

3D tisak ojačanja za palac i kažiprst za osobe u invalidskim kolicima

Turčin, Marija Magdalena

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Textile Technology / Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:201:240840>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-15**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Textile Technology University of Zagreb - Digital Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

**3D tisak ojačanja za palac i kažiprst za osobe u
invalidskim kolicima**

Marija Magdalena Turčin

Zagreb, rujan 2022.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**

Zavod za odjevnu tehnologiju

DIPLOMSKI RAD

3D tisak ojačanja za palac i kažiprst za osobe u invalidskim kolicima

Izv.prof.dr.sc. Slavica Bogović

Marija Magdalena Turčin

Mat. Br. 10286/TTI

Zagreb, rujan 2022

Zavod u kojem je rad izrađen:

Sveučilište u Zagrebu,
Tekstilno-tehnološki fakultet,
Zavod za odjevnu tehnologiju

Broj stranica: 49

Broj slika: 45

Broj tablica: 4

Broj literaturnih izvora: 32

Članovi povjerenstva:

Prof.dr.sc. Ana Sutlović, predsjednica,
Izv.prof.dr.sc. Slavica Bogović, članica,
Izv.prof.dr.sc. Renata Hrženjak, članica,
Doc. dr. sc. Snježana Brnada, zamjenica člana.

Datum obrane: 9.9.2022.

SAŽETAK

Izrada i proizvodnja raznih ojačanja i pomagala olakšana je napretkom tehnologije. Nove tehnologije olakšavaju oblikovanje rukavica i ojačanja za prste za osobe u invalidskim kolicima. Osobama u invalidskim kolicima ojačanja za palac i kažiprst na rukavicama olakšavaju kretanju, te ih štite od ozljeda koje mogu nastati uslijed trenja kotača invalidskih kolica. Kako bi se izradile funkcionalna ojačanja potrebno je proučiti oblik i veličinu ruke. U radu je prikazana konstrukcija i modeliranje ojačanja za palac i kažiprst. Pomoću 3D skenera digitalizirane su ruke muške osobe na temelju kojih su rađena ojačanja. Cijeli proces zatvaranja modela ruke te konstrukcije i modeliranja ojačanja provodi se pomoću računalnih programa MashLab i Blender, a ojačanja su 3D tiskana Creality 10 MAX tiskalom.

Ključne riječi: Osobe u invalidskim kolicima, 3D skeniranje, 3D modeliranje, 3D tisak, ojačanja, PLA, TPU

SADRŽAJ

1. UVOD

2. TEORIJSKI DIO

- 2.1. Invaliditet i osobe u invalidskim kolicima
- 2.2. Rukavice i ojačanja za osobe u invalidskim kolicima
- 2.3. 3D skener
- 2.4. 3D skener za šake i stopala
- 2.5. Povijest razvoja 3D tiska
- 2.6. 3D tisak
 - 2.6.1. Lom tehnologija 3D tiska
 - 2.6.2. Stereolitografija (Sla)
 - 2.6.3. FDM (Fused deposition modeling) ili FFF (Fused filament fabrication) tehnologija
 - 2.6.4. Pisači Kartezijevog koordinatnog sustava
 - 2.6.5. Delta 3D pisači
 - 2.6.6. Polar 3D pisači
 - 2.6.7. 3D pisači s robotskom rukom
- 2.7. Materijali za 3D tisak
 - 2.7.1. PLA filament (Polylactic acid)
 - 2.7.2. ABS filament (Acrylonitrile butadiene styrene)
 - 2.7.3. PVA filament (Polyvinyl alcohol)
 - 2.7.4. PA filament (Polymide - nylon)
 - 2.7.5. ASA filament (Acrylic styrene acrylonitrile)
 - 2.7.6. PEEK filament (Polietereterketon) i PEI filament (Polieterimid)
 - 2.7.7. TPU filament (Thermoplastic polyurethane)

3. EKSPERIMENTALNI DIO

- 3.1. Skeniranje ruke
- 3.2. Obrada skeniranog modela ruke
- 3.3. Izrada predloška po kojem se izrađuju ojačanja
- 3.4. Izrada ojačanja u računalnom programu Blender
- 3.5. Priprema za 3D tisak
- 3.6. 3D tiskanje ojačanja

4. REZULTATI I RASPRAVA

5. ZAKLJUČAK

6. LITERATURA

1. UVOD

U ovom je radu prikazan cijeli postupak izrade ojačanja za palac i kažiprst za osobe u invalidskim kolicima. Osobe u invalidskim kolicima koriste ruke za pokretanje, zaustavljanje i okretanje. Kod navedenih radnji korisnici mogu ozlijediti ruke. Stoga ojačanja moraju biti tako izrađena da pruže potrebnu zaštitu. Ojačanja trebaju osigurati dobro prisanjanje i odgovarajuću potporu, smanjiti napetost, umanjiti moguće poteškoće i omogućiti lakše kretanje u invalidskim kolicima.

Ojačanja za palac i kažiprst moraju biti izrađena po mjeri, za svakog pojedinca ponaosob. Svaka osoba ima različit oblik i veličinu prstiju. Ojačanja moraju prekrivati područja s najvećom napetosti i imati dobru pristajalost. Prije samog početka izrade ojačanja važno je prikupiti sve informacije koje su potrebne. Takve informacije najbolje mogu dati upravo osobe kojima su takva ojačanja potrebna. Ojačanja ne smiju smanjiti pokretljivost prstiju, nego poboljšati hvat i spretnost. Dakle, bitno je znati poziciju ojačanja i uzeti u obzir kako se kreću kosti, mišići, tetive i slično.

Ruke su skenirane 3D skenerom za ruke i stopala PEDUS, tt. Human Solutions. Digitalizirana ruka je obrađena u računalnom programu MashLab. Etalon po kojem su izrađena ojačanja izrađen je u računalnom programu Marvelous Designer, a ojačanja su konstruirana i modelirana u računalnom programu Blender. Kada su ojačanja izrađena tiskana su Creality 10 MAX tiskalom.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Invaliditet i osobe u invalidskim kolicima

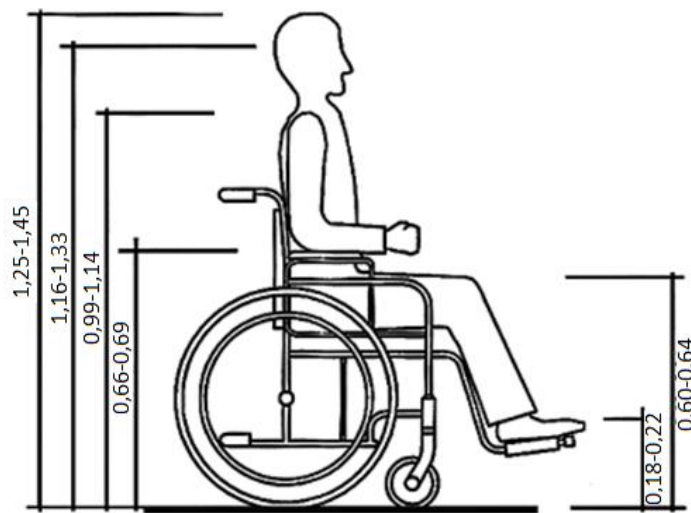
Riječ invaliditet je latinskog podrijetla, a znači nevrijedan, nesposoban, nejak, nemoćan. To je ustvari ljudsko ograničenje čime se osoba stavlja u nezavidan položaj i stvara se diskriminacija u društvu. Invaliditet se može različito definirati, ovisno iz koje se perspektive gleda. Međunarodna klasifikacija oštećenja, invaliditeta i hendikepa koju je 1980. godine predložila Svjetska zdravstvena organizacija definira invaliditet kao „bilo kakvo ograničenje ili smanjenje (koje proizlazi iz oštećenja) sposobnosti izvođenja neke aktivnosti na način ili unutar raspona koji se smatra normalnim za ljudsko biće“. Svjetska zdravstvena organizacija obavila je preinaku svoje ranije klasifikacije invaliditeta u Međunarodnu klasifikaciju funkcionalnosti, invaliditeta i zdravlja. Termin „invaliditet“ predstavila se kao rezultat međusobne interakcije oštećenja i negativnih utjecaja socijalne okoline [1, 2].

Kroz svoj život, preko 1/6 svjetske populacije doživjeti će neku vrstu invaliditeta, može se raditi o nemogućnosti kretanja, neurološkoj, genetskoj ili mentalnoj poteškoći, odnosno invaliditet može biti privremeni ili trajan. Od ukupnog broja osoba s invaliditetom, njih 80% živi u zemljama u razvoju. Procjenjuje se da je otprilike 46% osoba starijih od 60 godina iskusilo neki oblik invaliditeta. Jedna od četiri žene će u životu najvjerojatnije doživjeti neki oblik invaliditeta, kao i jedno od desetero djece. Prema podacima Registra o osobama s invaliditetom Hrvatskog zavoda za javno zdravstvo, u Hrvatskoj živi preko pola milijuna osoba s invaliditetom, od čega je 60 % muškaraca i 40 % žena [3].

Osobe s tjelesnom deformacijom ili motoričkim smetnjama smatraju se osobe s tjelesnim invaliditetom. U većini slučajeva invaliditet nastaje nekom traumom kao što su prometne nesreće, ratovi i razni padovi, no isto tako može nastati i kao posljedica stečene ili nasljedne bolesti neuromišićnog i živčanomišićnog sustava. Trauma kosti i mišića dovodi do ograničene pokretljivosti osobe. U tjelesna oštećenja ubrajaju se: oštećenje vida, sluha, gluho sljepoća, oštećenje govorno-glasovne komunikacije, oštećenje lokomotornog sustava, oštećenje središnjeg živčanog sustava, oštećenje perifernog živčanog i mišićnog sustava te oštećenje drugih organa i organskih sustava. Ljudi s tjelesnim oštećenjima često u svrhu pomoći kod kretanja koriste invalidska kolica [4].

Osobama u invalidskim kolicima otežano je kretanje, a isto tako okolina često nije prilagođena njihovim potrebama. Nailaze na probleme kao što su kolnici, stubišta i slično.

Zbog dimenzija invalidskih kolica manevriranje u uskim prostorima je isto tako otežano kao i prelaženje preko visokih pragova i prolazanje kroz uska vrata. Ograničena je zona dohvata kao i vidno polje pa im je iz tog razloga otežano i upravljanje komandama i uređajima koji su većinom smješteni previsoko. Na slici 1 su prikazane mjere u metrima (m) za osobu u invalidskim kolicima [5].



Slika 1. Mjere za osobu u invalidskim kolicima [5]

2.2. Rukavice i ojačanja za osobe u invalidskim kolicima

Kod osoba u invalidskim kolicima iznimno su važne ruke i snaga ruku. Korištenjem ruku kod pokretanja, zaustavljanja i okretanja može doći do trenja, stvaranja žuljeva, plikova ili nekih drugih ozljeda. Iz tog je razloga zaštita ruku vrlo važna za korisnike invalidskih kolica [6].

Za zaštitu ruku, korisnici invalidskih kolica bi trebali koristiti rukavice s ojačanjima izrađenim posebno za tu namjenu. Rukavice moraju biti napravljene tako da ruka u njima diše kako bi se spriječilo znojenje ili neka druga vrsta nadražaja. Moraju biti izrađene od čvrstog i dugotrajnog materijala, omogućavati fleksibilnost kako bi mogli obavljati svakodnevne obaveze bez izazivanja bilo kakvih problema, trebaju osiguravati dobro prianjanje i odgovarajuću potporu, izbjeći napetosti i kasnije poteškoće te omogućiti lakše kretanje u kolicima [6, 7].

Kada se govori o rukavicama za zaštitu ruku invalida, iznimno je važno da rukavice imaju ojačanja na određenim dijelovima prstiju ili šake. Na nekim dijelovima prstiju dolazi do većeg naprezanja i trošenja, pa rukavice koje nisu prilagođene namjeni za koju se koriste,

radi djelovanja trenja i naprezanja pucaju ili se stvaraju rupe. Ojačanja iz tog razloga, kako im i ime govori ojačavaju određene dijelove, pa je ruka zaštićenija. Na slici 2. je prikazana rukavica korištena za pokretanje u invalidskim kolicima. Vidljivo je kako rukavica ima oštećenja na palcu. Na palcu je došlo do pucanja materijala uz šav te se na vrhu palca vidi istrošenost materijala do kojeg je došlo uslijed trenja kod upravljanja kolicima. Oštećenje kao posljedica trenja vidljiva je i na kažiprstu [6].



Slika. 2. Rukavica osobe u invalidskim kolicima s vidljivim oštećenjima [6]

2.3. 3D skener

3D skener je uređaj kojim se digitaliziraju tijela ili okolina, te prikupljaju podaci o njihovom obliku bez dodira površine u kratkom vremenskom periodu. Skeniranjem se dobiva digitalna snimka objekta koja je predstavljena skupom točaka u 3D prostoru. Najvažniji element kod 3D skeniranja je refleksija svjetlosti s objekta kod svjetlosnog skeniranja. Refleksija ovisi o boji i jačini površinske refleksije. Bijela površina reflektirat će mnogo svjetlosti, dok će tamne površine reflektirati znatno manju količinu svjetlosti. 3D skeniranjem se dobiva oblak točaka od kojih svaka ima svoje prostorne koordinate XYZ. Njihovim povezivanjem se dobiva rekonstrukcija skeniranog objekta. Neki skeneri osim podataka o površini objekta mogu prikupiti i podatke o boji. Imaju konusni oblik vidnog polja. Kamera prikuplja podatke s površine objekta u okvirima vidnog polja dok skener prikuplja podatke o udaljenosti točaka u prostoru. Kod većine skenera jedno snimanje nije

dovoljno da se digitaliziraju sve točke predmeta koji se skenira. Za izradu 3D modela potrebno je obaviti više snimanja sa svake strane objekta. Takvim skeniranjem dobivaju se svi podatci o površini objekta. Skenirani dijelovi objekta prikazani oblakom točaka moraju se spojiti u zajednički referentni sustav [6].

2.4. 3D skener za šake i stopala

Postoje razni načini na koje se mogu skenirati ruke ili šake. Jedan od načina je pomoću 3D skenera PEDUS, tt. Human Solutions. Skeniranje PEDUS 3D skenerom vodi se računalno. Najprije se definiraju parametri skeniranja. Cjelokupni tijek skeniranja prati se na zaslonu monitora. Postupno se u slojevima generira oblak točaka, u skladu s postavljenim parametrima rezolucije [6, 7].

Vrijeme skeniranja ovisi o vrijednostima definiranih parametara. Ovisno o tome varira i brzina skeniranja. Skener omogućuje skeniranje oblika šake na principu aktivne optičke triangulacije, primjenom tri lasera kao izvora svjetla i digitalnih CCD kamera. Volumen skeniranja PEDUS 3D skenera je 32 cm duljine, 19 cm širine i 10 cm visine [6].

Procesiranje podataka izvodi se nakon postupka skeniranja. Rezultat se prikazuje na zaslonu monitora u obliku 3D oblaka točaka, koji prikazuje površinu skeniranog objekta. Prateći računalni program omogućuje visoku preciznost mjerenja, a također primjenom dostupnih alata programa omogućuje i interaktivno mjerenje bilo koje dimenzije na objektu. Pritom se može mjeriti najkraća udaljenost između dvije točke, duljina krivulje određene s više točaka na površini objekta ili bilo koje udaljenosti na modelu. Pohranu podataka moguće je ostvariti u različitim formatima zapisa [6, 8].



SI 3. Računalno vođen laserski 3D skener za šake i stopala PEDUS, tt. Human Solutions [6]

2.5. Povijest razvoja 3D tiska

Razvoj tehnologije uvelike je utjecao na ljude kroz povijest. Tehnologija je poboljšala način života te otvorila nove mogućnosti i puteve. Početak razvoja 3D tehnologije vidljiv je u kasnim 1980-im [9].

Kao prva prijava patenta za brzu proizvodnju, odnosno 3D tisak navodi se rad dr. Kodama u Japanu, u svibnju 1980. godine. Charles (Chuck) Hullu izumio je stroj za stereolitografiju 1983. godine. Hull je suosnivač 3D Systems Corporation jedne od najvećih i najprofitabilnijih organizacija koja djeluje u sektoru 3D tiska još i danas [9, 10].

3D Systems je 1987. godine predstavio prvi komercijalni sustav 3D tiska, SLA-1, koji je prodan 1988. godine, nakon niza rigoroznih testiranja. U to se vrijeme u SAD-u razvijao patent Selective Laser Sintering – SLS, od strane Carl Deckard, s University of Texas. Patent je objavljen 1989. godine. Iste godine je Scott Crumo, suosnivač Stratasys Inc., razvio patent za tehnologiju Fused Deposition Modelling – FDM. Ova je tehnologija još uvijek u vlasništvu tvrtke. Isto tako radi se o tehnologiji koju koriste mnogi strojevi, a temelji se na open source projektu RepRap, koji je funkcionalan i danas [9, 10].

Krajem osamdesetih godina Tvrtka EOS' R&D se fokusira na tehnologiju Laser Sintering - LS, koja se nastavila razvijati sve do danas. Danas je EOS Systems priznati diljem svijeta. Priznati su radi svoje kvalitete za industrijsku proizvodnju prototipova i produkcije aplikacija za 3D tisak. Tehnologija Direct Metal Laser Sintering – DMLS je rezultat projekta s Electrolux Finland, koji je kasnije preuzeo EOS. Razvijaju se i ostale tehnologije 3D tiska također u istome periodu, poput Laminated Object Manufacturing – LOM. LOM je patentirao Michael Feygin. Tehnologiju Solid Ground Curing – SGC patentirao je Itzchak Pomerantz, a tehnologiju Three dimensional printing - 3DP patentirao je Emanuel Sachs [9, 11].

Početak devedesetih godina pojavljivao se sve veći broj konkurentnih tvrtki na tržištu 3D tiska. Neke od njih postoje još i danas, kao što su 3D Systems, EOS i Stratasys. Tijekom početka dvije tisućitih godina ovaj je sektor počeo pokazivati znakove različitosti na dva specifična područja. Prvi je visoka kvaliteta 3D tiska. Veoma skupa proizvodnja koja je usmjerena na dio proizvodnje visoke kvalitete, te složenosti dijelova. Rezultati su tek sad počeli biti vidljivi u proizvodnim programima u zrakoplovnom, automobilskom, medicinskom sektoru te u sektoru finoga nakita. Neki sustavi 3D tiska razvijaju i unapređuju 'concept modellers'; to su 3D pisari koji su fokusirani na poboljšavanje razvoja

koncepta i funkcionalnosti prototipova. Oni su uvod u današnje računalne strojeve, no još uvijek se slabo koriste u industrijskoj proizvodnji [9, 11].

Prvi 3D pisač se na tržištu pojavio 2007. godine od strane 3D Systems-a. Tehnologija je postala dostupnija za mnoge branše i korisnike, a time i za širu publiku. Ujedno je ta godina označila prekretnicu za dostupnost tehnologije 3D tiska. Od 2009. godine pojavljuju se 3D pisač s tehnologijom taloženja. U 2012.-oj godini su uvedeni na tržište alternativne tehnologije 3D tiska. Prvi u lipnju dolazi B9Creator koji koristi tehnologiju digitalne svjetlosne obrade – eng. Digital Light Processing – DLP. Nakon DLP-a u prosincu dolazi Form 1 koji koristi tehnologiju stereolitografije. Obje tehnologije financira Kickstarter i doživljavaju veliki uspjeh. Zbog tržišta dolazi do značajnih napredaka u industriji, tako da se 2012-a godina smatra godinom mnogih promjena u tehnologiji. U 2013-oj godini odvija se značajan rast i utemeljenje tehnologije [9].

2.6. 3D tisak

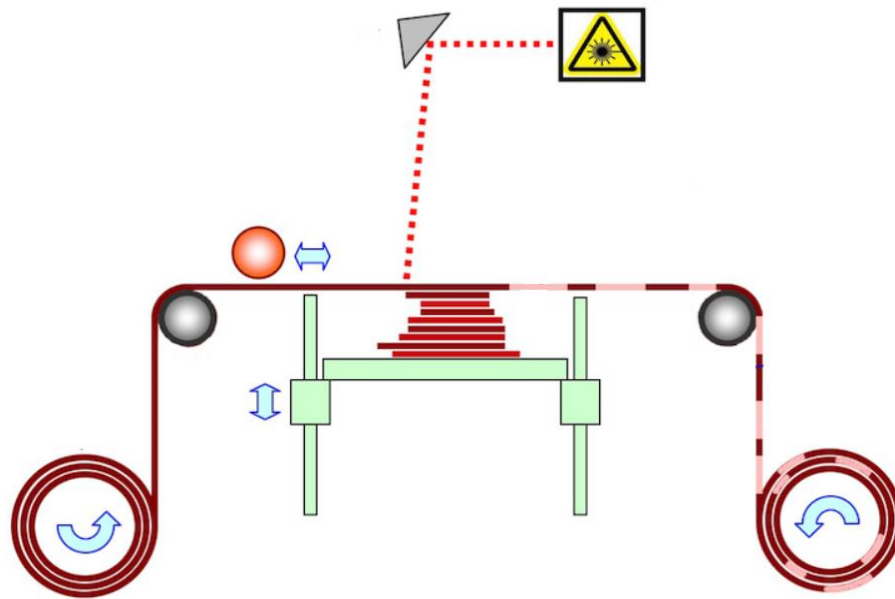
3D tisak objekta je proces izrade objekata uzastopnim polaganjem materijala. Pojam trodimenzionalnog tiska razlikuje se po nizu tehnologija dobivenih na temelju virtualnih modela. Zajedničko svim tehnologijama 3D tiska je način na koji se objekt stvara. Za razliku od tradicionalnih metoda proizvodnje ovaj način stvaranja objekta odvija se sloj po sloj. 3D tisak je, dakle, izravni postupak stvaranja objekta koji se može odvijati na nekoliko načina, ovisno o primijenjenoj tehnologiji [12, 13].

Postoji nekoliko metoda 3D tiska. Sve su aditivne, a ovise o načinu izrade predmeta, odnosno o načinu nanošenja slojeva. Neke metode koriste taljenje materijala kako bi ekstrudirale slojeve, dok druge ozračuju UV laserom. Američko društvo za testiranje materijala odredilo je klasifikaciju aditivnih tehnologija u sedam kategorija (imaju i potkategorije) [12, 13].

2.6.1. LOM tehnologija 3D tiska

LOM tehnologija je proces izrade predmeta laminiranjem. Laminiranje je jedna od starijih metoda 3D tiska. Kod ove metode slojevi materijala se međusobno lijepe jedan na drugi. Material je namotan na valjak. Valjak se odmata i istovremeno premazuje adhezijskim sredstvom koje povezuje slojeve uz djelovanje topline. Laserom se izrezuje oblik zadan parametrima za tisak predmeta i sloj se lijepi na radnu površinu ili prethodni sloj. Nakon lijepljenja radna površina se spušta, a višak materijala se uklanja namatanjem na drugi

valjak. Postupak se ponavlja sve dok se ne dobije konačan željeni oblik predmeta (slika 4). Ova se metoda koristi za izradu modela bez kemijskih reakcija. Predmeti se mogu završno obrađivati glodanjem ili tokarenjem poput drveta. Kod ove se metode radi se o niskoj cijeni za koju nije potrebna visoko precizna dimenzijska točnost [14].



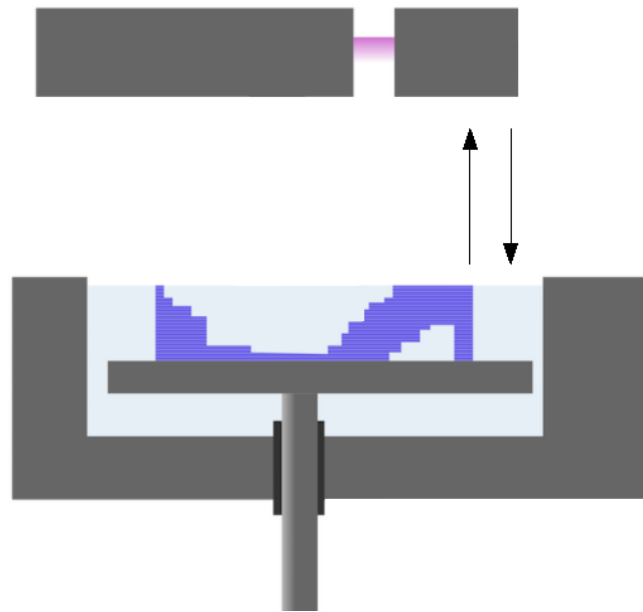
Slika 4. LOM metoda 3D tiska [14].

2.6.2. Stereolitografija (SLA)

Stereolitografija je tehnologija aditivne proizvodnje kod koje se predmet izrađuje sloj po sloj. Za izradu se koristi tekući fotopolimer, smola i UV laser. Rad se temelji na tome da je platforma uronjena u smolu, dok usmjeren UV laserski snop iscrtava oblik zadan parametrima. Dio smole ozračen UV zrakom se očvršćuje i tako se dobiva sloj predmeta koji se tiska [14].

Postoje dva postupka izrade predmeta SLA tehnologijom. Pri jednom postupku se radna površina i sloj predmeta spušta u fotopolimer. Dok se kod drugog postupka radna površina i sloj predmeta podižu iz dna spremnika u kojem se nalazi fotopolimer. Najčešće debljine slojeva iznose od 0,05 mm do 0,15 mm. Kvaliteta izrade proizvoda ovisi o debljini, ali se ovisno o debljini i kvaliteti produljuje vrijeme izrade. Slojevi se iscrtavaju tako da stroj prelazi novim filmom smole preko platforme te laser iscrtava sljedeći zadani sloj. Postupak se ponavlja sve dok predmet nije završen [14].

Stereolitografija zahtjeva korištenje potpornih dijelova kod tiska kako ne bi došlo do deformacija tijekom samog postupka. Tijekom tiska, ostaci smole mogu ostati zatočeni u dijelovima predmeta koji se izrađuje. Kod završetka tiska te je ostatke važno očistiti. Ako se ti dijelovi ne otklone pri završnoj obradi, kasnije može doći do deformacija i oštećenja predmeta. Nakon čišćenja, predmet se u UV komori dodatno učvršćuje. Stereolitografija se najčešće koristi kod proizvodnje šupljih modela s debljim stjenkama. Takvi se modeli kasnije koriste kao kalupi za lijevanje metala ili nekih drugih materijala. Kod ove je metode najveći nedostatak visoka cijena izrade i održavanja. Metoda je prikazana na slici 5 [14].



Slika 5. Metoda 3D tiska Stereolitografija [14]

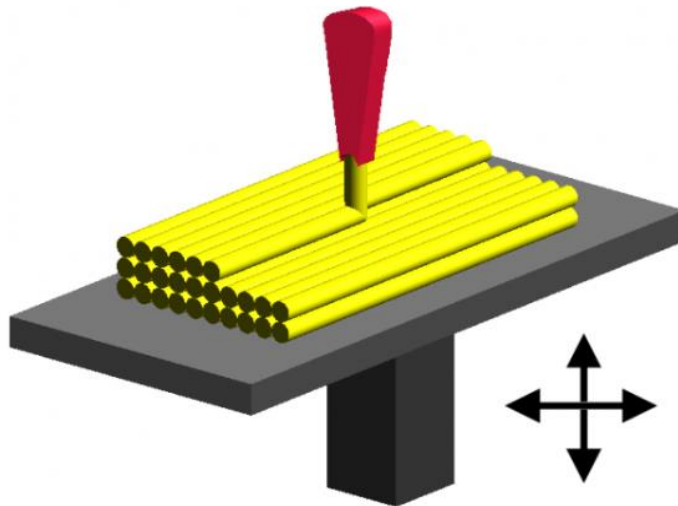
2.6.3. FDM (Fused Deposition Modeling) ili FFF (Fused Filament Fabrication) tehnologija

Kada se govori o FDM ili FFF radi se o jednakoj tehnologiji izrade predmeta. Model se kreira u CAD programu ili skenira 3D skenerom te se obrađuje u računalnom programu koji generira kod sa svim potrebnim parametrima kako bi se predmet mogao tiskati [14].

Filament se dovodi u ekstruzijsku mlaznicu koja može regulirati količinu protoka materijala. Kako bi talila material mlaznica je zagrijana te se pomiče horizontalno i vertikalno. Predmet se izrađuje tako da se slaže sloj na sloj na radnu površinu. Ovisno o tehnologiji površina može biti zagrijana. Materijal se nakon nanošenja postepeno hladi i učvršćuje [14].

Kod navedene tehnologije se često primjenjuju ABS i PLA materijali, no nije ograničena samo na njih. Korištenjem ove tehnologije 3D tiska mogu se izrađivati različiti modeli koji mogu imati unutrašnje šupljine, zakrivljenija, provrte, a isto tako mogu imati i dobru fleksibilnost. Kod tiska nije poželjno da kut pod kojim se tiska bude preko 45 stupnjeva ukoliko se neće tiskati potporni dijelovi. Kvaliteta i vrijeme izrade ovise o debljini. Slojevi se u većini slučajeva kreću između 0,15 i 0,25 mm, a koriste se i slojevi u rasponu od 0,05-0,5 mm [14].

Kod tiskanja potrebno je obratiti pozornost i na orijentaciju sloja zbog opterećenja kojem će predmet biti izložen pri njegovom korištenju. Predmet je najčvršći kada je sila usmjerena u istom smjeru kao i tiskani filament. Slojevi se iz toga razloga nanose okomito jedan na drugi. Time se postiže veća kombinacija orijentacija filamenata i tada se opterećenje može podnijeti u svim smjerovima djelovanja. FDM/FFF glasi kao najjeftinija tehnologija, a najpopularniji FDM/FFF pisači su Kartezijski, Delta i Core XY. Prikaz ove tehnologije izrade vidljiv je na slici 6 [14].



Slika 6. FDM I FFF metode 3D tiska [14]

Creality je popularna i renomirana marka u svijetu 3D pisača koji su pristupačnih cijena. Njihovi modeli 3D pisača vrlo su dostupni, a njihova je potražnja diljem svijeta isto tako velika. Creality CR-10 Max je FDM/FFF 3D pisač. Njegov prostor za tisak iznosi 450x450x470 mm. Ima stabilan okvir s trokutastom konstrukcijom koji osigurava manje vibracija tijekom procesa tiska i manju vjerojatnost pogreške. Ima BLTouch senzor za

automatsko niveliranje radne podloge. Mlaznica ima promjer od 0,4 i 0,8 mm i osigurava tisak velike preciznosti i velike brzine, može tiskati na temperaturi do 300 °C, a podloga isto tako može biti grijana ovisno o filamentu koji se koristi za tisak. Modeli koji se tiskaju pohranjeni su na SD kartici u formatu pripremljenom za tisak. Na slici 7 se nalazi Creality CR-10 Max 3D pisač [16].



Slika 7. 3D pisač Creality CR-10 Max [16]

2.6.4. Pisači Kartezijevog koordinatnog sustava

Kartezijski pisači dobili su ime po korištenju kartezijskih koordinata. Pisači s Kartezijevim sustavom najčešći su FFF pisači koje se može naći na tržištu. Kako bi pisač tiskao neki željeni objekt koristi tri geometrijske osi (x,y,z). Ekstruder i mlaznica se nalaze na konstrukciji i pomiču se po x i y osi dok se radna površina pomiče samo po z osi. Pisači se razlikuju od proizvođača do proizvođača po nekim segmentima, no svaki se temelji na istom principu a to je Kartezijevom sustavu [15].

2.6.5. Delta 3D pisači

Delta 3D pisači koriste Kartezijski koordinatni sustav za pomicanje mlaznice u različitim smjerovima. Sve se češće pojavljuje na tržištu FFF 3D tiska. Pisač ima tri ruke koje se pomiču vodilicama. Vodilice su raspoređene u trokut. Svaka ruka ima vlastiti paralelogram i micanje se izvodi promjenom kutova navedenih paralelograma (po X i Y osi). Svi potrebni

dijelovi za pomicanje ruku nalaze se na fiksiranoj platformi. Upravo zbog toga je glava pisača na kojoj se nalazi mlaznica puno lakša te se tako reducira inercija. Smanjenjem inercije se kod zaustavljanja i ponovnog pokretanja glave pisača dobije veća brzina uz zadržavanje preciznosti. Postolje je fiksirano te najčešće kružnog oblika. Radna podloga ima malu površinu dok je visina izrade obično mnogo veća od Kartezijskih pisača. Delta pisači dizajnirani su za ubrzavanje procesa tiska. Ne rade s tolikom preciznošću kao Kartezijski pisači. Broj komponenti za njihovu izvedbu je puno manji, što ih čini jeftinijim i lakše ih se održava u usporedbi s nekim drugim. Na slici 8 prikazan je Delta 3D pisač [15].



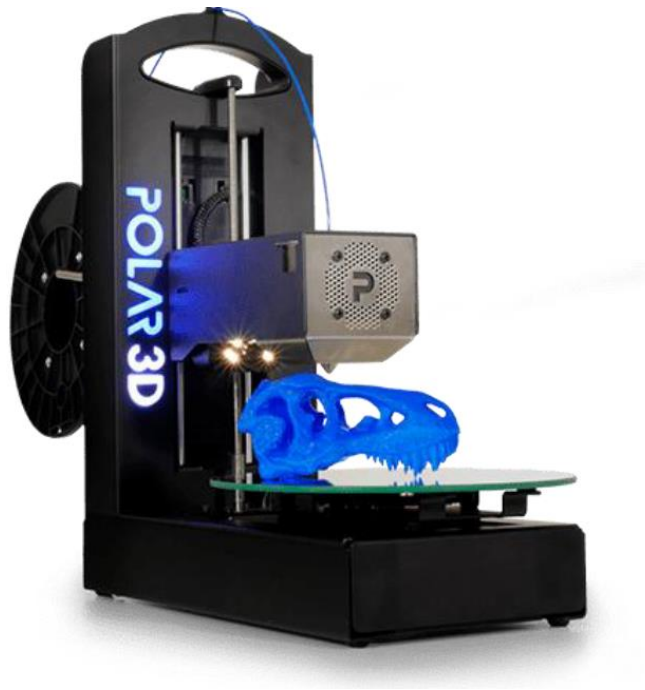
Slika 8. Delta 3D pisač [15]

2.6.6. Polar 3D pisači

Polar 3D pisači su bili zamišljeni kao edukativni pisači. Razlog zbog kojeg je to bilo tako zamišljeno je manji broj sastavnih dijelova i zbog njihove cjelokupne radne površine. S vremenom su se razvijali, pa se s toga čine vrlo obećavajućim za budućnost [15].

Polar 3D pisači koriste polarni koordinatni sustav. Za razliku od Kartezijskog sustava, zadane koordinate opisuju poziciju zadane točke na kružnoj mreži, a ne na kvadratnoj. Radna podloga im je kružna te se pomiče i okreće naprijed i nazad, dok se glava s mlaznicom pomiče gore i dolje. Ova kinematika omogućuje korištenje svakog dijela radne površine na kojoj se predmet tiska. Polar 3D pisači rade sa samo dva koračna motora.

Takav rad ih čini posebnim s obzirom na druge pisače. Na slici 9 prikazan je Polar 3D pisač [15].



Slika 9. Polar 3D pisač [15]

2.6.7. 3D pisači s robotskom rukom

SCARA (pisač s robotskom rukom) vrlo je precizan sustav za 3D tisak. Postoji mnogo različitih izvedbi, no karakterizira ih to što su napravljeni na principu jednostavne robotske ruke, najčešće korištene u automobilske industriji. Radna podloga može biti grijana, nije fiksirana za postolje što pisače takve vrste čini mobilnijima. Robotska ruka na kojoj se nalazi glava s mlaznicom može se pokretati u svim smjerovima i omogućuju 3D tisak složenih elemenata. Najveći nedostatak ovakvog tipa pisača je velik broj dijelova od kojih su sastavljeni, što ih čini skupljima za izradu, a samim time iziskuju i veće troškove održavanja. Na slici 10 prikazan je SCARA 3D pisač [15].

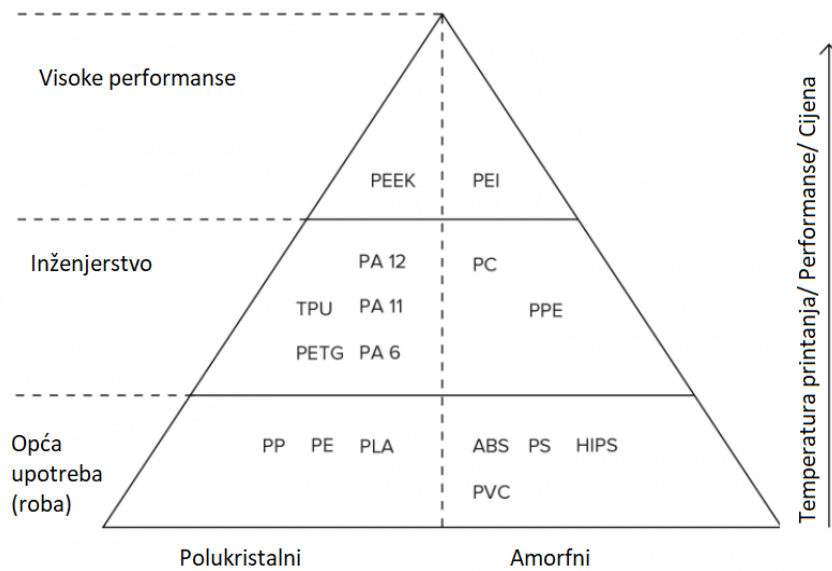


Slika 10. SCARA 3D pisač [15]

2.7. Materijali za 3D tisak

Kada se govori o materijalima za 3D tisak, govori se o velikoj paleti materijala koji ovise o namijeni. Za pravilan tisak određenog predmeta, odabir ispravnog materijala jednako je važan kao i odabir najbolje tehnologije tiska [17, 18].

Jedna od ključnih prednosti Fused filament fabrication (FFF) postupka je mogućnost primjene širokog spektra materijala. Polimerni materijali mogu se podijeliti u više kategorija (slika 11) kao što su materijali za opću primjenu (PLA i ABS), materijali koji se koriste u inženjerstvu (PA, TPU, PETG, ASA) te materijali visokih performansi (PEEK i PEI). Vrsta materijala i njegova primjena najviše ovisi o mehaničkim svojstvima, dimenzijskim zahtjevima te cijeni konačnog proizvoda. TPU, PLA, ABS i PET su filament, odnosno polimeri koji se najčešće koriste za tisak odjevnih predmeta ili nekih segmenata i elemenata koji se ugrađuju u tekstilne materijale [19, 18].



Slika 11. Kategorije polimernih materijala za 3D tisak [19]

2.7.1. PLA filament (Polylactic acid)

PLA je filament koji je zbog svoje stabilnosti, mehaničkih svojstva i pristupačne cijene najzastupljeniji u industriji 3D tiska. Dobiva se iz biorazgradivih elemenata kao što su kukuruzni škrob, šećerna trska i krumpirov škrob, stoga je ovaj filament dobar za okoliš i ekologiju, odnosno ekološki je prihvatljiv. Izrađuje se dijelom i iz obnovljivih proizvoda. Dobiven je iz biorazgradivih i obnovljivih izvora, pa je biorazgradiv [18, 20].

Najprikladniji je za početnike jer je njime vrlo lako raditi. Koristi se i u medicini, za pakiranje hrane te za izradu jednokratnog pribora za jelo. PLA je materijal koji se smatra polukristalnim polimerom. Temperature taljenja mu je od 180 °C, omekšava već na 50 °C. To znači da prilikom tiska s PLA nije potrebna uporaba grijane podloge za tisak, a nije nužna ni zatvorena komora. Nedostatak ovog filament je, što ima viskoznost koja može zapuniti glavu pisača [20].

Ovaj filament nije otporan ili fleksibilan kao neki drugi filament poput ABS-a. Često se preporučuje rad s njim ako projekt nema velike mehaničke složenosti. PLA ne zahtijeva složenu naknadnu obradu. Po potrebi se može brusiti ili tretirati acetonom, a potpore se obično lako uklanjaju [20].

2.7.2. ABS filament (Acrylonitrile butadiene styrene)

ABS filament je najpopularniji polimer za injekcijsko prešanje. Od ABS filamenta izrađuju se razni predmeti, od glazbenih instrumenta, kućanskih uređaja, kapice na tipkovnici, kanua, pa sve do televizora s ravnim ekranom i računalnih monitora [21].

ABS se izrađuje od monomera ekstrahiranih iz nafte te je jedna od najčešće korištenih plastika. Koristi se u mnogim industrijama, jer ga je lako izraditi i lako obraditi. Obraduje se uobičajenim tehnikama tokarenja, piljenja, bušenja, glodanja, rezanja i šišanja. Ima žućkastu boju i obično se isporučuje u malim peletima za industrijsku upotrebu. Kao termoplastični polimer, topi se i hladi bez mijenjanja njegovih kemijskih svojstava. Tali se na temperaturi između 200 °C i 260 °C [21].

ABS filament je namjenjen za tisak trajnih dijelova koji su cjenovno prihvatljivi što je posebno važno u komercijalnim aplikacijama poput brze izrade prototipa. Prikladan je i za upotrebu u relativno visokim temperaturama. Koristi se u industrijama širom svijeta i ima dobra mehanička i uporabna svojstva. Posebno je modeliran da minimizira savijanje i osigurava dosljednu adheziju među slojevima, idealan je za stvaranje funkcionalnih prototipova i dijelova složene upotrebe. Prilikom tiska ovog filament dobro je koristi zatvoren pisač radi održavanja temperature i grijanu podlogu zbog neutraliziranja savijanja modela prilikom tiska [21].

2.7.3. PVA filament (Polyvinyl alcohol)

PVA je sintetički polimer, topiv u vodi, bez boje i mirisa sa značajnim svojstvima biokompatibilnosti. Biorazgradiv je i nije toksičan te se može koristiti u zdravstvenim proizvodima poput otopine kontaktnih leća. Koristi se kod 3D tiska s dva ekstrudera, kao potporni materijal. Najveća prednost PVA filamenta je što se otapa u vodi, pa se potpore strukture tiskane s ovim materijalom mogu bez napora ukloniti jednostavnim uranjanjem modela u vodu na nekoliko sati. Ovakav način uklanjanja potpora sprječava ostavljanje tragova na modelu i smanjuje potrebu za naknadnom obradom poput brušenja i bojanja. S druge strane, dvostruka ekstruzija može biti prilično teška i treba više kalibriranja da bi se dobio kvalitetan 3D tisak [22].

PVA filament se dobro slaže s PLA filamentom, zato što koristi slične uvjete tiska, uključujući i temperaturu. PLA je hidrofobni materijal te se model tiska PLA filamentom, a potpore s PVA filamentom, pri čemu će se potpore otopiti, a model će ostati [22].

2.7.4. PA filanent (Polymide - Nylon)

Od PA filamenta proizvode se predmeti visoke čvrstoće i funkcionalnosti te dobre žilavosti i fleksibilnosti. Pored toga ima dobru otpornost na kemikalije, pruža otpornost na udarce i habanje. Savršen je za 3D tisak zupčanika, vijaka ili modela od kojih se očekuje dugotrajnost. Koristi se u zrakoplovnoj industriji, robotici, automobilskoj industriji i u proizvodnji medicinskih proteza [23].

Ovaj filament ima gotovo optimalnu kombinaciju mehaničkih i kemijskih svojstava zbog svoje polu-kristalne strukture. Istovremeno pogodan je za izradu visoke razine detalja i odličnu kvalitetu. PA filamenti obično zahtijevaju temperature ekstrudera blizu 250 °C. Mnogi pisari ne mogu postići 250 °C [23].

PA je higroskopan. 3D tiskanjem PA nakon što upije vlagu može dovest do problema s kvalitetom tiska. Iz ovog razloga potrebno je obratiti pažnju pri skladištenju [23].

2.7.5. ASA filament (Acrylic styrene acrylonitrile)

ASA filament se koristi u raznim industrijama i ima dobra mehanička i uporabna svojstva. Održava svoj izgled i otpornost na udarce i postojanost nakon dužeg izlaganja moru, kiši, na otvorenom, hladnoj vodi i sl. Modeliran je da minimizira savijanje i osigurava dosljednu adheziju među slojevima. Idealan je za stvaranje funkcionalnih prototipa i složenih dijelova [24].

U početku je razvijan kao alternativa ABS-u no zbog dodatka sastava za bolju otpornost na UV zrake i ostalih aditiva postao je vrlo ozbiljan materijal za primjenu u industriji. Time je i skuplji u nabavi. Ima sličan problem sa savijanjem prilikom tiska kao i ABS, te prilikom tiska sadrži potencijalno opasne pare koje se ispuštaju (ima Styrene u sebi). Najčešće se koristi u izradi naočala, te zaštitnih vizira kacige i sl. [24].

2.7.6. PEEK filament (Polietereeterketon) i PEI filament (Polietierimid)

PEEK je materijal zanimljivih toplinskih i kemijskih svojstava i koristi se u širokom rasponu industrija za mnoge različite primjene. Poznat kao polietereeterketon, pripada obitelji polimera poliketona (PAEK). Proizvodi izrađeni od PEEK-a obično se proizvode injekcijskim prešanjem, međutim 3D tisak PEEK-a postaje sve popularniji. Koristi se posebno za lagane aplikacije koje zahtijevaju otpornost na visoke temperature bez smanjenja krutosti. Ima razna posebna svojstva, kao što su otpornost na toplinu do 260°C, kemijski je otporan na korozivne tekućine i plinove te je otporan na visok pritisak. Isto tako

je vodootporan, lagan u usporedbi s metalima i biokompatibilan. Nadalje, PEEK se ne zapali lako i ispušta malo dima prilikom izgaranja. Zbog svoje otpornosti na visoke temperature, idealan je za dijelove koji se koriste kao izolacijski materijal ili koji zahtijevaju sterilizaciju. Relativno je skup materijal. Jeftinija alternativa je PEI, koji se često nudi pod imenom ULTEM. PEI poznat kao polieterimid je termoplast iz iste obitelji. PEI dijelovi za 3D tisak nisu skupi kao PEEK [25].

PEEK i PEI se koriste u aplikacijama koje zahtijevaju otpornost na visoke temperature i kemikalije. primjerice nosačima i pričvrsnim elementima u zrakoplovnoj industriji, fleksibilnim cijevima u industriji nafte i plina i izolaciji kabela u elektroničkim aplikacijama. Materijal je biokompatibilan i također se koristi u prehrambenoj industriji za izradu rezača za kolačiće i maski za ukrašavanje. PEEK i PEI se mogu također sterilizirati što ih čini prikladnim i za medicinske primjene [25].

2.7.7. TPU filament (Thermoplastic polyurethane)

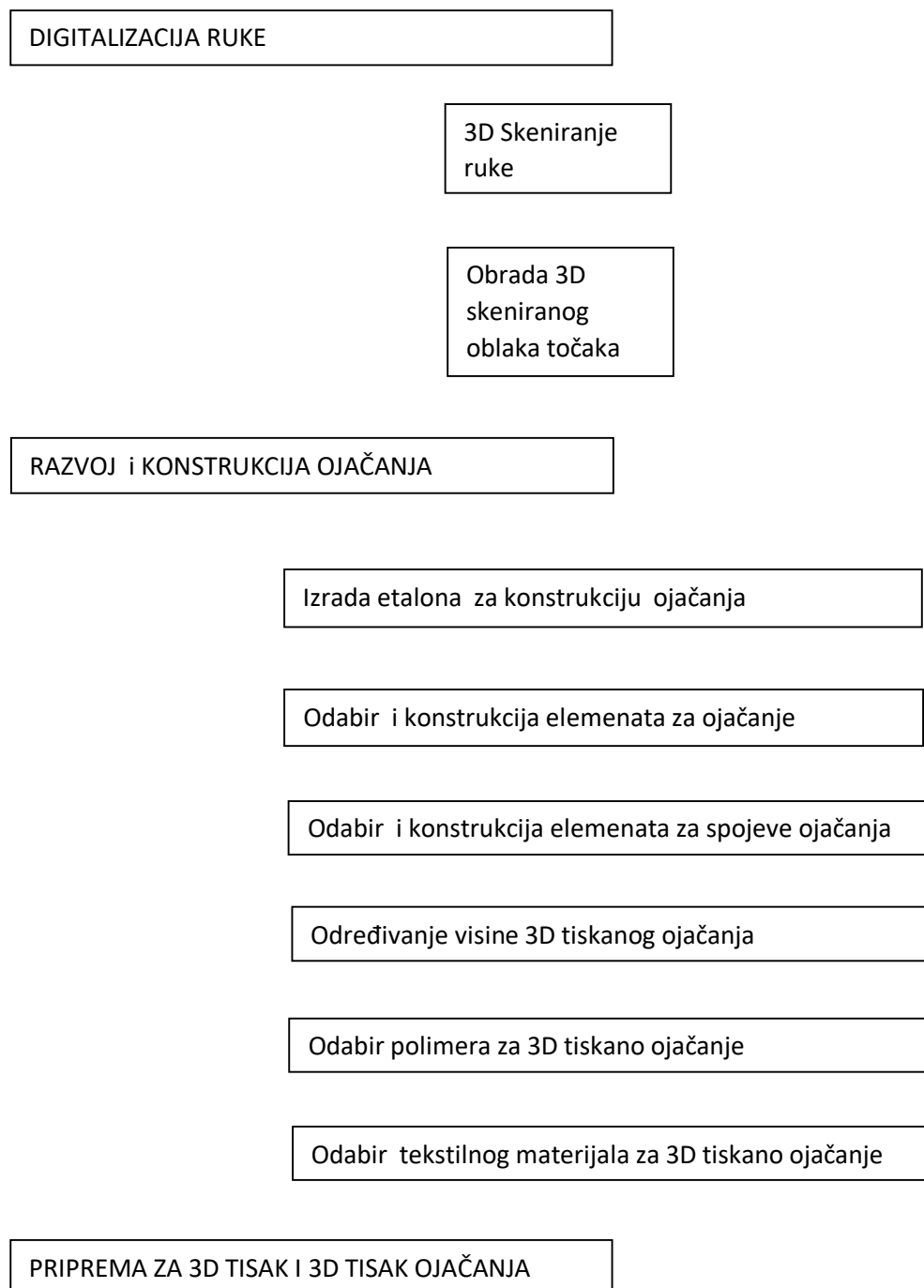
Termoplastični poliuretan je elastomer velike izdrživosti i fleksibilnosti. TPU ima svojstva između karakteristika plastike i gume. Zbog svoje termoplastične prirode, ima nekoliko prednosti u odnosu na druge elastomere. Ima izvrsnu vlačnu čvrstoću, visoko rastezanje pri prekidu i dobru nosivost. Isto tako je vrlo otporan na ulja, masti i abraziju. Termoplastični poliuretan nastaje kada se dogodi poliadiციjska reakcija između diizocijanata i jednog ili više diola na specifičan način. On je blok kopolimer koji se sastoji od mekih i tvrdih segmenata. Meki segmenti osiguravaju fleksibilnost, dok tvrdi segmenti osiguravaju čvrstoću i žilavost [26].

Termoplasti su dobili ime po načinu na koji reagiraju na toplinu. Termoplasti postaju plastični pri određenim temperaturama, odnosno kada se oblikuju po potrebi. Kada se ohlade njihov novi oblik postaje trajan dok se ponovno ne zagrije. Poliuretan se odnosi na klasu organskih polimera koji su spojeni uretanskim vezama. Organski se u ovom slučaju odnosi na organsku kemiju, koja se usredotočuje na spojeve ugljika [27].

TPU se može koristiti za razne primjene, uključujući automobilske ploče s instrumentima, sportske predmete, medicinske uređaje, pogonske remene, obuću i predmete punjene zrakom. Također se koristi za izradu tipkovnica za prijenosna računala i za razne druge namjene [26].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

Na slici 12 prikazan je plan eksperimenta.



Slika 12. Plan eksperimenta

Kako bi se izradila ojačanja za korisnike invalidskih kolica, najprije je potrebno prikupiti sve informacije koje su nam potrebne za izradu istih. Takve informacije, najbolje mogu dati upravo osobe kojima su te rukavice najpotrebnije. Važno je znati koji dijelovi ruku ili prstiju moraju ili ne moraju biti prekriveni, odnosno na kojim dijelovima ruke bi se ojačanja trebala nalaziti. Ojačanja trebaju biti tako pozicionirana da ne smanjuju sposobnost i pokretljivost prstiju, već da ju poboljšaju.

Kako bi se izradila adekvatna ojačanja, ona trebaju zadovoljavati određene uvijete. Trebaju biti izrađena po mjeri, prekrivati upravo područja koja su izložena najvećim opterećenjima. Materijali koji se koriste trebaju biti prilagođeni namjeni za koju se koriste. Materijali i konstrukcija ojačanja ni u kojoj mjeri ne smiju smanjivati sposobnost i mogućnosti prstiju ili ruke.

3.1. Skeniranje ruke

Za skeniranje ruku korišten je računalno vođeni laserski 3D skener tt. Human Solutions. Ruka se najprije pozicionira na zato predviđeno mjesto, u području za skeniranje, te se potom na računalu pokrene sam postupak skeniranja. Nakon skeniranja izvodi se procesiranje podataka. Na zaslonu monitora prikazuje se 3D oblaka točaka. Oblakom točaka opisuje se površina skeniranog objekta. Na skeniranom modelu ruke potom se rade sve izmjene koje su potrebne kako bi se na poslijetku izradila ojačanja za osobe u invalidskim kolicima. Na slici 13 je prikazan 3D skener prilikom procesa skeniranja ruke [6].

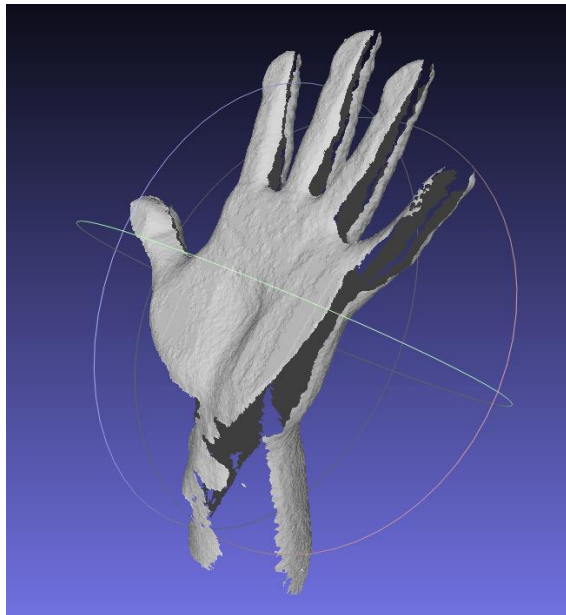


Slika 13. 3D skener tt. Human Solutions [6]

3.2. Obrada skeniranog modela ruke

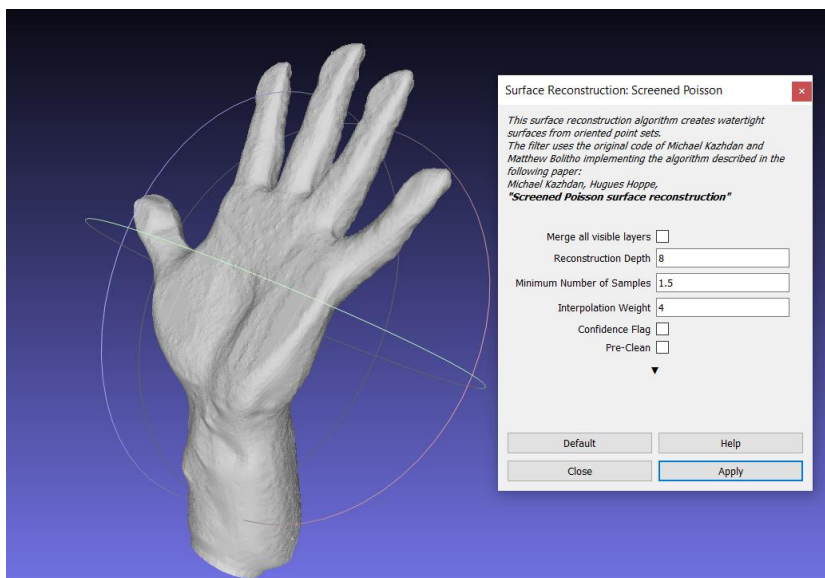
MeshLab je programski paket otvorenog koda za obradu i uređivanje 3D podataka. Pruža skup alata za uređivanje, čišćenje, pregled, teksturiranje i stvaranje mreža. Korišten je za rekonstrukciju skeniranog modela ruke. Program nudi nekoliko rješenja za rekonstrukciju skeniranog objekta (Marching Cube, Screened Poisson) [28].

Nakon skeniranja, model ruke/šake nije potpuno zatvoren i pripremljen za daljnji rad. Potrebno ga je povezati u jednu cjelinu, odnosno spojiti donji i gornji dio šake. To se izvodi tako da se najprije model ruke uveze u MashLab (import mesh). Na slici 14 prikazan je uvezeni model ruke.



Slika 14. Skenirani 3D model ruke prikazan u programskom paketu MashLab

Podešavanjem postavki u prozoru Surface Reconstruction: Screened Position (slika 15) definiraju se parametri zatvaranja i zaglađivanja površine modela. Pritiskom na apply, parametri se primjenjuju na model. Skenirani i rekonstruirani 3D model ruke se pohranjuje za daljnji rad.



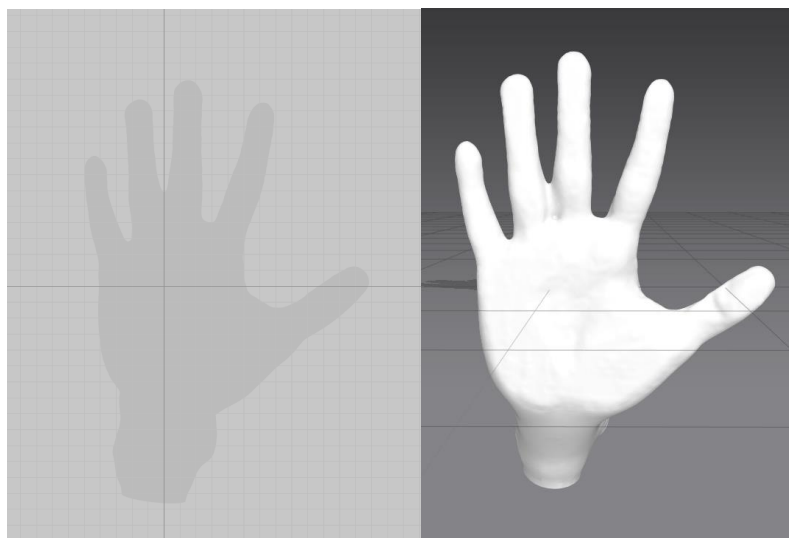
Slika 15. Definiranje parametara i primjena na 3D model

3.3. Izrada etalona po kojem se izrađuju ojačanja

Marvelous Designer je programski paket za dizajn koji omogućuje stvaranje 3D virtualne odjeće. Marvelous Designer može replicirati tekstone tkanine i fizička svojstva do najsitnijih detalja. Namjena mu je pojednostavljenje tijekova rada za realističnu 3D odjeću. Nudi rješenja za digitalnu grafiku. Postao je industrijski standard za kreiranje virtualne odjeće za industriju igara, VFX-a, dizajna i arhitekturu. Koristi najinovativniju tehnologiju temeljenu na uzorcima, pa se u njemu mogu kreirati razni dizajni koji se koriste za raznovrsne primjene [29].

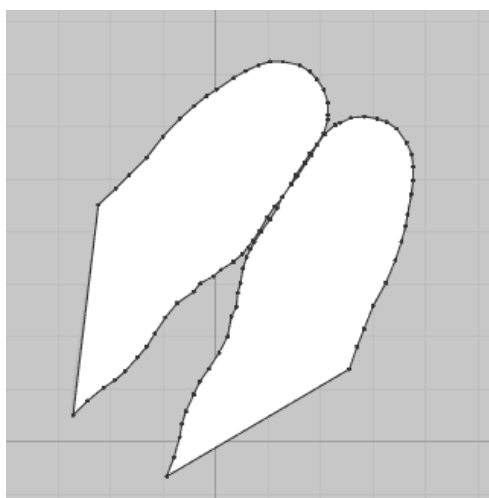
Marvelous Designer se sastoji od 2D i 3D sučelja na kojima se može istodobno raditi (slika 16). Program je korišten je za izradu etalona ojačanja za prste. Najprije se uvodi prethodno obrađeni 3D model šake ili dijela šake.

Zbog jednostavnijeg rada su u procesu modeliranja etalona uvezeni dijelovi šake. Po modelu koji je uveden u 3D prostor programa se u 2D prostoru programa izrađuje krojni dio za palac i kažiprst, odnosno etalon po kojem će se modelirati ojačanja.



Slika 16. Prikaz 2D i 3D modela ruke u programskom paketu Marvelous Designeru

Program ima razne alate za izradu krojnih dijelova. Neki koji su korišteni u svrhu ovog rada su poligon, edit pattern, add point/split line. Na slici 17 prikazan je etalona za ojačanje palca u procesu izrade. Završeni etaloni za palac i kažiprst se pohranjuju i spremni su za daljnji rad.



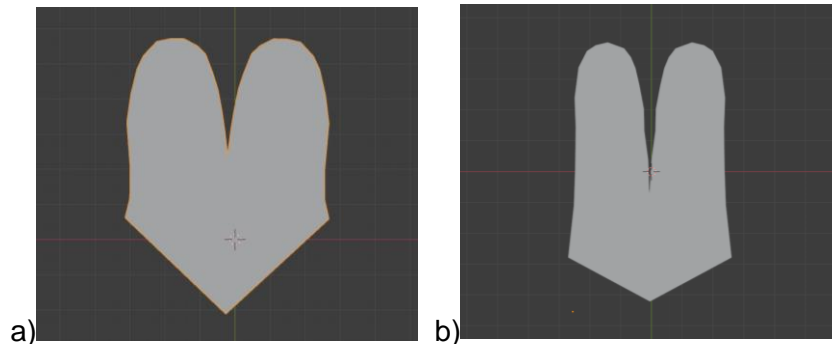
Slika 17. Postupak izrade etalona za ojačanje za palac

3.4. Izrada ojačanja u računalnom programu blender

Blender je besplatni paket za kreiranje otvorenog koda. Njime se mogu stvoriti 3D vizualizacije kao što su fotografije, 3D animacije, VFX snimke ili animacije. Blender radi na Linux, macOS, kao i Windows sustavima. Također ima relativno male zahtjeve za memorijom i pogonom u usporedbi s drugim paketima za 3D kreiranje. Ima širok izbor

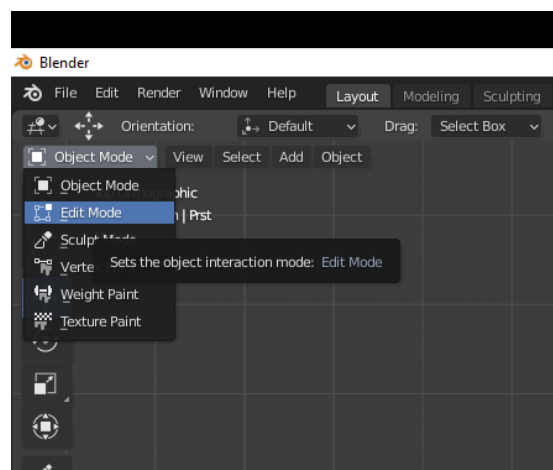
alata, stoga je prikladan za gotovo svaku vrstu medijske produkcije. Pohranu podataka je moguće ostvariti u različitim formatima zapisa kao što su .stl, .obj, .dae, .abc i slično [30].

Kako bi se izradila ojačanja za prste za osobe u invalidskim kolicima, najprije je potrebno uvesti (import .stl) etalon koji se prethodno izradio u Marvelous Designeru. Prema uvezenom etalonu u računalni program Blender, izrađuju se ojačanja. Na slici 18 prikazani su etaloni za palac i kažiprst.



Slika 18. Etaloni za izradu ojačanja za prste za osobe u invalidskim kolicima
a) etalon za palac, b) etalon za kažiprst

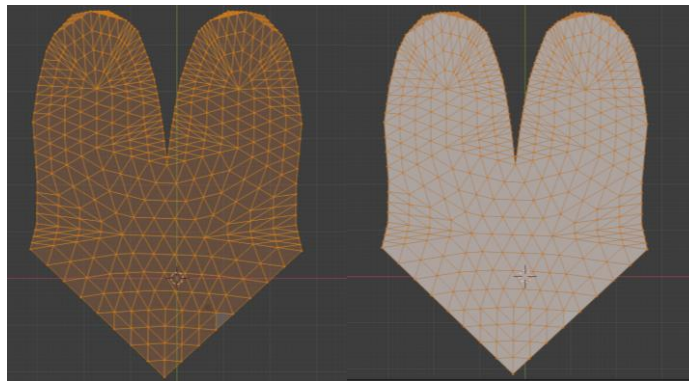
Ojačanja moraju biti izvedena tako da ne umanjuju pokretljivost prstiju. Program nudi razne mogućnosti prikaza i pregleda. Kada se izrađuje model ili se rade korekcije na modelu u programu je potrebno izabrati Edit mode prikaz (slika 19).



Slika 19. Vrste prikaza u računalnom programu Blender

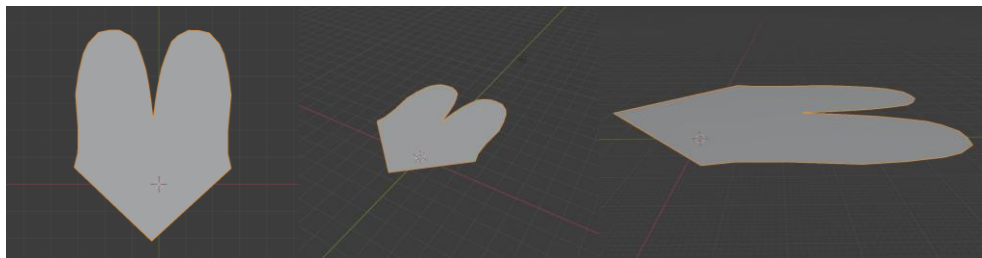
U tom prikazu je omogućeno uređivanje uvezenog etalona ili izradu nekog novog modela prema njemu. Program isto tako nudi "dubinski" prikaz objekta ili prikaz samo površine

objekta (površinskih točaka). Različiti načini prikaza omogućuju označavanje određenog dijela, odnosno površinskih točaka modela ili označavanje cijelog modela (slika 20).



Slika 20. Prikazi objekta a) dubinski prikaz modela, b) prikaz površinskih točaka modela

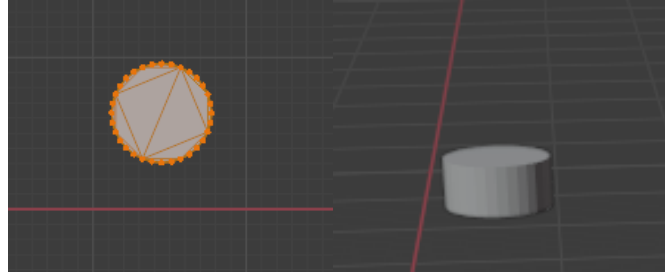
Kako bi se objekt mogao sagledati iz raznih kutova, potrebno ga je pozicionirati u koordinatni sustav programa. Kada je model pozicioniran u koordinatnom sustavu, njime je lakše manipulirati. Kroz cijeli proces model na kojem se radi može se sagledavati s raznih kutova pomoću brojeva na tipkovnici (Numpad). Na slici 21. prikazani su različiti kutovi gledanja objekta.



Slika 21. Prikaz etalona iz različitih kutova

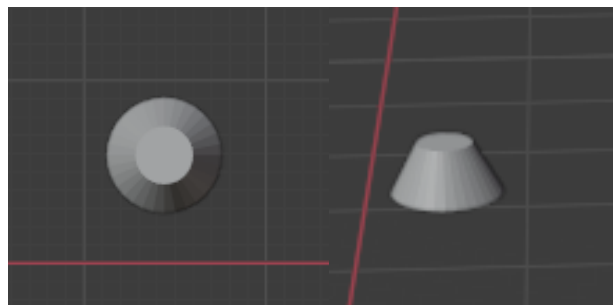
Ojačanja su izrađena u dvije verzije. Na obje verzije je jedan objekt pozicioniran udaljeno od ojačanja, ima jednake karakteristike kao i svi ostali. Pozicioniran je tako da se napravi jasna razlika između slojeva, odnosno kada se tiska jedan sloj zadnji segment je tisak tog objekta.

U jednoj su verziji konstruirani valjci (add → cylinder), koji se pozicioniraju na za to predviđena mjesta, pazeći na pozicije zglobova, odnosno fizionomiju prstiju (slika 22).



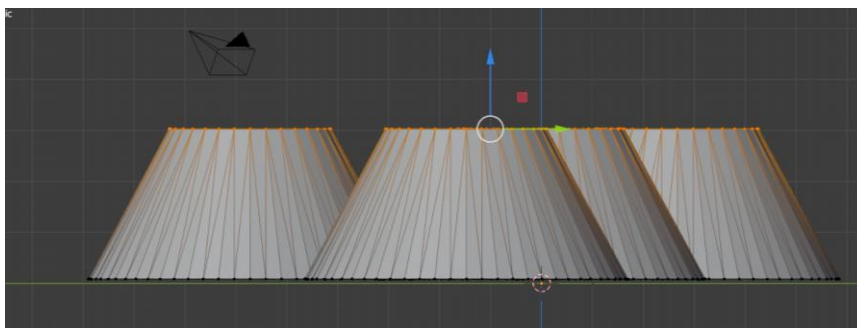
Slika 22. 3D konstrukcija ojačanja u obliku valjka

Druga verzija ojačanja je izrađena od stožaca (add → cone) kojima su maknuti vrhovi, pozicioniraju se po istom principu (slika 23).



Slika 23. 3D konstrukcija ojačanja u obliku krnjeg stošca

Nakon što se objekti pozicioniraju na za to predviđena mjesta definira se njihova visina. Visina se definira na način da se najprije označi gornji sloj objekta. Kada su označene sve točke na površini objekta, u ovom slučaju ojačanja, Numpadom se model pozicionira tako da je vidljiv s bočne strane te visinu podesimo Move alatom. Izduži se oblik modela. Kod pomicanja točaka potrebno je paziti na dijelove objekta koji su označeni (slika 24). Kada je završen cijeli postupak modeliranja ojačanja i definirana željena visina ojačanja model se izvozi (export) iz programa u .stl formatu.



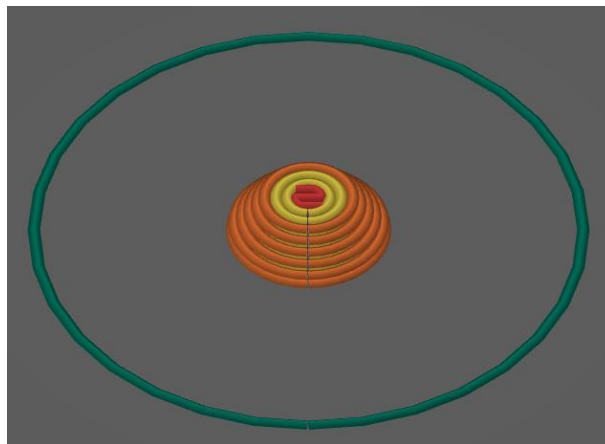
Slika 24. Definiranje visine ojačanja

3.5. Priprema za 3D tisak

Priprema za 3D tisak modela odvija se u računalnom programu PrusaSlicer. PrusaSlicer je besplatni softver za 3D pripremu/rezanje modela za 3D tisak. 3D modeli STL, OBJ, AMF formata se pretvaraju u upute za G kod za FFF pisače ili PNG slojeve za mSLA 3D pisače [31].

3D tisak se kontrolira G-kodom. G-kod se sastoji od naredbi kojima se upravlja proces tiska. Nije potrebno pisati vlastiti kod, ali je korisno znati osnove kako bi se moglo analizirati mogući problemi koji se stvore pri tisku. 3D pisači tiskaju objekt prema napisanim linijama G- koda od početka prema kraju [32].

Kada se objekt uveze u program, potrebno je odrediti razne parametre poput vrste 3D pisača, dužinu, širinu i visinu prostora za tisak. Isto tako podešava se širina i temperaturu mlaznice i ploče ovisno o pisaču i filamentu kojim će se model tiskati. Program prikazuje model i od koliko se slojeva taj model sastoji te vremensko trajanje postupka 3D tiska. Način prikaza modela u PrusaSliceru je način na koji će se 3D tisak izvoditi. Program isto tako prikazuje ukoliko se na modelu nalazi neka greška ili će za neke dijelove biti potrebno tiskati potporne dijelove. Na slici 25 je prikazan je element pripremljen za 3D tisak. Zelena linija oko modela je linija koja se tiska na početku prije samog procesa tiska modela.



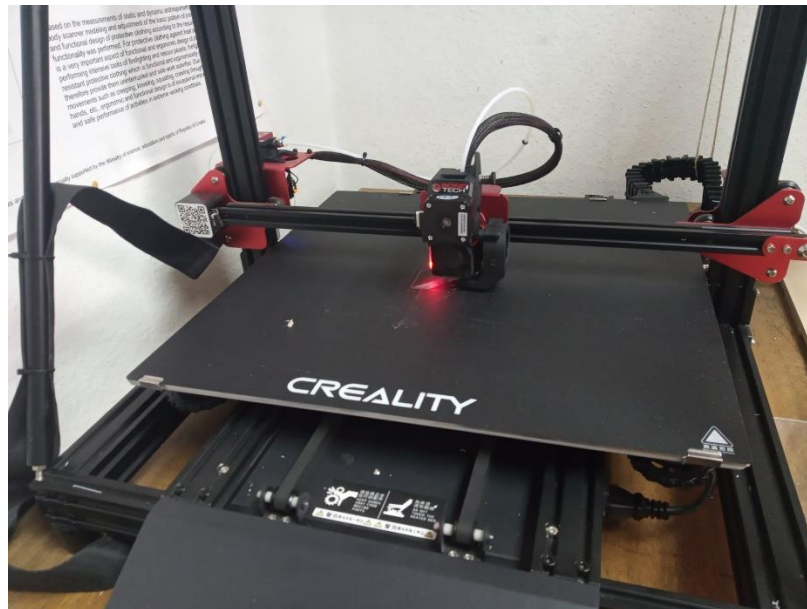
Slika 25. Element ojačanja pripremljen za 3D ispis

3.6. 3D tiskanje ojačanja

Nakon završetka izrade 3D modela ojačanja za palac i kažiprst, te pripreme modela za tisak može započeti postupak 3D tiska. Vrijeme tiska najčešće se mjeri u satima, a ovisi o

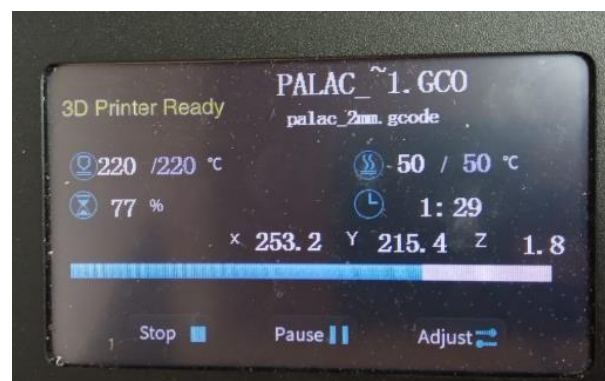
vrsti pisača, tehnologiji i materijalima, veličini modela, složenosti geometrije modela, kvaliteti 3D tiska, ispuni materijala, itd.

Za 3D tisk ojačana za prste za osobe u invalidskim kolicima korišten je 3D pisač Creality CR-10 Max (slika 26).



Slika 26. Radna površina 3D pisača Creality CR-10 Max

3D pisač ima zaslon na kojem se kontrolira cijeli proces 3D tiska (slika 27). Na njemu se podešavaju razni parametri prije samog tiska. Za vrijeme tiska prikazuje informacije kao što su naziv modela koji se tiskaju, temperaturu mlaznice, temperaturu podloge i sl.. Isto tako postoji mogućnost privremenog zaustavljanja ili potpunog zaustavljanja procesa tiska.



Slika 27. Zaslon 3D pisača

Ojačanja su tiskana na način da se najprije tiska prvi sloj. Pisač se privremeno zaustavlja. Na tiskani sloj se postavlja materijal. Nakon što se materijal pozicionira i učvrsti, pisač nastavlja s tiskom ostalih slojeva, sloj po sloj.

Kada je postupak 3D tiska završen, vrlo je važno uklanjanje objekata s ploče 3D pisača. To je važno zbog toga da objekt ostane sačuvan, neoštećen i kvalitetan. Postoje različiti načini uklanjanja predmeta, od ručnog uklanjanja, gdje je potreban osjećaj kako se objekt ne bi oštetio, pa do korištenja ravnih i oštih predmeta ili kupnje fleksibilnih platformi za tisak koje se lagano saviju.

Većina predmeta zahtijeva dodatnu obradu poput brušenja, poliranja, bojanja i lakiranja te drugih konvencionalnih završnih operacija u svrhu estetike, poboljšanja svojstava i drugih funkcionalnosti. Isto tako, ukoliko se predmet tiska s potporama, njih je potrebno ukloniti mehaničkim putem, rukom ili pomoću kliješta. Ojačanja su skidana s površine 3D pisača, laganim struganjem. Dodatna obrada nije potrebna.

U tablici 1 prikazani su parametri kod 3D tiska PLA i TPU filameta. Filamenti se razlikuju u temperaturi ekstruzije koja može varirati od 200- 250 °C, dok temperatura podloge može iznositi od 50 - 60 °C. Za PLA, u ovome slučaju kao što je prikazano u tablici iznosi 210 °C, a za TPU 240 °C. Filamenti imaju promjer od 1,75 mm. Brzina ispisa iznosi 30 mm/s, a gustoća kod PLA iznosi 1,24 g/cm³, dok kod TPU 1,22 g/cm³. visina sloja je identična kod oba filameta i iznosi 0,3 mm. Isto vrijedi za veličinu mlaznice, koja u oba slučaja iznosi 0,4 mm te kut ispune od 45°.

Tablica 1. Parametri ispisa PLA i TPU filameta

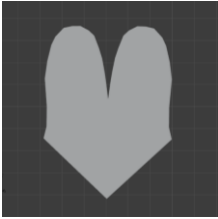



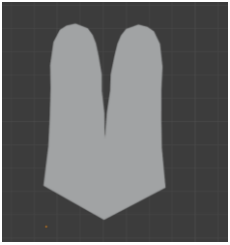
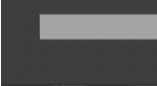
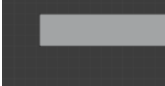
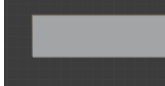



Filament	Temp. ekstruzije (°C)	Promjer (mm)	Brzina (mm/s)	Gustoća (g/cm ³)	Visina sloja (mm)	Temp. Ploče (°C)	Veličina mlaznice (mm)	Kut ispune (°)
PLA	210	1,75	30	1,24	0,3	60	0,4	45
TPU	240	1,75	30	1,22	0,3	50	0,4	45

4. REZULTATI I RASPRAVA

Prema planu eksperimenta ovog rada dobiveni su rezultati koji su prikazani u ovom poglavlju.

U tablici 2 prikazana su ojačanja za palac i kažiprst koja su konstruirana, modelirana i 3D tiskana. Ovako izvedena ojačanja su kasnije korištena kao etalon za izradu drugih. Ojačanja su izrađena tako prekrivaju kompletno područje palca i područje kažiprsta. Prikazan je izgled ojačanja, broj i visina slojeva. Isto tako i shematski prikaz slojeva i prikaz slojeva u procesu izrade ojačanja (Blender, PrusaSlicer). Ojačanja su tiskana u 3 različita uzorka. Prvi uzorak je tiskan u 1 sloju, visina tog sloja iznosi 0,3 mm. Drugi je uzorak tiskan u 2 sloja i visina tog uzorka iznosi 0,65 mm. Dok je 3 uzorak tiskan u 3 sloja i njegova visina iznosi 0,95 mm. Filament korišten za 3D tisak ojačanja je TPU.

Tablica 2. Prikaz etalona i njihovih slojeva za 3D tisak TPU filamentom

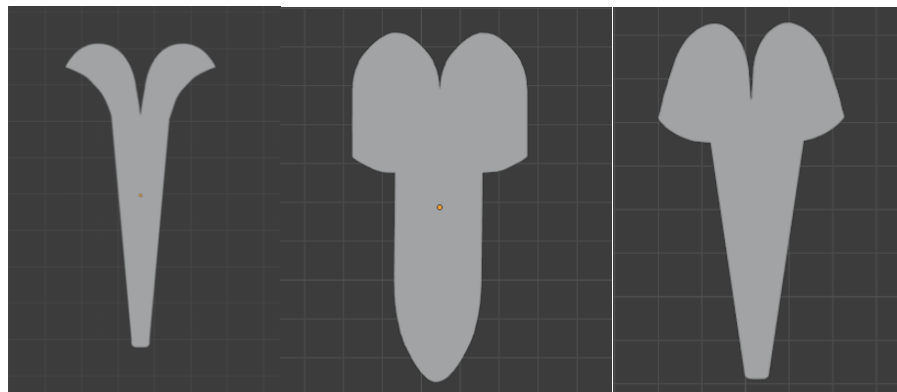
Etalon za palac i kažiprst		3D visina tiska		
Palac		1 sloj 0,3 mm 	2 sloja 0,65 mm 	3 sloja 0,95 7mm 
Kažiprst				
				

Nakon što su ojačanja 3D tiskana (slika 28), ustanovilo se kako najbolje rezultate pokazuje uzorak od 2 sloja. Uzorak 3D tiskan u jednom sloju nije kompaktan zbog filameta koji je usmjeren samo u jednom smjeru. Uzorak u 3 sloja ima najmanju savitljivost te nije pogodan za korištenje.

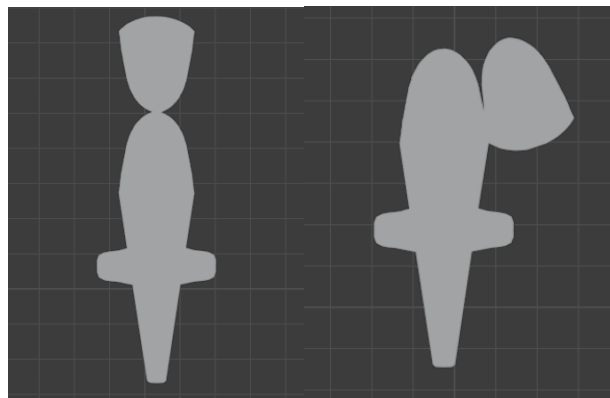


Slika 28. 3D tiskano ojačanje za palac korišteno kao etalon

Na slici 29 i 30 prikazano je pet različito modeliranih ojačanja. Ojačanja su modelirana prema etalonu za kažiprst prikazanom u tablici 2. Sva ojačanja prekrivaju područje jagodice i prsta te se protežu duž prsta s bočne strane. Dio ojačanja koji prekriva nokat i jagodicu u svim uzorcima izveden je na različite načine kako bi se utvrdila najbolja varijanta ojačanja. Na slici 30 ojačanje je konstruirano na način da se pruži dodatna potpora u području između zglobova prsta. Sva ojačanja su 3D tiskana bez implementacije materijala u 2 sloja. Filament korišten za 3D tisak ojačanja je TPU. Na slici 31 prikazana su 3D tiskana ojačanja iz jednog dijela za kažiprst.



Slika 29. Verzije ojačanja izrađena po etalonu prikazanom u tablici 2

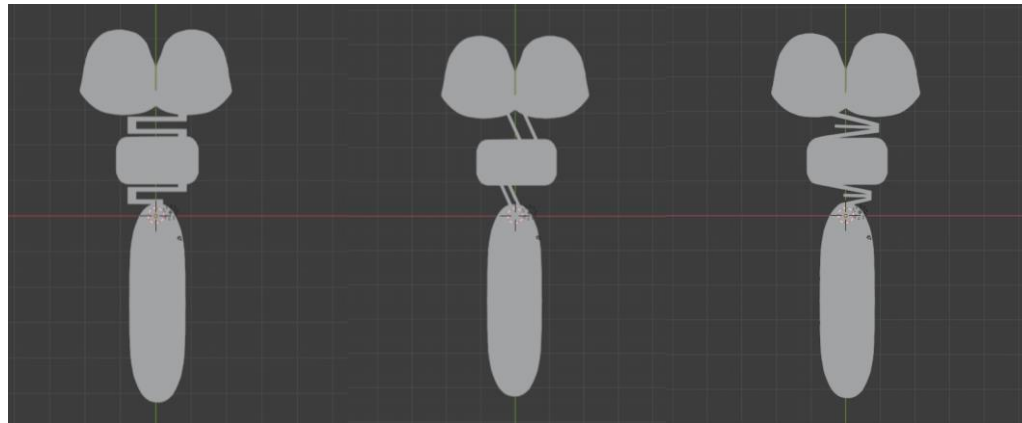


Slika 30. Verzije ojačanja s dodatnim potporama izrađena po etalonu prikazanom u tablici 2



Slika 31. 3D tiskana ojačanja konstruirana i modelirana iz jednog dijela

Budući da početna ojačanja smanjuju sposobnost savijanja prsta na zglobovima, stvara se potreba za poboljšanjem dijelova ojačanja (slika 32). Uzorak a) modeliran je tako da prekriva područje nokta i jagodice te se nadalje proteže po dužini prsta s bočne strane. Na dijelovima ojačanja koja prekrivaju zglobove modelirani su nepravilni oblici nalik cijevima. Kod uzorka b) na području zglobova nalaze se 2 štapičasta elementa diagonalno pozicionirana, a kod uzorka c) tri štapičasta elementa horizontalno pozicionirana. Jedina razlika kod ovih ojačanja nalazi se upravo u području zglobova. No sva ojačanja kod korištenja funkcioniraju po istom principu, odnosno prilikom savijanja zglobova elementi se skupljaju jedan uz drugi s jedne strane. Ojačanja su 3D tiskana bez implementacije materijala u 2 sloja (slika 33). Filament korišten za 3D tisak ojačanja je TPU.



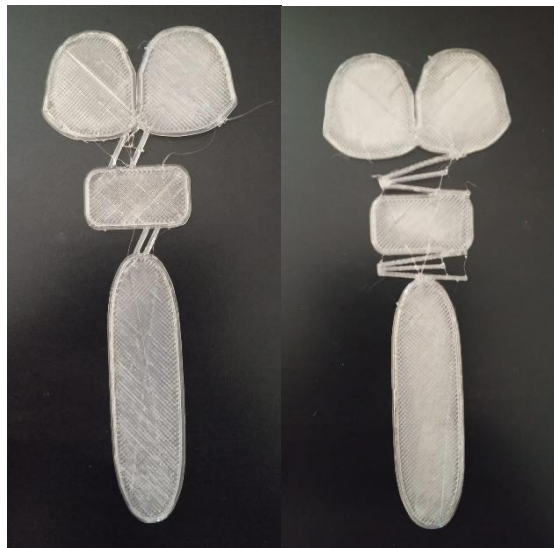
a)

b)

c)

Slika 32. Verzije ojačanja s elementima koji omogućuju lakše savijanje zgloba

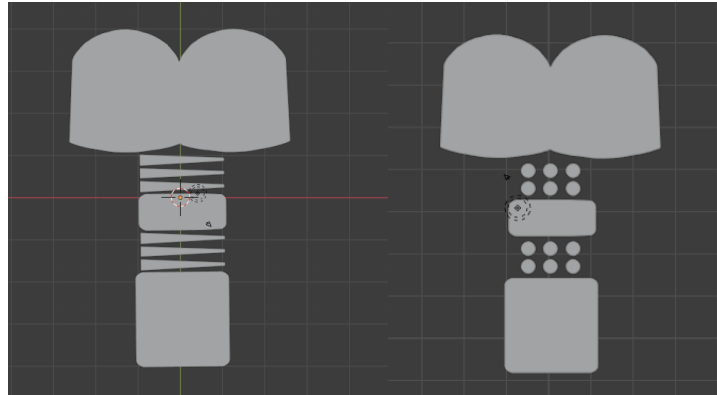
- a) Ojačanja s elementima nalik cijevima, b) Ojačanja s dijagonalno pozicioniranim štapičima, c) Ojačanja s horizontalno pozicioniranim štapičima



Slika 33. 3D tiskana ojačanja s prilagođenim elementima na zglobovima

Na slici 34 prikazana su ojačanja koja se sastoje od nekolicine elemenata. Ojačanja su 3D tiskana na materijal. Materijal na koji su ojačanja tiskana je žutica. Ojačanja su 3D tiskana u 2 sloja. Uzorak a) modeliran je tako da prekriva područje nokta i jagodice te se nadalje proteže po dužini prsta s bočne strane. Na dijelovima ojačanja koja prekrivaju zglobove modelirana je nekolicina prizmi. Uzorak b) modeliran je na sličan način. U b) slučaju problem na području zglobova riješen je modeliranjem valjaka. Dijelovi ojačanja u oba se uzorka u području zglobova skupljaju jedan uz drugi prilikom savijanja prsta, skupljanje se

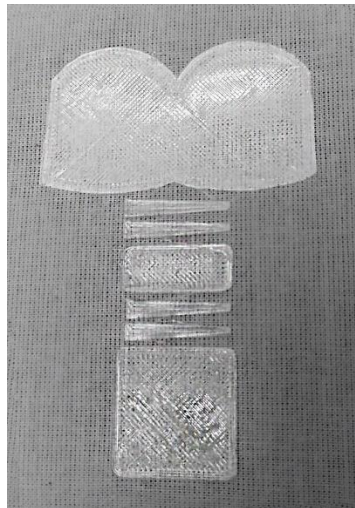
odvija s jedne strane. Ojačanja su 3D tiskana u 2 sloja. Filament korišten za 3D tisak ojačanja je TPU. 3D tiskano ojačanje za kažiprst s elementima prizme prikazano je na slici 35.



a) b)

Slika 34. Ojačanja s više nepovezanih elemenata

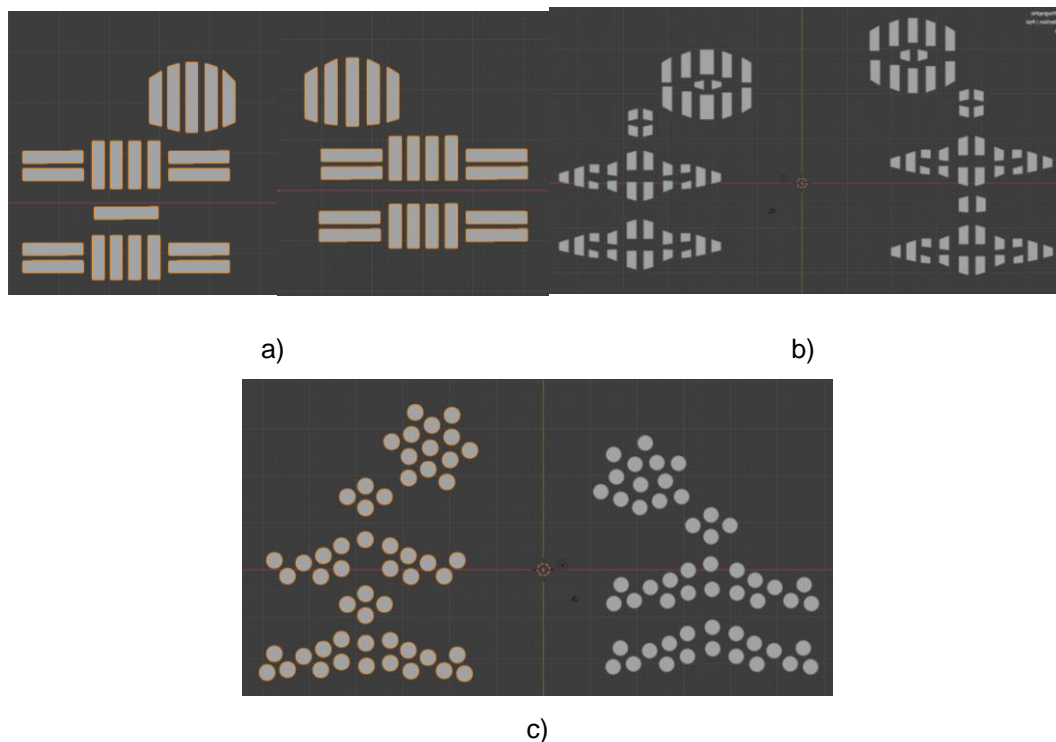
a) Ojačanja s elementima prizme, b) Ojačanja s elementima valjka



Slika 35. 3D tiskano ojačanje za kažiprst s elementima prizme

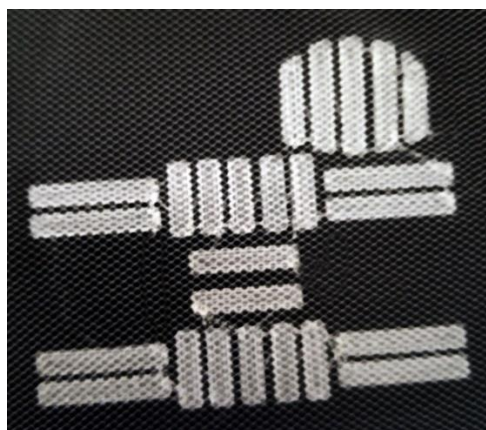
Ojačanja i dalje u potpunosti ne zadovoljavaju stupanj udobnosti i pokreta. Iz tog su razloga modelirana ojačanja na slici 36. Ojačanja su izvedena na način da prekrivaju područje jagodica te se protežu po dužini prsta s bočne strane. Na dijelovima gdje se nalazi zglob, ojačanja su konstrukcijski prilagođena savijanju prsta. Dijelovi ojačanja koji prekrivaju područje između zglobova dodatno su ojačana kako bi bolje prijanjala uz prst te fiksirala ojačanje. Ojačanja su tiskana u 2 sloja, a filament koji su korišteni su

PLA i TPU. Između slojeva ojačanja implementirano je pletivo. 3D tiskano ojačanje za palac od štapićastih elemenata prikano je na slici 37. Neovisno o korištenom filamentu najmanju savitljivost pokazuje uzorak a). Kod uzorka c) dolazi do problema zbog veličine elemenata. Elementi imaju malu površinu, što dovodi do problema kod preciznosti u postupku 3D tiskanja.



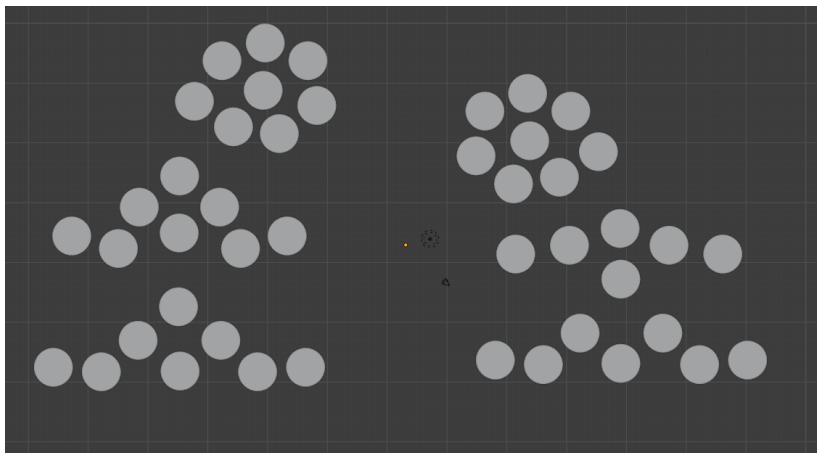
Slika 36. Ojačanja sastavljena od nekolicine grupiranih elemenata

- a) Ojačanja od štapićastih elemenata, b) Ojačanja od raznovrsnih elemenata, c) Ojačanja od valjkastih elemenata

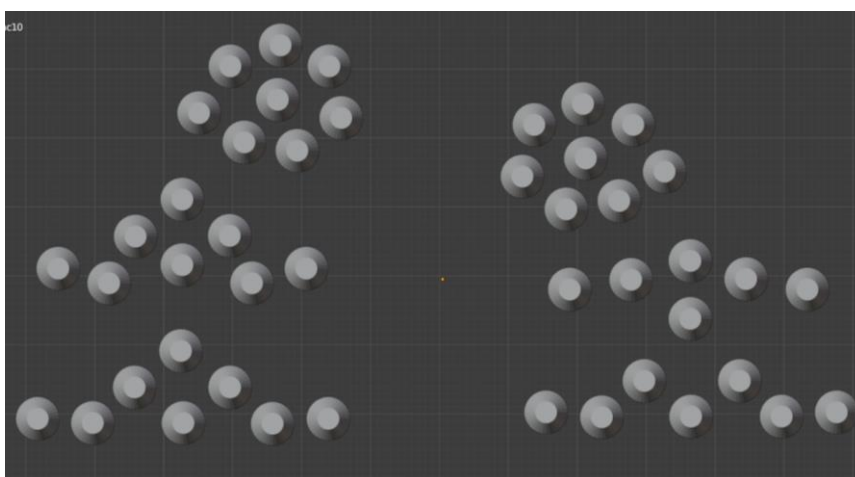


Slika 37. 3D tiskana ojačanja za palac od štapićastih elemenata

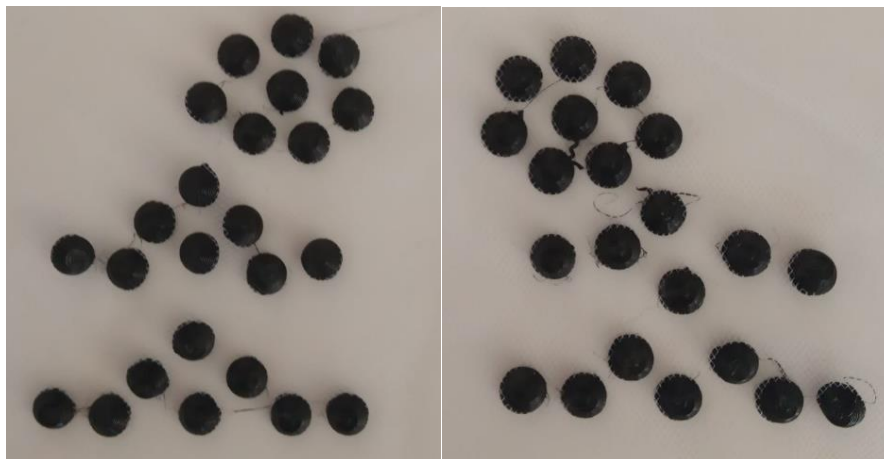
Na slikama 38 i 39 prikazana su ojačanja za palac i kažiprst. Ojačanja su konstruirana i modelirana na način da prekrivaju područje jagodica i protežu se s bočne strane po dužini prsta. Na područjima zglobova, ojačanja su konstrukcijski prilagođena kako ne bi dolazilo do smetnji kod savijanja kažiprsta i palca. Na područjima između zglobova ojačanja su modelirana na način da pružaju dodatnu potporu prstu te ojačanje fiksiraju oko njega. Ojačanja su 3D tiskana s TPU i PLA filamentima. Na slici 40 prikazana su ojačanja 3D tiskana PLA filamentom. Na slici 41 prikazana su ojačanja 3D tiskana TPU filamentom.



Slika 38. Ojačanja od valjkastih elemenata



Slika 39. Ojačanja od stožastih elemenata



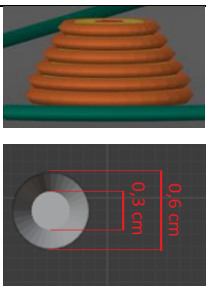
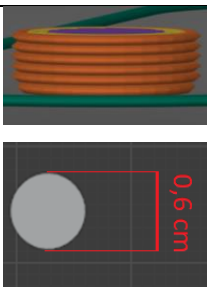
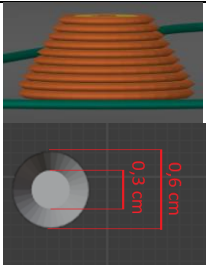
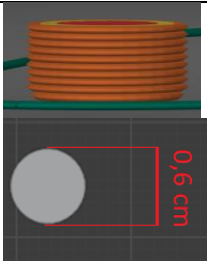
Slika 40. Ojačanja 3D tiskana PLA filamentom



Slika 41. Ojačanja 3D tiskana TPU filamentom

Ojačanja su izvedena u 2 varijante. U jednoj varijanti ojačanje se sastoji od valjaka (slika 38), pozicioniranih prema konstrukciji prstiju. U drugoj varijanti ojačanja se sastoje od stožaca bez vrha (slika 39) pozicioniranih na identičan način. Filamenti korišteni za 3D tisak su TPU i PLA. Obje varijante ojačanja su 3D tiskane u dvije visine, odnosno u 5 slojeva i u 10 slojeva. U tablici 3 prikazan je broj slojeva u kojima su ojačanja tiskana te njihova visina. Isto tako i prikaz slojeva u PrucaSliceru. Ojačanja se sastoje od manjih elemenata, valjaka i stožaca bez vrha. Promjer valjka iznosi 0,6 cm. Promjer stošca iznosi 0,3 cm u gornjem dijelu i 0,6 cm u donjem dijelu.

Tablica 3. Prikaz slojeva ojačanja u finalnoj verziji

Slojevi	visina (mm)	Stožac	Valjak
5	1,55		
10	3,05		

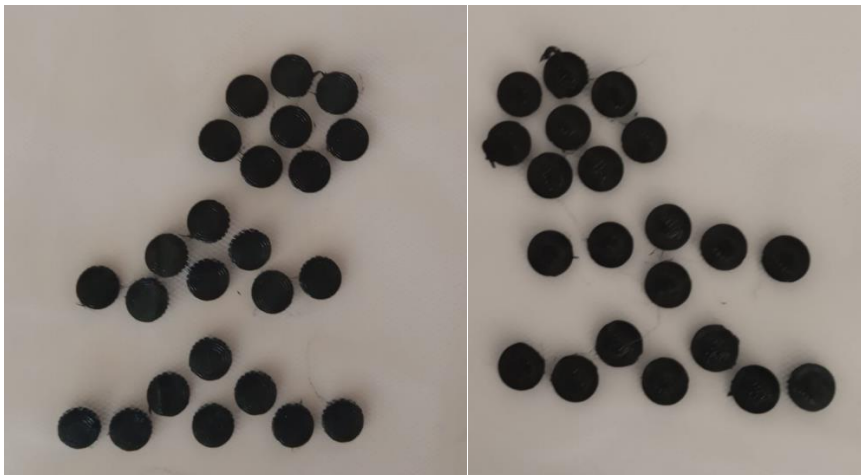
U tablici 4 su prikazani materijali i način implementacije materijala s 3D tiskanim ojačanjima. Filameti su tiskani na sirovu pamučnu tkaninu i neopren samo s jedne strane, dok je til implementiran između slojeva filameta. Najbolje rezultate pokazuje 3D tisak na tilu. Razlog je to što til ima malu gustoću, napravljen je od poliesterskih vlakna i implementiran između slojeva filameta. Slojevi filameta se lijepe jedan za drugi. Najlošije rezultate pokazuje 3D tisak na sirovoj pamučnoj tkanini. Razlog tome je što je sirova pamučna tkanina gusto tkani materijal, a filament je tiskan samo s jedne strane. Pamuk je prirodno vlakno i zbog toga se polimeri lošije lijepe za tu vrstu tkanine.

Tablica 4. Materijali i način implementacije

Materijal	Vrsta vlakna	Vrsta materijala	Način implementacije
Sirova pamučna tkanina	pamuk	Tkanina	Ispod filameta
Til	PES	Pletivo	Između filameta
Neopren	PES	tkanina	Ispod filameta

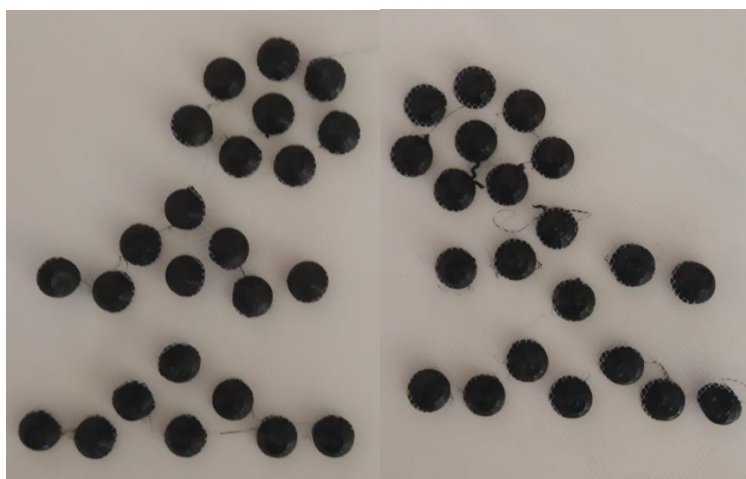
Slika 42 prikazuje ojačanje za kažiprst i palac koje se sastoji od valjaka. Ojačanja su 3D tiskani PLA filamentom u 5 slojeva. Ojačanja su 3D tiskana na način da je u njih

implementiran materijal, odnosno pletivo. Na način da je najprije tiskan prvi sloj, postupak se zatim pauzira. Pozicionira se materijal, zatim se postupak ponovno pokreće i odvija do kraja.



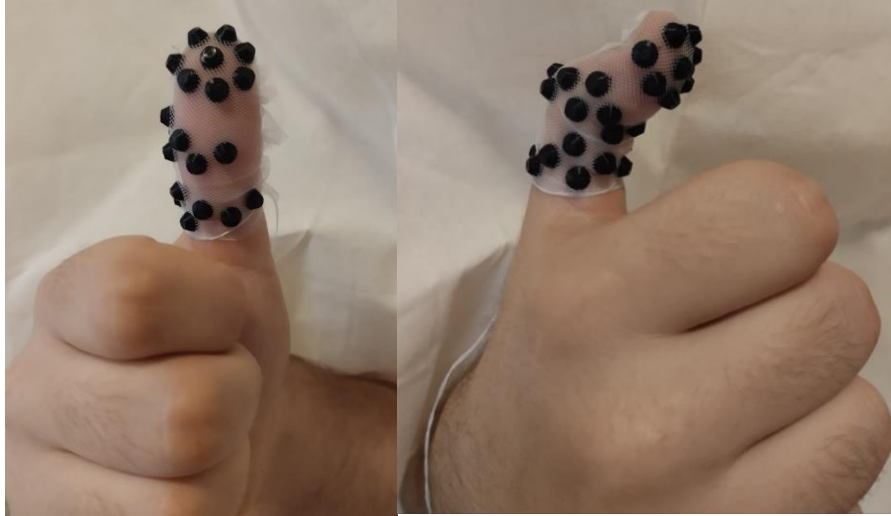
Slika 42. Ojačanja za palac i kažiprst s elementima valjka

Slika 43 prikazuje ojačanje za kažiprst i palac koje se sastoji od stožaca bez vrha. Ojačanja su 3D tiskani PLA filamentom u 5 slojeva. Ojačanja su 3D tiskana na način da je u njih implementiran materijal, odnosno pletivo. Najprije je tiskan prvi sloj, postupak se zatim pauzira. Pozicionira se materijal, zatim se postupak ponovno pokreće i odvija do kraja.



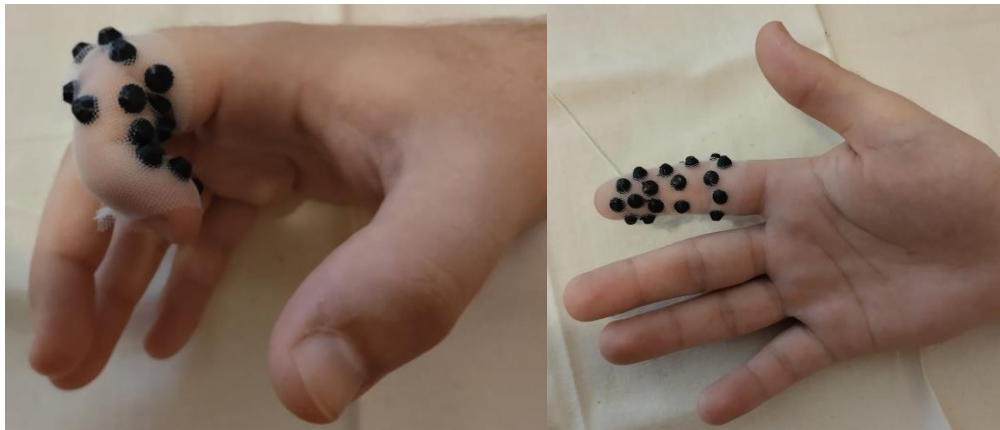
Slika 43. Ojačanja za palac i kažiprst s elementima krnjeg stošca

Na slici 44 nalaze se ojačanja za palac prikazana u primjeni. Prikazana su ojačanja sastavljena od stožaca, tiskana PLA filamentom u 10 slojeva.



Slika 44. Ojačanja pozicionirana na palac

Na slici 45 nalaze se ojačanja za kažiprst prikazana u primjeni. Prikazana su ojačanja sastavljena od stožaca, tiskana PLA filamentom u 10 slojeva.



Slika 45. Ojačanja pozicionirana na kažiprst

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan cijeli postupak izrade ojačanja za osobe u invalidskim kolicima, počevši od skeniranja ruku, konstrukcije i modeliranja pa sve do procesa 3D tiska. Ruke su skenirane 3D skenerom kako bi se ojačanja mogla izraditi po mjeri. Prema skeniranom modelu ruke je izrađen predložak za izradu ojačanja, a na poslijetku ojačanja koja su 3D tiskana.

Svaki čovjek ima drugačiji oblik ruku. Neki ljudi imaju deblje, neki tanje prste, širi ili uži dlan. Iz tog razloga je važno da ojačanja upravo budu izrađena za osobu koja će ih koristiti.

Finalna verzija ojačanja osigurava dobru zaštitu kažiprsta i palca od ozljeda nastalih od trenja ili udarca. Dijelovi ojačanja pozicionirani su tako da ne smanjuju pokretljivost prstiju, odnosno zglobova. Pružaju dobro prianjanje i odgovarajuću potporu te omogućuju lakše kretanje.

Bolje rezultate pokazala su ojačanja sastavljena od stožaca bez vrha radi konstrukcije samih elemenata. Pružaju dobru zaštitu i ne smanjuju funkcionalnost. Filamenat TPU ima bolju fleksibilnost i pogodniji je za korištenje u ovakve svrhe, iako je i PLA pokazao jako dobre rezultate. Za TPU polimer se pretpostavlja da zbog svojih fleksibilnih svojstva ima bolje uporabne vrijednosti. Vrijednosti koje su dobivene bi se mogle i dodatno ispitati, zbog vidljivo velikog broja različitih rješenja.

Ojačanja ako su izrađena po mjeri i pravilno konstruirana i modelirana mogu uvelike olakšati život osobama u invalidskim kolicima.

6. LITERATURA

- [1] Dadić, M.; Bačić, A.; Župa, I.; Vukoja, A.: Definiranje pojmova invaliditet i osoba s invaliditetom, <https://hrcak.srce.hr/file/319128>, pristupljeno 10.1.2022.
- [2] Leksikonski zavod Miroslav Krleža,
<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=27705>, pristupljeno 10.1.2022.
- [3] Međunarodni dan osoba s invaliditetom (3.12.), <https://www.zzjz-zz.hr/medunarodni-dan-osoba-s-invaliditetom-2020/>, pristupljeno 10.1.2022.
- [4] Čorak, A.; Primjena 3D tehnologija pri izradi muških hlača namijenjenih igračima ragbija u invalidskim kolicima, Diplomski rad, Tekstilno-tehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2020.
- [5] Pristupačnost za osobe s invaliditetom,
<https://ldap.zvu.hr/~andrejab/ERGO/Pristupa%C4%8Dnost%20za%20osobe%20s%20invaliditetom.htm>, pristupljeno 10.1.2022.
- [6] Turčin, M.M.: Računalno modeliranje rukavica za osobe u invalidskim kolicima, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, 2019.
- [7] Bogović, S.; Turčin, M. M.: Konstrukcija i računalno modeliranje rukavica za osobe u invalidskim kolicima, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, 2019.
- [8] Petrak S.; Ujević D.; Sabolčec D.: 3D računalno antropometrijsko mjerenje stopala i oblikovanje kalupa za obuću, Koža i obuća 7-9, (2011) 26-28.,
<https://bib.irb.hr/datoteka/567354.koza-obuca-7-9-2011.pdf>, pristupljeno 2.5.2019.
- [9] History of 3D printing, <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/#02-history>, pristupljeno 10.1.2022.
- [10] When Was 3D Printing Invented? The History of 3D Printing,
<https://www.bcn3d.com/the-history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/#:~:text=The%20first%20documented%20iterations%20of,was%20polymerized%20by%20UV%20light.>, pristupljeno 10.1.2022.
- [11] The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today,
<https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/the-history-of-3d-printing/>, pristupljeno 10.1.2022.

- [12] What is 3D printing?, <https://www.hubs.com/guides/3d-printing/>, pristupljeno 12.1.2022.
- [13] Hrženjak, R.; Bogović, S.; Rogina-Car, B.: 3D Printing Technologies for Clothing Industry: A Review, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-66937-9_12, preuzeto 21.6.2022.
- [14] The 9 Different Types of 3D Printers, <https://3dinsider.com/3d-printer-types/>, pristupljeno 12.1.2022.
- [15] Markovac, D.: Prototipno modeliranje 3D pisača, Diplomski rad, Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin, 2020, <https://repozitorij.unin.hr/islandora/object/unin:3724>, pristupljeno 20.1.2022.
- [16] 3DJAKE, Creality CR-10 Max, <https://www.3djake.com/creality-3d-printers-spares-parts/cr-10-max>, pristupljeno 20.1.2022.
- [17] Featured Materials, <https://3dprinting.com/materials/>, pristupljeno 12.1.2022.
- [18] Bogović, S.; Čorak, A.: A New Method for Testing the Breaking Force of a Polylactic Acid-Fabric Joint for the Purpose of Making a Protective Garment, Protective Garment. Materials 2022, 15, 3549. <https://doi.org/10.3390/m4510354915>, 3549. <https://doi.org/10.3390/m45103549>, preuzeto 21.6.2022.
- [19] Česti materijali koji se koriste za 3D print, <https://www.printer3d.hr/savjeti-strucnjaka/materijali-za-3d-printanje/>, pristupljeno 12.1.2022.
- [20] PLA filament, <https://www.printer3d.hr/pla-filament/>, pristupljeno 13.1.2022.
- [21] ABS filament, <https://www.printer3d.hr/abs-filament/>, pristupljeno 13.1.2022.
- [22] PVA filament <https://www.printer3d.hr/pva-filament/>, pristupljeno 13.1.2022.
- [23] PA filament, <https://www.printer3d.hr/nylon-filament/>, pristupljeno 13.1.2022.
- [24] ASA filament, <https://www.printer3d.hr/asa-filament/> pristupljeno 13.1.2022.
- [25] 3D Printing PEEK, PEI and ULTEM, <https://www.beamler.com/3d-printing-peek-pei-ultem/>, pristupljeno 13.1.2022.

[26] Complete Guide on Thermoplastic Polyurethanes (TPU), <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/thermoplastic-polyurethanes-tpu>, pristupljeno 13.1.2022.

[27] Što je termoplastični poliuretan (TPU)?, <https://www.tremplin-numerique.org/hr/quest-ce-que-le-polyurethane-thermoplastique-tpu>, pristupljeno 13.1.2022.

[28] MeshLab, <https://www.meshlab.net/#description>, pristupljeno 12.1.2022.

[29] Marvelous Designer, <https://www.linkedin.com/showcase/marvelous-designer>, pristupljeno 12.1.2022.

[30] Blender- Introduction, https://docs.blender.org/manual/en/latest/getting_started/about/introduction.html, pristupljeno 12.1.2022.

[31] PrusaSlicer, <https://github.com/prusa3d/PrusaSlicer>, pristupljeno 13.1.2022.

[32] Gcode Guide, <http://wiki.solidoodle.com/gcode-guide>, pristupljeno 13.1.2022.