestivou deformáciou a tuhnutím zápästia. Medzi príčiny vedúce k príznakom artrózy zápästia môže patriť nadmerné namáhanie kĺbu, nesprávne držanie kĺbu alebo aj predchádzajúce zranenie.

Reumatoidná artritída

Je to autoimunitné ochorenie, ktoré sa prejavuje zápalmi kĺbov, teda aj zápästia. Tento zápal sa rýchlo rozširuje do kostí, chrupavky a väzov. Reumatoidná artritída väčšinou prichádza vo fázach, medzi ktorými bolesť ustupuje. Počas akútnej fázy dochádza k opuchu zápästia, jeho prehrievaniu a často aj začervenaniu. Objavuje sa aj ranná kĺbová stuhnutosť, obmedzenie pohyblivosti a iné symptómy.

Nadmerné zaťažovanie

V dôsledku nadmerného zaťažovania môže častokrát dôjsť k podráždeniu či zápalu kĺbu. Najčastejšou príčinou býva prehnané namáhanie kĺbu. Medzi symptómy sa radí začervenanie, opuch a bolesť v stave pokoja aj pri pohybe. V niektorých prípadoch môže dokonca dôjsť k zápalu šľachovej pošvy.

Nestabilita

Je spôsobená nadmerným zaťažovaním a oslabením väziva. Toto ochorenie sa väčšinou prejavuje u žien v podobe bolesti vystreľujúcej zo zápästia do predlaktia.

Syndróm karpálneho tunela

Jedná sa o opuch tkanív v dôsledku zápalu, alebo nadmerného preťažovania, ktoré spôsobuje stlačenie nervov prechádzajúcich karpálnym tunelom.

Podvrtnutie (distorzia)

Toto zranenie býva často zapríčinené pôsobením nepriamej sily, čo má za následok natiahnutie väzivových a puzdrových systémov.

Tenosynovitída

Jedná sa o zápal šľachy, alebo šľachovej pošvy. Medzi najbežnejšie príčiny patrí nadmerné zaťažovania pri opakovaných pohyboch, ale aj drobné zranenia (mikrotraumy).

Výroba ortéz

Zatiaľ najpokrokovejšou technológiou využívanou pri výrobe ortéz na Slovensku je CAD/CAM (Computer-Aided Design= počítačom podporované dizajnovanie, Computer-Aided Modelling= počítačom podporované modelovanie).

Najskôr je potrebné odobrať pacientovi miery. Dá sa to urobiť dvojakým spôsobom.

Sadrovanie

Najrozšírenejší spôsob odoberania mier je sadrovanie. Časť tela (končatina,...) sa obalí sadrovými obväzmi a nechá sa zaschnúť. Neskôr sa tento sadrový negatív odstráni a na základe neho sa vyrobí sadrový pozitív, ktorý je presnou kópiou končatiny pacienta, ktorá sa použije pri výrobe ortézy.

Skenovanie

Potrebná časť tela sa oskenuje skenerom. Vznikne 3D model končatiny ktorý sa preniesie do riadiacej jednotky CNC frézy. Výstupom tejto práce je tiež presný model pacientovej končatiny vyrobený z polyuretánu.

Výroba

Podľa typu ortézy sa na model končatiny naniesie plast. Plast je tvarovateľný, pretože sa najprv zohreje v peci. Odborník s použitím plastu a laminačného materiálu vytvára ortézu presne na miery pacienta. Pacienti si môžu vybrať z rôznych farebných prevedení, potlačí, vzorov a materiálov (laminát, polyetylén,...), podľa toho, na čo je ortéza určená.

Aditívne technológie

„Aditívnymi technológiami sa správne nazývajú všetky technológie, ktoré tvoria 3D objekty pridávaním vrstvy na vrstvu materiálu, či už je materiálom plast, kov, betón alebo jedného dňa....ľudské tkanivo. (preložené autorom)“[1] Využívajú pritom 3D modelingový softvér CAD a zariadenie nazývané aj 3D tlačiareň. Existujú rôzne typy aditívnych technológií, my sme použili technológiu FDM.

FDM (Fused Deposition Modelling)

V FDM je 3D objekt je skladaný vrstva za vrstvou z roztopeného materiálu. Využívajú sa hlavne termoplasty (polyméry, ktoré pôsobením tepla menia svoje skupenstvo na kvapalné), ktoré vstupujú do procesu vo forme vlákien.

„Cievka tohto polymérového vlákna je vložená do tlačiarne. Keď sa tryska nahreje na požadovanú teplotu, polymérové vlákno vstúpi do hlavice a odtiaľ do trysky, kde sa roztopí.

Trojosový systém ku ktorému je hlavica pripojená, umožňuje pohyb hlavice v troch smeroch X,Y a Z. Roztopený materiál je vytlačený na podložku a ukladany vrstva za vrstvou v predom určenej polohe a tvare. Ochladenie materiálu môže byť urýchlené vetrákmi. (preložené autorom)“[4]

Tento proces sa opakuje dovtedy, dokiaľ stroj neuloží poslednú vrstvu objektu. Materiál, ktorý sme použili na výrobu našej ortézy sa nazýva ABS plast.

ABS plasty

Akrylonitrilbutadiénstyren je amorfný, termoplastický kopolymér, ktorý je odolný voči mechanickému poškodeniu. Tuhý, húževnatý, podľa typu odolný voči vysokým a nadmerne nízkym teplotám a je životne nezávadný. Odolný voči kyselinám, liehom, uhl'ovodíkom, tukom a olejom. Jeho štruktúra vrstvenia materiálu je veľmi jemná ale je nevhodný na komplexné modely so zložitou štruktúrou a jemnými detailami. .

Materiál a Metodika

Skenovanie

Osobu sme skenovali skenerom Artec Eva. Metodika práce s týmto prístrojom zahŕňa kroky ako príprava prostredia, príprava prostredia a objektu, metodika snímania a iné.

Príprava prostredia a okolia

„Pojmy prostredie a okolie rozlične charakterizujú dve definície. Prostredie je definované ako priestor celej miestnosti a okolie ako bezprostredná blízkosť snímanej osoby.“ [3]

Teplota

V miestnosti kde skenujeme musí byť zabezpečená stála teplota klimatizáciou, ktorá by sa mala pohybovať v rozmedzí 18°C-25°C. Teplota prostredia v značnej miere ovplyvňuje telesné funkcie. Pri nízkej teplote by mohlo dôjsť k mimovoľnému traseniu skenovaného objektu alebo naopak pri vyššej teplote dochádza k poteniu, ktoré negatívne ovplyvňuje kvalitu skenovania.

Prítomnosť svetla

Miestnosť sme zatemnili aby sme sa vyhli znehodnoteniu výsledkov slnečnými lúčmi a zabezpečili sme prítomnosť umelého osvetlenia. Osvetlenie by malo byť v rozmedzí 30-50 luxov

Ďalšie faktory

„Na samotný zosnímaný model môže vplývať aj hluk v miestnosti. Táto hodnota by mala dosahovať maximálne 50 dB, aby sa subjekt mohol sústrediť.“ [3]

Pri práci so skenerom Artec Eva sme zaujali postoj vo vzdialenosti 1 meter od skenovanej osoby. Z tohto dôvodu je odporúčané aby proces skenovania prebiehal v miestnosti o veľkosti minimálne 2x2 metre.

Príprava skenera

Príprava skenera nie je náročná. V prvom rade sme si zapli počítač a potom sme zapojili napájací kábel s batériou do zásuvky. Následne sme USB portom zapojili skener do počítača. Skener nie je nutné kalibrovať ani meniť šošovku. Skener je pripravený na používanie. Taktiež, nie je potrebná prítomnosť statívu, pretože pri skenovaní sa so skenerom manipuluje.

Príprava skenovaného subjektu

V prvom rade sme skenovaný subjekt oboznámili s postupom skenovania. „*Dôležitou časťou tejto metodiky je získanie informácií o subjekte, ako je pohlavie, hmotnosť, vek a rôzne ochorenia, ktoré by mali nežiadúci účinok pri skenovaní. Tieto informácie sú potrebné za účelom štatistického spracovania.*“ [3]

Keďže sa skenujú časti tela je potrebné aby subjekt na sebe nemal tmavé alebo lesklé oblečenie, ktoré by mohlo prekážať pri procese skenovania. Najlepšie sa však skenuje nahé telo.

Aby sa zabezpečila stabilita subjektu je potrebné, ak je to možné, posadiť subjekt na stoličku alebo ho nejako podprieť, hlavne ak ide o starších pacientov alebo deti. Skenovali sme nad vhodnou podložkou aby si ju mohol skener použiť ako záchytný bod.

Postup snímania

Subjekt sme si napoložovali do správnej polohy a začali sme snímať. Je potrebné vybrať správny postoj, pretože v niektorých prípadoch je nutné skenovať celý subjekt z každej strany. „*Dialkový merač nám znázorňuje pracovnú plochu, vid' obr. 1 A, ktorá sa nachádza v rozsahu od 400 do 1000 mm, pričom odporúčaná vzdialenosť skenera od skenovaného objektu je cca 600 až 700 mm. Objekt by sa mal udržať čo najbližšie k stredu zorného poľa.*“ [3] (pozri Príloha A.2, Príloha A.3)

Rýchle pohyby nám môžu tiež spôsobiť problémy pri skenovaní. Počas celého procesu je odporúčané pozorne sledovať obrazovku počítača na ktorej, sa nám prípade chyby zobrazí varovanie.

Vytváranie 3D objektov

Informácie získané 3D skenovacími systémami sú obvykle vo forme mračna bodov alebo polygonovej siete. Väčšina 3D skenovacích systémov však nevytvára finálny kompletný 3D model, ale skôr obsiahly súbor surových dát, ktoré je nutné následne spracovať. (pozri Príloha A.4, Príloha A.5)

„*Dôležitým prvkom pri tvorbe modelov je autopilot, čo je komplexný režim, ktorý analyzuje získané dáta, čoho výsledkom je vybudovanie čo najlepšieho možného výstupu. Príslušný režim nevyžaduje žiadnu znalosť algoritmov, pracovného postupu alebo jednotlivých nastavení.*“ [3] Takto vytvorený sken hornej končatiny sme si uložili s príponou .stl, ktorá je ľahko rozoznatelná pre väčšinu systémov.

Návrh ortézy

Softvér

Existuje mnoho rôznych softvérov ktoré sú používané na tvorbu objektov pre 3D tlačiarne. My sme si vybrali Meshmixer, hlavne kvôli jeho dostupnosti a ľahkej manipulácii. Tento softvér pracuje na princípe rozdelenia objektu trojuholníkovou sieťou. Používa sa na očistenie skenov, 3D formovanie, dizajnovanie povrchov, analýzu stability 3D objektov a ponúka aj mnoho ďalších nástrojov.

Proces návrhu ortézy

Najprv sme si naše návrhy nakreslili ručne na papier. Urobili sme viacero rôznych návrhov a napokon sme si vybrali ten, ktorý sa nám páčil a navrhli sme ho v programe Meshmixer. Sken ruky sme importovali a upravili. Keďže softvér spracúvajúci skenovaný objekt má tendenciu uzatvoriť ho, museli sme niektoré časti vymazať, aby sme zjednodušili prístup k samotnému obrazu hornej končatiny (použili sme funkciu clean cut, unwrap brush, edit a discard)(pozri Príloha A.6, Príloha A.7).

Na povrch končatiny s odstupom 1,5 milimetra sme namodelovali ortézu, ktorá siahala od lakťa až po záprstnú časť dlane (s použitím funkcie unwrap brush, clean boundary a offset). Sken ruky sme vymazali pomocou funkcie inwrap brush, edit a discard. Neskôr sme dizajn upravovali ale zároveň dbali na to, aby ortéza nestratila svoju funkčnosť. (pozri Príloha A.8, Príloha A.9, Príloha A.10, Príloha A.11, Príloha A.12, Príloha A.13, Príloha A.14, Príloha A.15, Príloha A.16, Príloha A.17, Príloha A.18)

Tlač

Na Technickej univerzite nám poskytli nielen konzultácie ale aj možnosť vytlačiť si našu ortézu. Majú k dispozícii rôzne 3D tlačiarne my sme však na tlač našej ortézy, použili 3D tlačiareň Fortus 450 mc Systém Fortus využíva termoplasty na vytvorenie prototypov alebo funkčných výrobkov s vylepšenými mechanickými vlastnosťami a vyššou odolnosťou voči teplu a chemickým látkam. Fortus neprodukuje žiadne škodlivé výpary, chemikálie alebo odpadové látky. (pozri Príloha A.1)

Na tlač sme použili materiál ABS M30. Je to amorfny, termoplastický priemyslový polymér, ktorý je odolný voči mechanickému poškodeniu, vysokým aj nízkym teplotám, olejom, tukom, kyselinám, uhl'ovodíkom a je zdravotne nezávadný a veľmi ľahko opracovateľný. Keďže tlačiareň Fortus tlačí pomocou technológie FDM, okrem materiálu ABS M30 sme taktiež použili SR 30 ako podporný materiál. Spotrebovali sme 13,814 cm³ ABS M30 a 9,883 cm³ SR 30. Dĺžka tlače ortézy aj s podporným materiálom bola 17 hodín a 31 minút.(pozri Príloha B.1, Príloha B.2, Príloha B.3, Príloha B.4, Príloha B.5)

Ďalšie úpravy

Po vytlačení ortézy sme odstránili podporný materiál s pomocou pilníka a brúsky. Po tom ako si pacient vyskúšal či mu ortéza, sedí sme opravili prípadné nedokonalosti a nerovnosti povrchu. Ortéza bola pripravená na používanie. (pozri Príloha C.1, Príloha C.2, Príloha C.3, Príloha C.4)

Záver a výsledky

Na začiatku našej práce sme si stanovili, ciele ktoré sme chceli splniť. Podrobne sme popísali všetky kroky, materiály, prístroje ktoré sú potrebné na dosiahnutie pozitívneho výsledku práce.

Chceli sme poukázať na výhody výroby ortetických pomôcok aditívnymi technológiami. Ak porovnáme technológiu ktorá sa používa na výrobu ortéz najčastejšie a aditívne technológie, musíme konštatovať, že klady 3D tlače prevažujú.

3D tlač je časovo menej náročná, ak sa na odoberanie mier použije skener čas potrebný na vytvorenie návrhu sa skráti ešte viac. Nielen že je to časovo menej náročné je to aj ekologickejšie (nepoužitý materiál sa dá použiť znova, pri SLS nevzniká takmer žiadny odpadový materiál), presné a ekonomicky výhodnejšie (pre pacienta a aj pre výrobcu).

Navrhli sme ortézu, ktorú pacient môže nosiť nielen pri športe ale aj počas bežného dňa. Napriek tomu, že ortéza pôsobí elegantne, skôr ako doplnok a nie ako zdravotnícka pomôcka, nestráca na svojej funkčnosti. Podľa nášho názoru pacienti uprednostnia zdravotnícku pomôcku s minimalistickejším dizajnom a zaujímavým prevedením, pred bežnou klasickou ortézou.

Dizajnové ortézy na mieru sa nemusia vyrábať len ručne. Je oveľa jednoduchšie použiť softvér na navrhovanie a tlačiareň na tlač ortézy.

Na Slovensku sa však táto technológia využíva len minimálne. Náš návrh by mohol spropagovať a oboznámiť spoločnosť s takýmto spôsobom výroby zdravotníckych pomôcok. Nehovoríme len o ortézach, 3D tlačou sa dajú vyrábať protézy, náhrady kostí a rôzne iné implantáty. Myslíme si že 3D tlač je budúcnosť nášho zdravotníctva len na to treba ľudí upovedomiť a vysvetliť im výhody aditívnych technológií.

Okrem toho, že naša ortéza má urobiť reklamu aditívnym technológiám, pacientka ju aktívne používa pri svojej liečbe.

V budúcnosti je možné ortézy zhotovené aditívnymi technológiami obohatiť o mnoho prvkov. Jedným z nich sú mikrosenzory, ktoré by mohli byť použité k meraniu krvného tlaku, teploty tela, tepu, k výpočtu záťaže ortézy na ruku. Ortézy tohto typu by boli vhodné najmä pre športovcov, ktorým by boli posielané informácie z ortézy do aplikácie v mobilnom telefóne a boli by tak neustále informovaní o svojom zdravotnom stave.

K takémuto vylepšenému typu ortézy by bolo tiež potrebné vyvinutie mobilnej aplikácie. Tá by mala za úlohu zhromažďovanie a spracovávanie informácií zaznamenaných pomocou mikrosenzorov umiestnených v ortéze. Ďalšou úlohou by bolo následné informovanie používateľa podaním prehľadu zdravotných informácií v pre neho zrozumiteľnom jazyku.

Zoznam citovanej literatúry

- [1] Additive manufacturing. What is Additive manufacturing?. Citované 3.11.2018.
Dostupné z <http://additivemanufacturing.com/basics/>
- [2] Aguado Pérez, Judit. 3D printed orthosis design. [online] Publikované 27.6.2018.[citované 3.11.2018].Dostupné z <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/104704/AGUADO%20-%20Diseño%20de%20órtesis%20en%20impresión%203D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [3] Jura, Michal. Metóda používania skenera v protetike a ortetike:bakalárska práca. Košice:Technická univerzita, 2018.
- [4] Varotsis, Alkaios Bournias. Introduction to FDM 3D printing. [online] Publikované 2018.[citované 4.11.2018]. Dostupné z <<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing#author>>

Prílohy

Prílohy A

Príloha A.1



Tlačiareň Fortus 450mc

Príloha A.2



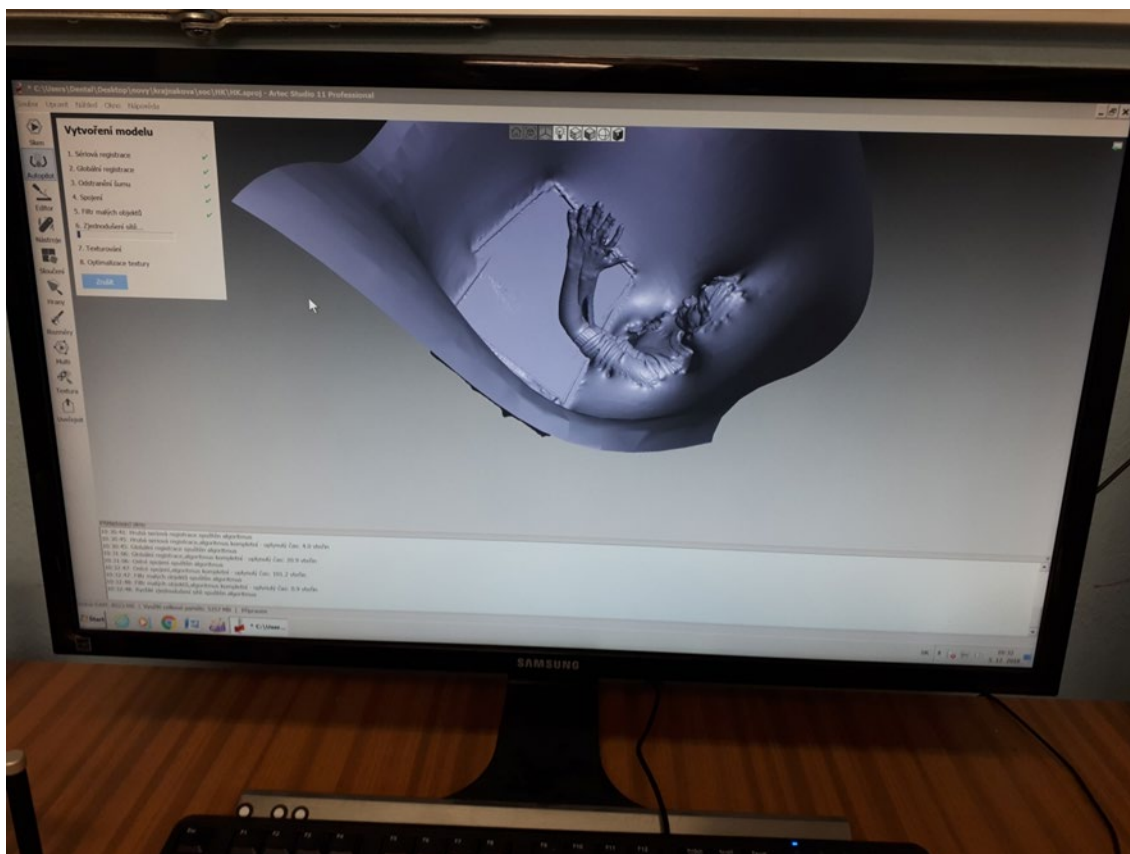
Postup skenovania

Príloha A.3



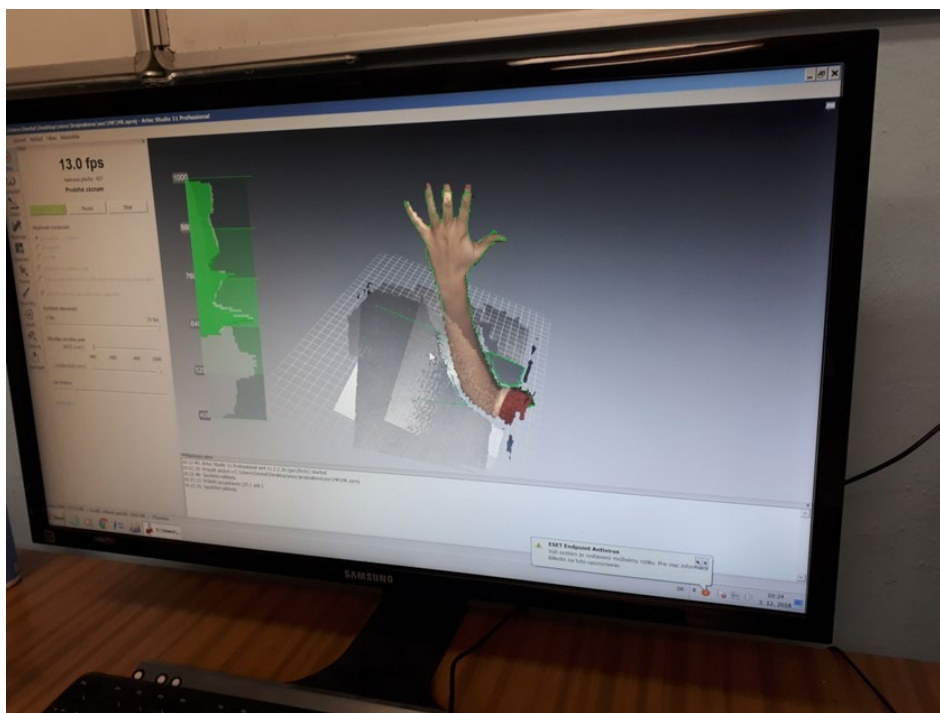
Postup skenovania

Príloha A.4



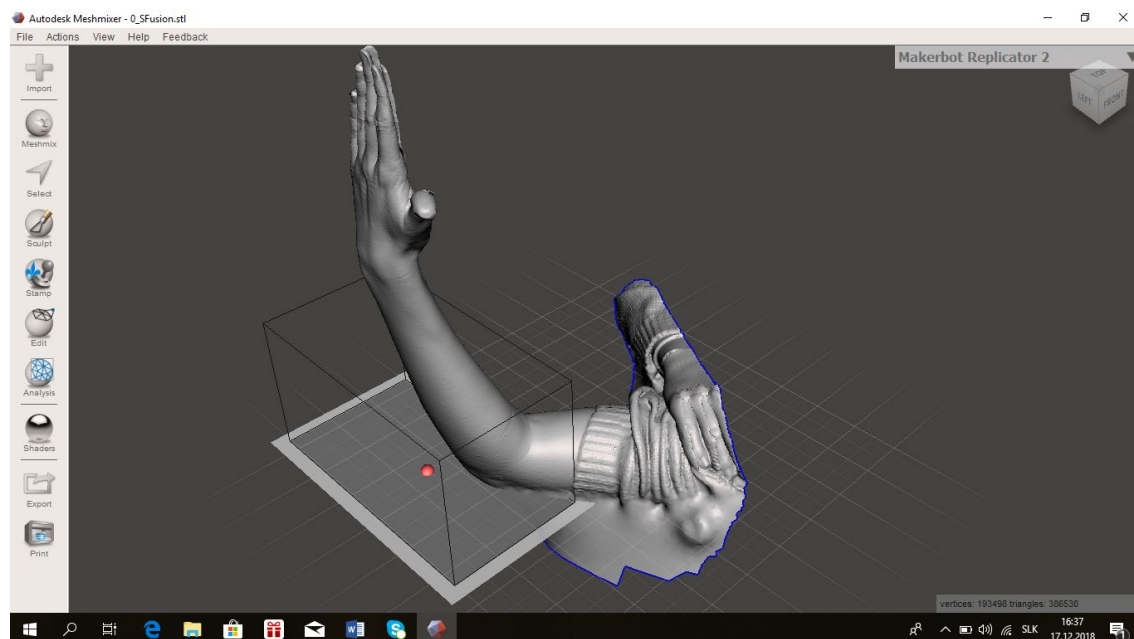
Hotový sken

Príloha A.5



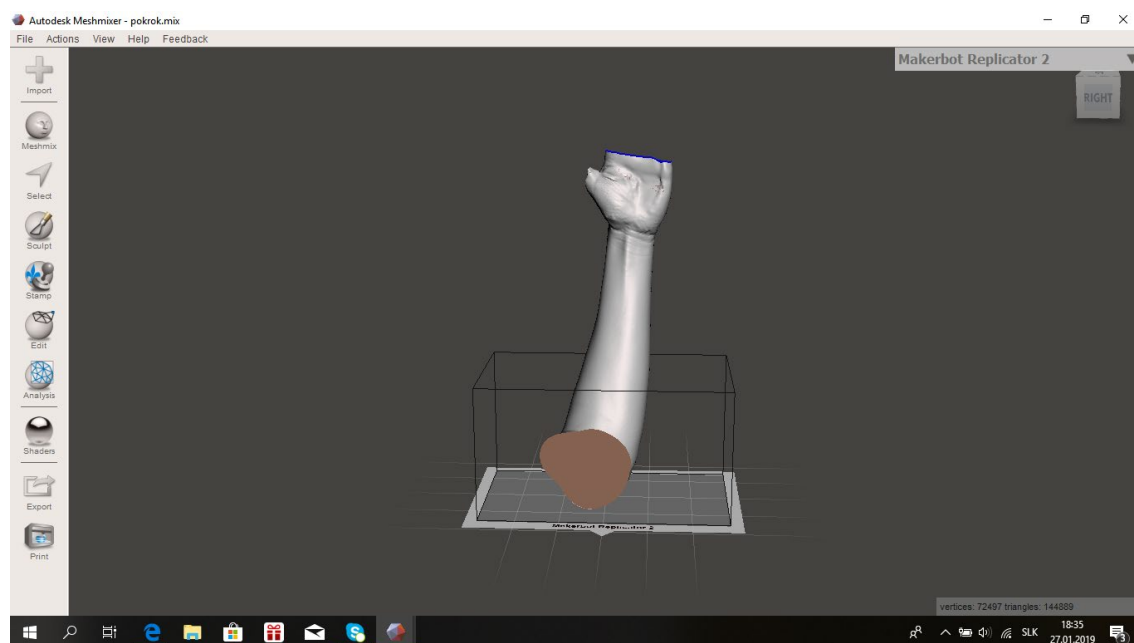
Proces úpravy skenu

Príloha A.6



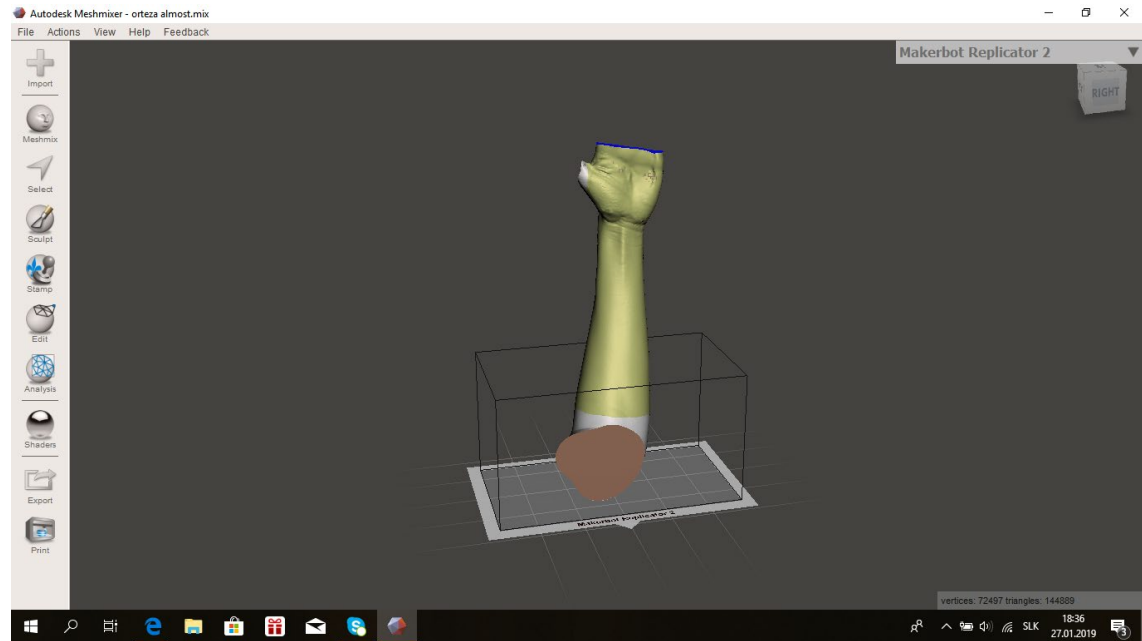
Príprava skenu na tvorbu návrhu v programe Meshmixer

Príloha A.7



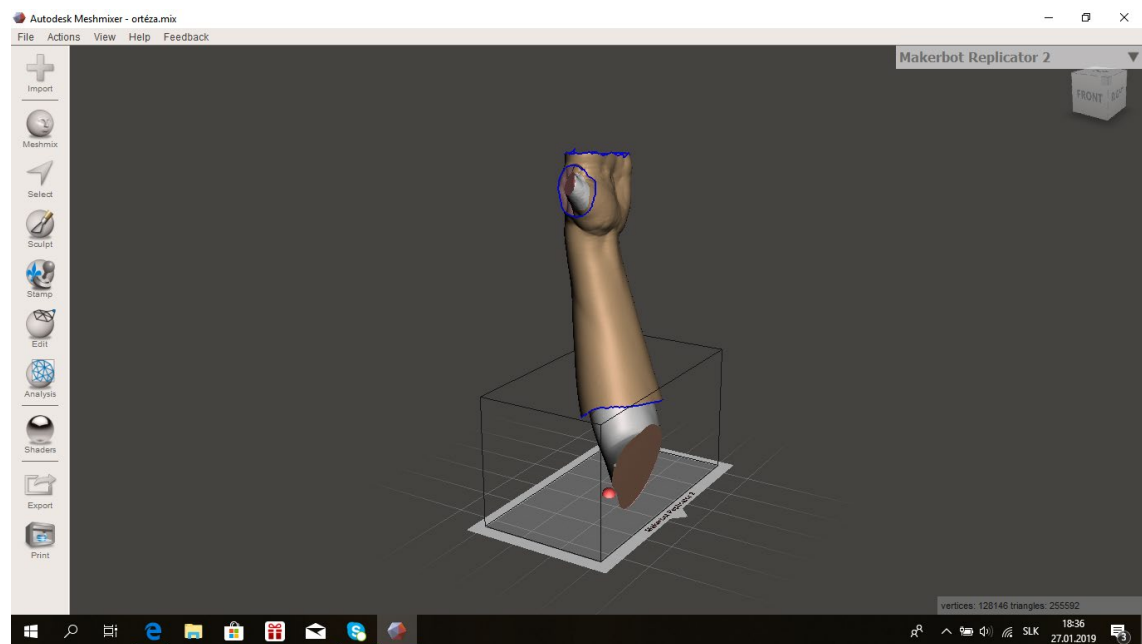
Prípravený sken na proces tvorby ortézy

Príloha A.8



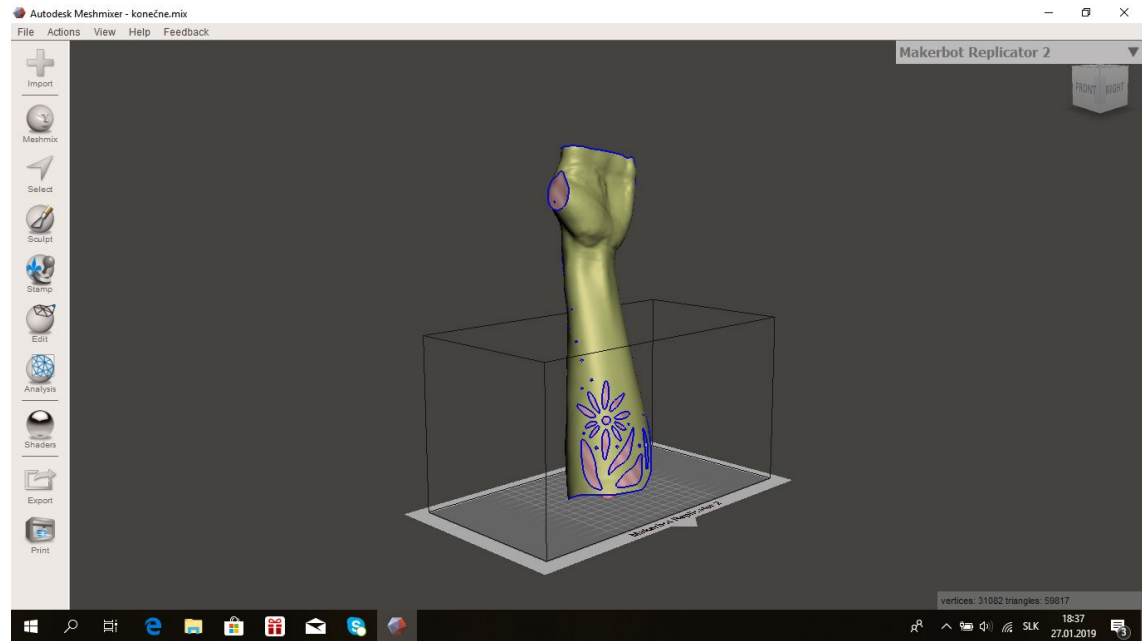
Označená časť ruky, kde bude ortéza

Príloha A.9



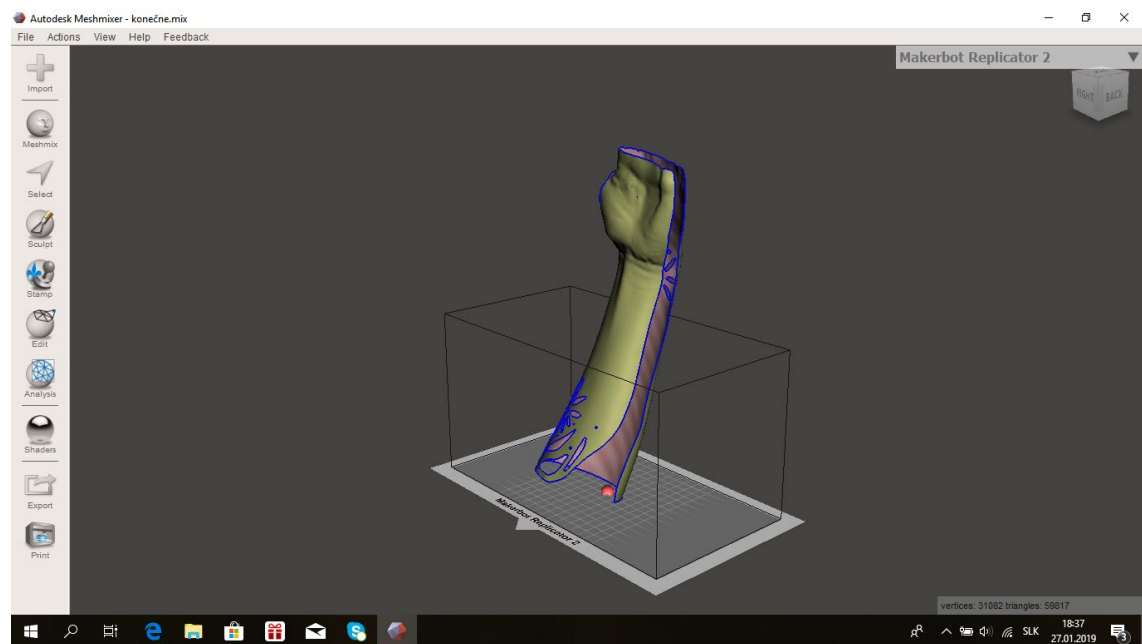
Ortéza s odstupom od ruky

Príloha A.10



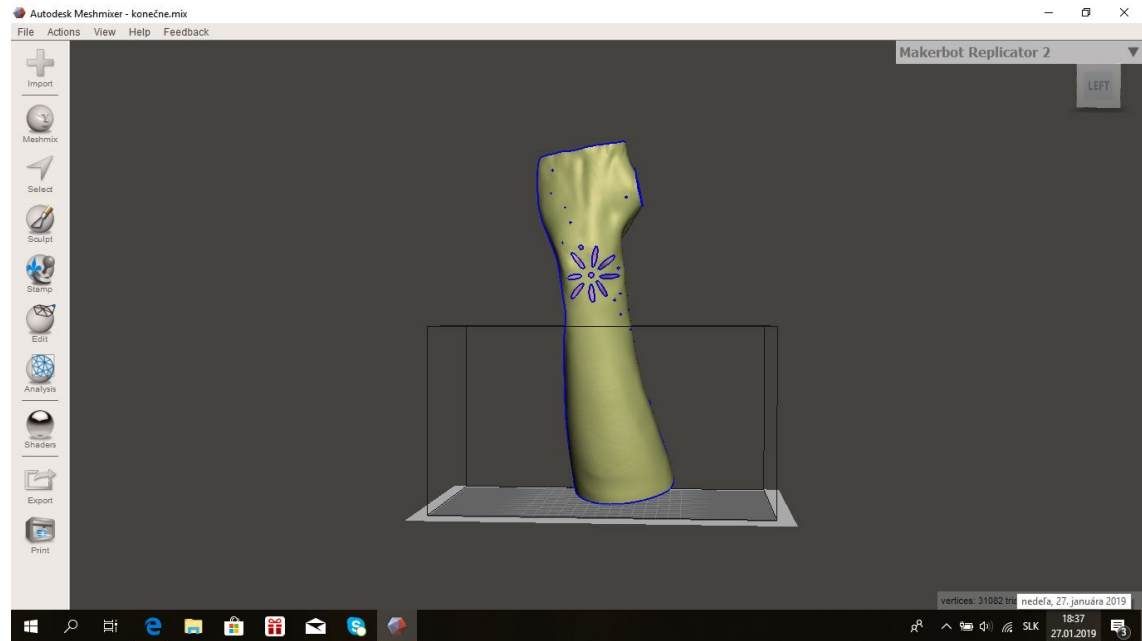
Samotná ortéza, proces tvorby dizajnových prvkov

Príloha A.11



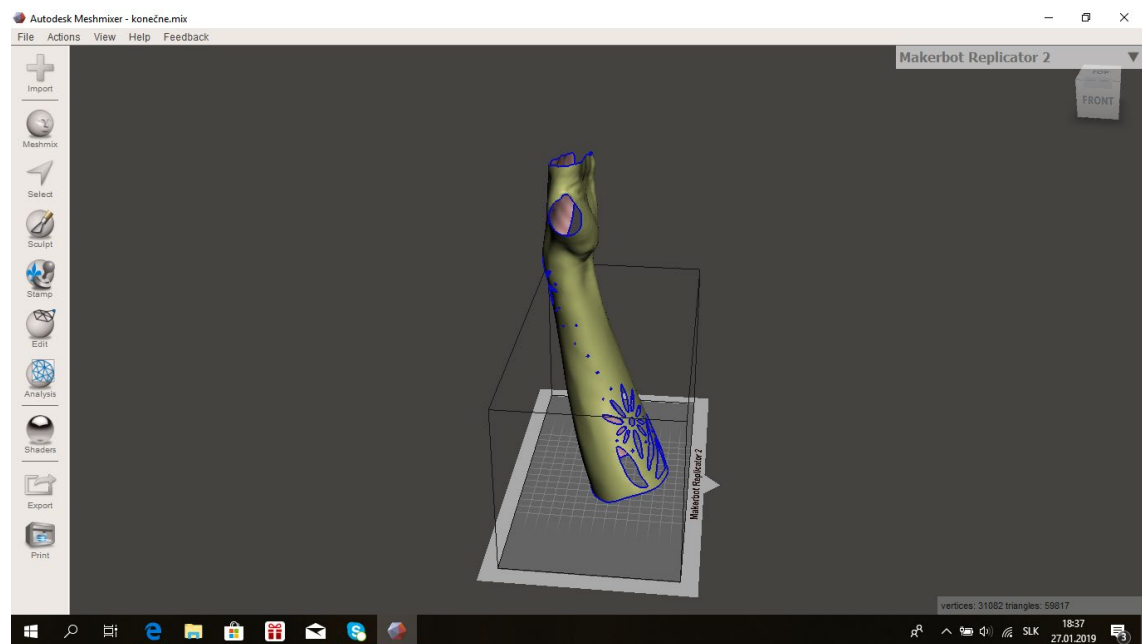
Samotná ortéza, proces tvorby dizajnových prvkov

Príloha A.12



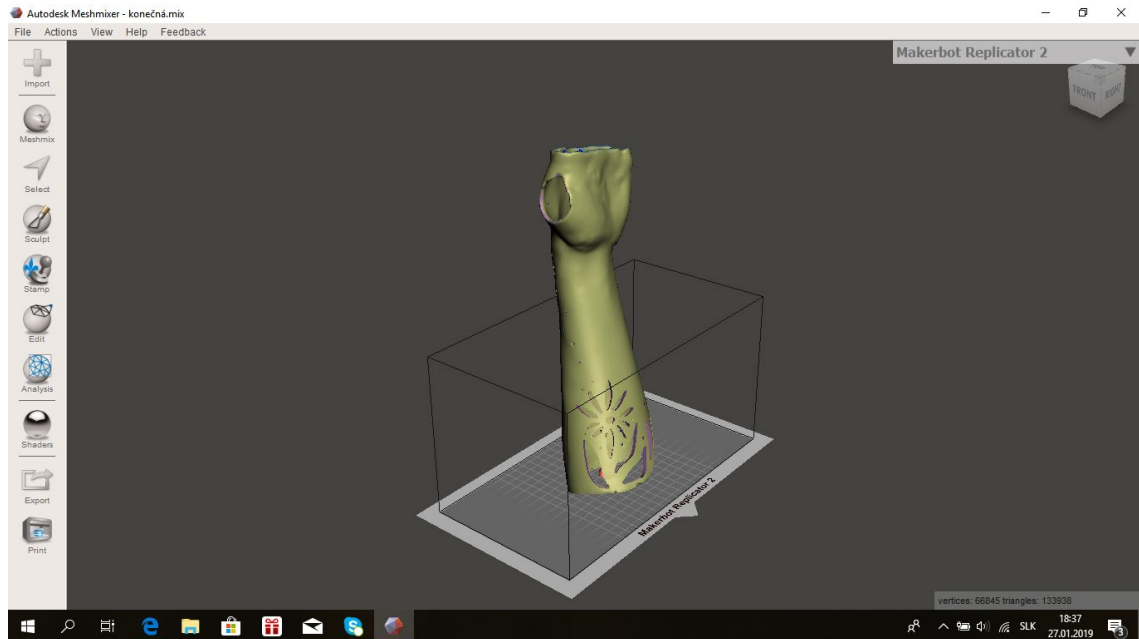
Samotná ortéza, proces tvorby dizajnových prvkov

Príloha A.13



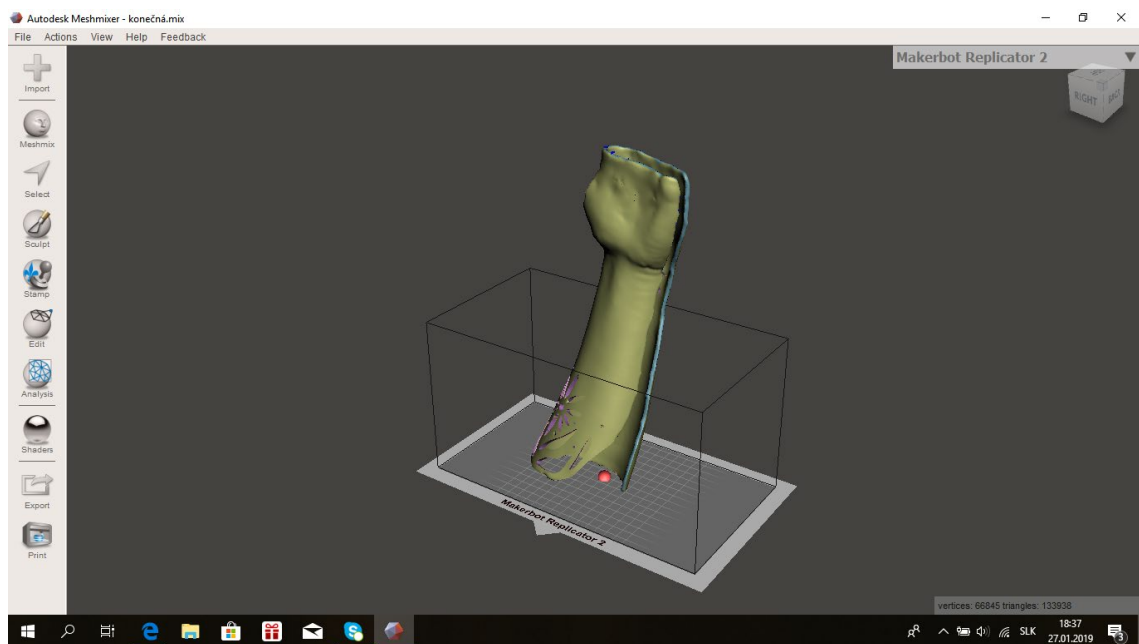
Samotná ortéza, proces tvorby dizajnových prvkov

Príloha A.14



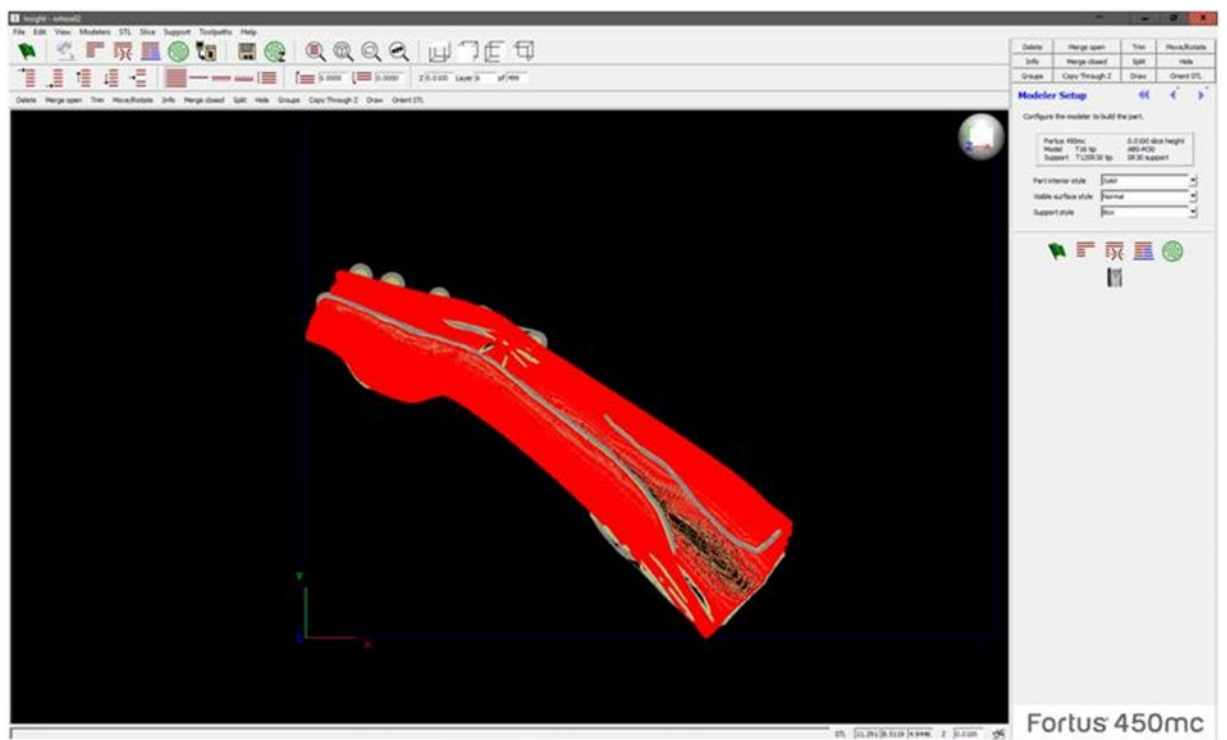
Ortéza nadobudla svoju hrúbku

Príloha A.15



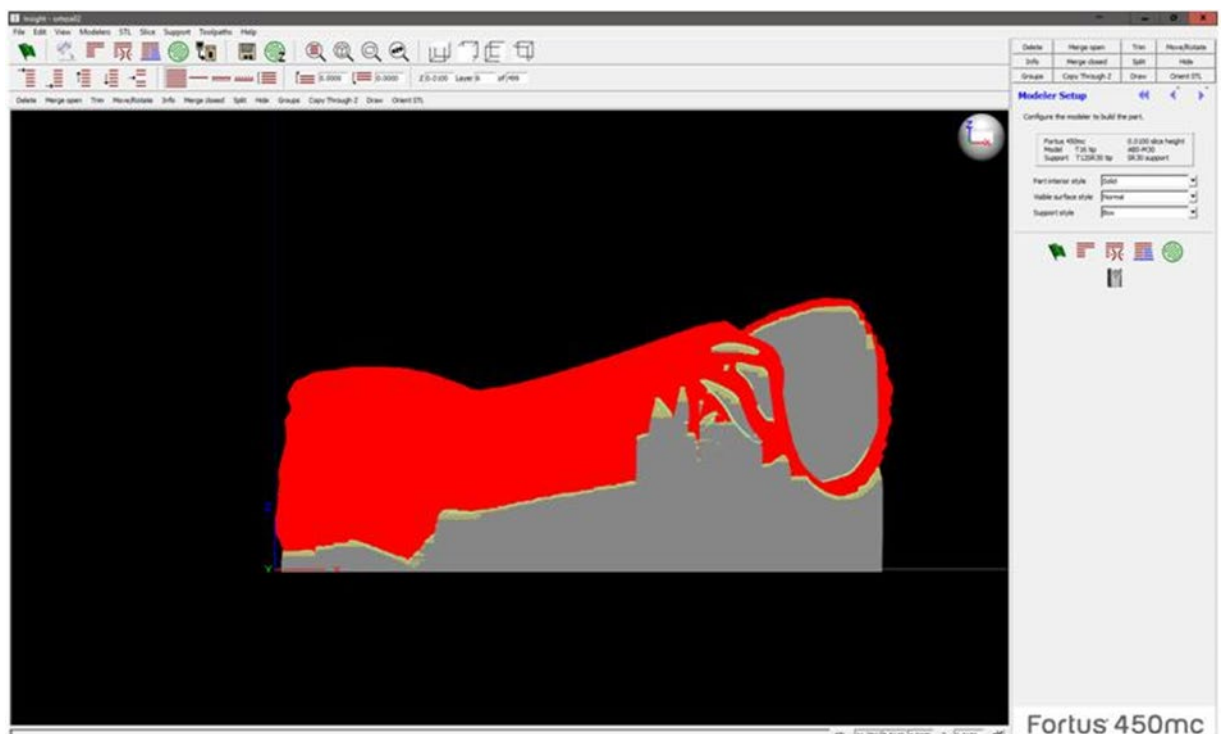
Ortéza nadobudla svoju hrúbku, proces odstraňovania zbytočného materiálu a vyhladzovanie povrchu

Príloha A.16



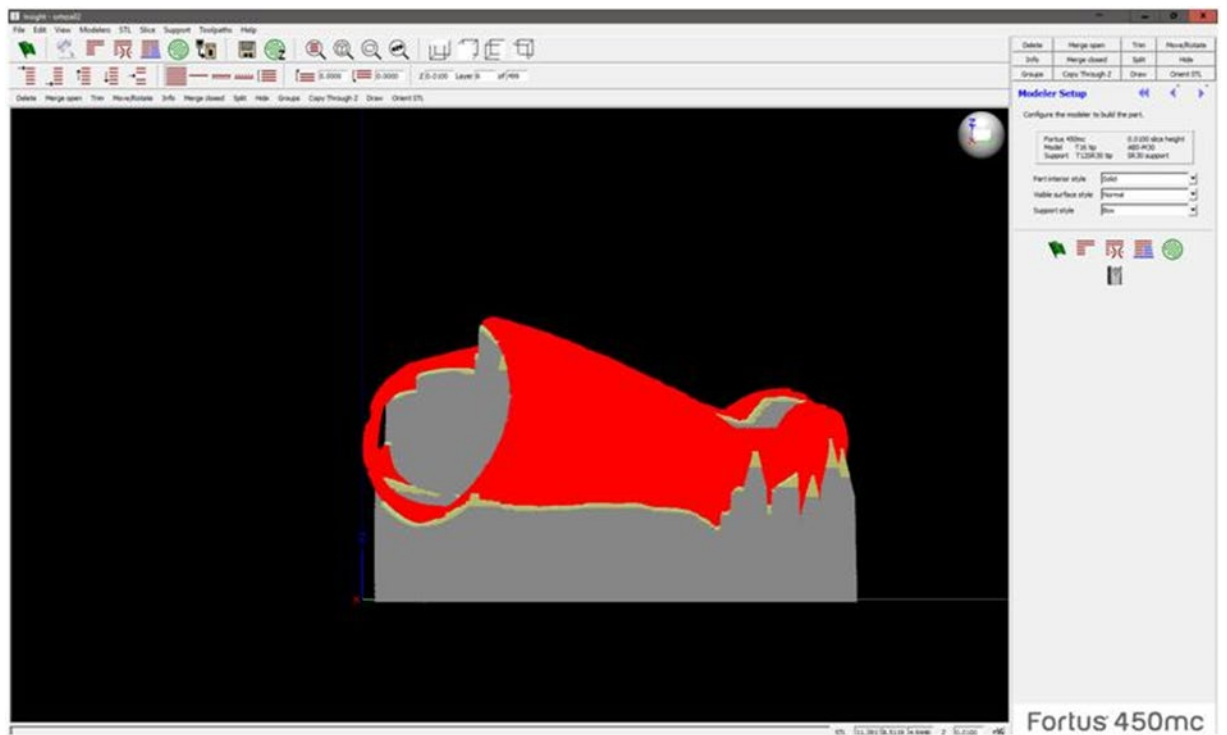
Ortéra tesne pred tlačou

Príloha A.17



Ortéra tesne pred tlačou aj s podporným materiálom

Príloha A.18



Ortéza tesne pred tlačou aj s podporným materiálom

Prílohy B

Príloha B.1



Ortéra s podporným materiálom

Príloha B.2



Ortéra s podporným materiálom

Príloha B.3



Ortéra s podporným materiálom

Príloha B.4



Ortéza s podporným materiálom

Príloha B.5



Ortéza s podporným materiálom

Prílohy C

Príloha C.1



Ortéza bez oporného materiálu

Príloha C.2



Ortéza bez oporného materiálu

Príloha C.3



Ortéza bez oporného materiálu



Ortéza bez oporného materiálu