

Modeliranje i 3D ispis organizatora za stol s logotipom Sveučilišta Sjever

Jagačić, Gordan

Undergraduate thesis / Završni 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:122:568739>

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

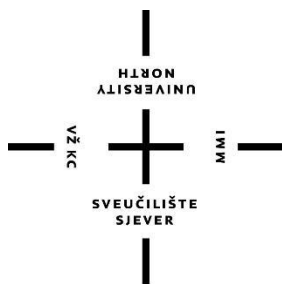
Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





Sveučilište Sjever

Multimedija, oblikovanje i primjena

Završni rad br. 890/MM/2024

Modeliranje i 3D ispis organizatora za stol s logotipom Sveučilišta Sjever

Student

Gordan Jagačić, 0009075391

Mentor

doc.dr.sc. Andrija Bernik

Varaždin, listopad 2024. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

| | | | |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------|
| ODIPL | Odjel za multimediju | | |
| STUDIJ | preddiplomski stručni studij Multimedija, oblikovanje i primjena | | |
| PRISTUPNIK | Gordan Jagačić | MATIČNI BROJ | 0009075391 |
| DATUM | 05.03.2024 | KOLEGIJ | 3D modeliranje |
| NASLOV RADA | Modeliranje i 3D ispis organizatora za stol s logotipom Sveučilišta Sjever | | |
| NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU | Modeling and 3D printing of a desk organizer with the logo of University North | | |

| | | | |
|----------------------|---------------------------------------------------|--------|--------|
| MENTOR | doc.dr.sc. Andrija Bernik | ZVANJE | Docent |
| ČLANOVI POVJERENSTVA | 1. mr.sc. Dragan Matković, v. pred. - predsjednik | | |
| | 2. mag.rel.publ. Nikola Jozić, pred. - član | | |
| | 3. doc.dr.sc. Andrija Bernik - mentor | | |
| | 4. doc.art. Robert Geček - zamjenski član | | |
| | 5. _____ | | |

Zadatak završnog rada

BROJ: 890/MM/2024

OPIS
Tema završnog rada sastoji se od praktičnog i teorijskog dijela, a cilj joj je na praktičnom primjeru opisati postupak modeliranja i 3D ispisa organizatora za stol s logotipom Sveučilišta Sjever. Cilj ovog završnog rada je demonstrirati proces modeliranja organizatora za stol koristeći se pritom primarno softverom za 3D modeliranje poput Blendera te proces 3D ispisa pomoću odgovarajućeg 3D pisača.

U radu je potrebno:
-objasniti proces modeliranja u odabranom softveru za 3D modeliranje, uključujući osnovne alate i tehnike korištene za stvaranje organizatora.
-opisati postupak pripreme modela za 3D ispis, uključujući podešavanje parametara za optimalne rezultate i osiguravanje funkcionalnosti i estetske kvalitete tiska.
-provesti praktičan primjer modeliranja organizatora za stol s logotipom Sveučilišta Sjever, detaljno opisujući svaki korak procesa i korištene alate.
-demonstrirati proces 3D ispisa organizatora, uključujući pripremu datoteka za tisak, podešavanje pisača i nadzor nad tiskom kako bi se postigao željeni rezultat.
-evaluirati krajnji proizvod u smislu funkcionalnosti, estetike i izvedivosti tehnike modeliranja i 3D ispisa.

ZADATAK URUČEN

30.8.2024.



Beut

HERON
ALISBRAND

Sveučilište
Sjever



SVEUČILIŠTE
SIEVER

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, GORDAN JAGACIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog/specijalističkog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom MODELIRANJE I 3D ISPIS ORGANIZATORA ZA STOJE S KUHOTI?M (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

GORDAN JAGACIĆ
G. Jagacić

(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 studiju 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.

Sažetak

Ovaj završni rad bavi se 3D modeliranjem i 3D ispisom organizatora za stol s logotipom Sveučilišta Sjever korištenjem moderne aditivne tehnologije. Naglasak je stavljen na FDM (*Fused Deposition Modeling*) tehnologiju zbog njene pristupačnosti, ekonomičnosti i širokih mogućnosti primjene. Rad detaljno opisuje sve faze procesa – od početnog dizajna modela u *Blender* softveru, pripreme datoteka za ispis, do samog 3D ispisa i završne obrade. Analiziraju se različiti materijali koji se koriste u FDM tehnologiji, kao i njihove mehaničke osobine i prikladnost za različite primjene. Eksperimentalni dio uključuje praktičnu izradu prototipa organizatora koristeći softver *Blender* i vlastiti 3D pisac *Ender 3 Pro*. Cilj rada je pružiti sveobuhvatan pregled FDM tehnologije, istaknuti njene prednosti i nedostatke, te istražiti njen potencijal u kontekstu brze izrade prototipova i malih serija proizvoda. Ovim radom nastoji se demonstrirati praktična primjena 3D ispisa u obrazovnom okruženju i hobističkoj uporabi.

Abstract

This final paper focuses on 3D modeling and 3D printing of a desk organizer with the University North logo, using modern additive technology. The emphasis is placed on FDM (Fused Deposition Modeling) technology due to its accessibility, cost-effectiveness, and wide range of applications. The paper describes all phases of the process in detail – from the initial design of the model in Blender software, file preparation for printing, to the actual 3D printing and post-processing. Various materials used in FDM technology are analyzed, along with their mechanical properties and suitability for different applications. The experimental section includes the practical production of a prototype organizer using Blender software and the Ender 3 Pro 3D printer. The goal of this paper is to provide a comprehensive overview of FDM technology, highlight its advantages and disadvantages, and explore its potential in the context of rapid prototyping and small batch production. This paper aims to demonstrate the practical application of 3D printing in educational settings and hobbyist use.

Ključne riječi

- 3D ispis
- FDM tehnologija
- Aditivna proizvodnja
- Blender softver
- 3D modeliranje
- Stolni organizator
- Prototipiranje
- PLA filament
- Ender 3 Pro

Keywords

- 3D printing
- FDM technology
- Additive manufacturing
- Blender software
- 3D modeling
- Desk organizer
- Prototyping
- PLA filament
- Ender 3 Pro

Sadržaj

| | |
|----------------------------------------------------|----|
| 1. Uvod..... | 1 |
| 1.1. Aditivna proizvodnja..... | 2 |
| 1.2. Povijest i primjena aditivne tehnologije..... | 3 |
| 2. Osnovno o tehnologiji 3D ispisa..... | 5 |
| 2.1. Različite metode 3D ispisa..... | 7 |
| 2.2. Materijali za 3D ispis..... | 11 |
| 2.3. Vrste strukture FDM 3D pisača..... | 12 |
| 3. FDM tehnologija..... | 16 |
| 3.1. Pregled dijelova FDM 3D pisača..... | 17 |
| 3.2. Prednosti i nedostaci FDM tehnologije..... | 22 |
| 4. Eksperimentalni dio..... | 24 |
| 4.1. Modeliranje..... | 24 |
| 4.3. Priprema za 3D ispis..... | 55 |
| 4.4. Post-obrađivanje i primjena proizvoda..... | 63 |
| 5. Zaključak..... | 67 |
| 6. Literatura..... | 68 |
| 7. Popis slika..... | 70 |

1. Uvod

Tehnologija trodimenzionalnog (3D) ispisa, poznata i kao aditivna proizvodnja, revolucionarna je inovacija koja je promijenila način na koji možemo izrađivati predmete. Ova tehnologija pojavila se krajem prošlog stoljeća te omogućila stvaranje fizičkih predmeta iz digitalnih modela [2][5]. Razvoj 3D ispisa omogućio je proizvodnju složenih geometrijskih struktura koje se ne mogu lako postići tradicionalnim metodama, što ih čini idealnima za korištenje u različitim industrijama za brzu izradu prototipova i proizvodnju gotovih proizvoda. Iako postoje mnoge tehnike 3D ispisa, najčešće korištena je FDM (*Fused Deposition Modeling*) jer je isplativa i resursno učinkovita. FDM radi tako da topi materijal i taloži ga sloj po sloj kako bi se izgradio konačni objekt. Ova se metoda koristi u mnogim područjima; osim u industrijskoj proizvodnji, koristi se i u medicini, arhitekturi i obrazovanju [1][6].

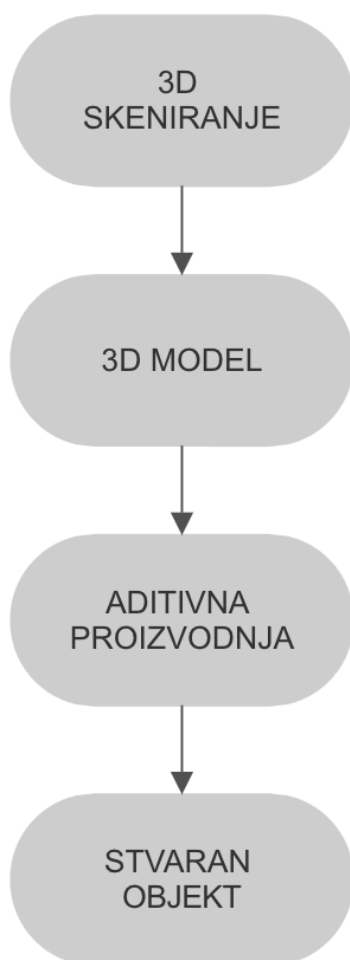
Cilj ovog rada je opisati proces dizajniranja i 3D ispisa stolnog organizatora koji nosi logotip Sveučilišta Sjever primjenom FDM tehnologije. Rad se sastoji od nekoliko važnih faza: osmišljavanja početnog dizajna pomoću softvera *Blender*, pripreme datoteke za ispis, ispisa stvarnog 3D objekta i naknadne obrade te testiranja proizvedenog organizatora za stol.

Eksperiment je srž rada i sastoji se od proizvodnje praktičnog prototipa organizatora na vlastitoj opremi – 3D pisaču *Ender 3 Pro*. Ovaj rad ima nekoliko ciljeva: opisati aditivnu tehnologiju i metode 3D ispisa s naglaskom na FDM tehnologiju, naglasiti njene prednosti i nedostatke te prikazati mogućnosti vezane za brzu izradu prototipova na praktičnom primjeru izrađenom na vlastitoj opremi.

1.1. Aditivna proizvodnja

Aditivna tehnologija, poznata i kao 3D ispis, revolucionarna je metoda proizvodnje koja podrazumijeva izgradnju trodimenzionalnih objekata dodavanjem slojeva materijala na temelju digitalnog modela [3]. Ova tehnologija ima mnoge prednosti u odnosu na tradicionalne metode proizvodnje zbog brzine, fleksibilnosti i male količine otpada, što je čini idealnom za primjenu u mnogim industrijama [1]. U dentalnoj medicini koristi se za izradu preciznih modela zuba, zrakoplovna i automobilska industrija koriste ovu tehnologiju za proizvodnju visoko preciznih dijelova, dok u arhitekturi i građevini služi za brzo stvaranje modela zgrada i prototipova [1][12].

Jedna od glavnih prednosti aditivne tehnologije brza je izrada predmeta koja smanjuje trošak i skraćuje fazu razvoja proizvoda [3][12].



Slika 1. Ciklus u aditivnoj proizvodnji (autorski rad)

1.2. Povijest i primjena aditivne tehnologije

Razvoj tehnologije 3D ispisa, koja se naziva i trodimenzionalnim ispisom, započela je u drugoj polovici 20. stoljeća u Sjedinjenim Američkim Državama, da bi sredinom 1980-ih godina počela značajnije napredovati i ulaziti u širu uporabu [4]. Za razliku od tradicionalnog 2D ispisa, koji stvara grafike na ravnim površinama, 3D ispis koristi materijale poput plastike ili metala kako bi sloj po sloj izgradio trodimenzionalne objekte prema digitalnim modelima. Charles Hull, pionir 3D ispisa, 1983. godine razvio je prvu uspješnu tehnologiju 3D ispisivanja – tehnologiju stereolitografije (SLA), koja je omogućila stvaranje objekata pomoću materijala koji očvršćuju na svjetlu [4][5]. Hullovo izum doveo je do komercijalizacije prvog 3D pisaa, SLA-1 prikazanog na slici ispod, kojeg je njegova tvrtka *3D Systems Corporation* predstavila 1987. godine [5].



Slika 2. Prvi komercijalni 3D pisaa SLA-1

Izvor: Researchgate,

https://www.researchgate.net/figure/Original-3D-printer-The-first-commercialized-3D-printer-the-SLA-1-in-1988-Reprinted_fig1_351034281 (datum pristupa: 11.09.2024.)

Ovaj izum bio je prekretnica jer je omogućio tvrtkama brzo i ekonomski isplativo stvaranje prototipova, što je dovelo do revolucionarnih promjena u procesu razvoja proizvoda [5]. Iako su 1980-e bile važno razdoblje za razvoj ove tehnologije, pravi komercijalni procvat i šira dostupnost 3D pisača dogodila se tek početkom 2010-ih, kada su pisači postali pristupačniji, a tehnologija prilagodljivija širokoj uporabi [6].

Od 2010-ih do danas, 3D ispis doživio je nevjerojatan napredak te je postao ključna tehnologija u raznim industrijama. U međuvremenu, pisači su postali još pristupačniji, a dostupnost različitih materijala, uključujući metale, keramiku i biokompatibilne materijale, proširila je njihovu primjenu. Istodobno, kućni i hobi 3D pisači poput modela prikazanog na slici, postali su široko dostupni, što omogućuje korisnicima da u radnoj okolini svog doma stvaraju predmete [6][7].

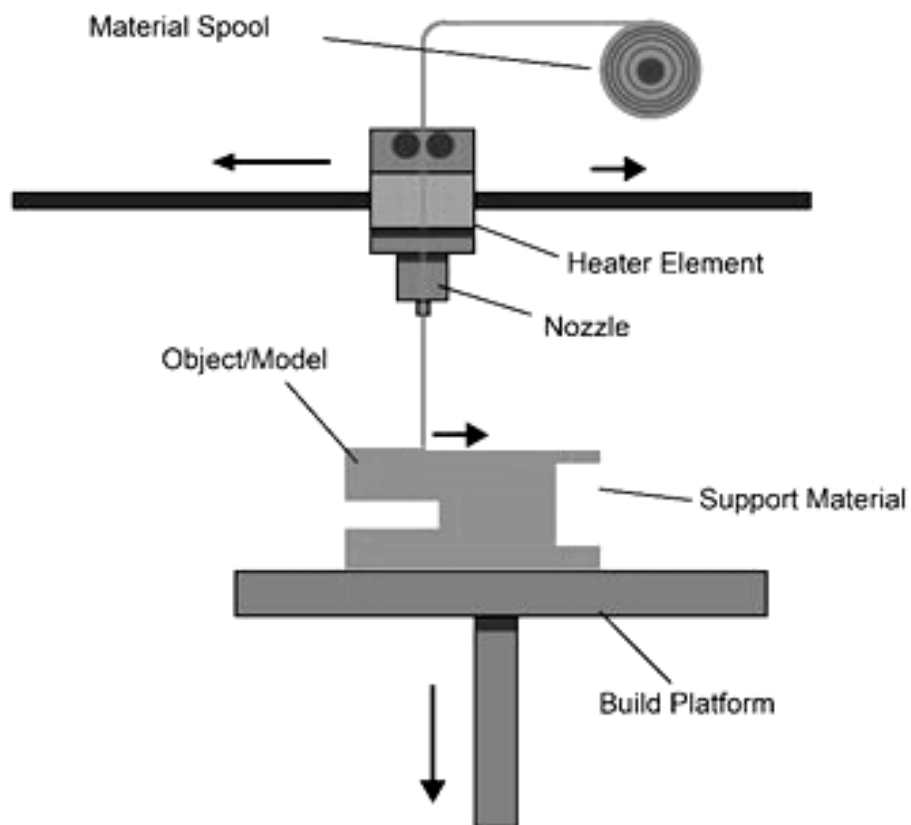


Slika 3. 3D pisac Prusa MK4S – primjer modernog, komercijalno dostupnog i pristupačnog pisača

Izvor: Prusa, <https://www.prusa3d.com/product/original-prusa-mk4s-3d-printer-5/> (datum pristupa: 11.09.2024.)

2. Osnovno o tehnologiji 3D ispisa

Jedno od temeljnih načela tehnologije 3D ispisa je oslanjanje na digitalni dizajn za stvaranje fizičkih objekata. Ovaj proces počinje stvaranjem digitalnog modela, obično generiranog iz softvera za 3D modeliranje ili podataka iz 3D skenera [7]. Nakon što je digitalni model stvoren, najčešće se pretvara u format „čitljiv” 3D pisaču *slicer* softverom koji prevodi geometrijski oblik objekta u strojni jezik [23]. 3D pisac zatim konstruira objekt sloj po sloj duž tri osi – x , y i z , kako bi točno reproducirao unaprijed definiranu širinu, duljinu i visinu modela [23]. Tijekom procesa ispisa, pisac topi ili hladi odabrani materijal, najčešće plastični filament u FDM tehnologiji, te ga istiskuje kroz mlaznicu. Otopljena plastika skrućuje se gotovo odmah nakon izlaska iz mlaznice i formira predmet sloj po sloj [8]. Svaki je sloj nastao na temelju preciznih koordinata, koje se prenose u obliku naredbenih linija, obično poznatih kao računalno numeričko upravljanje (CNC), što omogućuje realizaciju složenih geometrijskih oblika i detalja. Kako bi osigurali da se konačan model ispravno isprinta, potrebno je precizno postaviti različite parametre poput temperature, visine sloja i brzine ispisa [9][23].



Slika 4. Prikaz postupka 3D ispisa metodom Fused Filament Fabrication

Izvor: ResearchgATE,

https://www.researchgate.net/figure/FDM-3D-Printing-Diagram_fig1_344768624

(datum pristupa: 11.09.2024.)

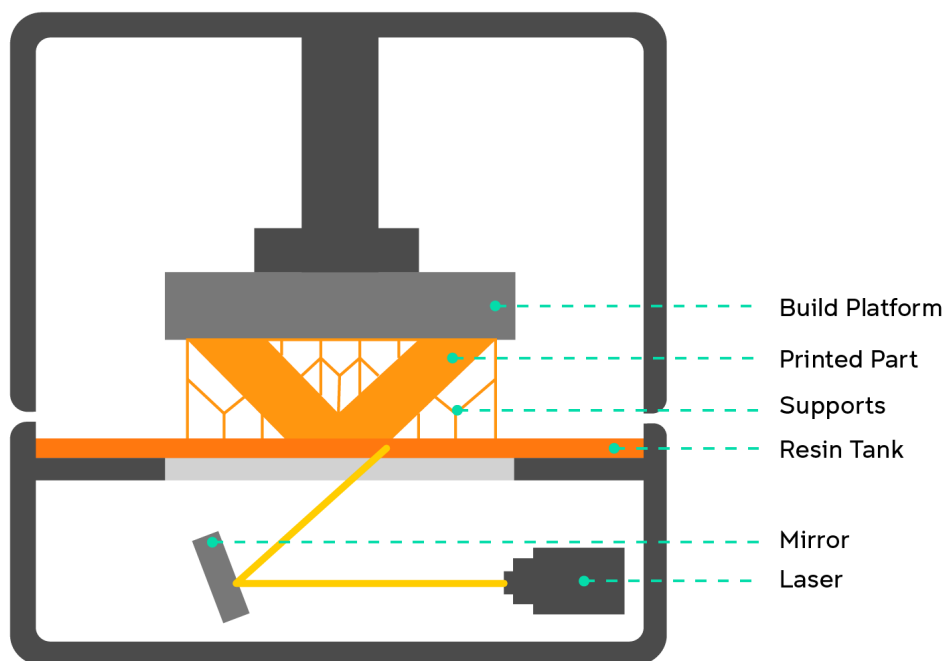
2.1. Različite metode 3D ispisa

Tri metode 3D ispisa – FDM, SLA i SLS, mogu se koristiti ovisno o složenosti, vrsti materijala i specifičnoj namjeni printanog objekta.

Stereolitografija (SLA) jedna je od široko korištenih metoda i najprikladnija je za izradu objekata bogatih detaljima. SLA uključuje korištenje ultraljubičastog lasera za skrućivanje tekuće smole u stvrdnutu plastiku sloj po sloj, što je čini odličnim odabirom za prototipove složenije geometrije ili one koji zahtijevaju fine detalje [10].

Druga popularna metoda je *Fused Deposition Modeling* (FDM), poznata po svojoj svestranosti i niskoj cijeni. U FDM tehnologiji predmet se gradi ekstrudiranjem termoplastičnih filamenata kroz grijanu mlaznicu sloj po sloj, a zbog jednostavnosti primjene popularna je u mnogim industrijama [11].

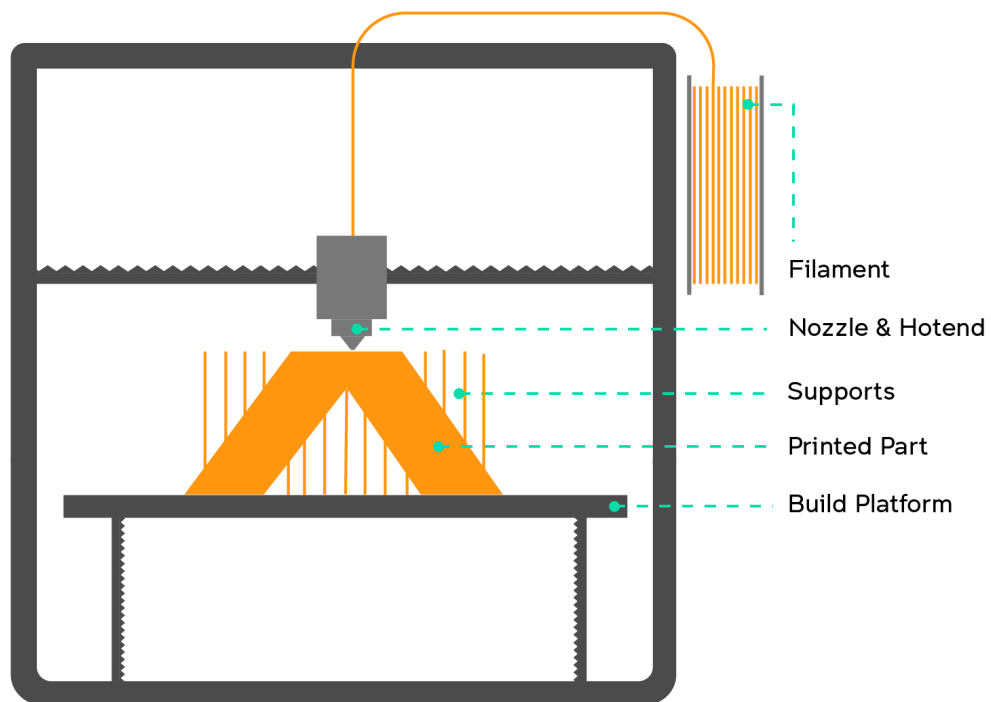
Naposljetku, selektivno lasersko sinteriranje (SLS) koristi laser za sinteriranje čvrstih najlonskih dijelova koji se nalaze u prahu. Temelji se na stvaranju struktura od praškastog materijala pomoću laserskog izvora topline. Laser visoke energije skenira površinu praha prema dizajnu iz softvera za modeliranje, zagrijavajući i sinterirajući čestice praha točno na željenim mjestima. Kada laser skenira određeno područje, čestice praha stope se u čvrstu masu, dok okolni prah ostaje nepovezan. Prah koji se koristi za izradu predmeta može biti od metala, stakla, keramike ili ostalih kompozitnih materijala [12].



Slika 5. Prikaz SLA tehnologije

Izvor: UNSW Making, <https://www.making.unsw.edu.au/learn/3d-printing-with-sla-resin-printers/>

(datum pristupa: 11.09.2024.)

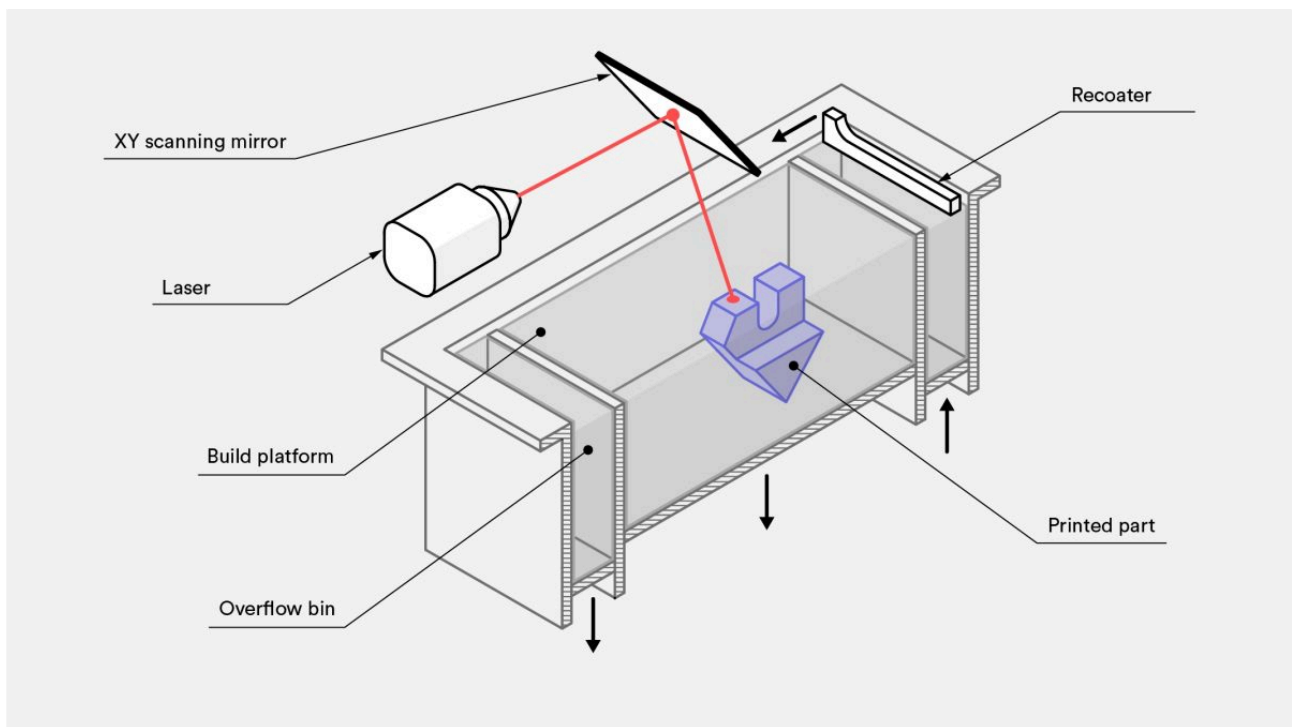


Slika 6. Prikaz FDM tehnologije

Izvor: UNSW Making,

<https://www.making.unsw.edu.au/learn/3d-printing-with-fdm-and-thermoplastics/>

(datum pristupa: 11.09.2024.)



Slika 7. Prikaz SLS tehnologije

Izvor: Protolabs Network, <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-sls-3d-printing/>

(datum pristupa: 11.09.2024.)

2.2. Materijali za 3D ispis

Kada je riječ o materijalima koji se koriste pri 3D ispisu, termoplasti igraju ključnu ulogu zbog sposobnosti da pod utjecajem temperature mijenjaju toplinsko stanje iz krutog u tekuće, a zatim u viskozno [8]. Filamenti, kao što su PLA, PETG i ABS, jedan su od najčešće korištenih tipova termoplasta u 3D ispisu jer su jednostavni za korištenje i povoljni [7][13]. Filament se zagrijava i izlazi van kroz ispisnu glavu te se na taj način stvaraju objekti[8]. Ovaj proces poznat je kao FDM (*Fused Deposition Modeling*) ili FFF (*Fused Filament Fabrication*). Izbor filamentnih materijala uglavnom ovisi o vrsti pisača i o svrsi tiskanog objekta [18]. Na primjer, fleksibilni filamenti poput TPU-a sve su popularniji za inženjerske, medicinske i umjetničke projekte zbog fleksibilnosti i čvrstoće, što ga čini idealnim za ispise velikih opterećenja [14]. Upravo zbog raznolikosti svojstava različitih materijala, važno je odabrati odgovarajuću vrstu plastičnog filameta za postizanje željenih rezultata u 3D ispisu.



Slika 8. Fleksibilnost i čvrstoća TPU filameta

Izvor: Townsend Chemicals, <https://www.townsendchem.com.au/tpu-filament-for-3d-printing/>

(datum pristupa: 11.09.2024.)



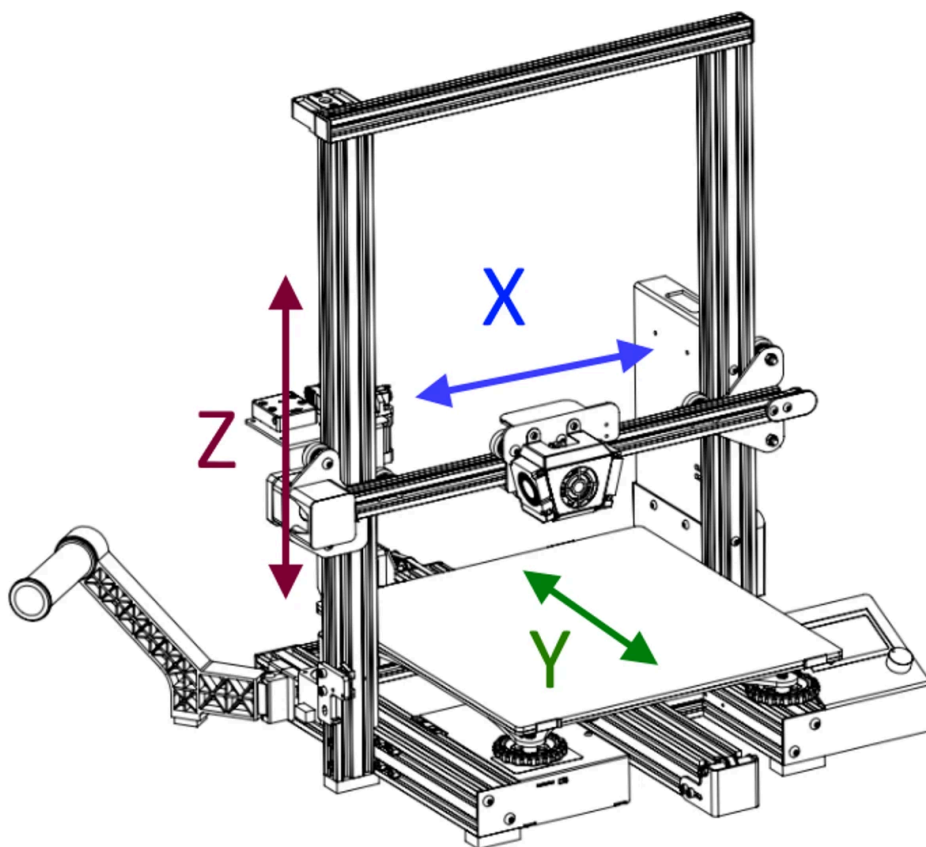
Slika 9. Prikaz različitih filamenata na rolama za 3D ispis (autorski rad)

2.3. Vrste strukture FDM 3D pisača

Postoje tri glavne vrste strukture FDM 3D pisača – kartezijski, delta i CoreXY, a međusobno se razlikuju prema načinu kretanja osi i mehaničkim rješenjima. Svaka od ovih vrsta pisača ima određene prednosti i nedostatke u pogledu brzine i preciznosti.

Kartezijski 3D pisači predstavljaju najčešće korištenu vrstu FDM/FFF pisača, a funkcioniraju na principu preciznog linearnog kretanja po x , y i z osi. Ovi pisači koriste ekstruzijsku glavu povezanu s motorima, što joj omogućuje kretanje duž svih triju osi dok izbacuje sitne niti rastopljene plastike. Zbog svojih jednostavnih linearnih pokreta, kartezijski pisači se razlikuju od drugih vrsta po tome što za pozicioniranje mlaznice u odnosu na podlogu koriste jednostavne pravocrtne kretnje. U većini slučajeva, gibanje po jednoj osi potpuno je neovisno o gibanjima po ostalim osima (svaka os ima svoj motor). Zbog toga kartezijski pisači često imaju četvrtasti ili kutijasti izgled.

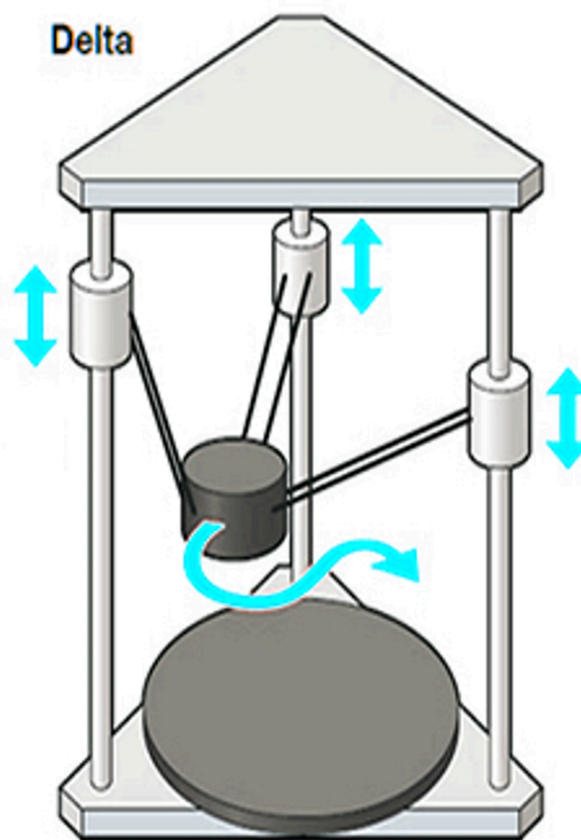
Ova vrsta pisača ima mnoge prednosti, poput niske cijene, jednostavnosti korištenja i nadogradnje te popravka. Osim toga, zbog široke podrške korisničke zajednice, prilagođena je i početnicima i profesionalcima [15].



Slika 10. Kartezijanski 3D pisac

Izvor: 3DPros, <https://3dpros.com/guides/fdmreference-drivesystem> (datum pristupa: 11.09.2024.)

Delta 3D pisači, s druge strane, koriste jedinstvenu baznu strukturu s kružnim područjem ispisa i koordiniranim kretanjem ruku koje podržavaju ispisnu glavu. Ovi pisači su jedinstveni po tome što njihova konstrukcija obično uključuje tri vertikalna elementa, što im daje izgled uspravne prizme. Ovakva struktura omogućuje brzi ispis bez žrtvovanja kvalitete, a osobito su prikladni za izradu visokih objekata zbog svoje stabilnosti. Delta pisači ističu se izvanrednom brzinom ispisa i glatkim radom, zahvaljujući usmjerenom kretanju ruku koje smanjuje rezonanciju. Međutim, ovi pisači imaju i nekoliko nedostataka, kao što su manja površina za ispis te teži popravci i nadogradnje [15].



Slika 11. Delta 3D pisac

Izvor: 3DPros, <https://3dpros.com/guides/fdmreference-drivesystem> (datum pristupa: 11.09.2024.)

CoreXY 3D pisači, prvi put razvijeni 2013. godine od strane inženjera s MIT-a, koriste sofisticirani mehanizam za kretanje ispisne glave u x i y smjeru pomoću sustava remena i remenica[15]. Dva motora upravljaju remenicama, omogućujući precizno pozicioniranje ispisne glave. Raspored remenica, kao prikazan na slici, omogućuje precizno i glatko kretanje, čime se smanjuju moguće pogreške u ispisu i dobiva brzina ispisa. Struktura CoreXY pisača omogućuje ispis velikom brzinom uz minimalne vibracije, zahvaljujući laganom dizajnu pokretnih dijelova koji smanjuju inerciju. Ova značajka čini ih pogodnima za izradu detaljnih ispisa sa sitnim detaljima, pri čemu stabilnost i preciznost igraju ključnu ulogu. CoreXY pisači su iz tog razloga idealni za modele koji zahtijevaju visoku razlučivost i složenu geometriju [15].

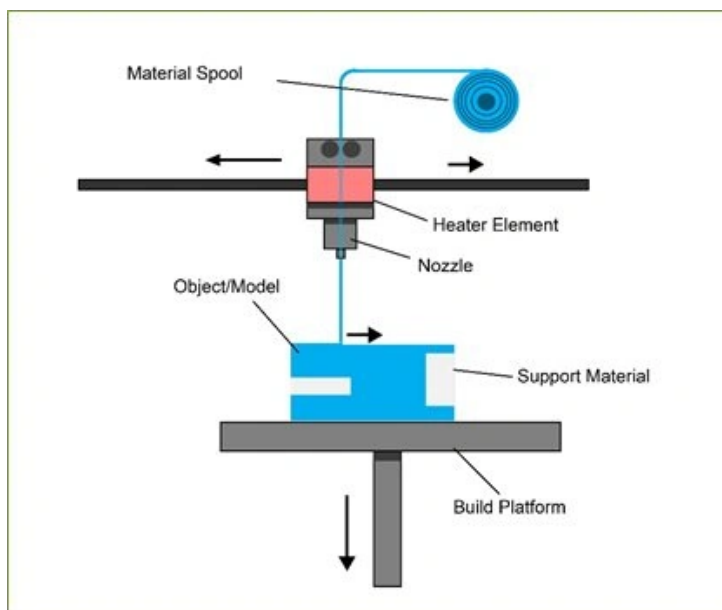


Slika 12. CoreXY 3D i raspored remenica

Izvor: 3DPros, <https://3dpros.com/guides/fdmreference-drivesystem> (datum pristupa: 11.09.2024.)

3. FDM tehnologija

Fused Deposition Modeling (FDM) je metoda široke primjene koja proizvodi dijelove koristeći industrijske plastomere. Ova jedinstvena značajka osigurava FDM-u posebno mjesto među ostalim tehnologijama 3D ispis jer omogućuje proizvodnju dijelova s dosljednim mehaničkim, toplinskim i kemijskim svojstvima, što jamči trajnost i funkcionalnost u različitim područjima primjene. Osim toga, FDM omogućuje inženjerima da osmisle dijelove koji su manje težine, ali još uvijek dovoljno strukturno čvrsti kako bi ispunili funkcionalne zahtjeve [24][16]. Tankoća slojeva utvrđenih FDM-om može doseći 0,05–0,4 mm, što povećava preciznost u proizvodnji, iako je potrebno obratiti posebnu pozornost na debljinu sloja i mehaničku otpornost jer su oni izravno proporcionalni. Zahvaljujući navedenim značajkama, FDM tehnologija igra ključnu ulogu u industrijskoj proizvodnji budući da je odlikuje preciznost, pouzdanost i ponovljivost koji su ključni za ispunjavanje suvremenih proizvodnih standarda [17][25].



Slika 13. CoreXY 3D

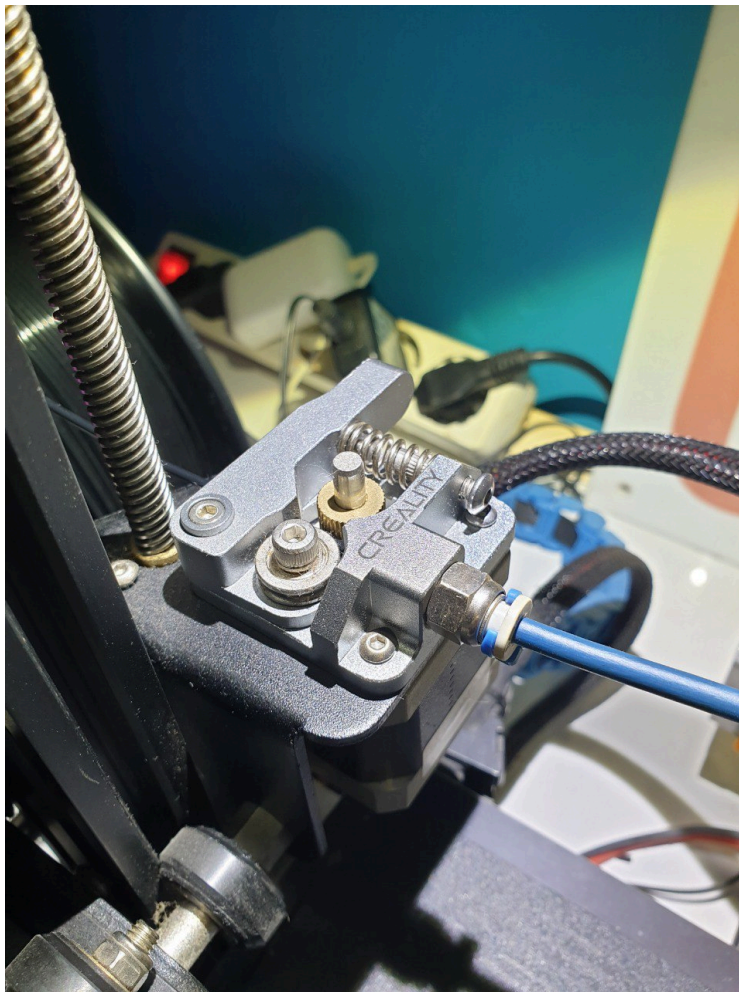
Izvor: ResearchGate,

https://www.researchgate.net/figure/The-process-of-creating-3D-models-using-FDM-technology-3_fig1_371778801

(datum pristupa: 11.09.2024.)

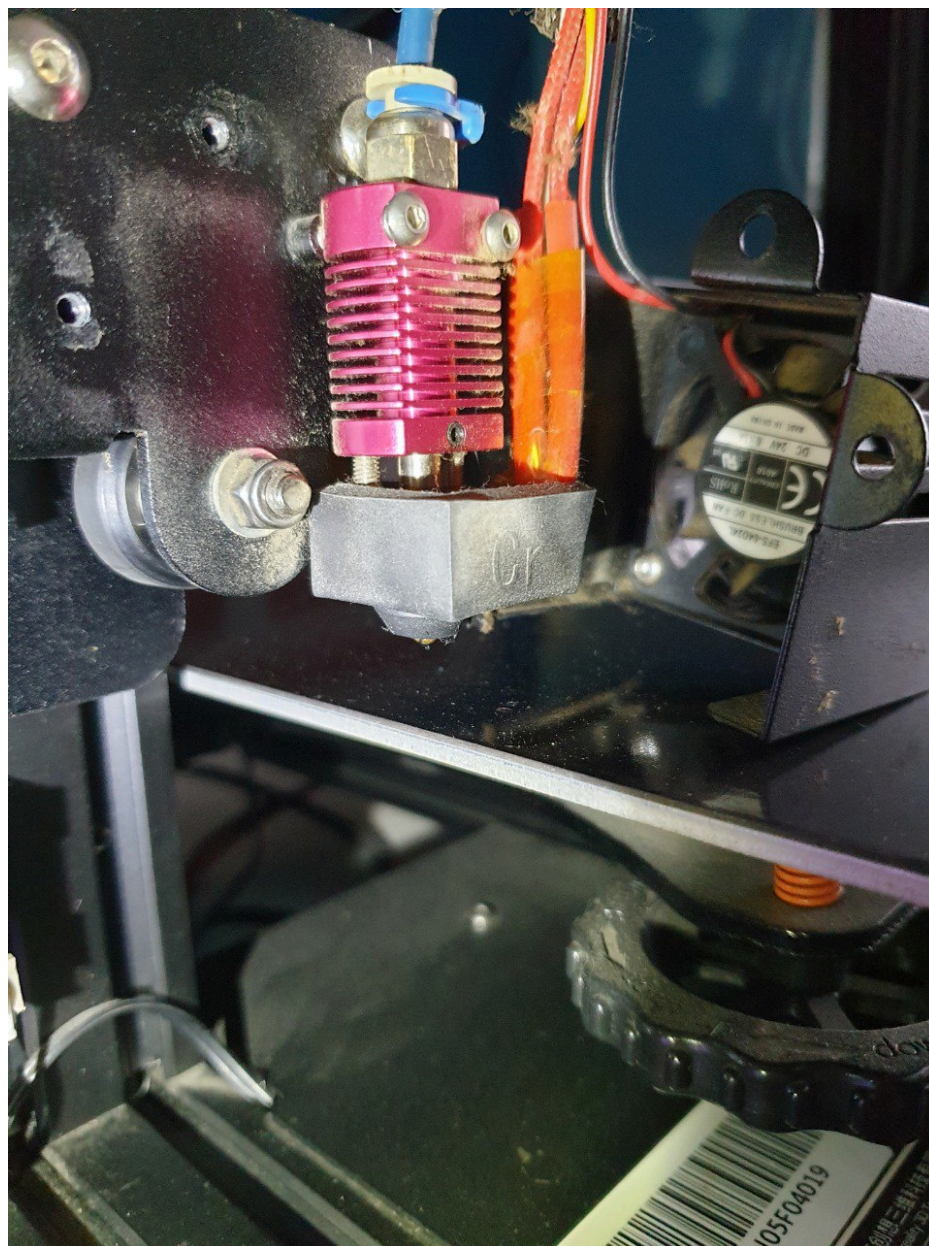
3.1. Pregled dijelova FDM 3D pisača

Glavni dijelovi FDM 3D pisača su ekstruder, hotend, podloga za ispis i matična ploča. Filament se na početku uvodi u pisač kroz ekstruder. Ekstruder je dio pisača koji pokreće motor precizno gurajući filament u hotend. Ekstruder, prema načinu na koji je povezan s hotendom možemo dijeliti na *direct drive*, pri čemu je izravno povezan s hotendom, ili Bowden ekstruder, koji koristi fleksibilnu cijev za povezivanje ekstrudera s hotendom [18]. Na fotografiji prikazanoj ispod je vidljivo kako plava bowden cijev povezuje ekstruder s hotendom.



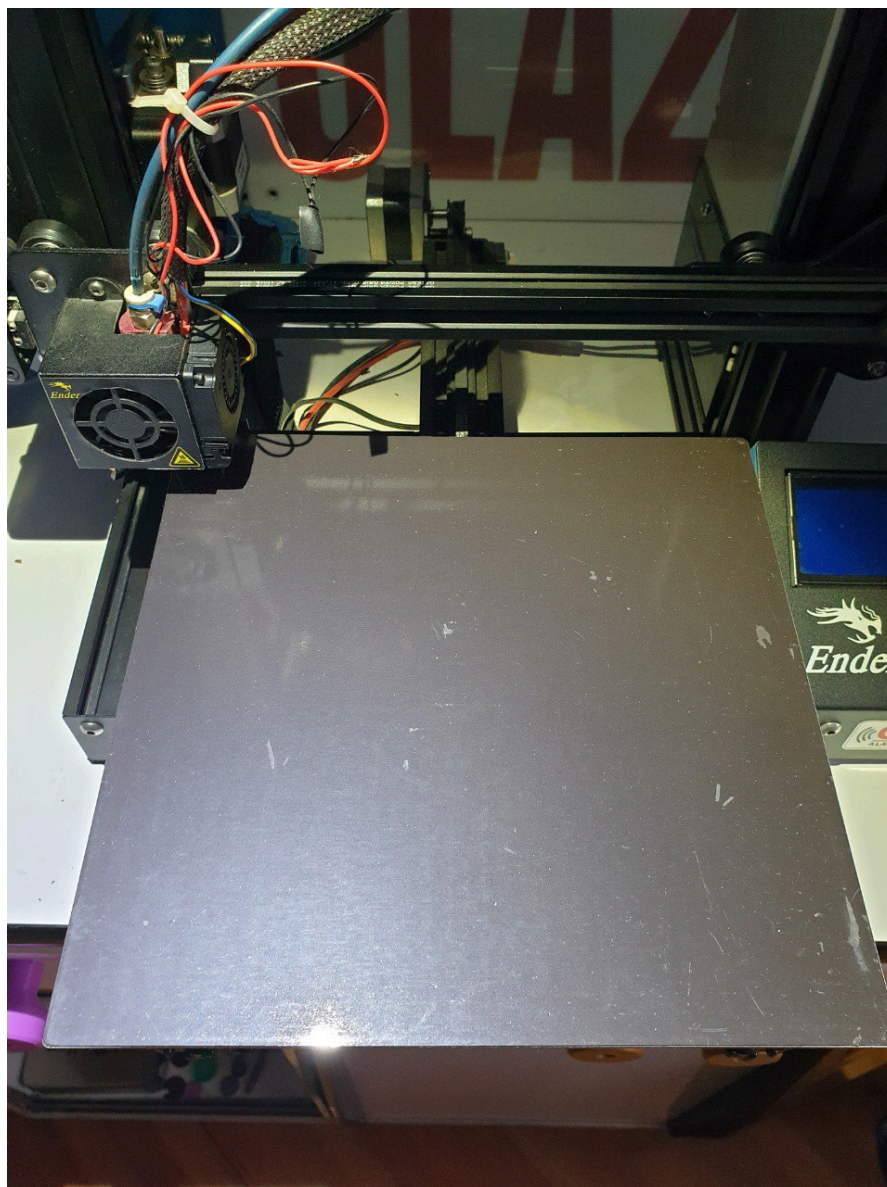
Slika 14. Ekstruder 3D pisača Ender 3 Pro (autorski rad)

Hotend je mjesto gdje se filament topi; sadrži grijač i termistor koji kontroliraju temperaturu. Rastopljeni filament zatim se ekstrudira kroz mlaznicu, mali, zamjenjivi dio koji određuje protok materijala, i u konačnici, utječe na rezoluciju i brzinu ispisa [18].



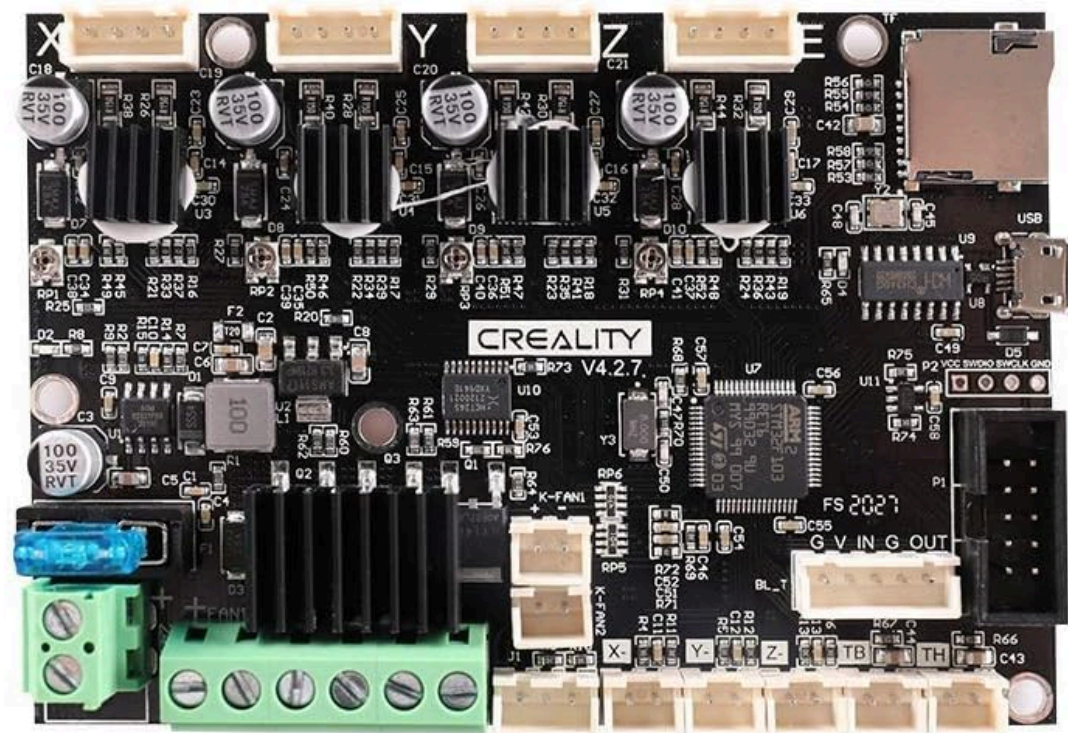
Slika 15. Hotend pisača Ender 3 Pro (autorski rad)

Podloga za ispis (*print bed*) služi kao temelj na kojem se objekt gradi. Ključno je da podloga ima dobru adheziju kako bi prvi sloj ispisa čvrsto prionuo [18]. Pisač prikazan na fotografiji, korišten za autorski projekt, ima grijanu podlogu koja omogućuje veću adheziju.



Slika 16. Podloga za ispis pisača Ender 3 Pro (autorski rad)

U središtu 3D pisača nalazi se matična ploča (*mainboard*), koja je odgovorna za kontrolu svih funkcija pisača. Matična ploča obrađuje G-kod naredbe, što su u stvari upute generirane softverom za rezanje (*slicing software*) koje diktiraju svaki pokret i ekstruziju pisača. Ove naredbe prenose se u pisač putem USB kabela, SD kartice ili, kod nekih modela, putem Wi-Fi veze [18]. Pisač *Ender 3 Pro*, korišten za autorski projekt, nadograđen je novom matičnom pločom koja omogućava tiši i glađi rad motora prikazanih na slikama.

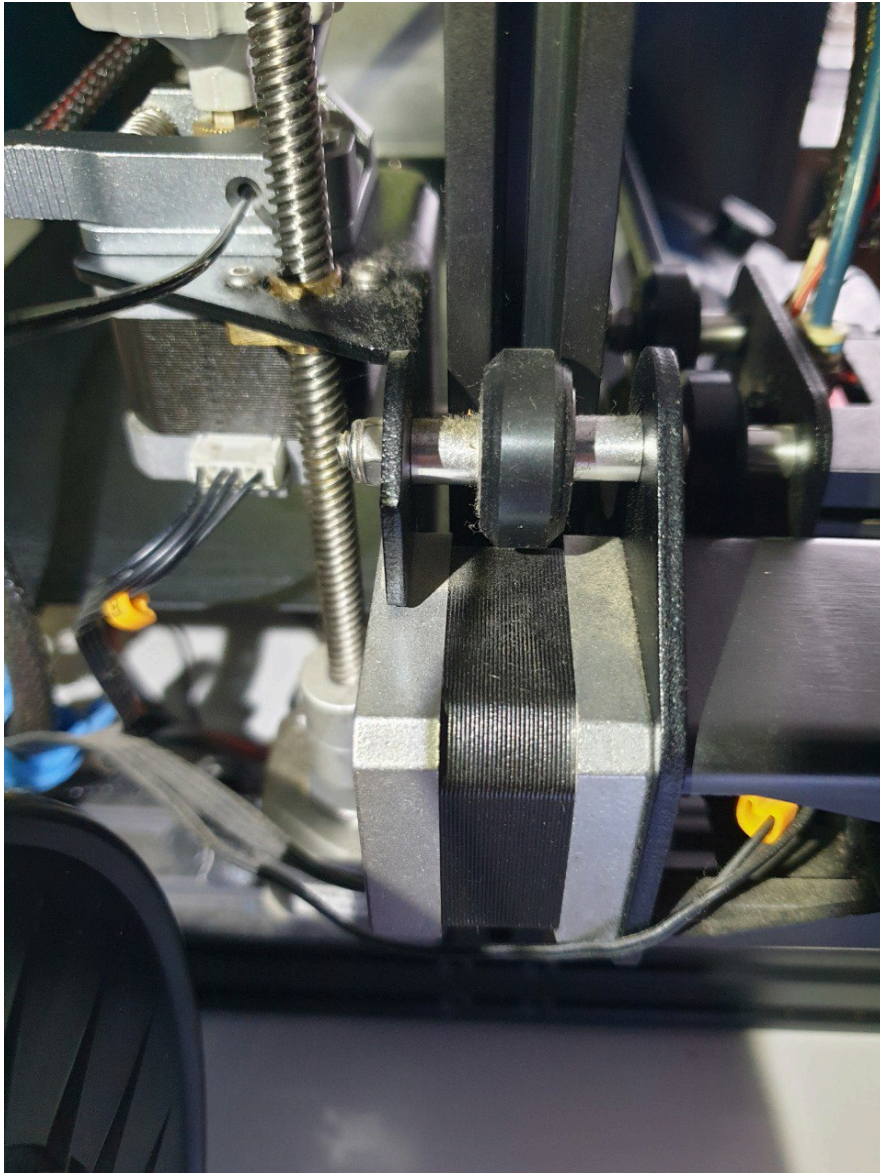


Slika 17. Nadograđena matična ploča *Silent Motherboard V4.2.7* koja je ugrađena u pisač

Izvor: Amazon,

<https://www.amazon.com/Crealty-3D-Upgrade-Motherboard-Mainboard/dp/B07TJNX4FB>

(datum pristupa: 11.09.2024.)



Slika 18. Motor koji pokreće x i z os (autorski rad)



Slika 19. Motor koji pokreće os y (autorski rad)

3.2. Prednosti i nedostaci FDM tehnologije

Jedna od značajnih prednosti *Fused Deposition Modeling* (FDM) tehnologije je niska cijena proizvodnje. To je ujedno i razlog zašto su FDM pisači danas postali najpopularnija opcija 3D ispisa [20]. Princip rada tehnologije temeljen je na lako dostupnim plastičnim filamentima niže cijene od ostalih materijala koji se koriste u drugim tehnologijama 3D ispisa. Zbog pristupačne cijene održavanja, idealan su izbor za hobi ili poduzeća. Korištenje FDM tehnologije omogućuje fleksibilniji i troškovno učinkovitiji način izrade prototipa i proizvodnje od tradicionalnih tehnika koje podrazumijevaju visoke troškove materijala i rada [19][20].

Raznolikost materijala koji se mogu koristiti u FDM tehnologiji također je jedna od prednosti. Plastični filamenti različitih svojstava mogu se upotrebljavati u izradi predmeta ovom

tehnologijom, što proširuje njenu primjenu [1]. Neki od tih materijala uključuju ABS (akrilonitril butadien stiren) za čvrste tvare otporne na toplinu, PLA (polilaktična kiselina) za ekološki prihvatljive biorazgradive proizvode i TPU (termoplastični poliuretan) za fleksibilne proizvode nalik gumi [17]. Šarolikost u izboru materijala pruža dizajnerima i inženjerima slobodu eksperimentiranja i prilagođavanja prototipova ovisno o potrebama koje krajnji proizvod mora zadovoljiti [20].

Postavljanje FDM pisača nije složeno, a korištenje ne zahtijeva nikakvu posebnu obuku, što je jedan od čimbenika koji utječe na odabir ove tehnologije. Nadalje, zbog jednostavnosti rukovanja i praktičnosti, FDM proces se može koristiti u različite svrhe, a osobito je pogodan za korištenje u obrazovnom okruženju [2]. Ukratko, FDM tehnologija prilagođena je korisnicima te široko dostupna, zbog čega je danas jedna od najkorištenijih tehnologija 3D ispisa [11].

Iako FDM tehnologija ima mnoge prednosti, postoje i određeni nedostaci koje treba uzeti u obzir, osobito kada postoje zahtjevi za visokom estetskom kvalitetom i preciznosti površinske obrade. Jedan od glavnih izazova kod FDM ispisa je slojevito taloženje materijala, što može rezultirati vidljivim linijama između slojeva [16]. Zbog toga je ovom tehnikom teže postići preciznost finih detalja i često je potrebna dodatna obrada kako bi proizvod dobio profesionalni završni izgled. Proces post-obrade, poput brušenja ili kemijskog zaglađivanja parom potrebni su za uklanjanje nepravilnosti i poboljšanje površine, što produžuje vrijeme i povećava troškove proizvodnje [21].

Također, FDM tehnologija nije uvijek prikladna za izradu sitnih i kompleksnih dijelova. Zbog standardne veličine mlaznice od 0,4 mm, detaljniji ispisi mogu biti problematični te je potrebno zamijeniti mlaznicu manjim promjerom (npr. 0,2 mm) kako bi se postigla veća preciznost. Međutim, čak i uz ovu zamjenu, FDM ne može nadmašiti preciznost koju nude tehnologije poput SLA ispisa na bazi smole, koji pruža znatno oštrije i preciznije detalje [10].

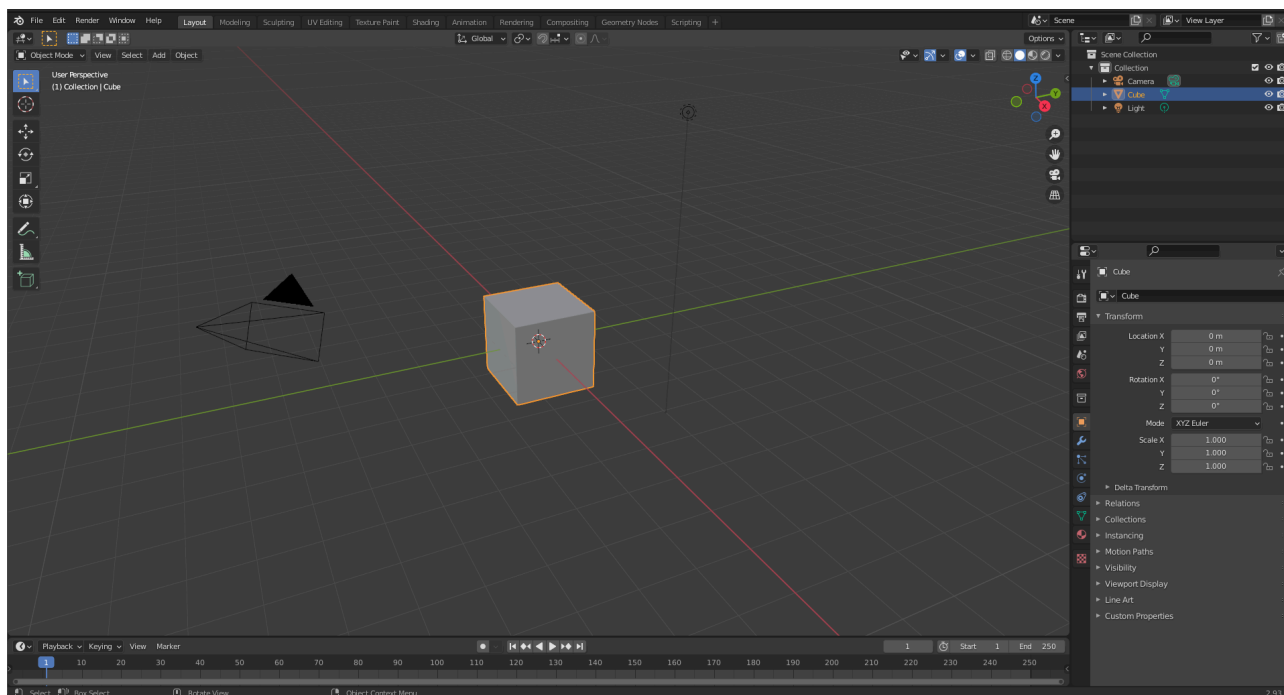
Još jedan nedostatak FDM ispisa je smanjena čvrstoća između slojeva, što može biti osobito problematično na mjestima gdje se slojevi spajaju. Iako se ovaj problem pojavljuje kod većine 3D tehnologija, kod FDM-a je izraženiji jer je čvrstoća veze između slojeva niža nego kod drugih metoda [18]. To može dovesti do većeg rizika od lomova i oštećenja pod opterećenjem [19].

4. Eksperimentalni dio

Projekt zadatak ovog rada sastoji se od 3D modeliranja i 3D ispisa držača za olovke s logotipom Sveučilišta Sjever. Držać za olovke dizajniran je s ciljem da bude funkcionalan, a ujedno može biti i promotivni proizvod Sveučilišta. Izrada je započela prikupljanjem dokumentacije za softver *Blender* i razrađivanjem ideja koje su kasnije pretvorene u digitalni model pomoću spomenutog softvera. Konačni fizički proizvod izrađen je 3D ispisom pomoću *Creativity Ender 3 Pro* FDM 3D pisača.

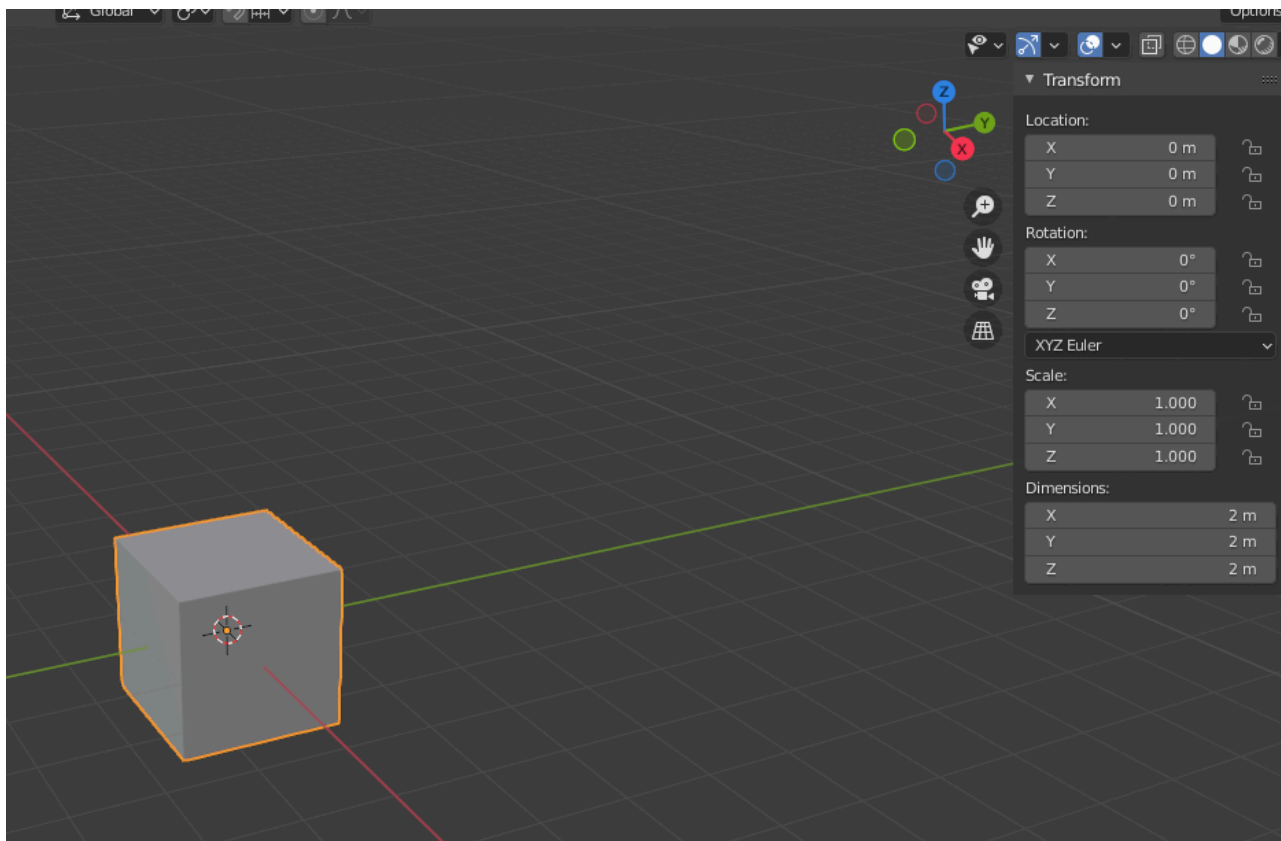
4.1. Modeliranje

Za korak modeliranja korišten je program za 3D modeliranje *Blender*. Kada otvorimo *Blender*, na ekranu su vidljive tri stavke: kamera, svjetlo i zadana kocka.



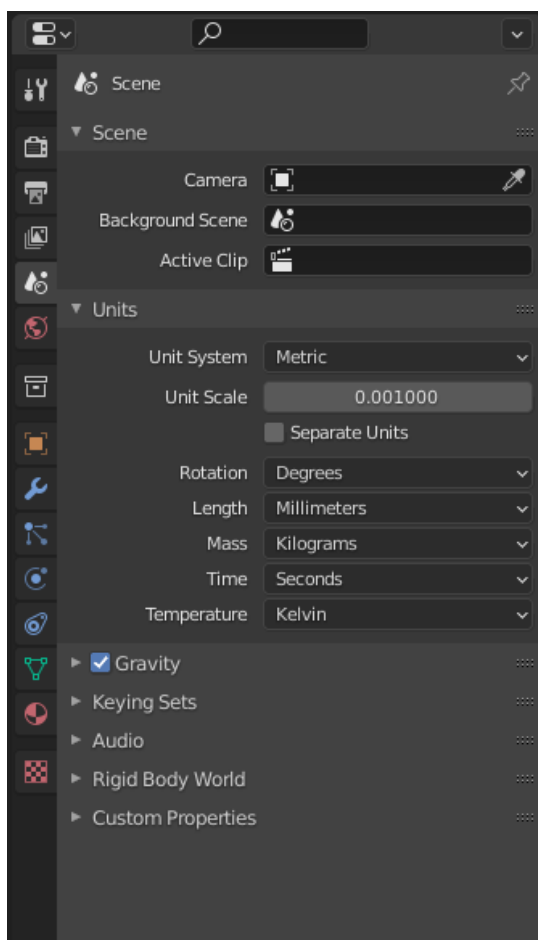
Slika 20. Početno sučelje programa Blender (autorski rad)

Za pregled detalja objekta, potrebno je pritisnuti *n* na tipkovnici. Pritiskom na slovo *n* otvara se panel na kojem možemo vidjeti sve detalje objekta, kao što su lokacija, rotacija, skala i dimenzije.



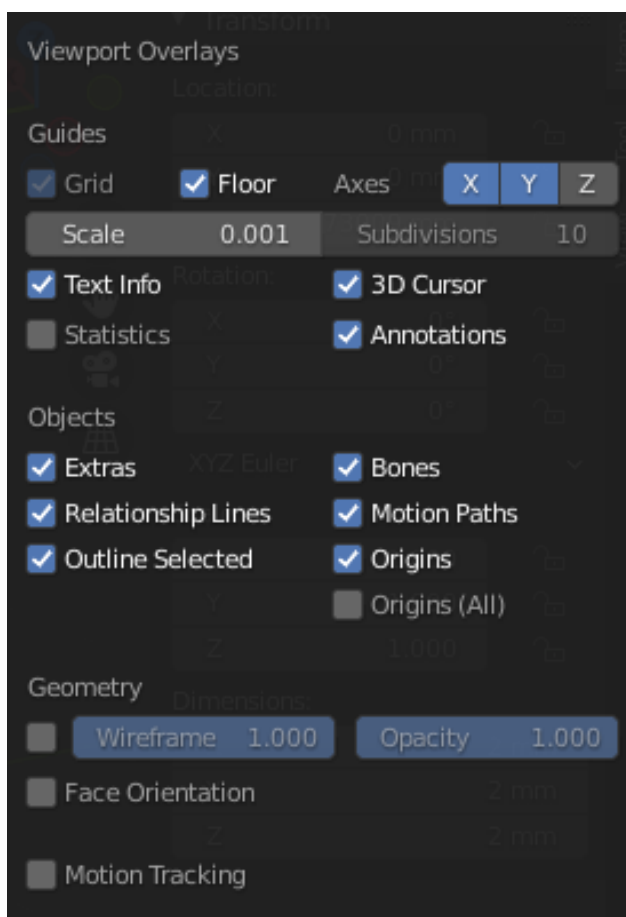
Slika 21. Izbornik koji prikazuje svojstva inicijalnog objekta (autorski rad)

Objekt na slici inicijalno je postavljen u mjernoj jedinici metar. Međutim, prilikom dizajniranja za 3D ispis, poželjno je raditi u milimetrima jer se 3D printeri služe tom jedinicom. Kako bismo promijenili mjernu jedinicu u *Blenderu*, potrebno je otvoriti postavke scene, odabrati opciju jedinice te za jedinicu duljine postaviti milimetar, dok je vrijednost skale jedinica potrebno prilagoditi na 0.001, kao što je vidljivo na niže priloženom prikazu.



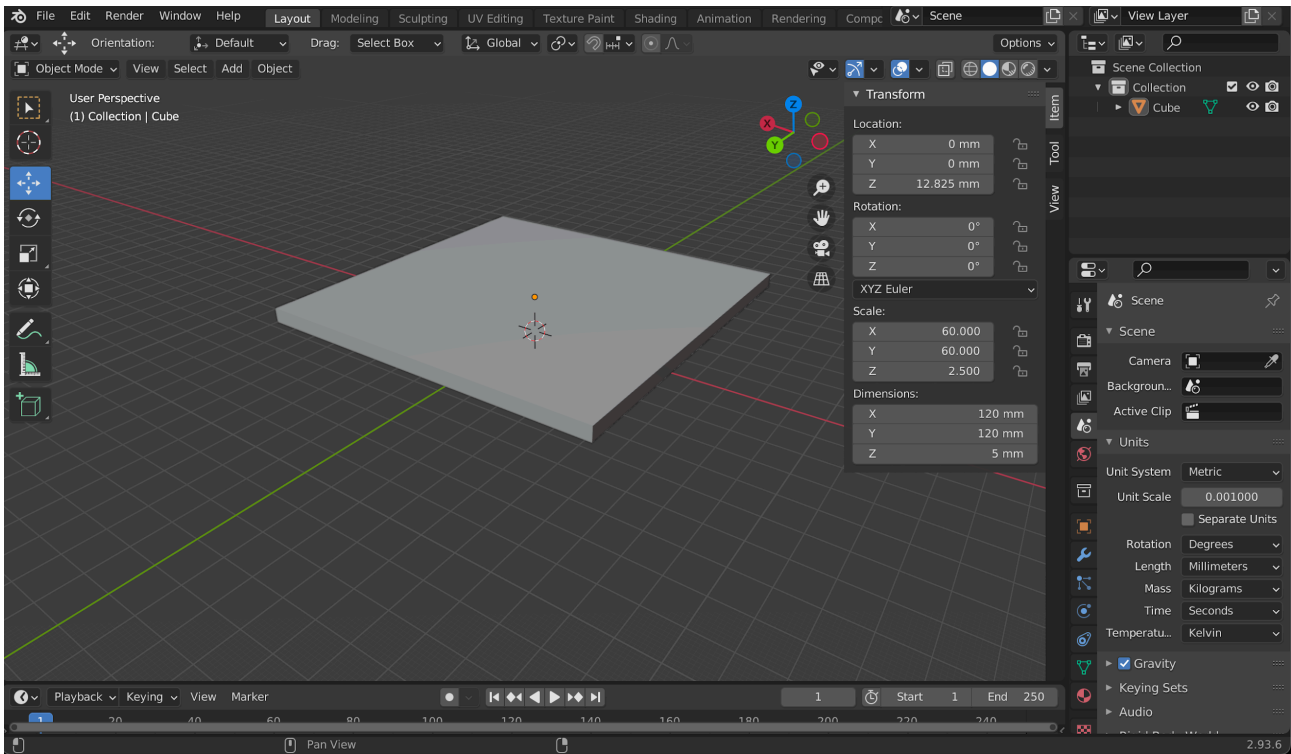
Slika 22. Modalni prozor Scene (autorski rad)

Nakon toga, mreža će nestati te će i nju biti potrebno skalirati. Za to je potrebno odabrati padajući izbornik *Viewport Overlays* i promijeniti skalu mreže na 0.001, kao što je vidljivo na niže priloženom prikazu. Nakon što su unesene ove promjene, mreža postaje odgovarajuće veličine te se može nastaviti s modeliranjem.



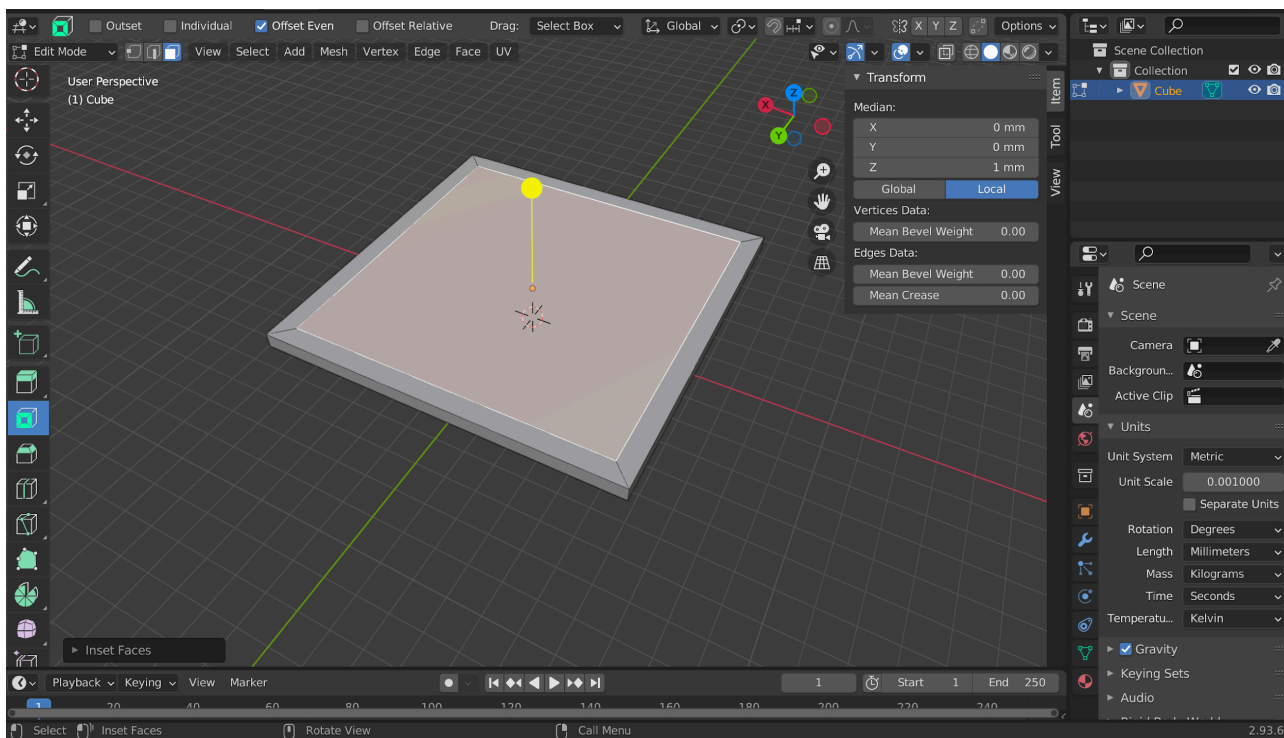
Slika 23. Izbornik *Viewport Overlays* (autorski rad)

Prvi korak u procesu modeliranja držača za olovke je postavljanje osnovne geometrije. U izborniku *Transform* potrebno je definirati dimenzije baze našeg organizatora. Za ovaj objekt, dimenzija baze je 120 mm x 120 mm, s debljinom od 5 mm. Niže prikazana baza predstavlja temeljni dio modela na kojem će se graditi okolne stranice organizatora.



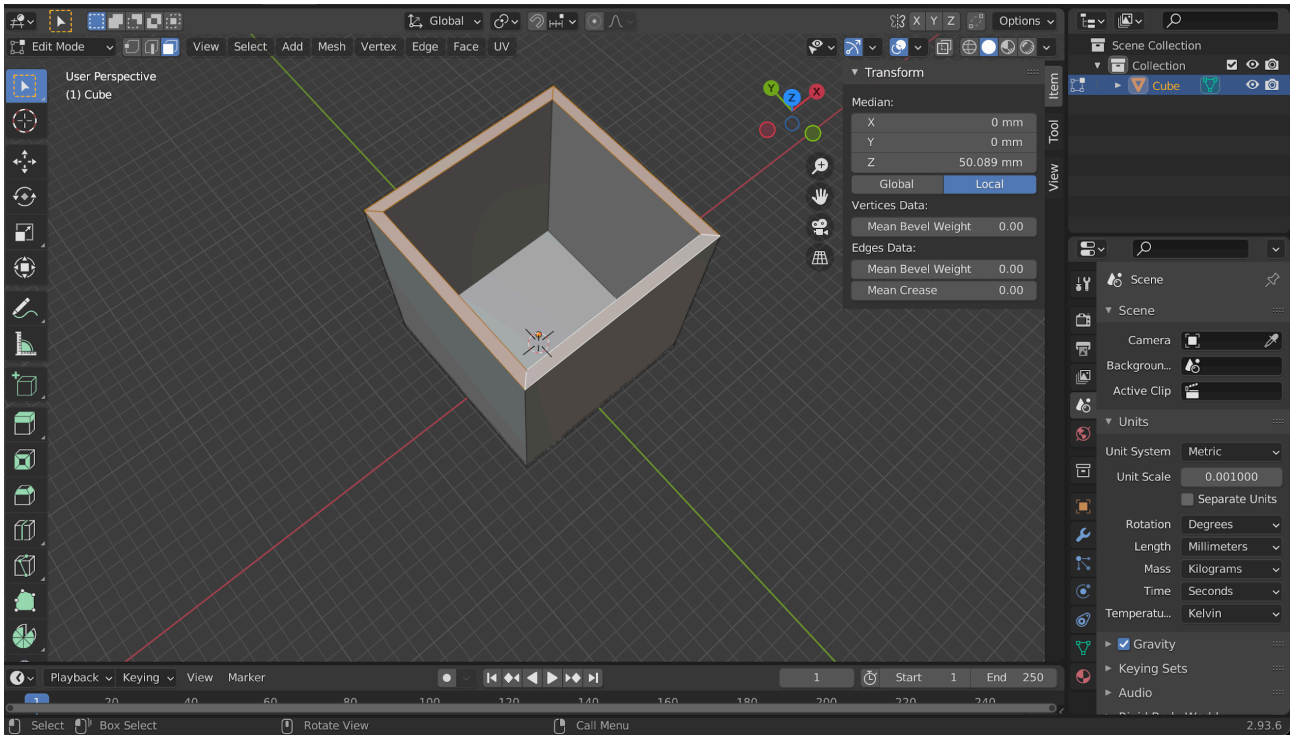
Slika 24. Baza organizatora za stol (autorski rad)

Nakon toga potrebno je otvoriti *Edit mode*, u kojem će biti oblikovani zidovi organizatora. Korištenjem *Inset Faces* alata unutar *Face Selection* moda, precizno se određuje koliko će zidovi biti uvučeni prema unutrašnjosti baze. Ovaj alat omogućava stvaranje rubova koji definiraju početne obrise zidova. Nakon što su definirane unutarnje granice, potrebno je odabrati sve rubove novoformiranih zidova.



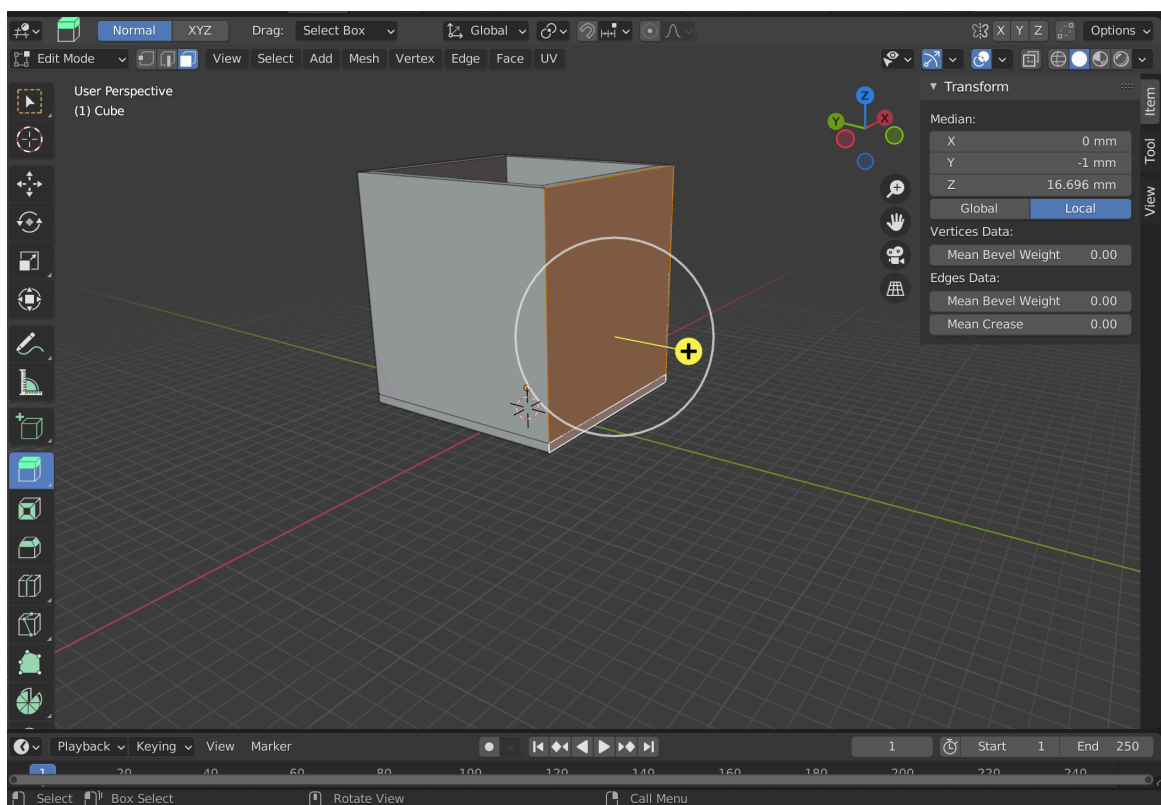
Slika 25. Alat *Inset Faces* (autorski rad)

Za izgradnju vertikalnih zidova, korišten je alat *Extrude* koji omogućava povlačenje odabranih rubova na željenu visinu. Time je osigurano da zidovi budu zadovoljavajuće visine kako bi omogućili stabilnost i funkcionalnost organizatora za stol s različitim odjeljcima, kao što su odjeljci za olovke, spajalice i slično. Nakon toga, potrebno je izvući rubove prema gore, čime se definiraju stranice organizatora, kao što je vidljivo na niže priloženom prikazu.

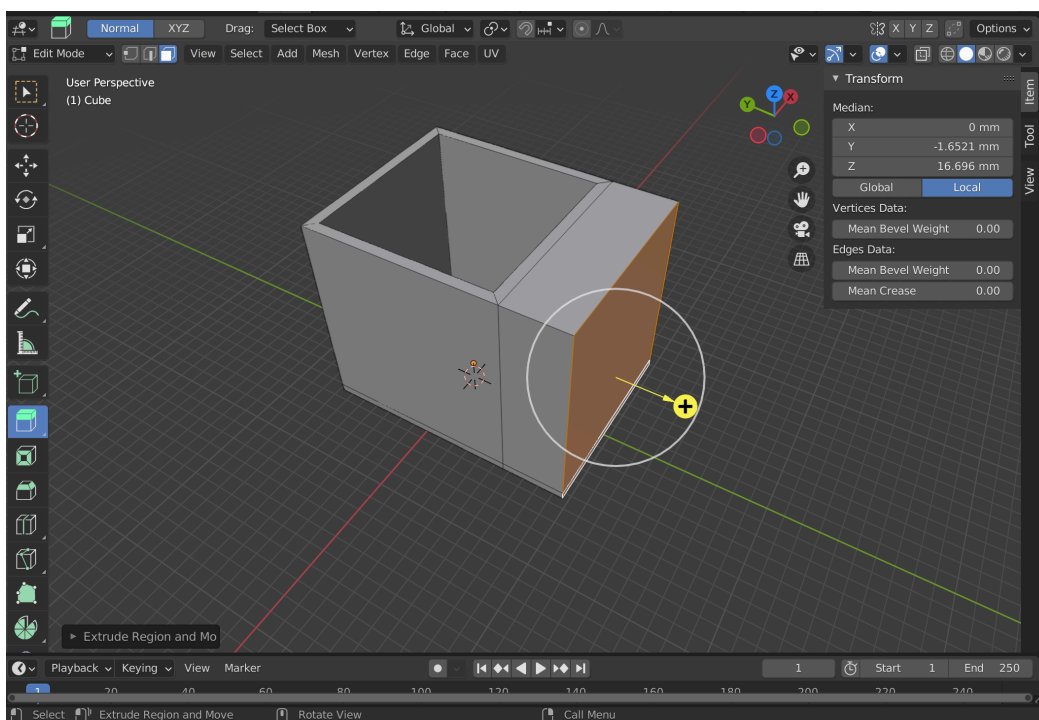


Slika 26. Korištenje alata *Extrude* (autorski rad)

Nakon što su kreirane osnovne stranice organizatora, potrebno je usredotočiti se na proširenje jedne stranice kako bi se stvorio dodatan prostor za odlaganje većih predmeta. Zatim treba odabrati bazu i stranicu organizatora, te ih pažljivo produljiti udesno pomoću *Extrude* alata, čime nastaje novi odjeljak organizatora za stol.

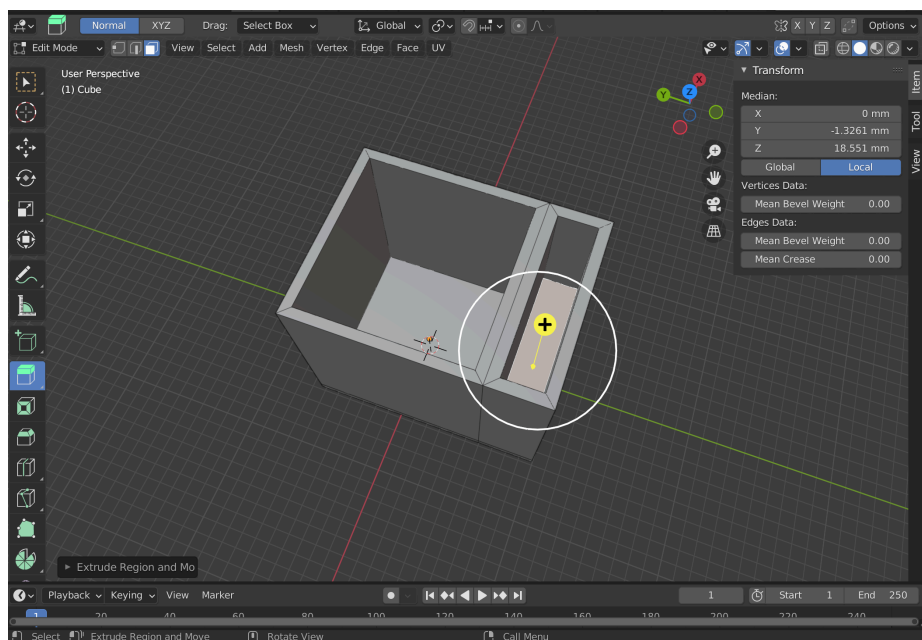


Slika 27. Selektiranje stranice organizatora i korištenje *Extrude* alata (autorski rad)



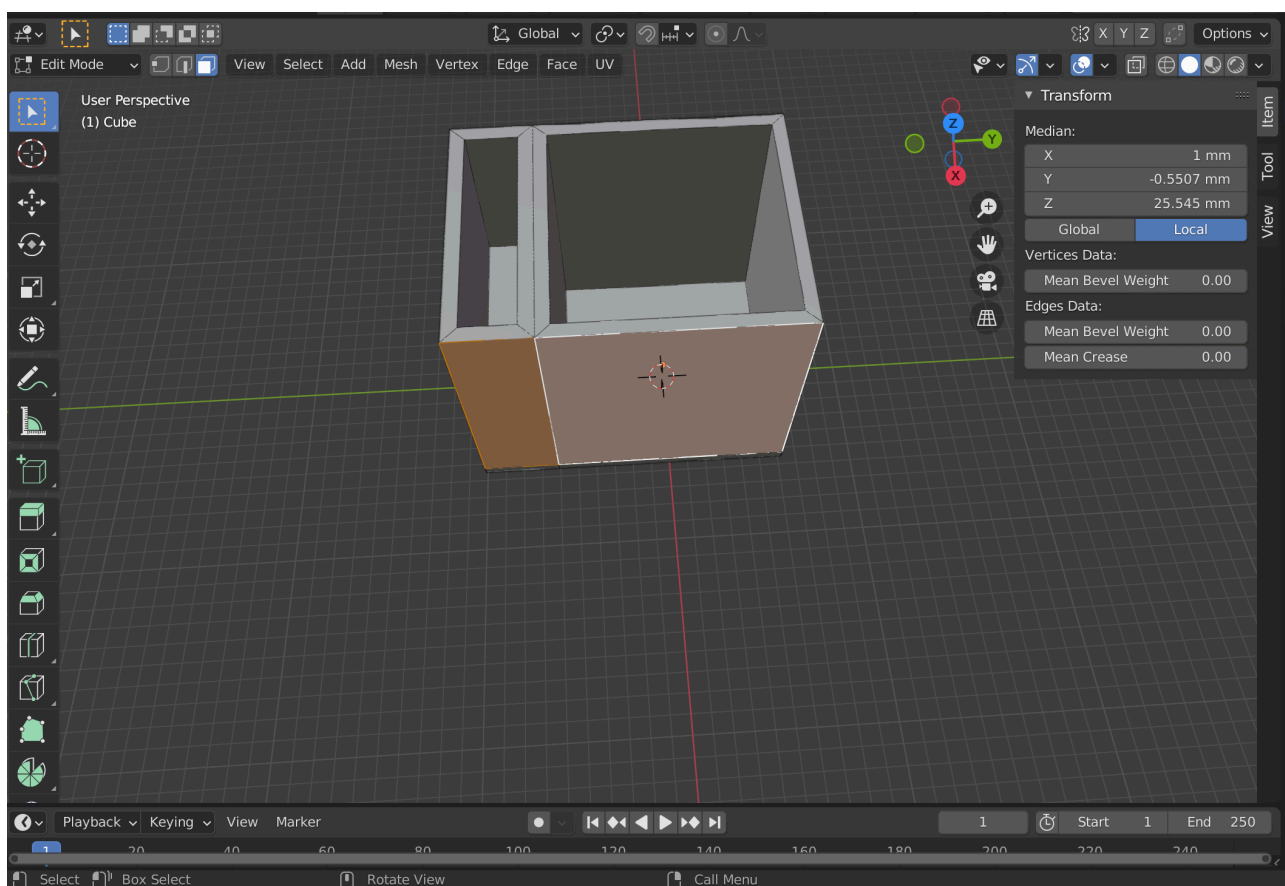
Slika 28. Kreiranje novog odjeljka za organizator (autorski rad)

Zatim, koristeći alat *Face selection*, ponovno kreiramo stranice te uz pomoć funkcije *Extrude* uvlačimo bazu novokreiranog odjeljka prema unutrašnjosti i podešavamo ga na željenu dubinu.

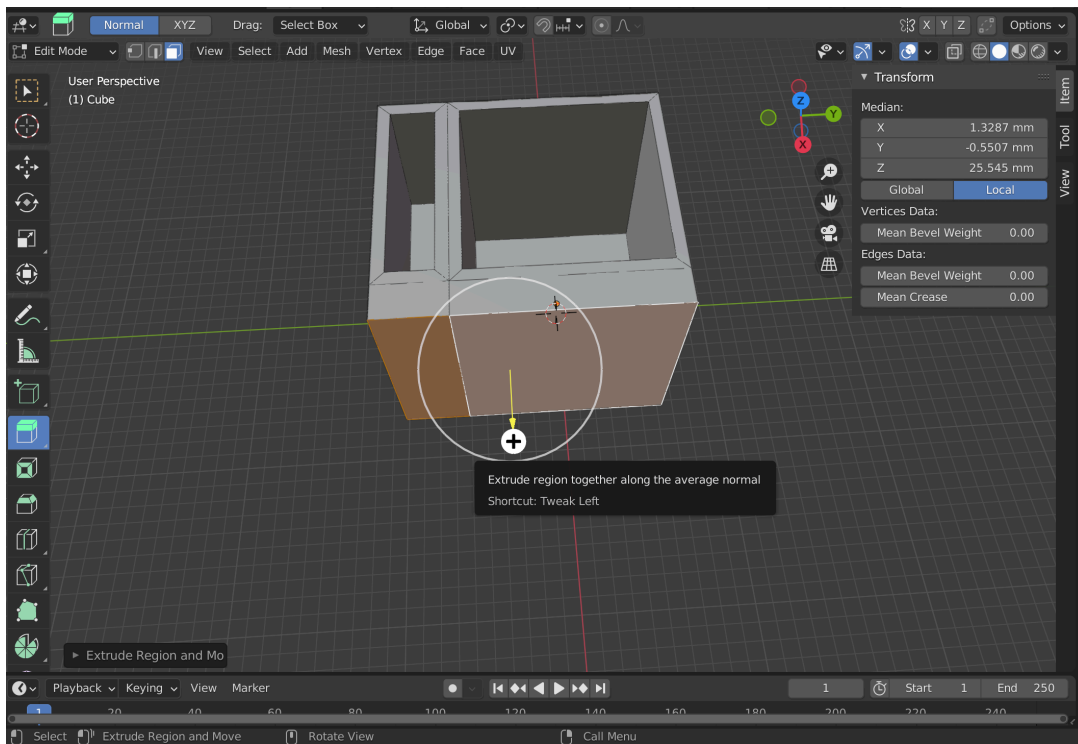


Slika 29. Uvlačenje baze prema unutrašnjosti uz pomoć *Extrude* alata (autorski rad)

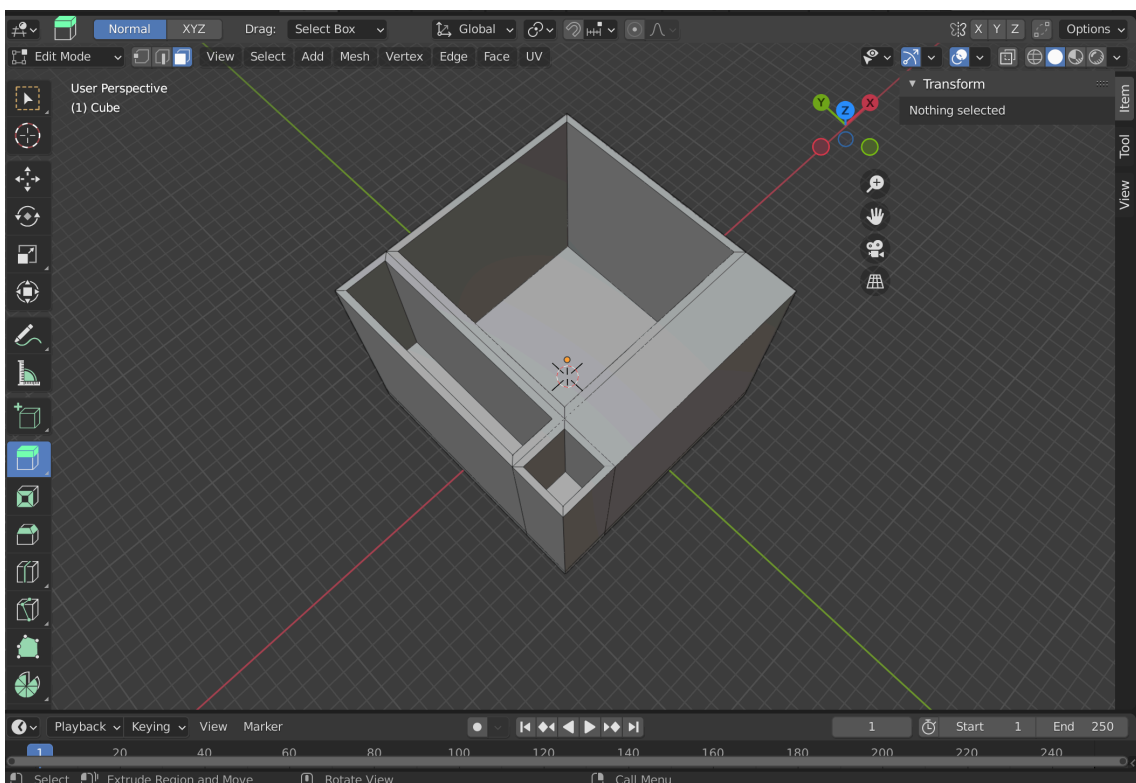
Prethodno navedeni postupak ponavlja se na drugoj strani modela, čime se stvara jedan duži i jedan manji prostor za pohranu.



Slika 30. Kreiranje novog odjeljka na drugoj strani organizatora (autorski rad)



Slika 31. Izvlačenje stranice prema van uz pomoć Extrude alata (autorski rad)

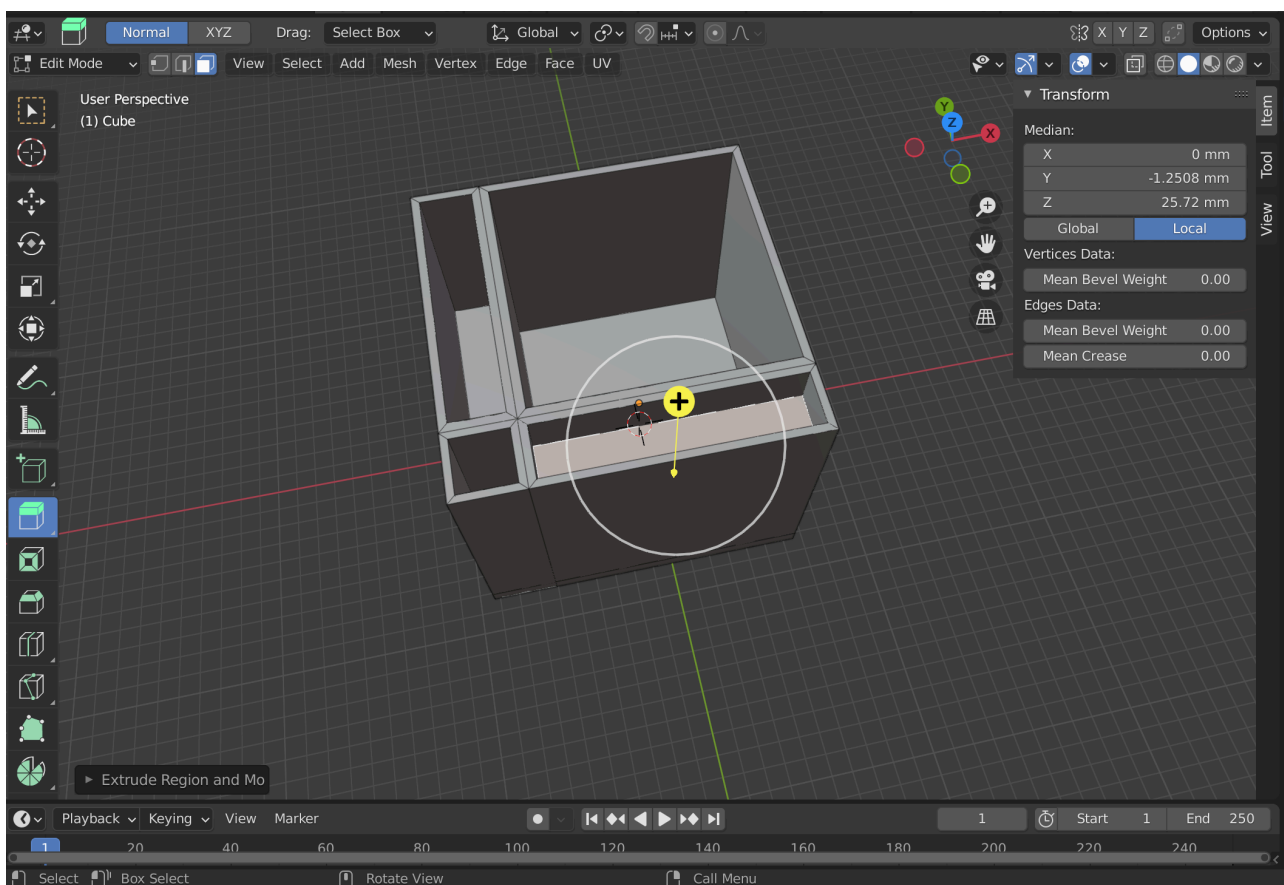


Slika 32. Kreiranje novih odjeljaka u organizatoru (autorski rad)

Kao što je vidljivo na gore priloženom prikazu, unutar modela nalazi se nekoliko odjeljaka. U idućem koraku, jedan od tih odjeljaka, onaj manji i plići, bit će dizajniran za odlaganje manjih predmeta poput spajalica.

Kako bismo osigurali veću praktičnost proizvoda, najprije je potrebno povećati dubinu tog odjeljka, što činimo korištenjem *Extrude* alata. Prvo treba odabrati donju površinu odjeljka koristeći *Face selection* alat. Nakon što je površina odabrana, potreban je *Extrude* alat kako bi se dno ovog dijela organizatora spustilo na željenu dubinu. Ovaj korak osigurava dubinu prostora potrebnu za praktično pohranjivanje spajalica i drugih manjih predmeta, bez rizika od njihovog ispadanja ili miješanja s drugim predmetima unutar organizatora.

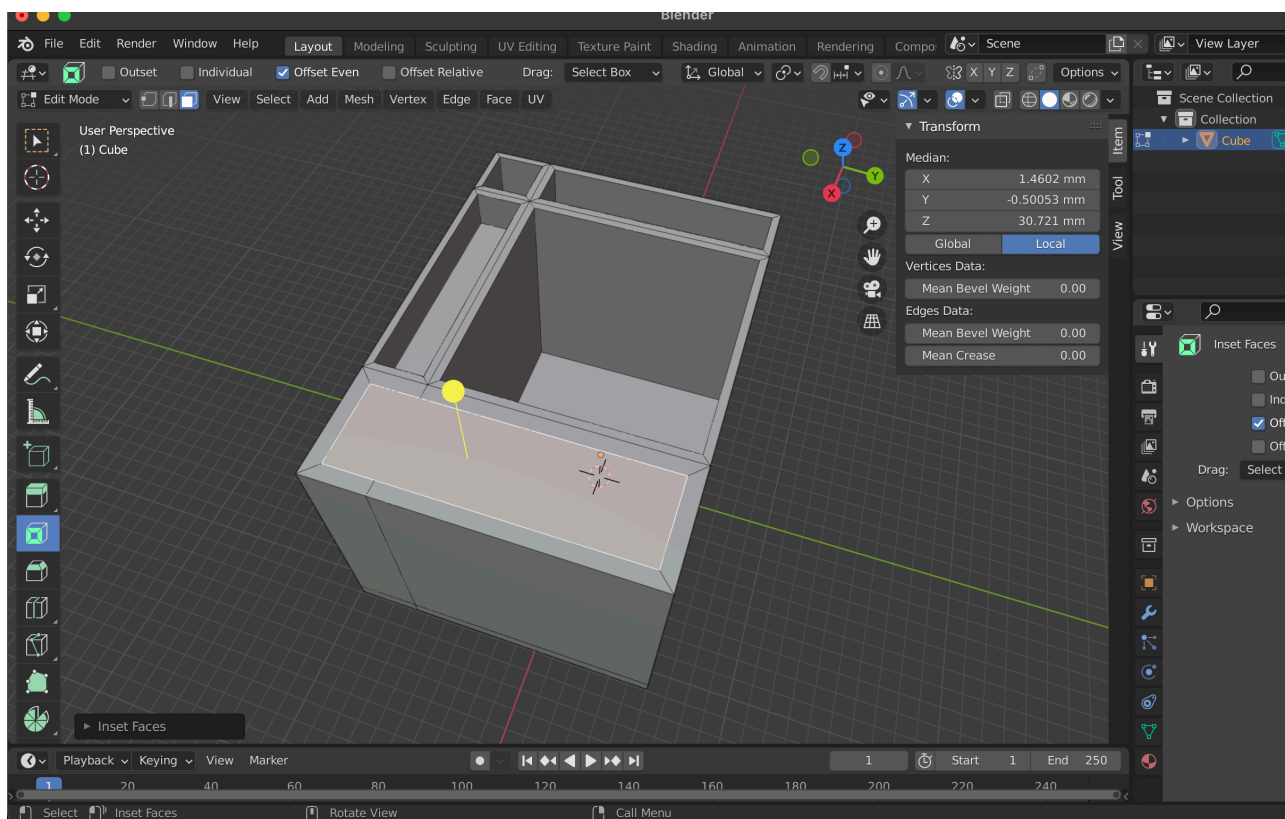
Nakon primjene *Extrude* alata i spuštanja dna, model je dobio odvojen i dovoljno dubok prostor posebno namijenjen za male uredske potrepštine.



Slika 33. Uvlačenje baze prema unutrašnjosti objekta pomoću *Extrude* alata

(autorski rad)

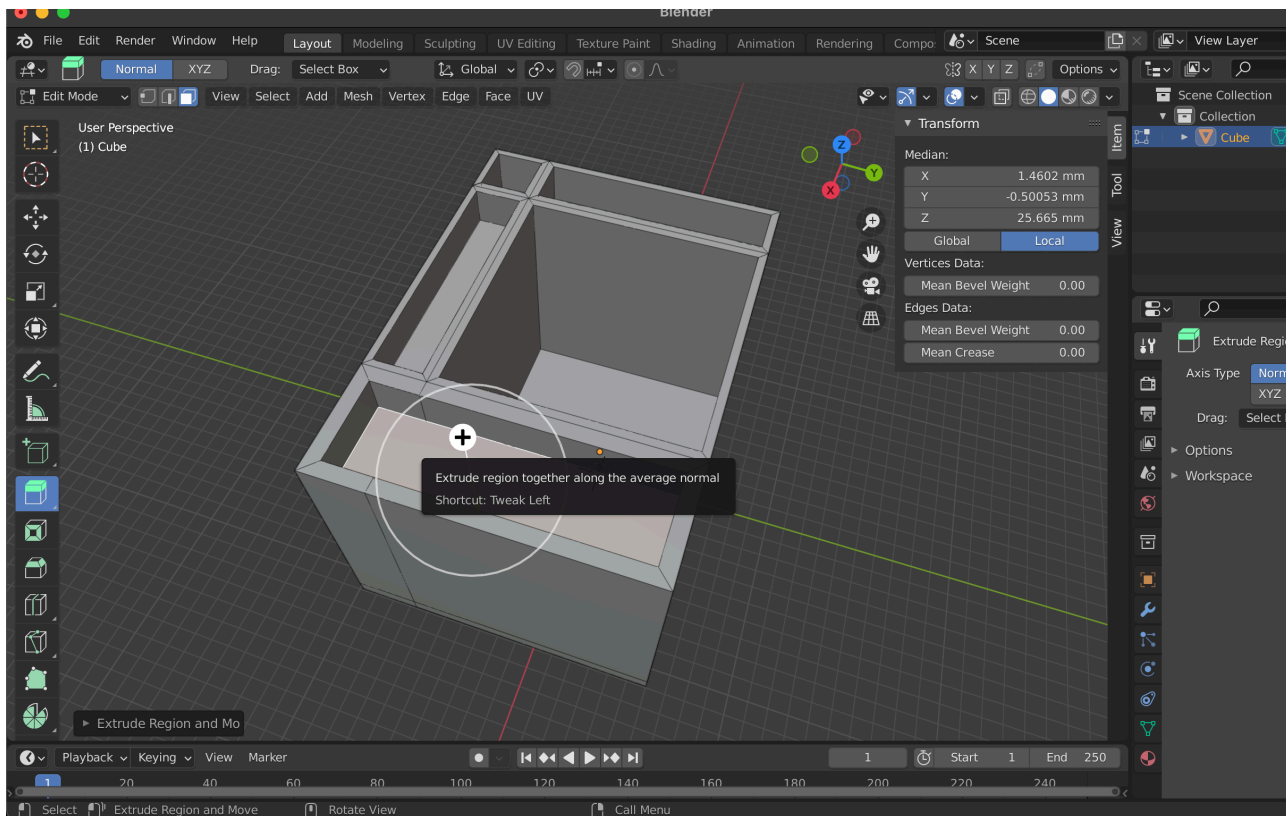
Sada je potrebno ponoviti postupak na suprotnoj strani organizatora kako bi se kreirao još jedan odjeljak. Navedeni odjeljak bit će plići i imat će izbočenje, što će omogućiti lakše uzimanje pohranjenih predmeta. Da bi se to postiglo, potrebno je označiti odgovarajuću površinu uz pomoć *Face selection* alata. Zatim se primjenjuje *Inset Faces* alat kako bi se definirale granice novog odjeljka.



Slika 34. Uvlačenje baze prema unutrašnjosti objekta pomoću Extrude alata

(autorski rad)

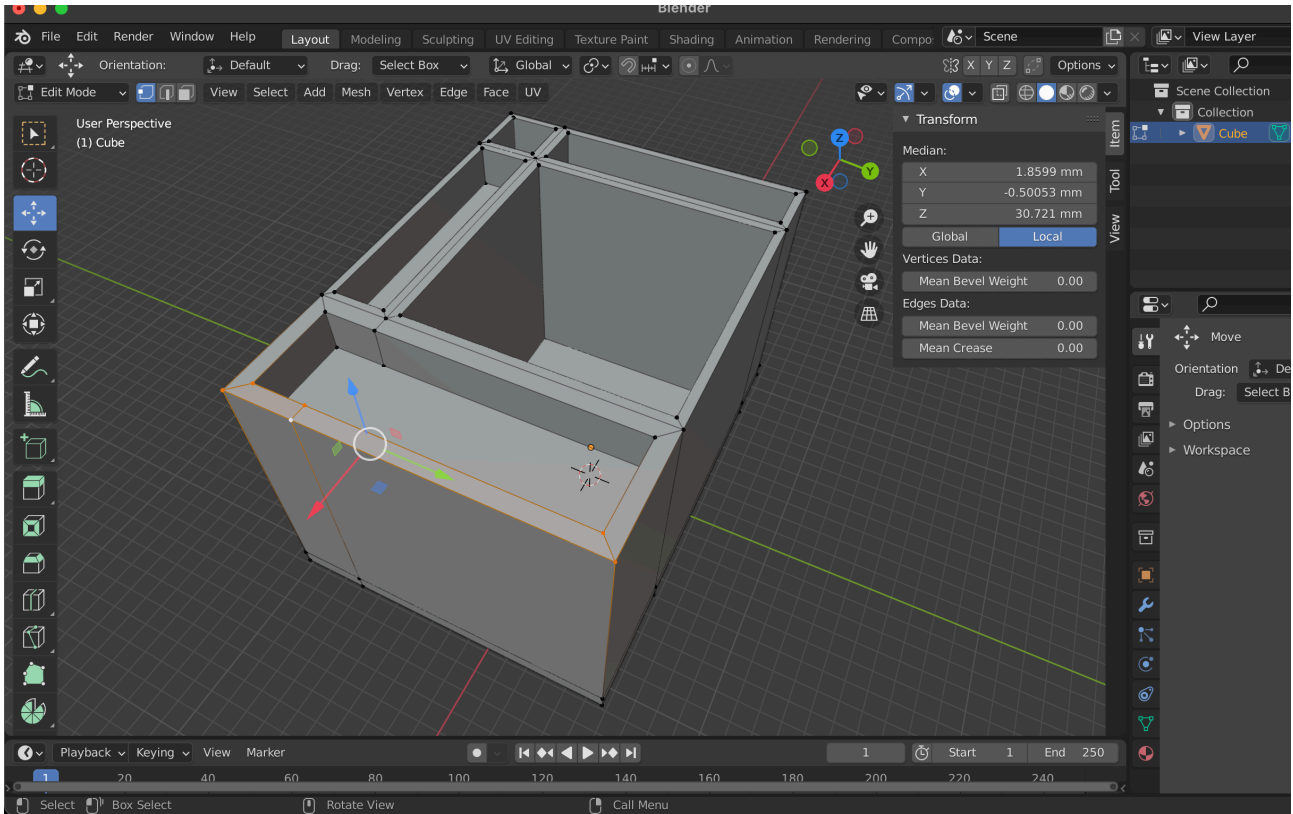
Nakon toga, pomoću *Extrude* alata potrebno je povući površinu prema dolje kako bismo definirali plitko dno ovog odjeljka. S ciljem da se olakša dohvaćanje manjih predmeta, poput olovaka ili spjalica, navedeni dio bit će manje dubine u odnosu na ostale dijelove. Izbočenje na vrhu odjeljka osigurat će da predmeti budu lako dostupni i vidljivi.



Slika 35. Uvlačenje baze prema unutrašnjosti objekta pomoću *Extrude* alata

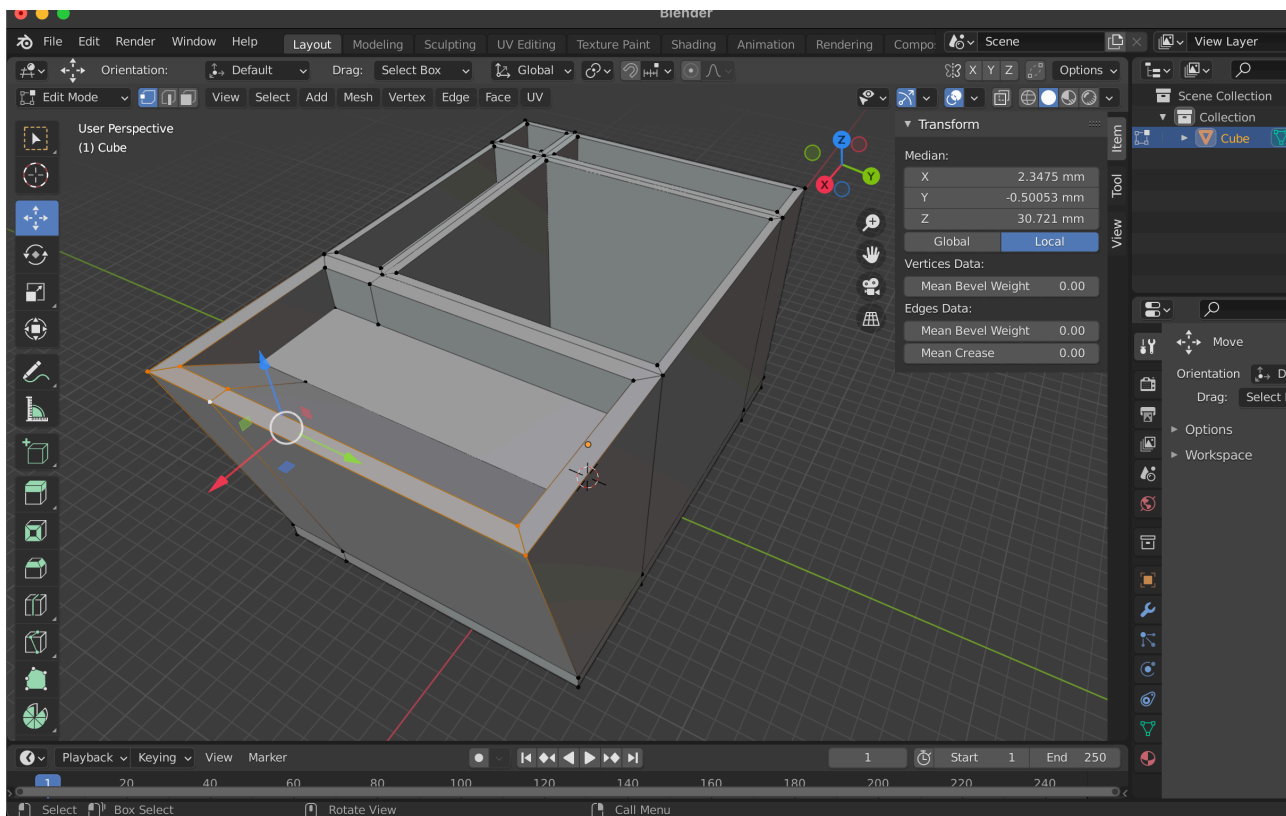
(autorski rad)

Nakon što je kreiran plići odjeljak, potrebno je označiti gornje čvorove (*nodes*) na tom dijelu modela. Koristeći *Move* alat, čvorovi se povlače udesno. Time dobivamo izbočinu koja je dizajnirana kako bi omogućila lakši pristup predmetima unutar ovog odjeljka.



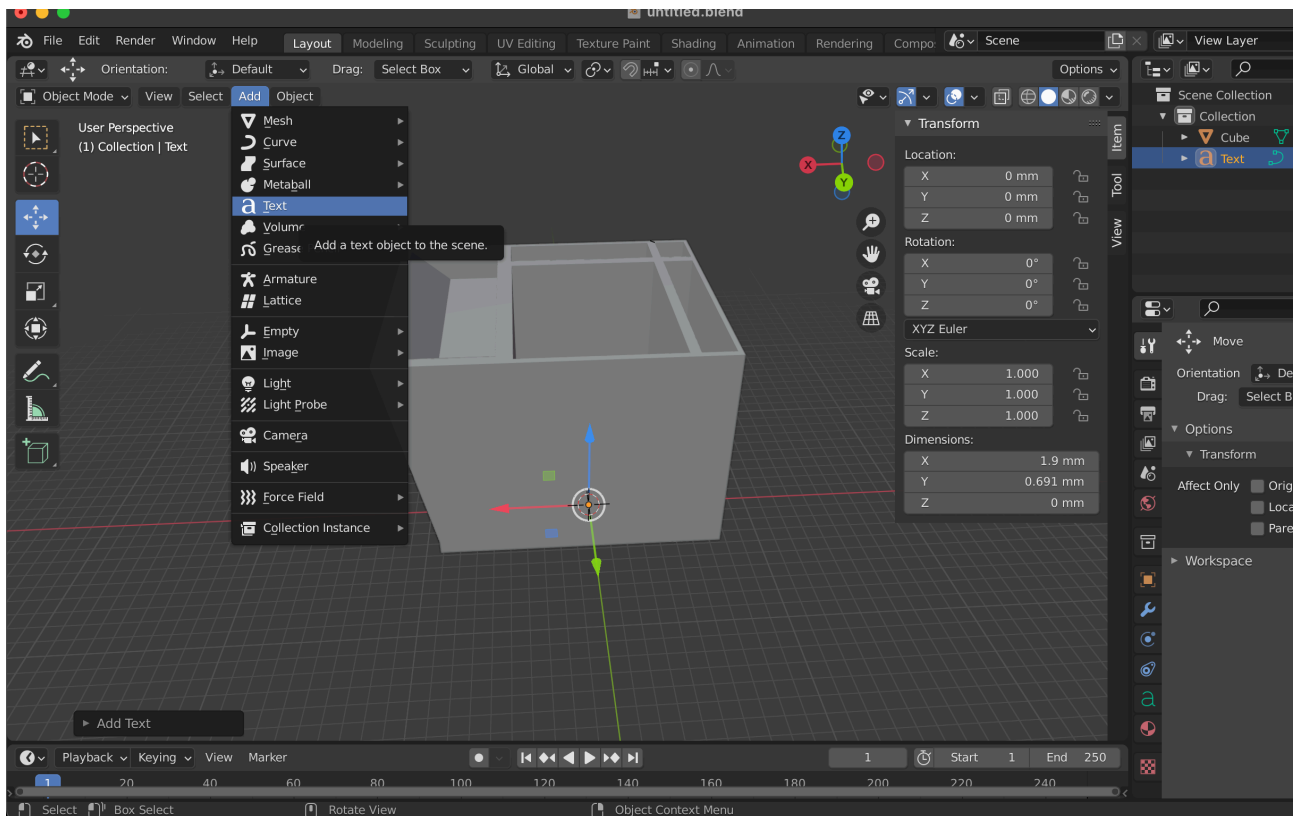
Slika 36. Označavanje čvorova (autorski rad)

Navedena izbočina korisnicima će omogućiti jednostavnije uzimanje stvari poput olovaka ili spajalica bez potrebe za pretjeranim posezanjem u unutrašnjost organizatora. U ovom koraku bitno je obratiti pažnju na ravnomjernost i proporcije tijekom povlačenja kako bi izbočina bila pravilno oblikovana i estetski usklađena s ostatkom modela.



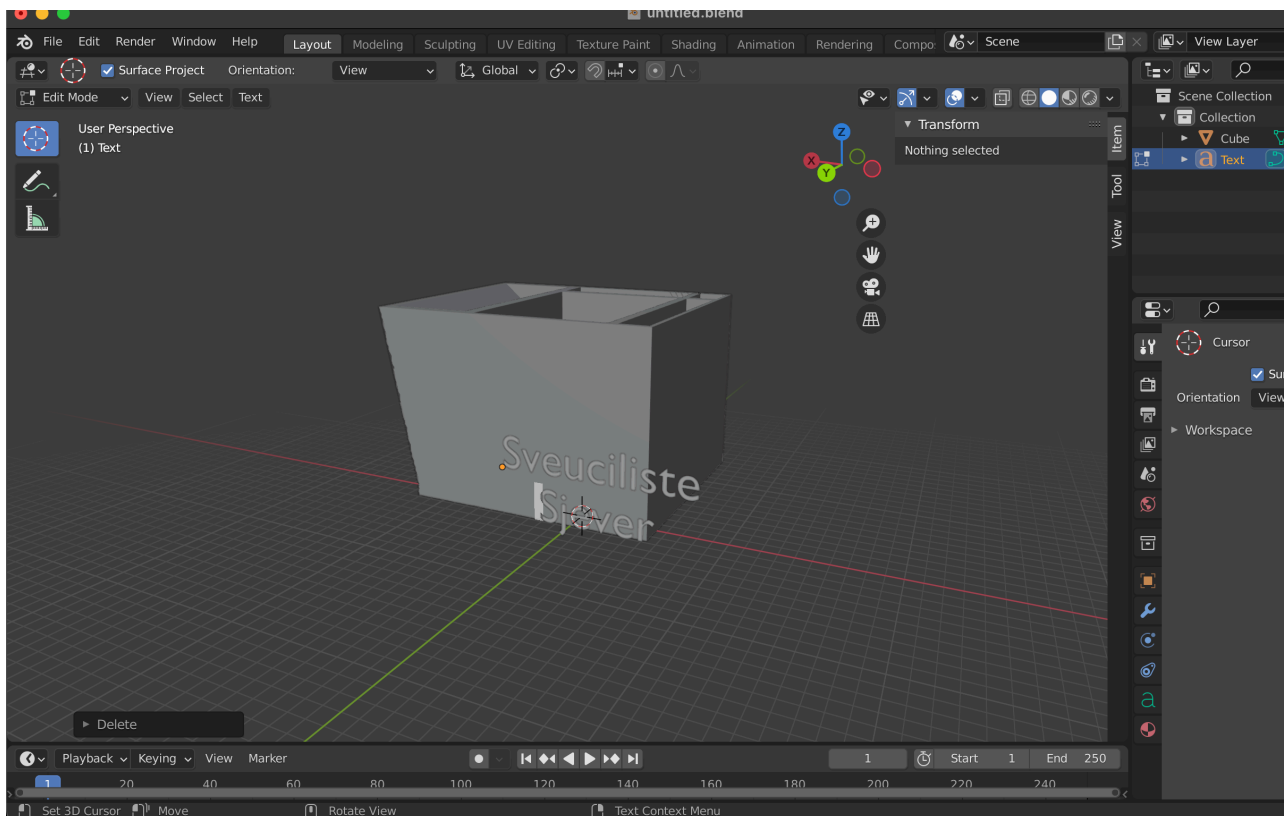
Slika 37. Pomicanje čvorova pomoću Move alata (autorski rad)

Nakon što je gotovo osnovno oblikovanje organizatora, potrebno je dodati tekst „Sveučilište Sjever“ na prednju stranicu modela. Za početak, potrebno je označiti prednju stranicu organizatora na koju se postavlja tekst. Nakon toga, izlazimo iz *Edit modea* i prelazimo u *Object mode* kako bismo dodali tekstualni objekt. U gornjem izborniku biramo opciju *Add*, a zatim iz padajućeg izbornika odaberemo *Text*. Time nastaje osnovni tekstualni objekt u sceni.



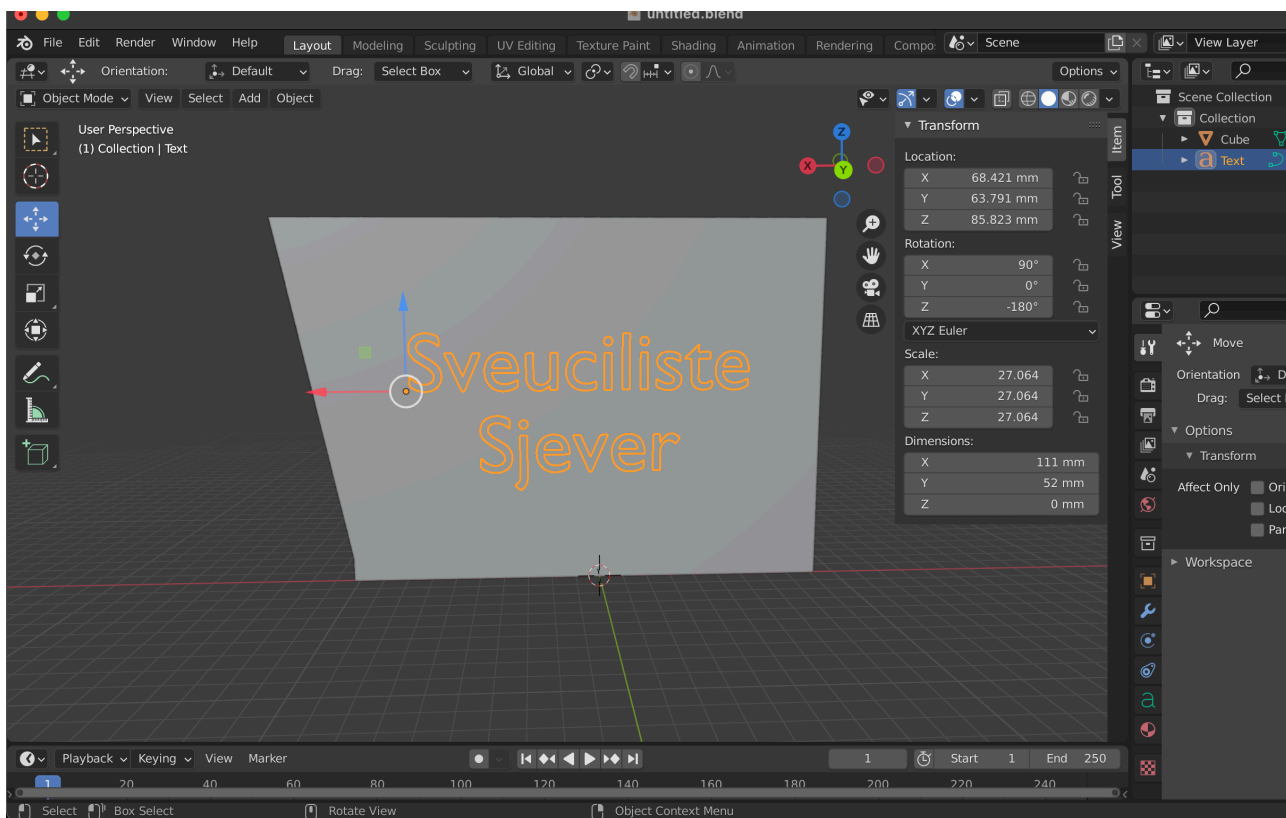
Slika 38. Stavljanje tekstualnog objekta u scenu (autorski rad)

Klikom na novonastali tekstualni objekt prelazimo u *Edit mode* kako bismo unijeli željeni tekst. U ovom slučaju, mijenjamo zadani tekst u „Sveučilište Sjever“. Nakon unosa, vraćamo se u *Object mode* u kojem možemo prilagoditi poziciju i veličinu teksta. Koristeći alate *Move* i *Scale*, pozicioniramo tekst na odabranu stranicu modela i prilagođavamo njegovu veličinu kako bi bila u skladu s ostatkom dizajna.



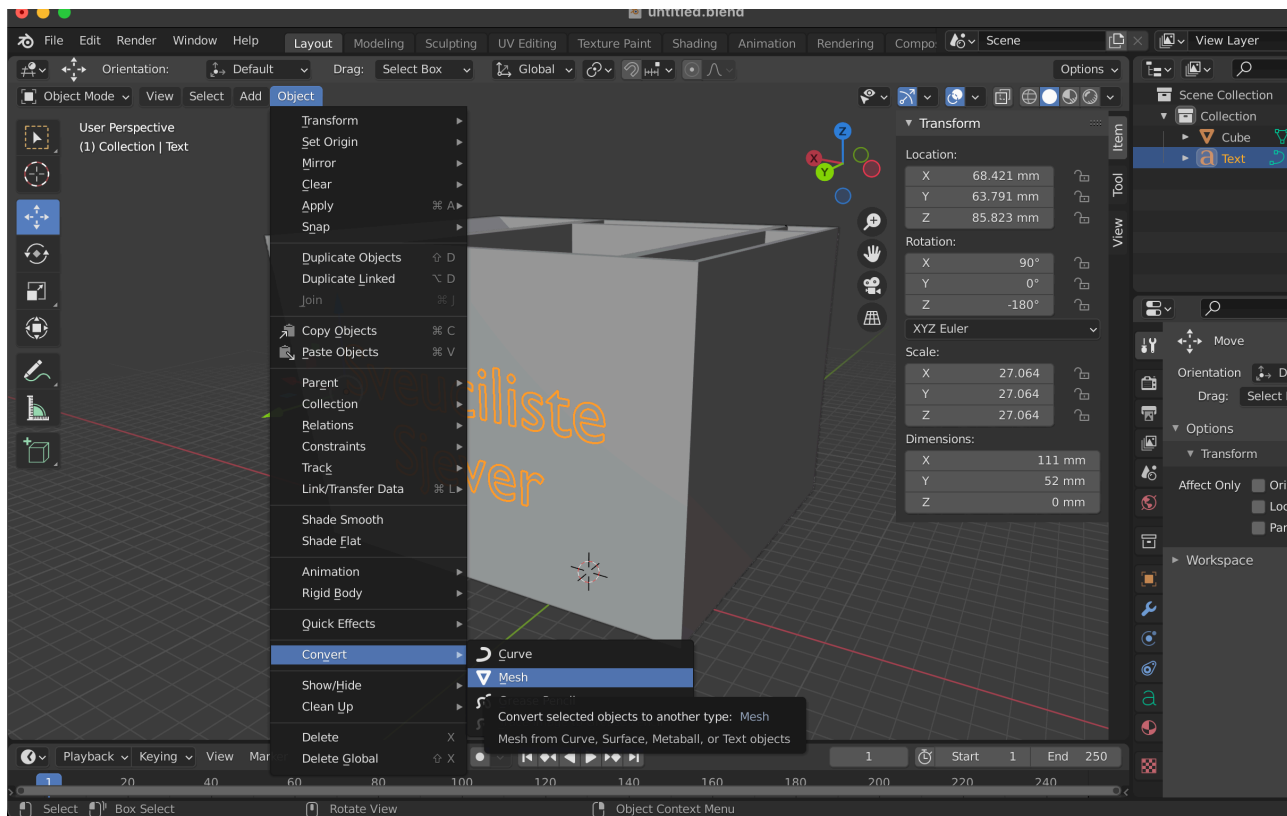
Slika 39. Unos teksta Sveuciliste Sjever (autorski rad)

Nakon što smo uspješno unijeli tekst „Sveučilište Sjever“ na željenu stranicu modela, sljedeći korak je pretvaranje teksta u *mesh* kako bismo mogli izvršiti daljnje 3D manipulacije, kao što je izbočenje teksta iz površine. U *Object modeu* označavamo tekstualni objekt i desnim klikom otvaramo kontekstni izbornik u kojem biramo opciju *Convert to* i zatim *Mesh from Text*.



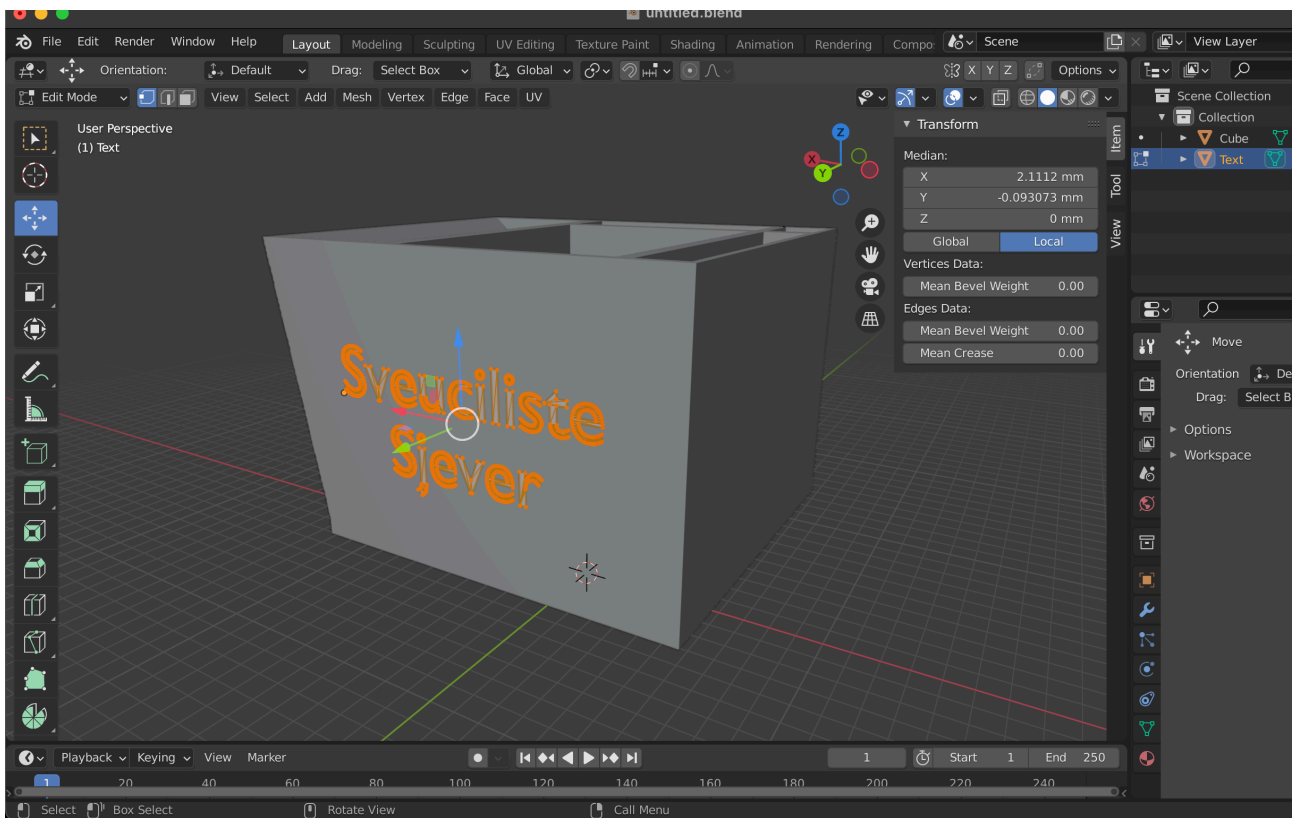
Slika 40. Pozicioniranje i skaliranje teksta (autorski rad)

Ovim potezom tekst je pretvoren u poligonalni *mesh*, što omogućuje daljnje uređivanje u *Edit modeu*.



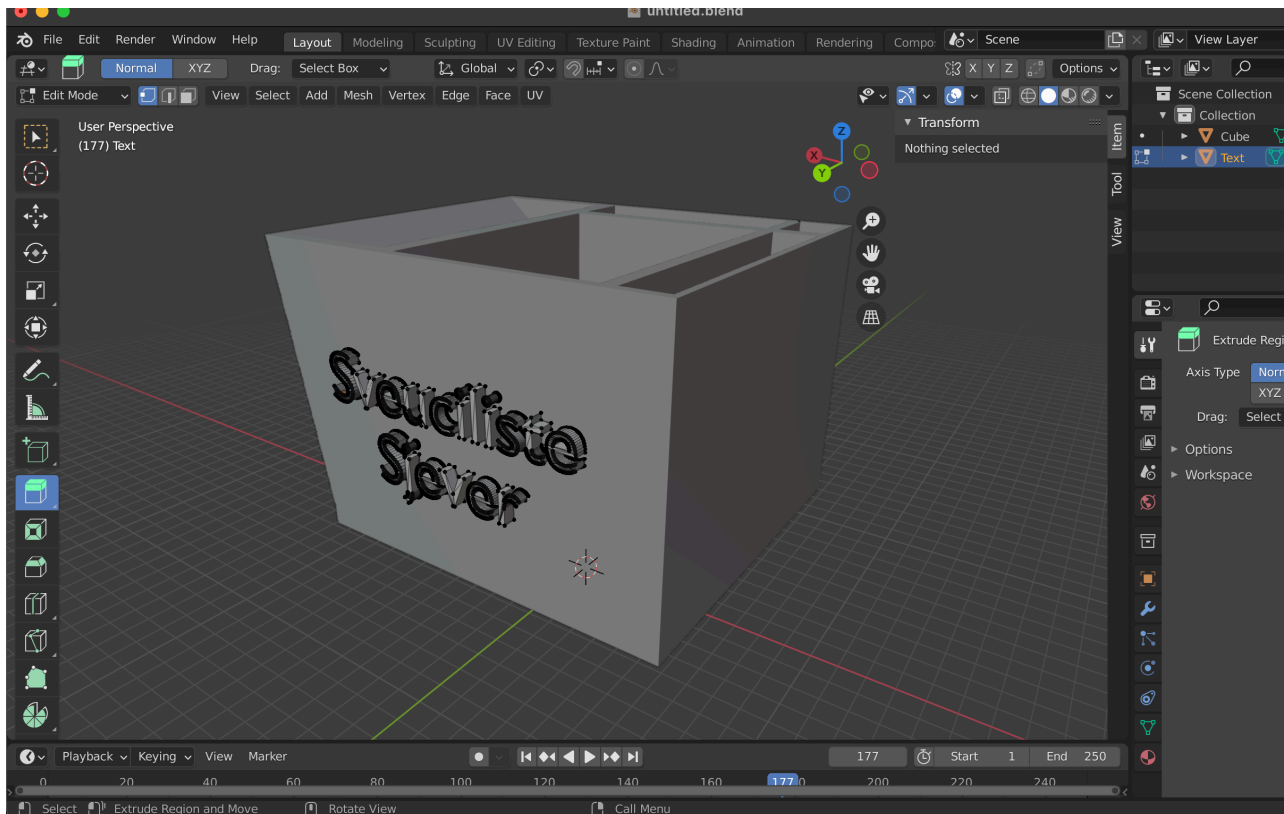
Slika 41. Pretvorba teksta u mesh (autorski rad)

Zatim se u *Edit modeu* tekst izvlači pomoću *Extrude* alata. Odabiremo sve stranice novonastalog *mesha* teksta uz pomoć *Face selection* moda. Kada su sve stranice odabrane, aktiviramo alat *Extrude* te pažljivo povlačimo tekst s površine modela prema van. Kreirano izbočenje može se prilagoditi, ovisno o željenom efektu isticanja teksta.



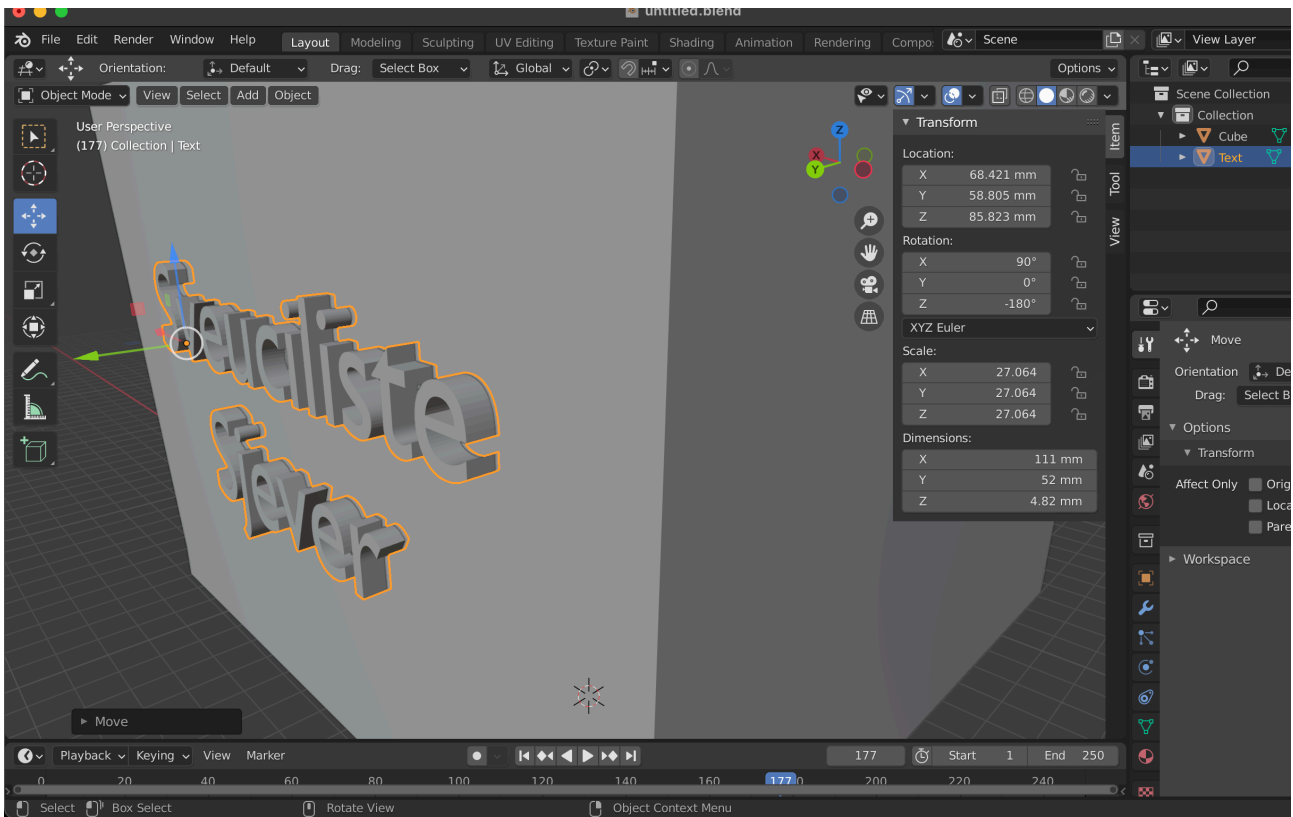
Slika 42. Novonastali mesh teksta (autorski rad)

Prethodno kreirano izbočenje daje tekstu dodatnu dimenzionalnost, čineći ga vidljivijim i upečatljivijim na konačnom modelu. Na kraju provjeravamo je li tekst pravilno izbočen i vizualno usklađen s ostatkom modela. Tim korakom završava postupak dodavanja personaliziranog teksta na 3D model organizatora, čime se poboljšavaju estetske i funkcionalne značajke modela.



Slika 43. Izvlačenje teksta pomoću Extrude alata (autorski rad)

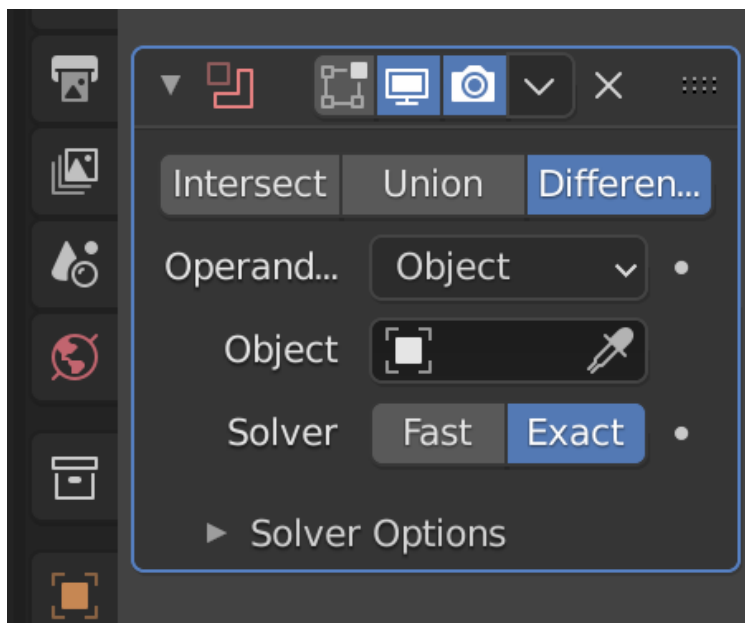
Nakon što smo tekst uspješno izbočili pomoću *Extrude* alata, sljedeći korak je pozicioniranje teksta tako da se pravilno presijeca sa stranicom modeliranog držača. Za to koristimo *Move* alat. Dok smo još uvijek pozicionirani u *Object modeu*, označavamo tekstualni objekt i pomoću *Move* alata ga pomičemo prema držaču. Cilj je postaviti tekst tako da lagano uroni u površinu stranice držača, osiguravajući da se objekti preklapaju na način koji će omogućiti njihovo naknadno spajanje.



Slika 45. Pozicioniranje teksta koje omogućuje pravilno presijecanje sa stranicom modela (autorski rad)

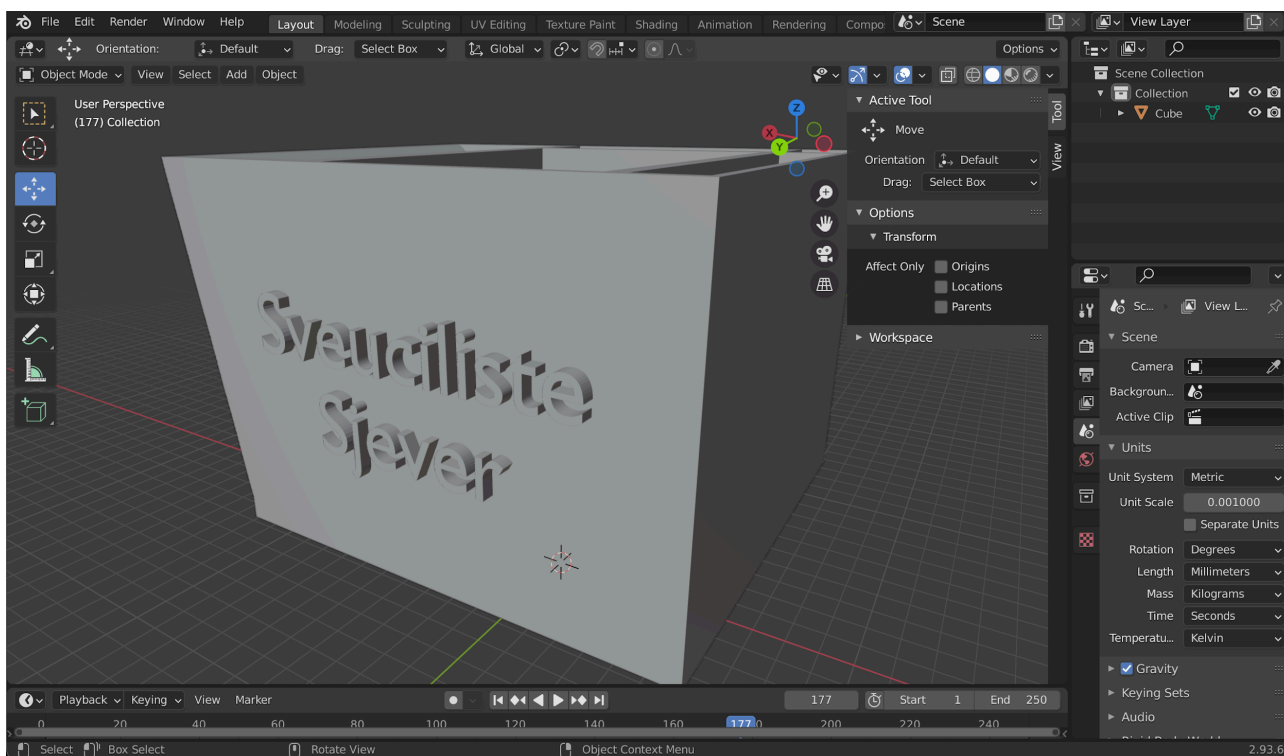
Nakon što smo pozicionirali tekst po želji, prelazimo na sljedeći korak – spajanje teksta s držačem u jedinstveni objekt. Da bismo to postigli, koristimo *Boolean* modifikator, koji nam omogućuje spajanje dvaju ili više objekata. Potrebno je najprije odabrati držač, a zatim u panelu s modifikatorima (smještenom desno u izborniku) odabiremo *Add Modifier*. U ponuđenom izborniku biramo opciju *Boolean*.

U *Boolean* modifikatoru, pod opcijom *Operation* biramo *Union*, čime ćemo spojiti tekst s glavnim objektom. Zatim u polju *Object* biramo tekstualni *mesh* koji smo napravili, kako bismo ga spojili s držačem. Nakon što su svi parametri postavljeni, odabiremo *Apply* da bismo primijenili modifikator.



Slika 46. Modularni prozor *Boolean* (autorski rad)

Navedenim postupkom tekst postaje dio držača, čime nastaje 3D model u kojem je tekst čvrsto vezan uz površinu držača, što omogućuje kasniji ispis modela s utisnutim tekstom, dodajući tako logotip organizatoru.

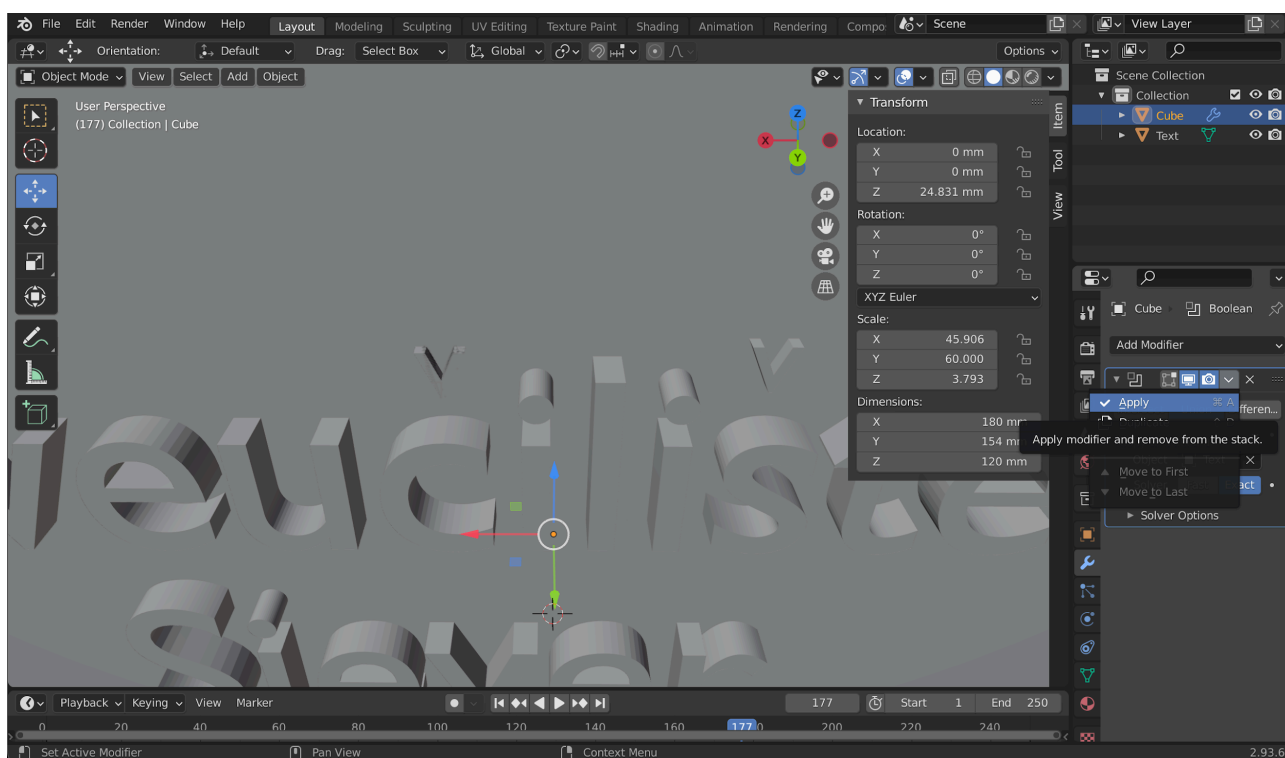


Slika 47. Ujedinjeni tekst s organizatorom (autorski rad)

Kako bismo ispravili nedostatak kvačica na slovima *c* i *s*, dodat ćemo ih ručno koristeći isti proces koji smo koristili za osnovni tekst. Najprije ćemo ponovno kreirati tekstualni objekt, a zatim pomoću slova *v* kreirati kvačice. Nakon što smo unijeli kvačicu kao zaseban tekstualni objekt, pretvaramo je u *mesh* na isti način kao i ranije; odabiremo kvačicu u *Object modeu*, a zatim *Object > Convert to > Mesh from Curve/Meta/Surf/Text*.

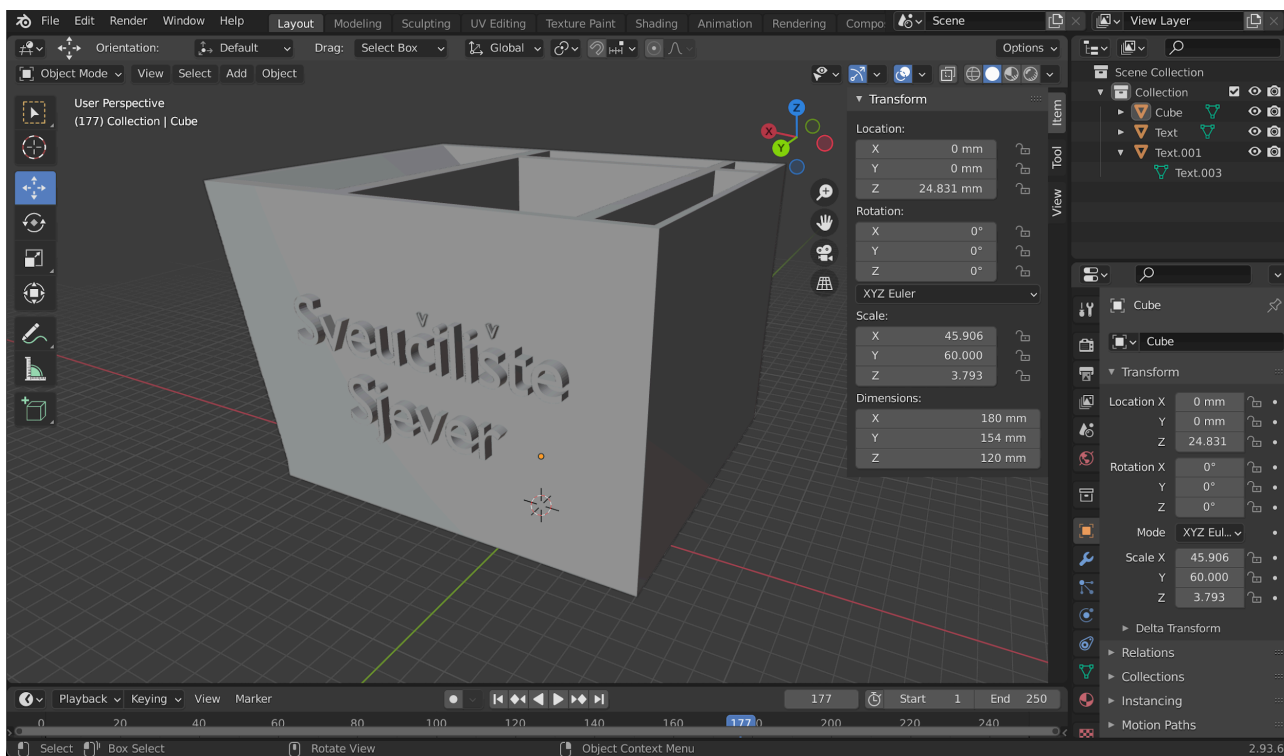
Nakon što je kvačica pretvorena u *mesh*, ulazimo u *Edit mode* i koristimo *Move* alat kako bismo pozicionirali kvačicu iznad odgovarajućeg slova *c* ili *s* na našem modelu. Pažljivo postavljamo kvačicu vodeći računa o njenom pravilnom centriranju iznad slova, koja tako dobivaju izgled grafema *č* ili *š*.

Nakon što je kvačica postavljena na željeno mjesto, ponovno primjenjujemo *Boolean* modifikator koristeći opciju *Union*, baš kao što smo to učinili s osnovnim tekstom. Na taj način spajamo kvačice s pripadajućim slovima, što ih čini jedinstvenim dijelom modela.



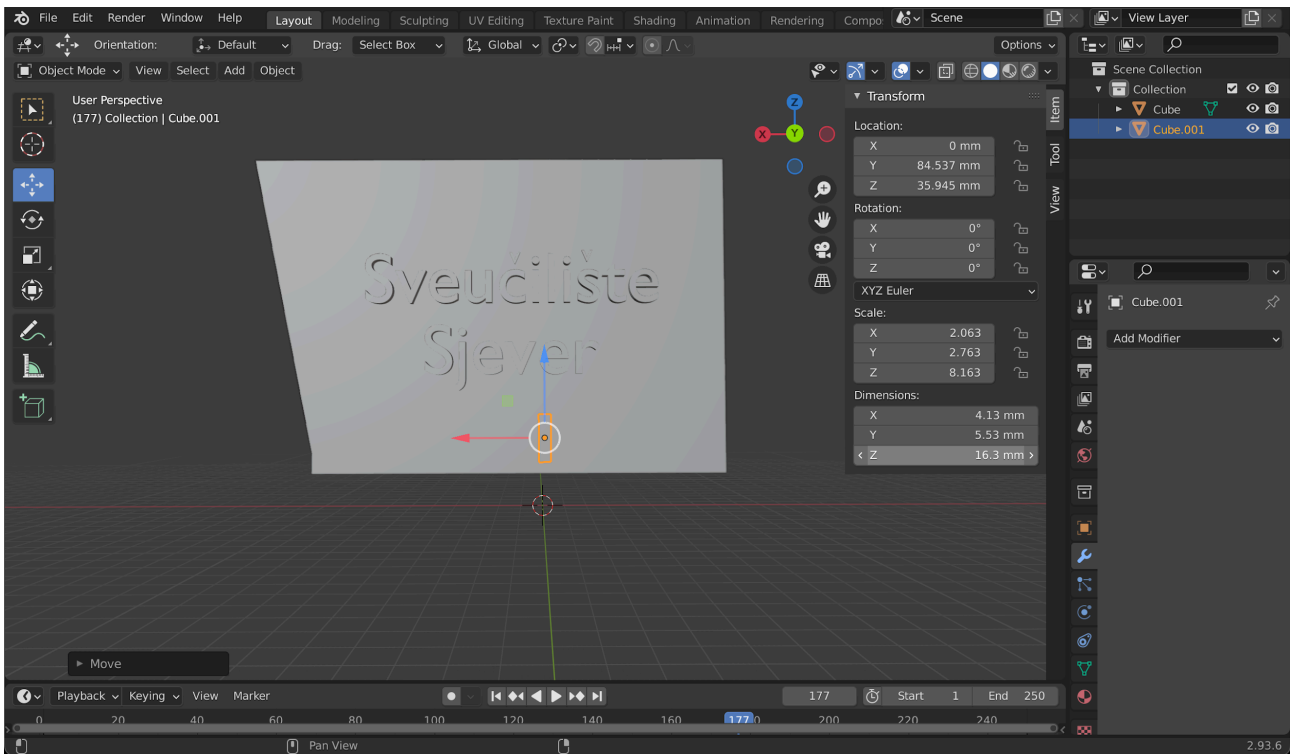
Slika 48. Izrada, pozicioniranje i spajanje kvačica s modelom (autorski rad)

Prethodno navedenim postupkom, kvačice su pravilno postavljene iznad slova, kreirajući pravilne grafeme č i š na našem modelu. Konačni rezultat je personalizirani 3D model držača s ispravnim slovima.



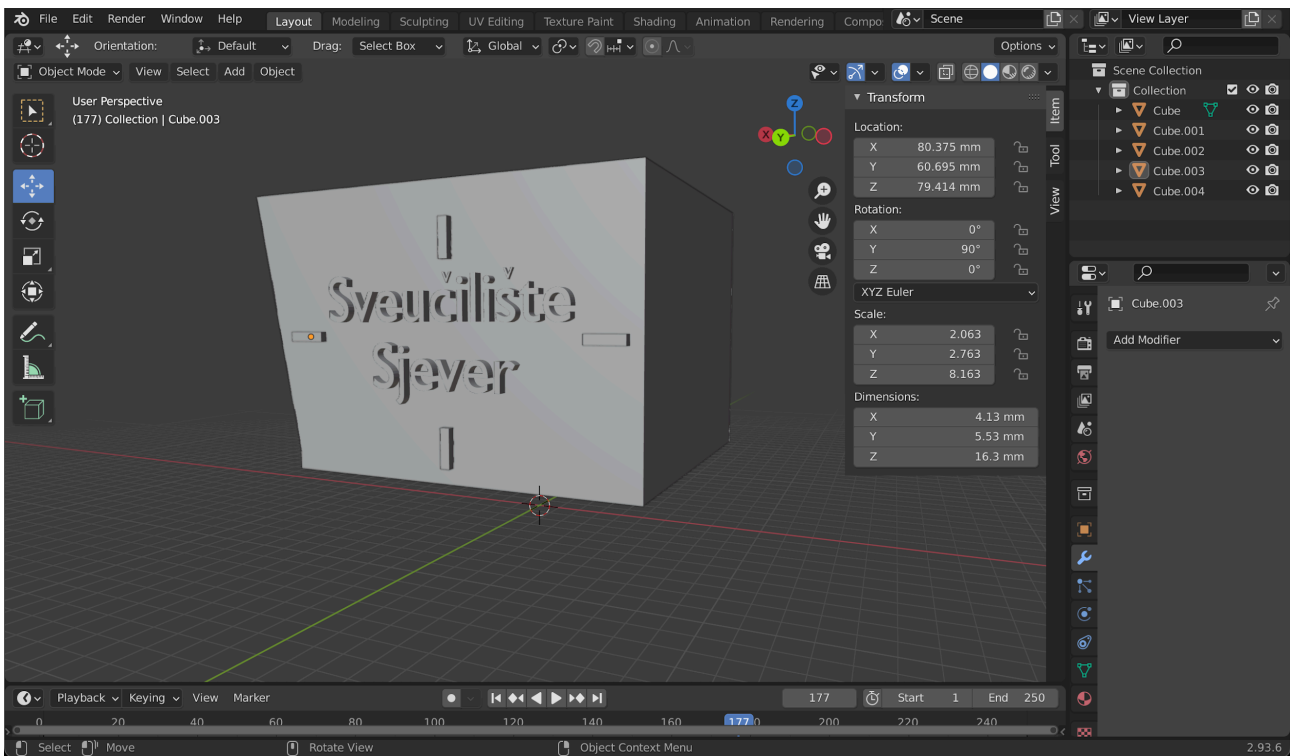
Slika 49. Organizator za olovke s natpisom Sveučilište Sjever (autorski rad)

Završni korak u izradi modela je kreiranje pravokutnika koji predstavljaju stilizirane elemente logotipa Sveučilišta Sjever. U *Object Modeu* dodajemo novu kocku koristeći opciju za dodavanje osnovnih oblika. Kada se pojavi kocka, pomoću *Scale* alata pretvaramo je u duguljasti pravokutnik, pažljivo prilagođavajući dimenzije kako bi odgovarao izgledu logotipa. Zatim, pomoću *Move* alata, precizno pozicioniramo pravokutnik na jednu od strana modeliranog držača, vodeći računa o tome da je pravilno centriran i vizualno usklađen s ostatkom dizajna.

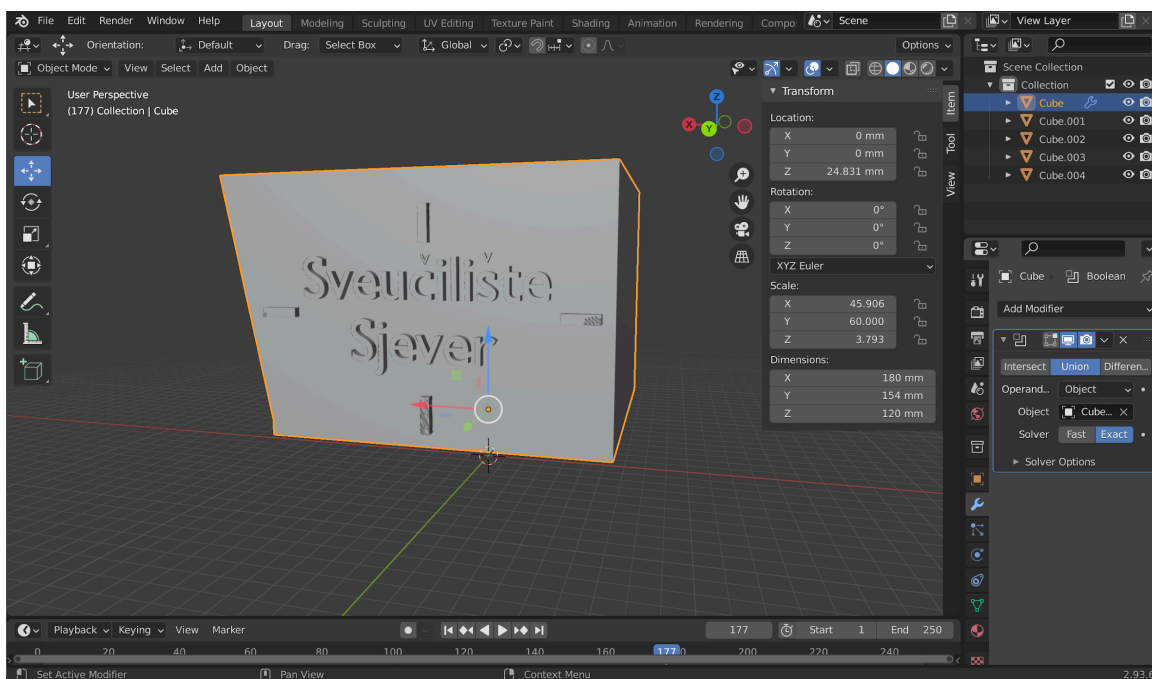


Slika 50. Stvaranje kocke i pretvaranje u pravokutnik pomoću Move alata (autorski rad)

Nakon što je prvi pravokutnik postavljen, dupliciramo ga tri puta kako bismo dobili ukupno četiri pravokutnika, po jedan za svaku stranu modela. Svaki duplicirani pravokutnik pažljivo pozicioniramo na preostale tri strane držača, vodeći računa o simetričnosti i estetskoj uravnoteženosti cijelog dizajna. Kada su svi pravokutnici pravilno postavljeni, koristimo *Boolean* modifikator s opcijom *Union* kako bismo ih spojili s glavnim objektom, čime postaju dio modela.

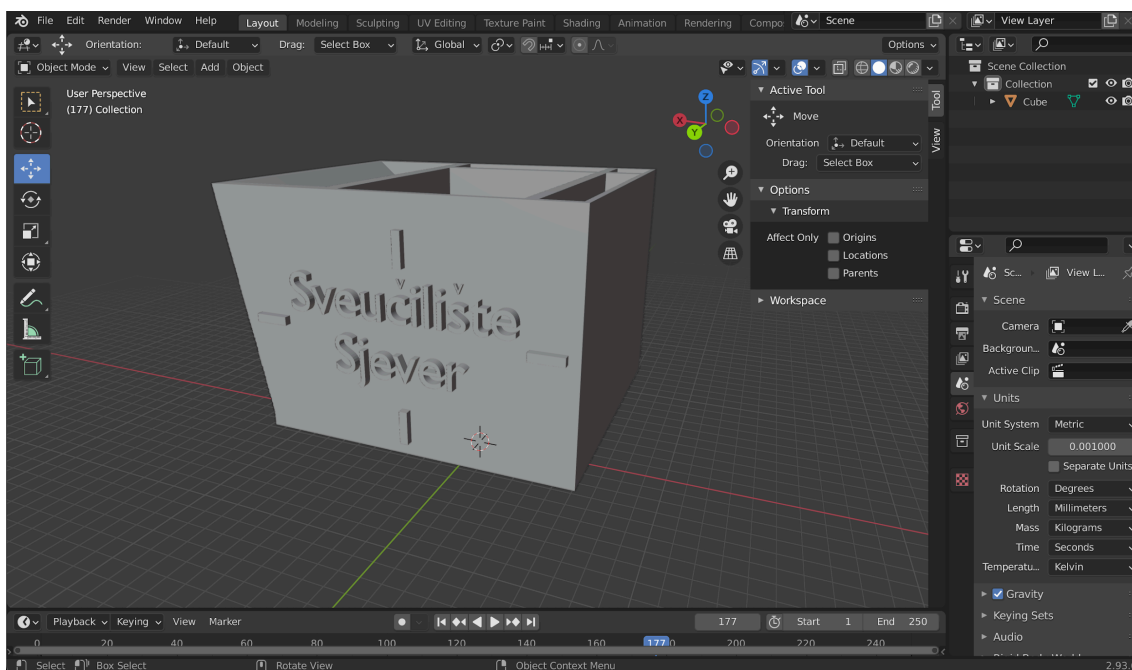


Slika 51. Dupliciranje pravokutnika i pozicioniranje na organizator (autorski rad)



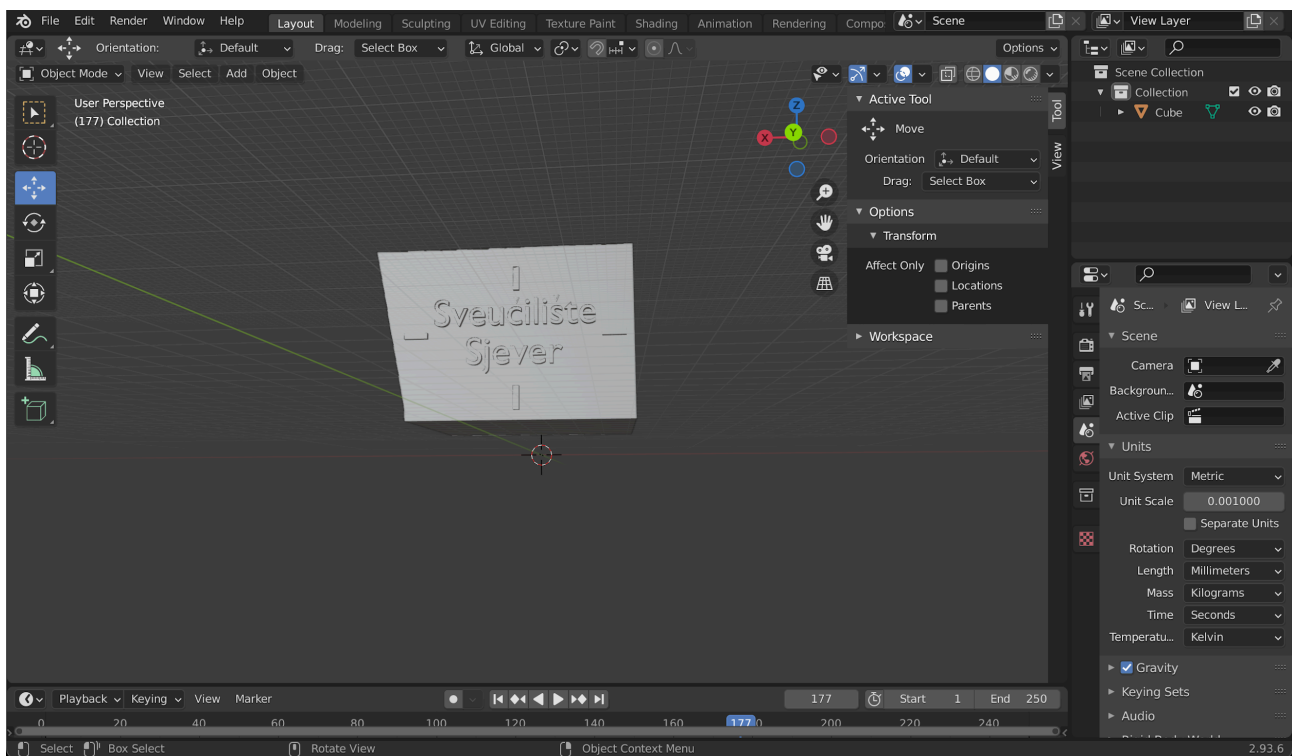
Slika 52. Spajanje pravokutnika s glavnim objektom pomoću Boolean alata

(autorski rad)



Slika 53. Spajanje pravokutnika s glavnim objektom pomoću Boolean alata

(autorski rad)

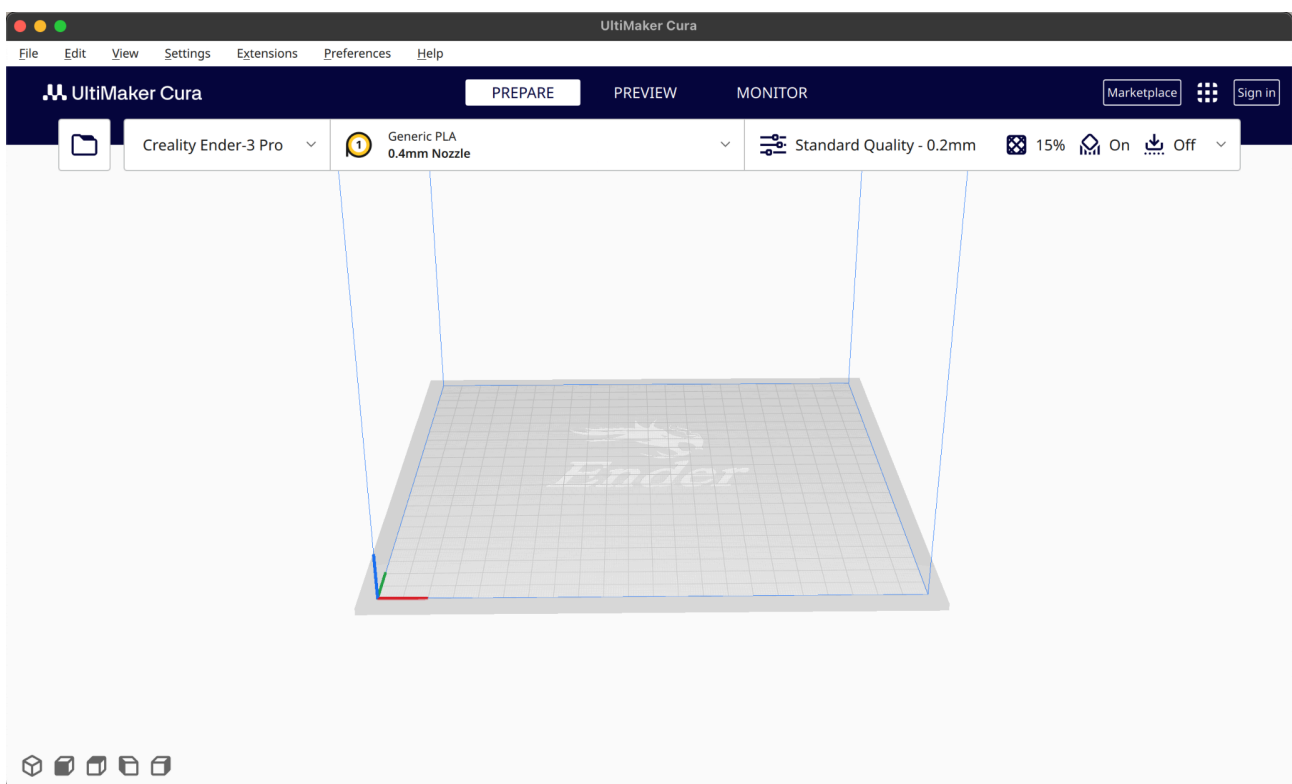


Slika 54. Spajanje pravokutnika s glavnim objektom pomoću Boolean alata

(autorski rad)

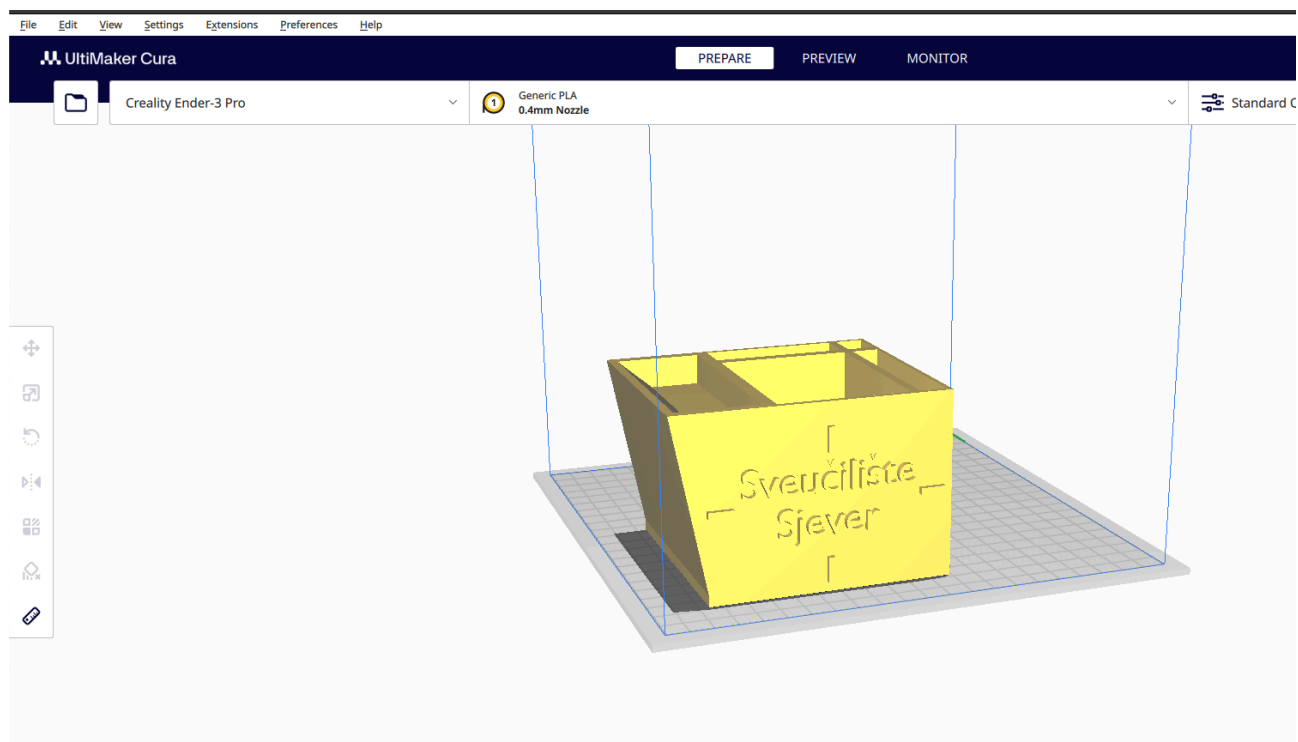
4.3. Priprema za 3D ispis

Nakon što je 3D model držača za olovke s logotipom Sveučilišta Sjever dovršen u programu *Blender*, potrebno je pripremiti ga za 3D ispis. Ovaj proces zahtijeva konverziju 3D modela u format koji 3D pisac može razumjeti i izraditi. U ovom slučaju, korišten je *slicer* program *Ultimaker Cura*. *Slicer* program je ključna komponenta u procesu 3D ispisa jer omogućava pretvaranje STL datoteke, koja sadrži 3D model, u G-kod, skup uputa koje upravljaju radom 3D pisca.



Slika 55. Početno grafičko sučelje softvera Ultimaker Cura (autorski rad)

Prvi korak u pripremi za ispis je učitavanje STL datoteke u *Cura slicer*. Nakon što je model učitán, izvršena je osnovna provjera i prilagodba postavki ispisa. Budući da je model pravilno skaliran u *Blenderu*, u programu *Cura* skaliran je prototip manji od orginalne veličine zamišljenog modela. To omogućuje uštedu vremena i materijala u slučaju greške tijekom 3D ispisa.



Slika 56. STL datoteka modela učitana u UltimaMaker Cura softwáreu (autorski rad)

Kvaliteta ispisa podešena je na standardnu rezoluciju od 0,2 mm po sloju, što predstavlja dobar omjer između vremena potrebnog za ispis i razine razrađenosti detalja. Iako je moguće koristiti finiju rezoluciju za dobivanje još sitnijih detalja, odabrana postavka omogućuje dovoljno precizne rezultate uz razumnu brzinu ispisa. Brzina ispisa postavljena je na 90 mm/s, što predstavlja dobar balans između kvalitete i vremena potrebnog za ispis. Također, korištena je funkcija za generiranje potpora samo na potrebnim mjestima, s ciljem da se osigura pravilan ispis složenijih dijelova modela bez oštećenja ili deformacija.

Print settings

Profile: Standard Quality - 0.2mm

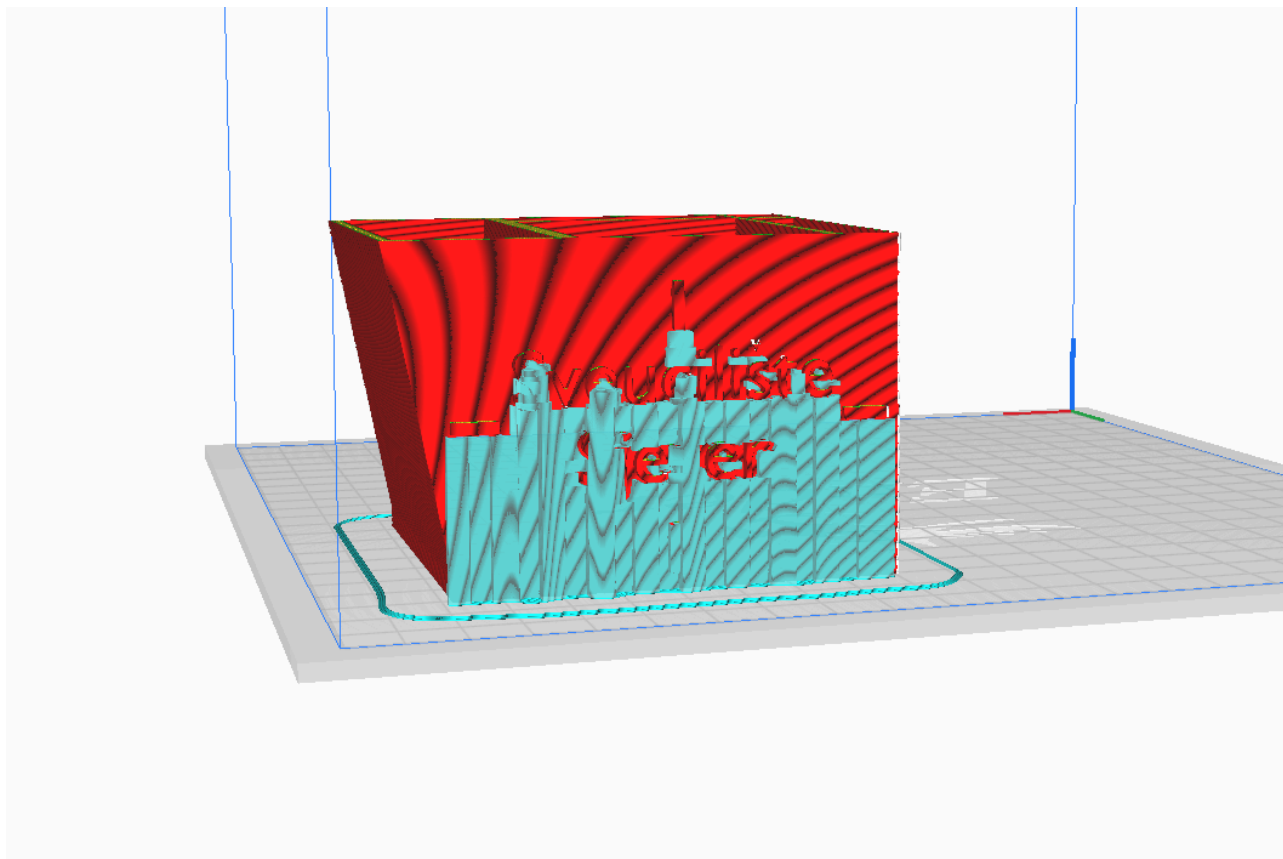
Search settings

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| Gradual Infill Steps | 0 |
| Material | |
| Printing Temperature | 200.0 °C |
| Printing Temperature Initial Layer | 200.0 °C |
| Initial Printing Temperature | 200.0 °C |
| Final Printing Temperature | 200.0 °C |
| Build Plate Temperature | 60 °C |
| Build Plate Temperature Initial Layer | 60 °C |
| Speed | |
| Print Speed | 90.0 mm/s |
| Infill Speed | 90.0 mm/s |
| Wall Speed | 45.0 mm/s |
| Outer Wall Speed | 45.0 mm/s |

< Recommended

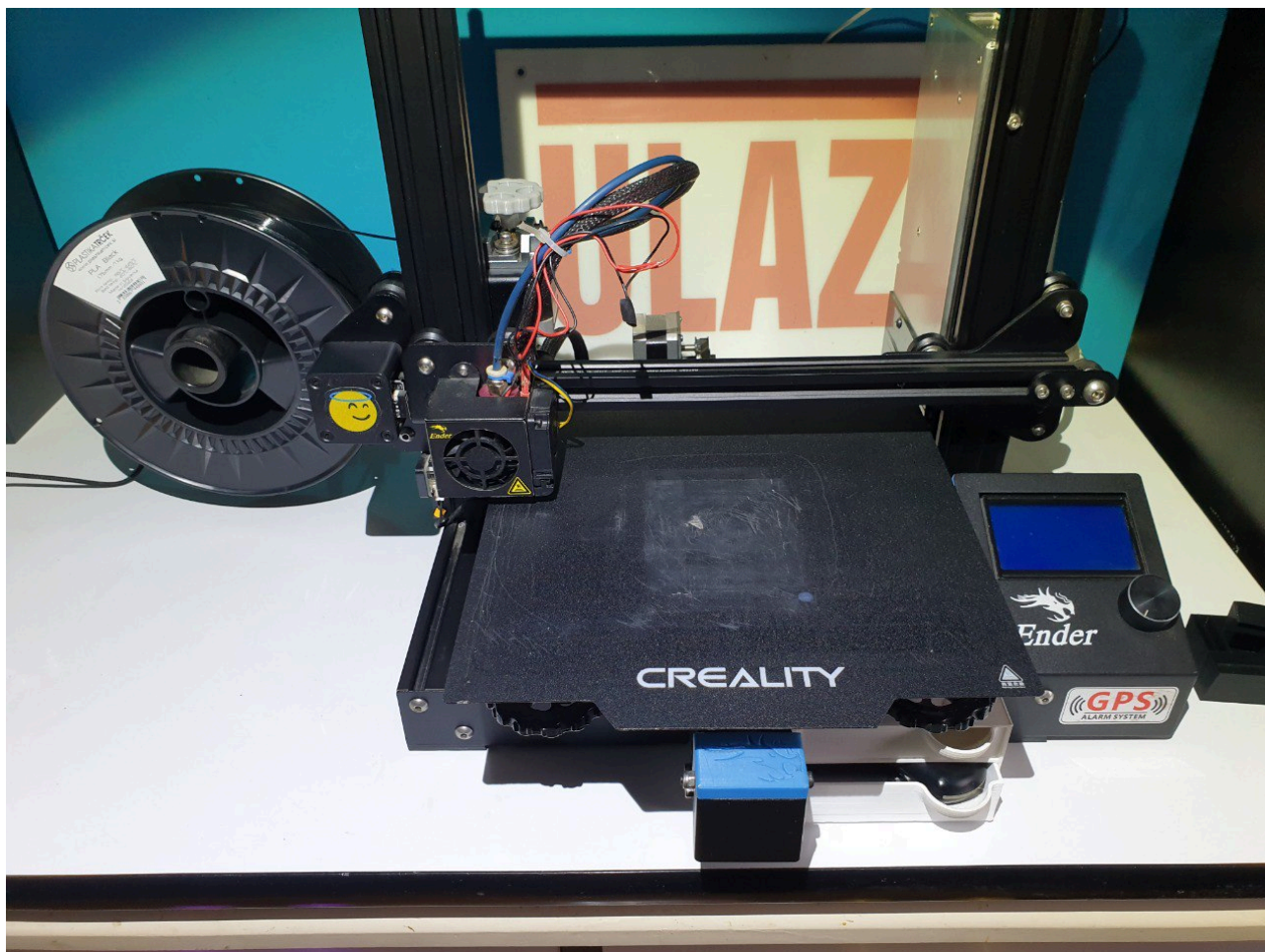
Slika 58. Podešavanje parametara za 3D ispis u softveru UltiMaker Cura (autorski rad)

Prije nego što je model spreman za ispis, provjeren je i njegov raspored na podlozi za ispis te pojedini slojevi modela. Nakon svih provjera, generiran je G-kod datoteke, koji sadrži sve potrebne upute za 3D pisač.

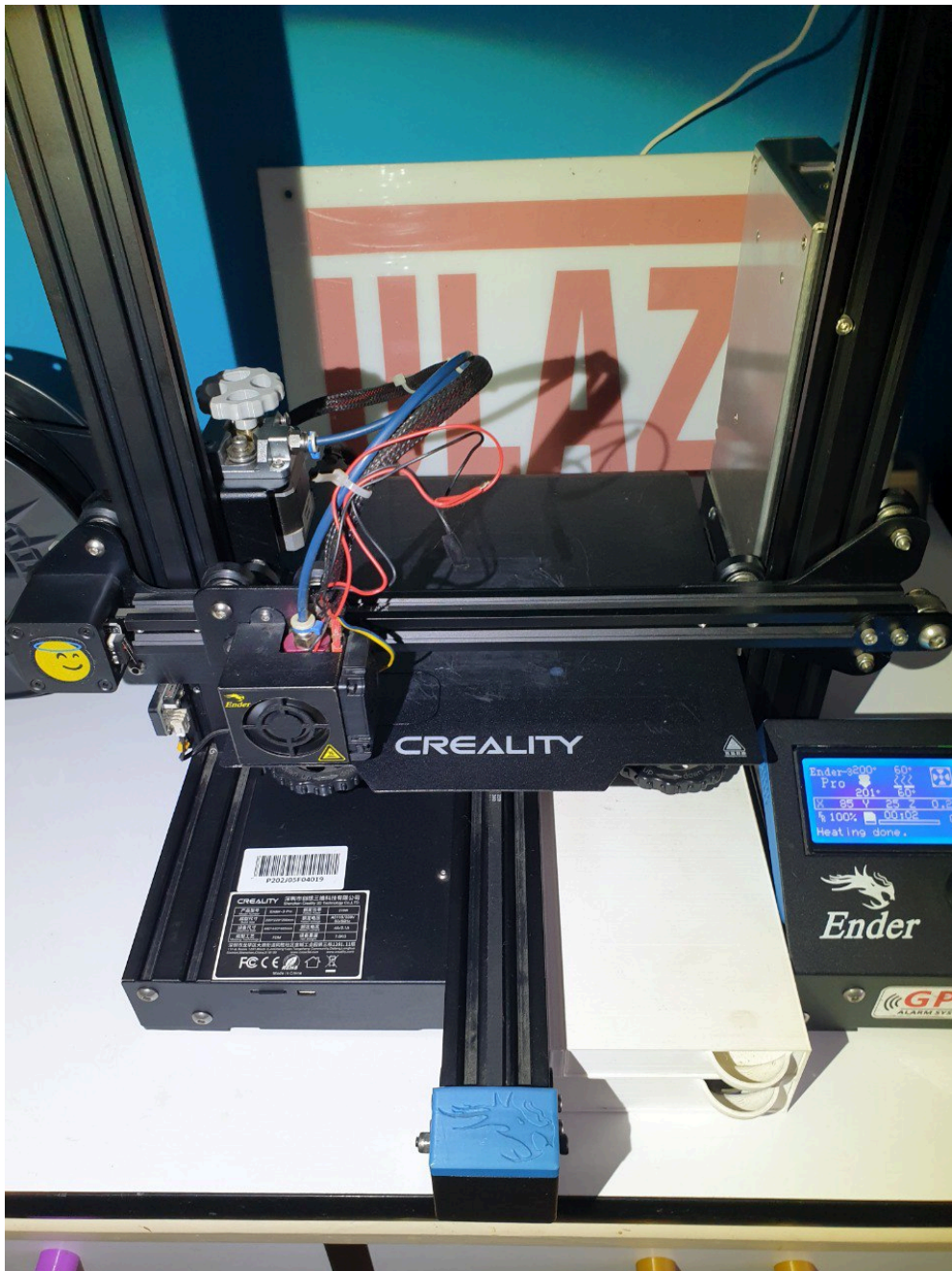


Slika 59. Provjera pozicije 3D modela na podlozi i potpornih struktura prije ispisa (autorski rad)

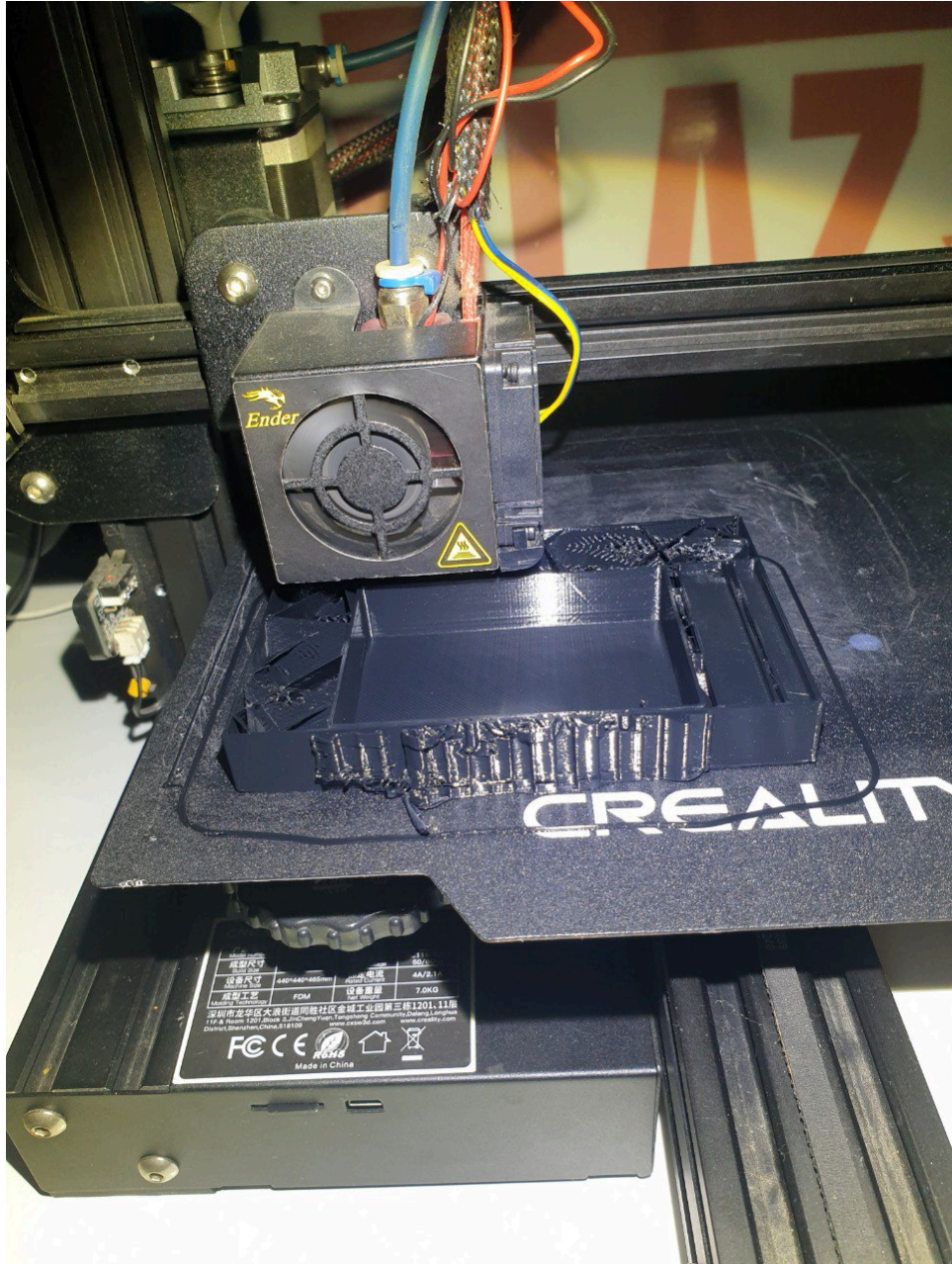
Konačni korak u procesu pripreme prijenos je G-kod datoteke na SD karticu, koja je zatim umetnuta u *Ender 3 Pro* pisač. Nakon što je SD kartica umetnuta, pokrenut je proces ispisa, a prvi slojevi pomno su praćeni kako bi se osiguralo da je adhezija prvog sloja na podlozi ispravna i da nema pogrešaka tijekom ispisa.



Slika 60. Vlastiti 3D pisač Ender 3 Pro (autorski rad)



Slika 61. Početak 3D ispisa (autorski rad)



Slika 62. Kontroliranje kvalitete ispisa (autorski rad)

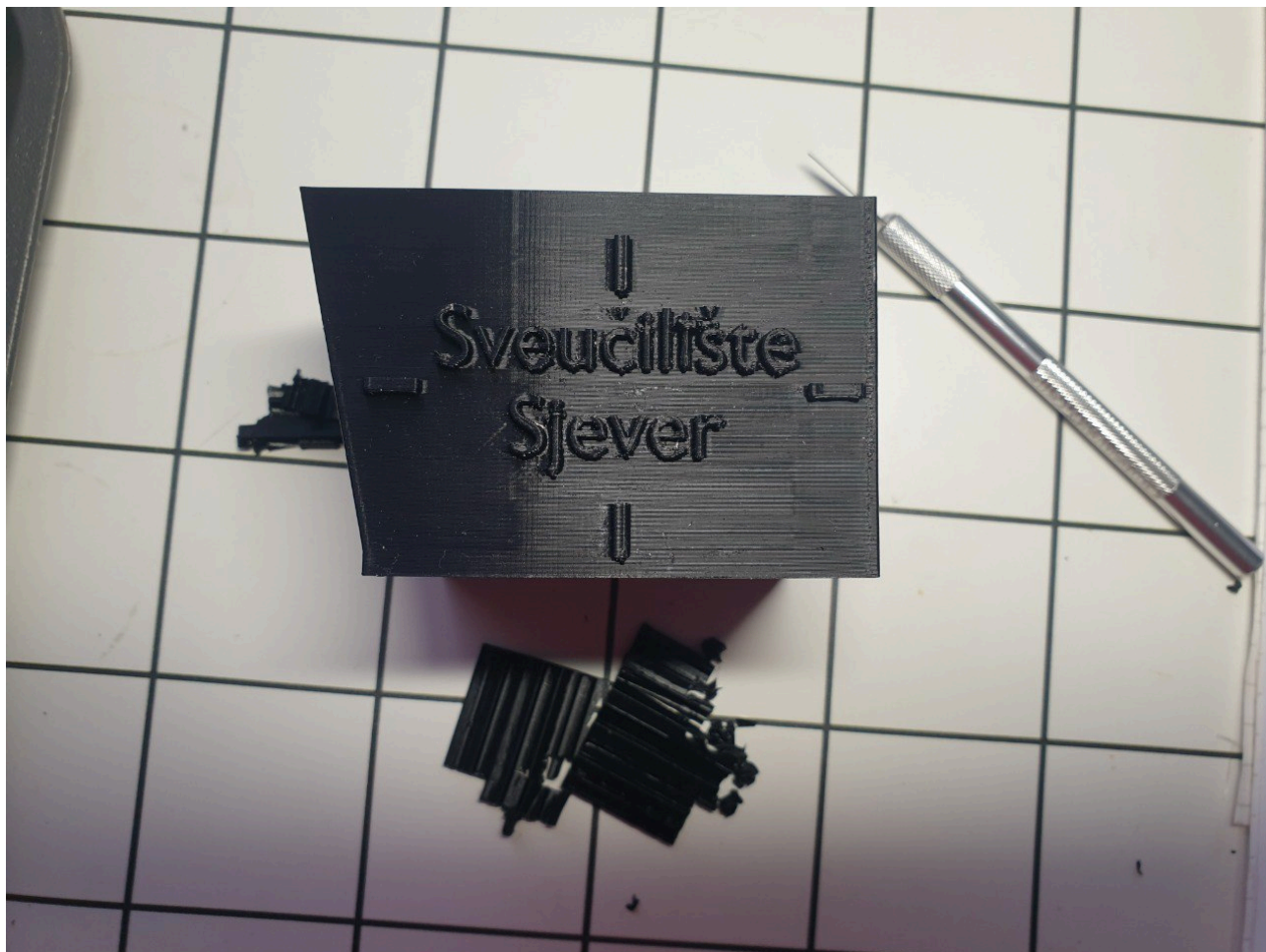
4.4. Post-obrađena i primjena proizvoda

Nakon uspješnog dovršetka 3D ispisa držača za olovke s logotipom Sveučilišta Sjever, uslijedio je postupak post-obrađena. Prvi korak u post-obrađeni pažljivo je uklanjanje potpora koje su korištene tijekom ispisa. Potpore su bile neophodne za ispravan ispis izbočenih dijelova modela, ali ih je potrebno pažljivo ukloniti kako ne bi došlo do oštećenja površine modela.

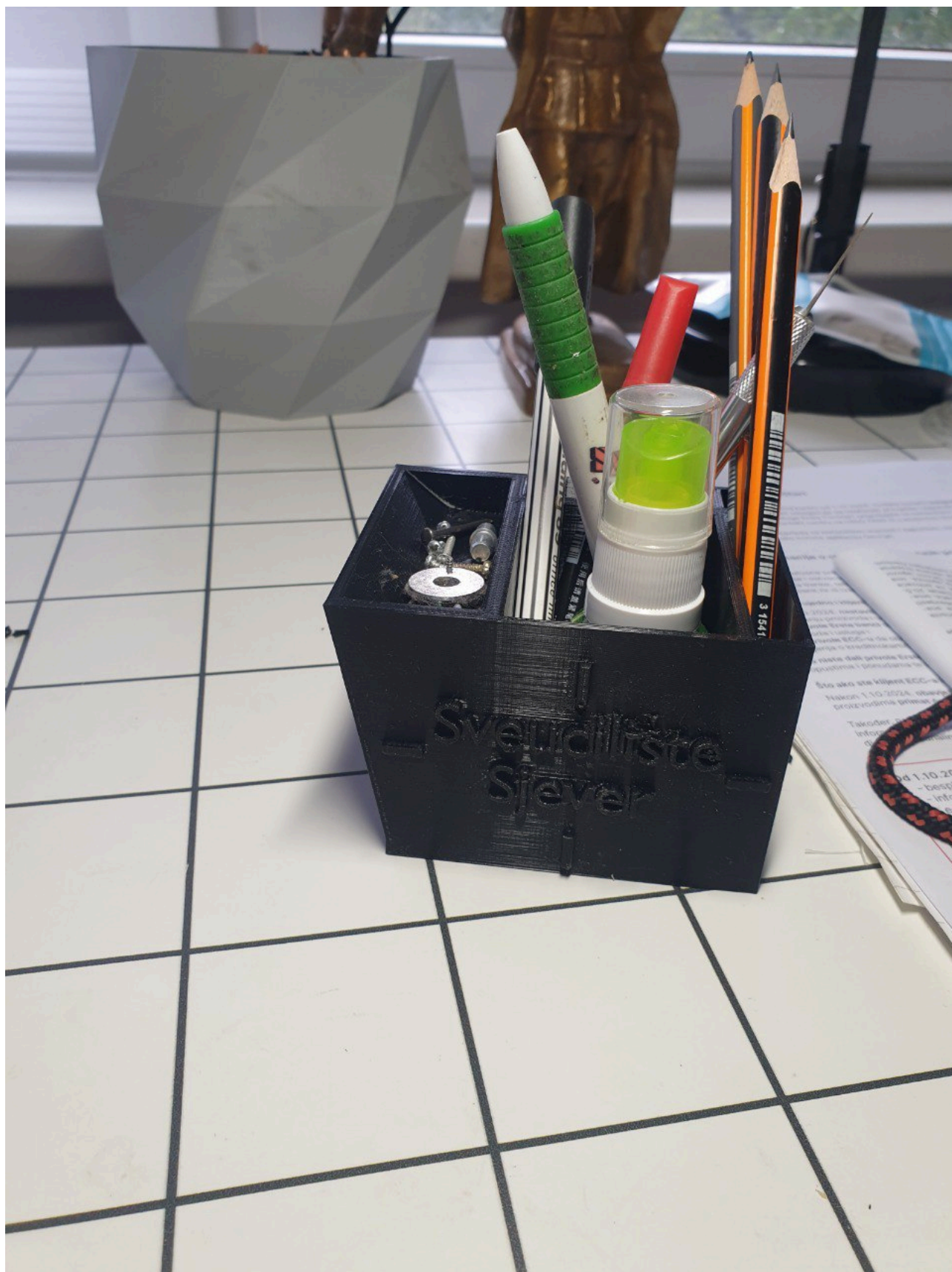


Slika 63. Proizvod 3D ispisa s potporama (supports) (autorski rad)

Nakon uklanjanja potpora, površine modela su pregledane kako bi se odmah uočile eventualne nepravilnosti koje su mogle nastati tijekom ispisa te su uklonjene korištenjem skalpela.



Slika 64. Završna obrada organizatora za stol i uklanjanje potpora (autorski rad)



Slika 65. Gotov organizator za stol s logotipom Sveučilišta Sjever (autorski rad)

5. Zaključak

Ovaj završni rad sadrži pregled 3D modeliranja te eksperimentalni dio koji obuhvaća 3D ispis stolnog organizatora s logotipom Sveučilišta Sjever koristeći FDM (*Fused Deposition Modeling*) tehnologiju. Provedenim eksperimentom dokazano je da FDM tehnologija omogućuje brz i cjenovno pristupačan proces izrade objekata, što je ključno u mnogim industrijama, ali i u obrazovnom i hobističkom okruženju. Kroz praktičan primjer izrade organizatora demonstrirana je moguća izrada prototipa na temelju digitalnog modela, počevši od ideje u softveru *Blender* do završne faze ispisa na 3D pisaču *Ender 3 Pro*.

Unatoč brojnim prednostima FDM tehnologije, poput jednostavnosti uporabe, niske cijene i široke dostupnosti materijala, FDM tehnologija ima i mane, osobito u pogledu završne obrade i kvalitete površine ispisa. Postupak ispisa sloj po sloj zahtijeva dodatnu post-obradu kako bi se postigla estetski prihvatljiva površina. Također, primječni su nedostaci u preciznosti kada su u pitanju sitni detalji, kao i smanjena čvrstoća na mjestima gdje se slojevi spajaju. To predstavlja izazove koje treba uzeti u obzir prilikom planiranja sljedećih prototipova.

Eksperimentalni dio rada pokazao je da FDM tehnologija ima veliki potencijal u obrazovnom kontekstu jer zbog jednostavnosti korištenja i svoje pristupačnosti pruža studentima i istraživačima priliku za izradu funkcionalnih prototipova te im omogućuje da testiraju svoje ideje u stvarnom svijetu. Iako oprema korištena za izradu rada nije na razini novijih profesionalnih industrijskih uređaja, ona je u potpunosti ispunila svoju svrhu u kontekstu trenutnog obrazovanja.

Zaključno, FDM tehnologija predstavlja praktičan alat za brzu izradu objekata, s velikim potencijalom za daljnju primjenu i razvoj, unatoč određenim manama. Rad je demonstrirao da, uz pravilan pristup i korištenje dostupnih resursa, FDM tehnologija može plasirati kvalitetan produkt, što prikazuje praktičnost i korisnost upotrebe 3D ispisa.

6. Literatura

- [1] <https://www.3ders.org/3d-printing-basics.html> datum pristupa: 11.09.2024.
- [2] <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/> datum pristupa: 11.09.2024.
- [3] <https://izit.hr/blog/aditivna-proizvodnja/> datum pristupa: 11.09.2024.
- [4] <https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing-who-invented-the-3d-printer/>
datum pristupa: 11.09.2024.
- [5] <https://www.machinedesign.com/3d-printing-cad/article/21835865/3d-printing-the-machine-that-started-it-all> datum pristupa: 11.09.2024.
- [6] <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/the-history-of-3d-printing/> datum pristupa: 11.09.2024.
- [7] <https://3dkiprineri.home.blog/osnovno-o-tehnologiji-3d-ispisa/> datum pristupa: 11.09.2024.
- [8] <https://izradi.croatianmakers.hr/lessons/uvod-u-3d-printanje/> datum pristupa: 11.09.2024.
- [9] <https://www.3dprintaj.com/fdm-fff-tehnologija-3d-printanja> datum pristupa: 11.09.2024.
- [10] <https://www.3dsystems.com/stereolithography> datum pristupa: 11.09.2024.
- [11] <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/#fdm> datum pristupa: 11.09.2024.
- [12] <https://formlabs.com/eu/blog/what-is-selective-laser-sintering/> datum pristupa: 11.09.2024.
- [13] <https://www.3dprintaj.com/filamenti-za-3d-ispis/> datum pristupa: 11.09.2024.
- [14] <https://www.3dprintaj.com/filamenti-za-3d-ispis/#fleksibilni> datum pristupa: 11.09.2024.
- [15] <https://all3dp.com/2/cartesian-3d-printer-delta-scara-belt-corexy-polar/>
datum pristupa: 11.09.2024.
- [16] <https://all3dp.com/2/fused-deposition-modeling-fdm-3d-printing-simply-explained/>
datum pristupa: 11.09.2024.
- [17] <https://izit.hr/tehnologije/> datum pristupa: 11.09.2024.
- [18] <https://3dpros.com/guides/fdmreference> datum pristupa: 11.09.2024.
- [19] <https://xometry.pro/en-uk/articles/3d-printing-fdm-overview/> datum pristupa: 11.09.2024.
- [20] <https://prototaluk.com/blog/fused-deposition-modelling-advantages-and-disadvantages/>
datum pristupa: 11.09.2024.
- [21] <https://sybridge.com/fused-deposition-modeling-advantages-and-disadvantages/>
datum pristupa: 11.09.2024.
- [22] <https://xometry.pro/en-uk/articles/3d-printing-fdm-overview/>
datum pristupa: 11.09.2024.

[23] <https://all3dp.com/2/what-is-a-3d-slicer-simply-explained/> datum pristupa: 11.09.2024

[24] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321064671>

datum pristupa: 11.09.2024

[25] <https://sybridge.com/why-3d-printing-layer-height-matter/> datum pristupa: 11.09.2024

7. Popis slika

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Slika 1. Ciklus u aditivnoj proizvodnji (autorski rad)..... | 2 |
| Slika 2. Prvi komercijalni 3D pisač SLA-1..... | 3 |
| Slika 3. 3D pisač Prusa MK4S – primjer modernog, komercijalno dostupnog i pristupačnog pisača..... | 4 |
| Slika 4. Prikaz postupka 3D ispisa metodom Fused Filament Fabrication..... | 6 |
| Slika 5. Prikaz SLA tehnologije..... | 8 |
| Slika 6. Prikaz FDM tehnologije..... | 9 |
| Slika 7. Prikaz SLS tehnologije..... | 10 |
| Slika 8. Fleksibilnost i čvrstoća TPU filameta..... | 11 |
| Slika 9. Prikaz različitih filamenata na rolama za 3D ispis (autorski rad)..... | 12 |
| Slika 10. Kartezijanski 3D pisač..... | 13 |
| Slika 11. Delta 3D pisač..... | 14 |
| Slika 12. CoreXY 3D i raspored remenica..... | 15 |
| Slika 13. CoreXY 3D..... | 16 |
| Slika 14. Ekstruder 3D pisača Ender 3 Pro (autorski rad)..... | 17 |
| Slika 15. Hotend pisača Ender 3 Pro (autorski rad)..... | 18 |
| Slika 16. Podloga za ispis pisača Ender 3 Pro (autorski rad)..... | 19 |
| Slika 17. Nadograđena matična ploča Silent Motherboard V4.2.7 koja je ugrađena u pisač..... | 20 |
| Slika 18. Motor koji pokreće x i z os (autorski rad)..... | 21 |
| Slika 19. Motor koji pokreće os y (autorski rad)..... | 22 |
| Slika 20. Početno sučelje programa Blender (autorski rad)..... | 24 |
| Slika 21. Izbornik koji prikazuje svojstva inicijalnog objekta (autorski rad)..... | 25 |
| Slika 22. Modalni prozor Scene (autorski rad)..... | 26 |
| Slika 23. Izbornik Viewport Overlays (autorski rad)..... | 27 |
| Slika 24. Baza organizatora za stol (autorski rad)..... | 28 |
| Slika 25. Alat Inset Faces (autorski rad)..... | 29 |
| Slika 26. Korištenje alata Extrude (autorski rad)..... | 30 |
| Slika 27. Selektiranje stranice organizatora i korištenje Extrude alata (autorski rad)..... | 31 |
| Slika 28. Kreiranje novog odjeljka za organizator (autorski rad)..... | 32 |
| Slika 29. Uvlačenje baze prema unutrašnjosti uz pomoć Extrude alata (autorski rad)..... | 32 |
| Slika 30. Kreiranje novog odjeljka na drugoj strani organizatora (autorski rad)..... | 33 |
| Slika 31. Izvlačenje stranice prema van uz pomoć Extrude alata (autorski rad)..... | 34 |
| Slika 32. Kreiranje novih odjeljaka u organizatoru (autorski rad)..... | 34 |
| Slika 33. Uvlačenje baze prema unutrašnjosti objekta pomoću Extrude alata..... (autorski rad)..... | 35 35 |
| Slika 34. Uvlačenje baze prema unutrašnjosti objekta pomoću Extrude alata..... (autorski rad)..... | 36 36 |
| Slika 35. Uvlačenje baze prema unutrašnjosti objekta pomoću Extrude alata..... (autorski rad)..... | 37 37 |
| Slika 36. Označavanje čvorova (autorski rad)..... | 38 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 37. Pomicanje čvorova pomoću Move alata (autorski rad)..... | 39 |
| Slika 38. Stavljanje tekstualnog objekta u scenu (autorski rad)..... | 40 |
| Slika 39. Unos teksta Sveuciliste Sjever (autorski rad)..... | 41 |
| Slika 40. Pozicioniranje i skaliranje teksta (autorski rad)..... | 42 |
| Slika 41. Pretvorba teksta u mesh (autorski rad)..... | 43 |
| Slika 42. Novonastali mesh teksta (autorski rad)..... | 44 |
| Slika 43. Izvlačenje teksta pomoću Extrude alata (autorski rad)..... | 45 |
| Slika 45. Pozicioniranje teksta koje omogućuje pravilno presijecanje sa stranicom modela (autorski rad)..... | 46 |
| Slika 46. Modularni prozor Boolean (autorski rad)..... | 47 |
| Slika 47. Ujedinjeni tekst s organizatorom (autorski rad)..... | 48 |
| Slika 48. Izrada, pozicioniranje i spajanje kvačica s modelom (autorski rad)..... | 49 |
| Slika 49. Organizator za olovke s natpisom Sveučilište Sjever (autorski rad)..... | 50 |
| Slika 50. Stvaranje kocke i pretvaranje u pravokutnik pomoću Move alata (autorski rad)... | 51 |
| Slika 51. Dupliciranje pravokutnika i pozicioniranje na organizator (autorski rad)..... | 52 |
| Slika 52. Spajanje pravokutnika s glavnim objektom pomoću Boolean alata..... | 53 |
| (autorski rad)..... | 53 |
| Slika 53. Spajanje pravokutnika s glavnim objektom pomoću Boolean alata..... | 53 |
| (autorski rad)..... | 53 |
| Slika 54. Spajanje pravokutnika s glavnim objektom pomoću Boolean alata..... | 54 |
| (autorski rad)..... | 54 |
| Slika 55. Početno grafičko sučelje softvera UltiMaker Cura (autorski rad)..... | 55 |
| Slika 56. STL datoteka modela učitana u UltimaMaker Cura softwareu (autorski rad)..... | 56 |
| Slika 57. Crni PLA proizvođača Plastika Trček (autorski rad)..... | 57 |
| Slika 58. Podešavanje parametara za 3D ispis u softveru UltiMaker Cura (autorski rad)..... | 58 |
| Slika 59. Provjera pozicije 3D modela na podlozi i potpornih struktura prije ispisa (autorski rad)..... | 59 |
| Slika 60. Vlastiti 3D pisac Ender 3 Pro (autorski rad)..... | 60 |
| Slika 61. Početak 3D ispisa (autorski rad)..... | 61 |
| Slika 62. Kontroliranje kvalitete ispisa (autorski rad)..... | 62 |
| Slika 63. Proizvod 3D ispisa s potporama (supports) (autorski rad)..... | 64 |
| Slika 64. Završna obrada organizatora za stol i uklanjanje potpora (autorski rad)..... | 65 |
| Slika 65. Gotov organizator za stol s logotipom Sveučilišta Sjever (autorski rad)..... | 66 |