3D printanje i izrada brzih prototipova

Kalčić, Mišel

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Istrian University of applied sciences / Istarsko veleučilište - Universita Istriana di scienze applicate**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:212:152056

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-17**

Image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

Digital repository of Istrian University of applied sciences

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

ISTARSKO VELEUČILIŠTE

UNIVERSITÀ ISTRIANA DI SCIENZE APPLICATE

Mišel Kalčić

3D PRINTANJE I BRZA IZRADA PROTOTIPOVA

Završni rad

Pula, 2020.

ISTARSKO VELEUČILIŠTE

UNIVERSITÀ ISTRIANA DI SCIENZE APPLICATE

Mišel Kalčić

3D PRINTANJE I BRZA IZRADA PROTOTIPOVA

Završni rad

JMBAG:0233007160, izvanredni student

Studijski smjer: Preddiplomski stručni studij politehnike

Predmet: Tehnologija i proizvodna tehnika 2

Mentor: dr.sc. Davor Stanić, pred.

Pula, 2020.

SADRŽAJ:

Sažetak 5

Summary 5

1. UVOD 6
   1.1. Cilj i svrha rada 6
   1.2. Hipoteza 6
   1.3. Struktura rada 6

2. ADITIVNA PROIZVODNJA 8
   2.1. Općenito o aditivnoj proizvodnji 8
   2.2. Podjela tehnologija aditivne proizvodnje 11
      2.2.1. SLA postupak 12
      2.2.2. PJ postupak 14
      2.2.4. 3DP postupak 18
      2.2.5. FDM postupak 20
   2.3. Područja primjene aditivne proizvodnje 22
      2.3.1. Edukacija 22
      2.3.2. Brza izrada prototipa 22
      2.3.3. Medicina 23
      2.3.4. Graditeljstvo 24
      2.3.5. Izrada nakita 24
   2.4. Isplativost primjene aditivne proizvodnje 25

3. 3D MODELIRANJE ZA ADITIVNU PROIZVODNJU 27
   3.1. 3D modeliranje za FDM postupak 27
   3.2. 3D modeliranje za SLA postupak 29
   3.3. 3D modeliranje za SLS postupak 30
   3.4. 3D modeliranje za 3DP postupak 31

4. IZRADA PROTOTIPA KORISTEĆI FDM 3D PRINTER 33
   4.1. 3D modeliranje viljuškastog ključa 34
   4.2. Priprema 3D ispisa 40
      4.2.1. 3D printer Prusa i3 MK3 40
      4.2.2. Prusa Slic3r 41
      4.2.3. 3D printanje prototipa 45

5. ZAKLJUČAK 49

POPIS LITERATURE 50

POPIS SLIKA 52

POPIS TABLICA..... 55

Sažetak

Razvojem tehnologije 3D printeri postali su dostupniji široj populaciji, no i dalje velik udio korištenja 3D printera pripada industriji posebice prilikom izrade prototipa. U ovom radu prikazan je kratak pregled najčešće korištenih postupaka aditivne tehnologije zajedno sa njihovim prednostima odnosno nedostacima. Osim toga, istaknute su određene smjernice kojih se potrebno pridržavati prilikom 3D modeliranja za pojedini postupak. U praktičnom dijelu rada prikazan je cjelokupni postupak izrade prototipa. Koristeći 3D CAD program prvotno je izrađen model koji je proizveden uz pomoć FDM 3D printera.

KLJUČNE RIJEČI: aditivna proizvodnja, 3D printer, CAD model, prototip

Summary

With the development of technology, 3D printers have become more accessible to the general public, but a large proportion of the use of 3D printers still belongs to the industry, especially when prototyping. This paper provides a brief overview of the additive technology processes, together with their advantages or disadvantages.

In addition, there are some guidelines that should be followed when 3D modeling for a particular procedure. The practical part of the paper shows the whole process of prototype design. Using the 3D CAD program, the model was originally created and then produced using the FDM 3D printer.

KEYWORDS: additive manufacturing, 3D printer, CAD model, prototype

1. UVOD

Aditivna tehnologija popularnija pod marketinškim nazivom 3D printanje doživjela je značajan procvat unatrag nekoliko godina. Popularizacija aditivne tehnologije otišla je toliko daleko da 3D printeri danas nisu strogo rezervirani samo za industrijsku primjenu već i za hobističke, edukativne i slične svrhe. Ubrzan razvoj tehnologije prati i sve zahtjevnije potrebe tržišta, odnosno danas je na tržištu moguće pronaći veliki broj različitih proizvoda koji donedavno ili uopće nisu postojali ili ih se nije moglo pronaći u toliko različitih varijanti. Upravo aditivna tehnologija nastala je kao odgovor na potrebe tržišta, jer omogućava brži razvoj proizvoda odnosno u konačnici kraći period do lansiranja novog proizvoda na tržište.

1.1. Cilj i svrha rada

Cilj ovog završnog rada je pronaći prednosti i nedostatke korištenja aditivne tehnologije prilikom izrade prototipa u odnosu na tradicionalne postupke proizvodnje te upoznati principe rada najčešće korištenih 3D printera.

Svrha ovog završnog rada jest istraživanje aditivne tehnologije te njezine primjene.

1.2. Hipoteza

Primjena aditivne tehnologije u industriji značajno pojeftinjuje i skraćuje postupak izrade prototipa.

1.3. Struktura rada

Završni rad sastoji se od ukupno pet poglavlja a to su: uvod, aditivna proizvodnja, 3D modeliranje za aditivnu proizvodnju, izrada prototipa koristeći FDM 3D printer te zaključak koja su potom još podijeljena na potpoglavlja.

U uvodu završnog rada dati je kratak uvod u aditivnu tehnologiju te su definirani ciljevi i svrha samoga rada kao i polazna hipoteza.

U drugom poglavlju prikazana je podjela postupaka aditivne tehnologije te su detaljnije obrađene najčešće korištene tehnologije. Također, navedene su različite primjene aditivne tehnologije te njihova isplativost u odnosu na tradicionalne postupke.

U trećem poglavlju date su osnovne smjernice te ograničenja u vezi 3D modeliranja za različite postupke aditivne tehnologije.

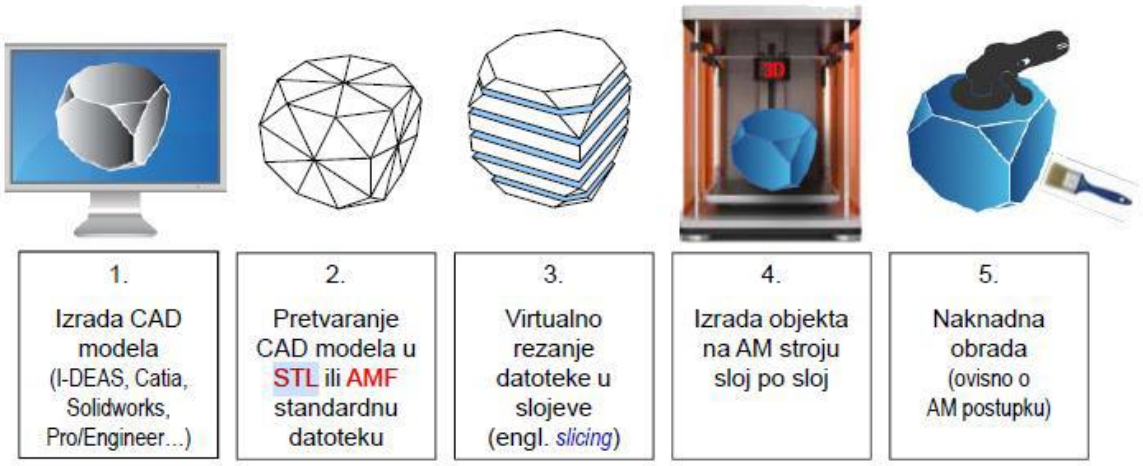
U četvrtom poglavlju prikazan je čitav proces izrade funkcionalnog prototipa viljuškastog ključa koristeći FDM 3D printer.

U zaključku dati je kratak rezime cijeloga rada te su navedene stvari koje bi poželjno bilo unaprijediti prilikom ponovne izrade prototipa.

2. ADITIVNA PROIZVODNJA

2.1. Općenito o aditivnoj proizvodnji

Aditivna proizvodnja (*engl. Additive manufacturing*) ili poznatija pod marketinškim nazivom 3D printanje jest proces kreiranja fizičkog objekta na temelju 3D digitalnog modela. Aditivna proizvodnja zapravo je zajednički naziv za različite tehnologije koje se sve temelje na istom principu odnosno pretvorbi digitalnog modela u trodimenzionalni fizički objekt dodavanjem materijala sloj po sloj. Princip izrade 3D modela koristeći aditivnu tehnologiju prikazan je na slici 1.

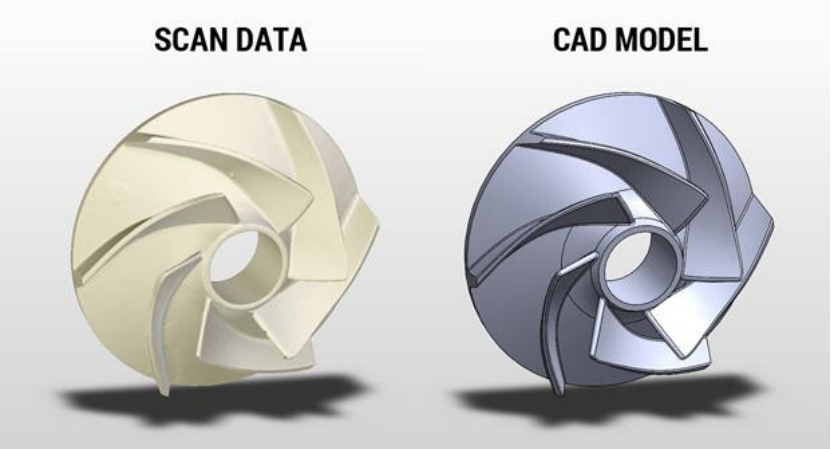


Slika 1. Postupak izrade 3D printanog modela

Izvor: https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/3d-opportunity/the-3d-opportunity-primer-the-basics-of-additive-manufacturing.html

Kao što je prethodno rečeno, osnova za aditivnu proizvodnju jest 3D CAD model kojeg je moguće izraditi na dva načina: 3D modeliranjem ili 3D skeniranjem. 3D modeliranje predstavlja računalnu simulaciju koja stvara vizualni prikaz objekta kao da postoji u tri dimenzije. Neki od najčešće korištenih CAD programskih paketa jesu: *Fusion360, AutoCAD, SolidWorks, Inventor, Tinkercad* itd. Za razliku od 3D modeliranja gdje se 3D model digitalno stvara iz nule dodavanjem različitih značajki , 3D skeniranje omogućava mjerenje i snimanje nekog već postojećeg fizičkog objekta i njegovu pretvorbu u digitalan oblik(mrežu točaka) koristeći uređaj koji se zove 3D skener. U praksi, 3D modeliranje koristi se ponajviše prilikom razvoja novih proizvoda,

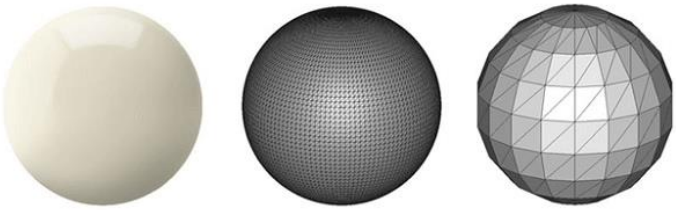
dok se 3D skeniranje koristi kod povratnog inženjerstva kada je potrebno izraditi tehničku dokumentaciju za već postojeći objekt. Na slici 2. prikazana je razlika između modela dobivenih 3D skeniranjem odnosno 3D modeliranjem.



Slika 2. Usporedba između modela dobivenog 3D modeliranjem i 3D skeniranjem

Izvor: https://www.digitalengineering247.com/article/scan-to-cad-tool-for-solidworks/

Prije rezanja 3D CAD modela na slojeve potrebno ga je pretvoriti u jednu od standardnih datoteka kao što je STL (*engl. Stereolithography*) ili AMF (*engl. Additive manufacturing file*) datoteka. Ove datoteke dobiveni 3D CAD model aproksimiraju mrežom trokuta. S obzirom na složenost početnog modela moguće je kontrolirati broj trokuta za aproksimaciju odnosno gustoću mreže. Datoteka sa većim brojem trokuta odnosno gušćom mrežom ujedno i bolje aproksimira početni 3D CAD model, no također i zauzima više memorije na računalu. Na slici 3. prikazano je kako gustoća mreže utječe na kvalitetu aproksimacije 3D CAD modela. Osnovna razlika između AMF i STL datoteke jest u tome što STL datoteka uzima u obzir samo geometriju, dok AMF datoteka sadrži i dodatne informacije vezane uz vrstu materijala, teksturu, boju itd. Ubrzanim razvojem 3D printera AMF datoteka dobiva sve više na važnosti.



Slika 3. Gustoća mreže STL datoteke

Izvor: https://all3dp.com/what-is-stl-file-format-extension-3d-printing/

Nakon pretvorbe 3D CAD modela u STL/AMF datoteku potrebno je istu izrezati na slojeve. Izrada sloj po sloj karakteristika je koja aditivnu proizvodnju razlikuje od drugih proizvodnih tehnologija. S obzirom na traženu točnost i finoću 3D objekta, datoteku je moguće izrezati na različit broj dijelova. Princip izrezivanja CAD modela prikazan je na slici 4. Veći broj slojeva, odnosna niža visina pojedinog sloja rezultira i boljom kvalitetom 3D printanog objekta.

Slika 4. Postupak izrezivanja modela na slojeve

Izvor: https://all3dp.com/2/stl-to-g-code-how-to-convert-stl-files-to-g-code/

Prije puštanja 3D printera u rad, izrezanu datoteku potrebno je pripremiti za 3D ispis imajući na umu tehnologiju koja se koristi. Priprema 3D ispisa sastoji se iz dva segmenta: priprema 3D printera te priprema na računalu. Priprema 3D printera obuhvaća: čišćenje, kalibriranje, učitavanje materijala i sl. Dok priprema na računalu obuhvaća odabir parametara 3D ispisa, odabir pravilne orijentacije printanog objekta itd.

U konačnici kada su svi parametri podešeni te je 3D printer pripremljen kreira se *.gcode* koji sadrži informacije vezane uz potrebno kretanje 3D printera, parametre ispisa, vrstu materijala i sl. koji se potom učitava na 3D printer.

Po završetku 3D ispisa nekad je potrebno printani objekt dodatno doraditi s obzirom na geometriju objekta i korištenu tehnologiju. Primjerice, ukloniti potporni materijal, izložit UV zračenju, obojati, izbrusiti itd. Na slici 5. prikazan je printani model prije i poslije uklanjanja potporne strukture. Kako bi se smanjilo potrebno vrijeme za dodatnu doradu prilikom 3D modeliranja potrebno je držati se određenih smjernica o kojima će biti više rečeno u nastavku rada.

Slika 5. Usporedba 3D printanog objekta prije i poslije završne obrade

Izvor: https://www.thefabricator.com/additivereport/blog/additive/think-about-postprocessing-when-designing-3d-printed-parts

2.2. Podjela tehnologija aditivne proizvodnje

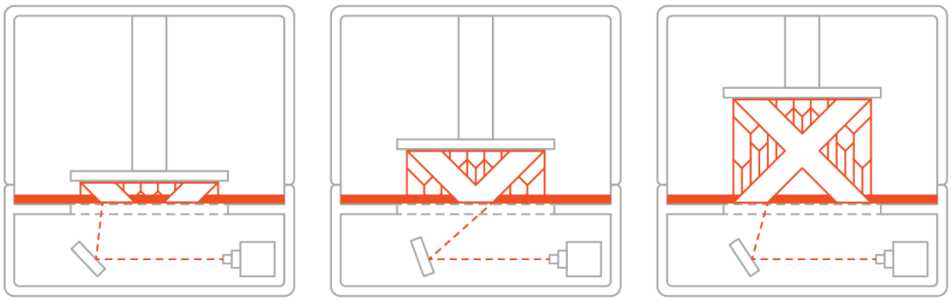
Kao što je rečeno na početku samoga rada, pojam aditivna proizvodnja podrazumijeva zajednički naziv za različite vrste tehnologija izrade fizičkih objekata sloj po sloj. S obzirom na ASTM standard tehnologije aditivne proizvodnje moguće je podijeliti u nekoliko skupina navedenih u nastavku koje se potom također mogu podijeliti na različite slične postupke:

- **Fotopolimerizacija u kadi** (*engl. Vat Photopolymerisation*)
  - SLA - Stereolitografija (*engl. Stereolithography*)
  - DLP fotopolimerizacija (*engl. Digital Light Processing*)
- **Raspršivanje materijala** (*engl. Material Jetting*)
  - PJ – PolyJet (*engl. PolyJet*)
  - MJM – Višemlazno modeliranje (*engl. MultiJet Modelling*)
- **Ekstrudiranje materijala** (*engl. Material Extrusion*)
  - FDM – Taložno očvršćivanje (*engl. Fused Deposition Modelling*)
- **Stapanje naslage praha** (*engl. Powder Bed Fusion*)
  - SLS – Selektivno lasersko srašćivanje (*engl. Selective Laser Sintering*)
  - SLM – Selektivno lasersko taljenje (*engl. Selective Laser Melting*)
  - EBM – Taljenje elektronskim snopom (*engl. Electron Beam Melting*)
- **Laminiranje** (*engl. Sheet Lamination*)
  - LOM – Proizvodnja laminiranih objekata (*engl. Laminated Object Manufacturing*)
  - UC – Ultrazvučno učvršćivanje (*engl. Ultrasonic Consolidation*)
- **Raspršivanje veziva** (*engl. Binder Jetting*)
  - 3DP – 3D tiskanje(*engl. 3D Printing*)
- **Taloženje usmjerenom energijom** (*engl. Directed Energy Deposition*
  - LENS – Direktno taloženje materijala laserom (*engl. Laser Engineered Net Shaping*)

S obzirom na velik broj različitih postupka aditivne proizvodnje, u nastavku će biti obrađeni oni koji se najčešće upotrebljavaju a to su: SLA, PJ, SLS, 3DP te posebice FDM postupak.

2.2.1. SLA postupak

Stereolitografija (SLA) je postupak aditivne proizvodnje koji spada u kategoriju tehnologija fotopolimerizacije u kadi te se smatra začetnikom aditivne proizvodnje uopće. Kod SLA postupka, printani objekt nastaje selektivnim očvršćivanjem fotoosjetljivog polimera sloj po sloj koristeći ultraljubičaste (UV) laserske zrake. Materijal koji se koristi kod SLA postupka je fotoosjetljivi polimer koji dolazi u obliku tekućine odnosno smole. Na slici 6. prikazan je princip rada SLA 3D printera.



Slika 6. SLA postupak

Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing/

Kod SLA 3D printera većina parametra je tvornički predodređena te se ne mogu mijenjati. Jedini ulazni podatci koje je potrebno unesti je visina sloja te orijentacija modela. Uobičajena visina sloja kod SLA postupka iznosi između 25 i 1000 mikrona. Niža visina sloja rezultira boljom kvalitetom 3D printa, ali i drastično povisuje trajanje samoga procesa.

Potporna struktura uvijek je potrebna kod SLA postupka te se printa iz istog materijala kao i sami model što u konačnici zahtijeva ručno uklanjanje koje je prikazano na slici 7.

Slika 7. Uklanjanje potporne strukture

Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing/

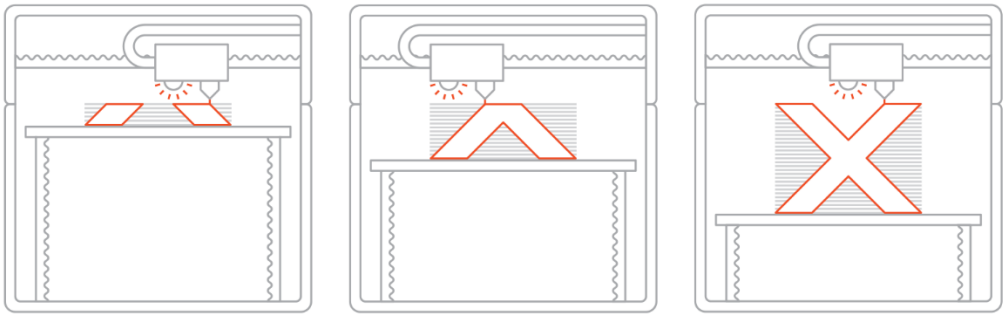
SLA postupak idealan je za proizvodnju vizualnih prototipa sa veoma glatkim površinama te sa velikom količinom detalja. U tablici 1. prikazane su osnovne prednosti i nedostaci SLA postupka.

Tablica 1. Prednosti i nedostaci SLA postupka

PREDNOSTI	NEDOSTACI
visoka dimenzijska točnost	SLA objekti generalno su jako krhki
izrada glatkih površina	Potrebna je dodatna ručna obrada
Mogućnost izrade detalja	Gubitak mehaničkih svojstva uslijed dugotrajnog izlaganja sunčevoj svjetlosti

2.2.2. PJ postupak

PolyJet (PJ) je postupak aditivne proizvodnje koji spada u kategoriju tehnologija raspršivanja materijala. Kod PJ postupka 3D printani objekt gradi se raspršivanjem velike količine kapljica fotopolimera na radnu platformu koje se potom očvršćuju UV zrakama. PolyJet postupak prikazan je na slici 8. Kao i kod SLA postupka, materijal za PJ postupak je tekući polimer odnosno smola.



Slika 8. PolyJet postupak

Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-material-jetting-3d-printing/

Prije početka postupka 3D ispisa potrebno je fotopolimer zagrijati kako bi postigao određenu viskoznost radi lakšeg raspršivanja. S obzirom da PolyJet 3D printeri koriste više mlaznica moguće je istovremeno printati različitim materijalima. Jedan takav primjer prikazan je na slici 9. Jedna od glavnih prednosti korištenja različitih materijala istodobno jest što se potporni materijal nužno ne mora printati istim materijalom kao i objekt već materijalom topljivom u vodi što olakšava kasniju ručnu obradu.

Slika 9. 3D objekt izrađen PolyJet postupkom

Izvor: https://www.stratasys.com/polyjet-technology

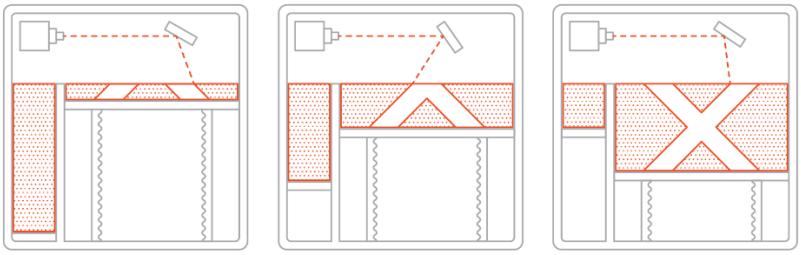
PolyJet 3D printeri imaju mogućnost izrade objekata velikom točnošću i visokom razinom detalja za relativno kratko vrijeme s obzirom na druge postupke aditivne tehnologije. Stoga se ovaj postupak najčešće koristi kod brze izrade prototipova, gdje je svaka sekunda potrebna za izradu važna. U tablici 2. prikazane su osnovne prednosti i nedostaci PJ postupka.

Tablica 2. Prednosti i nedostaci PolyJet postupka

PREDNOSTI	NEDOSTACI
visoka dimenzijska točnost	cijena nabavke stroja
izrada glatkih površina	cijena potrošnog materijala
brzina 3D ispisa	
Korištenje različitih materijala istodobno	

2.2.3. SLS postupak

Selektivno lasersko srašćivanje (SLS) je postupak aditivne proizvodnje koji spada u kategoriju tehnologija stapanja naslaga praha. Kod SLS postupka laserske zrake selektivno očvršćuju čestice polimernog praha spajajući ih međusobno sloj po sloj kreirajući 3D objekt. SLS postupak prikazan je na slici 10.



Slika 10. SLS postupak

Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sls-3d-printing/

SLS 3D printeri koriste se podjednako za izradu funkcionalnih polimernih komponenti te za izradu manjih serija proizvoda s obzirom da postupak omogućava veliku slobodu pri dizajniranju proizvoda.

Ključna karakteristika SLS postupka jest ta što dodatne potporne strukture nisu nužne iz razloga što tu uloga preuzima prah koji nije prethodno očvrsnut laserskom zrakom. Također, važno je naglasiti kako se neočvrsnut prah nakon ispuhivanja sa printanog objekta u potpunosti može ponovno koristiti. Na slici 11. prikazan je printani model po završetku SLS postupka ispisa.

Slika 11. Uklanjanje praha koji se nije očvrsnuo

Izvor: https://www.3ders.org/articles/20180130-glassesusa-and-janne-kyttanen-team-up-to-let-you-3d-print-your-own-glasses-at-home.html

Kod SLS 3D printera veoma je važna dimenzija radnog prostora odnosno njezina maksimalna iskoristivost posebice kod maloserijske proizvodnje. Vrijeme trajanja 3D ispisa za samo jedan model skoro je jednako kao i vrijeme trajanja 3D ispisa za više istih modela koji se istodobno printaju. To je zato što vrijeme potrebno za poravnavanje polimernog praha prije svakog novog sloja je značajno u odnosu na vrijeme djelovanja laserske zrake.

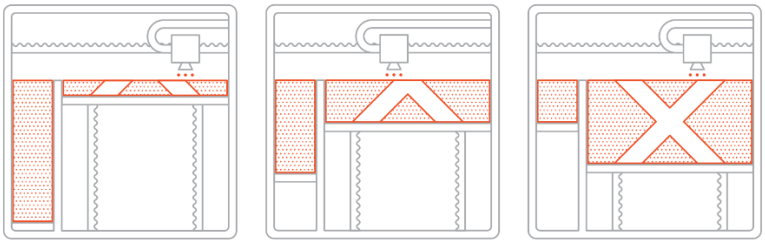
U tablici 3. prikazane su osnovne prednosti i nedostaci SLS postupka.

Tablica 3. Prednosti i nedostaci SLS postupka

PREDNOSTI	NEDOSTACI
izotropna mehanička svojstva	cijena nabavke stroja
nema potpornih struktura	cijena potrošnog materijala
brzina 3D ispisa	zrnata površina

2.2.4. 3DP postupak

3D tiskanje (3DP) je postupak aditivne proizvodnje koji spada u kategoriju tehnologija raspršivanja veziva. Kod ovog postupka 3D printani objekt gradi se na način da se vezivo selektivno taloži na praškasti sloj te na taj način tvori čvrsti objekt sloj po sloj. Postupak 3D tiskanja prikazan je na slici 12. Kod postupka 3D tiskanja najčešće se koriste materijali kao što su: metal, pijesak, keramika koji dolaze u formi granula.



Slika 12. 3DP postupak

Izvor: https://all3dp.com/1/3d-printing-price-report-2018/

Kod ovog postupka vezivo reagira na sobnoj temperaturi što bi značilo da su dimenzijske distorzije povezane s toplinskim efektima minimalne što nije slučaj kod nekih drugih postupaka. Primjerice kod SLA postupka može doći do uvijanja prilikom hlađenja modela odnosno izvijanja kod FDM postupka. Upravo iz tog razloga, 3D printeri koji koriste 3DP tehnologiju mogu imati veliki radni prostor. Na slici 13. prikazan je kalup izrađen 3DP tehnologijom. Također, kao i kod SLS postupka dodatne potporne strukture su nepotrebne.

Slika 13. Izrada kalupa velikih dimenzija 3DP postupkom

Izvor: https://www.technische-rundschau.ch/archiv/2016/12/vision-a-wird-realita-t_61136/

Proizvodnja velikih kalupa za lijevanje jedna je od glavnih područja primjene ovog postupka. Kalupi za metal najčešće se printaju koristeći pijesak. Po završetku 3D ispisa, kalupi su odmah spremni za lijevanje. Uobičajeno se lijevani metal izvlači razbijanjem kalupa. Unatoč tome što je kalup predviđen za jednokratnu upotrebu , ušteda na vremenu i novcu u odnosu na tradicionalne postupke je značajna.

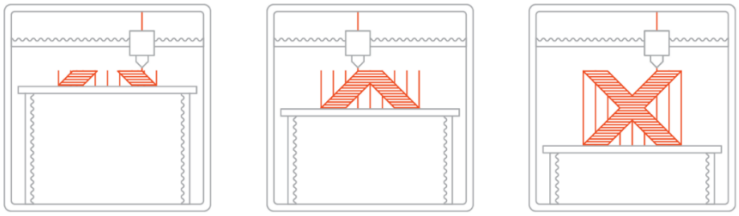
U tablici 4. prikazane su osnovne prednosti i nedostaci 3DP postupka.

Tablica 4. Prednosti i nedostaci 3DP postupka

PREDNOSTI	NEDOSTACI
niski troškovi 3D ispisa	lošija mehanička svojstva(poroznost)
mogućnost izrade velikih predmeta	izrada samo grubih detalja
mogućnost izrade modela složene geometrije	

2.2.5. FDM postupak

Taložno očvršćivanje (FDM) je postupak aditivne proizvodnje koji spada u kategoriju tehnologija ekstrudiranja materijala. Ovaj postupak je daleko najrašireniji postupak aditivne proizvodnje zbog relativno niske cijene i jednostavnosti korištenja. Princip rada temelji se na selektivnom taloženju rastopljenog materijala prema unaprijed određenoj stazi sloj po sloj. Princip rada FDM postupka prikazan je na slici 14. Kod FDM postupka, kao ulazni materijal koristi se termoplastika koja dolazi u obliku žice.

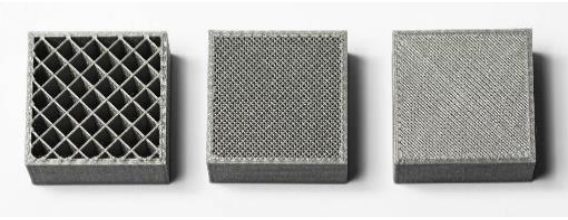


Slika 14. FDM postupak

Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/

Kod FDM 3D printera, unos odgovarajućih parametara ispisa ima značajan utjecaj na konačnu kvalitetu isprintanog modela. Neki od najvažnijih parametara jesu: temperatura mlaznice, temperatura grijane podloge, brzina kretanje mlaznice, visina sloja, brzina vrtnje ventilatora itd.

FDM modeli uobičajeno se printaju sa djelomičnom ispunom kako bi se smanjilo vrijeme trajanja ispisa i količina potrošenog materijala dok se vanjska kontura modela izrađuje u nekoliko paralelnih prolaza kako bi model zadržao određenu čvrstoću. Na slici 15. prikazani su printani modeli sa različitom gustoćom ispune.



Slika 15. Ispuna objekta kod FDM postupka

Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/

S obzirom na sam postupak izrade - slaganje sloj po sloj, modeli nastali FDM postupkom imaju izraženu anizotropiju odnosno njihova čvrstoća po z-osi je uvijek nešto niža od čvrstoće u xy ravnini. Nadalje, kako se za svaki novi sloj rastopljeni materijal pritišće na onaj prethodni sloj, u konačnici uslijed deformacije postaje zaobljen stoga je površina kod FDM postupka uvijek valovita. Valovitost površine kod FDM postupka prikazana je na slici 16. Koristeći manje visine slojeva ovaj problem može se donekle reducirati.

Slika 16. Valovitost površine objekta izrađenog FDM postupkom

Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/

U tablici 5. prikazani su najčešće korišteni materijali kod FDM postupka, zajedno sa njihovim prednostima odnosno nedostacima.

Tablica 5. Najčešće korišteni materijali kod FDM postupka

PREDNOSTI	NEDOSTACI
ABS	
dobra čvrstoća	podložan savijanju tijekom ispisa
otpornost na temperaturu	
PLA	
jednostavan za ispis	niska čvrstoća
vizualna kvaliteta	
NYLON	
visoka čvrstoća	niska otpornost na vlagu
kemijska otpornost	
PETG	
dobra čvrstoća	ostavlja tanke niti plastike na kraju svakog
jednostavno se printa	sloja koje je potrebno naknadno ukloniti
TPU	
fleksibilan	težak za ispis

U tablici 6. prikazane su osnovne prednosti i nedostaci FDM postupka.

Tablica 6. Prednosti i nedostaci FDM postupka

PREDNOSTI	NEDOSTACI
ekonomičnost	niska dimenzijska točnost
velik izbor materijala	anizotropna svojstva
dostupnost	valovita površina

2.3. Područja primjene aditivne proizvodnje

Aditivna proizvodnja kao takva postoji već desetljećima, no nagli razvoj i popularizaciju doživljava tek zadnjih nekoliko godina. Glavni razlog za to je taj što je u principu veoma jednostavna i dostupna za svakoga stoga nit ne čudi njezina raznovrsna primjena što recimo nije slučaj za obradu glodanjem ,tokarenjem koje su striktno rezervirane za industrijsku primjenu. U nastavku će biti navedeni neki od primjera primjene aditivne proizvodnje.

2.3.1. Edukacija

Sve više i više obrazovnih ustanova uključuju aditivnu proizvodnju u svoje izvedbene planove kao alat za pripremu novih generacija za budućnost. Aditivna proizvodnja također osim edukacije i pripreme za budućnost kod djece razvija kreativnost te omogućuje njihovo kreativno izražavanje kroz izradu zamišljenih fizičkih modela, slika 17. Osim u obrazovnim ustanovama, sve veći broj knjižnica posjeduje 3D printere koje građani imaju na raspolaganju za korištenje.

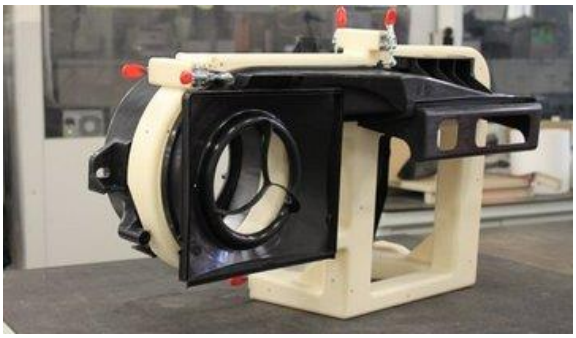
Slika 17. Primjena aditivne tehnologije pri edukaciji

Izvor: https://all3dp.com/2/greatest-3d-printing-applications/

2.3.2. Brza izrada prototipa

Aditivna proizvodnja razvijena je primarno kao brži alternativni način proizvodnje prototipa stoga ne čudi činjenica da je i dalje jedna od glavnih primjena upravo ta. Glavna prednost u odnosu na tradicionalne postupke je ta što aditivna proizvodnja

omogućava visoku razinu fleksibilnosti. Primjerice, izrada kalupa za injekcijsko brizganje može trajati i do nekoliko tjedana te košta poprilično skupo stoga nije praktična ukoliko se s vremenom ukaže potreba za izmjenom određenog dijela dizajna kalupa. Na slici 18. prikazan je prototip podmornice izrađen aditivnom tehnologijom.

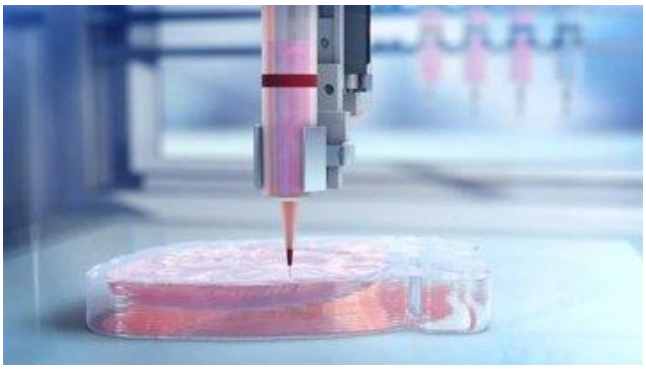


Slika 18. Primjena aditivne tehnologije prilikom brze izrade prototipa

Izvor: https://all3dp.com/2/greatest-3d-printing-applications/

2.3.3. Medicina

Zadnjih godina također se ubrzano razvijaju 3D printeri koji će imati svoju primjenu u medicini. Trenutno, 3D printeri u medicini ponajviše se koriste za izradu personaliziranih protetika koje je moguće izraditi relativno brzo te uz nisku cijenu što prije nije bio slučaj. Također, 3D printeri koriste se za izradu modela na kojima doktori mogu trenirati i usavršavati svoje vještine prije same operacije pacijenta, slika 19. Smjer u kojem aditivna tehnologija teži u medicini jest izrada bio umjetnih organa, kako se ne bi više trebalo čekati na donore no to je još uvijek jako daleko.



Slika 19. Primjena aditivne tehnologije u medicini

Izvor: https://all3dp.com/2/greatest-3d-printing-applications/

2.3.4. Graditeljstvo

Još jedna primjena aditivne proizvodnje jest ona u graditeljstvu. Koristeći 3D printere moguće je izraditi betonske zidove za relativno kratko vrijeme u odnosu na tradicionalne postupke građenja. Također, moguće je izraditi i betonske sekcije različitih oblika koje se potom na terenu sastavljaju. Na slici 20. prikazan je 3D printani most u Shangai-u.

Slika 20. Primjena aditivne tehnologije u graditeljstvu

Izvor: https://all3dp.com/2/greatest-3d-printing-applications/

2.3.5. Izrada nakita

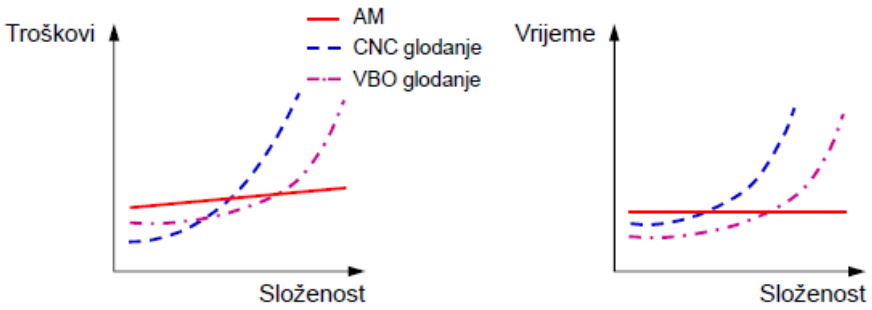
Izrada nakita koristeći 3D printere postaje sve popularnija iz razloga što 3D printeri omogućavaju izradu unikatnog nakita za relativno nisku cijenu te njihovu personalizaciju čine jednostavnijom. Na slici 21. prikazan je privjesak lančića izrađen aditivnom tehnologijom.

Slika 21. Primjena aditivne tehnologije pri izradi nakita

Izvor: https://all3dp.com/2/greatest-3d-printing-applications/

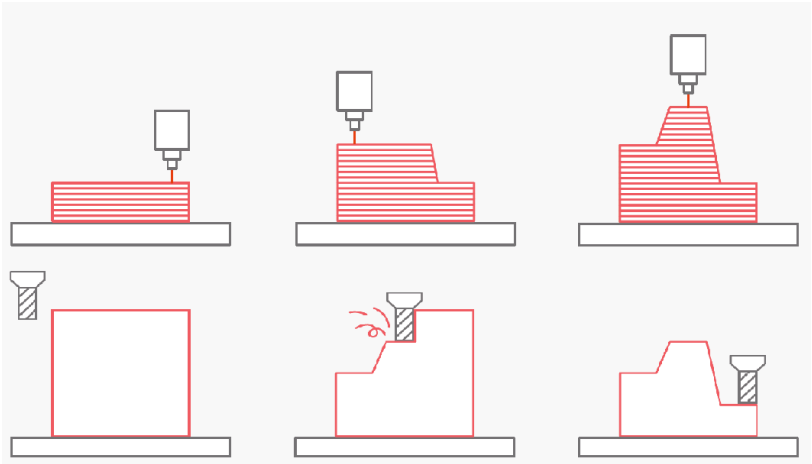
2.4. Isplativost primjene aditivne proizvodnje

Aditivna proizvodnja spada u suvremene postupke izrade proizvoda, dok primjerice glodanje, tokarenje, lijevanje su tradicionalni(konvencionalni) postupci. Usporedno gledajući, kod glodanja gotovi proizvodi nastaju uklanjanjem viška materijala, dok kod aditivne proizvodnje oni nastaju sloj po sloj dodajući materijal. Generalno gledajući, isplativost primjene aditivne proizvodnje ovisi o nekoliko ključnih čimbenika kao što su: količina, veličina, složenost, vrijeme trajanja izrade itd. Na slici 22. vidljivo je kako se isplativost primjene aditivne proizvodnje očituje kod kompleksnijih proizvoda manjih dimenzija i količina.



Slika 22. Isplativost primjene aditivne tehnologije

Na slici 23. prikazana je usporedba izrade proizvoda korištenjem postupka glodanja odnosno korištenjem postupka aditivne proizvodnje.



Slika 23. Usporedba aditivne tehnologije i glodanja

Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-vs-cnc-machining/

U tablici 7. prikazane su osnovne prednosti/nedostaci primjene aditivne proizvodnje i konvencionalnih postupaka.

Tablica 7. Prednosti/nedostaci aditivne tehnologije u odnosu na konvencionalne postupke

PREDNOSTI	NEDOSTACI
brzina izlaska proizvoda na tržište	potreba za potpornim skutrukturama kod nekih postupaka
mogućnost izrade objekta složene geometrije	ponekad potrebna naknadna obrada
personalizacija proizvoda	još uvijek ograničen izbor materijala
generalno manji utrošak materijala	anizotropija
isplativost kod maloserijske proizvodnje	veličina objekta

3. 3D MODELIRANJE ZA ADITIVNU PROIZVODNJU

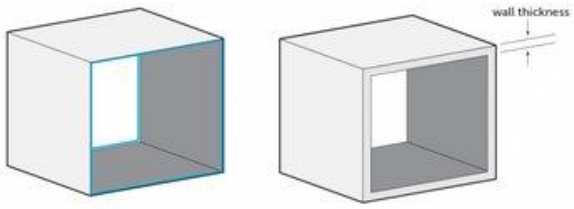
Prilikom 3D modeliranja samo mašta je granica, odnosno moguće je kreirati digitalne 3D modele različite razine složenosti, no postavlja se pitanja dali je iste također moguće i proizvesti postupcima aditivne proizvodnje. Tijekom 3D modeliranja određenog modela, bilo to za izradu prototipa ili gotovog proizvoda određena ograničenja postoje. Ona ovise o vrsti postupka aditivne proizvodnje te naravno i o zakonima fizike.

U nastavku rada biti će navedena osnovna pravila i ograničenja za pojedine postupke aditivne proizvodnje kojih se treba pridržavati prilikom 3D modeliranja.

3.1. 3D modeliranje za FDM postupak

Osnovna ograničenja prilikom 3D modeliranja za FDM postupak proizlaze iz dimenzija i oblika rastopljenog materijala. Uobičajeno se koristi mlaznica promjera 0,4mm te visina sloja između 100 i 300 mikrona.

Preporučena minimalna debljina stjenki kod FDM postupka iznosi 1mm, dok se za samostojeće izbočine(izdanci, tornjevi) preporuča nešto veća debljina od približno 2 do 3mm, slika 24.



Slika 24. Preporučena debljina stjenke kod FDM postupka

Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-fdm-3d-printing/

Također, jedno od najvažnijih ograničenja ovog postupka jest izrada potpornih struktura. Svaka površina koja ima kut odstupanja veći od 45˚ u odnosu na vertikalu mora biti potpomognuta potporom. Površina koja se printa na potpornoj strukturi uobičajeno ima lošiju kvalitetu površine, stoga prilikom 3D modeliranja treba uzeti u obzir orijentaciju modela na stroju kako bi se minimalizirali negativni učinci potporne strukture. Potporna struktura kod FDM postupka prikazana je na slici 25.

Slika 25. Potporna struktura kod FDM postupka

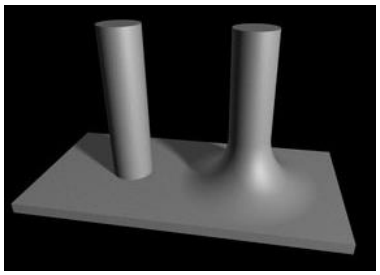
Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-fdm-3d-printing/

Ukoliko je moguće, poželjno je izbjeći izradu koncentričnih provrta na vertikalnim ravninama , iz razloga što je zbog same fizike postupka teško postići potpunu koncentričnost. Stoga, ukoliko dizajn omogućava potrebno je koristit tetraedarske oblike provrta, a ukoliko ne potrebno je koristit potporne strukture unutar provrta kako bi se minimalizirala odstupanja. Na slici 26. prikazan je provrt na vertikalnoj ravnini modela.

Slika 26. Izrada provrta kod FDM postupka

Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-fdm-3d-printing/

Korištenjem zaobljenja kod izbočenih značajki moguće je povećati njihovu čvrstoću, odnosno smanjiti vjerojatnost da će se otkinuti tijekom eksploatacije. Na slici 27. prikazan je primjer upotrebe zaobljenja. Također, korištenje zaobljenja pogodno je za smanjenje koncentracije naprezanja.

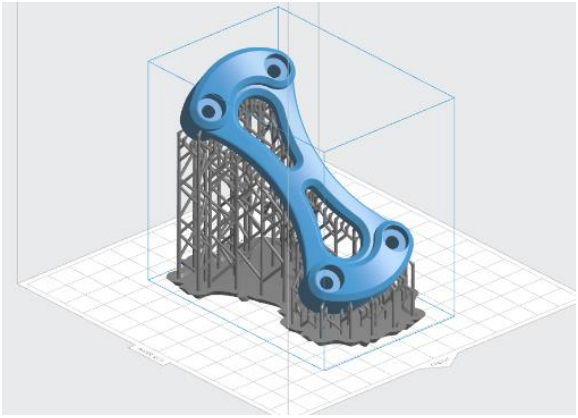


Slika 27. Korištenje zaobljenja kod FDM postupka

Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-fdm-3d-printing/

3.2. 3D modeliranje za SLA postupak

Prilikom 3D modeliranja za SLA postupak, potrebno je voditi računa o orijentaciji modela na samome 3D printeru. Uobičajeno se modeli na SLA 3D printerima printaju pod određenim kutom kako bi se smanjila površina poprečnog presjeka sloja koji se printa, slika 28.

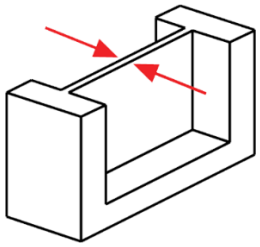


Slika 28. Orijentacija modela kod SLA postupka

Izvor:https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-sla-3d-printing/

Iako se 3D printanjem pod određenim kutom dobivaju bolji rezultati, treba voditi računa i o količini potpornog materijala koji je pritom nužan i poskupljuje proces. Osim toga, potrebno je voditi računa i o položaju dodira modela i potporne strukture te izbjeći dodir potporne strukture sa površinama na kojima se zahtjeva visoka dimenzijska točnost.

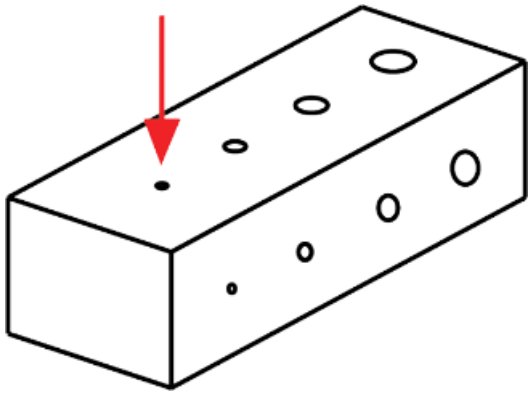
Da bi se smanjila mogućnost pojave pogreška prilikom 3D printanja preporučena je minimalna debljina stjenke od 0,4mm, slika 29.



Slika 29. Preporučena debljina stjenke kod SLA postupka

Izvor:https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-sla-3d-printing/

Kod SLA postupka savjetuje se izrada provrta većih od 1mm u promjeru iz razloga što se stjenke manjih promjera mogu stopiti tijekom printanja, slika 30.



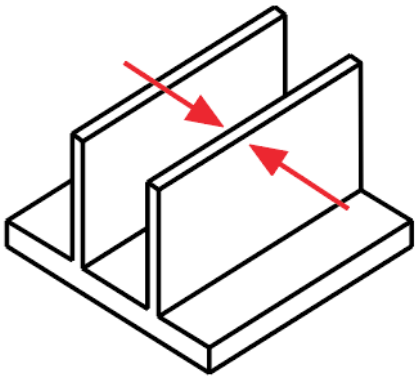
Slika 30. Preporučeni minimalni promjer provrta kod SLA postupka

Izvor:https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-sla-3d-printing/

3.3. 3D modeliranje za SLS postupak

SLS postupak omogućava izradu proizvoda vrlo složene geometrije što prilikom 3D modeliranja pruža veliku slobodu. Glavna prednost kod SLS postupka je ta što nije potrebna potporna struktura.

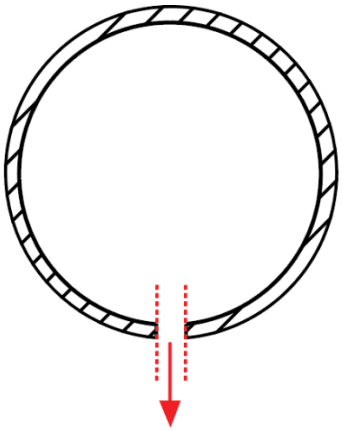
Za uspješno 3D printanje SLS postupkom savjetuje se minimalna debljina stjenke od 0,7mm, slika 31.



Slika 31. Preporučena debljina stjenke kod SLS postupka

Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-sls-3d-printing/

Kako se prilikom 3D ispisa SLS postupkom kao potpora koristi neočvrsnut polimerni prah, prilikom 3D modeliranja šupljih modela potrebno je voditi računa o izradi provrta za izlaz praha nakon 3D ispisa, slika 32.

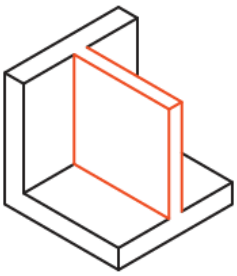


Slika 32. Modeliranje provrta za izlaz praha

Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-sls-3d-printing/

3.4. 3D modeliranje za 3DP postupak

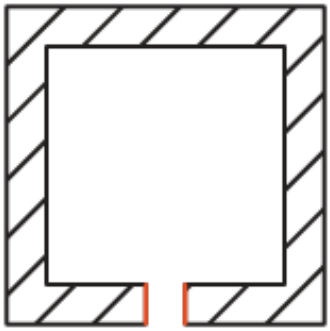
S obzirom da se kod 3DP postupka izrada vrši pri sobnoj temperaturi, moguće je izraditi predmete velikih dimenzija, koje nije potrebno dodatno rastavljat na manje dijelova što je čest slučaj sa drugim postupcima. 3D modeli nakon ispisa 3DP postupkom su veoma krhki te ih je potrebno izložiti visokoj temperaturi kako bi poprimili konačna mehanička svojstva. Upravo zbog toga, preporučena minimalna debljina stjenki je 2mm kako ne bi došlo do puknuća, slika 33.



Slika 33. Preporučena minimalna debljina stjenke kod 3DP postupka

Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-binder-jetting-3d-printing/

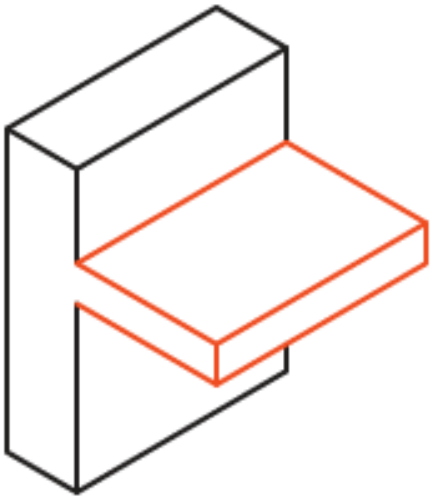
Kao i kod SLS postupka, potrebno je osigurati adekvatne otvore za izlaz praha koji se nije očvrsnuo, slika 34.



Slika 34. Otvori za izlaz praha kod SLS postupka

Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-binder-jetting-3d-printing/

Iako tijekom 3D ispisa, prah pruža dovoljnu potporu za izradu izbočenih dijelova preporuka je da su izbočine maksimalne dužine do 20mm kako nakon ispisa, a prije konačnog očvršćivanja ne bi došlo do puknuća, slika 35.



Slika 35. Modeliranje izbočina kod SLS postupka

Izvor: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-binder-jetting-3d-printing/

4. IZRADA PROTOTIPA KORISTEĆI FDM 3D PRINTER

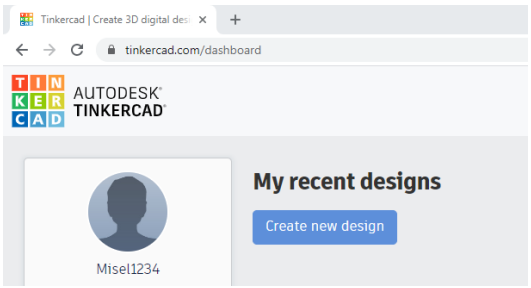
Za praktičan dio završnog rada potrebno je na konkretnom primjeru prikazati postupak izrade prototipa koristeći FDM 3D printer. Za izradu 3D modela koristiti će se CAD program *Tinkercad* proizvođača *Autodesk.*. *Tinkercad* je online program za 3D modeliranje koji je veoma jednostavan za učenje i korištenje. Upravo zbog svoje jednostavnosti najčešće se koristi pri edukaciji kao početnički korak ka 3D modeliranju. Osim samog 3D modeliranja, ovaj program omogućava direktno naručivanje 3D ispisa kreiranog modela putem online platformi. Za izradu prototipa odabran je viljuškasti ključ sličan kao na slici 36. Za potrebe 3D printanja koristiti će se 3D printer Prusa i3 MK3 koji se bazira na FDM tehnologiji.

Slika 36. Viljuškasti ključ

Izvor: https://www.amazon.com/Wright-Tool-1444-Finish-Service/dp/B002FCHAHM

4.1. 3D modeliranje viljuškastog ključa

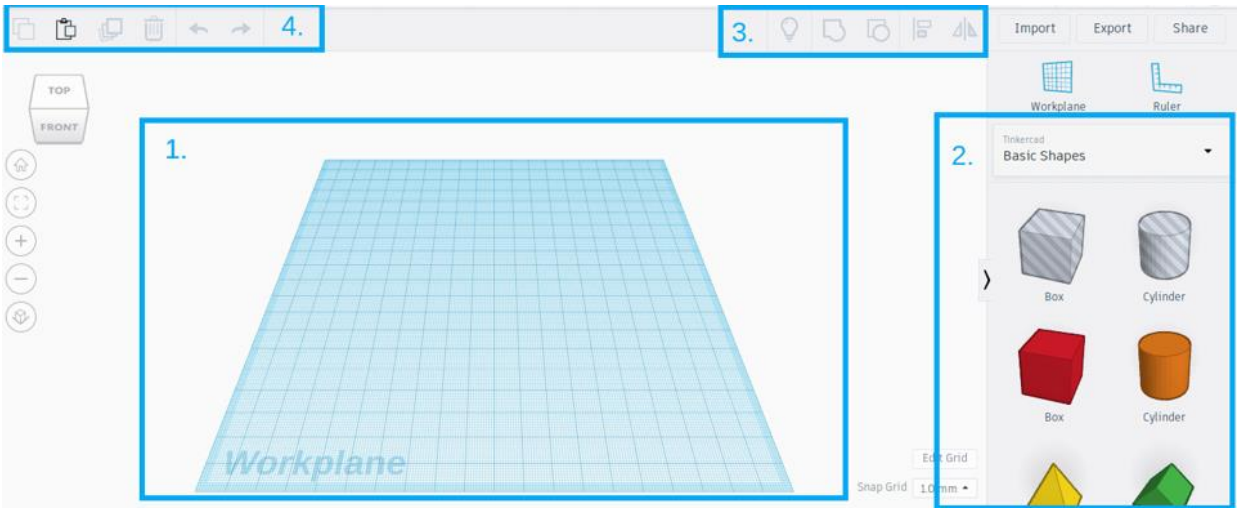
Kao što je rečeno prije, za 3D modeliranje koristiti će se 3D CAD program *Tinkercad*. Kako se radi o online programu, potrebno mu je pristupiti na web stranici www.tinkercad.com. Prije početka 3D modeliranja nužno je kreirati besplatni korisnički račun, slika 37.



Slika 37. Tinkercad

Nakon što je korisnički račun kreiran klikom na tipku *Create new design* otvara se korisničko sučelje za 3D modeliranje, slika 38. Korisničko sučelje sastoji se od nekoliko dijelova:

1. Radni prostor
2. Prostor sa geometrijskim oblicima
3. Prostor sa operacijama
4. Prostor sa pomoćnim naredbama

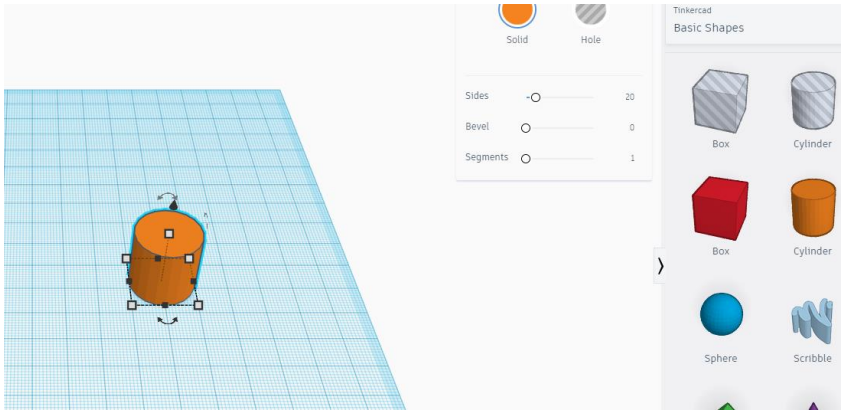


Slika 38. Korisničko sučelje programa Tinkercad

Osnovni princip rada programa *Tinkercad* temelji se na principu da se kompleksni model prvotno razdvoji na manje dijelova te se onda pojedinačno svaki dio zasebno modelira. Dok se tek u zadnjem koraku svi pojedinačni dijelovi spajaju u cjelinu. Za potrebe izrade viljuškastog ključa potrebno će ga biti rastaviti na nekoliko dijelova a to su:

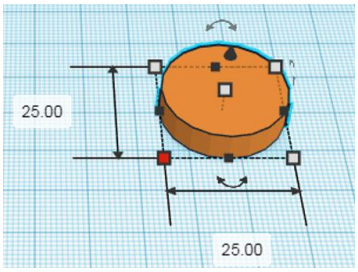
1. Prsten
2. Ručka
3. Čeljust

Za početak, prvo će se modelirati prsten sa provrtom u sredini. Iz prostora sa geometrijskim oblicima odabire se *Cylinder* te se povlači do radnog prostora što je prikazano na slici 39.



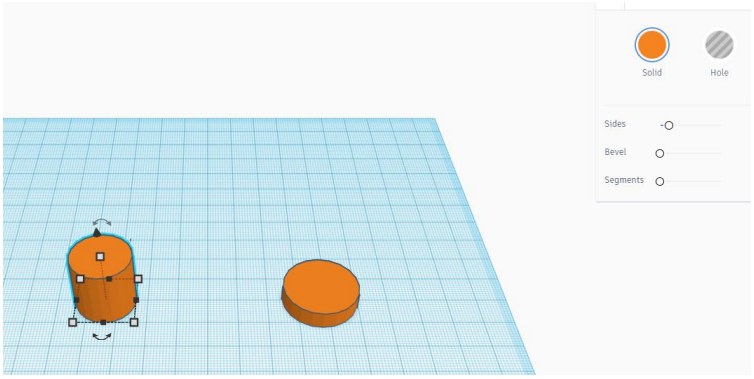
Slika 39. Cylinder

Dvostrukim klikom na krajnje bijele točke kreiranog cilindra moguće je promijeniti njegove dimenzije, odnosno za promjer postaviti 25mm te za visinu 6mm, slika 40.



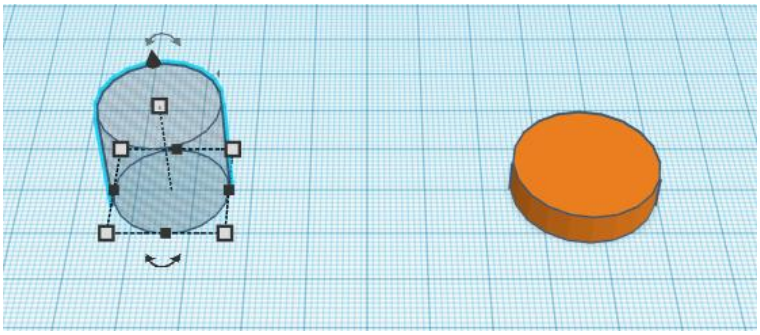
Slika 40. Unos dimenzija

Kako bi se u sredini cilindra izradio provrt potrebno je dodati još jedan cilindar promjera 12,5mm, slika 41.



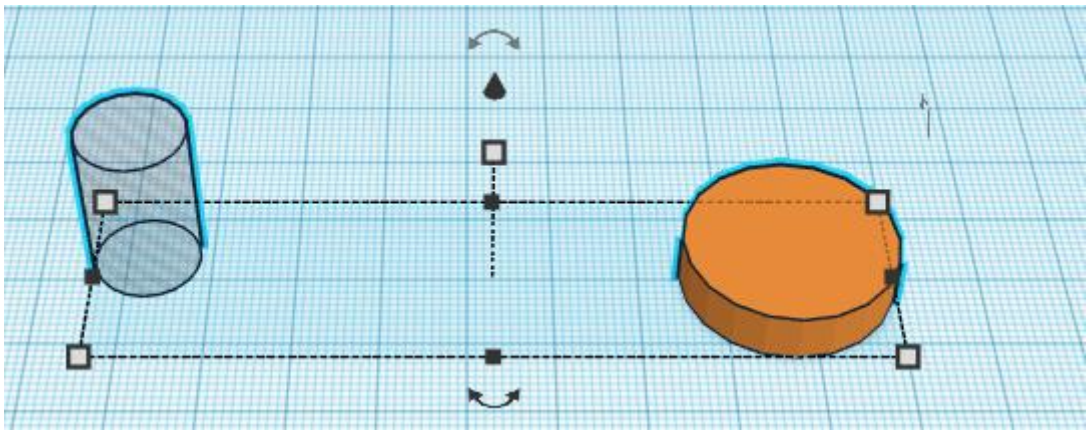
Slika 41. Izrada provrta

Odabirom opcije *Hole* puno tijelo cilindra pretvara se u prazni prostor istog oblika, slika 42.



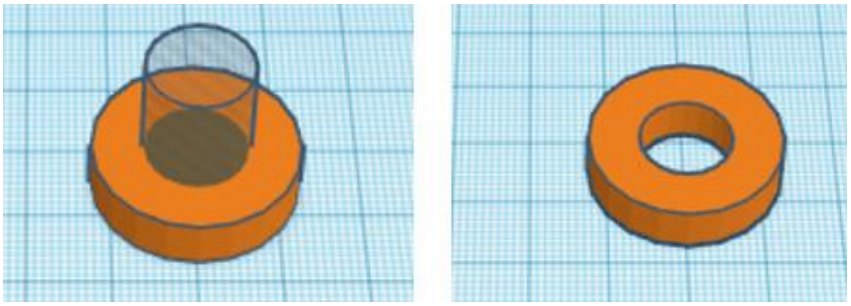
Slika 42. Hole

Da bi u prvotno izrađenom cilindru nastao provrt, potrebno je prvo poravnati dva kreirana tijela koristeći operaciju *Allign,* slika 43.



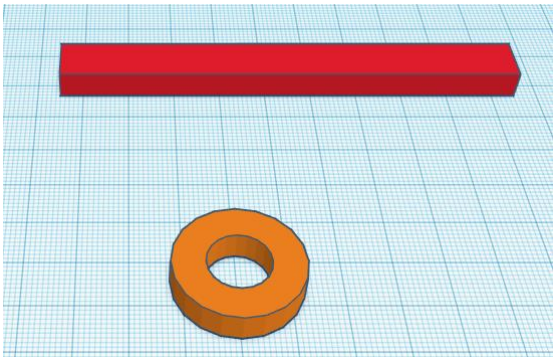
Slika 43. Allign

Nakon poravnavanja koristi se još jedna operacija *Group* koja dva geometrijska tijela spaja u jednu cjelinu, slika 44.



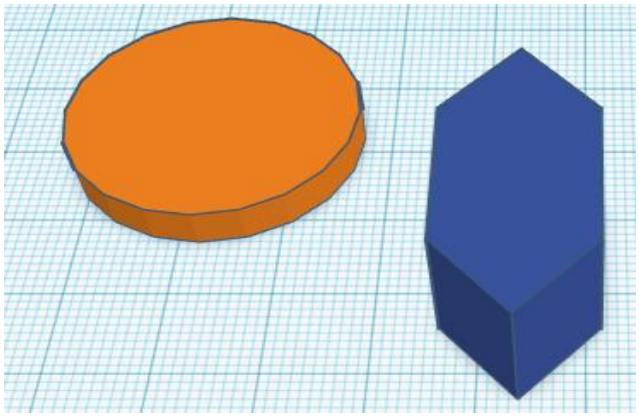
Slika 44. Group

Isto kao i za modeliranje prstena, za modeliranje ručke potrebno je odabrati prvo geometrijsko tijelo, u ovom slučaju to je *Box,* slika 45.



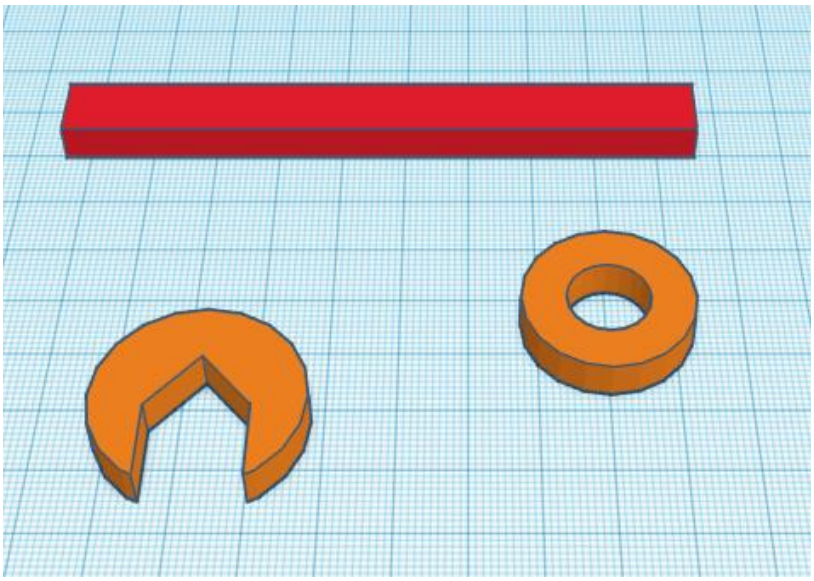
Slika 45. Box

Za kreiranje čeljusti potrebno je učitati dva geometrijska tijela *Cylinder* i *Polygon* te ih međusobno spojiti na način da je cilindar puno tijelo, dok je poligon šupljina, slika 46.



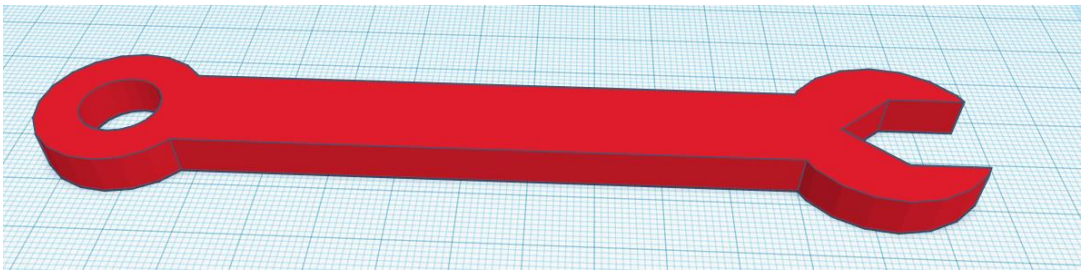
Slika 46. Polygon

Kada su kreirani svi dijelovi viljuškastog ključa potrebno ih je spojiti u jednu cjelinu koristeći operacije *Allign* i *Group,* slika 47.



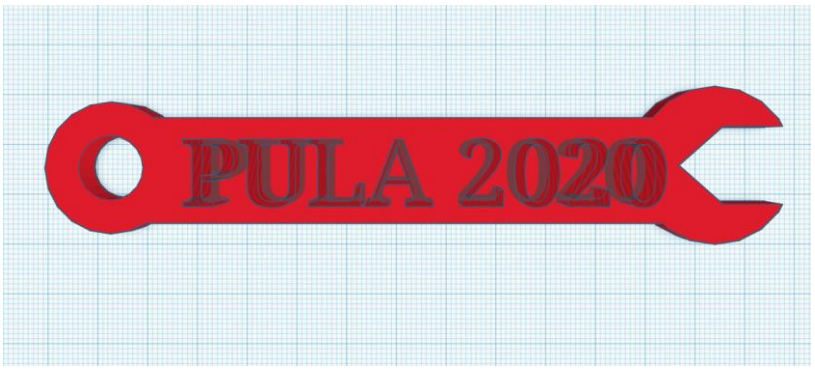
Slika 47. Spajanje dijelova

Na slici 48. prikazan je kreirani 3D model viljuškastog ključa



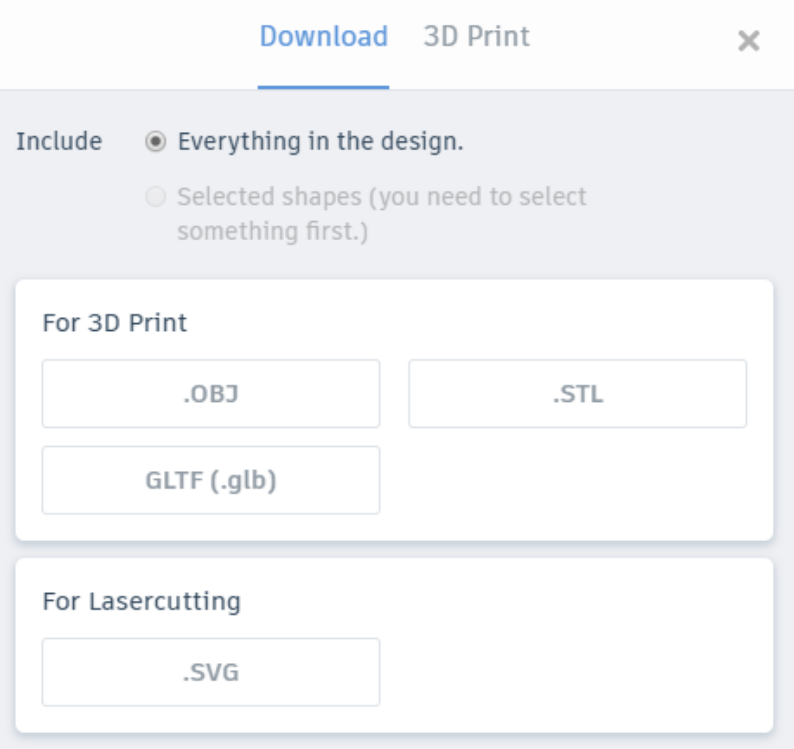
Slika 48. 3D model viljuškastog ključa

Također, unutar programa moguće je ubaciti tekst koji je u ovom slučaju:“ PULA 2020“ te je dodan kao šupljina debljine 2mm, slika 49.



Slika 49. Dodavanje natpisa

Nakon što je 3D model gotov, potrebno ga je spremiti u .stl datoteku adekvatnu za 3D printanje. Kako se radi o besplatnom programu, nije moguće odabrat željenu gustoću poligonalne mreže, što će u konačnici rezultirati grubljom geometrijom, slika 50.



Slika 50. Kreiranje .stl datoteke

4.2. Priprema 3D ispisa

4.2.1. 3D printer Prusa i3 MK3

Za izradu prototipa viljuškastog ključa koristit će se 3D printer Prusa i3 MK3 proizvođača Prusa Research. Ovaj 3D printer koristi tehnologiju taložnog očvršćivanja(FDM). Ovaj 3D printer veoma je jednostavan za korištenje, dok kvaliteta izrade osigurava pouzdanost i preciznost prilikom rada stoga ne čudi činjenica kako je Prusa i3 MK3 jedan od najtraženijih desktop 3D printera na tržištu, slika 51.

Slika 51. 3D printer Prusa i3 MK3

Izvor: https://shop.prusa3d.com/en/3d-printers/180-original-prusa-i3-mk3-kit

U tablici 8. prikazan je kratak pregled tehničkih specifikacija 3D printera.

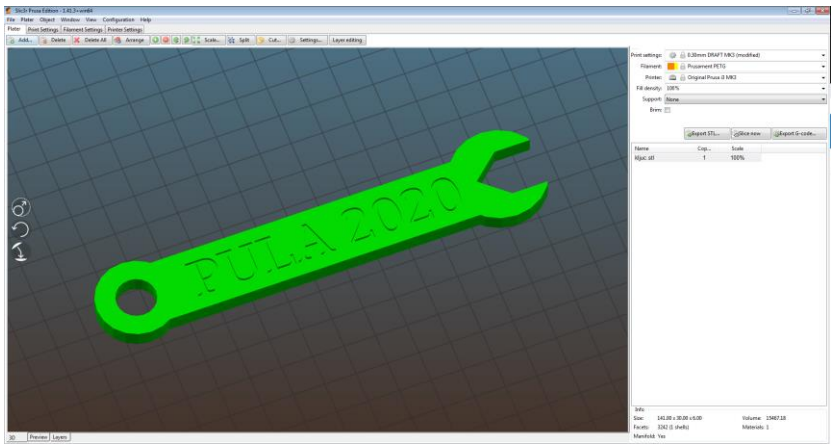
Tablica 8. Tehničke specifikacije 3D printera Prusa i3 MK3

PRUSA i3 MK3	
Tehnologija 3D ispisa	Tehnologija taložnog očvršćivanja(FDM)
Broj ekstrudera	Jedan
Radni volumen	250x210x210mm
Rezolucija 3D ispisa	0,05-0,30mm(standardna mlaznica 0,4mm)
Preciznost položaja	0,0125 mm
Maksimalna temperatura mlaznice	290°C
Maksimalna temperatura podloge	100°C
Promjer filamenta	1,75mm
Maksimalna brzina printanja	200 mm/s

Izvor: https://shop.prusa3d.com/en/3d-printers/180-original-prusa-i3-mk3-kit

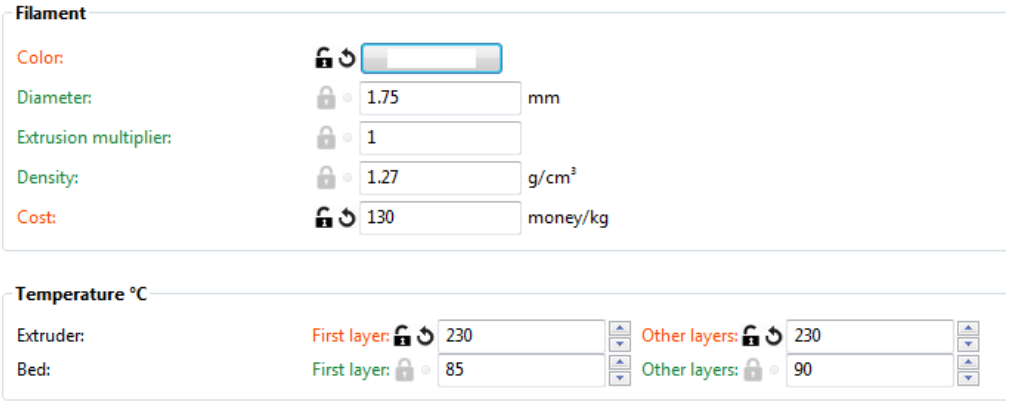
4.2.2. Prusa Slic3r

Za pripremu 3D ispisa koristit će se originalni software koji dolazi uz 3D printer, a zove se *Prusa Slic3r,* slika 52. Za početak, potrebno je učitati prethodno kreiran model u .stl formatu. Pomicanjem modela po radnoj podlozi moguće ga je pozicionirati prema želji, u ovom slučaju biti će printan u sredini radne podloge.



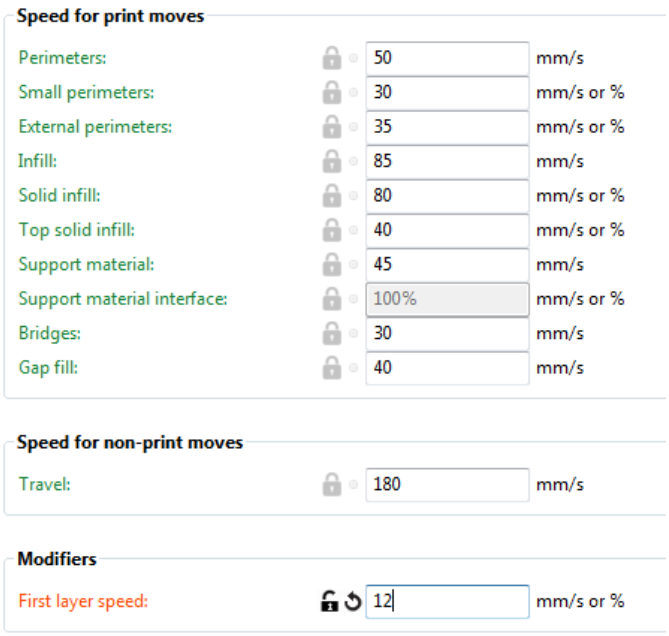
Slika 52 Učitavanje .stl datoteke u Prusa Slic3r

Za izradu prototipa viljuškastog ključa koristiti će se bijeli PETG (Polietilen Tereftalat Glikol) filament promjera niti 1,85mm. Na temelju savjeta proizvođača potrebno je unesti temperature 3D ispisa za mlaznicu odnosno za grijanu radnu podlogu. Na slici 53. prikazane su postavljene temperature ispisa, u ovom slučaju temperatura mlaznice podešena je na 230˚C, dok je temperatura grijane podloge podešena na 90˚C odnosno 85˚C tijekom ispisa prvog sloja. Povišena temperatura grijane podloge za ostale slojeve osigurava bolju adheziju tijekom ispisa.



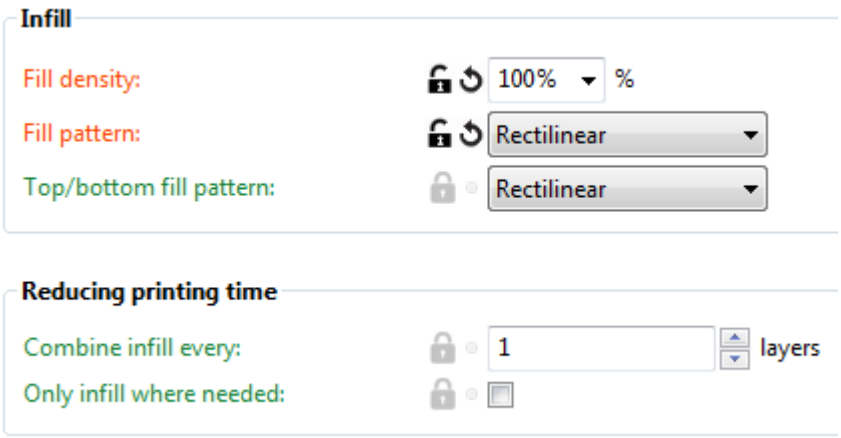
Slika 53. Podešavanje temperatura 3D ispisa

Nakon što je podešena temperatura, potrebno je unesti vrijednosti vezane uz brzinu gibanja mlaznice. Pravilan odabir brzina 3D ispisa osigurava u konačnici i bolju kvalitetu 3D objekta. Također, potrebno je unesti i brzinu gibanja za prvi sloj koja se uobičajeno postavlja dosta nisko s ciljem što bolje kvalitete konačnog 3D objekta, slika 54. U većini slučajeva, ukoliko je prvi sloj uspješno završen velika je vjerojatnost da će i čitav 3D printani objekt biti uspješno izrađen.



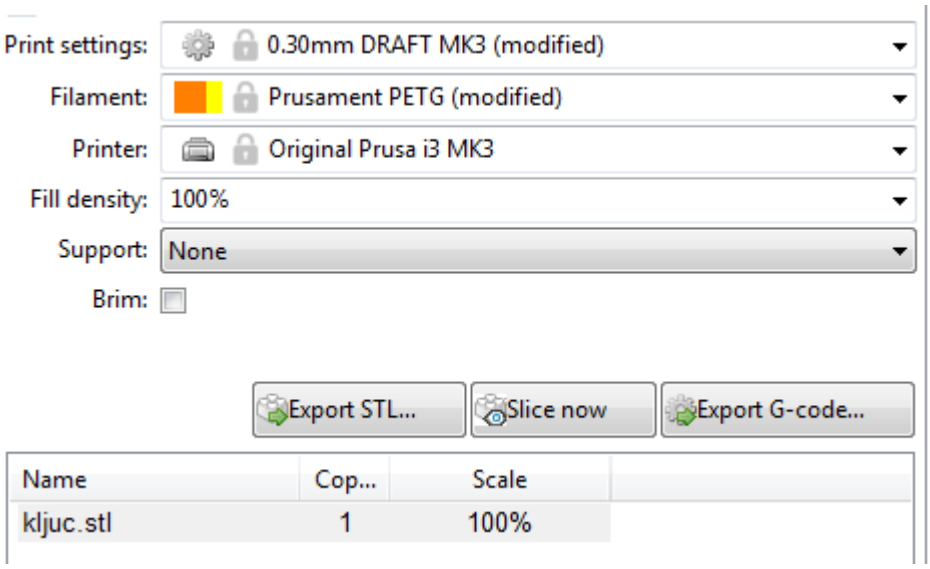
Slika 54. Podešavanje brzina 3D ispisa

Kako se radi o funkcionalnom prototipu, radi povećanja čvrstoće biti će izrađen koristeći stopostotnu ispunu, slika 55.



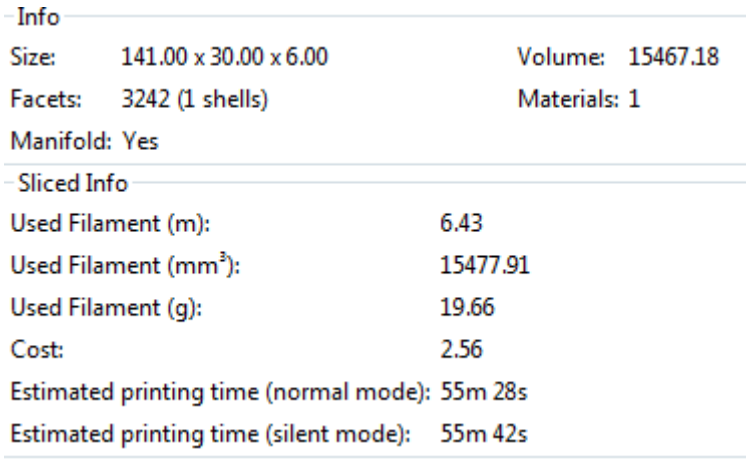
Slika 55. Odabir ispune 3D printanog objekta

I zadnje, a ujedno i jedna od najvažnijih postavki za 3D ispis jest odabir visine slojeva. Kako u ovom slučaju model nema zaobljenja te se ne očekuje određena kvaliteta površine odabrana je najveća visina sloja od 0,3mm što će osigurati kraće trajanje cjelokupnog procesa 3D ispisa, slika 56.



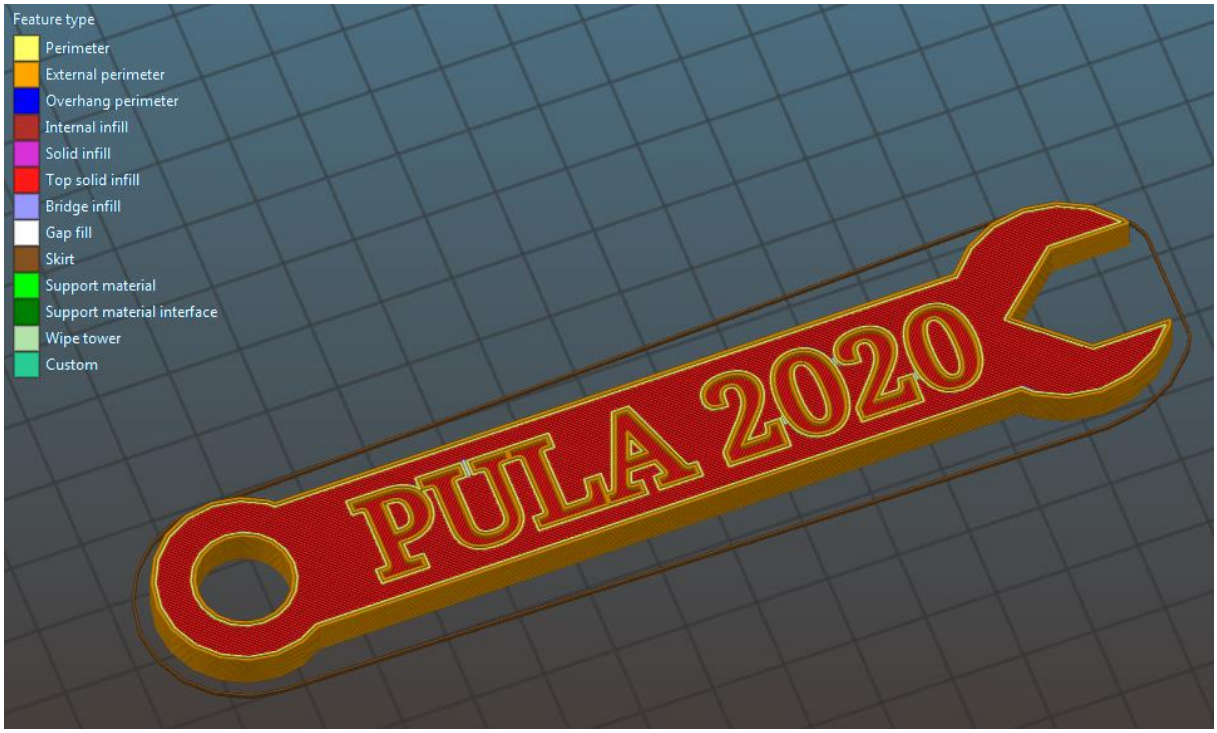
Slika 56. Odabir visine sloja

Nakon što su svi parametri uneseni, moguće je izrezati model na slojeve koristeći alat *Slice now*, te kreirati .gcode koji se putem memorijske kartice učitava na sam 3D printer. Po završetku kreiranja .gcode-a moguće je iščitati ukupno vrijeme trajanja ispisa te količinu potrebnog materijala izraženu u gramima odnosno metrima filamenta, slika 57.

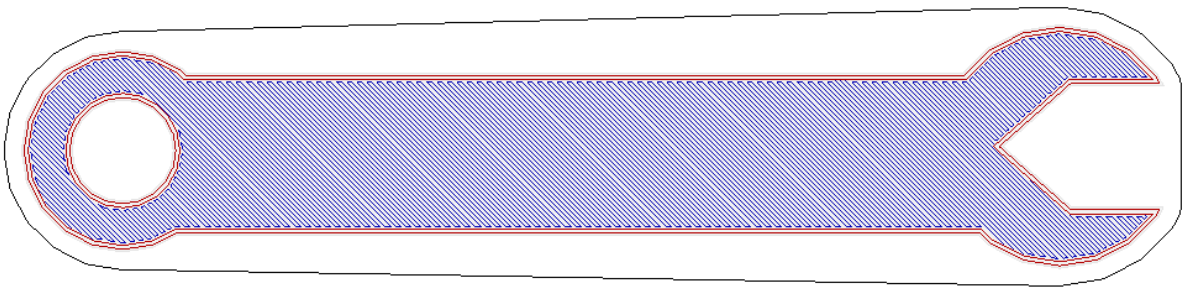


Slika 57. Ukupno vrijeme trajanja 3D ispisa

Prije učitavanja samog programa na 3D printer, u programu *Prusa Slic3r* moguće je vidjet virtualni pretpregled gotovog modela te putanju gibanja mlaznice za određeni sloj, slike 58. i 59.



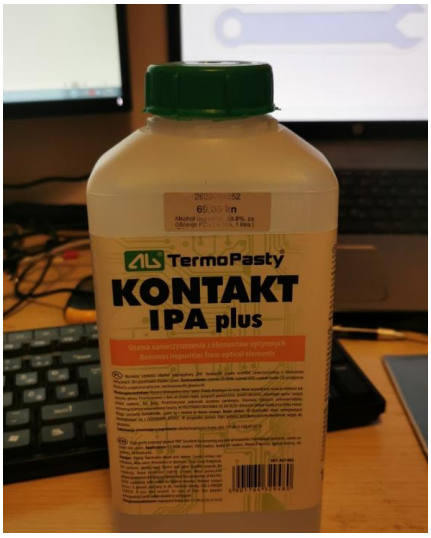
Slika 58. Virtualni prepregled 3D modela



Slika 59. Putanja gibanja mlaznice 3D printera

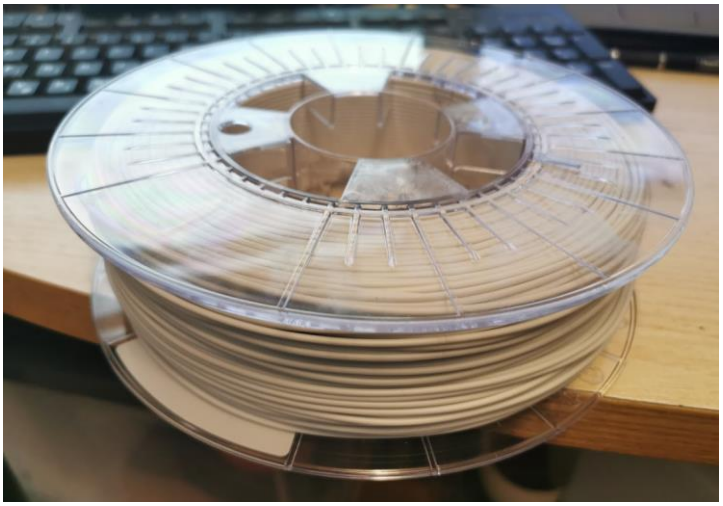
4.2.3. 3D printanje prototipa

Nakon što je kreiran *.gcode* putem memorijske kartice prebacuje se na 3D printer gdje se i učitava. Poželjno je prije svakog novog 3D ispisa radnu podlogu očistiti 99,8% alkoholom kako bi se postigla što bolja adhezija između modela i podloge odnosno bolje prianjanje. Na slici 60. prikazan je korišteni IPA alkohol.



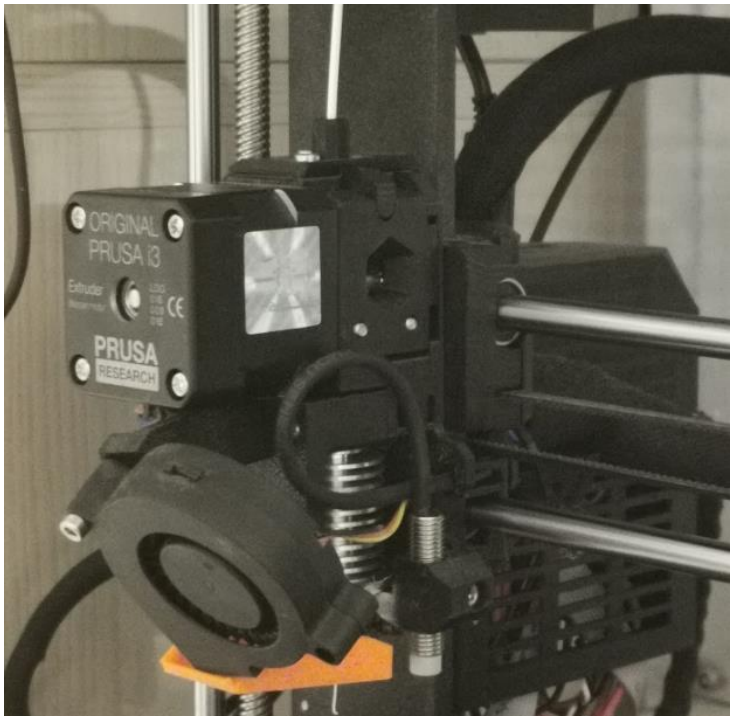
Slika 60. IPA alkohol

Kada je radna podloga očišćena, potrebno je uvest željeni filament u ekstruder. Za izradu prototipa koristiti će se materijal PETG bijele boje promjera niti 1,85mm koji dolazi namotan na kolut. Korišteni materijal prikazan je na slici 61.



Slika 61. Rola PETG filamenta

Na slici 62. prikazan je ispravno postavljen filament koji u ekstruder ulazi sa gornje strane, dok sa donje strane kroz mlaznicu od 0,4mm izlazi u rastopljen obliku.

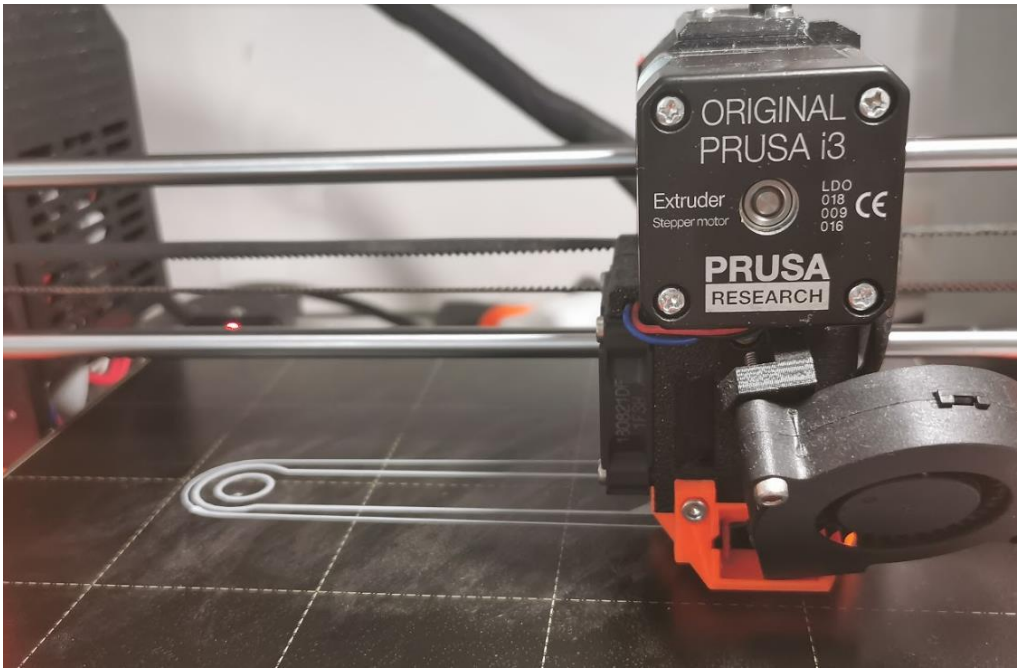


Slika 62. Ekstruder

S obzirom da 3D printer Prusa i3 MK3 ima ugrađenu automatsku kalibraciju, prije ispisa nije potrebno poduzimati dodatne radnje stoga se odabirom tipke *„Print from SD“* pokreće postupak 3D ispisa, slika 63.

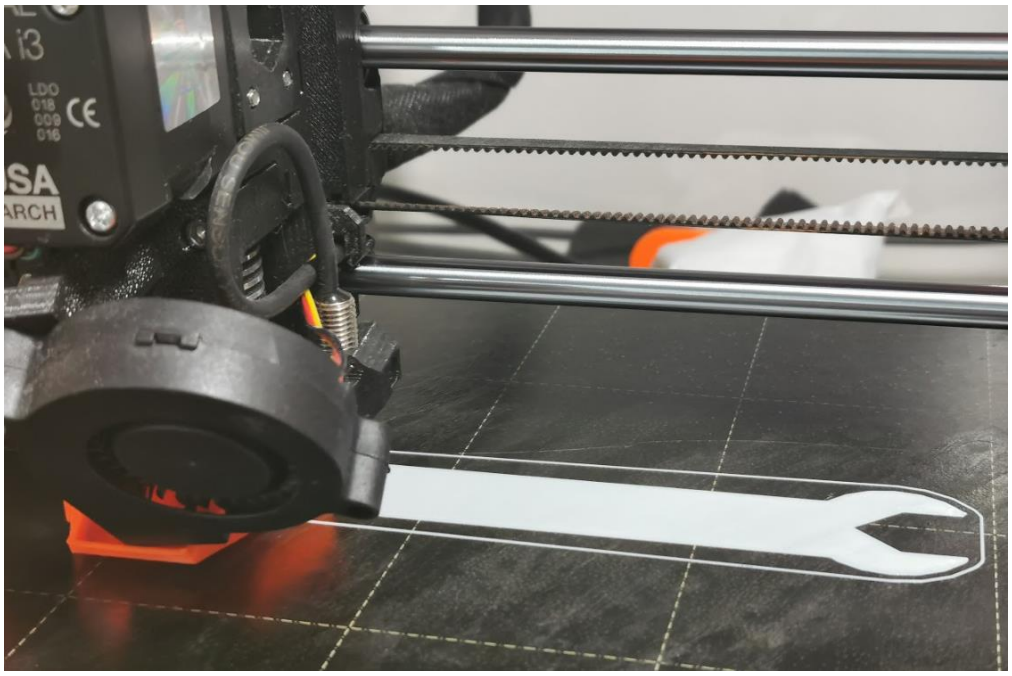
Slika 63. Pokretanje 3D ispisa

Na slici 64. prikazana je izrada prvog sloja koja je ključna za uspješnost cjelokupnog 3D printa.



Slika 64. 3D printanje prvog sloja

Na slici 65. prikazana je stopostotna ispuna printanog 3D modela kako bi se osigurala dovoljna čvrstoća 3D printanog funkcionalnog prototipa.



Slika 65. 3D printanje stopostotne ispune

Na slici 66. prikazan je 3D printani prototip po završetku 3D ispisa. S obzirom da je nedostatak PETG materijala ostavljanje tankih niti po završetku svakog sloja, potrebno ih je ručno ukloniti.

Slika 66. 3D printani prototip

Na slici 67. prikazan je 3D printani funkcionalni prototip viljuškastog ključa nakon završne obrade.

Slika 67. 3D printani prototip nakon završne obrade

5. ZAKLJUČAK

Kroz praktični dio ovoga završnog rada potvrđena je hipoteza kako primjena aditivne tehnologije u industriji značajno pojeftinjuje i skraćuje postupak izrade prototipa. Koristeći se tradicionalnim postupcima kao što su to glodanje, injekcijsko brizganje i dr. ovaj postupak izrade prototipa trajao bi značajno duže što bi u konačnici rezultiralo i većom cijenom. Također, za razliku od injekcijskog brizganja za aditivnu tehnologiju nije potrebno prethodno izraditi kalup ili specijalnu steznu napravu kao što je to slučaj kod glodanja što uvelike utječe na fleksibilnost izrade koja je iznimno bitna prilikom razvoja novog proizvoda.

Izrađeni prototip viljuškastog ključa izrađen je za svega 55 minuta nakon što je kreiran 3D model koristeći relativno jeftin i spori 3D printer, no rezultati su sasvim zadovoljavajući. Korištenjem primjerice PolyJet 3D printera, moguće bi bilo izraditi isti prototip bolje kvalitete površina za puno kraće vrijeme, no i cijena izrade u odnosu na FDM postupak bi bila značajno veća. Stoga je prilikom odabira različitih postupaka aditivne tehnologije, uvijek potrebno uzeti više različitih varijabli u obzir kako bi se odabrao optimalni postupak.

Na kraju može se zaključiti kako je razvoj aditivne tehnologije uistinu donio novu revoluciju u proizvodnji, te će zasigurno s vremenom aditivna tehnologija biti mnogo zastupljenija nego što je to slučaj trenutno.

POPIS LITERATURE

Knjige:

1. Ben Redwood: “The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications“, 2017., 3D Hubs, Amsterdam

Internet stranice:

2. https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/3d-opportunity/the-3d-opportunity-primer-the-basics-of-additive-manufacturing.html, (pristupljeno 10.01.2020.)
3. *https://www.digitalengineering247.com/article/scan-to-cad-tool-for-solidworks/*,(pristupljeno 10.01.2020.)
4. https://all3dp.com/what-is-stl-file-format-extension-3d-printing/,(pristupljeno 11.01.2020.)
5. https://all3dp.com/2/stl-to-g-code-how-to-convert-stl-files-to-g-code/,(pristupljeno 11.01.2020.)
6. https://www.thefabricator.com/additivereport/blog/additive/think-about-postprocessing-when-designing-3d-printed-parts, (pristupljeno 11.01.2020.)
7. https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing/,(pristupljeno 11.01.2020.)
8. https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-material-jetting-3d-printing/, (pristupljeno 17.01.2020.)
9. https://www.stratasys.com/polyjet-technology, (pristupljeno 17.01.2020.)
10. https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sls-3d-printing/,(pristupljeno 22.01.2020.)
11. https://www.3ders.org/articles/20180130-glassesusa-and-janne-kyttanen-team-up-to-let-you-3d-print-your-own-glasses-at-home.html, (pristupljeno 24.01.2020.)
12. https://all3dp.com/1/3d-printing-price-report-2018/, (pristupljeno 24.01.2020.)
13. https://www.technische-rundschau.ch/archiv/2016/12/vision-a-wird-realita-t_61136/, (pristupljeno 27.01.2020.)
14. https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/,(pristupljeno 02.02.2020.)
15. https://all3dp.com/2/greatest-3d-printing-applications/, (pristupljeno 02.02.2020.)
16. https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-vs-cnc-machining/,(pristupljeno 02.02.2020.)
17. https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-fdm-3d-printing/,(pristupljeno 05.02.2020.)

18. https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-sla-3d-printing/,(pristupljeno 10.02.2020.)
19. https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-sls-3d-printing/,(pristupljeno 10.02.2020.)
20. https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-parts-binder-jetting-3d-printing/, (pristupljeno 14.02.2020.)
21. https://www.amazon.com/Wright-Tool-1444-Finish-service/dp/B002FCHAHM, (pristupljeno 17.02.2020.)
22. *https://shop.prusa3d.com/en/3d-printers/180-original-prusa-i3-mk3-kit,(pristupljeno 25.02.2020.)*

POPIS SLIKA

Slika 1. Postupak izrade 3D printanog modela 8
Slika 2. Usporedba između modela dobivenog 3D modeliranjem i 3D skeniranjem ... 9
Slika 3. Gustoća mreže STL datoteke 9
Slika 4. Postupak izrezivanja modela na slojeve 10
Slika 5. Usporedba 3D printanog objekta prije i poslije završne obrade 10
Slika 6. SLA postupak 12
Slika 7. Uklanjanje potporne strukture 13
Slika 8. PolyJet postupak 14
Slika 9. 3D objekt izrađen PolyJet postupkom 14
Slika 10. SLS postupak 16
Slika 11. Uklanjanje praha koji se nije očvrsnuo 16
Slika 12. 3DP postupak 18
Slika 13. Izrada kalupa velikih dimenzija 3DP postupkom 18
Slika 14. FDM postupak 20
Slika 15. Ispuna objekta kod FDM postupka 20
Slika 16. Valovitost površine objekta izrađenog FDM postupkom 21
Slika 17. Primjena aditivne tehnologije pri edukaciji 22
Slika 18. Primjena aditivne tehnologije prilikom brze izrade prototipa 23
Slika 19. Primjena aditivne tehnologije u medicini 23
Slika 20. Primjena aditivne tehnologije u graditeljstvu 24
Slika 21. Primjena aditivne tehnologije pri izradi nakita 24
Slika 22. Isplativost primjene aditivne tehnologije 25
Slika 23. Usporedba aditivne tehnologije i glodanja 25
Slika 24. Preporučena debljina stjenke kod FDM postupka 27

Slika 25. Potporna struktura kod FDM postupka 28
Slika 26. Izrada provrta kod FDM postupka 28
Slika 27. Korištenje zaobljenja kod FDM postupka 28
Slika 28. Orijentacija modela kod SLA postupka 29
Slika 29. Preporučena debljina stjenke kod SLA postupka 29
Slika 30. Preporučeni minimalni promjer provrta kod SLA postupka 30
Slika 31. Preporučena debljina stjenke kod SLS postupka 30
Slika 32. Modeliranje provrta za izlaz praha 31
Slika 33. Preporučena minimalna debljina stjenke kod 3DP postupka 31
Slika 34. Otvori za izlaz praha kod SLS postupka 32
Slika 35. Modeliranje izbočina kod SLS postupka 32
Slika 36. Viljuškasti ključ 33
Slika 37. Tinkercad 34
Slika 38. Korisničko sučelje programa Tinkercad 34
Slika 39. Cylinder 35
Slika 40. Unos dimenzija 35
Slika 41. Izrada provrta 36
Slika 42. Hole 36
Slika 43. Allign 36
Slika 44. Group 37
Slika 45. Box 37
Slika 46. Polygon 37
Slika 47. Spajanje dijelova 38
Slika 48. 3D model viljuškastog ključa 38
Slika 49. Dodavanje natpisa 38
Slika 50. Kreiranje .stl datoteke 39

Slika 51. 3D printer Prusa i3 MK3 40
Slika 52 Učitavanje .stl datoteke u Prusa Slic3r 41
Slika 53. Podešavanje temperatura 3D ispisa 41
Slika 54. Podešavanje brzina 3D ispisa 42
Slika 55. Odabir ispune 3D printanog objekta 42
Slika 56. Odabir visine sloja 43
Slika 57. Ukupno vrijeme trajanja 3D ispisa 43
Slika 58. Virtualni prepregled 3D modela 44
Slika 59. Putanja gibanja mlaznice 3D printera 44
Slika 60. IPA alkohol 45
Slika 61. Rola PETG filamenta 45
Slika 62. Ekstruder 46
Slika 63. Pokretanje 3D ispisa 46
Slika 64. 3D printanje prvog sloja 47
Slika 65. 3D printanje stopostotne ispune 47
Slika 66. 3D printani prototip 48
Slika 67. 3D printani prototip nakon završne obrade 48

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prednosti i nedostaci SLA postupka 13

Tablica 2. Prednosti i nedostaci PolyJet postupka 15

Tablica 3. Prednosti i nedostaci SLS postupka 17

Tablica 4. Prednosti i nedostaci 3DP postupka 19

Tablica 5. Najčešće korišteni materijali kod FDM postupka 21

Tablica 6. Prednosti i nedostaci FDM postupka 21

Tablica 7. Prednosti/nedostaci aditivne tehnologije u odnosu na konvencionalne postupke 26

Tablica 8. Tehničke specifikacije 3D printera Prusa i3 MK3 40