

## ANALIZA PROIZVODNOSTI DELOVA VEĆIH GABARITA PRIMENOM ADITIVNIH TEHNOLOGIJA I TEHNOLOGIJA SPAJANJA

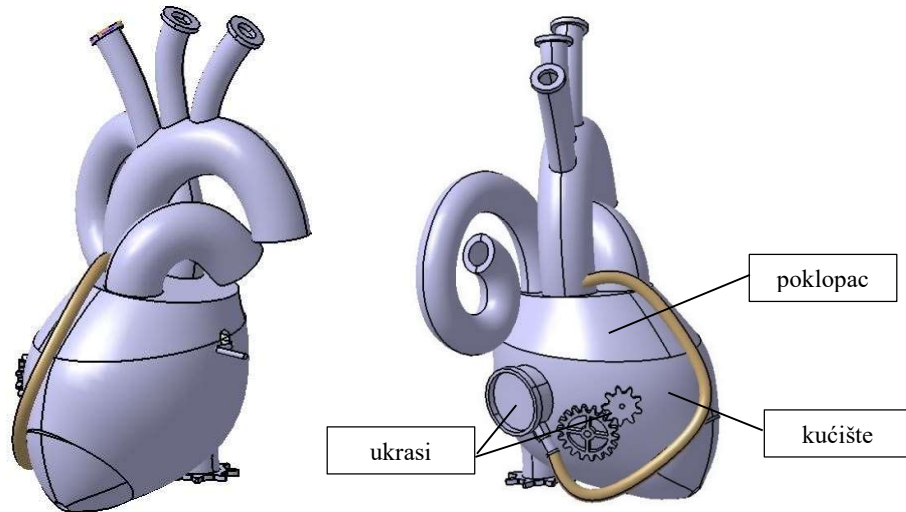
### Rezime

U ovom radu prikazan je postupak izrade i postprocesiranja proizvoda koji je dobijen iz delova aditivnom tehnologijom na 3D štampaču sa radnim prostorom koji nije bio dovoljan za integralnu štampu. Korišćeni štampač radi na principu fotopolimerizacije. Kao rezultat, napravljen je proizvod koji je dobijen spajanjem mnoštva manjih delova lepljenjem i dodatnom aplikacijom fotopolimera na spojeve. Testirane su i poređene različite vrste lepkova za spajanje manjih delova u finalni proizvod. Kao poslednje operacije postprocesiranja, na finalni proizvod naneseni su prajmer i boja.

**Ključne reči:** 3D štampanje, SLA štampač, stereolitografija, lepak, spajanje delova.

### 1. UVOD

U CAD softverskom paketu CATIA dizajniran je proizvod u obliku anatomskog srca koji funkcionalno predstavlja oklop za muzičku kutiju (slika 1). Ukupna dimenzija sklopa je 110 x 185 x 95 mm i sastoji se iz kućišta, poklopca i tri ukrasa manjih dimenzija. Za izradu je korišćen SLA (stereolitografija) 3D štampač CREALITY LD-002R čija je dimenzija radnog prostora 68 x 121 x 160 mm. Štampanje kućišta i poklopcaje na ovom štampaču jedino bilo moguće iz više manjih delova, koji su dobijeni podelom po ravnim površinama u CAD softveru. U radu je prikazano kako su ovi delovi objedinjeni u postupku postprocesiranja.



Slika 1. Dizajniran sklop za muzičku kutiju izrađen u softverskom paketu CATIA

#### 1.1. Stereolitografija

Stereolitografija (Stereolithography), SLA, je jedna od tehnologija 3D štampe koja se zasniva na fotopolimerizaciji. Uz pomoć nje mogu da se odštampaju izuzetno mali i fini detalji sa savršeno glatkom

<sup>1)</sup> Aleksandra Trajkov, maš. inž., student master studija Mašinskog fakulteta u Beogradu (1134-2021@studenti.mas.bg.ac.rs)

<sup>2)</sup> Prof. dr Mihajlo Popović ([mpopovic@mas.bg.ac.rs](mailto:mpopovic@mas.bg.ac.rs)), doc. dr Miloš Pjević, ([mpjevic@mas.bg.ac.rs](mailto:mpjevic@mas.bg.ac.rs)), prof. dr Goran Mladenović, ([gmladenovic@mas.bg.ac.rs](mailto:gmladenovic@mas.bg.ac.rs)), Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet

površinom koja ne zahteva nikakvu dodatnu obradu. Kao gradivni materijal koristi se tečni fotopolimer, za razliku od čvrstih praškastih i filamenata. Fotopolimer je materijal koji menja svoju strukturu pod ultraljubičastom svetlošću, kada iz tečnog prelazi u čvrsto stanje.

SLA štampači rade s posudom napunjenom fotopolimerom i platformom koja se kreće po vertikalnoj osi. Mašina počinje izradu modela sloj po sloj uz pomoć izuzetno preciznog lasera ili UV lampe. Kada jedan sloj očvrstne platforma se podiže (ili spušta u zavisnosti od tipa štampača) i formira novi sloj polimera. Laser konstantno prati zadatu putanju od strane softvera kojom treba da se kreće sve dok predmet ne bude izrađen. Nakon toga, operater nežno odvaja predmet od radne platforme. U zavisnosti od samog štampača i vrste polimera, moguće je da predmet treba da se potopi u posudu s alkoholom kako bi se skinuo višak polimera, da se tretira u UV posudi da bi dodatno očvrstnuo kada je spreman za dalju upotrebu. Kod delova koji nemaju temelj koriste se potporne strukture inače bi štampanje bilo nemoguće.

Ključnu prednost predstavljaju izuzetno visoka preciznost i brzina štampe. Mala debljina sloja od 0.05 milimetra daje savršeno glatku površinu i tačnost geometrije. Nedostatak je viša cena korišćenja.

Predmeti proizvedeni sa SLA tehnologijom 3D štampe imaju izuzetno visoku rezoluciju i kvalitet i često ne zahtevaju nikakvu dodatnu obradu. Mogu biti polirani i ofarbani [1].

## **2. TESTIRANJE LEPKOVA ZA SPAJANJE POJEDINAČNIH DELOVA**

Istraživanjem se pokazalo da je korišćenje lepka između dve ravne površine uspešno, a neefektivno je na zaobljenim površinama. Takođe je bitno naglasiti da je pored lepljenja neophodno dodatno popuniti prorez između delova tečnim fotopolimerom od kog je sam deo napravljen da bi se dobila glatka površina. Ne može se koristiti samo fotopolimer između dve ravne površine jer UV svetlo ne dopire unutar njih. Prednost ručnog rada sa fotopolimerom je dugo vreme rada, a kratko vreme očvršćavanja korišćenjem UV svetla, tako da neće očvrstnuti sve dok se ne izloži zračenju UV lampe. Ukoliko se u međuvremenu napravi greška, lako se može ispraviti pre očvršćavanja. [2]. Na kraju se koristi šmirgla da bi se dobila glatka površina.

### **2.1. Vrste korišćenih lepкова**

Pre stavljanja lepka je bitno da se površine išmirglaju. Iskustva drugih autora [3-6] pokazuju da je superlepak i dvokomponentni epoxy jedan od najboljih izbora pored dodatnog popunjavanja prostora fotopolimerom i izlaganja UV svetlu.

Lepkovi koji su korišćeni za ovaj eksperiment su: dvokomponentni epoxy lepak, lepak za gumu, lepak za plastiku, super lepak, super lepak gel i univerzalni lepak. Svaki je apliciran između dve ravne išmirglane površine na testnim komadima i nakon sušenja je ručno primenjena sila odvajanja tih delova. Rezultat eksperimenta je bio zadovoljavajući gde su se uprkos razdvajanju, delovi držali, sem lepka za plastiku koji jedini nije uspeo da drži. Na osnovu raznovrsnosti izbora u ovom eksperimentu i iskustva drugih autora [3-6], odlučeno je da se koristi dvokomponentni epoxy lepak, a super lepak koji se osuši za nekoliko sekundi je korišćen samo na narandžastom krivudavom delu.

## **3. POSTUPAK IZRADE PROIZVODA**

### **3.1. Priprema za štampanje i štampanje delova**

Priprema delova za štampanje – predprocesiranje izvedena je u programskom paketu CHITUBOX. Nakon učitavanja modela u stl formatu, podešeni su sledeći parametri:

- Štampač na kome će se izraditi deo (CREALITY LD-002R)
- Visina sloja (0,05 mm)
- Broj donjih slojeva (10)
- Vreme izloženosti (14 s)
- Vreme izloženosti donjih slojeva (50 s)

Nakon ovoga postavljena je potpora srednje debljine koja je u zavisnosti od veličine dela koji se štampa i generiše se g-kod koji se na štampač prenosi preko “fleš memorije”. Deo se na štampaču izrađuje na osnovu generisanog g-koda.

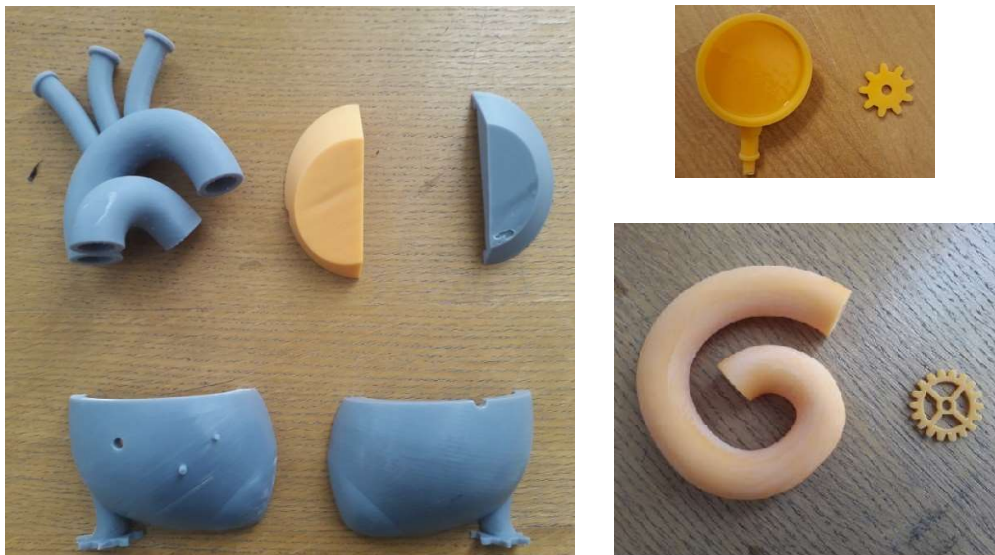
Na slici 2 prikazana je odštampana jedna polovina poklopca zajedno sa jednim ukrasom koji su pričvršćeni na platformi štampača.



*Slika 2. Odštampani delovi na platformi štampača*

### 3.2. Postprocesiranje

Prilikom postprocesiranja skinute su potpore, delovi dodatno očišćeni medicinskim alkoholom i dodatno izloženi UV svetlu. Nije bilo potrebno dodatno obrađivati ukrase koje čine 2 zupčanika i „manometar”.



*Slika 3. Skinute potpore, očišćeni delovi alkoholom i dodatno izloženi UV svetlu*

Delovi su izrađivani od fotopolimera u dve boje, što nije predstavljalo estetski problem jer je proizvod na kraju obojen u željenu boju. Uočeni nedostaci na pojedinim odštampanim delovima, neplanirane rupe popunjavane su fotopolimerom i naknadno očvršćavane. Ista tehnika je iskorišćena i posle spajanja. Pre spajanja delovi su ošmirglani i odmašćeni.



*Slika 4. Fotopolimerom popunjene neravnine i rupe, očvršene i ošmirglane*

### **3.1. Spajanje delova**

Na slici 5 prikazani su zalepljeni delovi kućišta i poklopca. Za lepljenje je iskorišćen dvokomponentni epoxy lepak za koji je ranije utvrđeno da daje najbolje rezultate.



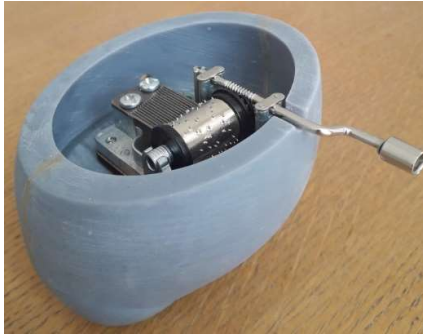
*Slika 5. Delovi zalepljeni dvokomponentnim epoxy lepkom*

Na slici 6 prikazan je izgled kućišta i poklopca posle popunjavanja šupljina fotopolimerom, njegovog očvršćavanja i šmirglanja.



*Slika 6. Delovi sa popunjenim procepima i ošmirglani*

U kućište je ubačen mehanizam muzičke kutije (slika 7) i ono je zatvoreno poklopcem lepljenjem na šta su nalepljeni i ostali elementi poklopca (slika 8)



*Slika 7. Postavljena muzička kutija*



*Slika 8. Zalepljeni i popunjeni finalni sklop*

Super lepak koji se brzo suši korišćen za narandžasti vijugavi deo zbog njegove nestabilnosti prilikom lepljenja. Sklopljen proizvod je odmašćen, na njega je nanesen prajmer i bronzana boja metodom airbrush (slike 9 i 10).



*Slika 9. Sklop sa nanesenim prajmerom i špic-gitom metodom airbrush-a*



*Slika 10. Finalni izgled sklopa muzičke kutije*



#### 4. ZAKLJUČAK

Ne može se očekivati kvalitetno ištampan proizvod odmah nakon završetka štampanja. Postprocesiranje je je bitan i delikatan posao kome se posvećuje mnogo pažnje za dobijanje proizvoda najvišeg kvaliteta.

#### 5. LITERATURA

- [1] 3D republika, Stereolitografija – preciznost i detalji, 24.6.2016., <https://www.3drepublika.com/faq/sta-je-stereolitografija/>
- [2] Renaissance Laboratories, Glue vs. Resin for 3D model joints. Advanced techniques on when to use resin with examples, 9.6.2021, <https://www.youtube.com/watch?v=vngazga1Q8>
- [3] [https://www.reddit.com/r/PrintedMinis/comments/dq0al3/what\\_glue\\_for\\_resin\\_printed\\_models/](https://www.reddit.com/r/PrintedMinis/comments/dq0al3/what_glue_for_resin_printed_models/)
- [4] [https://www.reddit.com/r/resinprinting/comments/ld1q6n/how\\_do\\_you\\_glue\\_resin\\_prints/](https://www.reddit.com/r/resinprinting/comments/ld1q6n/how_do_you_glue_resin_prints/)
- [5] [https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/m5nwlw/best\\_way\\_to\\_glue\\_together\\_big\\_3d\\_parts/](https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/m5nwlw/best_way_to_glue_together_big_3d_parts/)
- [6] [https://www.reddit.com/r/minipainting/comments/r8o3nx/noob\\_question\\_how\\_to\\_glue\\_3d\\_printed\\_resin\\_models/](https://www.reddit.com/r/minipainting/comments/r8o3nx/noob_question_how_to_glue_3d_printed_resin_models/)

Trajkov, A., Popović, M., Pjević, M., Mladenović, G.

### **ANALYSIS OF THE PRODUCTION OF LARGER DIMENSION PARTS BY APPLYING ADDITIVE TECHNOLOGIES AND JOINING TECHNOLOGIES**

***Abstract:** This paper shows the process of manufacturing and post-processing of a product obtained from parts using additive technology on a 3D printer with a working space that was not sufficient for integral printing. The used printer works on the principle of photopolymerization. As a result, a product was created that was obtained by joining many smaller parts by gluing and additional application of photopolymer to the joints. Different types of glues were tested and compared for joining smaller parts into the final product. As the last post-processing operations, primer and paint were applied to the final product.*

***Key words:** 3D printing, SLA printer, stereolitography, glue, joining parts*