

3D tisak privjeska za ključeve

Katić, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:102376>

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

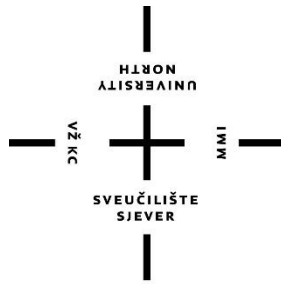
Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-09**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





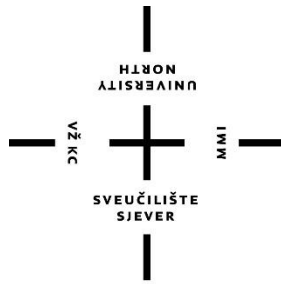
**Sveučilište
Sjever**

Diplomski rad br. 142/MMD/2024

3D tisak privjeska za ključeve

Luka Katić, 4106/336

Varaždin, lipanj 2024. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za Multimediju

Diplomski rad br. 142/MMD/2024

3D tisak privjeska za ključeve

Student

Luka Katić, 4106/336

Mentor

Marko Maričević, doc. dr. sc.

Varaždin, lipanj 2024. godine

Prijava diplomskog rada

Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za Multimediju		
STUDIJ	diplomski sveučilišni studij Multimedija		
PRISTUPNIK	Luka Katić	MATIČNI BROJ	4106/336
DATA	03.09.2024.	NASLOJ	3D tisak
NASLOJ RADA	3D tisak privjeska za ključeve		
NASLOJ RADA NA ENGL. JEZIKU	3D printing of keychain		
MENTOR	dr. sc. Marko Maričević	FRANKA	Docent
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. izv. prof. dr. sc. Dean Valdec - predsjednik		
	2. izv. prof. dr. sc. Krunoslav Hajdek - član		
	3. doc. dr. sc. Marko Maričević - mentor		
	4. izv. prof. dr. sc. Robert Geček - zamjenski član		
	5.		

Zadatak diplomskog rada

*** 142-MMD-2024

OPIS

Tema diplomskog rada je izrada privjesaka za ključeve pomoću 3D tiska za potrebe sveučilišta u Zadru. Rad pruža detaljan opis cijelog procesa izrade privjesaka za ključeve, počevši od dizajniranja u programu za 3D modeliranje kao što je Blender, pripreme modela za 3D tiskanje u programu za pripremu tzv. slicing, te proces 3D tiskanja i priprema samog 3D printera za ispis. Na kraju je opisana završna dorada modela. Rad se također dotiče općenito 3D tiskanja. Cilj ovog rada je upoznat i približiti ljudima tehniku 3D tiskanja i postupak 3D tiskanja kroz različite informacije te primjerom izrade privjeska za ključeve. Na kraju rada, provedena je anketa kako bi se istražila razina informiranosti o 3D tiskanju među ispitanicima, te ocijenila uspješnost izrade privjesaka za ključeve.

U radu je potrebno:

1. Opisati povijest 3D tiska
2. Objasniti i opisati tehnike, postupak 3D tiska, najpoznatije vrste 3D printera, materijale, računalne alate za 3D modeliranje, prednosti i nedostatke 3D tiskanja, te primjene 3D tiska u različitim industrijama
3. Detaljno pokazati i opisati postupak 3D tiskanja privjeska za ključeve.
4. Kroz analize ankete opisati znanje o 3D tisku i opisati uspješnost izrađenog 3D privjeska

ZADATEK UNJEŠEN 13.09.2024.

UNIVERZITET SVEUČILIŠTE SJEVER VARAŽDIN

Maričević



Sažetak

Tema diplomskog rada je izrada privjesaka za ključeve pomoću 3D tiska za potrebe Sveučilišta u Zadru. Rad pruža detaljan opis cijelog procesa izrade privjesaka za ključeve, počevši od dizajniranja u programu za 3D modeliranje kao što je Blender, gdje je prikazan proces kreiranja modela, uključujući odabir odgovarajućih alata i tehnika u softveru. Nakon dizajna, opisuje se priprema modela za 3D ispis u programu za pripremu tzv. *slicing*, koji omogućuje segmentiranje modela radi optimizacije ispisa. Dalje se opisuje sam proces 3D ispisa i priprema samog 3D pisača za ispis, uključujući kalibraciju pisača kako bi se osigurala kvalitetna izrada. Na kraju je opisana završna obrada modela kako bi se postigla željena estetika. Osim opisa izrade privjesaka za ključeve, rad se bavi i 3D ispisom općenito, obrađuje pojedinosti vezane za 3D ispis, uključujući povijest, različite tehnike, opis različitih materijala i softvera te primjene 3D ispisa u raznim industrijama. Cilj ovog rada je upoznati populaciju s tehnikom 3D ispisa i postupkom 3D ispisa kroz različite primjere, primjene, informacije te samim primjerom izrade privjeska za ključeve. Na kraju rada, provedena je anketa kako bi se istražila razina informiranosti o 3D ispisu među ispitanicima te ocijenila uspješnost izrade privjesaka za ključeve. Rad ima za cilj približiti tehniku 3D ispisa široj publici, pružajući detaljan uvid u svaki korak procesa i različite informacije vezane za 3D ispis.

Ključne riječi: 3D tisak, 3D modeliranje, PLA materijal, FDM, FFF

Abstract

The topic of the diploma thesis is the creation of key chains using 3D printing for the needs of the University of Zadar. The paper provides a detailed description of the entire process of making key chains, starting with designing in a 3D modeling program such as Blender, where the model creation process is presented, including the selection of appropriate tools and techniques in the software. After the design, the preparation of the model for 3D printing is described in the so-called preparation program. slicing, which allows segmentation of the model to optimize printing. Next, the 3D printing process itself and the preparation of the 3D printer itself for printing, including the calibration of the printer to ensure quality production, are described. Finally, the finishing of the model is described in order to achieve the desired aesthetics. In addition to describing the creation of key chains, the paper also deals with 3D printing in general, covering details related to 3D printing, including history, different techniques, description of different materials and software, and applications of 3D printing in various industries. The aim of this work is to familiarize the public with the 3D printing technique and the 3D printing process through various examples, applications, information and the very example of making a keychain. At the end of the work, a survey was conducted in order to investigate the level of information about 3D printing among the respondents and to evaluate the success of the creation of key chains. The work aims to bring the 3D printing technique closer to a wider audience, providing a detailed insight into each step of the process and various information related to 3D printing.

Keywords: 3D printing, 3D modeling, PLA material, FDM, FFF

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Teorijski dio	2
2.1 Povijest 3D ispisa.....	2
2.2 Osnove 3D ispisa	4
2.2.1 Principi i tehnike 3D ispisa.....	4
2.2.2 Postupak od modeliranja do ispisa.....	7
2.2.3 Najpoznatije vrste 3D pisača i njihove karakteristike.....	9
2.3 Materijali za 3D ispis	11
2.3.1 Plastični materijali	11
2.3.2 Metalni materijali	12
2.3.3 Keramički materijali.....	14
2.3.4 Pametni (<i>smart</i>) materijali	14
2.4 Računalni alati za 3D modeliranje	16
2.4.1 Računalni alati za izradu 3D modela.....	16
2.4.2 Slicer softveri	16
2.5 Prednosti 3D ispisa	17
2.6 Nedostaci 3D ispisa.....	18
2.7 Primjene u različitim industrijama.....	18
2.7.1 Biomedicina i zdravstvo.....	18
2.7.2 Prehrambena industrija.....	19
2.7.3 Automobilska industrija	20
2.7.4 Arhitektura i građevina.....	20
2.7.5 Modna industrija	21
3. Eksperimentalni dio	22
3.1 Postupak 3D ispisa privjeska za ključeve	22
3.1.1 O modelu	22
3.1.2 Izrada 3D modela.....	22
3.1.2.1 Blender	22
3.1.2.2 O Crealityu i Ender – 3 S1 PRO pisaču	23

3.1.2.3	Izrada privjesaka za ključeve u Blenderu.....	25
3.1.3	Podešavanje u slicer programu	42
3.1.3.1	Ultimaker Cura	42
3.1.3.2	Koraci pripreme privjesaka za ključeve za ispis.....	43
3.1.4	Priprema 3D pisača za ispis i ispis modela	46
3.1.5	Dorada modela	53
4.	Analiza rezultata	53
5.	Zaključak.....	61
6.	Literatura.....	63
7.	Popis slika	67

1. Uvod

Tehnologije aditivne proizvodnje doživjeli su rapidan porast i transformirale načine proizvodnje u različitim industrijama. Tehnologije aditivne proizvodnje, poznate i pod nazivima 3D ispis, 3D tisak ili 3D print, pružaju brojne prednosti, kao što je brza i jednostavna prilagodba, rapidno prototipiranje, odabir materijala i mogućnost kreiranja složenih geometrija po pristupačnim cijenama i u kratkom vremenskom razdoblju.

Od svojih početaka 1980-ih godina, aditivne tehnologije proizvodnje prošle su dug put. Krajem 1990-ih i početkom 2000-ih naglasak se sve više prebacio na nove materijale i primjenu tehnologija aditivne proizvodnje u područjima poput zrakoplovstva, zdravstva i automatizacije. Danas su aditivne tehnologije vrlo tražene zbog svoje sposobnosti stvaranja složenih struktura s visokom preciznošću. Nadalje, nove tehnike poput bioispisa i 4D ispisa otvorile su nove mogućnosti u području medicinskih primjena. Bioispis omogućuje izradu tkiva i organa za transplantaciju [1], dok 4D ispis dodaje vremensku dimenziju, omogućujući da se ispisani objekti mijenjaju s vremenom [2].

3D tehnologija omogućuje ispis širokog spektra materijala, od metala i keramike do polimera i pametnih materijala poput legura s oblikom pamćenja. Razvoj aditivne proizvodnje je na visokoj razini i riješio je brojne probleme, čime je otvorio put za širu primjenu. Ova tehnologija ima potencijal za uvođenje novog doba masovne prilagodbe, omogućujući potrošačima veći izbor finalnih proizvoda prema njihovim specifikacijama. Međutim, postoje brojni problemi koji još uvijek nisu u potpunosti riješeni.

3D ispis također omogućuje proizvodnju predmeta bliže kupcu ili čak kod kuće za osobne potrebe, što omogućuje veću prilagodljivost i fleksibilnost u proizvodnom procesu te veću razinu kontrole kvalitete. Nadalje, korištenje tehnologije aditivne proizvodnje značajno smanjuje potrebu za globalnim prijevozom, što štedi energiju i vrijeme.

U početnom dijelu diplomskog rada opisan je teorijski aspekt 3D ispisa, uključujući njegovu povijest, tehnike, materijale, softver te primjene 3D ispisa u različitim industrijama. Također je opisan sam postupak 3D ispisa, od izrade 3D modela do završne obrade. Drugi dio rada sastoji se od opisa izrade privjesaka za ključeve i njihove pripreme za 3D ispis. Za kraj je provedena anketa kako bi utvrdila informiranost o 3D ispisu te uspješnosti 3D ispisa privjeska za ključeve.

Cilj ovog rada je predstaviti tehniku 3D ispisa i sam postupak 3D ispisa te približiti ovu tehnologiju čitateljima kroz konkretan primjer izrade privjeska za ključeve.

2. Teorijski dio

2.1 Povijest 3D ispisa

Prva istraživanja o korištenju fotopolimera za izradu 3D objekata provodila su se 1960-ih godina u Memorijalnom institutu Battelle u Ohiju. Glavni cilj eksperimenta bio je polimerizirati smolu putem dviju laserskih zraka različitih valnih duljina. Wyn Swainson je 1971. podnio patentni zahtjev za sličan pristup korištenjem dvostrukih laserskih zraka, poznat kao fotokemijska obrada. Naknadno je osnovao tvrtku Formigraphic Engine u Kaliforniji, no ta tehnologija nikada nije postala komercijalno uspješna. U kasnim 1970-ima, Dynell Electronics Corporation izumio je solidnu fotografiju. Ova tehnologija koristila je laser ili stroj za glodanje kako bi izrezala poprečne presjke temeljem računalnog modela, a zatim ih slagala zajedno kako bi oblikovala objekt [3].

Hideo Kodama, koji je radio u Nagoya Municipal Industrial Research Institute u Japanu, bio je među pionirima u razvoju tehnike brze izrade prototipova koristeći jedan laserski snop. Iako je podnio patentnu prijavu za ovu inovaciju 1980. godine, patent je istekao prije nego što je prošao kroz kasnije faze japanskog patentnog procesa. U svojim istraživanjima objavljenim 1980. i 1981. godine, Kodama je opisao eksperimente s razvojem metoda automatske izrade trodimenzionalnih modela koristeći UV zrake i fotoosjetljivu smolu, s upotrebom maske za kontrolu izloženosti UV izvoru. Opisao je tehnike stvrdnjavanja tankih uzastopnih slojeva fotopolimera, što su ključni elementi onoga što će kasnije postati poznato kao stereolitografija (SLA) [3].

Godine 1984. Charles Hull je patentirao stereolitografiju. Patent mu je dodijeljen 1986. godine, a u njemu je opisao proces u kojem tekući polimeri postaju čvrsti pod UV svjetlom kako bi oblikovali presjke 3D modela. Ova metoda koristi digitalne podatke i računalno kontroliranu zraku svjetlosti kako bi se stvorio svaki sloj, jedan na vrhu drugog. Kasnije je Hull osnovao tvrtku 3D Systems, koja je proizvodila i prodavala strojeve za stereolitografiju. Prvi SLA pisac na svijetu proizvela je tvrtka 3D Systems 1988. godine [3].

Okvirno u isto vrijeme kada je Hull dobio patent za SLA, Carl Deckard, tadašnji student dodiplomskog studija na Sveučilištu Texas, koncipirao je postupak selektivnog laserskog sinteriranja (SLS). SLS se bazirao na selektivnom zagrijavanju praha laserskim snopom radi stvrdnjavanja. Nakon toga, Deckard je osnovao Desktop Manufacturing Corporation (DTM Corp), koja je 1992. godine izbacila svoje prve SLS pisace. DTM Corp je kasnije preuzeo 3D Systems. Godine 1993. Deckard je pokrenuo Sinterstation 2000 koji je lansirao SLS tehnologiju na tržište [3].

S. Scott i Lisa Crump su osnovali tvrtku Stratasys i 1989. su podnijeli patent za tehnologiju brze izrade prototipova nazvanu modeliranje taloženja (FDM). U ovom procesu, plastična nit ili metalna žica se zagrijavaju u mlaznici i izbacuju. Taloženje se upravlja računalom, temeljeno na prethodno definiranom digitalnom modelu. Svaki sloj se održava na temperaturi neposredno ispod točke otapanja radi osiguranja dobre adhezije među slojevima. Stratasys je kasnije razvio sustave termoplastike i pisace za 3D ispis [3].

Kasnih 1980-ih, Hans Langer je u Njemačkoj osnovao tvrtku Electro Optical Systems (EOS), s posebnim naglaskom na izravno lasersko sinteriranje metala, omogućujući izradu 3D dijelova izravno iz modela računalnog dizajna. Ova tehnologija koristila je lasersko zračenje za selektivno izlaganje metalnom prahu radi sinteriranja u tekućoj fazi. EOS je prodao svoj prvi stereo sustav 1994. godine i danas je prepoznat kao lider u proizvodnji industrijskih prototipova. EOS je 2004. godine stekao prava na sve patente DTM-a koji se odnose na lasersko sinteriranje [3].

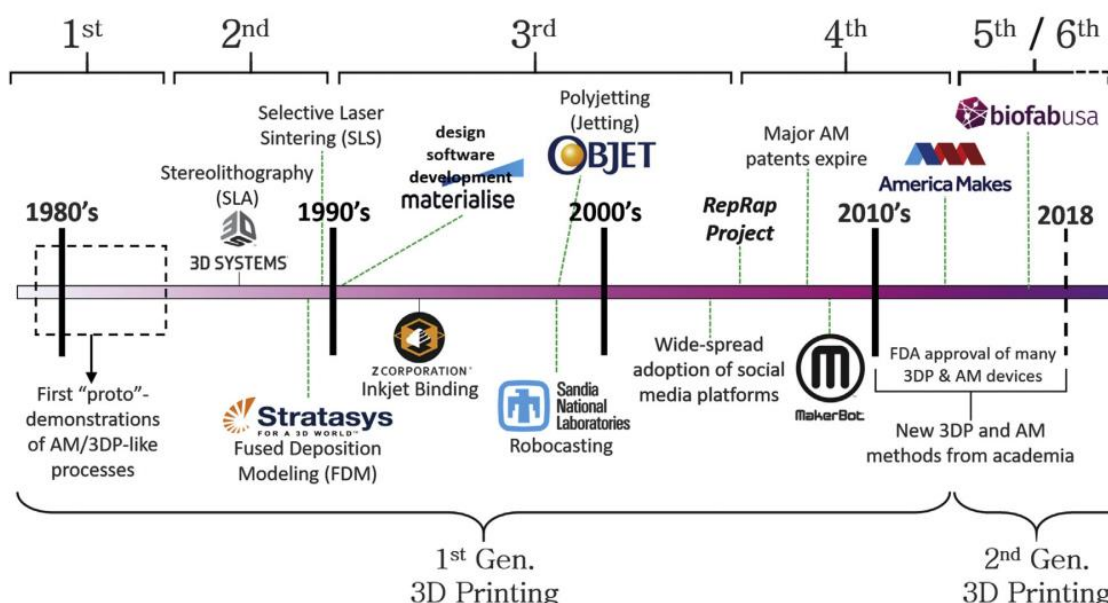
Početak 1990-ih istraživane su i druge tehnike 3D ispisa. William Masters je patentirao proizvodnju balističkih čestica koje koriste mikrokapljice rastaljenog voštanog materijala iz mlaza koji se kreće u ravnini X-Y kako bi formirao tanke presjeke. Stacionarna platforma se pomicala u Z-osi kako bi omogućila dodavanje svakog sloja 3D objekta. Michael Feygin je patentirao tehnologiju laminiranja objekata 1995. godine, koja je koristila automatizirano oblikovanje slojeva prema digitalnom 3D modelu, nakon čega su se slojevi slagali i lijepili kako bi se formirao čvrsti objekt. Međutim, Feyginova tvrtka, Helisys Inc., uskoro je prestala poslovati zbog financijskih poteškoća. Itzhak Pomerantz je izumio postupak stvrdnjavanja materijala koristeći sustav optičke maske za selektivno izlaganje slojeva fotootvrdnjujuće smole. Preostala tekućina se uklanjala, a zatim se zamjenjivala voskom koji se zaglađivao kako bi se formirala ravna podloga za sljedeći sloj [3].

Sredinom 1990-ih, industrija 3D ispisa se podijelila na dva glavna područja fokusa: *high-end* segment za visoko dizajnirane složene dijelove (npr. medicinske) i pisaače za konceptualni razvoj i funkcionalne prototipove prilagođene korisnicima, koji su bili ekonomičniji. Na kraju 1990-ih, ostale su samo tri izvorne tvrtke: 3D Systems, Stratasys i EOS [3].

Razdoblje od 1990. do otprilike 2005. godine označava dugotrajan proces sazrijevanja tehnologije 3D ispisa unutar privatnih tvrtki. Tijekom ovog razdoblja, uvelike su se razvile veće tehnologije 3D ispisa, a paralelno je došlo do napretka u računalnom i softverskom području [4].

Od 2005. do 2012. godine, istaknuto je istekom originalnih patenata za 3D ispis, širokom upotrebom društvenih medija te početkom „pokreta tvoraca (maker movement)“. U ovom razdoblju, 3D ispis počinje postajati popularan i široko prihvaćen među različitim skupinama, ne samo velikim industrijskim igračima [4].

Počevši od 2012. ili 2013. godine, pa sve do danas, započinje razdoblje rasta 3D ispisa. U ovoj fazi, nove tehnologije aditivne proizvodnje, materijali za 3D ispis te čak bioispis počinju se sve više koristiti i postaju ključni dijelovi, uz snažnu financijsku podršku i poticaje od strane federalnih vlada i drugih entiteta [4].

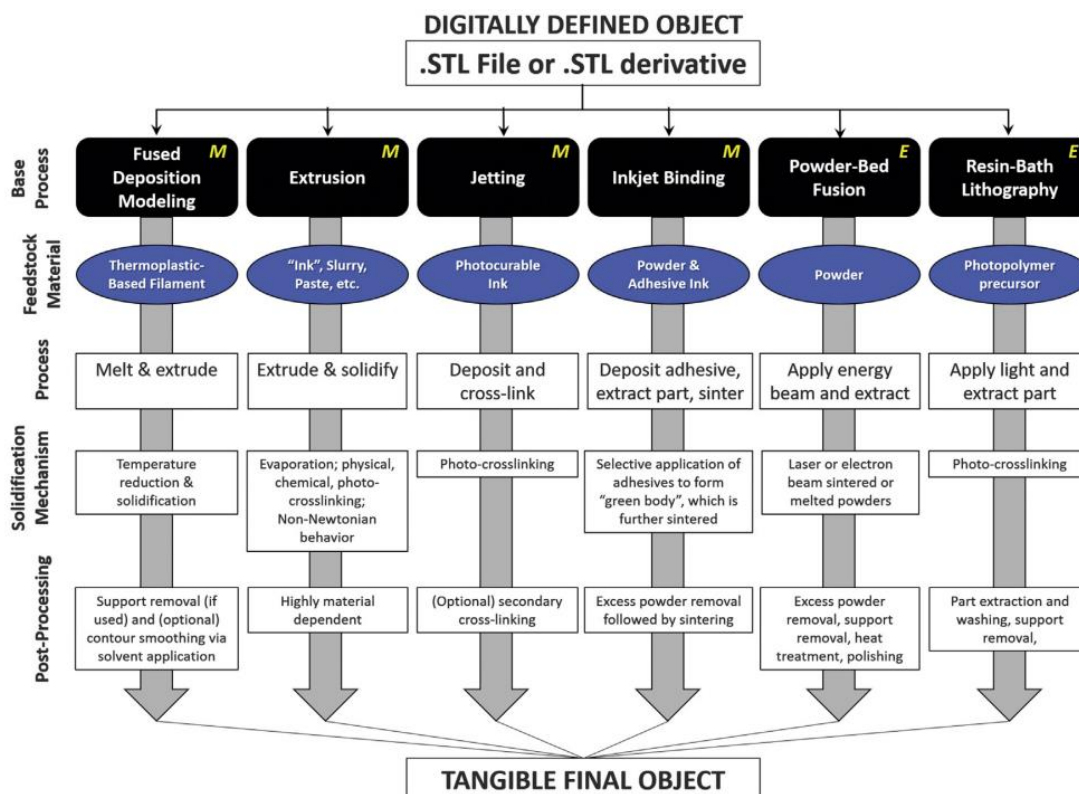


Slika 1: Kratki pregled vremenske linije s ključnim razdobljima i važnim događajima u povijesti aditivne proizvodnje (AM) i 3D ispisa (3DP).

2.2 Osnove 3D ispisa

2.2.1 Principi i tehnike 3D ispisa

Osnovni princip 3D ispisa je aditivna proizvodnja (AM) koja obuhvaća metode izrade koje stvaraju objekte dodavanjem materijala, umjesto oduzimanjem ili oblikovanjem iz gotovog bloka. Za razliku od tradicionalnih metoda koje uklanjaju materijal (subtraktivne metode), nove metode stvaraju objekte postupno, dodajući materijal sloj po sloj (aditivne metode). Aditivna proizvodnja se može podijeliti u tri glavne kategorije: na temelju energije, na temelju taloženja materijala i kombinacije oba. Postoji šest osnovnih tehnologija aditivne proizvodnje, a njihovi funkcionalni procesi prikazani su na slici 2. Svaka od ovih tehnologija ima specifične metode [4].



Slika 2: Generalizirani procesi i značajke definiranja šest glavnih obitelji AM tehnologija; potkategorije i hibridne tehnologije postoje za svaku kategoriju, ali nisu uključene u sliku. „M“ ili „E“ odnosi se na tehnologiju „temeljenu na taloženju materijala (Material deposition – based)“ ili „temeljenu na energiji (energy based)“

TEHNOLOGIJE TEMELJENE NA ENERGIJI

Aditivni pristupi temeljeni na energiji zahtijevaju preciznu primjenu energije na neaktivni materijal kako bi ga pretvorili u čvrstu strukturu. Ovi procesi mogu se podijeliti u dvije glavne kategorije: one koje koriste tekuće smole (monomeri miješani s fotoreaktivnim reagensom) kao kupke, kombinirane sa selektivnom primjenom nekoherentne svjetlosti (litografija bazirana na kupki s smolom) te one koje koriste čvrste, slojevite pakete praha (metala, legura ili termoplasta), u kombinaciji s koherentnim energetske snopom (laserom ili elektronskim snopom). Trenutno su najčešće korištene industrijske AM tehnike koje se temelje na energiji SLA, SLS i izravno lasersko taljenje (DLM). Iako se razlikuju, tehnologije bazirane na kupki sa smolom i prahom imaju nekoliko sličnosti. Prvo, zahtijevaju višak početnog materijala (poznatog i kao sirovina), u obliku tekuće smole ili čvrstog praha, kako bi se popunio volumen kupke odnosno sloja. Zbog selektivne primjene energije, većina početnog materijala

ne koristi se tijekom procesa proizvodnje. Drugo, višak tekućine/ostataka praha mora se ukloniti s gotovog dijela. Treće, čvrste poroznosti ili potpuno zatvorene (pune stijenke) arhitektonske značajke ne mogu se praktički proizvesti zbog potrebe za uklanjanjem neizreagirane ili nesinterirane/otopljene smole ili praha. Četvrto, često je potrebna naknadna obrada, poznata i kao „sekundarno stvrdnjavanje“ u slučaju materijala na bazi smole ili termička homogenizacija i/ili zgušnjavanje u slučaju metala. Trenutno ovi procesi nisu kompatibilni s više materijala [4].

TEHNOLOGIJE NA TALOŽENJU MATERIJALA

Tehnologije aditivne proizvodnje koje koriste taloženje materijala rade putem postupnog ispuštanja ili ravnomjernog nanošenja materijala sloj po sloj kako bi oblikovale čvrste, trodimenzionalne strukture, a ne koristeći prah ili smolne kupke kao osnovu. Ovi procesi uključuju FDM, inkjetiranje i poli-jetiranje, direktno pisanje tintom (DIW)/robokasting, 3D slikanje i bioispis. Materijal koji je nanesen mora brzo postati stabilan nakon nanosa kako bi se očuvao arhitektonsko integritet i omogućilo dodavanje dodatnih slojeva materijala te njihovo povezivanje s kasnije nanesenim slojevima. Ranije su ovi postupci bili ograničeni na materijale poput termopolimera, fotopolimera, kompozitnih polimera s niskim udjelom čestica i gustih gelova. No, nedavni napredak omogućio je široku paletu materijala koji su kompatibilni s ovim tehnikama, uključujući plastiku, kompozite, metale i legure, keramiku, acelularne biološke materijale i žive stanice [4].

KOMBINACIJA TALOŽENJA MATERIJALA I ENERGIJE TEHNOLOGIJE

Tehnika koja kombinira prvu i drugu skupinu, a pod nju spadaju:

Inkjet binding ili inkjet 3D ispis - inkjet glava precizno nanosi ljepljivo vezivo na površinu sloja praha, spajajući čestice zajedno. Kao beskontaktna metoda ispisa, inkjet ispis donosi niz prednosti u usporedbi s tradicionalnom proizvodnjom. Eliminacija potrebe za fizičkim maskama, smanjenje gubitka materijala i mogućnost precizne kontrole depozicije materijala čine ga idealnim za izradu visoko rezolutnih i složenih struktura. Pored toga, inkjet ispis može se primijeniti na širok spektar materijala, uključujući metale, polimere, keramiku i biomaterijale, što ga čini svestranom platformom za različite primjene. Na primjer, inkjet ispis se koristi u proizvodnji elektroničkih sklopova, antena, senzora i solarnih ćelija [5].

Laser metal deposition processes – Lasersko aditivno izravno taloženje metala opisuje tehnologiju proizvodnje koja se temelji na aditivnom slojevitom procesu za stvaranje komponenti prema modelu dizajna pomoću računalne podrške (CAD), bez potrebe za kalupima, alatima ili strojnom obradom. Ova tehnologija se oslanja na princip selektivnog laserskog sinteriranja (SLS) i laserskog oblaganja. Kretanje lasera, koje se kontrolira programom razvijenim iz CAD modela željene metalne komponente, koristi se za upravljanje žarišnom točkom lasera kako bi se pratila svaka područja komponente na podlozi, obično sloj po sloj. Omogućujući proizvodnju u jednom koraku, ova tehnologija ima potencijal značajno smanjiti vrijeme isporuke i troškove povezane s izradom modula i kalupa za dizajn, proizvodnjom tvrdih ili rijetkih metalnih komponenti te popravkom vatrostalnih i skupih dijelova, među ostalim primjenama. Ova tehnologija ima široku primjenu u različitim područjima, uključujući zrakoplovstvo, zrakoplovnu elektroniku i vojnu industriju [6].

Laminated object manufacturing (LOM) – proces proizvodnje laminiranih predmeta (LOM) je jedna od tehnika brze aditivne izrade prototipa (RP), gdje se trodimenzionalni objekt gradi postupno, sloj po sloj, koristeći rolu papira kao osnovni materijal. Proces započinje

postavljanjem dvadeset slojeva papira na platformu koja se polako uvlači. Ti slojevi se potpuno laminiraju i služe kao osnova za izradu dijela. Papir ima sloj ljepila aktiviran toplinom na donjoj strani te se laminacija obavlja pomoću grijanog valjka od nehrđajućeg čelika. Valjak vrši pritisak kako bi se stvorio novi sloj koji dolazi u dodir s već položenim slojevima, dok toplina uzrokuje njihovo povezivanje. Svaki sloj se reže pomoću CO₂ laserskog snopa u obliku presjeka koji je definiran datotekom iz računalnog dizajna (CAD). Laser također uklanja višak materijala u obliku dodatnih dijelova. Taj višak materijala pruža potporu za nadolazeće slojeve. Na kraju, pravokutni obris dijela se izreže, oslobađajući presjek od rola papira. Nakon toga, platforma se pomakne prema dolje, a nova rola papira se unaprijed postavlja. Ovaj postupak se ponavlja sve dok se ne dosegne konačni sloj. Višak materijala, koji je već podijeljen u dodatne dijelove, ručno se uklanja na kraju procesa. LOM se često koristi u proizvodnji alata i izradi šablona te izradi uzoraka i modela za različite procese poput lijevanja pijeskom, investicijskog lijevanja, kalupiranja za brizganje te izrade alata za toplinsko oblikovanje i označavanje prototipa [7].

Neke poznate tehnike aditivne proizvodnje:

Jedan od najčešćih metoda 3D ispisa je ekstruzija otapanja, poznata kao **Fused Deposition Modeling (FDM)**. U ovom postupku, višeslojni vrući termoplastični filamenti tope se i ekstrudiraju kroz grijanu mlaznicu kako bi se izgradio željeni objekt. FDM omogućuje proizvodnju različitih materijala, uključujući polilaktičnu kiselinu (PLA), kompozite metal-polimera, polimernih kompozita ojačanih vlaknima, keramičke materijale i mnoge druge. Širok izbor filamenata s različitim svojstvima, poput čvrstoće, fleksibilnosti ili otpornosti na toplinu, rezultat je napretka u 3D printanju, posebno u tehnologiji FDM. Ovaj napredak se ogleda u poboljšanjima dizajna pisača, procesu ekstruzije i samim materijalima. Zahvaljujući svojoj prilagodljivosti, FDM se koristi za brzu izradu prototipova, funkcionalnih komponenti, alata, arhitektonskih modela i obrazovne svrhe, čak i u sektorima poput zrakoplovstva i zdravstva [8].

Stereolitografija (SLA): U domeni 3D ispisa, stereolitografija (SLA) primjenjuje UV laser za postupno stvrdnjavanje tekuće fotopolimerne smole sloj po sloj, što rezultira u čvrstim predmetima s iznimno glatkom površinom i visokom razlučivošću. Ova tehnika se posebno ističe u kreiranju složenih prototipova i malih serija proizvoda. Nedavni napredak u stereolitografiji (SLA) donio je veću preciznost, skraćeno vrijeme ispisa te širi spektar dostupnih materijala. Razvoj formulacija smole omogućio je stvaranje biokompatibilnih smola za uporabu u medicini. Posljedično, SLA je široko prihvaćen u različitim industrijama za izradu detaljnih modela, preciznih nakitnih komponenata, prototipova, dentalne i medicinske opreme, kao i prilagođenih dijelova [9].

Selektivno lasersko sinteriranje (SLS) je slično postupku binder jet, ali se umjesto vezivanja materijala tekućinom koristi laser za topljenje plastičnog praha. Ovaj postupak omogućuje spajanje praha u čvrstu strukturu putem procesa koji se naziva sinteriranje. Uobičajeni materijali koji se koriste u procesu SLS uključuju prahove od metala, keramike, stakla i plastike [10].

Digitalna obrada svjetla (DLP): Slično kao kod stereolitografije (SLA), digitalna obrada svjetla (DLP) koristi fotopolimernu smolu i ultraljubičasto svjetlo. No, umjesto upotrebe lasera, koristi se digitalni svjetlosni projektor koji omogućuje istovremeno stvrdnjavanje cijelog sloja. Tehnologija digitalne obrade svjetla (DLP) omogućuje brži ispis u usporedbi sa stereolitografijom (SLA), iako bi rezolucija mogla biti nešto niža. Istraživanje u području digitalne obrade svjetla (DLP) uglavnom je usmjereno na poboljšanje materijalnih karakteristika, smanjenje debljine slojeva i povećanje rezolucije. Brza proizvodnja prototipova,

izrada nakita, dentalne primjene i proizvodnja prilagođenih potrošnih proizvoda neka su od područja gdje se primjenjuje ova tehnika [11].

Multifotonska polimerizacija je tehnika koja primjenjuje laserske zrake visokog intenziteta kako bi polimerizirala tekuću smolu, često pomoću fotoosjetljivog inicijatora. Ova tehnologija omogućuje preciznu regulaciju procesa stvrdnjavanja i široko se primjenjuje u mikroproizvodnji i biološkim aplikacijama. Napredak u procesima multifotonske polimerizacije rezultirao je submikronskom rezolucijom i poboljšanim karakteristikama materijala. Znanstvenici i dalje istražuju nove fotoosjetljive materijale i funkcionalne aditive kako bi proširili potencijalne primjene ove tehnologije. Sada se koristi za izradu složenih struktura, mikrooptike, tkiva inženjeringa i drugih visokopreciznih proizvodnih svrha [12].

Binder jetting je ubrzan proces za izradu prototipa i 3D ispisa u kojem se tekuće vezivno sredstvo selektivno nanosi radi povezivanja čestica praha. Tehnologija mlaznog veziva koristi mlaz kemijskog veziva na raspršenom prahu kako bi formirala sloj. Primjena mlaznog veziva može rezultirati uzorcima za lijevanje, sirovim sinteriranim proizvodima ili sličnim proizvodima velikog volumena od pijeska. Mlaznim vezivom možete ispisati različite materijale, uključujući metale, pijesak, polimere, kombinirane materijale i keramiku. Neke materijale poput pijeska nije potrebno dodatno obrađivati. Nadalje, proces mlaznog veziva je jednostavan, brz i ekonomičan jer se čestice praha međusobno povezuju. Naposljetku, tehnologija mlaznog veziva omogućuje i ispis vrlo velikih proizvoda [13].

Material jetting se ističe kao važna metoda aditivne proizvodnje u području ispisa polimera zbog svojih prednosti u usporedbi s drugim tehnikama ispisa polimera. Ova tehnologija omogućuje precizno podešavanje debljine sloja, što rezultira izradom dijelova visoke kvalitete s minimalnim vidljivim efektima stepenica i karakteristikama tankih zidova. Debljina slojeva može biti svega 16 μm , što doprinosi smanjenju površinske hrapavosti, jednog od glavnih izazova u aditivnoj proizvodnji. Tehnologija nudi dvije opcije za završnu obradu površine: mat i sjajnu. U mat postavci, cijeli dio je prekriven potpornim materijalom, dok su u sjajnom okruženju podržana samo strukturno potrebna područja, a model je izložen zraku tijekom stvrdnjavanja. Nakon ispisa, podržana područja zadržavaju mat izgled, dok nepodržana područja dobivaju sjajnu površinu. Dodatno, ona eliminira potrebu za naknadnim obradama nakon odvajanja dijelova, omogućujući njihovu upotrebu odmah nakon uklanjanja potpornih struktura. Umjesto izravnog ispisa na radnu površinu, fotopolimerna smola može se nanositi na podlogu, što olakšava odvajanje ispisanih dijelova od radne ploče uz uporabu ručnih alata s minimalnim naporom. Nadalje, različiti materijali poput PLA, ABS, poliamida i njihovih kombinacija mogu se koristiti u ovoj tehnologiji, poznatoj kao pristup više materijala. Ova mogućnost omogućuje izradu kompozitnih dijelova prilagođenih specifičnim potrebama [14].

2.2.2 Postupak od modeliranja do ispisa

Proces koji ide od početne ideje do konačnog plastičnog objekta iz 3D pisača je složen i uključuje mnoge korake koji moraju međusobno komunicirati i besprijekorno zajedno funkcionirati [15].

MODELIRANJE

Prvi korak u procesu ispisa stvarnog objekta je kreiranje virtualnog digitalnog 3D modela pomoću softvera, poznatog kao CAD (Computer-Aided Design). Postoji mnogo različitih CAD programa dostupnih za različite platforme (Windows, Mac OS X, Linux), a neki su čak dostupni besplatno ili kao *open source* softver. Prije nego što se započne s kreiranjem

vlastitih 3D modela i prvih koraka s raznim softverskim alatima, preporučuje se pregledati mnogobrojne modele koje su drugi izradili i besplatno podijelili na internetu [15].

SLICING

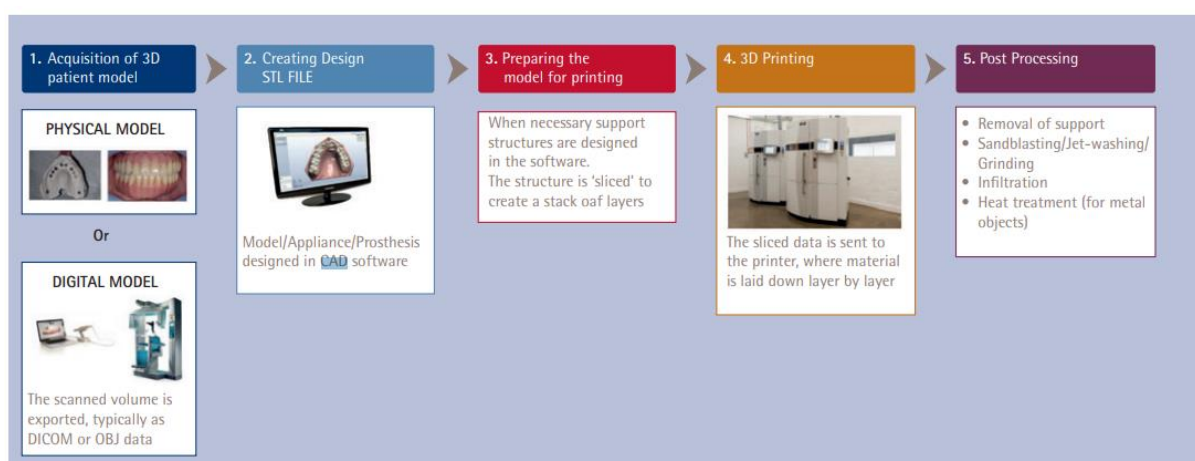
Da bi se moglo započeti s ispisom, model (koji je spremljen ili eksportiran kao STL datoteka) prvo mora biti pretvoren u skup naredbi za pisač, poznat kao G-kod. Ovaj proces naziva se rezanje (*slicing*) jer se model „reže“ na mnogo tankih horizontalnih slojeva koji će se zatim ispisivati jedan za drugim. Za obavljanje ovog procesa koriste se složeni računalni programi nazvani rezači (*slicers*). STL datoteka u sebi sadrži informacije koje su od male ili ni od kakve koristi za pisač, jer se sastoji samo od dugog popisa koordinata $\langle X, Y, Z \rangle$ koje identificiraju vrhove koji čine mnoga poligonalna lica mreže objekta [15].

ISPIS

U ovom trenutku bi trebao biti na raspolaganju pažljivo odabrani pisač spreman za rad, odgovarajući filament pravog promjera za pisač, kao i odgovarajuće vrste i boje potrebne za dizajn. Također bi trebala biti generirana datoteka g-koda pomoću softvera za rezanje, koja je ispravno konfigurirana prema svojstvima koje se želi postići za objekt. Prije ispisa potrebno je također napraviti i kalibraciju, što podrazumijeva niveliranje kreveta, čišćenje podloge, stavljanje filameta... Vrijeme potrebno za ispis manjeg šupljeg predmeta širine nekoliko centimetara može biti između 10 i 20 minuta, dok za objekt veličine jabuke može biti potrebno i do 1 sat ili više, ovisno o rezoluciji, ispuni i brzini pisača. Za veće objekte, vrijeme ispisa može biti i do 10 sati, a ako su objekti složeni ili imaju punjenje, može trajati i više od 50 sati, što ovisi o specifičnim karakteristikama ispisa [15].

POST-PROCESSING

Na kraju, naknadna obrada uključuje sve postupke koji se primjenjuju nakon završetka ispisa kako bi se predmet usavršio i dotjerao. Ove aktivnosti mogu obuhvaćati uklanjanje potpornih struktura, brušenje hrapavih površina ili primjenu kemijskih tretmana za poboljšanje izdržljivosti i estetskog izgleda [16].



Slika 3: Proces 3D ispisa

2.2.3 Najpoznatije vrste 3D pisača i njihove karakteristike

Tri najpoznatije vrste 3D pisača za plastične dijelove su stereolitografija (SLA), selektivno lasersko sinteriranje (SLS) i modeliranje taloženja (FDM).

SLA PISAČI - Uvođenje SLA pisača u proizvodni kontekst značajno je ubrzalo procese, poboljšalo preciznost te postalo ekonomski isplativo, što je značajno promijenilo industrijske standarde i prakse. SLA tehnologija predstavlja jednu od najstarijih i najviše prihvaćenih metoda brze izrade prototipa putem selektivnog stvrđavanja fotopolimernih smola za kreiranje složenih trodimenzionalnih struktura. Ovaj pristup značajno skraćuje vrijeme potrebno za iterativni dizajn i razvoj konačnog proizvoda, što rezultira ubrzanjem proizvodnih rokova. Metoda sloj-po-sloj, inherentna SLA tehnologiji, omogućuje izradu izuzetno detaljnih modela s visokom preciznošću, nadmašujući tradicionalne tehnike u smislu rezolucije detalja i finiiranja površine. Dodatno, SLA ispis je ekonomski efikasan jer minimizira otpad materijala zahvaljujući aditivnom procesu, koristeći samo potrebne količine smole za svaki specifični projekt. Kao rezultat toga, različite industrije, od medicinskih uređaja do proizvodnje zrakoplovnih komponenti, imaju koristi od smanjenih operativnih troškova uz održavanje visokih standarda kvalitete. Simplifikacijom proizvodnih procesa i omogućavanjem brzih ciklusa inovacija, SLA pisači podržavaju agilno proizvodno okruženje koje se lako prilagođava zahtjevima tržišta i tehnološkom napretku. Stoga, njihovo uvođenje ne označava samo optimizaciju već fundamentalnu revoluciju u konceptualizaciji i implementaciji proizvodnih procesa [17].



Slika 4: SLA 3D pisac

SLS PISAČI - SLS pisači su opremljeni naprednim sustavima grijanja i robusnim sigurnosnim mjerama koje osiguravaju visokokvalitetne rezultate i povećavaju pouzdanost rada. Visoka preciznost laserskog sinteriranja smanjuje otpad materijala jer materijali postaju spojeni samo tamo gdje je to nužno, što pridonosi održivoj praksi smanjenja utjecaja na okoliš. Osim toga, platforme u SLS pisačima pažljivo su dizajnirane za podršku složenim geometrijama i kompliciranim dizajnima koji se teško postižu tradicionalnim metodama proizvodnje, čime se širi prostor za inovacije u različitim industrijama. Automatizacija unutar SLS tehnologije značajno smanjuje ljudske pogreške i troškove rada, smanjujući potrebu za ručnim intervencijama u usporedbi s konvencionalnim tehnikama. Ova razina automatizacije ne samo da poboljšava kontrolu kvalitete, već i značajno ubrzava proizvodne cikluse, omogućujući

tvrtkama brzo iteriranje i finalizaciju prototipova. Ova sposobnost je posebno važna u sektorima poput zrakoplovne, zdravstvene i automobilske industrije, gdje je fleksibilnost i brza prilagodba tržišnim zahtjevima ključna [17].



Slika 5: SLS 3D pisac

FDM PISAČI - FDM pisaci se ističu kao inovativni i učinkoviti u području 3D ispisa zbog svoje osnovne metode ekstruzije termoplastičnih niti kroz grijanu mlaznicu, što omogućuje precizno slojevito nanošenje materijala za formiranje željenog objekta. Korištenje materijala poput PLA i ABS pruža prednosti u smislu dostupnosti, ekonomske isplativosti te čvrstoće i izdržljivosti materijala. Napredak tehnologije FDM-a doveo je do poboljšanja brzine ispisa i rezolucije, potičući njegovo široko usvajanje u raznim industrijama. Integracija IoT-a s FDM pisacima unapređuje procese praćenja i automatizacije, pružajući stvarno-vremenske podatke za optimizaciju uvjeta ispisa i minimiziranje otpada, što zajedno povećava učinkovitost proizvodnje. FDM tehnologija može značajno unaprijediti proizvodne procese, čime se potvrđuje njezina vrijednost u sektorima poput zrakoplovstva i zdravstvene skrbi. Sve ove karakteristike pozicioniraju FDM pisace kao napredni alat koji može zadovoljiti različite proizvodne zahtjeve s izvanrednom učinkovitošću [18].



Slika 6: FDM 3D pisaci

2.3 Materijali za 3D ispis

2.3.1 Plastični materijali



Slika 7: Različite vrste polimernih materijala dobivenih od (A) polimljične kiseline (PLA) - spremnici za hranu; (B) akrilonitril butadien stiren (ABS) – Lego kocke; (C) polietilen tereftalat (PET) – boce s vodom; (D) termoplastični elastomeri (TPE) – bezračne gume; (E) poliamid (PA) ili najlon-uže; (F) polikarbonat (PC) – kofer na kotrljanje

PLA (polylactic acid) - Jedan od najomiljenijih polimernih materijala je polilaktična kiselina, poznata kao PLA, koja je dominantna u svijetu stolnog 3D ispisu. Primjene PLA u 3D ispisu obuhvaćaju izradu prototipa, modela, projekata uradi sam (DIY), umjetničkih predmeta, kućanskih potrepština, igraćaka s brzim trošenjem, ambalaže te predmeta u biomedicinske svrhe. Pruža brojne prednosti poput jednostavnog ispisu, raznolikosti boja i uzoraka te je biorazgradiva. Ipak, ima i neke nedostatke poput krhkosti i slabe mehaničke izdržljivosti. Ključna karakteristika PLA materijala za 3D ispis je njegova široka primjena u FDM tehnologiji zbog niske točke taljenja, netoksičnosti, odsutnosti iritacije te biokompatibilnosti [19].

ABS (acrylonitrile butadiene styrene) - Još jedan često korišten polimer za 3D ispis, poznat i kao akrilonitril butadien stiren. ABS je prikladan za različite namjene, kao što su maskice za telefone, igračke koje se često koriste, ručke alata, automobilske komponente te kućišta za elektroničke uređaje, zahvaljujući svojim izvrsnim mehaničkim karakteristikama poput otpornosti na udarce, toplinu, kemikalije i trošenje. Da bi se ABS ispravno ispisao, potrebno je koristiti zagrijanu podlogu s dodatnim ljepljivom jer je sklon savijanju [20].

PETG (polyethylene terephthalate glycol) - Sve više se koristi materijal za 3D ispis poznat kao polietilen tereftalat glikol (PETG), koji je varijacija polietilen tereftalata (PET). PETG je prikladan za razne primjene, uključujući mehaničke dijelove, dijelove pisača i zaštitne komponente, jer je fleksibilan, snažan i lako se ispisuje. Ipak, važno je napomenuti da je polietilen tereftalat glikol (PETG) osjetljiv na vlagu i sklon ogrebotinama [21].

TPE (thermoplastic elastomers), TPU (thermoplastic polyurethane), TPC (thermoplastic copolyester) - Elastični polimeri koji se koriste u 3D ispisu uključuju termoplastične elastomere (TPE), termoplastični poliuretan (TPU) i termoplastični kopolijester

(TPC). Ovi materijali su izuzetno fleksibilni i izdržljivi, slični svojstvima gume. Često se koriste u različitim proizvodima kao što su dijelovi automobila, kućanski aparati i medicinski uređaji gdje su potrebni dijelovi koji se mogu savijati ili komprimirati. Međutim, TPE, TPU i TPC mogu predstavljati izazov prilikom 3D ispisa i zahtijevaju posebne uvjete ispisa koji se moraju uzeti u obzir [22].

PA (Nylon ili polyamide) - Obično korišten polimer u tehnologiji 3D ispisa fuzijom praha je najlon, poznat i kao poliamid (PA). Zbog visokih razina čvrstoće, fleksibilnosti i izdržljivosti, idealan je za primjene koje zahtijevaju otporne dijelove, poput alata, prototipova ili mehaničkih komponenti. Ipak, Mohd Radzuan i suradnici (2023) su objasnili da upotreba najlona u 3D ispisa s većim opterećenjem punila može uzrokovati probleme poput delaminacije i slabog prijanjanja. Međutim, primjena postupka naknadnog sušenja i optimizacija parametara ispisa mogu poboljšati mehanička svojstva, što rezultira jačim uzorcima [23].

PVA (Water-soluble polyvinyl alcohol) - Polivinil alkohol (PVA), koji je topljiv u vodi, često se koristi kao potporni materijal u složenom 3D ispisu koji uključuje prenapregnute dijelove. PVA filament pruža izvanrednu potporu, iako može biti izazovno raditi s njim i podložan je utjecaju vlage. Popularnost polivinil alkohola u 3D/4D ispisu proizlazi iz njegove odgovarajuće fluidnosti, sposobnosti biodegradacije i ekonomske isplativosti, uz ostala vrijedna svojstva [24].

2.3.2 Metalni materijali



Slika 8: Metalni materijali

Područje 3D ispisa brzo napreduje, a posebno je u posljednjih nekoliko godina 3D metalni ispis postao izuzetno popularan. Najčešće korišteni materijali u 3D metalnom ispisu uključuju legure kobalta i kroma, nehrđajući čelik 316L, aluminij 6061, titan Ti6Al4V, Inconel, zlato/srebro, tantal, Hastelloy, nikal-krom, legure volframa i bakra. Ovi metali široko se primjenjuju u industrijama automatizacije, zdravstva i zrakoplovstva. Na primjer, nehrđajući čelik je izuzetno otporan na koroziju i vrlo snažan, a također nije porozan. Titan i Ti64 su lagani, ali robusni metali. Aluminij 7075, 4047, 6061, 2319 i 4043 su također lagani i vrlo svestrani.

Legure nikla i kroma poput Inconel 718 i 625 su otporne na visoke temperature i koroziju. Kobalt-krom je biokompatibilan i otporan na koroziju, što ga čini korisnim u medicinskim primjenama. Zlato je visoko vodljivo i otporno na koroziju, dok se tantal koristi u medicini za popravak tvrdih oštećenja tkiva. Hastelloy je superlegura na bazi nikla koja se često koristi u konstrukcijskim materijalima koji su izloženi visokim temperaturama. Volfram je koristan za zaštitu od zračenja, kolimatore i dijelove motora. Bakar, zbog svoje izvrsne vodljivosti električne energije i topline, idealan je za razne primjene poput zrakoplovstva, sustava grijanja i hlađenja, indukcijskih svjećica te električnih i elektroničkih komponenti. Svi ovi metali kompatibilni su s tehnologijama poput selektivnog laserskog taljenja (SLM) ili tehnologije izravnog ispisa na metal (DMP), kao što su EOS M 400, Markforged Metal X sustavi te koncept AMCM M 4K koji je korišten za izradu prvog 3D-ispisanog raketnog motora [25].

Mnoge su studije istraživale primjenu 3D ispisa za metalne materijale, svaka s vlastitim specifičnim fokusom i ograničenjima. Malekjafarian i njegovi kolege istraživali su kapacitet izvijanja metalnih materijala proizvedenih laserskim 3D ispisom korištenjem eksperimentalnih tehnika, ali su naišli na ograničenja zbog nedostatka preciznih kriterija izvijanja za 3D ispis metala. Slično tome, Jafari i njegov tim analizirali su kapilarnu izvedbu 3D ispisanih metalnih struktura fitilja za primjene toplinskih cijevi koristeći eksperimentalne tehnike, ali opseg njihovog istraživanja mogao bi biti proširen kako bi uključio veći broj materijala. Ramesh i suradnici istraživali su kompresijsko ponašanje 3D ispisanih metalnih pjena koristeći i eksperimentalni i numerički pristup, ali nedostajala je usporedba s drugim vrstama metalnih pjena u njihovoj studiji. Također, iste godine Kumar i njegovi kolege razvili su metaliziranu 3D ispisanu elektrodu za elektrokemijsku detekciju ugljikohidrata. Sve te studije pružile su koristan uvid u potencijal tehnologija 3D ispisa za metale. Međutim, istovremeno su istaknule izazove i ograničenja te metode, kao što su potreba za pažljivom kontrolom parametara ispisa, mogući utjecaj hrapavosti površine i drugih čimbenika na mehanička svojstva te potreba za daljnjim istraživanjem koje bi potvrdilo i proširilo prezentirane nalaze [25].

2.3.3 Keramički materijali



Slika 9: Keramika dobivena 3D ispisom

S novim mogućnostima i primjenama, keramički materijali predstavljaju veliki napredak u području 3D ispisa. Njihova otpornost na visoke temperature, tvrdoća i električne izolacijske kvalitete odavno su cijenjene u tradicionalnoj proizvodnji. Međutim, dugački procesi izrade keramičkih materijala uzrokovali su njihovu lomljivost i postavljanje izazovnih zahtjeva za 3D ispis. Sada se keramika može istraživati u 3D ispisu zbog nedavnog razvoja aditivnih proizvodnih tehnologija koje su uklonile te prepreke. Keramički prahovi ili paste koriste se kao sirovine u keramičkom 3D ispisa, koji se ponekad naziva i proizvodnja keramičkih aditiva. Keramički materijal se taloži i oblikuje sloj po sloj korištenjem raznih procesa, uključujući selektivno lasersko taljenje, stereolitografiju i mlaz veziva. Složene geometrije i detaljni dizajni koje je ranije bilo teško proizvesti korištenjem konvencionalne proizvodnje keramike sada su moguće. Osim toga, keramički 3D ispis omogućuje prilagodbu i opcije optimizacije dizajna, što omogućuje izradu keramičkih komponenti s posebnim kvalitetama i funkcijama. Izvedba, gustoća i snaga ispisanog materijala keramičkih dijelova mogu se dodatno poboljšati metodama naknadne obrade kao što je sinteriranje. Iako još uvijek postoje izazovi, kao što su proizvodnja komada visoke gustoće bez nedostataka i ubrzanje proizvodnje, keramički 3D ispis postaje sve bolji [26].

2.3.4 Pametni (*smart*) materijali

Pametni (*smart*) materijali imaju sposobnost mijenjanja svojih svojstava ili ponašanja kao odgovor na vanjske čimbenike poput temperature, tlaka, svjetlosti ili magnetskih polja. Ono što je fascinantno jest da te promjene mogu nastupiti u roku od nekoliko sekundi ili čak milisekundi. Ovi pametni materijali mogu se koristiti u procesima 3D ispisa poput stereolitografije (SLA) i taložnog modeliranja (FDM) kako bi se stvorili objekti sa sposobnošću pamćenja oblika. Ovi materijali mogu zadovoljiti potrebe korisnika, izuzetno su prilagodljivi i otvaraju beskonačne mogućnosti [27].

Nekoliko primjera pametnih (*smart*) materijala):

Slitine s pamćenjem oblika (SMA) su intrigantni metali koji posjeduju fascinantnu sposobnost „pamćenja“ svog prvotnog oblika. Dakle, kad su deformirane, mogu se vratiti u svoj izvorni oblik zagrijavanjem ili hlađenjem. Nitinol, legura nikla i titana, poznat je primjer materijala s pamćenjem oblika. Često se koristi u kirurškim instrumentima i implantabilnoj medicinskoj opremi. Ti implantati mogu biti komprimirani i zatim zagrijani prije umetanja u tijelo kako bi povratili svoj prvotni oblik i funkcionalnost [28].

Ferofluid je supstanca sastavljena od mikroskopskih magnetskih čestica koje lebde u tekućini. Ove čestice se poravnavaju i čine tekućinu čvršćom kada je izložena magnetskom polju. Ferofluid se često koristi u zvučnicima za precizno upravljanje kretanjem zvučničke dijafragme. Osim toga, može se primijeniti i za brtvljenje predmeta [28].

Magnetoreološke (MR) tekućine su sastavljene od mikroskopskih čestica koje su sposobne reagirati na magnetno polje, slično kao i ferofluidi. No, za razliku od ferofluida, čestice u magnetoreološkim (MR) materijalima su obično veće. Ovi materijali se često koriste u kočnicama i sustavima adaptivnog prigušivanja [28].

Elektroaktivni polimeri (EAP) su inteligentni materijali koji, kada su podvrgnuti električnom polju, mijenjaju svoju strukturu, dimenzije ili volumen. Oni su izuzetno fleksibilni, imaju visok kapacitet opterećenja te brzu reakciju. Elektroaktivni polimeri (EAP) su fascinantni zbog svoje sposobnosti prilagodbe i koriste se u različitim područjima poput meke robotike, tehnologije prikupljanja energije i umjetnih mišića. Ovi materijali su lagani, troše malo energije i mogu se integrirati u različite proizvodne procese, što ih čini ekonomičnijima u usporedbi s konvencionalnim aktuatorima [28].

Piezoelektrični materijali su inteligentni materijali koji mogu transformirati mehaničku energiju u električnu energiju i obratno. Često se koriste u sensorima, izvršnim mehanizmima, pretvaračima i uređajima za prikupljanje energije. Kada se piezoelektričnom materijalu primijeni mehaničko naprežanje, on proizvodi električni naboj, dok mehanička deformacija uzrokuje indukciju električnog polja. Iako postoje prirodni i sintetički piezoelektrični materijali, sintetički materijali poput olovo-cirkonat-titanata (PZT) obično se preferiraju zbog njihove visoke osjetljivosti i izlaznih signala [28].

Kromogeni materijali posjeduju sposobnost promjene boje ili optičkih karakteristika kao odgovor na različite vanjske podražaje, uključujući električna polja, toplinu, svjetlost i mehanička naprežanja. Dobro poznat primjer su sunčane naočale s fotokromatskim lećama koje postaju tamnije kada su izložene UV svjetlu. Ovi materijali koriste se u sigurnosnim tintama, temperaturno osjetljivim bojama, pametnim prozorima i raznim drugim primjenama [28].

Fascinantan i dinamičan svijet pametnih materijala ukazuje na to da materijali predstavljaju mnogo više od običnog kamena, metala ili plastike. Pametni materijali donose brojne koristi, od materijala koji se sami popravljaju kada su oštećeni do pametnih tkanina koje mogu prilagoditi temperaturu prema potrebi. Nastavak impresivnog razvoja pametnih materijala bit će potaknut napretkom u znanosti o materijalima i tehnologiji, što će istraživačima omogućiti stvaranje pametnijih, prilagodljivijih i održivijih rješenja. Očekuje se uzbuđujući napredak u ovom području, što će rezultirati promjenama u načinu na koji živimo [28].

2.4 Računalni alati za 3D modeliranje

2.4.1 Računalni alati za izradu 3D modela

CAD (Computer-Aided Design) – s mehaničke perspektive, 3D pisci često se smatraju relativno jednostavnim robotičkim uređajima. Međutim, bez njih ne bi bilo moguće koristiti softver za računalno projektiranje (CAD), koji omogućuje dizajniranje objekata pa čak i kompletnih sklopova u virtualnom okruženju. CAD softver je široko korišten u industriji dizajna, inženjeringa i proizvodnje, te je često prisutan u zubotehničkim laboratorijima pa čak postaje karakterističan i za mnoge stomatološke ordinacije. Razvoj računalne tehnologije i softverskih aplikacija ključan je dio tehnološke evolucije koja je omogućila 3D ispis dosegne razinu na kojoj se danas nalazi. Da bi 3D ispis imao svrhu, bitno je da možemo stvarati objekte za ispis; CAD softver nam omogućuje upravo to, omogućavajući nam stvaranje objekata od samog početka [29].



Slika 10: Primjeri CAD alata

DCC (Digital Content Creation) – neizostavan su dio procesa dizajna i proizvodnje u različitim industrijama, nudeći brojne prednosti u smislu učinkovitosti i kvalitete. Ovi alati omogućuju dizajnerima i proizvođačima optimizaciju njihovih radnih tijekova, smanjenje zadataka koji oduzimaju vrijeme te postizanje veće razine preciznosti i točnosti. Korištenjem DCC alata stručnjaci mogu učinkovito upravljati i manipulirati digitalnim resursima poput 3D modela, tekstura i animacija, omogućujući brže iteracije i prototipiranje. Ovo ne samo da štedi vrijeme, već i poboljšava opću učinkovitost dizajna i proizvodnje. Nadalje, DCC alati nude napredne značajke koje omogućuju dizajnerima stvaranje složenih i realističnih vizualizacija, simulirajući scenarije iz stvarnog svijeta te poboljšavajući kvalitetu konačnog proizvoda. S mogućnošću modeliranja i simuliranja različitih iteracija dizajna, stručnjaci mogu identificirati potencijalne probleme ili nedostatke prije same proizvodnje, što dovodi do poboljšane kvalitete i smanjenih troškova. Prednosti DCC alata u dizajnu i proizvodnji su značajne, budući da poboljšavaju učinkovitost i kvalitetu u različitim industrijama [30].



Slika 11: Primjeri DCC alata

2.4.2 Slicer softveri

Nadovezujući se na ključnu ulogu softvera za rezanje u prevođenju digitalnih dizajna u fizičke objekte, bitno je dublje istražiti specifične značajke i funkcionalnosti koje značajno poboljšavaju preciznost i prilagodljivost 3D modela. Jedna od najvažnijih prednosti ovih alata je njihova sposobnost finog podešavanja postavki ispisa prema jedinstvenim zahtjevima svakog projekta. Na primjer, korisnici mogu dinamički prilagoditi visinu sloja, što štedi materijal i poboljšava završnu obradu, omogućujući deblje slojeve za ispunu i tanje slojeve za vidljive površine. Također, softver za rezanje olakšava stvaranje potpornih struktura koje su ključne za

ispis složenih geometrija; te se potpore mogu prilagoditi u smislu gustoće i postavljanja kako bi se osiguralo jednostavno uklanjanje bez ugrožavanja integriteta modela. Simulacije ispisa u stvarnom vremenu koje nude napredni programi za rezanje, poput Simplify3D, pružaju pregled potencijalnih problema kao što su savijanje ili nizanje prije početka stvarnog ispisa, čime se minimiziraju pogreške i gubitak. Prilagodljive mogućnosti rezanja dodatno naglašavaju kako ovi alati doprinose učinkovitom tijeku rada automatiziranjem procesa koji bi inače zahtijevali opsežan ručni unos. Integracijom ovih naprednih funkcionalnosti, softver za rezanje ne samo da poboljšava kvalitetu i pouzdanost 3D ispisa, već također daje kreatorima veću kontrolu nad njihovim projektima, čineći ih nezamjenjivima u suvremenoj praksi aditivne proizvodnje [31]. U posljednjih nekoliko godina, različiti 3D pisari su lansirani u inozemstvu, obično opremljeni vlastitim softverskim sustavima, dok neki podržavaju i opće softvere za rezanje, kao što su Cura, Slic3r, Simplify3D, Netfabb i slično. Kina je također provela mnogo istraživanja na području softvera za 3D ispis i postigla značajna postignuća. Razvijeno je mnogo softverskih paketa za rezanje, poput Easy Print 3D, Flash Print, HORI 3D Print, BLT-Slice Viewer, Auto Sector i drugi. Iako većina ovih softverskih paketa dolazi s pripadajućom opremom, postoji potreba za daljnjim unapređenjem funkcionalnosti sustava [32].



Slika 12: Primjeri slicer softvera

2.5 Prednosti 3D ispisa

Nadovezujući se na prethodno navedene prednosti, jedan od najvažnijih aspekata 3D ispisa je njegova isplativost. Za razliku od tradicionalne proizvodnje koja zahtijeva visoke početne troškove za kalupe i alate, što je nepraktično za male serije ili prilagođene dizajne, 3D ispis omogućuje proizvodnju objekata sloj po sloj izravno iz digitalnih modela. Ovo smanjuje materijalni otpad i troškove rada. Uz to, 3D ispis omogućuje brzu izradu prototipova, ubrzavajući razvoj proizvoda i skraćujući vrijeme potrebno za plasiranje na tržište. Tvrtke u zrakoplovnoj industriji, primjerice, zabilježile su smanjenje vremena isporuke do 60% korištenjem 3D ispisa za proizvodnju dijelova. Ova tehnologija ne samo da smanjuje ukupne troškove proizvodnje, već također omogućuje bržu reakciju na tržišne zahtjeve. Kao ekonomičnija alternativa tradicionalnim metodama, 3D ispis otvara mogućnosti proizvodnje za start-upove i mala poduzeća koja bi se inače suočila s visokim financijskim preprekama. Integracijom ove tehnologije, industrije mogu postići značajnu ekonomsku učinkovitost te poticati inovacije i konkurentnost na tržištu [33]. Ključno je istaknuti da svestranost 3D ispisa proširuje njegov transformacijski utjecaj na različite sektore, posebice u specijaliziranim područjima gdje prilagodba značajno poboljšava operativnu učinkovitost i korisničko iskustvo. Prednosti 3D ispisa za industrijske primjene su značajne, pogotovo u kontekstima gdje se prilagođena proizvodnja učinkovitije odvija u usporedbi s tradicionalnim metodama. Na primjer, zrakoplovna industrija koristi 3D ispis za izradu složenih komponenti koje zahtijevaju visoku preciznost i prilagodbu, što nije moguće postići konvencionalnim tehnikama proizvodnje. Ova mogućnost ne samo da optimizira performanse, već i smanjuje težinu

komponentata, što dovodi do povećanja učinkovitosti goriva i smanjenja emisija. Konačno, omogućujući brzu izradu prototipova, minimiziranje otpada, smanjenje utjecaja na okoliš i pružanje neusporedivih mogućnosti prilagodbe, 3D ispis se ističe kao ključna tehnologija spremna potaknuti inovacije i ekonomski rast u budućnosti [34].

2.6 Nedostaci 3D ispisa

Unatoč prednostima tehnologije 3D ispisa poput slobode u dizajnu, prilagodljivosti i mogućnosti stvaranja složenih struktura, postoji nekoliko nedostataka koji zahtijevaju daljnje istraživanje i razvoj tehnologije. Ti nedostaci uključuju visoke troškove, ograničenu primjenu u velikim konstrukcijama i masovnoj proizvodnji, inferiorna mehanička svojstva te ograničena materijala. Istraživanje i razvoj novih materijala i metoda pomogli su u prevladavanju nekih od ovih izazova, no potrebno je još mnogo rada kako bi se proširila primjena aditivne proizvodnje na različite industrije i područja. Neki od izazova su specifični za određene metode ispisa ili materijale, dok su neki prisutni u gotovo svim metodama 3D ispisa. Na primjer, u usporedbi s tradicionalnim metodama poput lijevanja ili ekstruzije, 3D ispis obično zahtijeva više vremena za izradu dijelova. Također, neke metode 3D ispisa, poput praškastih slojeva (SLS ili SLM), imaju visoku razlučivost, što rezultira većim troškovima materijala i većom potrošnjom energije. Dugi procesi obrade i visoki troškovi materijala su glavni izazovi koji ograničavaju masovnu proizvodnju ponavljajućih dijelova koji se mogu brzo proizvesti konvencionalnim metodama. Međutim, kada je riječ o prilagođenim proizvodima sa složenim strukturama, poput 3D ispisanih skeleta za inženjering koštanog tkiva, tehnologija 3D ispisa može biti isplativija. Važno je analizirati vrijeme i troškove izrade 3D ispisa u svakoj konkretnoj primjeni, uzimajući u obzir četiri glavna izazova koji proizlaze iz prirode 3D ispisa i usporedbe s trenutnim metodama i materijalima za 3D ispis [35].

2.7 Primjene u različitim industrijama

2.7.1 Biomedicina i zdravstvo

Od izrade individualizirane protetike i implantata do ispisa kirurških vodiča i organa, tehnologija 3D ispisa ima širok spektar primjena u zdravstvenoj industriji. Napredak u 3D ispisu organa pokazao je značajan razvoj u životinjskim i ljudskim modelima, otvarajući put potencijalnom napretku u području transplantacije i regenerativne medicine. Osim toga, tehnologija se koristi za izradu personaliziranih lijekova, poput prilagođenih tableta s preciznim dozama i aktivnim sastojcima. S sposobnošću stvaranja složenih i preciznih struktura, 3D ispis ima potencijal transformirati način na koji medicinska industrija funkcionira [36].



Slika 13: Ispis medicinskih modela

2.7.2 Prehrambena industrija

Prehrambena industrija prihvatila je tehnologiju 3D ispisa kako bi stvorila novu i inovativnu paletu prehrambenih proizvoda. Općenito, 3D ispis omogućuje kreiranje složenih oblika i dizajna koji bi bili teško ostvarivi tradicionalnim metodama. To je rezultiralo razvojem novih i jedinstvenih grickalica, deserata, pa čak i cjelovitih obroka koji su estetski privlačni i ukusni. Osim toga, tehnologija ima potencijal za proizvodnju složenih geometrijskih oblika u kraćem vremenskom periodu, olakšavajući proizvodnju zdravijih prehrambenih proizvoda uz preciznu kontrolu korištenih sastojaka [37].



Slika 14: Ispis hrane

2.7.3 Automobilska industrija

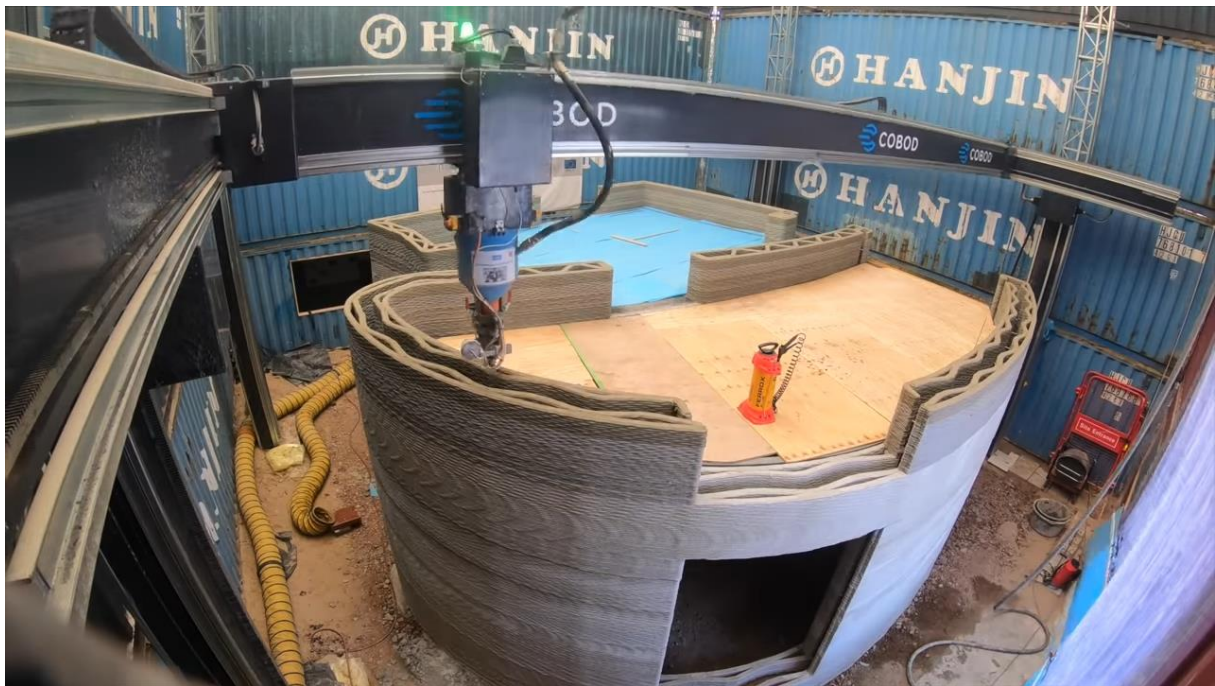
Automobilska industrija primjenjuje tehnologiju 3D ispisa radi proizvodnje lakših i otpornijih dijelova za vozila, što rezultira poboljšanom učinkovitošću goriva i performansama. Osim toga, ova tehnologija omogućuje brzu izradu prototipova i testiranje novih dizajnova, smanjujući vrijeme i troškove potrebne za lansiranje novih proizvoda [38].



Slika 15: Ispis automobilskih dijelova

2.7.4 Arhitektura i građevina

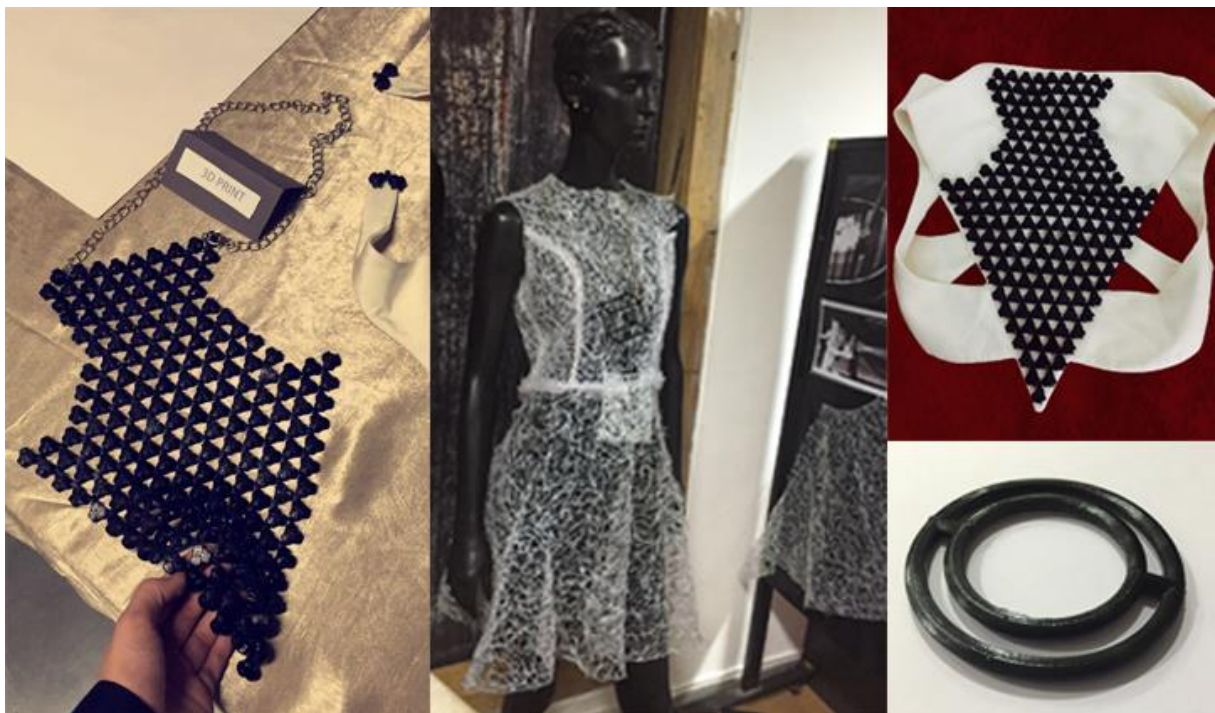
Tehnologija 3D ispisa je transformirala arhitekturu i građevinsku industriju omogućivši brzu izradu prototipova građevinskih projekata te kreiranje složenih i složenih struktura. Ova tehnologija se također primjenjuje za izradu prilagođenih i jedinstvenih građevinskih komponenti, poput zidnih panela i pločica, koje bi bilo izazovno proizvesti pomoću tradicionalnih metoda proizvodnje [39].



Slika 16: Izrada dvokatnice 3D ispisom

2.7.5 Modna industrija

Modna industrija je usvojila napredak u tehnologiji 3D ispisa kako bi postigla originalnost i inovativnost u dizajnu odjeće i dodataka. Korištenje 3D ispisa za stvaranje dizajnova izravno na tkanini eliminira potrebu za ljepilom, dok veza između tkanine i ispisanog materijala nastaje primarno kroz mehaničko spajanje, a ne kemijsko povezivanje [40].



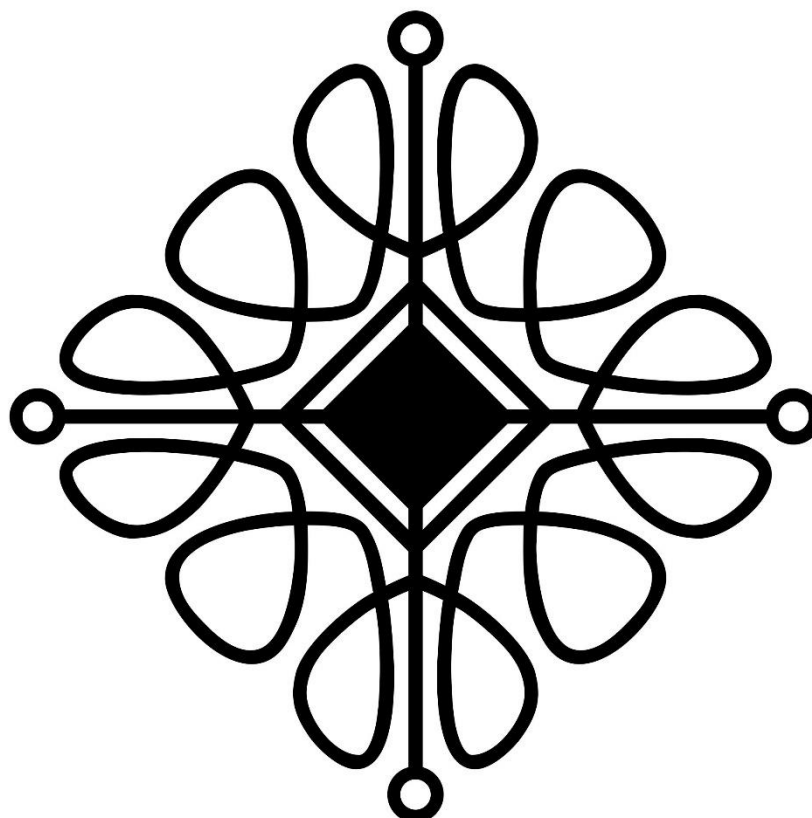
Slika 17: 3D ispis modnih predmeta

3. Eksperimentalni dio

3.1 Postupak 3D ispisa privjeska za ključeve

3.1.1 O modelu

Privjesak za ključeve (četverokuka) je rađen u 3 boje, odnosno filamenta. Prvi sloj je zeleni, drugi je narančasti i središnji dio privjeska je crveni s obje strane. Privjesak simbolizira stilizirani dio nošnje dinarskog područja sjeverne Dalmacije, a rađen je za Sveučilište u Zadru. To je službeni logo Odjela za etnologiju i antropologiju sveučilišta u Zadru. Ispisan je u veličini 5 x 5 centimetra, a količina koju je zahtijevalo Sveučilište u Zadru je 100 komada.



Slika 18: Slika privjeska koja će se koristiti za izradu modela

3.1.2 Izrada 3D modela

3.1.2.1 Blender

Blender je profesionalni softver otvorenog koda za 3D modeliranje i animaciju. Blender se koristi za stvaranje 3D likova za filmsku industriju te ima moćne alate za teksturiranje i bojenje površina modela. Također nudi napredne funkcije za konstrukciju kostura i animaciju, omogućujući korisnicima da kreiraju dinamične modele koji se mogu kretati i izvršavati akcije. Blender uključuje i vlastiti sustav za renderiranje te se može smatrati potpunim studijskim alatom za osvjetljavanje za filmske produkcije. Podržava vanjske rendere kao što su YafaRay i LuxRender. Jedna od posebnosti Blendera u usporedbi s drugim 3D alatima je njegov

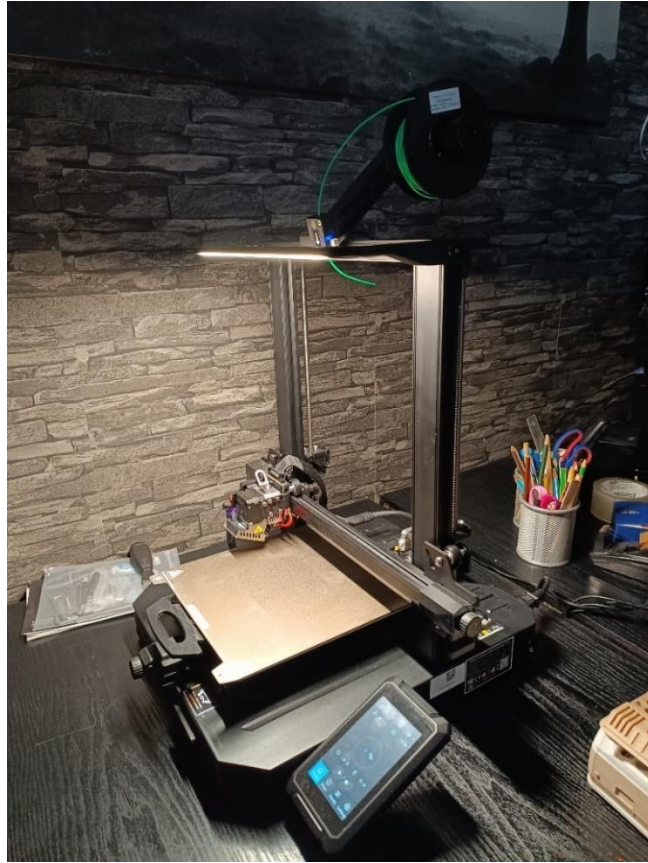
integrirani modul za kompozitiranje koji omogućuje miješanje filmskih snimaka izravno unutar programa. Također dolazi s jedinstvenim uređivačem video sekvenci koji omogućuje rezanje i uređivanje filmskih traka bez potrebe za dodatnim aplikacijama za završnu obradu produkcije. Blender također nudi potpunu funkcionalnost za razvoj igara, čineći ga sveobuhvatnim alatom za stvaranje 3D sadržaja u različitim aspektima digitalne produkcije [41].

3.1.2.2 O Crealityu i Ender – 3 S1 PRO pisaču

Creality je postigao globalno priznanje kao vodeći brend u području 3D ispisa na razini potrošača zahvaljujući kombinaciji tehnološke inovacije, pristupačnosti cijena i prilagodljivosti svojih 3D pisaa prema korisničkim potrebama. Tradicionalno, kompleksnost tehnologije 3D ispisa predstavljala je prepreku njenom širem prihvaćanju, no Creality je uspješno prevladao taj izazov dizajnom koji naglašava jednostavnost korištenja. Svojim proizvodima opremljenim sučeljima osjetljivim na dodir, modularnim komponentama za jednostavne nadogradnje i sveobuhvatnim uputama, Creality omogućuje svim korisnicima, bez obzira na njihovu tehničku pozadinu, učinkovito upravljanje 3D pisaa. Ova usmjerenost na jednostavnost ne ide na štetu funkcionalnosti, već omogućava široj publici pristup naprednim proizvodnim mogućnostima. Nadalje, Crealityjeva aktivna mrežna zajednica i podrška korisnicima pružaju kontinuiranu pomoć, potičući dijeljenje znanja i kolektivno rješavanje problema. Kombinacija intuitivnog dizajna Creality proizvoda i snažnog angažmana zajednice stvara poticajno okruženje za učenje i potiče inovacije. Stoga, fokus na korisnički orijentiranom dizajnu ne samo da uklanja prepreke za ulazak na tržište, već i osigurava dugoročno zadovoljstvo i lojalnost korisnika. Kroz dosljedno pružanje optimalne kombinacije najnovije tehnologije i praktične upotrebljivosti, Creality nastavlja postavljati nove standarde u industriji i održavati svoju vodeću poziciju na dinamičnom tržištu 3D ispisa na razini potrošača [42].

Creality Ender – 3 S1 PRO specifikacije	
Tehnologija ispisa:	FDM
Volumen izrade:	220 x 220 x 270 mm
Dimenzija uređaja:	490 * 455 * 625 mm
Brzina ispisa:	maksimalno 200 mm/s
Preciznost ispisa po Z osi:	±0,1 mm
Visina sloja:	0,1 - 0,35 mm
Promjer filameta:	1,75 mm
Promjer mlaznice:	0,4 mm
Temperatura mlaznice:	do 300 °C

Temperatura radne platforme:	do 110 °C
Površina:	opružni čelik PEI magnetna ploča za građenje
Ekstruder:	„Sprite” puni metalni ekstruder s dvostrukim zupčanicima s 1 : 3,5 prijenosom
Način niveliranja:	automatsko niveliranje pomoću CR-Toucha
Zaslon:	4,3” zaslon u boji osjetljiv na dodir
Matična ploča:	32-bitna tiha matična ploča
Nastavak ispisa:	Da
Senzor filameta:	Da
Nazivni napon:	100 – 120 V, 220 – 240 V, 50/60 Hz
Nazivna snaga:	350W/24V
Softver za rezanje:	Creality Slicer/Cura/Repetier-Host/Simplify3D
Način prijenosa podataka:	USB/SD kartica tipa C
Format 3D datoteke:	stl/obj / .gcode (nakon rezanja)
Podržani filamenti:	PLA, ABS, , TPU, PETG, PA
Podržani jezik:	kineski, engleski, njemački, španjolski, francuski, talijanski, portugalski, ruski i turski
Neto težina:	8,7 kg

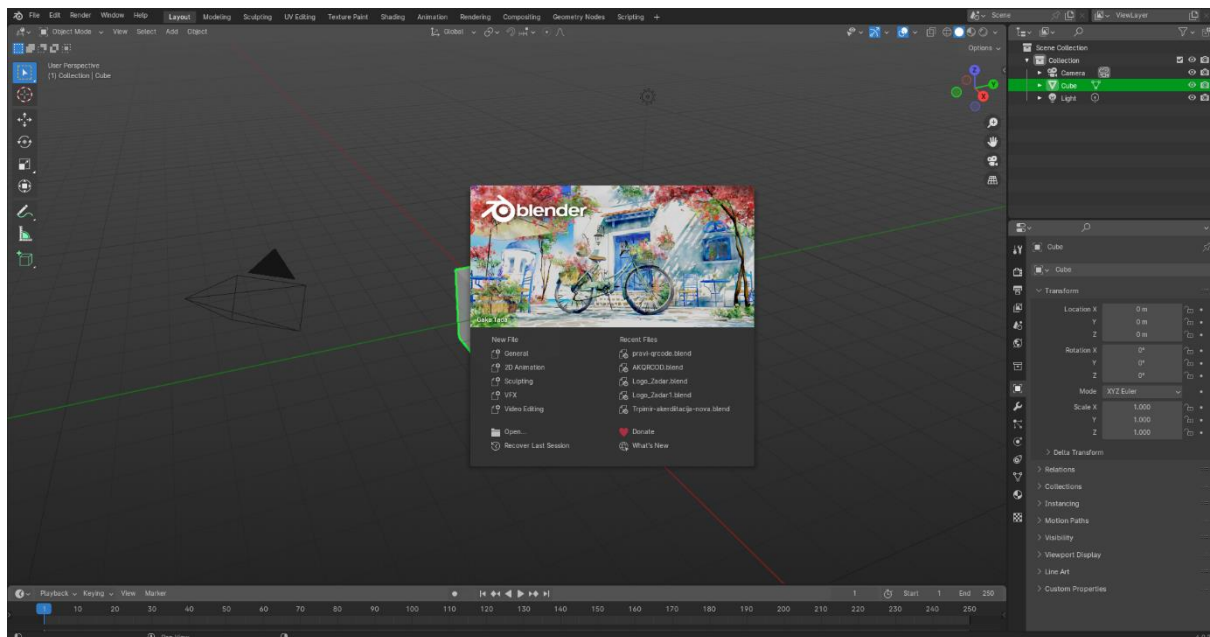


Slika 19: Crealty Ender 3 S1 Pro

3.1.2.3 Izrada privjesaka za ključeve u Blenderu

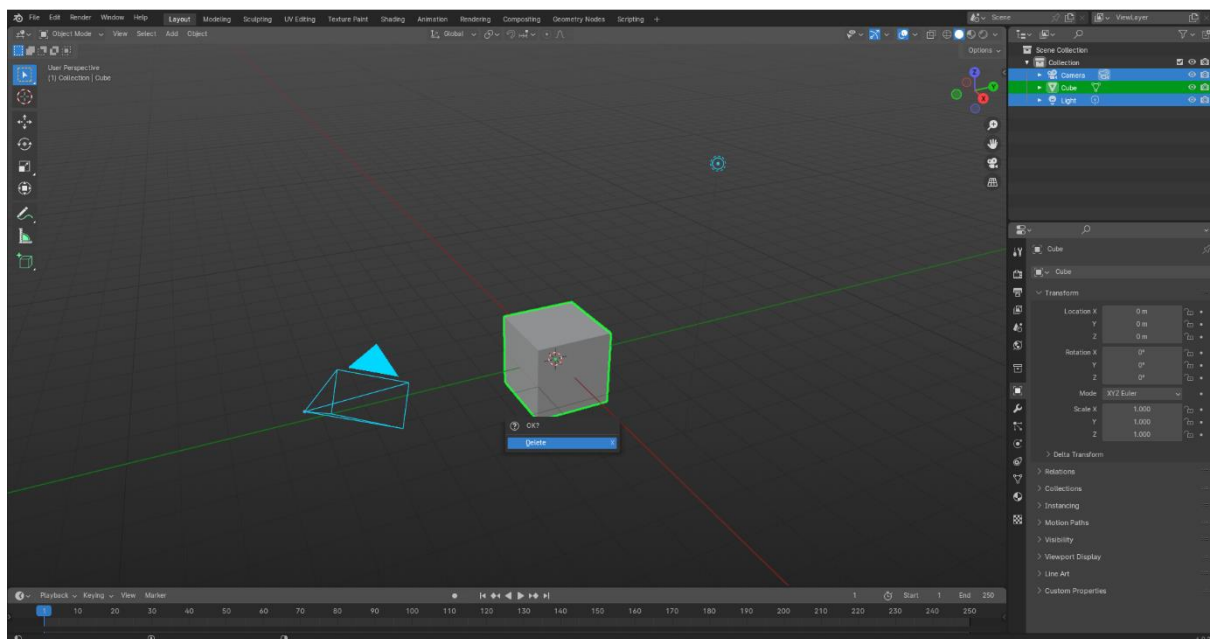
Model je kreiran u Blenderu tako što se 2D slika pretvorila u 3D model kroz sljedeće korake:

Proces izrade započinje otvaranjem programa Blender i odabirom opcije „NEW FILE“ unutar koje se odabire dokument „GENERAL“.



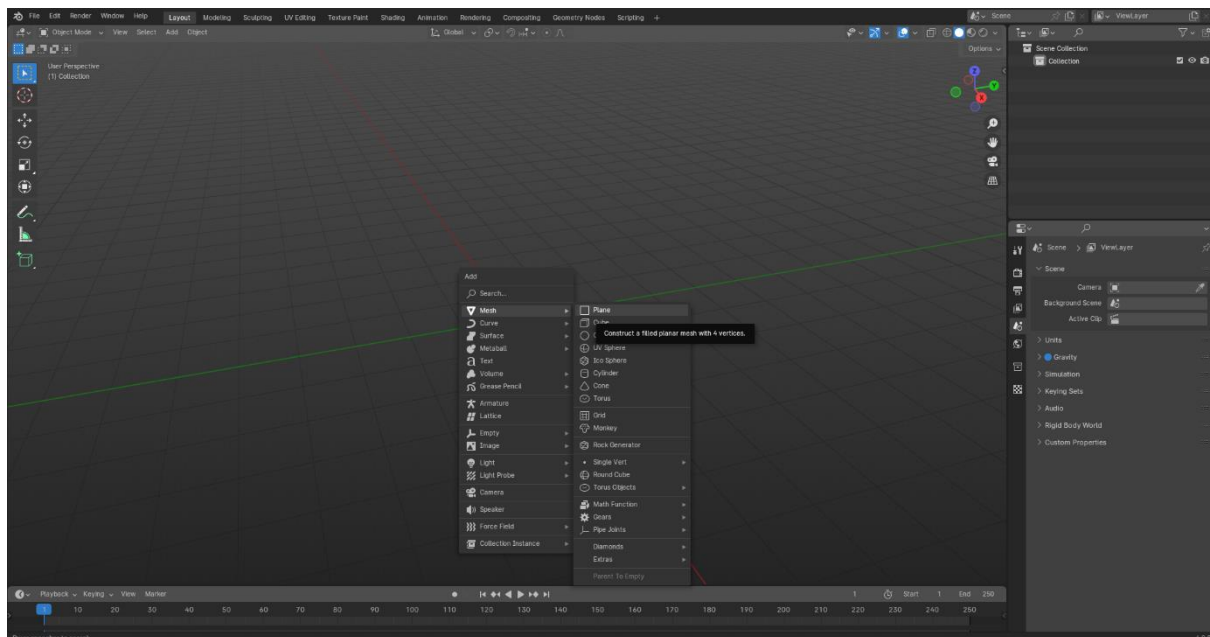
Slika 20: Prikaz otvaranja Blendera

Nakon toga, selektiraju se svi elementi pozadine pritiskom na tipku „A“ te se brišu pomoću tipke „X“.



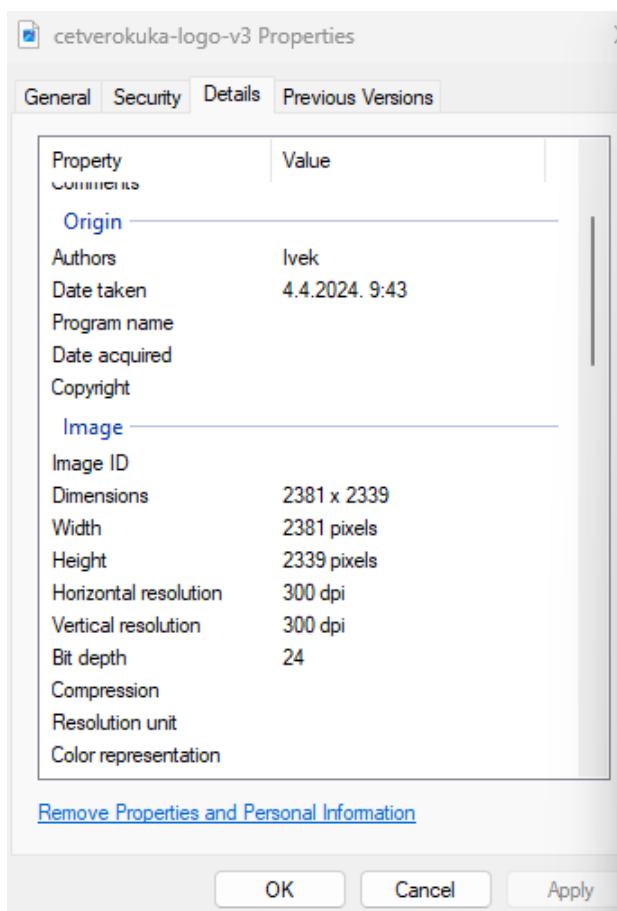
Slika 21: Prikaz selektiranja i brisanja

Nakon čišćenja pozadine, koriste se tipke „SHIFT + A“ i odabire se opcija „mesh“ kako bi se stvorio 3D objekt „plane“.

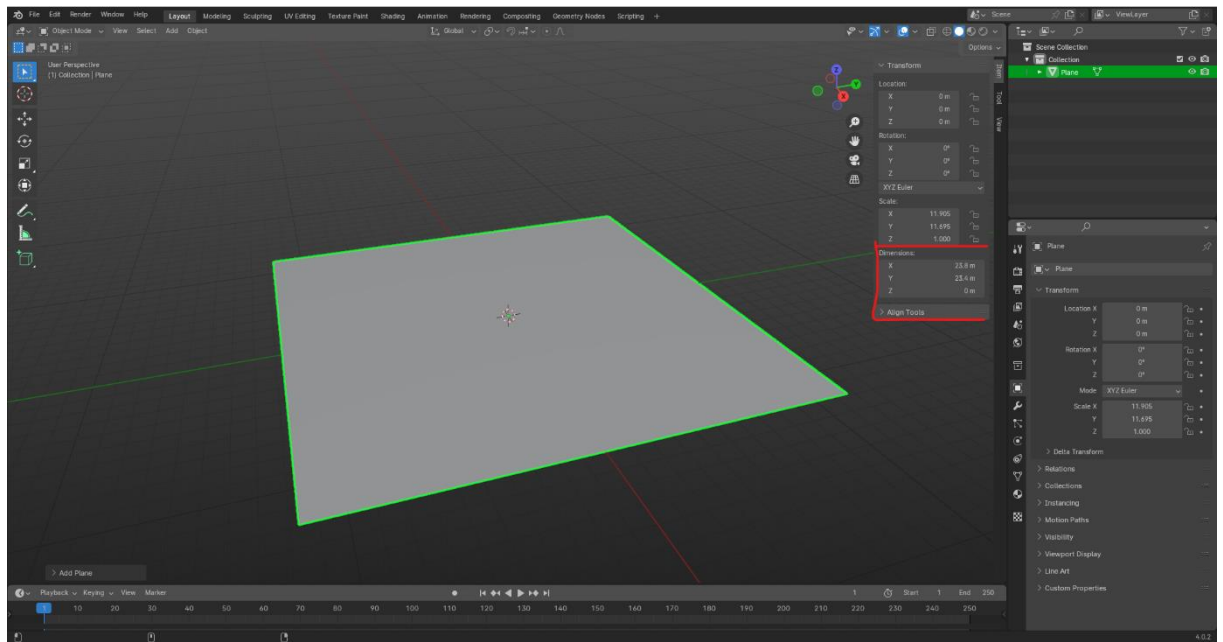


Slika 22: Prikaz stvaranja objekta „plane“

Nakon stvaranja „planea“, selektira se i otvaraju se dimenzije objekta pritiskom na tipku „N“. Dimenzije plana prilagođene su dimenzijama referentne slike (2381 x 2339 px), odnosno 23,81 metara po osi X i 23,39 metara po osi Y.

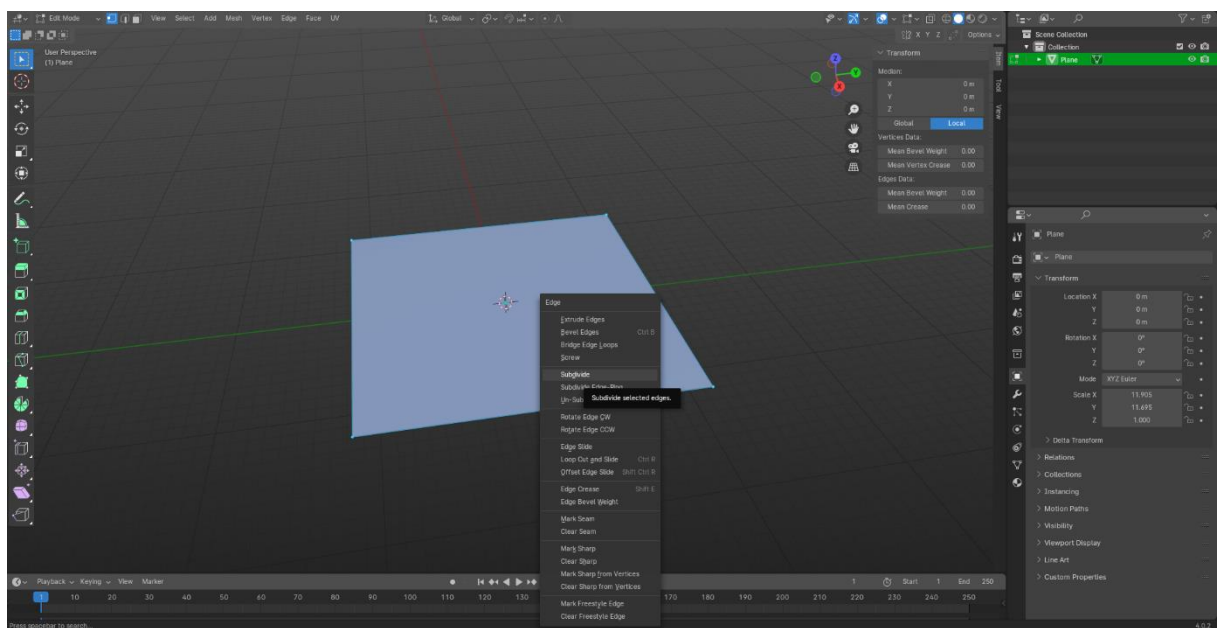


Slika 23: Prikaz dimenzija referentne slike

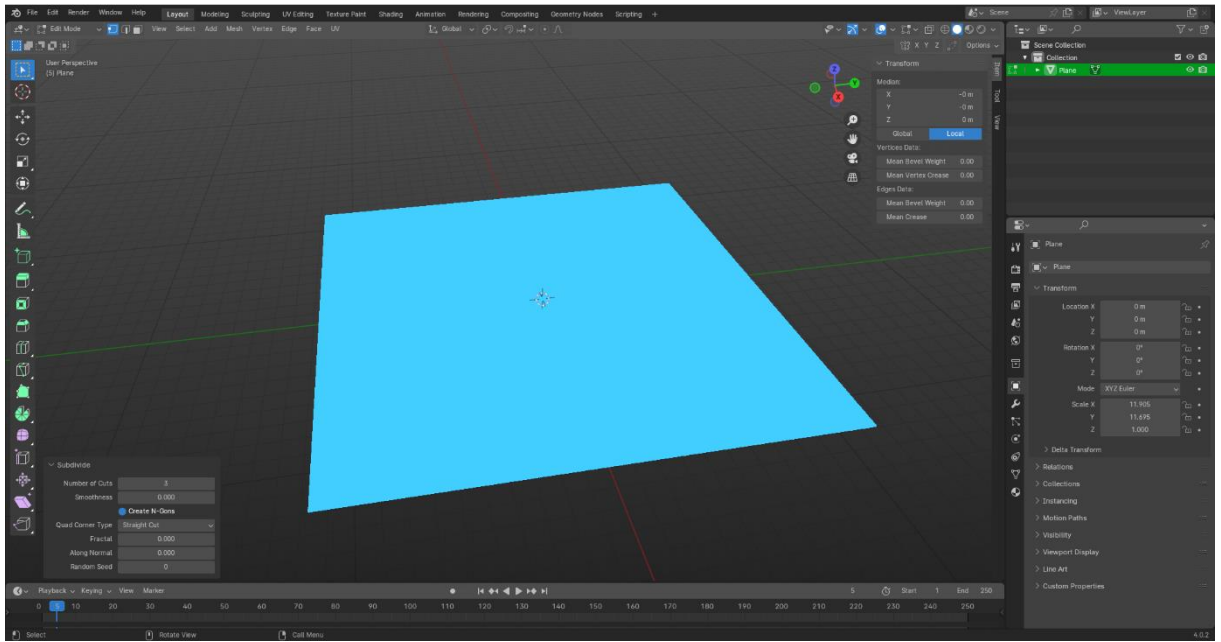


Slika 24: Prikaz mijenjanja dimenzija objekta plane

Sljedeći korak je podjela (*subdivide*) stvorenog *planea*. Ulazi se u „edit mode“ pritiskom na tipku „TAB“ te otvara se izbornik pritiskom na tipke „CTRL + E“ te odabire se opcija „subdivide“. U izborniku „subdivide“, postavlja se broj rezova („number of cuts“) na 100. Nakon toga, dvaput se pritisne tipka „TAB“ kako bi se resetirale podjele te se postupak ponavlja s brojem rezova postavljenim na 3 radi bolje kvalitete 3D modela.

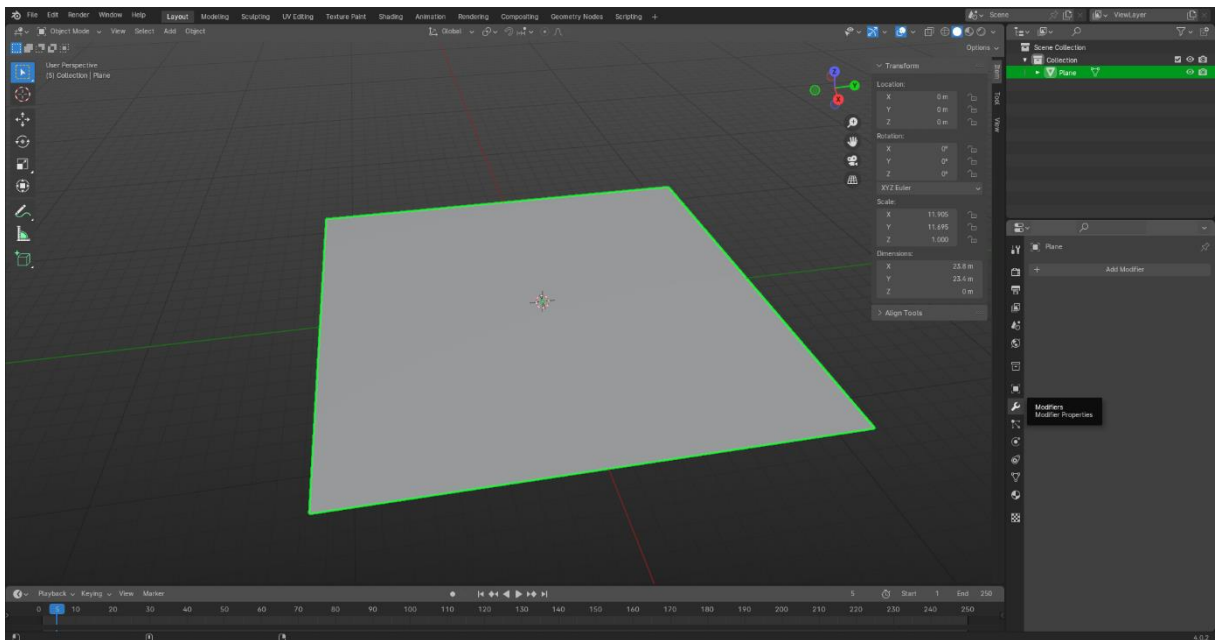


Slika 25: Prikaz odabira izbornika subdivide

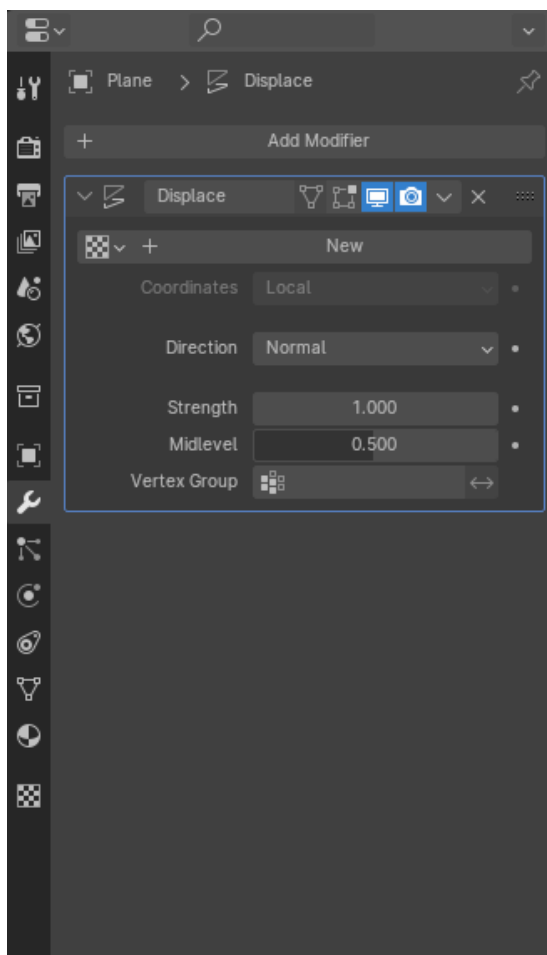


Slika 26: Prikaz mijenjanja „numbers of cuts“ u 3

Zatim se vraća rad u „object mode“ pritiskom na tipku „TAB“ te ponovno selektira plane. Dalje, otvara se izbornik „modifiers“ s desne strane i odabire se „displace modifier“.

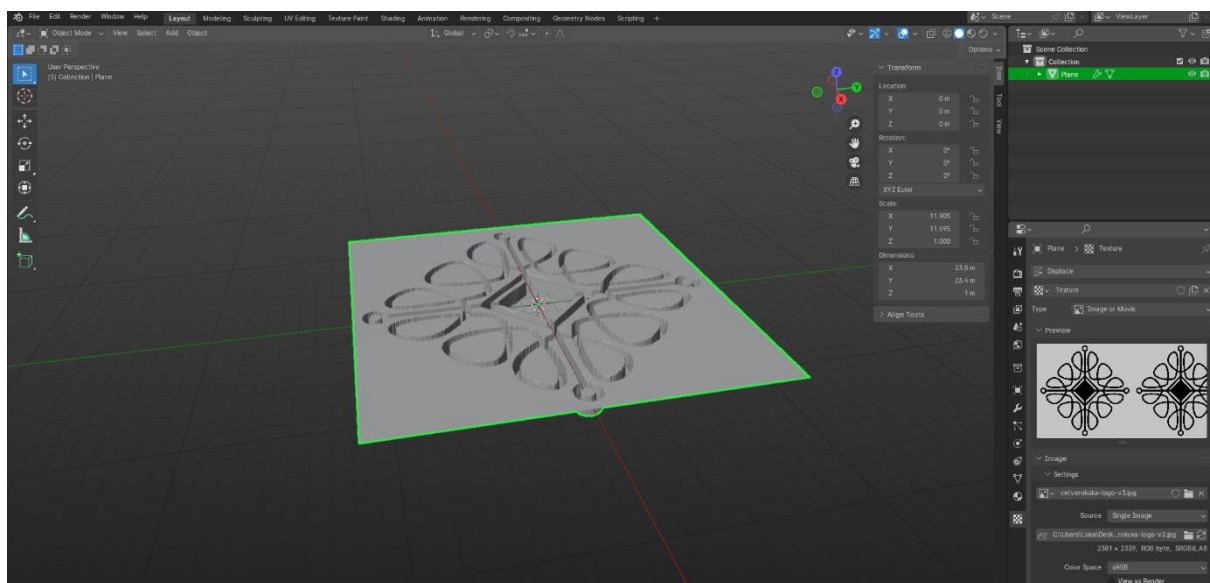


Slika 27: Prikaz izbornika „modifiers“



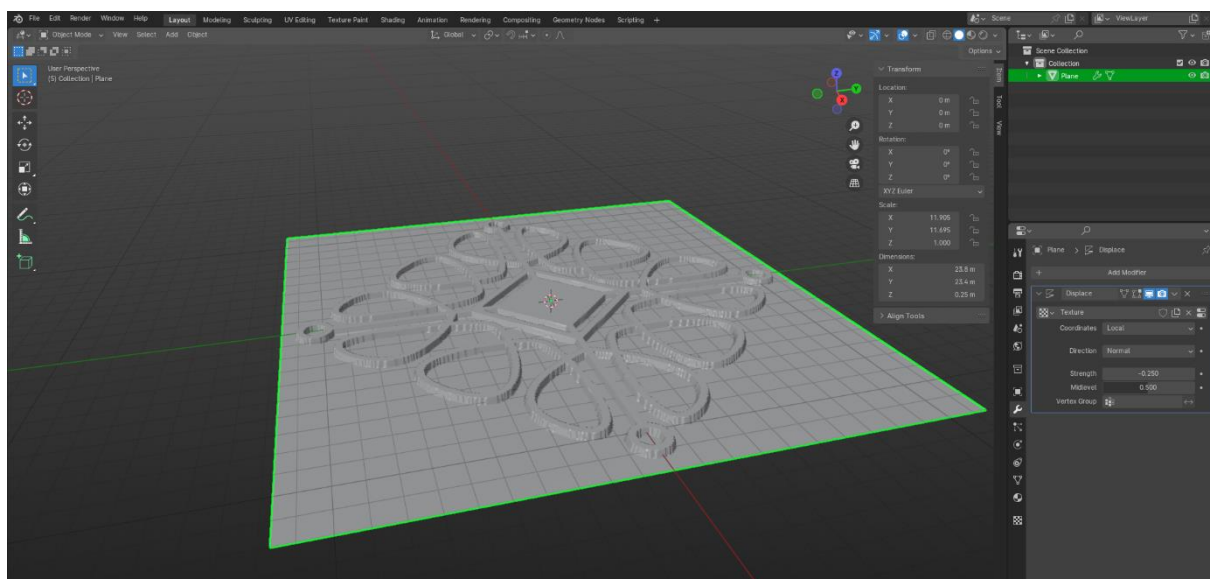
Slika 28: Prikaz displace modifera

Da bi ovaj *modifier* funkcionirao, dodaje se tekstura otvaranjem izbornika „texture properties“ koji se nalazi ispod izbornika „modifiers“ i odabirom „add new“. U postavkama teksture, otvara se slika pritiskom na „open image“.



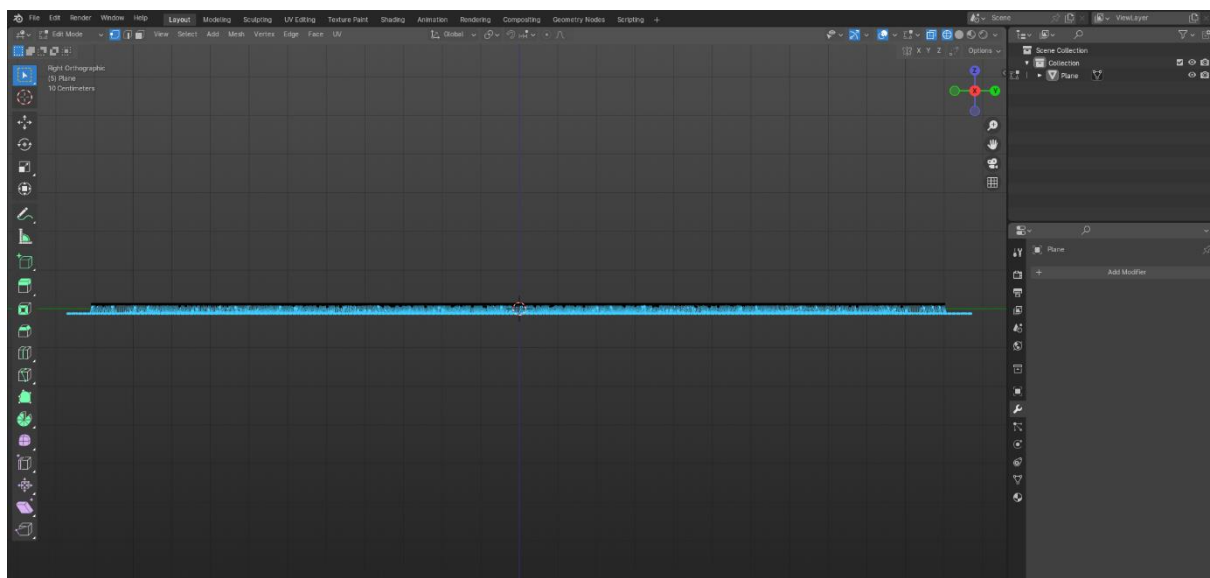
Slika 29: Prikaz odabira slike u izborniku „texture properties“

Blender automatski spušta crne dijelove modela prema dolje, dok bijele diže prema gore. S obzirom da je model na slici bio crn, program ga je prvotno spustio prema dolje, no model treba podići prema gore. Kako bi se to postiglo, vratilo se na izbornik „modifiers“ i u postavkama „displace modifier“ smanjio se „strength na“ -0,25.



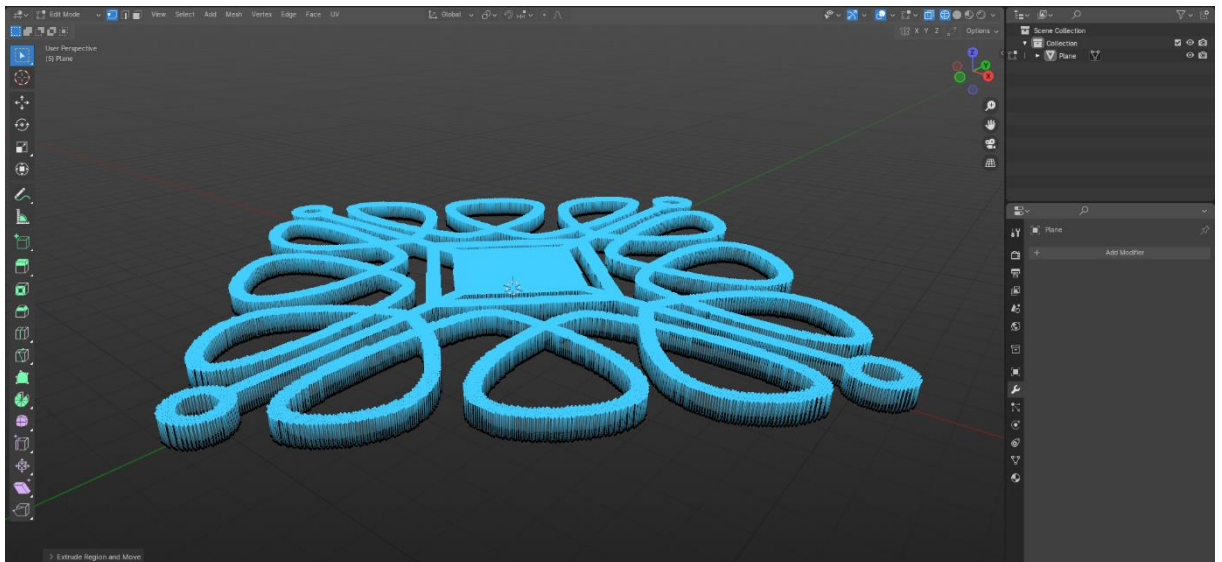
Slika 30: Prikaz mijenjanja opcije strength u izborniku „displace modifier“

Nakon postavljanja „displace modifier“, potvrđuju se sve radnje pritiskom na „apply“. Zatim se prebacuje u „right orthographic view“ pritiskom na broj 3 na tipkovnici, ulazi se u „edit mode“ pritiskom na tipku „TAB“ te odabire se „viewframe mode“ pritiskom na tipku „Z“. Selektira se samo donji dio modela bez gornjeg te se nepotreban dio briše pritiskom na tipku „X“ i odabirom „vertices“.



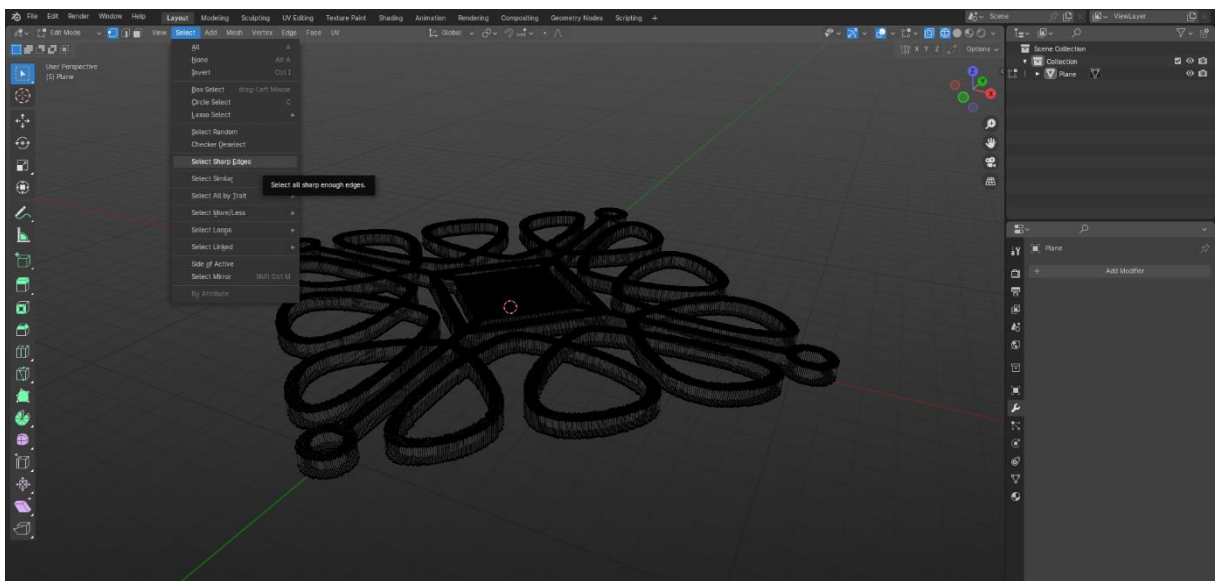
Slika 31: Prikaz selektiranja donjeg dijela

Ostale su točke koje nisu bile poravnate pa su tipkama „s+z+broj 0“ poravnate sve točke. Nakon toga, selektirani model je povećan s tipkama „e+z“.



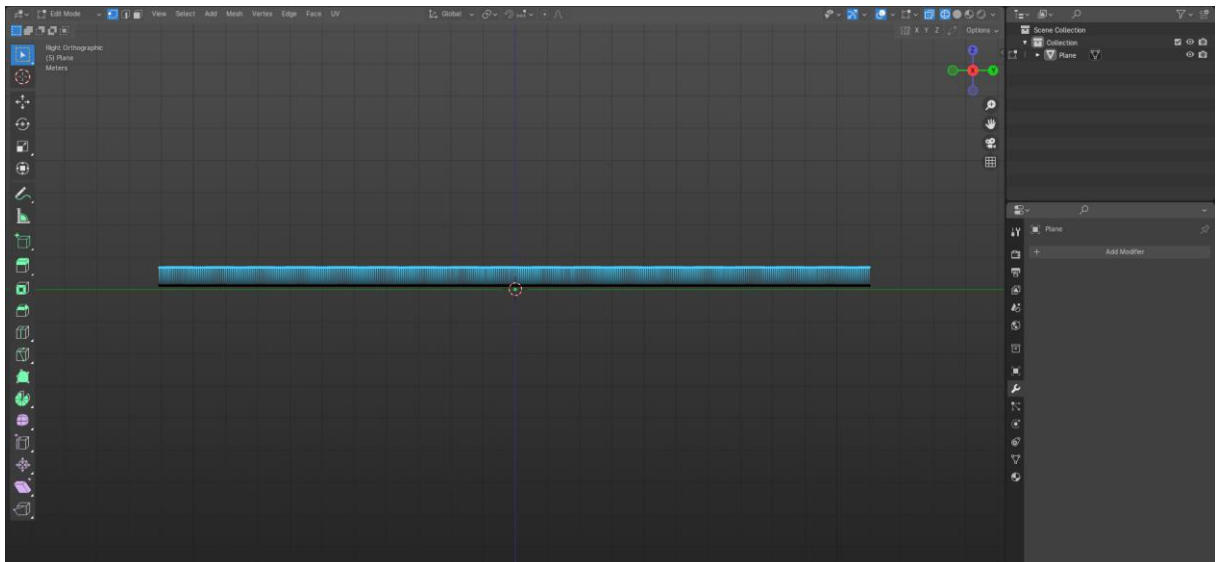
Slika 32: Prikaz povećanja modela

Nakon što je model izmijenjen, deselektiraju se svi elementi pritiskom na tipke „ALT + A“, zatim otvara se izbornik „Select“ i odabire se „select sharp edges“.



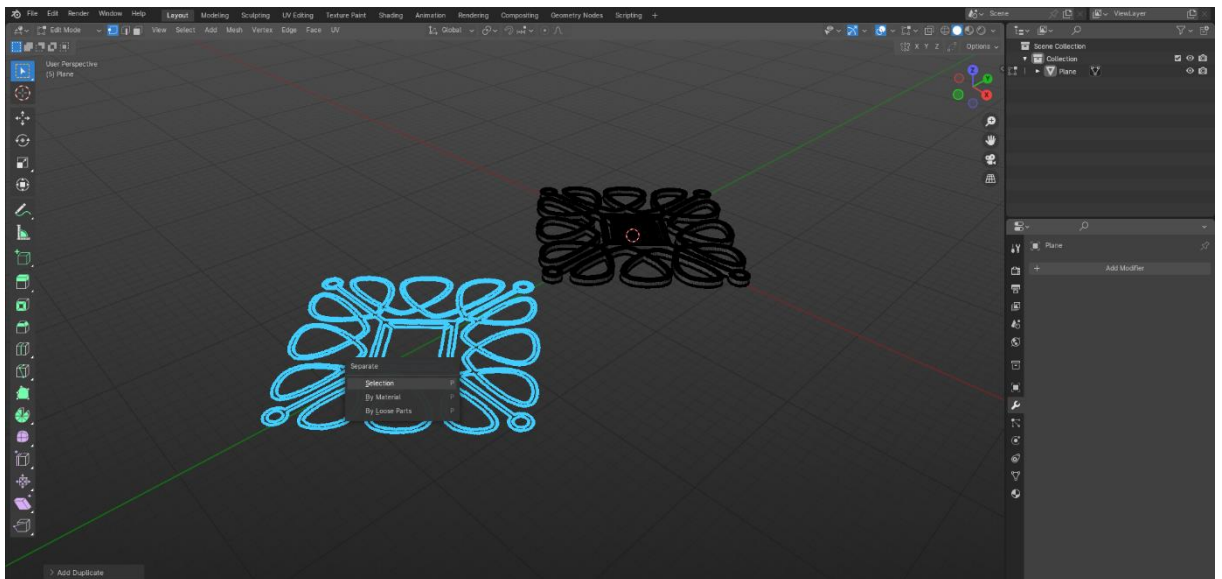
Slika 33: Prikaz selektiranja opcije select sharp edges

Pritiskom na broj 3 na tipkovnici, ponovno se prebacuje u „right orthographic view“ gdje se koristi „box select“ pritiskom na tipku „B“ te se deselektira donji dio držači tipku „SHIFT“.



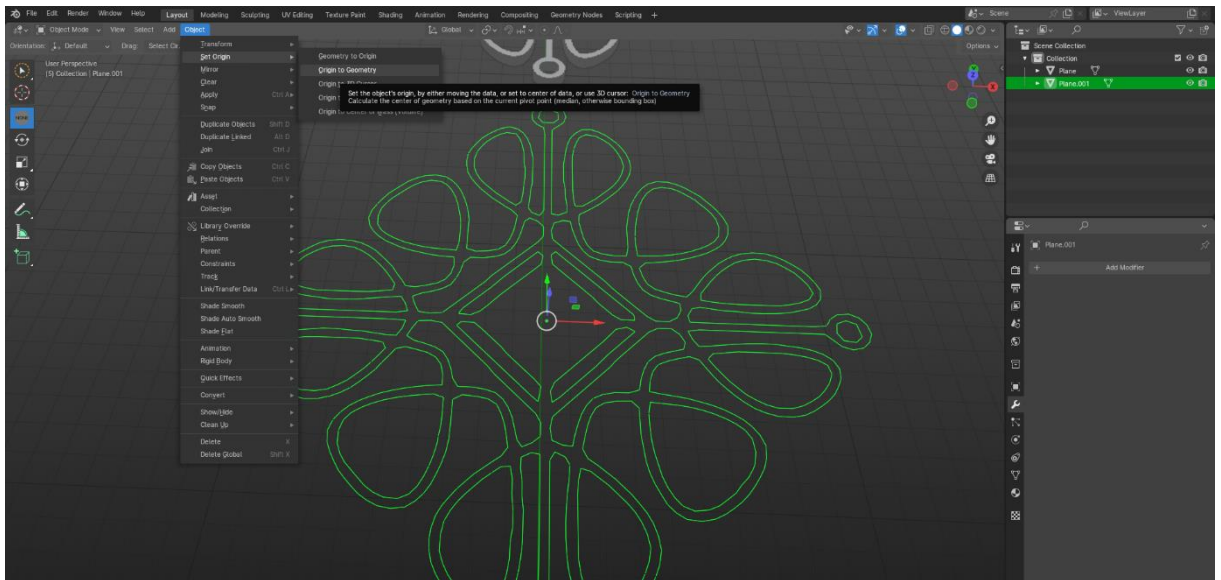
Slika 34: Prikaz deselektiranja donjeg dijela

Zatim se prebacuje iz „wireframe mode“ u „solid mode“ pritiskom na tipku „Z“. Premješta se selektirani dio modela po Y osi pritiskom na tipke „SHIFT + D“ te otvara se izbornik „Separate“ pritiskom na tipku „P“ i odabire se „Selection“.



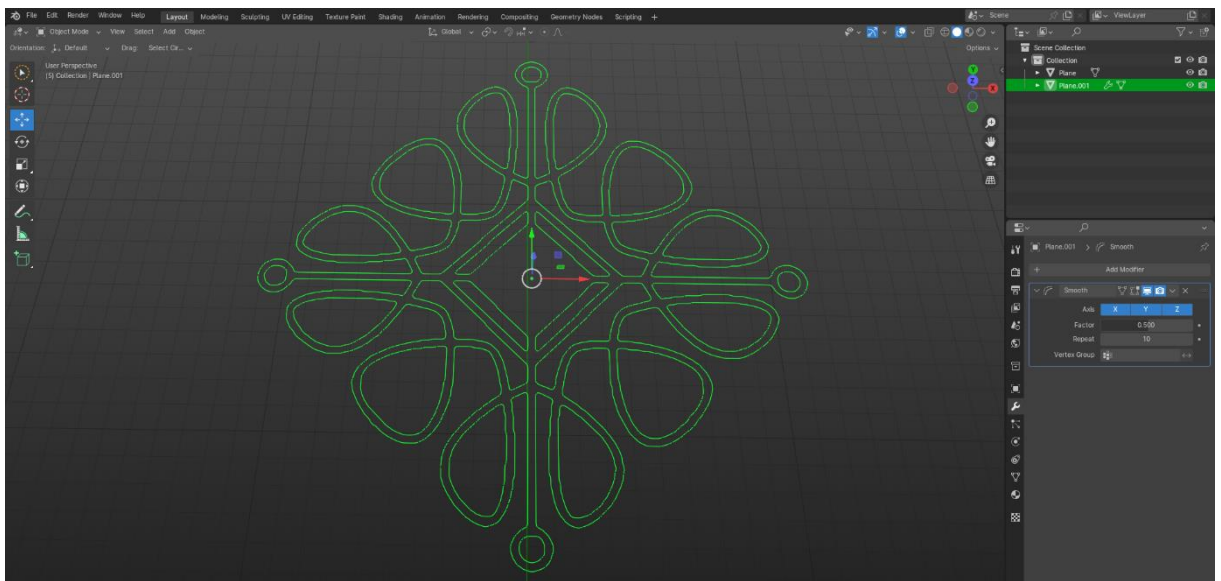
Slika 35: Prikaz odabira opcije „seperate“

Nakon toga, ponovno se vraća u „object mode“ pritiskom na tipku „TAB“ te otvara se izbornik „object“, odabire se „set origin“ te „origin to geometry“ za resetiranje centra modela.



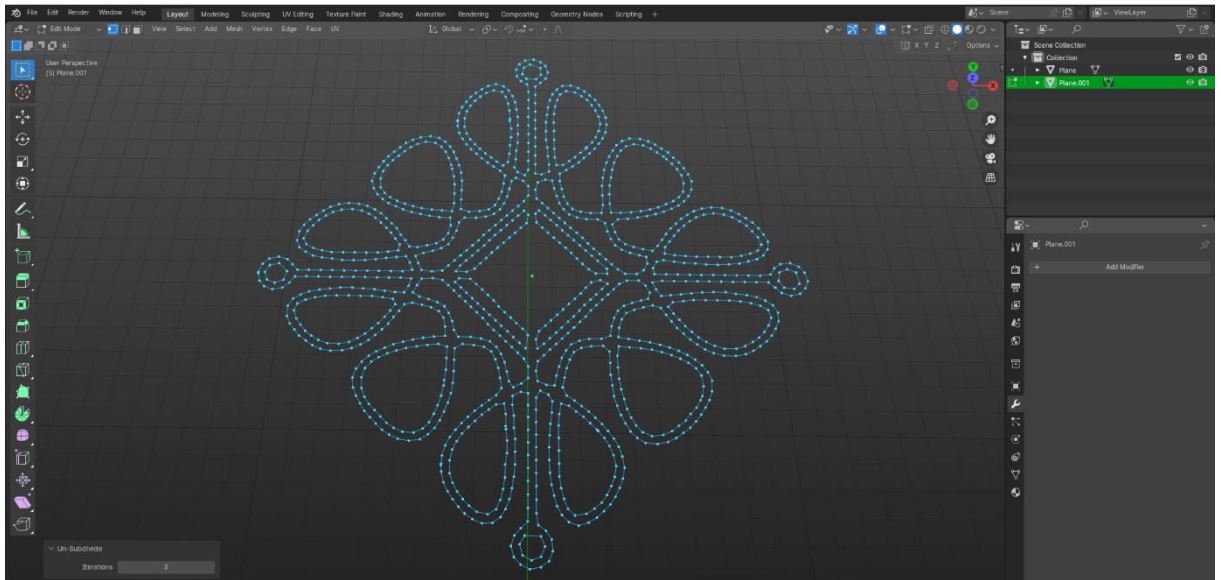
Slika 36: Prikaz odabira opcije „origin to geometry“

Zatim se ponovno vraća u izbornik „modifiers“, dodaje se „smooth modifier“ te postavlja se „repeat“ na 10 i pritišće se „apply“.



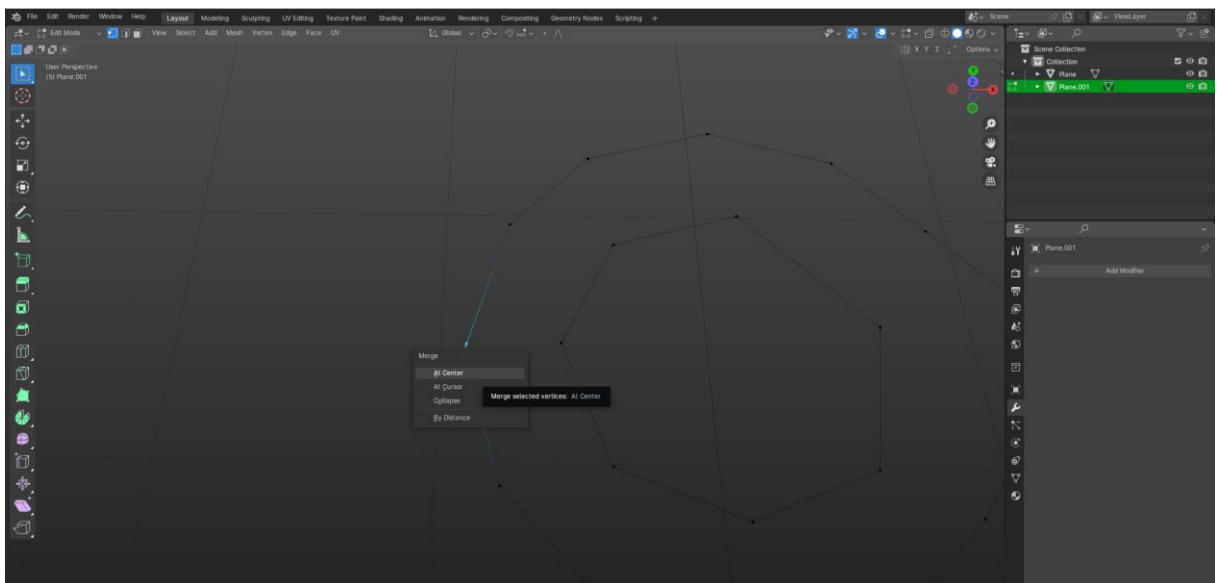
Slika 37: Prikaz opcije smooth modifier

Ponovno se ulazi u „edit mode“ pritiskom na tipku „TAB“, odabire se sve elemente pritiskom na tipku „A“, te otvara se izbornik tipkama „CTRL+E“ i odabire se „un-subdivide“ postavljajući broj iteracija na 3.



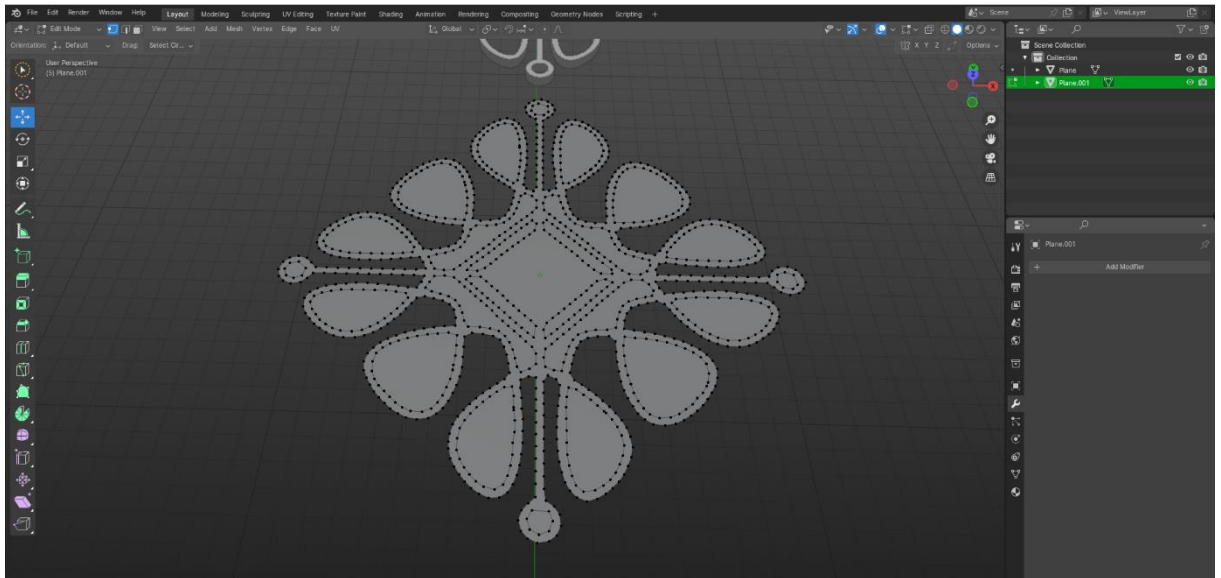
Slika 38: Prikaz opcije un-subdivide

Provjerava se ima li višak točaka i, ako ih ima, spajaju se u jednu pomoću tipke „M“ i odabire se „merge at center“ te ih se poravnalo ako su stršile i nisu bile ravne.



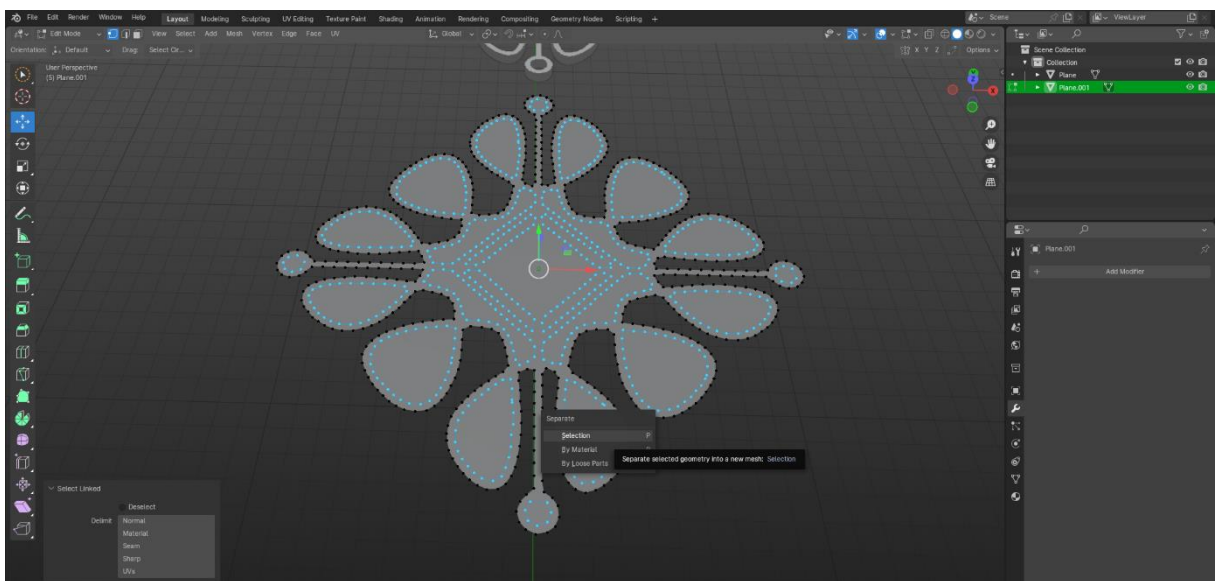
Slika 39: Prikaz spajanja točaka

Nakon toga, ponovno se odabire cijeli model u „edit mode“, stisne se tipka „F“ kako bi model popunio rupe. Program je popunio model i mjesta gdje bi trebale biti rupe, koje su se onda napravile ručno.



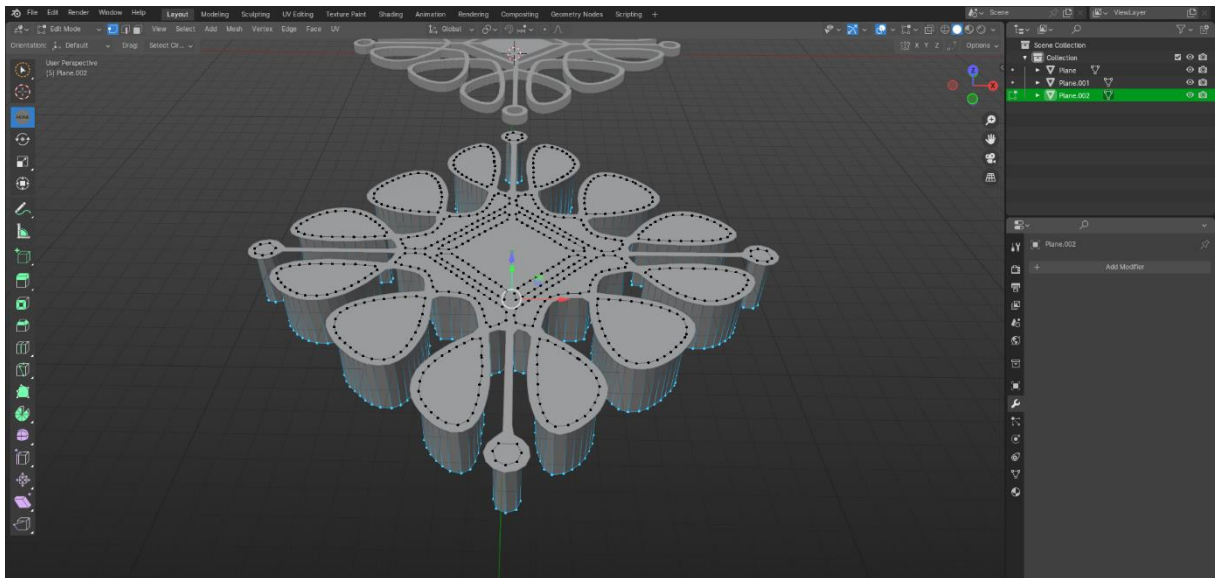
Slika 40: Prikaz popunjenog modela

U „edit modeu“, odabiru se mjesta gdje trebaju biti rupe pomicanjem miša prema tim mjestima i pritiskom na tipku „L“. Nakon toga, pritišće se tipka „P“ i odabire se „separate selection“ za odvajanje tih mjesta od glavnog modela.



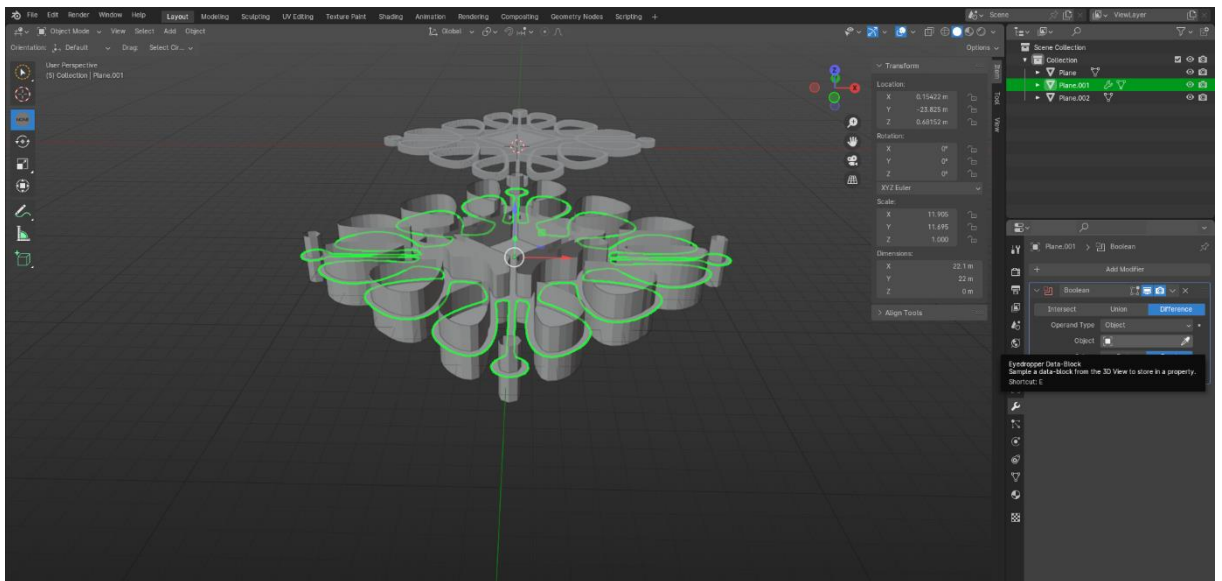
Slika 41: Prikaz odvajanja dijelova gdje će biti smještena rupa

Zatim je kliknuta tipka „TAB“ i selektirana su mjesta koja su se odvojila. Ponovno je kliknuta tipka „TAB“ i odabrana su mjesta na kojima se trebaju stvoriti rupe tipkom „L“. Nakon toga su tipkama „E+Z“ ekstrudirani dijelovi prema dolje.

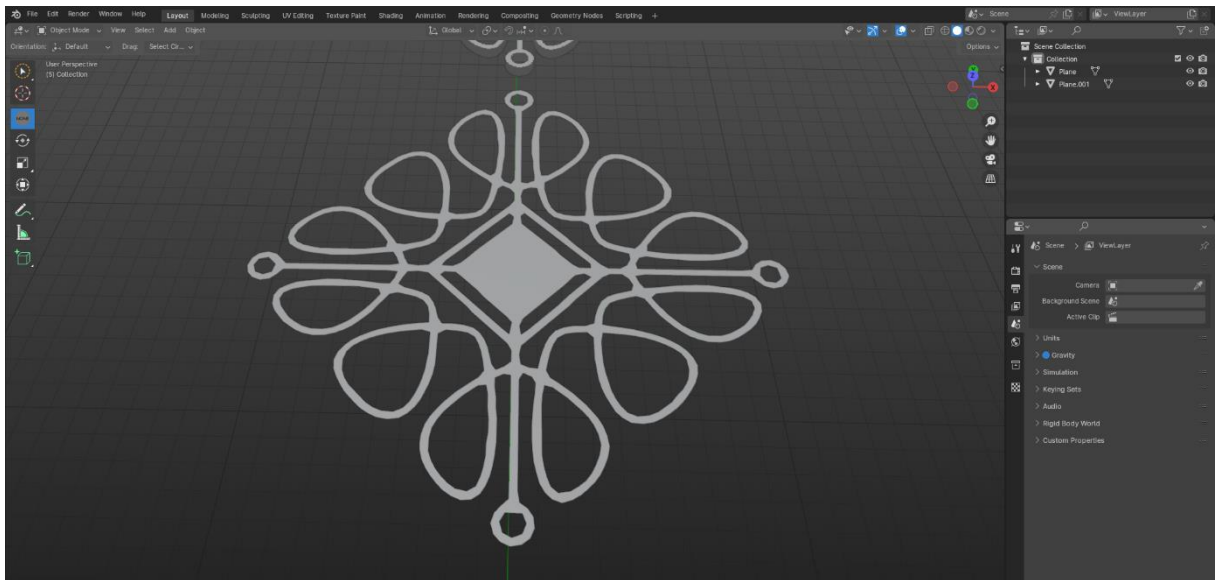


Slika 42: Prikaz ekstrudiranja dijelova

Ponovno je pritisnuta tipka „TAB“ kako bi se vratilo u „object mode“, zatim su se dijelovi pomaknuli prema gore plavom strelicom. Nakon toga, odabrani su dijelovi koji ne trebaju biti rupe, te je u izborniku „modifiers“ dodan „boolean modifier“. U tom „modifieru“ pod opcijom „object“ je kliknut „eye dropper“ i označeni su modeli koji trebaju biti rupe. Nakon što je pritisnut „apply“, modeli koji su se podigli gore su obrisani. Time su se dobile rupe na željenim mjestima.

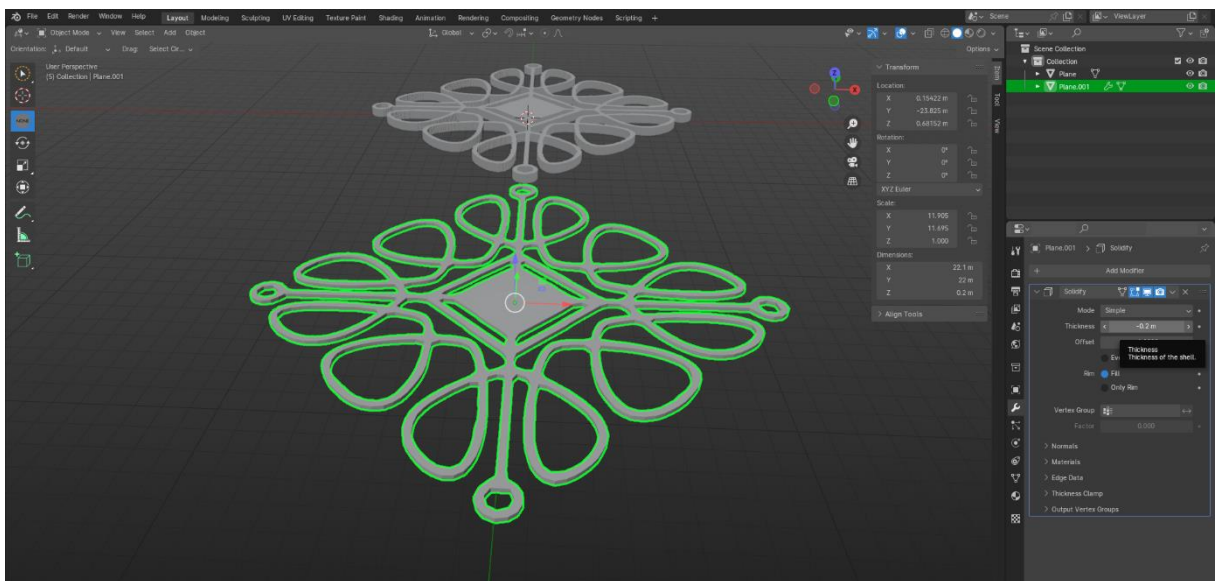


Slika 43: Prikaz opcije boolean modifier



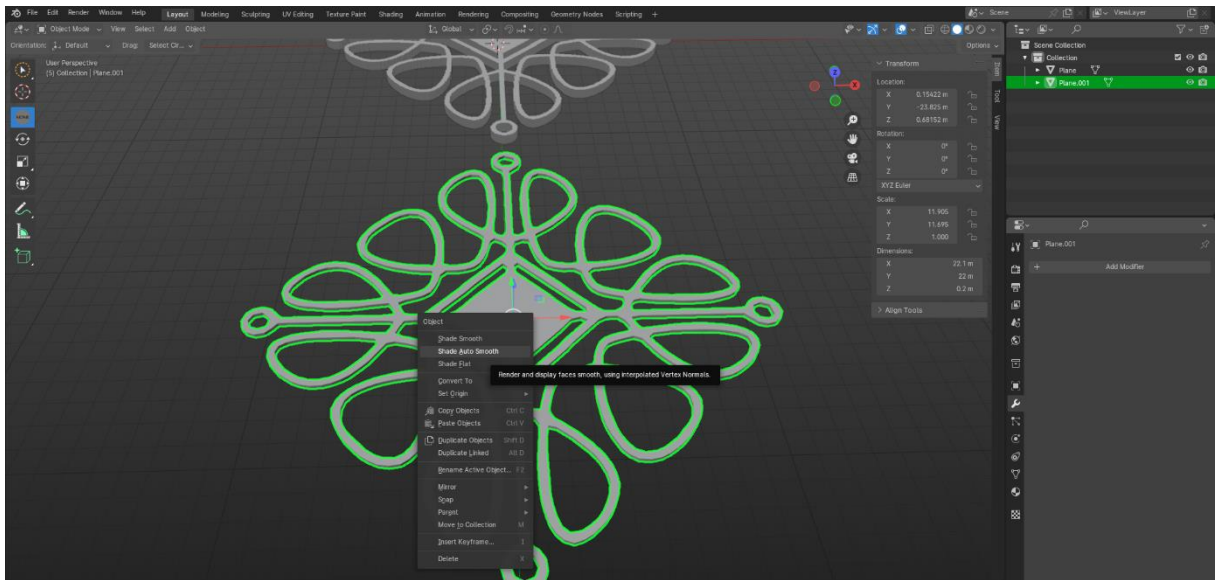
Slika 44: Prikaz modela sa željenim rupama

Nakon toga, ponovno se vraća u izbornik „modifiers“, dodaje se „solidify modifier“ i postavlja se debljina (*thickness*) na 0,2, zatim pritišće se „apply“.

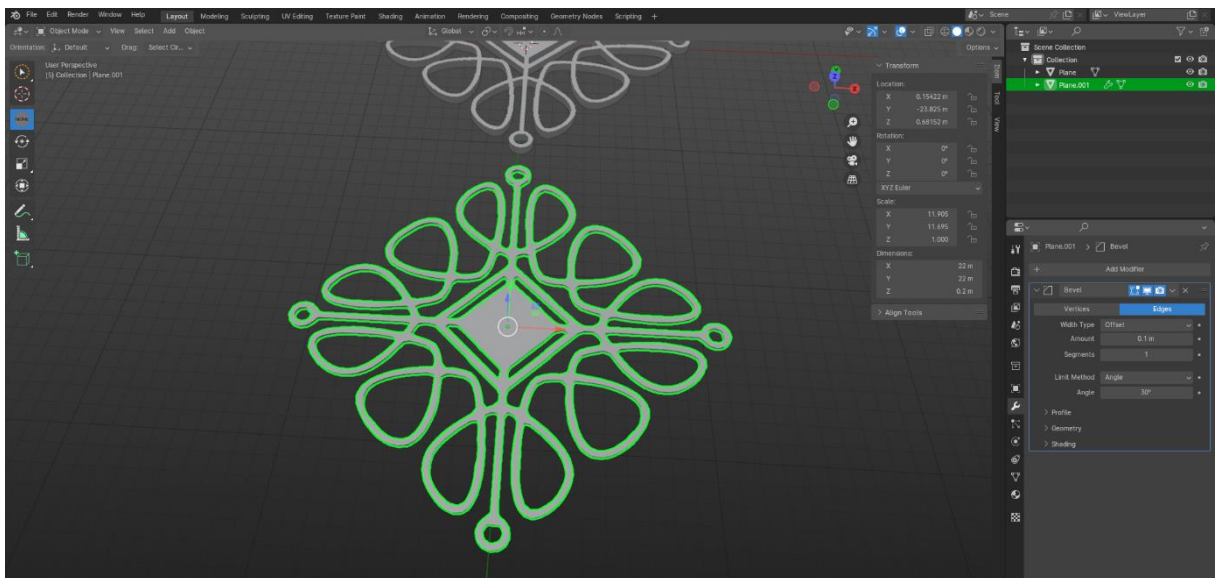


Slika 45: Prikaz solidfy modifera

U „object mode“ označava se model, desnim klikom otvara se „shade auto smooth“ te se dodaje „bevel modifier“ u izborniku „modifiers“ i pritišće se „apply“.

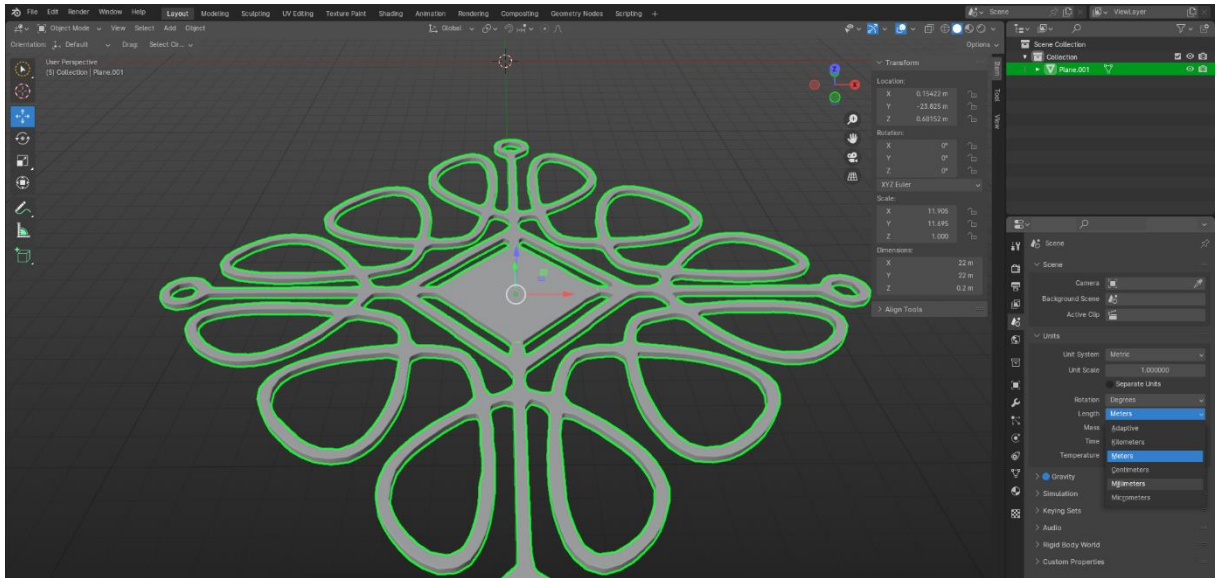


Slika 46: Prikaz odabira opcije shade auto smooth

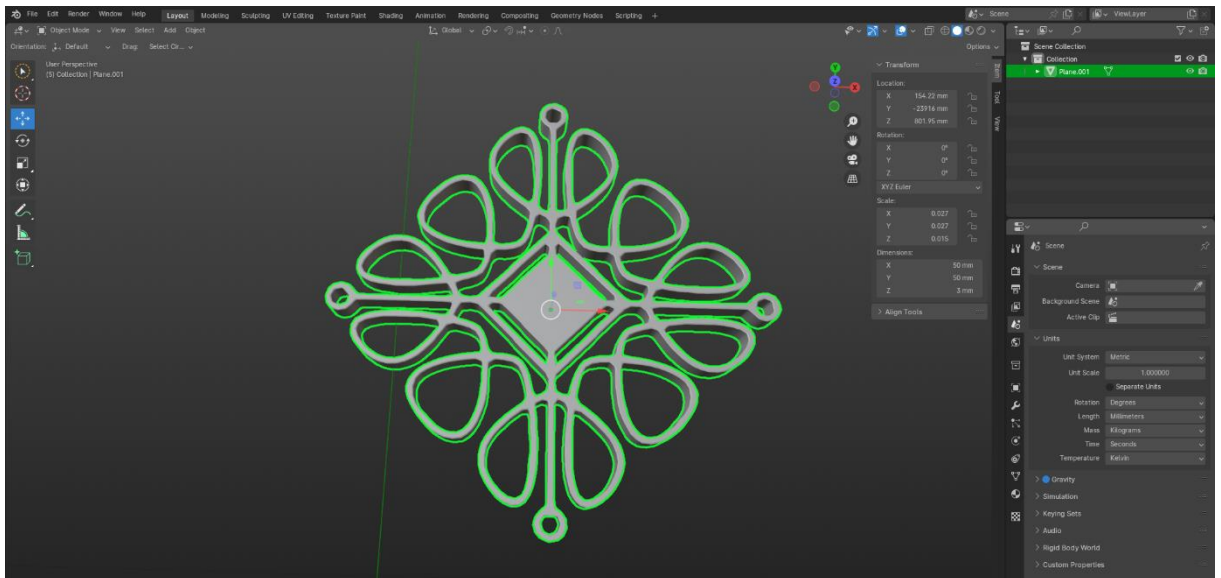


Slika 47: Prikaz bevel modifera

Za kraj, podiže se središnji dio kako bi pisac mogao ispisati taj dio u drugoj boji. Prije početka, briše se prvi model od kojeg se dobio novi, mijenjaju se mjerne jedinice iz metara u milimetre i prilagođava se veličina modela na 50 x 50 s visinom od 3 milimetra.

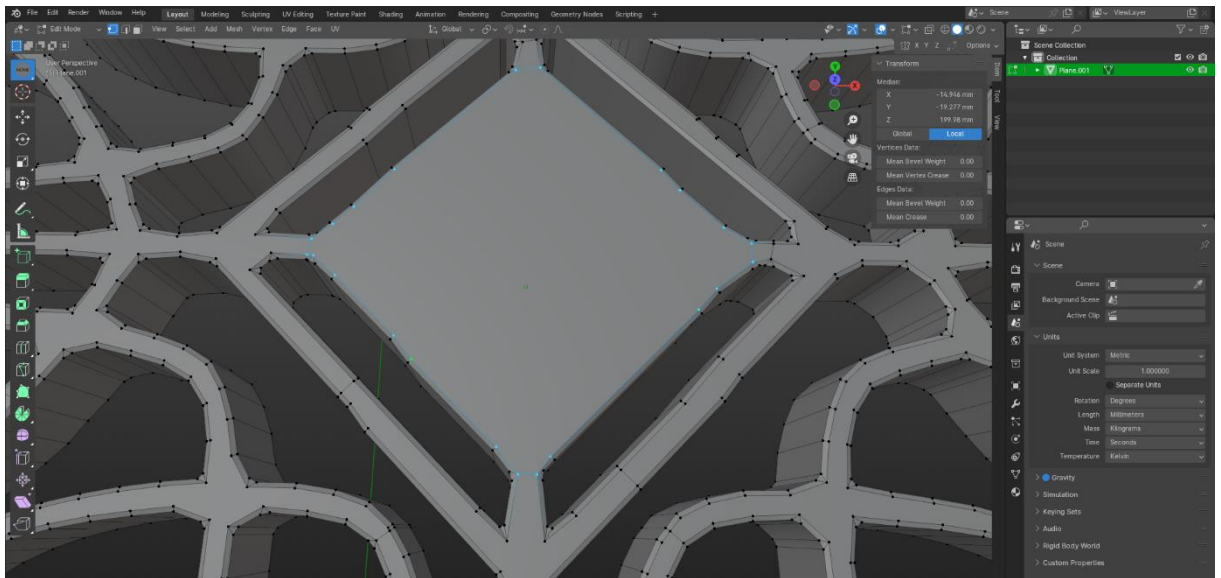


Slika 48: Prikaz promjene mjernih jedinica



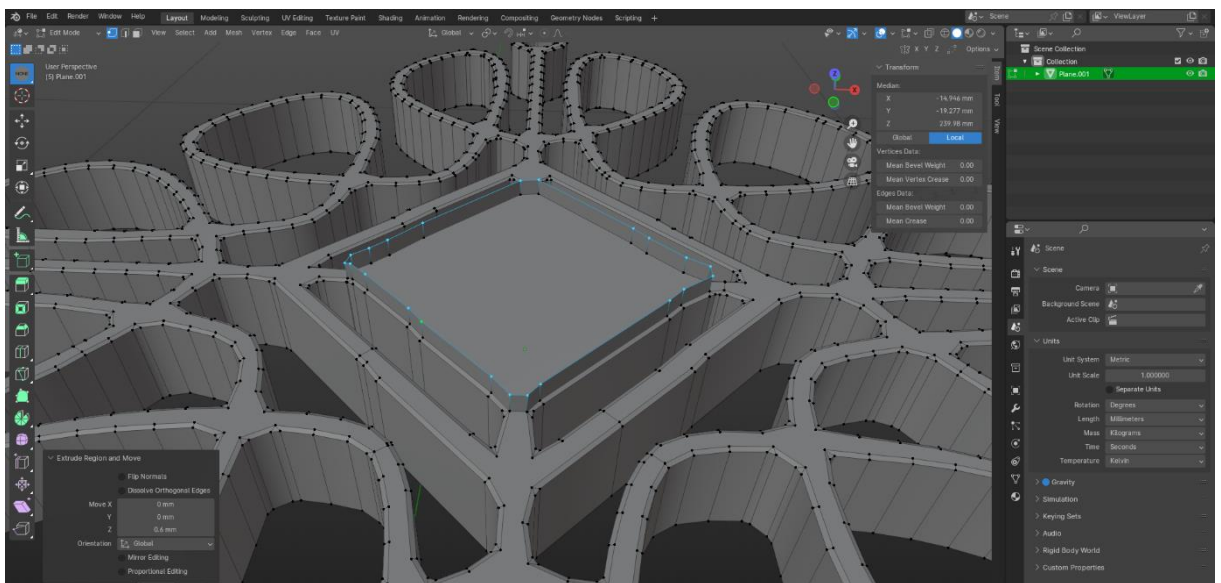
Slika 49: Prikaz promjene veličine modela

Ulaskom u „edit mode“ pritiskom na tipku TAB, odabiru se točke središnjeg modela.



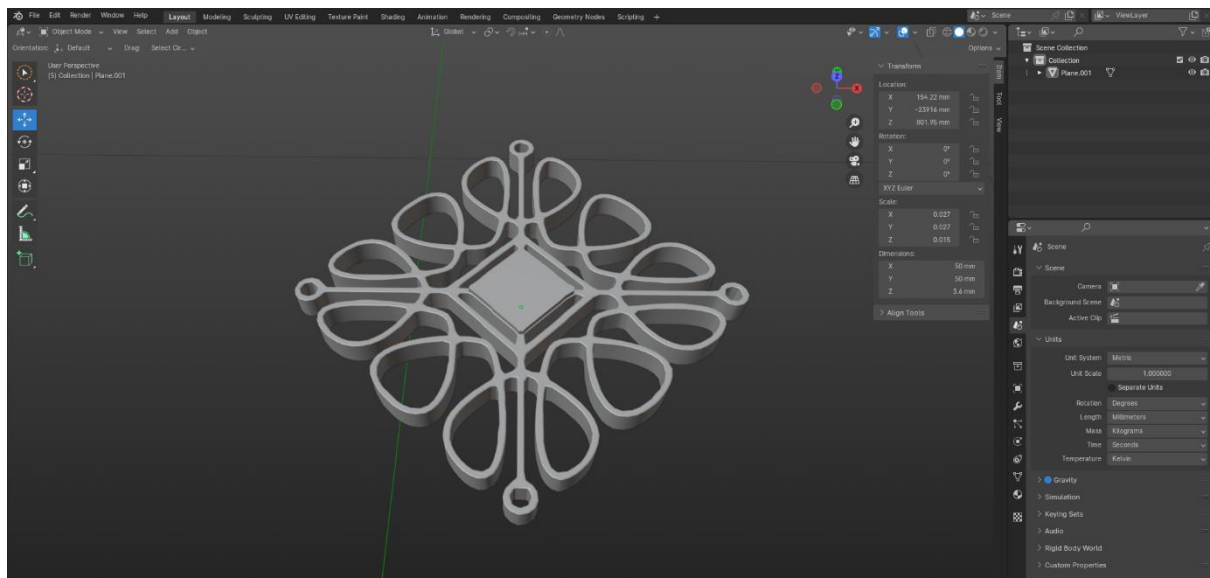
Slika 50: Prikaz odabira točkara središnjeg modela

Nakon što su odabrane, ekstrudiraju se točke po Z osi za 0,6 milimetara pomoću tipki „E+Z“.



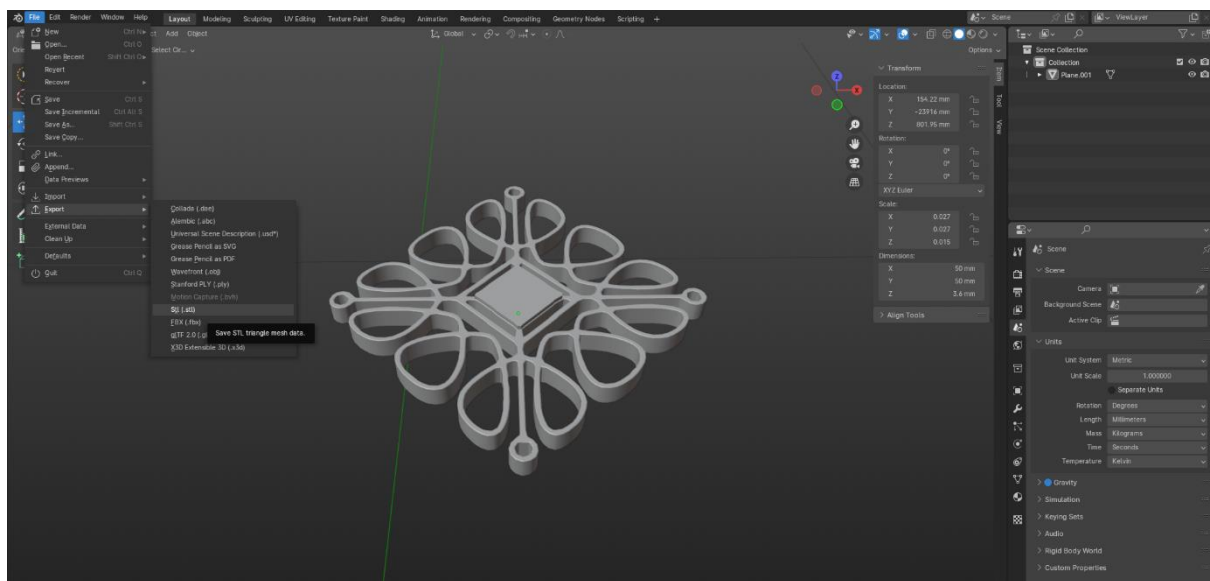
Slika 51: Prikaz ekstrudiranja točkara

Konačno, pritišće se tipka „F“ za popunjavanje središnjeg dijela te se završava s izradom modela.



Slika 52: Prikaz gotovog modela

Na kraju se model eksportira u STL format kako bi ga mogao učitati *slicer* program.



Slika 53: Prikaz eksportiranja modela u stl. format

3.1.3 Podešavanje u slicer programu

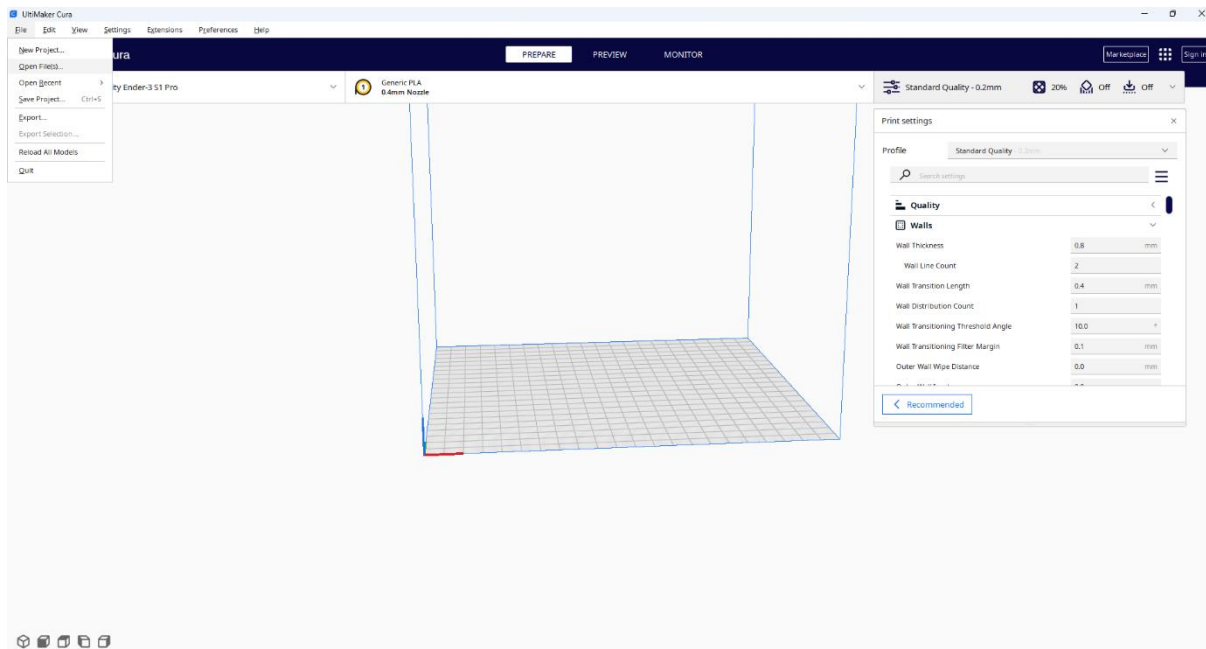
3.1.3.1 Ultimaker Cura

Ultimaker Cura je *open-source* softversko rješenje koje je široko prihvaćeno u zajednici 3D ispisa. Ono pruža korisnicima intuitivno sučelje za pripremu 3D modela za ispis, omogućujući im prilagodbu parametara kao što su gustoća ispune, potpore i brzina ispisa prema njihovim specifičnim potrebama. Njegova popularnost proizlazi iz svestranosti i prilagodljivosti koje ga čine preferiranim izborom za pripremu 3D modela za različite vrste 3D pisaa. Glavna prednost je njegovo korisničko sučelje koje je jednostavno za korištenje, čime se olakšava početnicima, dok istovremeno nudi napredne alate za iskusnije korisnike. Na

primjer, Ultimaker Cura se koristi za stvaranje prilagođenih GCODE datoteka koje odgovaraju specifičnim zahtjevima različitih 3D pisaa [43].

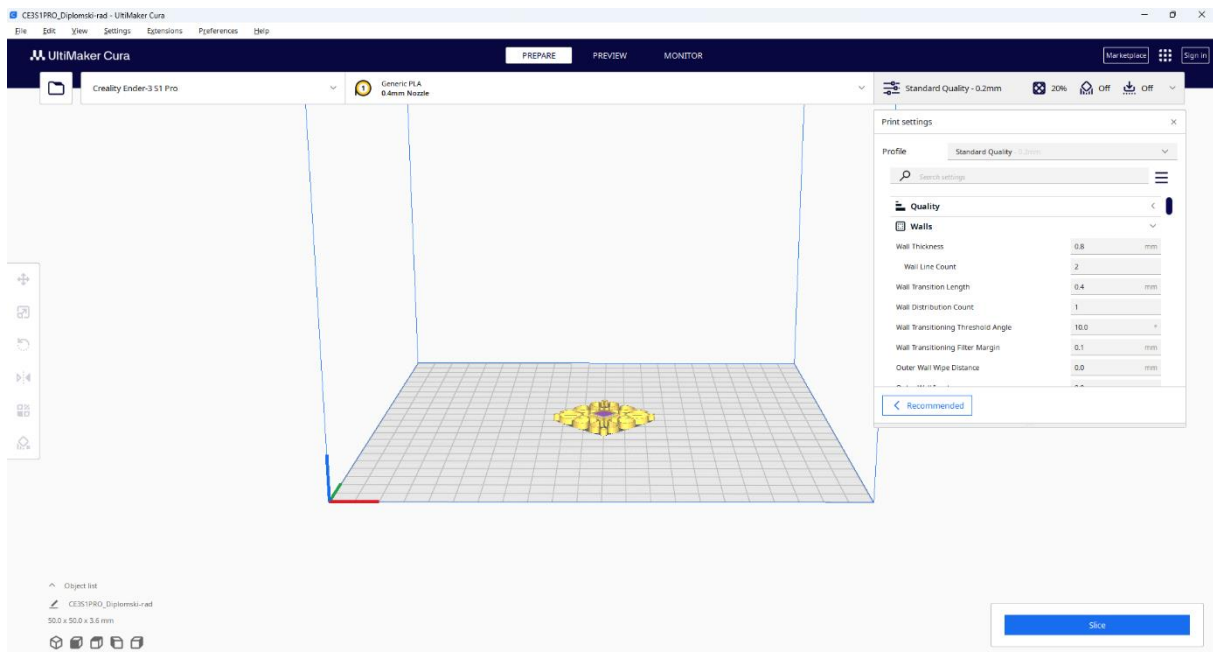
3.1.3.2 Koraci pripreme privjesaka za ključeve za ispis

Nakon izrade modela u blenderu, model se otvara u slicer programu. U ovom slučaju je korišten Ultimaker Cura.



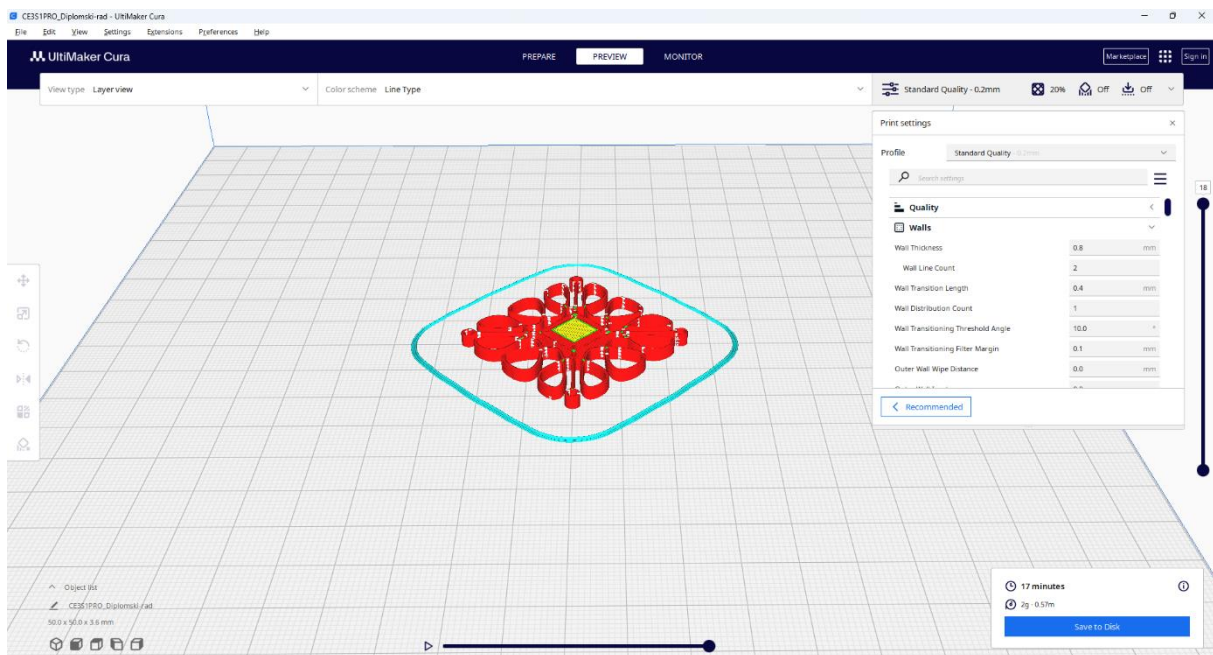
Slika 54: Prikaz otvaranja modela u Curi

U programu se na vrhu odabire 3D pisaa (Creality Ender-3 S1 Pro), vrsta filameta (Generic PLA), i standardna veličina mlaznice od 0,4 mm. Odabrana je i standardna kvaliteta ispisa bez dodatnih promjena što znači da je gustoća ispune 20%, a vrsta ispune je *cubic*. Temperatura platforme je 60 °C i temperatura ekstrudera je 200 °C.



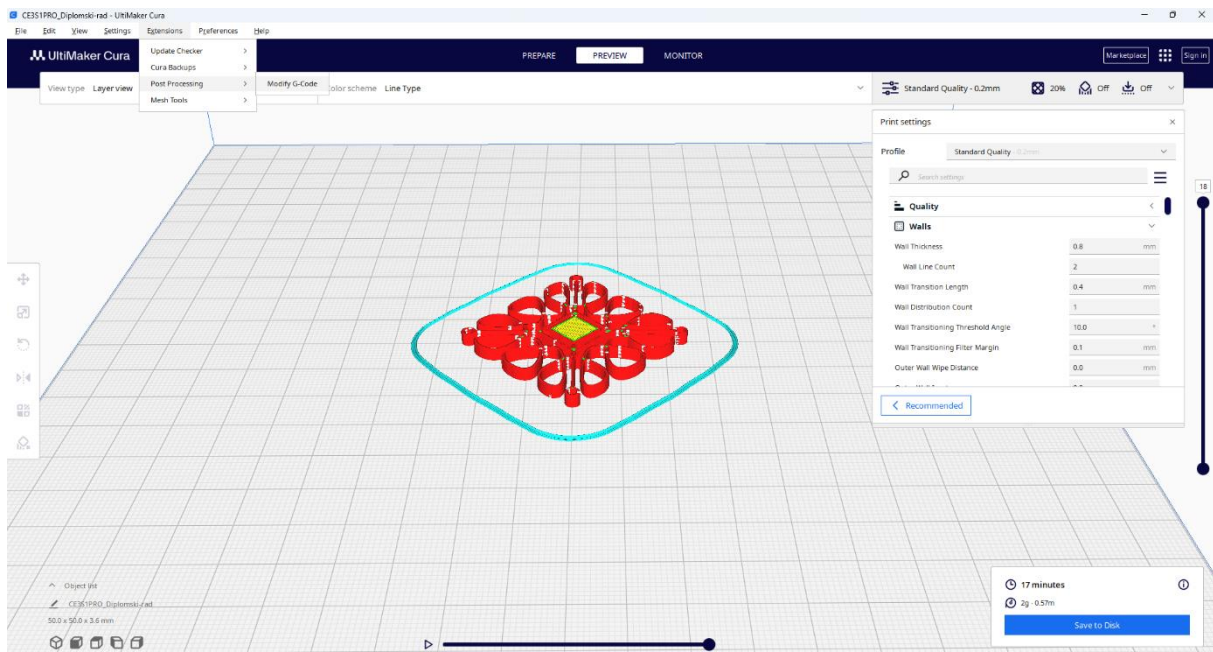
Slika 55: Prikaz odabira postavka na vrhu

Nakon odabira početnih postavki, model se *slicea* i čeka se da program pripremi model za ispis. Nakon završenog *slicinga*, procijenjeno je da će se model ispisati 17 minuta i da će se utrošiti 2 g materijala. Također se može pregledati kako model izgleda nakon *slicinga*.



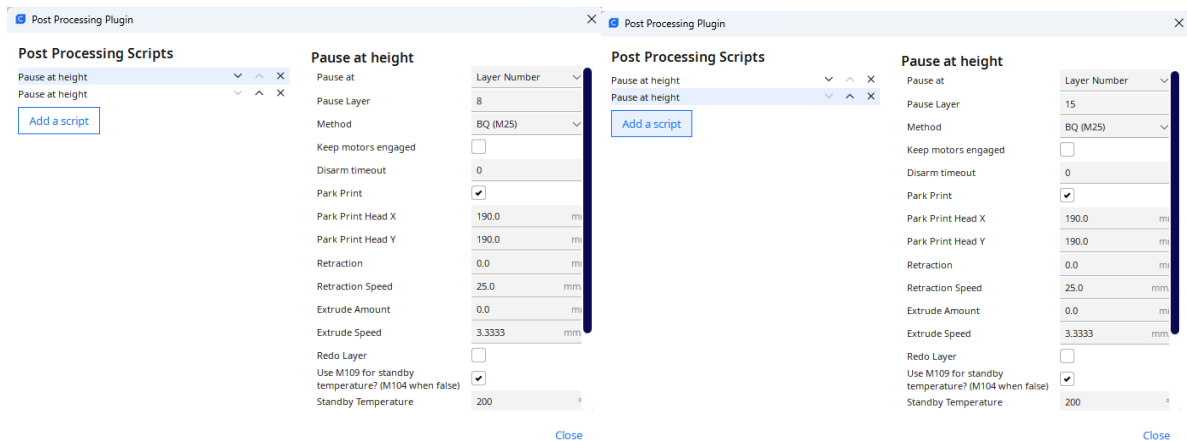
Slika 56: Prikaz modela nakon slicinga

Prije spremanja modela, bilo je potrebno konfigurirati ispis u tri boje. Pristupanjem opciji „EXTENSIONS“, a zatim „POST PROCESSING“ učitava se izbornik gdje su se mogli dodavati skripte.



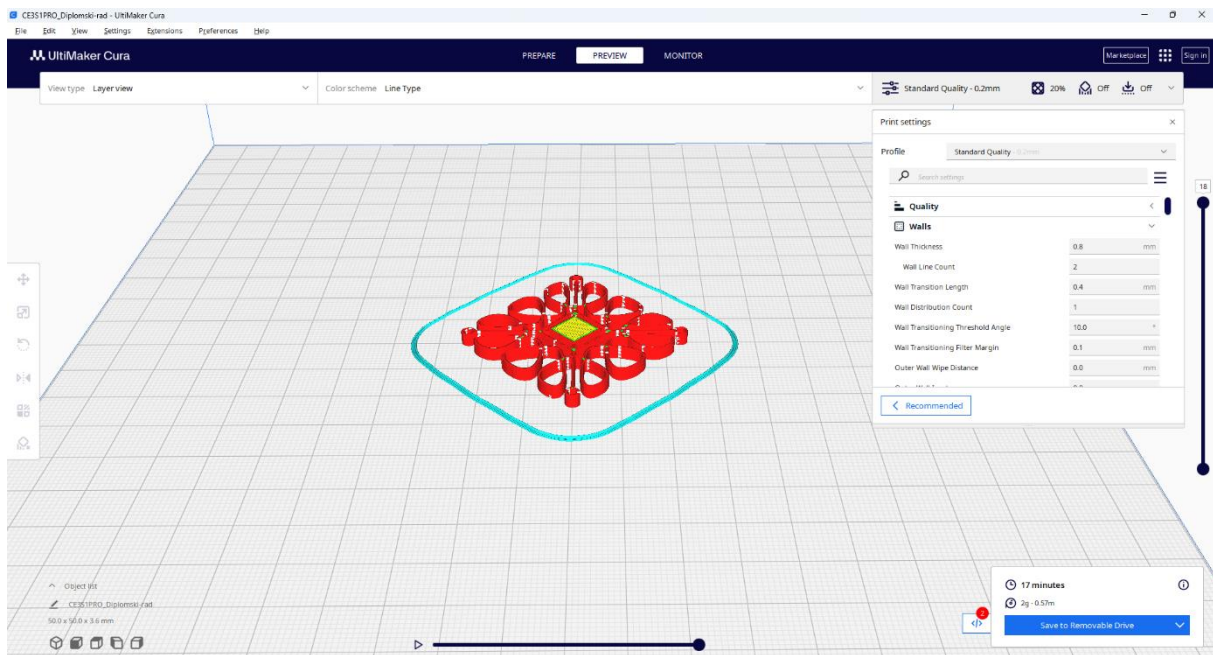
Slika 57: Prikaz otvaranja skripti za podešavanje boje

U izborniku dodane su dvije skripte „Pause at height“ (zaustavi na visini). Prva skripta zaustavlja ispis na Layeru 8 kako bi se ručno promijenila boja filamenta. Također je postavljena „STANDBY TEMPERATURE“ na 200 °C kako bi se zadržala temperatura kada je ispis u stanju mirovanja. Korištena metoda je BQ (M25). Druga skripta radi isto, ali zaustavlja ispis na Layeru 15 radi promjene zadnje boje ili filamenta.



Slika 58: Prikaz odabranih skripti

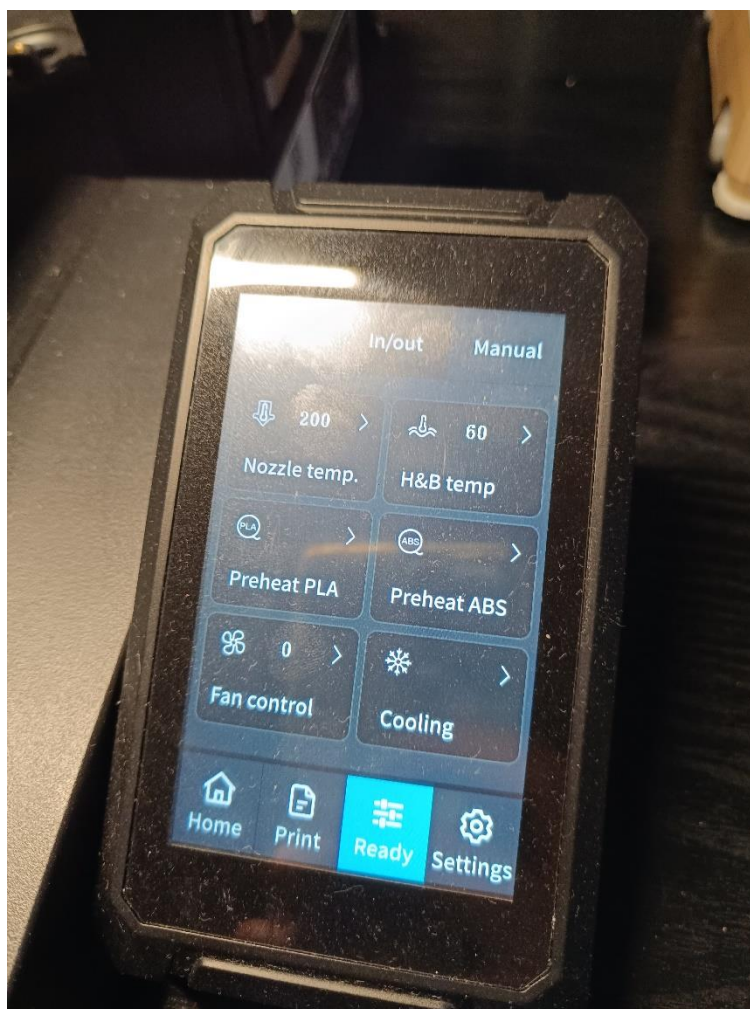
Na kraju, model je spremljen na USB disk 3D pisaa i pripremljen za ispis.



Slika 59: Prikaz spremanja modela na USB stick pisača

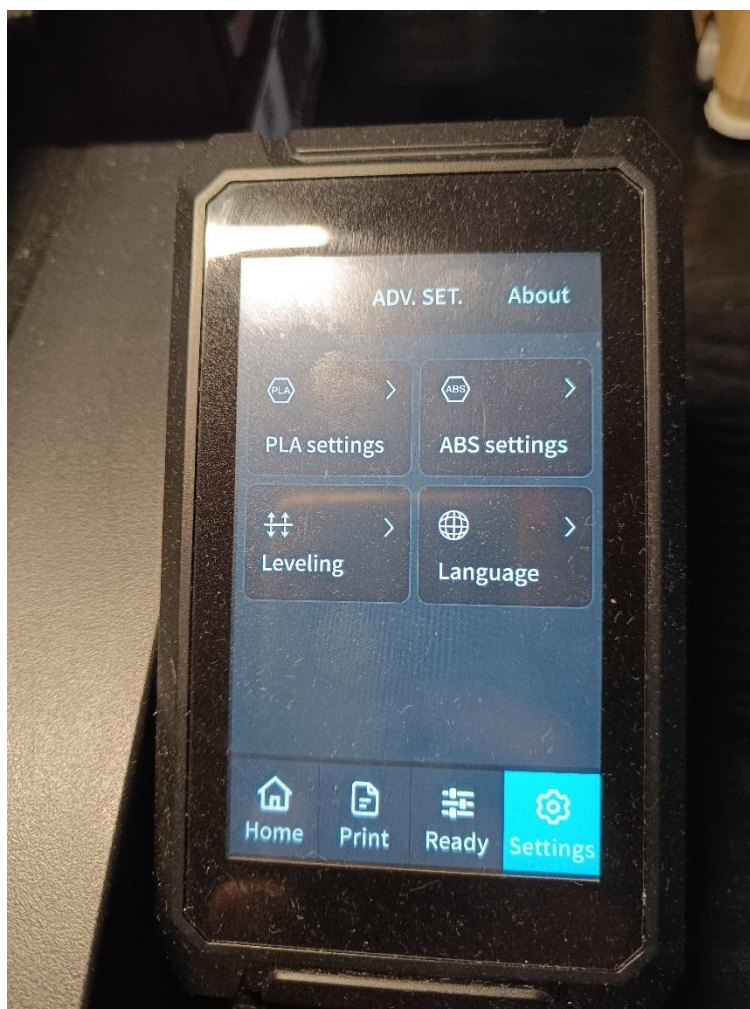
3.1.4 Priprema 3D pisača za ispis i ispis modela

Model se ispisuje na Creality Ender – 3 S1 PRO pisaču. Prije početka ispis, obavlja se kalibriranje radne platforme pisača, poznatog kao *bed leveling*. Prije toga, pisač se zagrijava kako bi olakšao precizno kalibriranje radne platforme.



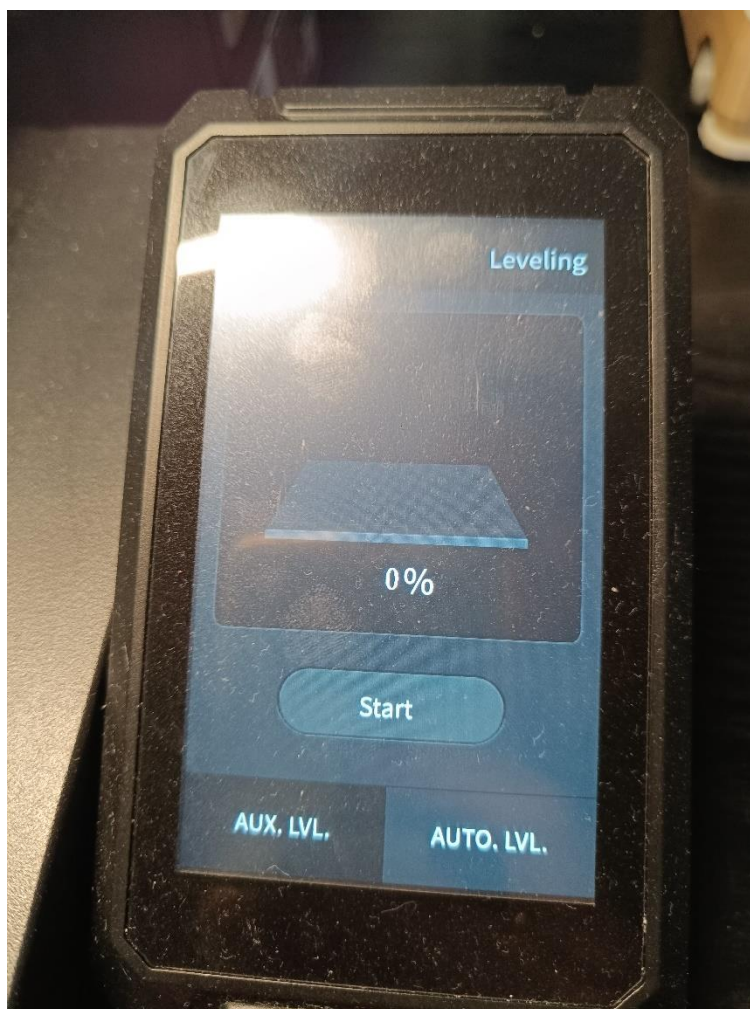
Slika 60: Prikaz izgleda izbornika pripreme pisača

Nakon zagrijavanja, pritisne se gumb za niveliranje.



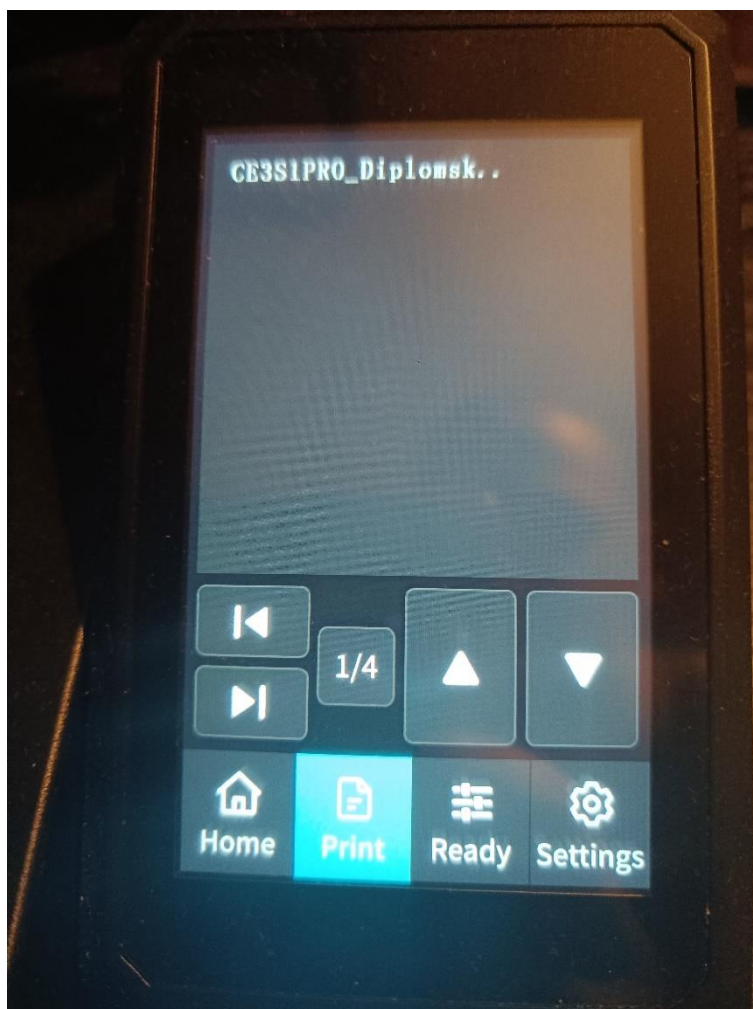
Slika 61: Prikaz postavka pisača

Najprije se ručno podešava radna platforma pisača pomoću standardnog 80g A4 papira. To se postiže spuštanjem mlaznice glave pisača bliže radnoj platformi, koristeći papir za određivanje točne udaljenosti između mlaznice i kreveta. Ako papir pruža otpor prilikom pomicanja, to znači da je mlaznica dovoljno blizu radne platforme. Nakon ručnog podešavanja, aktivira se automatsko niveliranje radne platforme, što dodatno doprinosi preciznosti ispisa i namještanju radne platforme odnosno podloge.



Slika 62: Prikaz opcija levelinga

Nakon uspješno obavljenog niveliranja , započinje se s ispisom modela. Odlazi se na gumb ispis i odabire se željeni model.



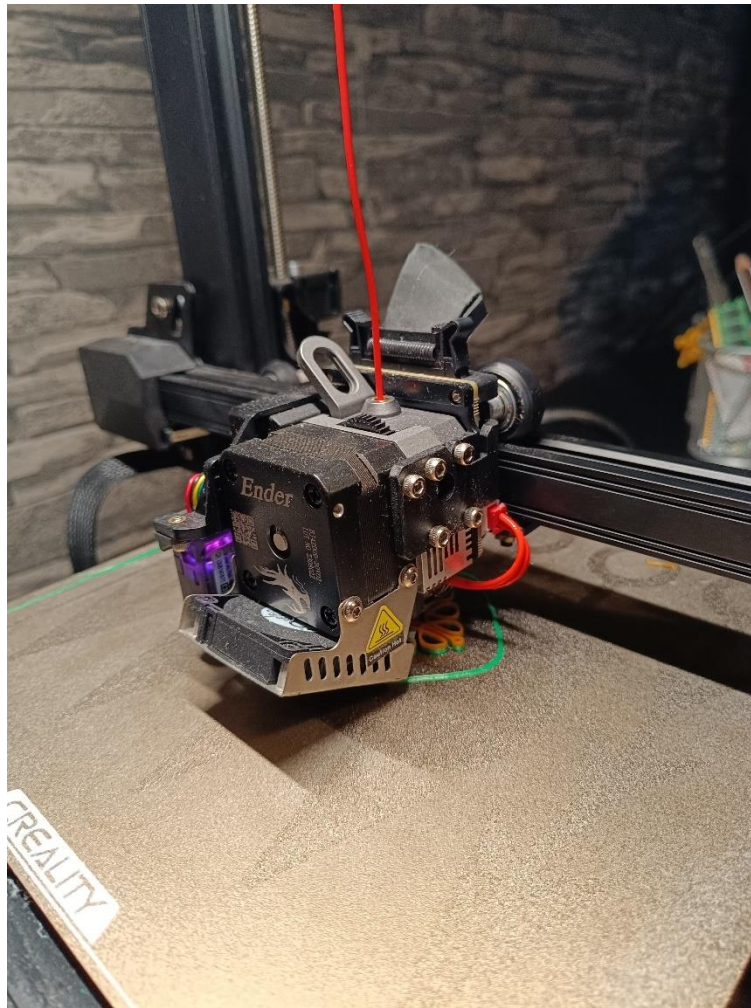
Slika 63: Prikaz odabira ispisa

Nakon nekoliko minuta zagrijavanja ekstrudera, pisač započinje izradu 3D objekta. Nakon ispisa prvih 8 slojeva, pisač se zaustavlja kako bi se izvršila promjena boje filameta. Početna boja filameta je zelena, a nakon pauze mijenja se na narančastu. Nakon promjene filamenata, ispis se nastavlja.



Slika 64: Prikaz promjene filamenta

Nakon ispisa sljedećih 7 slojeva, pisač se ponovno zaustavlja radi promjene boje, ovaj put na crvenu. Nakon što se promijeni filament, pisač nastavlja s ispisom.



Slika 65: Prikaz ispisa završnog sloja

Kad pisac dovrši posljednji sloj, zaustavlja se, a gotov 3D ispisani model ostaje na radnoj podlozi. Pričekava se da se pisac ohladi prije nego što se model nježno odvoji od podloge. Nakon odvajanja modela, pristupa se finalnoj doradi.



Slika 66: Prikaz završnog izgleda modela nakon ispisa

3.1.5 Dorada modela

Izvršena je dorada 3D ispisano modela dodavanjem crvenog središnjeg dijela. Taj crveni središnji dio je zalijepljen na donju stranu modela koristeći ljepljivo. Na taj način je postignuto da crveni središnji dio bude vidljiv s obje strane modela.

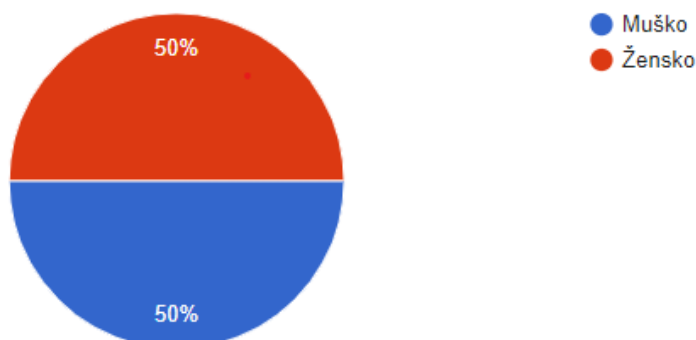
4. Analiza rezultata

Kako bi se utvrdila uspješnost ispisa 3D privjeska za ključeve i koliko je ljudi informirano o 3D ispisu, provedena je anketa izrađena putem Google obrasca. Anketa se sastojala od 2 odjeljka gdje je prvi odjeljak imao 8 pitanja gdje su se tražili demografski podaci i znanje od 3D ispisu, a drugi odjeljak je imao 6 pitanja koja su odnosila na izrađen privjesak. Pitanja su bila koncipirana na način da su ispitanici mogli odgovoriti „da“, „ne“ i „možda“, odgovorima te par odgovorima poput „dobro sam informiran/a“, „donekle sam informiran/a“, „slabo sam informiran/a“, „nisam uopće informiran/a“ i „izvanredan“, „vrlo dobar“, „dobar“, „zadovoljavajući“, „loš“. U ovom dijelu upitnika, ispitanici su imali priliku sudjelovati u pitanju otvorenog tipa, gdje su mogli navesti više različitih odgovora. U anketi su najprije ispitani demografski podaci, tj. dob, spol i stupanj obrazovanja ispitanika. Anketu je riješilo 40 ispitanika. Utvrđeno je da anketu riješilo 50% muške populacije i 50% ženske populacije.

Anketu je najviše riješilo ljudi u dobnoj granici 18 – 24 (52,5%). Bilo je tu i ispitanika u dobnoj granici 25 – 34 (12,5%), 35 – 44 (12,5%), zatim 45 – 54 (15%), te u dobnoj granici 55 – 64 (7,5%). Dobne granice 65+ nije bilo. Anketu je najviše riješilo ljudi s fakultetskim stupnjem obrazovanja (50%). Bilo je tu ispitanika sa završenom srednjom školom (12,5%), višom školom (12,5%), magisterijem (17,5%), osnovnom školom(2,5%) i doktoratom (5%).

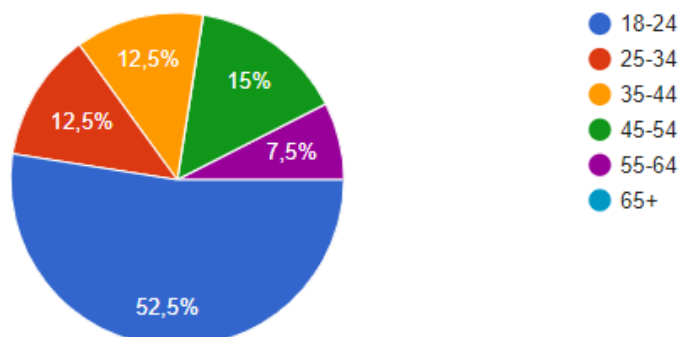
Spol

40 odgovora



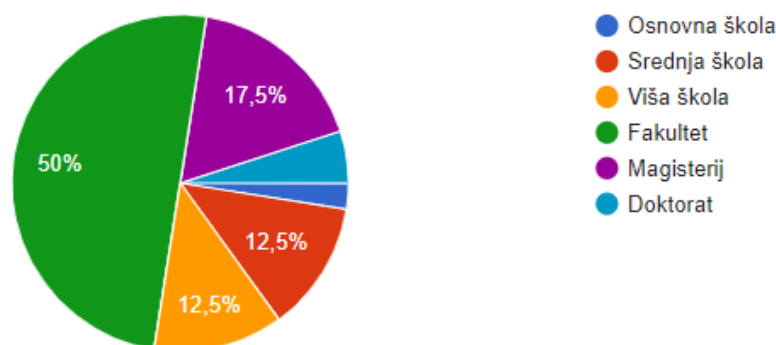
Dob

40 odgovora



Koji stupanj obrazovanja imate?

40 odgovora

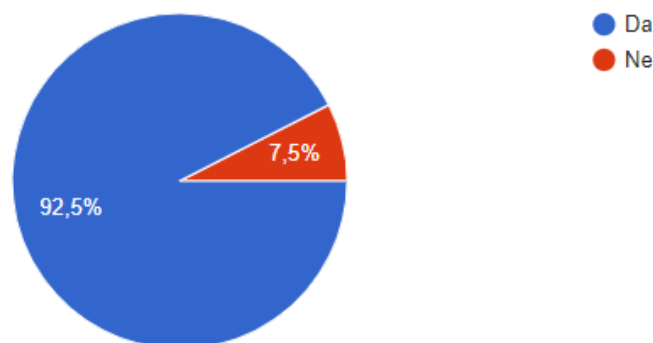


Slika 67: Prikaz demografskih podataka

Nakon demografskih pitanja, sljedeća pitanja su se odnosila na znanje o 3D ispisu. Prvo pitanje koje se postavilo ispitanicima je bilo „Jeste li upoznati s konceptom 3D ispisa?“ gdje je najviše ispitanika odgovorilo sa da (92,5%), a sa ne (7,5%). Može se zaključiti da je velika većina ispitanika upoznata s konceptom 3D ispisa.

Jeste li upoznati s konceptom 3D printanja?

40 odgovora

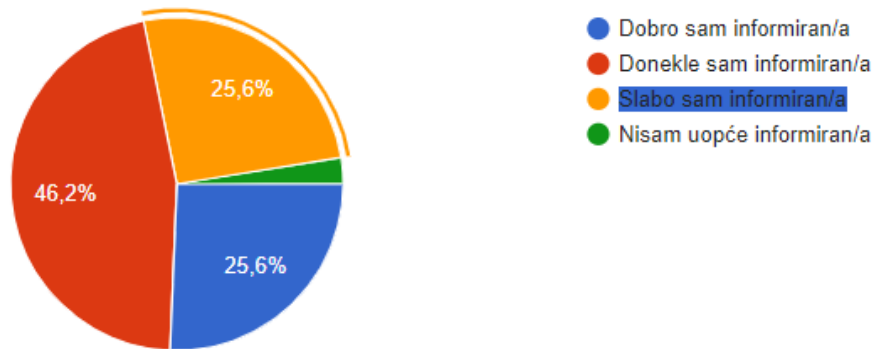


Slika 68: Prikaz podataka koliko je ispitanika upoznato s 3D ispisom

Sljedeće pitanje je bilo „Ako jeste, koliko znate o 3D ispisu?“ gdje je najviše ispitanika odgovorilo „Donekle sam informiran/a“ (46,2%), a najmanji broj ispitanika je odgovorilo s „Nisam uopće informiran/a“ (2,6%). S odgovorima „Dobro sam informiran/a „ i „Slabo sam informiran/a „ odgovorio je isti broj ispitanika (25,6%).

Ako jeste, koliko znate o 3D printanju?

39 odgovora

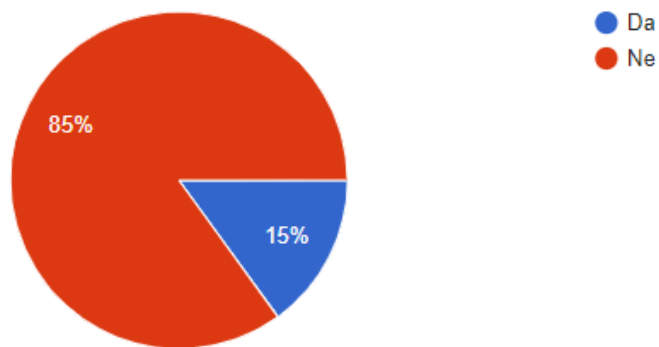


Slika 69: Prikaz podataka o informiranosti o 3D ispisu

Sljedeće pitanje je bilo „Imate li vlastiti 3D pislač?“ gdje je najviše ispitanika je odgovorilo ne (85%), a manji broj da (15%).

Imate li vlastiti 3D printer?

40 odgovora

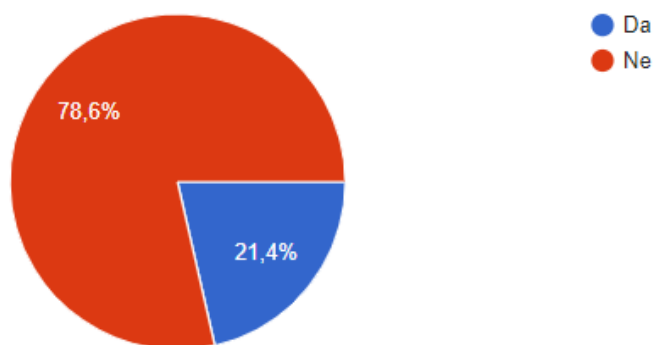


Slika 70: Prikaz podataka o posjedovanju vlastitog pisača

Nakon pitanja u vezi 3D pisača, pitalo se ispitanike koriste li ga u izradi različitih stvari. 78,6% ispitanika odgovorilo je ne, a 21,4% da.

Ako da, koristite li ga za izradu različitih predmeta?

28 odgovora

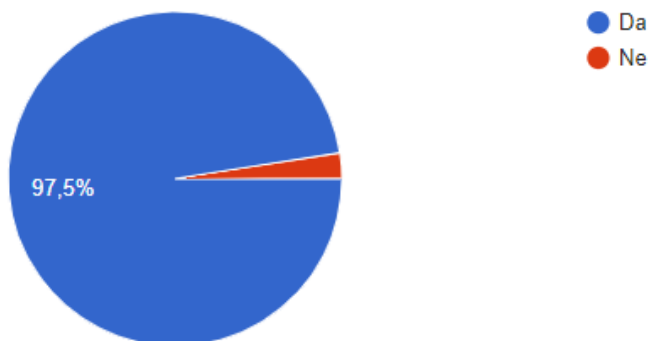


Slika 71: Prikaz podataka o izradi različitih stvari

Zadnje pitanje koje se pitalo ispitanike u vezi 3D ispisa je bilo „Smatrate li da je 3D ispis budućnost?“ gdje su skoro svi dali odgovor da (97,5%), no postojao je i odgovor ne (2,5%)

Smatrate li da je 3D printanje budućnost?

40 odgovora

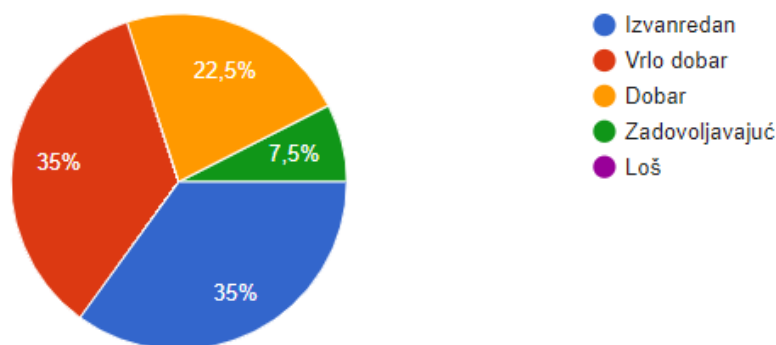


Slika 72: Prikaz podataka vezano za budućnost 3D ispisa

Nakon pitanja u vezi 3D ispisa, sljedeća pitanja su bila u vezi privjeska za ključeve. Ispitanicima se pokazala slika privjeska i dane su određene informacije o njemu. Prvo pitanje koje se pitalo je bilo „Kako biste ocijenili dizajn ovog privjeska za ključeve?“, gdje su ispitanici najviše odgovorili „Izvanredan“ i „Vrlo Dobar“ (35%). „Dobar“ je odgovorilo 22,5% i s „Zadovoljavjući“ 7,5%. Odgovora s „Loš“ nije bilo.

Kako biste ocijenili dizajn ovog privjeska za ključeve?


40 odgovora



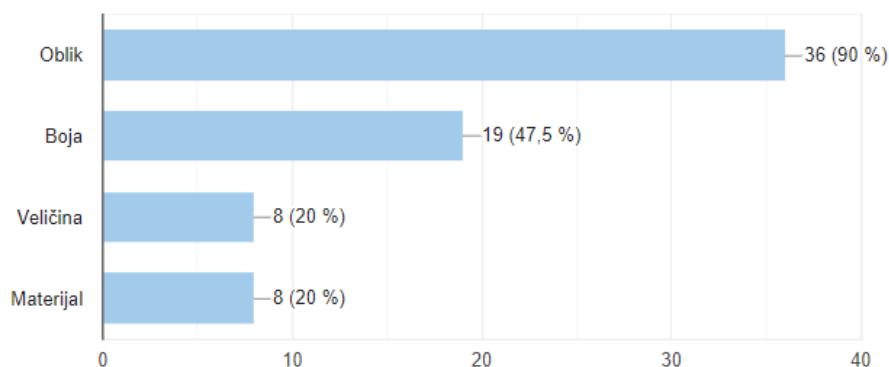
Slika 73: Prikaz podataka o ocjeni dizajna privjeska

Nakon toga pitalo se ispitanike koje elemente dizajna privjeska za ključeve smatraju najprivlačnijima gdje su mogli odgovoriti s više odgovora. Najviše odgovora je bilo za oblik (36 odnosno 90%), zatim boja (19 donosno 47,5%), a veličina i materijal su imali isti broj odgovora (8 odnosno 20%).

Koje elemente dizajna privjeska za ključeve smatrate najprivlačnijima (možete odabrati više odgovora)?

 Kopiraj


40 odgovora



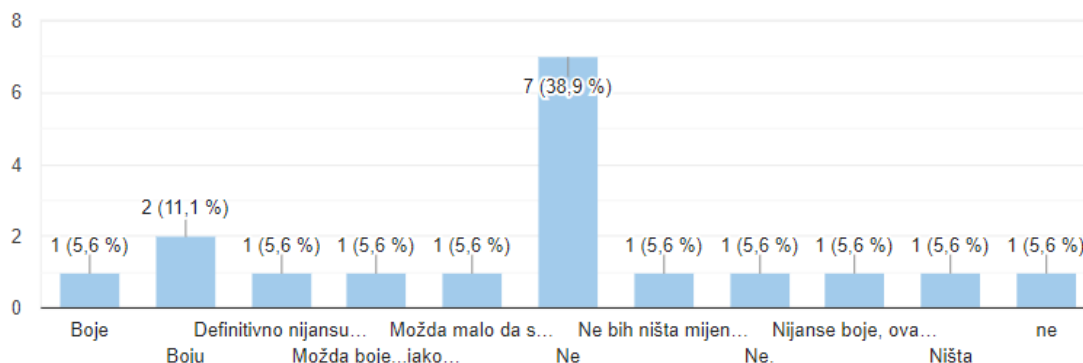
Slika 74: Prikaz podataka o najprivlačnijim elementima kod privjeska

Zatim se pitalo ispitanike bi li nešto promijenili na dizajnu za ključeve. Tu su ispitanici mogli napisati što god su htjeli. Najviše je odgovora bilo da ne bi ništa promijenili, a bilo je odgovora da bi promijenili boju i čak da bi stavili malo deblje linije.

Biste li što promjenili na ovom dizajnu za ključeve?

 Kopiraj

18 odgovora



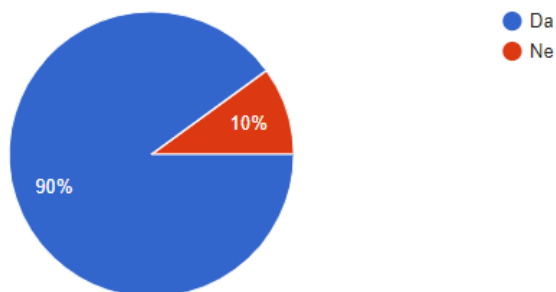
Slika 75: Prikaz podataka u vezi promjena na privjesku

Sljedeće pitanje se odnosilo na veličinu privjeska, gdje se ispitanike pitalo je li veličina privjeska 5 x 5 cm dobra, gdje najveći broj odgovorio da je (90%), a jako mali broj da nije (10%).

Smatrate li da je veličina privjeska 5x5 cm dobra?

 Kopiraj

40 odgovora



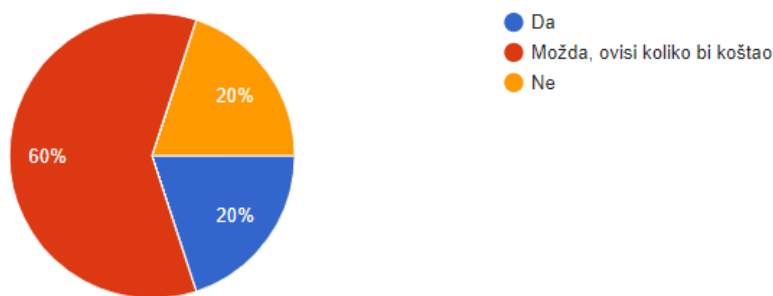
Slika 76: Prikaz podataka o veličini privjeska

Nakon toga pitalo se ispitanike „Biste li kupili ovaj privjesak za ključeve?“, gdje je njih 60% odgovorilo „možda, ovisi koliko bi koštalo“, zatim da (20%) i ne (20%).

Da li bi ste kupili ovaj privjesak za ključeve?

 Kopiraj


40 odgovora



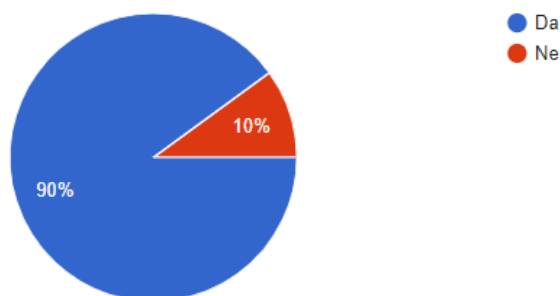
Slika 77: Prikaz podataka u vezi kupnje privjeska

I za kraj se pitalo ispitanike bi li voljeli imati svoj personalizirani privjesak za ključeve? 90% njih je odgovorilo da bi, samo 10% s ne.

Biste li željeli imati svoj presonalizirani privjesak za ključeve?

 Kopiraj

40 odgovora



Slika 78: Prikaz podataka u vezi personaliziranog privjeska za ključeve

Anketu je riješilo 40 ispitanika, ravnomjerno raspoređenih po spolu, s mješovitom dobnom strukturom. Najviše ispitanika bilo je u dobnj skupini od 18 do 24 godine, a većina je imala fakultetsku razinu obrazovanja. Rezultati ankete su različiti. Većina ispitanika je upoznata s konceptom 3D ispisa, no razina informiranosti varira. Najveći broj ispitanika je donekle informiran o 3D ispisu, dok ih malo posjeduje 3D pisac ili aktivno ispisuje predmete. Unatoč tome, gotovo svi ispitanici smatraju da je 3D ispis tehnologija budućnosti. Što se tiče dizajna privjeska za ključeve, iako ima nekoliko negativnih odgovora, većina odgovora je pozitivna. Iz toga se može zaključiti da je privjesak dobro izrađen. Ispitanicima se na privjesku najviše sviđaju oblik i boja, iako postoji nekoliko ispitanika koji bi promijenili boju. Prema rezultatima, može se zaključiti da bi ispitanici možda kupili privjesak, ovisno o cijeni, a većina bi voljela imati vlastiti personalizirani privjesak za ključeve. Sami rezultati ankete su zadovoljavajući.

5. Zaključak

U ovom diplomskom radu detaljno je opisan proces izrade 3D ispisanih privjesaka za ključeve namijenjenih sveučilištu u Zadru. U radu se prošlo kroz sve korake, od početnog modeliranja u programu Blender, pripreme za ispis u *slicer* softveru pa sve do finalnog 3D ispisa i završne obrade modela.

Osim tehničkog opisa, rad je obuhvatio šire kontekste i primjene tehnologije 3D ispisa. Analizirane su različite tehnike i materijali koji se koriste u aditivnoj proizvodnji, ističući njihove prednosti i primjene u raznim industrijama kao što su zrakoplovstvo, medicina, arhitektura i automobilska industrija. Spomenuli su se također i razni softvereri koji se koriste u procesu 3D ispisa.

Anketa provedena među korisnicima pokazala je visoku razinu svijesti o 3D ispisu među ispitanicima, uz prepoznavanje tehnologije kao ključnog elementa budućnosti. Rezultati su ukazali na pozitivno prihvaćanje dizajna 3D ispisanih privjesaka za ključeve, ističući preferencije ispitanika prema obliku i boji. Većina ispitanika izrazila je interes za vlastitim personaliziranim privjeskom.

Tehnologija 3D ispisa ima značajan potencijal za transformaciju proizvodnih procesa i prilagodbu proizvoda prema potrebama krajnjih korisnika. 3D ispis nije samo inovacija u proizvodnji, već i alat koji može potaknuti kreativnost, personalizaciju i ekonomičnost u različitim sektorima. Daljnji razvoj tehnologije i širenje njenih primjena mogli bi revolucionirati način na koji proizvodimo i koristimo predmete u budućnosti.

Cilj ovog rada bio je približiti čitateljima svijet 3D ispisa, demonstrirajući postupak kroz konkretan primjer izrade privjeska za ključeve. Kroz prikaz praktičnih primjera i detaljan opis svakog koraka, čitatelji su dobili uvid u potencijale i izazove koje nosi 3D ispis. Također, cilj je bio informirati čitatelje o širem kontekstu tehnologije 3D ispisa, uključujući različite primjene, tehnologije i materijale koji se koriste u aditivnoj proizvodnji. Analizirajući prednosti i ograničenja ove tehnologije, rad je pružio dublje razumijevanje kako 3D ispis može transformirati tradicionalne proizvodne procese i potaknuti inovacije u različitim industrijama.

Ovaj rad ne samo da pruža praktičan uvid u proces 3D ispisa kroz specifičan primjer, već i potiče daljnje istraživanje i primjenu ove tehnologije u različitim industrijskim i obrazovnim kontekstima.



IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, LUKA KATIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog/specijalističkog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom 30 DIZALIC PRIVJESKA ZA KLJUČEVE (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na neozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Luka Katić

(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58, 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem stadiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.

6. Literatura

- [1] Murphy, S. V., & Atala, A. (2014). 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature Biotechnology*, 32(8), 773-785.
- [2] Momeni, F., M.Mehdi Hassani.N., Liu, X., & Ni, J. (2017). A review of 4D printing. *Materials and Design*, 122, 42-79.
- [3] Su, A., & Al'Aref, S. J. (2018). Chapter 1 - History of 3D Printing. In S. J. Al'Aref, B. Mosadegh, S. Dunham, & J. K. Min (Eds.), *3D Printing Applications in Cardiovascular Medicine*. Academic Press, 1-10. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803917-5.00001-8>
- [4] Jakus, A. E. (2019). Chapter 1 - An Introduction to 3D Printing—Past, Present, and Future Promise. In M. Dipaola & F. M. Wodajo (Eds.), *3D Printing in Orthopaedic Surgery*. Elsevier, 1-15. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-58118-9.00001-4>
- [5] Paul, M., Kühnel, H., Oberpertinger, R., Mehofer, C., Pollhammer, D., & Wellenzohn, M. (2024). Two-Layer Inkjet-Printed Microwave Split-Ring Resonators for Detecting Analyte Binding to the Gold Surface. *Sensors*, 24(5), 1688. <https://doi.org/10.3390/s24051688>
- [6] Zhang, K., Liu, W., & Shang, X. (2007). Research on the processing experiments of laser metal deposition shaping. *Optics & Laser Technology*, 39(3), 549-557. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2005.10.009>
- [7] Park, J., Tari, M. J., & Hahn, H. T. (2000). Characterization of the laminated object manufacturing (LOM) process. *Rapid Prototyping Journal*, 6(1), 36-50. <https://doi.org/10.1108/13552540010309868>
- [8] Dumpa, N. R., Bandari, S., & Repka, M. A. (2020). Novel gastroretentive floating pulsatile drug delivery system produced via hot-melt extrusion and fused deposition modeling 3D printing. *Pharmaceutics*, 12(1), 52. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12010052>
- [9] Huang, J., Qin, Q., & Wang, J. (2020). A review of stereolithography: Processes and systems. *Processes*, 8(9), 1138. <https://doi.org/10.3390/pr8091138>
- [10] Micallef, J. (2015). *Beginning Design for 3D Printing*. Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-0946-2>
- [11] Kuang, X., Wu, J., Chen, K., Zhao, Z., Ding, Z., Hu, F., Fang, D., & Qi, H. J. (2019). Grayscale digital light processing 3D printing for highly functionally graded materials. *Science Advances*, 5(5), eaav5790. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav5790>
- [12] Zhang, Q., Boniface, A., Parashar, V. K., & Moser, C. (2023). Multiphoton polymerization using upconversion nanoparticles for adaptive high-resolution 3D printing. In G. von Freymann, E. Blasco, & D. Chanda (Eds.), *Advanced Fabrication Technologies for Micro/Nano Optics and Photonics XVI* (Vol. 12433, p. 124330C). International Society for Optics and Photonics. <https://doi.org/10.1117/12.2650323>
- [13] Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. (2019). An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. *Procedia Manufacturing*, 35, 1286-1296. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>

- [14] Gülcan, O., Günaydın, K., & Tamer, A. (2021). The state of the art of material jetting—A critical review. *Polymers*, 13(16), 2829. <https://doi.org/10.3390/polym13162829>
- [15] Canessa, E., Fonda, C., Zennaro, M., & Deadline, N. (2013). Low-cost 3D printing for science, education and sustainable development. *Low-Cost 3D Printing*, 11(1).
- [16] Kumar, R., Ghosh, R., Malik, R., Sangwan, K. S., & Herrmann, C. (2022). Development of machine learning algorithm for characterization and estimation of energy consumption of various stages during 3D printing. *Procedia CIRP*, 107, 65-70.
- [17] Kumar, K. (Ed.). (2024). *Advances in industrial engineering in the Industry 4.0 era* (1st ed.). Boca Raton: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003486244>
- [18] Wang, J. (2021, August). The design research analysis of 3D pisač based on FDM. *Journal of Physics: Conference Series*, 1992(2), 022143. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1992/2/022143>
- [19] Liu, Z., Wang, Y., Wu, B., & et al. (2019). A critical review of fused deposition modeling 3D printing technology in manufacturing polylactic acid parts. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(1), 2877-2889. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03332-x>
- [20] Moradi, M., Beygi, R., Mohd. Yusof, N., & et al. (2023). 3D printing of acrylonitrile butadiene styrene by fused deposition modeling: Artificial neural network and response surface method analyses. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 32(4), 2016-2028. <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07250-0>
- [21] Kotomin, S. V., Kramarev, D. V., Obidin, I. M., & et al. (2022). Influence of 3D printing conditions of polyethylene terephthalate glycol on the mechanical properties of products based on it. *Polymer Science Series A*, 64(6), 617-623. <https://doi.org/10.1134/S0965545X22700365>
- [22] León-Calero, M., Reyburn Valés, S. C., Marcos-Fernández, Á., & Rodríguez-Hernandez, J. (2021). 3D printing of thermoplastic elastomers: Role of the chemical composition and printing parameters in the production of parts with controlled energy absorption and damping capacity. *Polymers*, 13(20), 3551. <https://doi.org/10.3390/polym13203551>
- [23] Mohd Radzuan, N. A., Khalid, N. N., Foudzi, F. M., Rajendran Royan, N. R., & Sulong, A. B. (2023). Mechanical analysis of 3D printed polyamide composites under different filler loadings. *Polymers*, 15(8), 1846. <https://doi.org/10.3390/polym15081846>
- [24] Mallakpour, S., Tabesh, F., & Hussain, C. M. (2022). A new trend of using poly(vinyl alcohol) in 3D and 4D printing technologies: Process and applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, 301, 102605. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2022.102605>
- [25] Iftekar, S. F., Aabid, A., Amir, A., & Baig, M. (2023). Advancements and limitations in 3D printing materials and technologies: A critical review. *Polymers*, 15(11), 2519. <https://doi.org/10.3390/polym15112519>

- [26] Chen, Z., Li, Z., Li, J., Liu, C., Lao, C., Fu, Y., Liu, C., Li, Y., Wang, P., & He, Y. (2019). 3D printing of ceramics: A review. *Journal of the European Ceramic Society*, 39(4), 661-687. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.11.013>
- [27] Khoo, Z. X., Teoh, J. E. M., Liu, Y., Chua, C. K., Yang, S., An, J., ... Yeong, W. Y. (2015). 3D printing of smart materials: A review on recent progresses in 4D printing. *Virtual and Physical Prototyping*, 10(3), 103-122. <https://doi.org/10.1080/17452759.2015.1097054>
- [28] Zhang, Z., Demir, K. G., & Gu, G. X. (2019). Developments in 4D-printing: A review on current smart materials, technologies, and applications. *International Journal of Smart and Nano Materials*, 10(3), 205-224. <https://doi.org/10.1080/19475411.2019.1591541>
- [29] Dawood, A., Marti, B., Sauret-Jackson, V., & et al. (2015). 3D printing in dentistry. *British Dental Journal*, 219(11), 521-529. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2015.914>
- [30] Hill, C. W. L. (1997). Establishing a standard: Competitive strategy and technological standards in winner-take-all industries. *Academy of Management Perspectives*, 11(2), 7–25. doi:10.5465/ame.1997.9707132143
- [31] Šljivic, M., Pavlovic, A., Kraišnik, M., & Ilić, J. (2019, October). Comparing the accuracy of 3D slicer software in printed enduse parts. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 659, No. 1, p. 012082). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/659/1/012082>
- [32] Guan, Y., Sun, X., Jin, L., & others. (2021). Development of 3D printing entity slicing software. *China Foundry*, 18, 587–592. <https://doi.org/10.1007/s41230-021-1090-y>
- [33] Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 55(2), 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003>
- [34] Jayakrishna, M., Vijay, M., & Khan, B. (2023). An Overview of Extensive Analysis of 3D Printing Applications in the Manufacturing Sector. *Journal of Engineering Research*, Article ID 7465737. <https://doi.org/10.1155/2023/7465737>
- [35] Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>
- [36] Yan, Q., Dong, H., Su, J., Han, J., Song, B., Wei, Q., & Shi, Y. (2018). A review of 3D printing technology for medical applications. *Engineering*, 4(5), 729-742. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.07.021>
- [37] Nachal, N., Moses, J. A., Karthik, P., & Anandharamakrishnan, C. (2019). Applications of 3D printing in food processing. *Food Engineering Reviews*, 11, 123-141. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09199-8>
- [38] Tuazon, B. J., Custodio, N. A. V., Basuel, R. B., Delos Reyes, L. A., & Dizon, J. R. C. (2022). 3D printing technology and materials for automotive application: A mini-review. In *Key Engineering Materials* (Vol. 913, pp. 3–16). Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/p-26o076>

[39] El-Sayegh, S., Romdhane, L., & Manjikian, S. (2020). A critical review of 3D printing in construction: benefits, challenges, and risks. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 20, 34. <https://doi.org/10.1007/s43452-020-00038-w>

[40] Xiao, Y.-Q., & Kan, C.-W. (2022). Review on development and application of 3D-printing technology in textile and fashion design. *Coatings*, 12(2), 267. <https://doi.org/10.3390/coatings12020267>

[41] Flavell, L. (2011). *Beginning Blender: Open Source 3D Modeling, Animation, and Game Design*. Apress.

[42] Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons.

[43] Pérez Sevilla, M., Rivas Navazo, F., Latorre-Carmona, P., & Fernández Zoppino, D. (2017). Protocol for the Conversion of Dicom Files to Three-Dimensional Stl Models. Edition for Three Dimensional Anatomical Structures Layout Using „3d Slicer” and „Ultimaker Cura” Software Packages. Edition for Three Dimensional Anatomical Structures Layout Using „3d Slicer” and „Ultimaker Cura” Software Packages. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4789222>

7. Popis slika

Slika 1: Kratki pregled vremenske linije s ključnim razdobljima i važnim događajima u povijesti aditivne proizvodnje (AM) i 3D ispisa (3DP).....	3
Slika 2: Generalizirani procesi i značajke definiranja šest glavnih obitelji AM tehnologija; potkategorije i hibridne tehnologije postoje za svaku kategoriju, ali nisu uključene u sliku. „M“ ili „E“ odnosi se na tehnologiju „temeljenu na taloženju materijala (Material deposition – based)“ ili „temeljenu na energiji (energy based)“	4
Slika 3: Proces 3D ispisa.....	8
Slika 4: SLA 3D pisac.....	9
Slika 5: SLS 3D pisac.....	10
Slika 6: FDM 3D pisaci.....	10
Slika 7: Različite vrste polimernih materijala dobivenih od (A) polimljične kiseline (PLA) - spremnici za hranu; (B) akrilonitril butadien stiren (ABS) – Lego kocke; (C) polietilen tereftalat (PET) – boce s vodom; (D) termoplastični elastomeri (TPE) – bezračne gume; (E) poliamid (PA) ili najlon-uže; (F) polikarbonat (PC) – kofer na kotrljanje	11
Slika 8: Metalni materijali.....	12
Slika 9: Keramika dobivena 3D tiskom	14
Slika 10: Primjeri CAD alata	16
Slika 11: Primjeri DCC alata.....	16
Slika 12: Primjeri slicer softvera.....	17
Slika 13: Ispis medicinskih modela.....	19
Slika 14: Ispis hrane	19
Slika 15: Ispisivanje automobilskih dijelova	20
Slika 16: Izrada dvokatnice 3D tiskom	21
Slika 17: 3D tisak modnih stvari	21
Slika 18: Slika privjeska koja će se koristiti za izradu modela	22
Slika 19: Creality Ender 3 S1 Pro	25
Slika 20: Prikaz otvaranja Blendera	26
Slika 21: Prikaz selektiranja i brisanja	26
Slika 22: Prikaz stvaranja objekta „plane“	27
Slika 23: Prikaz dimenzija referentne slike.....	27
Slika 24: Prikaz mijenjanja dimenzija objekta plane	28
Slika 25: Prikaz odabira izbornika subdivide.....	28
Slika 26: Prikaz mijenjanja „numbers of cuts“ u 3	29

Slika 27: Prikaz izbornika „modifiers“	29
Slika 28: Prikaz „displace modifier“	30
Slika 29: Prikaz odabira slike u izborniku „texture properties“	30
Slika 30: Prikaz mijenjanja opcije strenght u izborniku „displace modifier“	31
Slika 31: Prikaz selektiranja donjeg dijela	31
Slika 32: Prikaz povećanja modela	32
Slika 33: Prikaz selektiranja opcije select sharp edges	32
Slika 34: Prikaz deselektiranja donjeg dijela	33
Slika 35: Prikaz odabira opcije „seperate“	33
Slika 36: Prikaz odabira opcije „orgin to geometry“	34
Slika 37: Prikaz opcije „smooth modifier“	34
Slika 38: Prikaz opcije „un-subdivide“	35
Slika 39: Prikaz spajanja točaka.....	35
Slika 40: Prikaz popunjenog modela.....	36
Slika 41: Prikaz odvajanja dijelova gdje će biti smještena rupa	36
Slika 42: Prikaz ekstrudiranja dijelova.....	37
Slika 43: Prikaz opcije „boolean modifier“	37
Slika 44: Prikaz modela sa željenim rupama	38
Slika 45: Prikaz „solidfy modifera“	38
Slika 46: Prikaz odabira opcije „shade auto smooth“	39
Slika 47: Prikaz „bevel modifier“	39
Slika 48: Prikaz promjene mjernih jedinica	40
Slika 49: Prikaz promjene veličine modela.....	40
Slika 50: Prikaz odabira točaka središnjeg modela.....	41
Slika 51: Prikaz ekstrudiranja točaka	41
Slika 52: Prikaz gotovog modela	42
Slika 53: Prikaz eksportiranja modela u stl. format	42
Slika 54: Prikaz otvaranja modela u Curi.....	43
Slika 55: Prikaz odabira postavka na vrhu	44
Slika 56: Prikaz modela nakon slicinga	44
Slika 57: Prikaz otvaranja skripti za podešavanje boje	45
Slika 58: Prikaz odabranih skripti	45
Slika 59: Prikaz spremanja modela na USB stick od pisača	46
Slika 60: Prikaz izgleda izbornika pripreme pisača	47
Slika 61: Prikaz postavka pisača	48

Slika 62: Prikaz opcija levelinga	49
Slika 63: Prikaz odabira ispisa	50
Slika 64: Prikaz promjene filamenta	51
Slika 65: Prikaz ispisa završnog sloja	52
Slika 66: Prikaz završnog izgleda modela nakon ispisa.....	53
Slika 67: Prikaz demografskih podataka	55
Slika 68: Prikaz podataka koliko je ispitanika upoznato s 3D ispisom.....	55
Slika 69: Prikaz podataka o informiranosti o 3D ispisu.....	56
Slika 70: Prikaz podataka o posjedovanju vlastitog pisača.....	56
Slika 71: Prikaz podataka o izradi različitih predmeta.....	57
Slika 72: Prikaz podataka vezano za budućnost 3D tiska	57
Slika 73: Prikaz podataka o ocjeni dizajna privjeska	58
Slika 74: Prikaz podataka o najprivlačnijim elementima kod privjeska	58
Slika 75: Prikaz podataka u vezi promjena na privjesku	59
Slika 76: Prikaz podataka o veličini privjeska	59
Slika 77: Prikaz podataka u vezi kupnje privjeska.....	60
Slika 78: Prikaz podataka u vezi personaliziranog privjeska za ključeve.....	60