

# Razvoj 3D tiskača

---

**Klasić, Mario**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:552426>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-05-14**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

**Mario Klasić**

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Bojan Jerbić, dipl. ing.

Student:

Mario Klasić

Zagreb, 2019.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru, prof.dr.sc. Bojanu Jerbiću te dr.sc. Marku Švacu na pomoći i sugestijama prilikom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se svim djelatnicima laboratorija za robotiku i automatizaciju proizvodnih sustava na savjetima i pozitivnoj radnoj atmosferi.

Također se zahvaljujem obitelji, prijateljima i kolegama na moralnoj podršci tijekom cijelog dosadašnjeg studija, pa tako i tijekom izrade ovog diplomskog rada.

U Zagrebu, 17. siječnja 2019.

Mario Klasić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,  
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

|  |         |
|--|---------|
| Sveučilište u Zagrebu<br>Fakultet strojarstva i brodogradnje |         |
| Datum:   | Prilog: |
| Klasa:   |         |
| Ur. broj:  |         |

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **MARIO KLASIĆ** Mat. br.: **0035195693**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Razvoj 3D tiskača**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Development of 3D printer**

Opis zadatka:

Izrada prototipova korištenjem tehnologije 3D tiskanja (printanja) obuhvaća raznovrsne metode i tehnologije kao što su postupci aditivne proizvodnje temeljeni na ekstrudiraju žice (npr. FDM), selektivno lasersko srašćivanje (SLS), stereolitografija i druge. Taložno očvršćivanje (eng. Fused Deposition Modeling - FDM) je postupak temeljen na ekstrudiraju kod kojeg se za izradu proizvoda rabi rastaljeni, najčešće polimerni materijal. Uređaji za FDM rade na principu tro-osnog manipulatota ili CNC obradnog centra. Kroz mlaznicu, čiji je položaj u tri osi numerički upravljan, prolazi polimerni materijal u obliku žice koji se u mlaznici zagrijava i tali. U diplomskom radu potrebno je napraviti analizu različitih konstrukcijskih i upravljačkih izvedbi za tro-osne 3D tiskače.

Nakon analize mogućih izvedbi, za odabranu izvedbu u okviru ovog diplomskog rada potrebno je:

1. Konstruirati specifične komponente i odabrati postojeće strojarske i elektroničke ugradbene elemente te izraditi funkcionalni 3D tiskač (mehanički, pogonski i upravljački dio). Tiskač treba izrađivati prototipove minimalnih dimenzija  $250 \times 250 \times 250$  mm.
2. Implementirati programsku podršku temeljenu na Arduino platformi za sve potrebne parametre ekstrudiranja kao što su brzina ekstrudiranja, temperatura grijane podloge itd.
3. Konstruirati grijanu komoru kako bi se mogli tiskati prototipovi napravljeni od ABS-a.
4. Izraditi testne uzorke raznovrsne geometrije i od različitih materijala (ABS, PLA, PETG) te ispitati točnost tiskanja u XY ravnini i u Z osi.
5. Detaljno analizirati geometrijska odstupanja za izratke različitih dimenzija i od različitih materijala.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
15. studenog 2018.

Rok predaje rada:  
17. siječnja 2019.

Predviđeni datum obrane:  
23. siječnja 2019.  
24. siječnja 2019.  
25. siječnja 2019.

Zadatak zadao:  
  
prof. dr. sc. Bojan Jerbić

Predsjednica Povjerenstva:  
  
prof. dr. sc. Biserka Runje

## SADRŽAJ

|   |      |
|---|------|
| SADRŽAJ .....   | I    |
| POPIS SLIKA .....   | IV   |
| POPIS TABLICA.....  | VII  |
| POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....  | VIII |
| POPIS OZNAKA .....  | IX   |
| POPIS KRATICA .....   | X    |
| SAŽETAK .....   | XI   |
| SUMMARY .....   | XII  |
| 1 Uvod.....   | 1    |
| 2 3D tiskanje .....   | 2    |
| 2.1 Određivanje glavnih elemenata od kojih se sastoji 3D tiskač .....               | 2    |
| 2.1.1 Aditivne tehnologije.....   | 2    |
| 2.1.1.1 Taložno očvršćivanje ( <i>engl. Fused Deposition Modeling - FDM</i> ) ..... | 3    |
| 2.1.1.1.1 ABS ( <i>e. Acrylonitrile Butadiene Styrene</i> ) .....                   | 4    |
| 2.1.1.1.2 PLA ( <i>e. Polylactic acid</i> ) .....                                   | 5    |
| 2.1.1.1.3 PETG ( <i>e. Polyethylene terephthalate "glycol-modified"</i> ) .....     | 5    |
| 2.1.1.1.4 Usporedba mehaničkih i temperturnih svojstava materijala.....             | 6    |
| 3 Razvoj 3D tiskača s grijanom komorom .....  | 7    |
| 3.1 Kinematika 3D tiskača .....   | 7    |
| 3.2 Glavni elementi potrebni za izradu 3D tiskača sa grijanom komorom.....          | 8    |
| 3.3 Oblikovanje konstrukcije 3D tiskača .....                                       | 8    |
| 3.3.1 Verzija 1, FSBXXX ( 12.2.2018. ).....   | 9    |
| 3.3.2 Verzija 2, FSB300 ( 31.3.2018. ).....   | 12   |
| 3.3.3 Verzija 3, FSB300 ( 27.4.2018. ).....   | 13   |
| 3.3.4 Verzija 4, FSB300 ( 12.10.2018. ) - konačna verzija.....                      | 15   |
| 3.4 Odabir standardnih komponenata za 3D tiskač .....                               | 16   |
| 3.5 Konstrukcija specifičnih komponenata .....                                      | 21   |
| 3.5.1 Prirubnice .....  | 21   |
| 3.5.1.1 Aluminijска ploča .....   | 23   |
| 3.5.1.2 Prirubnica Heated Beda .....  | 23   |
| 3.5.1.3 Držač stakla.....   | 23   |
| 3.5.1.4 Nosač opruge .....  | 24   |
| 3.5.1.5 Prirubnica ekstrudera.....  | 24   |
| 3.5.1.6 Dodatak ekstrudera.....   | 24   |
| 3.5.1.7 Prirubnica xy .....   | 25   |
| 3.5.1.8 KP000 dodatak.....  | 25   |
| 3.5.2 Nosači, držači i prirubnice .....   | 26   |
| 3.5.2.1 Nosači, držači i prirubnice neophodni za pokretanje 3D tiskanja .....       | 26   |
| 3.5.2.1.1 Nosač motora X i Y osi .....  | 27   |
| 3.5.2.1.2 Nosač motora Z osi .....  | 28   |
| 3.5.2.1.3 Držača filamenta .....  | 28   |

|   |    |
|---|----|
| 3.5.2.1.4 Držač endstopa 1 i 2 .....  | 29 |
| 3.5.2.1.5 Prirubnica LMK10LUU ležaja .....  | 29 |
| 3.5.2.2 Nosači, držači i prirubnice izrađivane na 3D tiskaču .....                        | 30 |
| 3.5.2.2.1 SSR poklopac i prirubnica LMK10LUU .....  | 31 |
| 3.5.2.2.2 Ventilator 30x30 držač i ventilator 30x30 dodatak .....                         | 32 |
| 3.5.2.2.3 Kućište priključka kabela dio 1 i dio 2 .....                                   | 33 |
| 3.5.2.2.4 Nosači napajanja i poklopac napajanja .....                                     | 34 |
| 3.5.2.2.5 Nosači ventilatora 80x80 za hlađenje elektronike .....                          | 35 |
| 3.5.2.2.6 Nosači LCD - a .....  | 36 |
| 3.5.2.2.7 Nosač Arduina .....   | 37 |
| 3.5.2.2.8 Vodilica filamenta .....  | 37 |
| 3.5.2.2.9 Nosač Arduino mosfet modula .....   | 38 |
| 3.5.3 Pleksiglas ploče za izradu grijane komore .....                                     | 38 |
| 3.5.3.1 Podnožje .....  | 39 |
| 3.5.3.2 Bočne ploče 1, 2 i 4 .....  | 40 |
| 3.5.3.3 Bočne ploče 5,6 i 7 .....   | 41 |
| 3.5.3.4 Pokrov .....  | 42 |
| 3.5.3.5 Sklop L1 .....  | 43 |
| 3.5.3.6 Sklop L2 .....  | 44 |
| 3.5.4 Nosači, držači i kutnici za grijanu komoru koji se izrađuju na 3D tiskaču .....     | 45 |
| 3.5.4.1 GKP nosač .....   | 45 |
| 3.5.4.2 Držač magneta .....   | 46 |
| 3.5.4.3 Kutnici 1, 2 i 3 grijane komore .....   | 46 |
| 3.5.4.4 Nosač grijaća grijane komore .....  | 48 |
| 4 Sklapanje tiskača .....   | 50 |
| 4.1 Okvir 3D tiskača .....  | 55 |
| 4.2 Vodilice X i Y osi .....  | 56 |
| 4.3 Navojno vreteno i vodilica Z osi .....  | 57 |
| 4.4 Grijana platforma i ekstruder sa okvirom .....  | 58 |
| 4.5 Upravljački sustav .....  | 59 |
| 4.6 Grijana komora .....  | 64 |
| 5 Upravljanje .....   | 66 |
| 5.1 Ugrađeni upravljački program ( <i>engl. firmware</i> ) .....                          | 66 |
| 5.2 Postavke ugrađenog programa za 3D tiskač sa grijanom komorom FSB300 .....             | 66 |
| 5.2.1 Datoteka Configuration.h .....  | 67 |
| 5.2.2 Datoteka Configuration_adv.h .....  | 76 |
| 5.2.3 Datoteka pins_RAMPS.h .....   | 77 |
| 5.3 Proračuni koji su potrebni za postavke Marlin-a .....                                 | 77 |
| 5.3.1 Potrebni koraci ekstrudera da se materijal tiskanja istisne 1 mm .....              | 77 |
| 5.3.2 Potrebni koraci motora X i Y osi da se glava ekstrudera pomakne za 1 mm .....       | 78 |
| 5.3.3 Potrebni koraci motora Z osi da se grijana platforma pomakne za 1 mm .....          | 79 |
| 5.4 Podešavanje PID parametara .....  | 79 |
| 5.4.1 PID parametri grijaća ekstrudera .....  | 79 |
| 5.4.2 PID parametri grijaća grijane platforme .....                                       | 81 |
| 6 Primjena razvijenog 3D tiskača sa grijanom komorom .....                                | 82 |
| 6.1 Analiza točnosti izrađenih dijelova iz različitih materijala ( ABS, PLA, PETG ) ..... | 82 |
| 6.1.1 CAD model dijelova za 3D tiskanje .....   | 82 |
| 6.1.2 Dijelovi izrađeni iz PLA .....  | 84 |

---

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 6.1.3 | Dijelovi izrađeni iz PETG .....  | 85 |
| 6.1.4 | Dijelovi izrađeni iz ABS - a .....   | 87 |
| 6.1.5 | Dijelovi izrađeni SLS tehnologijom .....                                     | 88 |
| 6.1.6 | Osvrt na dimenzijska odstupanja u smjeru osi Z ( visina tvorevine ) .....    | 89 |
| 6.1.7 | Osvrt na dimenzijska odstupanja u smjeru osi X i Y ( vanjske mjere ) .....   | 90 |
| 6.1.8 | Osvrt na dimenzijska odstupanja u smjeru osi X i Y ( unutarnje mjere ) ..... | 90 |
| 7     | Analiza troškova .....   | 91 |
| 8     | ZAKLJUČAK.....   | 92 |

## POPIS SLIKA

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Slika 2.1.  | Koraci aditivne proizvodnje.....                                  | 3  |
| Slika 2.2.  | Načelo postupka taložnog očvršćivanja (FDM).....                  | 4  |
| Slika 3.1.  | Gibanje ekstrudera u smjeru osi X i Y .....                       | 7  |
| Slika 3.2.  | Gibanje grijane platforme u smjeru osi Z .....                    | 7  |
| Slika 3.3.  | 3D tiskač, verzija 1 .....  | 10 |
| Slika 3.4.  | 3D tiskač, verzija 1, ekstruder i vodilice X i Y osi .....        | 10 |
| Slika 3.5.  | 3D tiskač, verzija 1, grijana platforma i okvir platforme .....   | 11 |
| Slika 3.6.  | 3D tiskač, verzija 2 .....  | 12 |
| Slika 3.7.  | 3D tiskač, verzija 2, ekstruder i vodilice X i Y osi .....        | 12 |
| Slika 3.8.  | 3D tiskač, verzija 2, grijana platforma i okvir platforme .....   | 13 |
| Slika 3.9.  | 3D tiskač, verzija 3 .....  | 13 |
| Slika 3.10. | 3D tiskač, verzija 3, ekstruder i vodilice X i Y .....            | 14 |
| Slika 3.11. | 3D tiskač, verzija 3, grijana platforma i okvir platforme .....   | 14 |
| Slika 3.12. | 3D tiskač, verzija 4 .....  | 15 |
| Slika 3.13. | 3D tiskač, verzija 4, ekstruder i vodilice X i Y osi .....        | 16 |
| Slika 3.14. | Standardni dijelovi od kojih je sastavljen okvir 3D tiskača ..... | 20 |
| Slika 3.15. | Vodilice za X,Y i Z os.....                                       | 20 |
| Slika 3.16. | Nosači i ležajevi za vodilice i navojno vreteno ( Z - os ) .....  | 21 |
| Slika 3.17. | Ležajevi i remenice koje se nalaze na vodilicama X i Y osi .....  | 21 |
| Slika 3.18. | Grijana platforma sa svim elementima .....                        | 22 |
| Slika 3.19. | Sklop ekstrudera sa svim elementima .....                         | 24 |
| Slika 3.20. | Sklop prirubnice xy .....   | 25 |
| Slika 3.21. | KP000 sklop.....  | 25 |
| Slika 3.22. | CAD model nosača moora X, Y i Z osi.....                          | 26 |
| Slika 3.23. | CAD model držača endstopa 1 i 2.....                              | 27 |
| Slika 3.24. | CAD model prirubnice LMK10LUU i držača filamenta .....            | 27 |
| Slika 3.25. | Sklop motora X (Y) osi .....                                      | 27 |
| Slika 3.26. | Sklop motora Z osi .....  | 28 |
| Slika 3.27. | Sklop endstopa 1 i 2 .....  | 29 |
| Slika 3.28. | Prirubnica LMK10LUU sklop .....                                   | 29 |
| Slika 3.29. | SSR poklopac i prirubnica LMK10LUU .....                          | 31 |
| Slika 3.30. | Funkcije SSR poklopca i prirubnice LMK10LUU .....                 | 31 |
| Slika 3.31. | Ventilator 30x30 držač i ventilator 30x30 dodatak .....           | 32 |
| Slika 3.32. | Funkcije držača i dodatka ventilatora 30x30 .....                 | 32 |
| Slika 3.33. | Kućište priključka kabela dio 1 i dio 2 .....                     | 33 |
| Slika 3.34. | Funkcija kućišta priključka kabela dio 1 i dio 2 .....            | 33 |
| Slika 3.35. | Napajanje nosač 1,2 i 3 te poklopac napajanja .....               | 34 |
| Slika 3.36. | Napajanje sklop .....   | 34 |
| Slika 3.37. | Ventilator 80x80 nosač 1 i nosač 2 .....                          | 35 |
| Slika 3.38. | Ventilator 80x80 za hlađenje elektronike sklop .....              | 35 |
| Slika 3.39. | LCD nosač 1 i nosač 2 .....                                       | 36 |
| Slika 3.40. | LCD sklop .....   | 36 |
| Slika 3.41. | Nosač Arduina i Arduino sklop .....                               | 37 |
| Slika 3.42. | Vodilica filamenta .....  | 37 |
| Slika 3.43. | Nosač i sklop Arduino mosfet modula .....                         | 38 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 3.44. Podnožje grijane komore .....   | 39 |
| Slika 3.45. Bočne ploče 1, 2 i 4 .....  | 40 |
| Slika 3.46. Bočna ploča 1 i 4 .....   | 40 |
| Slika 3.47. Bočne ploče 5, 6 i 7 .....  | 41 |
| Slika 3.48. Zatvorena i otvorena " vrata " grijane komore .....                     | 42 |
| Slika 3.49. Pokrov grijane komore .....   | 42 |
| Slika 3.50. L1 sklop grijane komore .....   | 43 |
| Slika 3.51. Način sastavljanja L1 sklopa .....                                      | 43 |
| Slika 3.52. L2 sklop grijane komore .....   | 44 |
| Slika 3.53. Način sastavljanja L2 sklopa .....                                      | 44 |
| Slika 3.54. GKP nosač i njegova funkcija .....                                      | 45 |
| Slika 3.55. Držač magneta i njegova funkcija .....                                  | 46 |
| Slika 3.56. Grijana komora kutnik 1, 2 i 3 .....                                    | 46 |
| Slika 3.57. Fiksiranje L1 sklopa na okvir 3D tiskača .....                          | 46 |
| Slika 3.58. Fiksiranje L2 sklopa na okvir 3D tiskača .....                          | 47 |
| Slika 3.59. Fiksiranje ploče 7 grijane komore na okvir 3D tiskača .....             | 47 |
| Slika 3.60. Nosač grijaća grijane komore .....                                      | 48 |
| Slika 3.61. Funkcija nosača grijaća grijane komore .....                            | 48 |
| Slika 4.1. Standardni dijelovi 1/2 .....  | 52 |
| Slika 4.2. Standardni dijelovi 2/2 .....  | 53 |
| Slika 4.3. Izrađene prirubnice .....  | 53 |
| Slika 4.4. Izrađene ploče za grijanu komoru .....                                   | 54 |
| Slika 4.5. Okvir 3D tiskača sa grijanom komorom .....                               | 55 |
| Slika 4.6. Vodilice X i Y osi .....   | 56 |
| Slika 4.7. Navojno vreteno i vodilice Z osi .....                                   | 57 |
| Slika 4.8. Grijana platforma i ekstruder sa okvirom .....                           | 58 |
| Slika 4.9. Shema spajanja upravljačkog sustava 3D tiskača sa grijanom komorom ..... | 59 |
| Slika 4.10. Upravljanje 3D tiskača sa grijanom komorom .....                        | 60 |
| Slika 4.11. Raspored pinova na shieldu Ramps 1.4. [11]. .....                       | 61 |
| Slika 4.12. Upravljač koračnim motorima A4988 .....                                 | 62 |
| Slika 4.13. Način mjerjenja napona na upravljaču A4988 .....                        | 63 |
| Slika 4.14. 3D tiskač sa grijanom komorom .....                                     | 64 |
| Slika 4.15. Otvorena i zatvorena vrata grijane komore .....                         | 64 |
| Slika 4.16. Postignuta temperatura u grijanoj komori .....                          | 65 |
| Slika 5.1. Marlin postavke 1 .....  | 67 |
| Slika 5.2. Marlin postavke 2 .....  | 67 |
| Slika 5.3. Marlin postavke 3 .....  | 67 |
| Slika 5.4. Marlin postavke 4 .....  | 68 |
| Slika 5.5. Marlin postavke 5 .....  | 68 |
| Slika 5.6. Marlin postavke 6 .....  | 68 |
| Slika 5.7. Marlin postavke 7 .....  | 69 |
| Slika 5.8. Marlin postavke 8 .....  | 69 |
| Slika 5.9. Marlin postavke 9 .....  | 69 |
| Slika 5.10. Marlin postavke 10 .....  | 70 |
| Slika 5.11. Marlin postavke 11 .....  | 70 |
| Slika 5.12. Marlin postavke 12 .....  | 71 |
| Slika 5.13. Marlin postavke 13 .....  | 71 |
| Slika 5.14. Marlin postavke 14 .....  | 71 |
| Slika 5.15. Marlin postavke 15 .....  | 71 |
| Slika 5.16. Marlin postavke 16 .....  | 72 |

|  |    |
|--|----|
| Slika 5.17. Marlin postavke 17.....  | 72 |
| Slika 5.18. Marlin postavke 18.....  | 72 |
| Slika 5.19. Marlin postavke 19.....  | 73 |
| Slika 5.20. Marlin Postavke 20.....  | 73 |
| Slika 5.21. Marlin postavke 21.....  | 74 |
| Slika 5.22. Marlin postavke 22.....  | 74 |
| Slika 5.23. Marlin postavke 23.....  | 74 |
| Slika 5.24. Marlin postavke 24.....  | 75 |
| Slika 5.25. Marlin postavke 25.....  | 75 |
| Slika 5.26. Marlin postavke 26.....  | 75 |
| Slika 5.27. Marlin napredne postavke 1.....  | 76 |
| Slika 5.28. Marlin napredne postavke 2.....  | 76 |
| Slika 5.29. Marlin napredne postavke 3.....  | 76 |
| Slika 5.30. Marlin napredne postavke 4.....  | 77 |
| Slika 5.31. Prvo ugadanje PID parametara za grijac ekstrudera .....                | 80 |
| Slika 5.32. Drugo ugadanje PID parametara za grijac ekstrudera .....               | 80 |
| Slika 5.33. Prvo i drugo ugadanje PID parametara za grijac grijane platforme ..... | 81 |
| Slika 6.1. Prva grupa dijelova.....  | 82 |
| Slika 6.2. Druga grupa dijelova .....  | 83 |
| Slika 6.3. Treći dio .....   | 83 |
| Slika 6.4. Dijelovi izrađeni iz PLA materijala .....                               | 84 |
| Slika 6.5. Dijelovi izrađeni iz PETG materijala .....                              | 85 |
| Slika 6.6. Dijelovi izrađeni iz ABS materijala .....                               | 87 |
| Slika 6.7. Dijelovi izrađeni SLS tehnologijom.....                                 | 88 |

## POPIS TABLICA

|               |  |    |
|---------------|--|----|
| Tablica 2.1.  | Usporedba mehaničkih i temperaturnih svojstava materijala za 3D tiskanje                               | 6  |
| Tablica 3.1.  | Popis standardnih dijelova potrebnih za 3D tiskač sa grijanom komorom                                  | 16 |
| Tablica 3.2.  | Popis svih konstruiranih prirubnica sa odgovarajućim dimenzijama .....                                 | 22 |
| Tablica 3.3.  | Popis konstruiranih nosača, držača i prirubnica neophodnih za pokretanje<br>3D tiskanja .....          | 26 |
| Tablica 3.4.  | Popis konstruiranih dijelova koje je potrebno izraditi na 3D tiskaru .....                             | 30 |
| Tablica 3.5.  | Popis ploča od pleksiglasa za grijanu komoru.....  | 38 |
| Tablica 3.6.  | Popis nosača, držača i kutnika za grijanu komoru.....  | 45 |
| Tablica 4.1.  | Imbus vijci, matice i T maticе koje nam trebaju za spajanje svih dijelova ..                           | 50 |
| Tablica 4.2.  | Popis dijelova koje određeni vijci spajaju .....   | 51 |
| Tablica 4.3.  | Mikrokoraci koji se mogu postići upravljačem A4988 u odnosu na određena<br>logička stanja pinova ..... | 62 |
| Tablica 4.4.  | Naponi na upravljačima koračnih motora A4988 .....   | 63 |
| Tablica 6.1.  | Dimenziije prve grupe dijelova izrađene iz PLA.....  | 84 |
| Tablica 6.2.  | Dimenziije druge grupe dijelova izrađene iz PLA.....   | 84 |
| Tablica 6.3.  | Dimenziije trećeg dijela izrađenog iz PLA .....  | 85 |
| Tablica 6.4.  | Dimenziije prve grupe dijelova izrađene iz PETG .....  | 86 |
| Tablica 6.5.  | Dimenziije druge grupe dijelova izrađene iz PETG .....   | 86 |
| Tablica 6.6.  | Dimenziije trećeg dijela izrađenog iz PETG .....   | 86 |
| Tablica 6.7.  | Dimenziije prve grupe dijelova izrađene iz ABS - a .....   | 87 |
| Tablica 6.8.  | Dimenziije druge grupe dijelova izrađene iz ABS - a.....   | 87 |
| Tablica 6.9.  | Dimenziije trećeg dijela izrađenog iz ABS - a .....  | 88 |
| Tablica 6.10. | Dimenziije prve grupe dijelova izrađene SLS tehnologijom .....   | 89 |
| Tablica 6.11. | Dimenziije druge grupe dijelova izrađene SLS tehnologijom.....   | 89 |
| Tablica 6.12. | Dimenziije trećeg dijela izrađenog SLS tehnologijom .....  | 89 |
| Tablica 7.1.  | Troškovi izrade 3D tiskača sa grijanom komorom .....   | 91 |

## POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

- 001 3D tiskač bez grijane komore
- 002 Ekstruder sklop
- 002-001 Prirubnica ekstrudera
- 002-002 Dodatak ekstruder
- 003 Grijana platforma
- 003-001 Aluminijkska ploča
- 003-002 Prirubnica Heated Beda
- 003-003 Nosač opruge
- 003-004 Držač stakla
- 004 AGC - 10C sklop
- 004-001 Prirubnica XY
- 005 KP000 sklop
- 005-001 KP000 dodatak
- 006 3D tiskač sa grijanom komorom
- 006-001 Podnožje GK
- 006-002 Pokrov GK
- 006-003 Bočna ploča 1
- 006-004 Bočna ploča 2
- 006-005 Bočna ploča 4
- 006-006 Bočna ploča 5
- 006-007 Bočna ploča 6
- 006-008 Bočna ploča 7
- 007 L1 sklop
- 007-001 L1 dio 1
- 007-002 L1 dio 2
- 007-003 L1
- 008 L2 sklop
- 008-001 L2 dio 1
- 008-002 L2 dio 2
- 008-003 L2

**POPIS OZNAKA**

| Oznaka    | Jedinica | Opis  |
|-----------|----------|---|
| $I_{max}$ | A        | struja koja protječe kroz koračne motore        |
| $V_{ref}$ | V        | napon narinut na upravljače koračnih motora     |
| $R_{CS}$  | $\Omega$ | otpor otpornika na upravljačima koračnih motora |

## POPIS KRATICA

| Kratica | Opis   |
|---------|--|
| ABS     | akrilonitril/butadiren/stiren  |
| AM      | aditivna proizvodnja, aditivni postupci ( <i>e. Additive Manufacturing</i> )   |
| CAD     | konstruiranje pomoću računala ( <i>e. Computer Aided Design</i> )  |
| CAM     | proizvodnja podržana računalom ( <i>e. Computer Aided manufacturing</i> )  |
| FDM     | taložno očvršćivanje ( <i>e. Fused Deposition Modeling</i> )   |
| GT2     | komercijalna oznaka za vrstu remena ( <i>e. Gates Tooth</i> )  |
| NEMA    | dimenzijska oznaka koračnih elektromotora prema US standardu ( <i>e. National Electrical Manufacturers Association</i> ) |
| NTC     | termistor s negativnim toplinskim koeficijentom ( <i>e. Negative Temperature Coefficient</i> )                           |
| PLA     | ( <i>e. Polylactic acid</i> )  |
| PETG    | ( <i>e. Polyethylene terephthalate "glycol-modified"</i> )   |
| RAMPS   | upravljačka ploča otvorenog tipa za 3D pisače ( <i>e. RepRap Arduino Mega Pololu Shield</i> )                            |
| RP      | brza proizvodnja prototipova ( <i>e. Rapid Prototyping</i> )   |
| SLS     | selektivno lasersko srašćivanje ( <i>e. Selective Laser Sintering</i> )  |
| STL     | datoteka za prikaz 3D modela ( <i>e. Standard Tessellation Language</i> )  |
| SSR     | relej ( <i>e. Solid State Relay</i> )  |
| X os    | koordinatna os   |
| Y os    | koordinatna os   |
| Z os    | koordinatna os   |

## SAŽETAK

U diplomskom radu je konstruiran i izrađen 3D tiskač sa grijanom komorom koji radi na principu taložnog očvršćivanja.

Taložno očvršćivanje je jedan od postupaka aditivne proizvodnje, koji je najviše zastupljen kod niskobudžetnih 3D tiskača, jer za izradu takvog uređaja nisu potrebne skupe komponente ( kao što su kod SLS postupka laserska glava, kod PolyJet postupka UV svjetiljka itd.. ). Glavni nedostatci taložnog očvršćivanja su vidljivost tiskanih slojeva i manja dimenzijska točnost nego kod ostalih postupaka aditivne proizvodnje. Prednost mu je niska cijena izrade dijelova ( pa i samog stroja ) te se zbog toga često koristi kod proizvodnje početnih koncepata u razvoju proizvoda, odnosno prototipova.

Kod konstrukcije 3D tiskača, najprije je potrebno razraditi mehanički dio, odnosno odrediti način gibanja pojedinih osi ( X, Y, Z ). Zatim je potrebno razraditi upravljački, odnosno elektronički i električni dio, te na kraju sastaviti grijanu komoru.

Ekstruder izrađenog 3D tiskača giba se u jednoj ravnini ( X - Y ), dok se grijana platforma na koju se vrši tiskanje giba po Z osi. Tako se omogućava izrada tvorevina u 3D prostoru. Kao glavni dio upravljačkog sustava odabran je Arduino Mega 2560 mikrokontroler, koji upravlja i uskladjuje gibanja ekstrudera i grijane platforme sa signalima koje prima od brojnih senzora koji se koriste kod 3D tiskanja (senzori položaja, temperature).

Kako bi se omogućilo tiskanje iz materijala s velikim koeficijentom stezanja uslijed hlađenja, kao što je ABS, potrebno je osigurati grijanje radnog prostora tiskača.

Grijana komora se može razmatrati kao zaseban uređaj kojem je funkcija održavanje konstantne temperature unutar radnog volumena. Zbog toga je za izradu grijane komore potrebno osigurati izolirani radni prostor s posebnim grijачem i senzorom temperature.

Ključne riječi: 3D tiskač, grijana komora, taložno očvršćivanje

## SUMMARY

In this graduate thesis is developed a 3D printer with a heated chamber, which is operating on the principle of fused deposition modeling.

Fused deposition modeling is one of the many additive manufacturing processes chiefly represented in low-cost 3D printers because to compose it there are not needed expensive components such as at SLS process laser head, PolyJet UV lamp, etc. The main defects of fused deposition modeling are visibility of the printed layers and smaller dimensional accuracy than in other additive manufacturing processes. The main advantage is the low cost of making parts ( and even the machine itself ) and therefore is often used in the production of initial concepts of a products ( ie prototypes ).

In the design of a 3D printer, it is first necessary to elaborate a mechanical part, ie to determine the mode of movement of an individual axes ( X,Y,Z ). Afterwards is necessary to elaborate the control, ie the electronical and electrical parts, and finally to form a heated chamber.

The extruder of the 3D printer runs in one plane ( X - Y ), while the heated platform, on which the printing is done, runs in Z axis. This allows us to create models in three-dimensional space. The main part of the control system is the Arduino Mega 2560 microcontroller, which manage and tunes the motion of the extruder and heated platform with signals that receives from a sensors used in 3D printing process ( position and temperature sensors ).

If we use the, the above described, 3D printer without a heated chamber, we can create models with low shrinkage ( PLA and PETG ) or a high shrinkage material models, but small scale measures. For this reason, it is important that the 3D printer has a heated chamber that allows printing models of a material with high shrinkage ( ABS ).

A heated chamber can be considered as a separate device with a function to maintain a constant temperature within its operating volume. For that reason, to create a heated chamber it is necessary to close the working volume and to have a special heater and temperature sensor that sends the signal to heater if the operating volume needs to be warmed or not.

Key words: 3D printer, heated chamber, fused deposition modeling

## 1 Uvod

Kod razvoja proizvoda teži se proizvodnji visokokvalitetnih proizvoda u što kraćem vremenu i uz što niže troškove. Kako bi se tvrtke prilagodile zahtjevima potrošača, a time uspješno poslovale i bile konkurentne na tržištu, trebaju se orijentirati prema sljedećim zahtjevima:

- skraćenje vremena razvoja proizvoda
- sniženje troškova razvoja i proizvodnje
- fleksibilnost ( kod razvoja i proizvodnje )
- kvaliteta proizvoda

Odgovor na postavljene zahtjeve je primjena računala za konstruiranje i izradu (CAD, CAM, CAE) te primjena postupaka aditivne proizvodnje. Jedan od postupaka aditivne proizvodnje je i taložno očvršćivanje, koji će biti temelj za projektiranje i izradu 3D tiskača. To je postupak kod kojeg se za izradu proizvoda rabi rastaljeni, najčešće polimerni materijal. Uređaji koji koriste takav postupak rade na principu troosnog NC obradnog centra. Kroz mlaznicu, čijim se gibanjem upravlja pomoću računala, prolazi polimerni materijal u obliku žice koji se zagrijava i tali.

Tema diplomskega rada je konstrukcija i izrada 3D tiskača sa grijanom komorom upravljanog pomoću Arduino mikrokontrolera. Da bi diplomski rad bio uspješno izvršen, podijeljen je u dva koraka:

1. Izrada CAD modela 3D tiskača sa grijanom komorom
2. Sklapanje svih potrebnih dijelova u funkcionalnu cjelinu, 3D tiskač

Kako bi se došlo do rješenja nekog složenog problema, taj problem treba pojednostaviti na više manjih, jednostavnih problema. Zbog toga je potrebno svaki korak razvoja 3D tiskača dodatno podijeliti na podkorake.

## 2 3D tiskanje

Oblikovanje s pomoću računala ili CAD (*engl. Computer Aided Design*) je primjena računala za oblikovanje, projektiranje, konstruiranje te vizualizaciju budućega tehničkog predmeta ili sklopa. Kako bi realizirali problem izrade CAD modela 3D tiskača, najprije trebamo riješiti sljedeće podkorake:

1. Određivanje glavnih elemenata od kojih se sastoji 3D tiskač
2. Odabir standardnih elemenata za 3D tiskač
3. Konstrukcija ostalih elemenata koji su nam potrebni za izradu 3D tiskača
4. Izrada CAD modela 3D tiskača sa grijanom komorom

### 2.1 Određivanje glavnih elemenata od kojih se sastoji 3D tiskač

Kako bi uspjeli odrediti elemente od kojih se sastoji 3D tiskač , prvo se moramo upoznati sa tehnologijom 3D tiskanja.

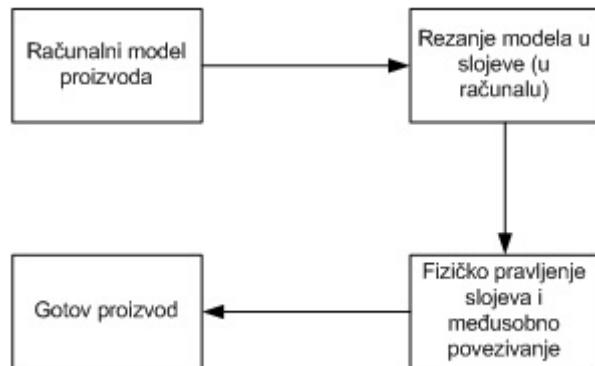
#### 2.1.1 Aditivne tehnologije

Kod razvoja proizvoda teži se proizvodnji visokokvalitetnih proizvoda u što kraćem vremenu i uz što niže troškove. Kako bi se tvrtke prilagodile zahtjevima potrošača, a time uspješno poslovale i bile konkurentne na tržištu, trebaju se orijentirati prema skraćenju vremena razvoja proizvoda, sniženju troškova razvoja i proizvodnje, povećanju fleksibilnosti i većoj kvaliteti proizvoda.

Aditivna proizvodnja omogućuje proizvodnju proizvoda komplikiranih oblika izravno iz računalnih podataka (npr. CAD-a), u vrlo kratkom vremenu. To su procesi u kojima se proizvod izrađuje slaganjem slojeva jedan na drugi, odnosno riječ je o aditivnoj (generativnoj) izradi proizvoda.

Postupcima aditivne proizvodnje grade se vrlo komplikirani geometrijski 3D oblici, zapravo je riječ o  $2\frac{1}{2}$ D postupcima kod kojih se 2D slojevi slažu jedan na drugi i tako dobivamo treću dimenziju proizvoda. Dobiveni proizvod je visoke točnosti u X-Y ravnini, a u smjeru osi Z točnost ovisi o debljini slojeva, pri čemu je naravno točnost proizvoda veća što su slojevi tanji.

Međutim postupci temeljeni na ekstrudiranju su u punom smislu 3D postupci jer omogućuju dodavanje materijala na bilo koju točku proizvoda.



**Slika 2.1. Koraci aditivne proizvodnje**

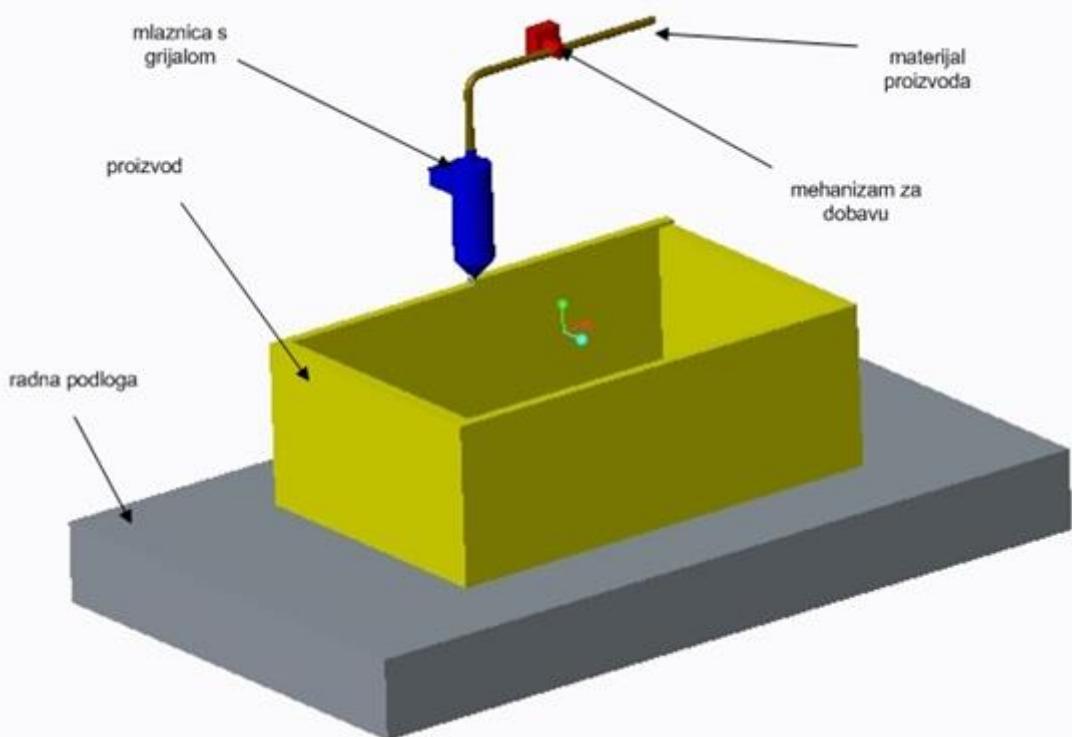
Postupci aditivne proizvodnje polimernih proizvoda prema [1] dijeli se na:

- Stereolitografija (SL)
- Selektivno lasersko srašćivanje (SLS)
- 3D tiskanje
- Postupci aditivne proizvodnje temeljeni na ekstrudiranju (najpoznatiji FDM)
- Slojevita izrada laminata (LLM)
- Trodimenzijsko taloženje materijala u obliku aerosola ( $M^3D$ )

Za diplomski rad izrađuje se 3D tiskač temeljen na postupku taložnog očvršćivanja, pa će se u sljedećem poglavlju opisati samo taj postupak.

### 2.1.1.1 Taložno očvršćivanje (engl. *Fused Deposition Modeling - FDM*)

To je takav postupak kod kojeg se za izradu proizvoda rabi rastaljeni, najčešće polimerni materijal. Uređaji za FDM rade na principu troosnog NC obradnog centra. Kroz mlaznicu, upravljanu pomoću računala u sve tri osi, prolazi polimerni materijal u obliku žice koji se u mlaznici zagrijava i tali. Postupak je prikazan na Slika 2.2.



**Slika 2.2. Načelo postupka taložnog očvršćivanja (FDM)**

Materijali koji se u diplomskom radu koriste za taložno očvršćivanje su u obliku žice promjera 1.75 mm, a to su ABS, PLA i PETG.

#### 2.1.1.1 ABS (*e. Acrylonitrile Butadiene Styrene*)

ABS spada u skupinu plastomera (termoplasti), a to su polimeri koji zagrijavanjem omekšaju ili se rastale, a hlađenjem očvrsnu ne promijenivši svoja svojstva. ABS ima dobra mehanička svojstva, tvrd je i izdržljiv materijal te se može primjenjivati na povišenim temperaturama. Površina tvorevine nastale taložnim očvršćivanjem može se "zagladiti" sa acetonom, pošto je ABS topiv u acetonu. Također, takva tvorevina može se lako obojati nekom od akrilnih boja.

S druge strane, treba pažljivo regulirati temperature kada se radi sa ABS - om jer prebrzo hlađenje tvorevine može dovesti do vitoperenja i raslojavanja. Prilikom taložnog očvršćivanja osjeća se neugodan miris te je potrebno ventilirati prostor u kojem se vodi proces. Treba naglasiti i da ABS nije biorazgradiv te se ne proizvodi iz obnovljivih izvora. Može biti recikliran, ali se za recikliranje treba utrošiti puno energije uz proizvodnju otpadnog materijala.

Kako bi uspjelo taložno očvršćivanje sa ABS - om, potrebno je zadovoljiti nekoliko osnovnih uvjeta:

- grijana platforma zagrijana na oko 110 °C
- grijач ekstrudera zagrijan na oko 230 °C
- potrebno je koristiti grijanu komoru na oko 50 °C

#### 2.1.1.2 PLA ( *e. Polylactic acid* )

PLA također spada u skupinu plastomera. To je materijal koji je biorazgradiv te se proizvodi iz obnovljivih izvora. PLA ima nižu temperaturu tališta nego ABS, nije sklon vitoperenju pa ne zahtijeva grijanu podlogu. Prilikom procesa tložnog očvršćivanja nije potrebno ventilirati prostor jer se ne osjeća neugodan miris.

Mehanička svojstva su mu lošija nego ABS - u te nije primjenjiv za temperature više od oko 50 °C. Kod taložnog očvršćivanja manjih dijelova, potrebno je koristiti ventilatore koje hlađe neposredno isprintane slojeve.

Kako bi uspjelo taložno očvršćivanje sa PLA, potrebno je zadovoljiti nekoliko osnovnih uvjeta:

- grijana platforma zagrijana na oko 70 °C
- grijач ekstrudera zagrijan na oko 185 °C
- potrebno je koristiti ventilatore koji hlađe isprintane slojeve

#### 2.1.1.3 PETG ( *e. Polyethylene terephthalate "glycol-modified"* )

PETG je jedna od brojnih varijanti plastomera PET, a " G " označava " glycol - modified ". Rezultat je materijal koji je bistriji, manje krhak, izdržljiv i što je najvažnije, lakše ga je koristiti nego PET. Po svojim svojstvima, PETG je zapravo u sredini između PLA i ABS materijala. Ima bolju fleksibilnost i izdržljivost nego PLA, a lakše ga je printati nego ABS.

Treba biti pažljiv kod skladištenja PETG materijala jer ako se nalazi u atmosferi sa puno vlage, absorbirat će je te će promijenit svoja svojstva. PETG jako pranja za slojeve tijekom tiskanja, stoga nije dobar izbor tiskati neki dio za koji je potrebna potporna struktura.

Kako bi uspjelo taložno očvršćivanje sa PETG, potrebno je zadovoljiti nekoliko osnovnih uvjeta:

- grijana platforma zagrijana na oko 80 °C
- grijач ekstrudera zagrijan na oko 230 °C

- potrebno je koristiti ventilatore koji hlađe isprintane slojeve

#### 2.1.1.4 Usporedba mehaničkih i temperaturnih svojstava materijala

Sljedeća tablica usporedbe različitih materijala za 3D tiskanje izrađena je prema [8]., [9]., i [10].

**Tablica 2.1. Usporedba mehaničkih i temperaturnih svojstava materijala za 3D tiskanje**

| Mehanička svojstva                                   | PLA   | PETG  | ABS         |
|--|-------|-------|-------------|
| Temperatura omešanja                                 | 60 °C | 81 °C | 105 °C      |
| Temperatura deformiranja kod opterećenja od 0.46 Mpa | 65 °C | 73 °C | 83 - 110 °C |
| Youngov modul elastičnosti (Gpa)                     | 3.5   | 2.2   | 2 - 2.6     |
| Modul savitljivosti (Gpa)                            | 4     | 2.1   | 2.1 - 7.6   |
| Vlačna čvrstoća (Mpa)                                | 50    | 53    | 37 - 110    |

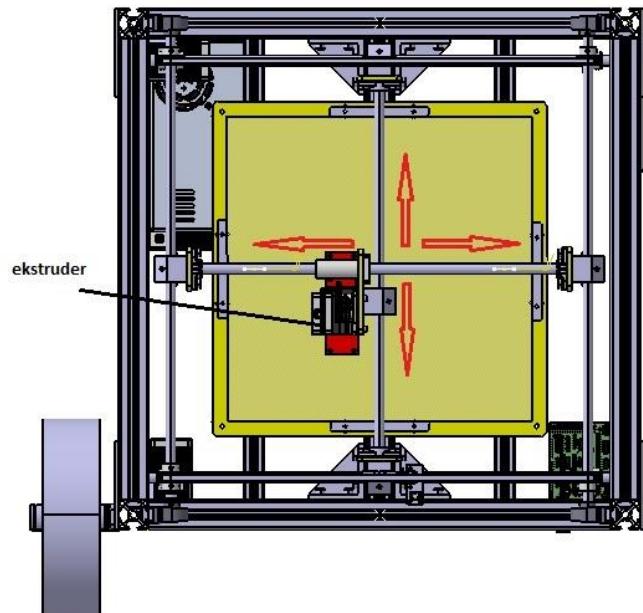
Iz Tablica 2.1. vidimo temperaturna svojstva određenog materijala za 3D tiskanje te lako možemo zaključiti da ukoliko je neki izrađeni dio izložen povišenoj temperaturi, izrađivat ćemo ga iz ABS - a, a ako se koristi na sobnoj temperaturi možemo ga izrađivati iz PLA ili PETG materijala.

Također možemo zaključiti da ćemo dijelove koji su jako opterećeni izrađivati iz ABS - a i PETG - a, a dijelovi koji ne trebaju podnosići velika opterećenja možemo izraditi iz PLA.

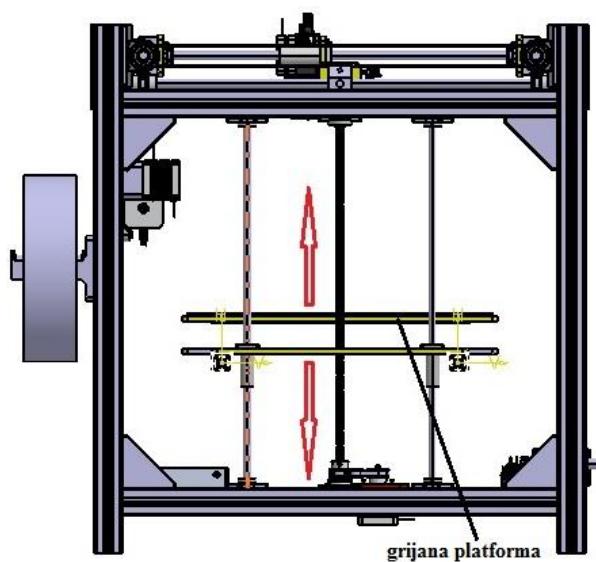
### 3 Razvoj 3D tiskača s grijanom komorom

#### 3.1 Kinematika 3D tiskača

Ekstruder se nalazi na fiksnoj visini te se giba samo u smjeru osi X i Y , a grijana platforma se giba u smjeru osi Z.



Slika 3.1. Gibanje ekstrudera u smjeru osi X i Y



Slika 3.2. Gibanje grijane platforme u smjeru osi Z

### 3.2 Glavni elementi potrebni za izradu 3D tiskača sa grijanom komorom

- Okvir - aluminijski profili 30 x 30 mm i kutnici za spajanje
- Materijal koji se koristi za 3D printanje - ABS/PLA/PETG
- Aktuatori - koračni motori NEMA 17
- Ekstruder + hotend - za dobavu i taljenje materijala za 3D tiskanje
- Heated Bed - grijana platforma na koju se vrši 3D tiskanje, omogućuje postizanje čvrstog spoja između pojedinih slojeva plastične niti koja izlazi iz sapnice ( glave ekstrudera )
- senzori: Piezo senzor - pomoću kojeg se obavlja automatska kalibracija Z osi, također služi za postavljanje Z osi u početni položaj, mikroprekidači - mehaničke sklopke koje služe za postavljanje X i Y osi u početne položaje, ntc termistor - za mjerjenje temperature unutar grijane komore
- Elektroničke komponente - Arduino Mega 2560, Ramps 1.4 , LCD zaslon,A4988 upravljač koračnim motorima,Arduino mosfet modul, Solid State Relay
- Grijач za grijanu komoru
- Ventilatori za hlađenje slojeva isprintanog dijela (30x30) , ventilator za hlađenje upravljačke elektronike (80x80), ventilator za regulaciju temperature grijane komore (80x80)
- Napajanje
- Remeni, vodilice, držači vodilica, ležajevi, osovine, vijci, remenice, matice

### 3.3 Oblikovanje konstrukcije 3D tiskača

Da bi se došlo do svih standardnih dijelova koje je potrebno naručiti, odnosno konstruiranih dijelova koje je potrebno izraditi, prošlo je dosta vremena. Isto tako, početna (zamišljena) verzija 3D tiskača dosta se je promijenila, a najvažnije da se je potpuno pojednostavila. Drugim riječima, to znači da će se 3D tiskač izrađivati većinom od standardnih dijelova, a dijelovi koje je potrebno izraditi su jednostavnji za izradu ( 2D problemi ).

### 3.3.1 Verzija 1, FSBxxx ( 12.2.2018. )

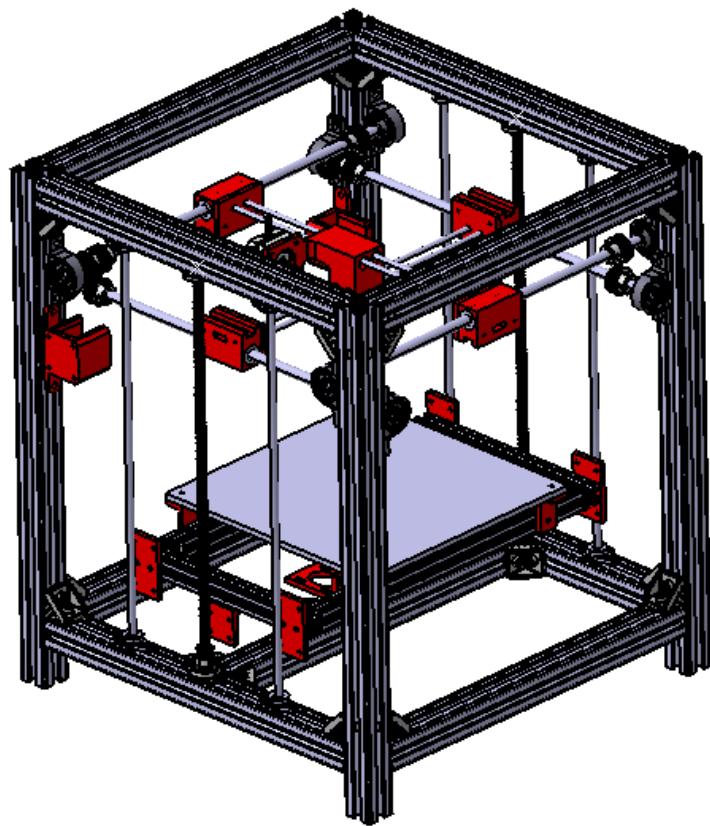
Okvir iz aluminijskih profila 30x30 , grijач 200x200, aluminijска плаћа за гријању платформе 250x250, осовина xy-оси пречника 8 mm, две водилце екструдера за x-ос и две за y-ос пречника 6 mm, трапезно вретено дужине 400 mm. Максималне димензије израђеног дела : 195x210x180

Problem:

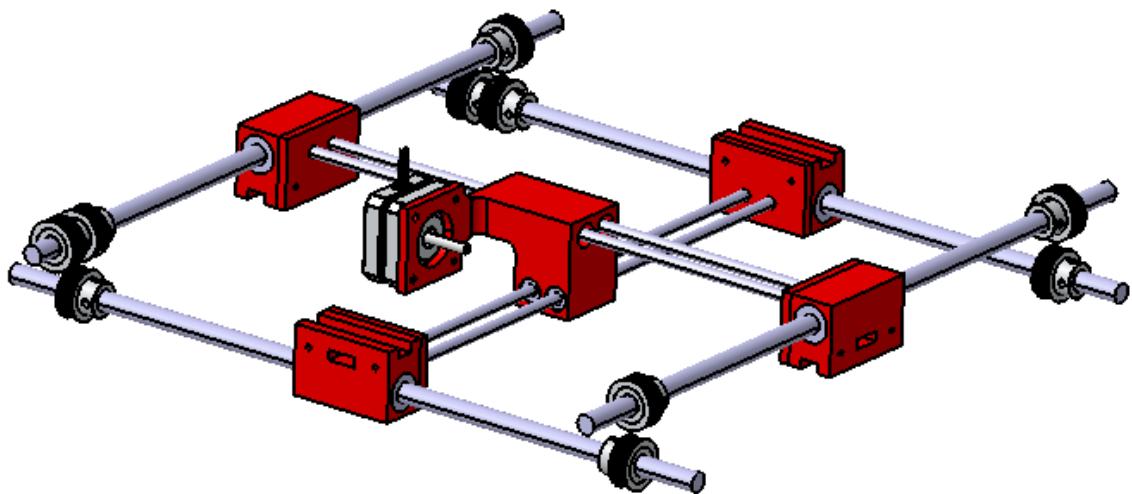
- израда дијелова комплициране геометрије који морaju бити толерирани (конструирани дијелови су функционални или комплицирани)
- водилце су премалог пречника ( прогиб )
- јако мала искористивост Z оси ( само 220 mm, а вретено је дугачко 400 mm )

Rješenje:

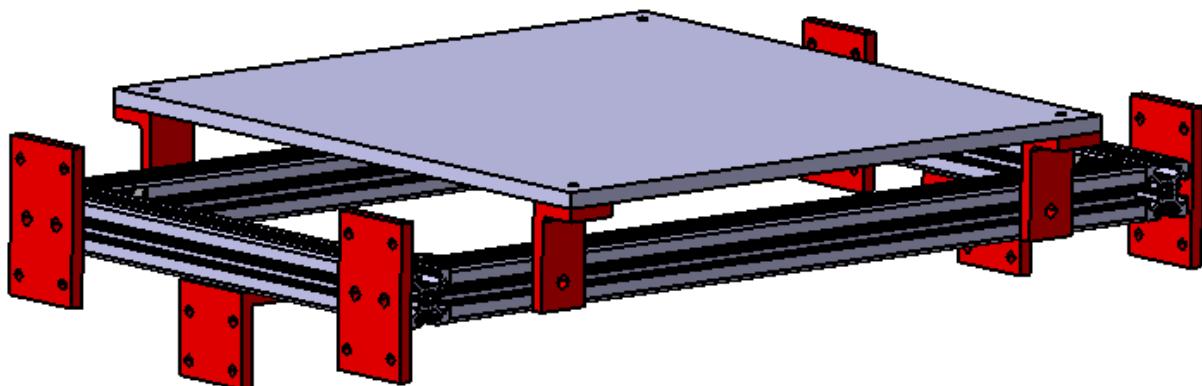
- потребно је поједноставити геометрију дијелова
- све што је могуће, замјенити са стандардним елементима
- пovećati пречник свих водилца за један ред, осовине xy-оси са 8 на 10 mm, а водилце екструдера са 6 на 8 mm
  - пошто су две паралелне, то значи да доводи до значајног смањења максималне димензије израђеног дела, решење са једном водилicom екструдера пречника 10 mm за X ос и једном за Y ос



Slika 3.3. 3D tiskač, verzija 1



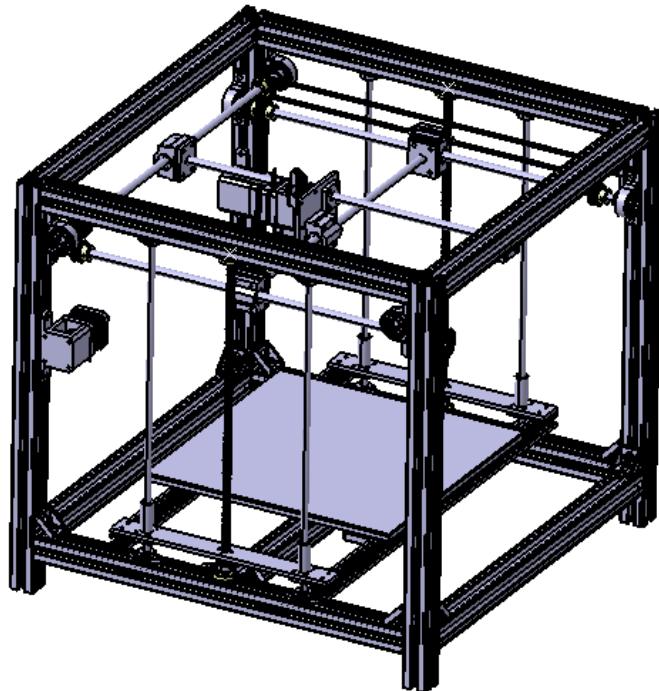
Slika 3.4. 3D tiskač, verzija 1, ekstruder i vodilice X i Y osi



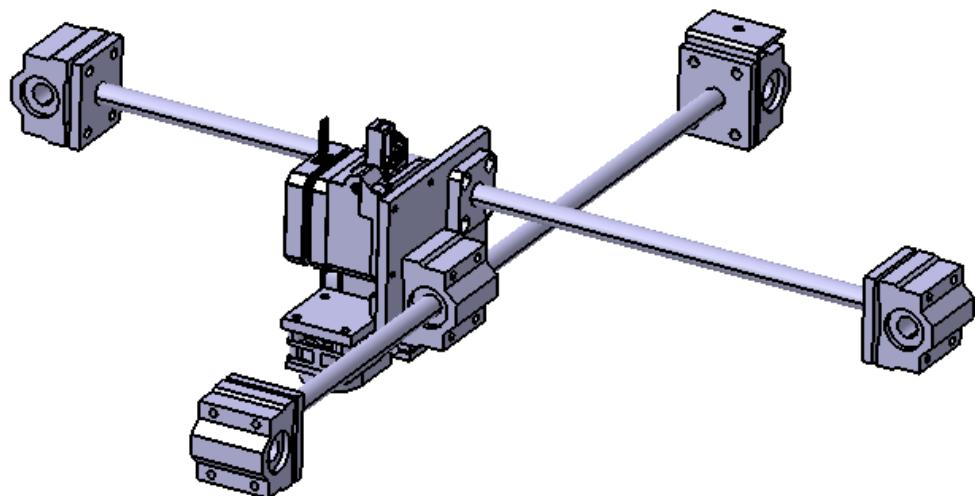
Slika 3.5. 3D tiskač, verzija 1, grijana platforma i okvir platforme

Svi dijelovi koji su označeni crvenom bojom nisu standardni, odnosno potrebno ih je izraditi. Iz Slike 3.4. zapravo vidimo koliko su ti dijelovi složeni za izradu, odnosno koliko bi bila skupa izrada takvih dijelova. Zbog toga je bilo potrebno sve dijelove koji se mogu, zamijenit standardnim, a dijelove koji se moraju izrađivati maksimalno pojednostaviti na 2D probleme. Iz Slike 3.3. se vidi da su kutnici kojima se povezuju profili okvira 3D tiskača dosta mali, 30x30 mm. Potrebno je staviti kutnike koji su većih dimenzija kako bi se osigurala okomitost između profila kada spajamo okvir 3D tiskača. Također vidimo da je maksimalna dimenzija dijela koji se može izraditi 3D tiskaćem verzije 1, 200x200x220 mm.

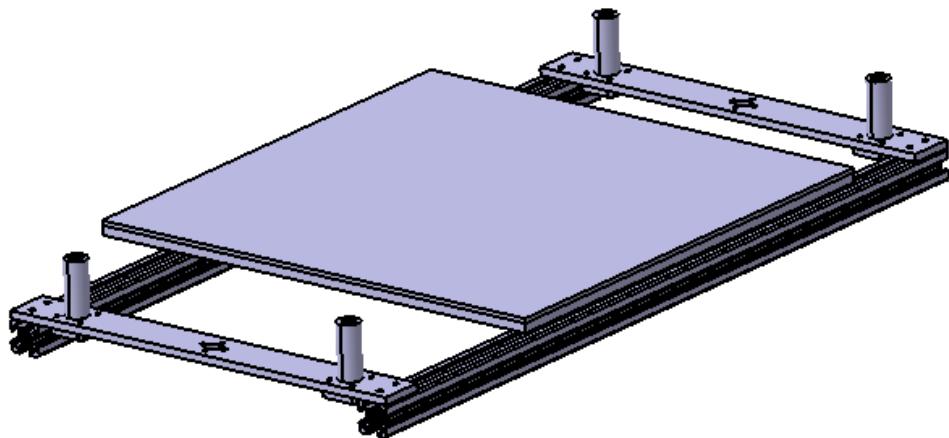
**3.3.2 Verzija 2, FSB300 ( 31.3.2018. )**



**Slika 3.6. 3D tiskač, verzija 2**



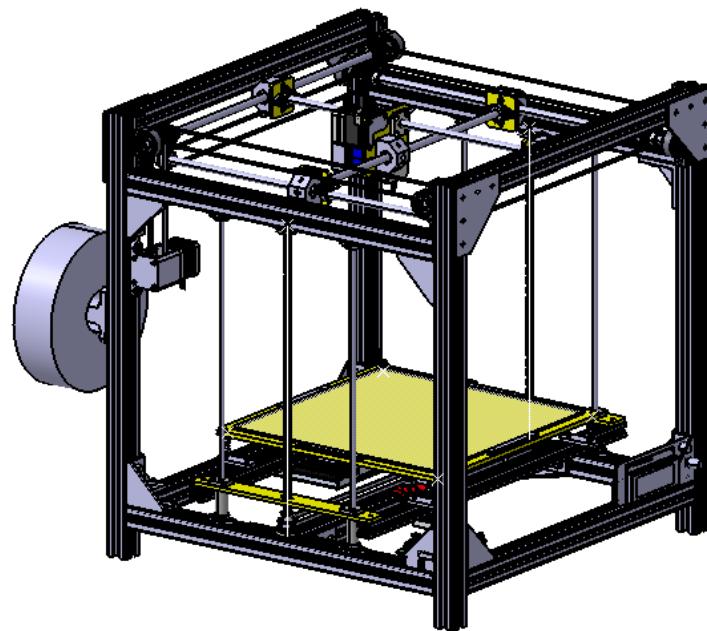
**Slika 3.7. 3D tiskač, verzija 2, ekstruder i vodilice X i Y osi**



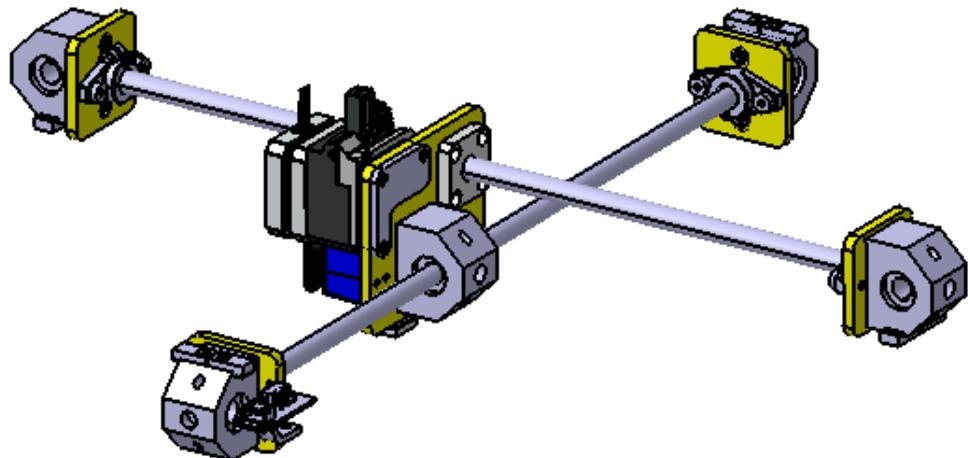
Slika 3.8. 3D tiskač, verzija 2, grijana platforma i okvir platforme

U verziji 2, 3D tiskača, puno je više standardnih dijelova nego u Verziji 1, a dijelovi koji se trebaju izrađivati (prirubnice) su svedeni na 2D problem. Dimenzije grijača su sada 280 x 280 mm, odnosno mogu se izrađivati dijelovi u X i Y smjeru dimenzija 300 x 300 mm. Problem je samo što je u Z smjeru iskorišteno samo 240 mm od 400 mm koliko je dugačko navojno vreteno.

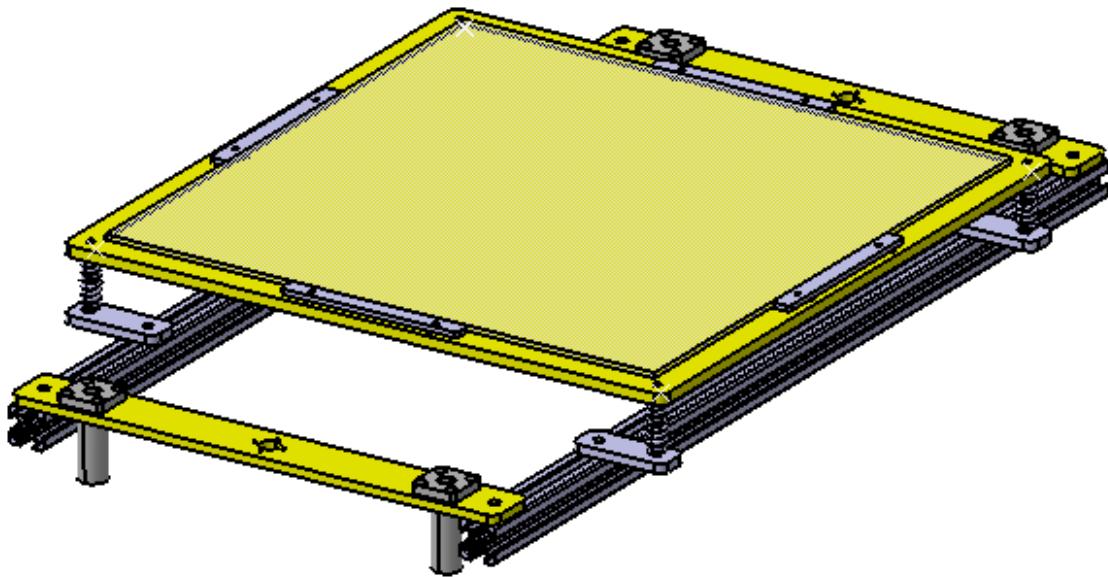
### 3.3.3 Verzija 3, FSB300 ( 27.4.2018. )



Slika 3.9. 3D tiskač, verzija 3



Slika 3.10. 3D tiskač, verzija 3, ekstruder i vodilice X i Y



Slika 3.11. 3D tiskač, verzija 3, grijana platforma i okvir platforme

Na temelju verzije 3 smo krenuli sa naručivanjem standardnih dijelova i izradom konstruiranih dijelova. U odnosu na Verziju 2, kutnici koji spajaju profile okvira su veći ( što se vidi na Slika 3.9. ), 60 x 60 mm čime se postiže veća krutost ali i sigurniji smo da je bolja okomitost između profila koje spajamo. Zbog drugačije konstrukcije okvira, ekstruder je dignut na veću visinu u odnosu na navojno vreteno, te sada dobivamo za duljinu navojnog vretena 400 mm, visinu predmeta koji možemo izraditi 310 mm.

Problem:

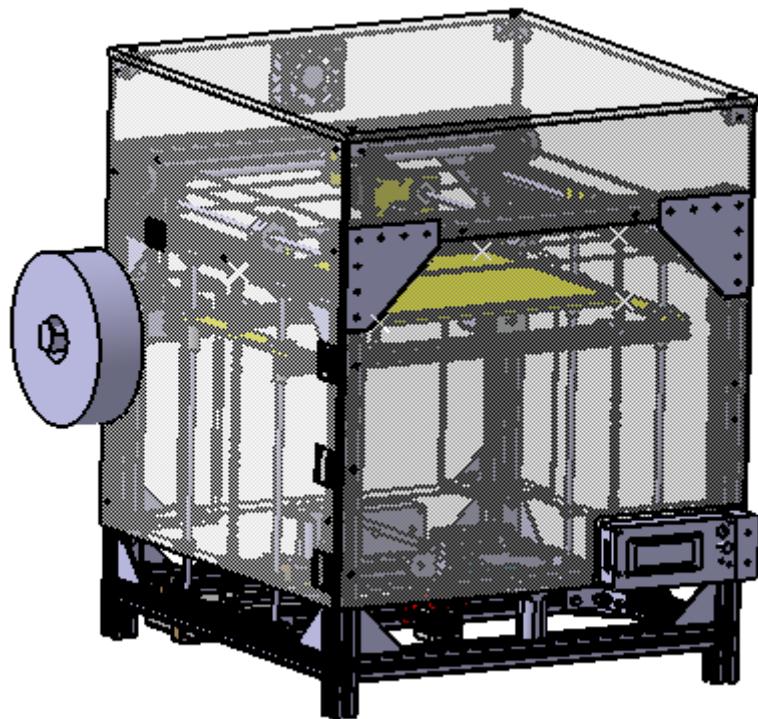
- nakon pokretanja 3D tiskača koji je složen na temelju verzije 3, pojavio se je problem vibracija zbog ležaja AGC-10C na prirubnici ekstrudera što je dovodilo do lošije kvalitete izrađenih dijelova ( vizualno i dimenzijski ).

Rješenje:

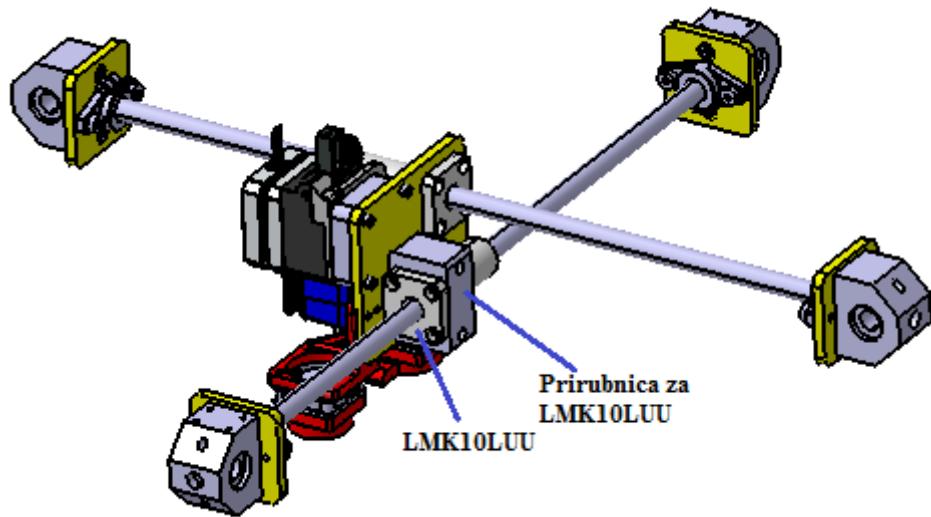
- zamjena postojećeg ležaja sa ležajem koji ima veću duljinu nosivosti te time sprječava rotaciju u radijalnom smjeru ležaja

### 3.3.4 Verzija 4, FSB300 ( 12.10.2018. ) - konačna verzija

Verzija 4 je ujedno i konačna verzija 3D tiskača sa grijanom komorom, u kojoj je i rješen problem verzije 3, odnosno ležaj AGC-10C koji ima nosivu duljinu 26 mm zamjenjen je sa ležajem LMK10LUU koji ima nosivu duljinu 55 mm. Također u konačnoj verziji konstruirane su ploče od pleksiglasa koji služi za grijanu komoru.



Slika 3.12. 3D tiskač, verzija 4



**Slika 3.13. 3D tiskač, verzija 4, ekstruder i vodilice X i Y osi**

Grijana platforma verzije 4 je ostala ista kao i kod verzije 3.

### 3.4 Odabir standardnih komponenata za 3D tiskač

U prošlom poglavlju opisane su verzije 3D tiskača naziva "FSB300", od početne pa do završne. 3D tiskač je konstruiran na način da su gotovi svi dijelovi koji se koriste za njegovo spajanje standardni, a ostali dijelovi koji nisu standardni su maksimalno pojednostavljeni za izradu, većinom su to razne prirubnice, čija izrada spada u 2D probleme. Također i izrada ploča pleksiglasa za grijanu komoru spada u 2D probleme pa se dijelovi lako mogu izraditi laserskim rezanjem.

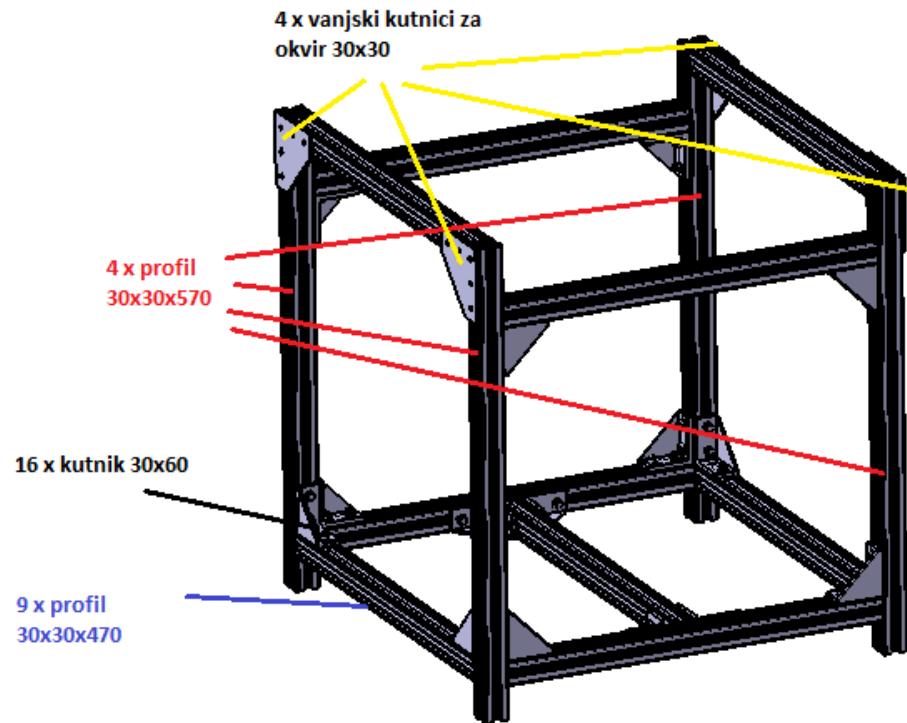
**Tablica 3.1. Popis standardnih dijelova potrebnih za 3D tiskač sa grijanom komorom**

| Opis  | Potreban broj dijelova |
|---|------------------------|
| KP 000 10 mm, ležajevi koji služe kao nosači vodilica x i y osi | 8                      |
| SHF 8 mm, držači za vodilice z osi                              | 8                      |

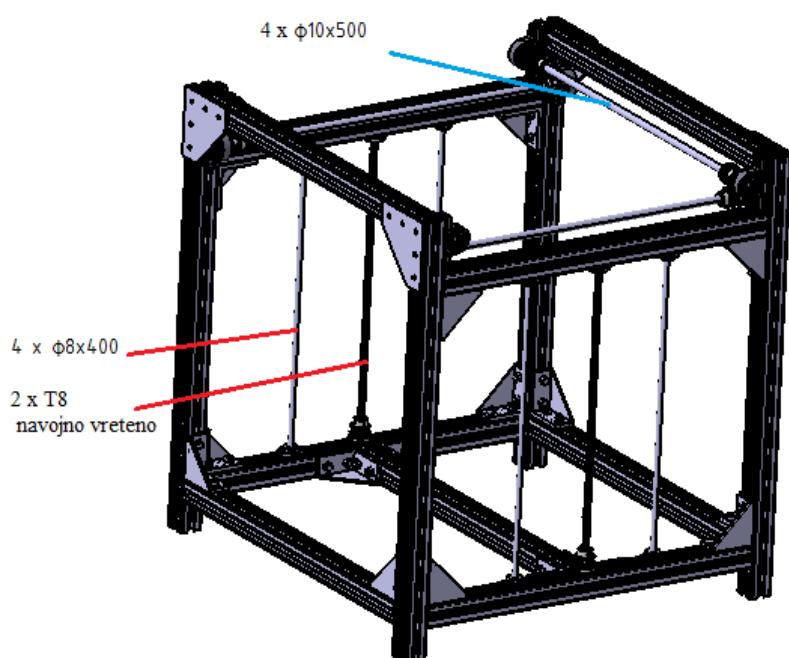
|   |    |
|---|----|
| SHF 10 mm, uklještenja vodilica ekstrudera  | 4  |
| KFL08, ležajevi koji drže navojno vreteno   | 4  |
| GT2 10 mm, 32T, remenice koje se nalaze na vodilicama x i y osi   | 10 |
| GT2 5 mm, 32T, remenice koje se nalaze na osovinama motora x, y i z osi   | 3  |
| GT2 8 mm, 32T, remenice koje se nalaze na navojnom vretenu  | 2  |
| GT2 5 mm, natezač, remenice bez zubiju koje služe za natezanje remena između motora z osi i navojnih vretena          | 2  |
| LMK10LUU, ležajevi koji se nalaze na prirubnici ekstrudera  | 2  |
| LMK8LUU, ležajevi koji se nalaze na vodilicama z osi, na prirubnici Heated Beda                                       | 4  |
| T8 navojno vreteno, lead - 8 mm , pitch - 2 mm, length - 400 mm   | 2  |
| KEENOVO grijач, 280x280, 600W   | 1  |
| Borosilikatno staklo 310x310x3 mm   | 1  |
| SSR-25 DA, relj koji je upravljan pomoću Arduina, a propušta izmjenični napon 220V prema grijачu.                     | 1  |
| Ventilator, ventilatori dimenzija 30x30x10 koji hlade isprintan sloj, za PLA potrebno, za ABS nije.                   | 2  |
| Ventilator, ventilator dimenzija 80x80x25 koji služe za hlađenje elektronike i regulaciju temperature grijane komore  | 2  |
| Upravljačka elektronika, Kit for Reprap 3D printer, Arduino Mega2560, RAMPS 1.4, upravljač koračnih motora A4988, LCD | 1  |
| Koračni motor (x,y,z), NEMA17 1.7A, 40mm, 1.8 °. Za x,y i z os.   | 5  |

|  |    |
|--|----|
| Koračni motor (ekstruder), NEMA17 1A, 13Ncm,<br>42x42x20mm               | 2  |
| End stop, mehanička sklopka za određivanje početne pozicije x<br>i y osi | 3  |
| GT2 open-loop remen, 10 m  | 1  |
| GT2 closed-loop remen, z-os, 1140-2GT-6                                  | 1  |
| GT2 closed-loop remen, x-os, 280 mm                                      | 1  |
| GT2 closed-loop remen, y-os, 400 mm                                      | 1  |
| GT2 open-loop stezaljka  | 8  |
| Opruga i vijak, za pozicioniranje Heated Beda                            | 8  |
| Vanjski kutnici za okvir, aluminijski                                    | 4  |
| LCD + čitač SD kartice   | 1  |
| Profil 30x30x570   | 4  |
| Profil 30x30x470   | 9  |
| Profil 20x20x530   | 2  |
| Kutnik 30x60   | 16 |
| T-nut 8 mm slot, M6, matice za vanjske kutnice okvira                    | 20 |
| Φ8x400, vodilice za Z os   | 4  |

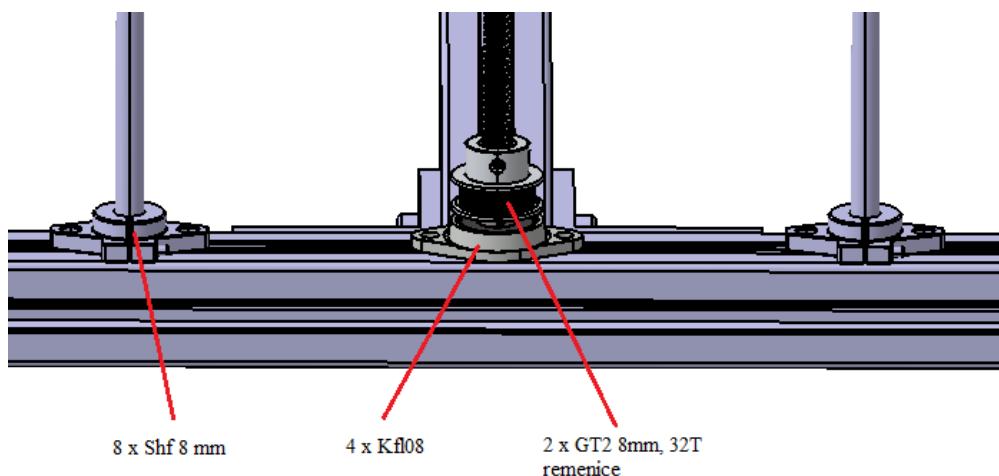
|   |   |
|---|---|
| φ10x500 , vodilice za X i Y osi   | 4 |
| φ10x400 , vodilice ekstrudera po X i Y osi  | 2 |
| AGC-10C , ležajevi koji služe kao "vagončići" za X i Y osi  | 4 |
| E3D Titan, Standard, None, None   | 1 |
| V6 Hotend, 1.75 mm, Direct Drive, Full Kit-12V, None  | 1 |
| Napajanje, MEAN WELL  | 1 |
| Piezo senzor bed leveling, groovemount to your printer, Direct  | 1 |
| IRF520 mosfet module, za upravljanje ventilatorima za hlađenje elektronike, grijane komore i slojeva printanih dijelova | 3 |
| 12V, 150W grijач za grijanu komoru  | 2 |
| NTC 100K termistor, senzor temperature grijane komore   | 1 |



Slika 3.14. Standardni dijelovi od kojih je sastavljen okvir 3D tiskača



Slika 3.15. Vodilice za X,Y i Z os



**Slika 3.16. Nosači i ležajevi za vodilice i navojno vreteno ( Z - os )**



**Slika 3.17. Ležajevi i remenice koje se nalaze na vodilicama X i Y osi**

### 3.5 Konstrukcija specifičnih komponenata

#### 3.5.1 Prirubnice

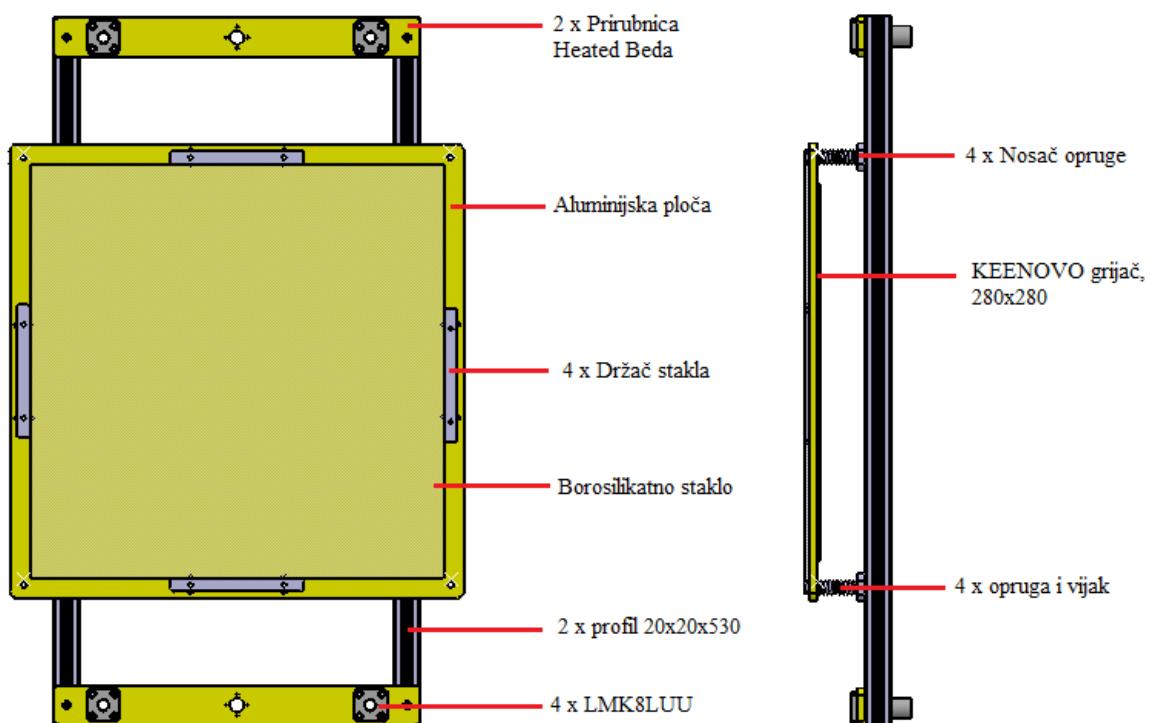
Osim standardnih dijelova koji su u ovom radu već prikazani, za izradu 3D tiskača potrebno je konstruirati još neke dijelove ( prirubnice ) kako bi se ti standardni dijelovi mogli spojiti u jednu cjelinu. Sve konstruirane prirubnice su aluminijske, obrađene laserskim rezanjem.

**Tablica 3.2. Popis svih konstruiranih prirubnica sa odgovarajućim dimenzijama**

| Naziv                  | Dimenzijs(mm) | Debljina(mm) | Broj komada |
|------------------------|---------------|--------------|-------------|
| Aluminijkska ploča     | 340 x 340     | 6            | 1           |
| Prirubnica ekstrudera  | 86 x76        | 5            | 1           |
| Prirubnica Heated Beda | 275 x 30      | 5            | 2           |
| Prirubnica xy          | 45 x 45       | 5            | 4           |
| Dodatak ekstruder      | 40 x 40       | 10           | 1           |
| Nosač opruge           | 52.5 x 20     | 5            | 4           |
| KP000 dodatak          | 67 x 16       | 5            | 8           |
| Držač stakla           | 100 x 10      | 3            | 4           |

Od svih konstruiranih prirubnica, pola ih se nalazi u sklopu grijane platforme, a to su:

1. Aluminijkska ploča
2. Prirubnica Heated Beda
3. Držač stakla
4. Nosač opruge

**Slika 3.18. Grijana platforma sa svim elementima**

### 3.5.1.1 Aluminijkska ploča

Grijana platforma sastoji se od tri glavna dijela. U sredini se nalazi Aluminijkska ploča, sa donje strane Aluminijkske ploče nalazi se grijач, a na gornju stranu Aluminijkske ploče dolazi borosilikatno staklo na koje se vrši 3D tiskanje. Stoga su gabaritne mjere Aluminijkske ploče određene borosilikatnim staklom sa jedne strane te grijачem sa druge strane. Borosilikatno staklo je dimenzija 310 x 310 mm (njegova dimenzija određena je najvećim mogućim dimenzijama dijela koji će se izrađivati 3D tiskanjem, a te dimenzije su 300 x 300 x 300 mm), a grijач je dimenzija 280 x 280 mm. Gabaritne dimenzije Aluminijkske ploče su zbog toga 340x340x6 mm. Ploča na svojim krajevima ima četiri provrta kroz koji prolazi vijak, a između Ploče i Nosača opruge nalazi se opruga. Vijak i opruga služe za pozicioniranje Ploče u horizontalnoj ravnini. Na gornji dio Ploče dolazi borosilikatno staklo na koje se vrši 3D tiskanje, te kako bi ograničili pomicanje stakla u X i Y smjeru (fiksirali ga), na Ploči se nalazi osam izduženih provrta na koje se montiraju Držaci stakla. Radionički crtež Aluminijkske ploče nalazi se u Prilogu.

### 3.5.1.2 Prirubnica Heated Beda

Glavni zadatak Prirubnice heated beda je da poveže grijanu platformu sa vodilicama Z osi te sa navojnim vretenom kako bi se omogućilo pokretanje grijane platforme po Z osi. Na Prirubnicu se montiraju dva ležaja LMK8LUU koji se vode po vodilicama, te matica navojnog vretena koja omogućava gibanje grijane platforme po Z osi, kako se okreće navojno vreteno. Na prirubnicu su također pričvršćeni i profili 20x20x530 mm, na koje je pričvršćena i grijana platforma. Radionički crtež Prirubnice heated beda nalazi se u Prilogu.

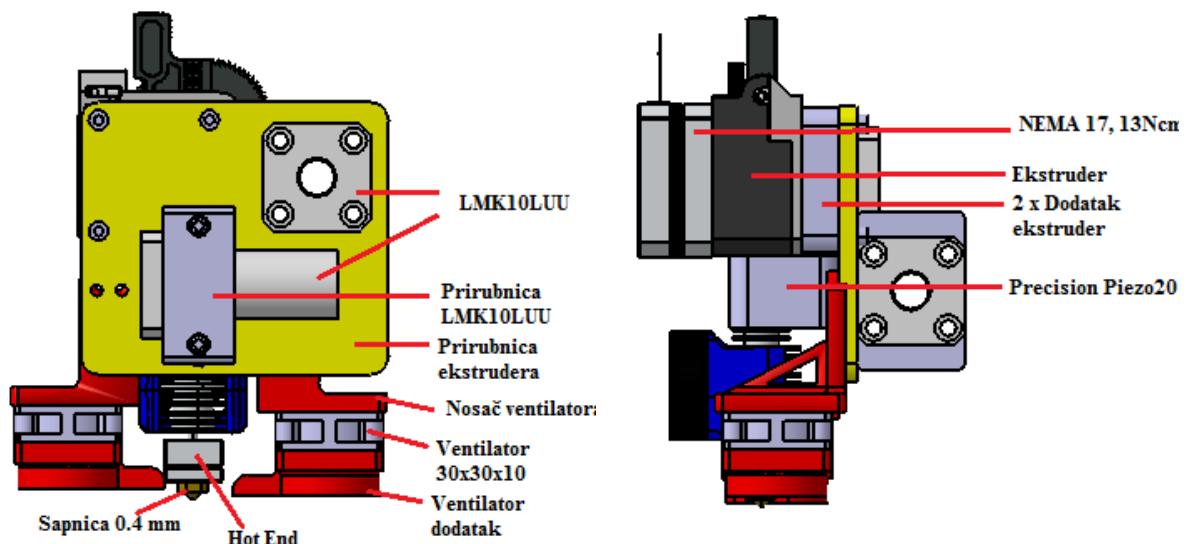
### 3.5.1.3 Držać stakla

Jedini zadatak držača stakla je da ograniče gibanje borosilikatnog stakla po Aluminijskoj ploči u X i Y smjeru, odnosno da ga fiksiraju. Svaki držać na sebi ima dva provrta kroz koji dolaze vijci, te se na taj način Držaci stakla fiksiraju na Aluminijsku ploču, a svojim oblikom ograničavaju gibanje borosilikatnog stakla. Radionički crtež Držača stakla nalazi se u Prilogu.

### 3.5.1.4 Nosač opruge

Nosač opruge se na jednom kraju pričvrsti na profil 20x20x530 mm, a na njegov drugi kraj dolazi vijak i opruga koji služe za pozicioniranje grijane platforme u horizontalnoj ravnini. Radionički crtež Nosača opruge nalazi se u Prilogu.

### 3.5.1.5 Prirubnica ekstrudera



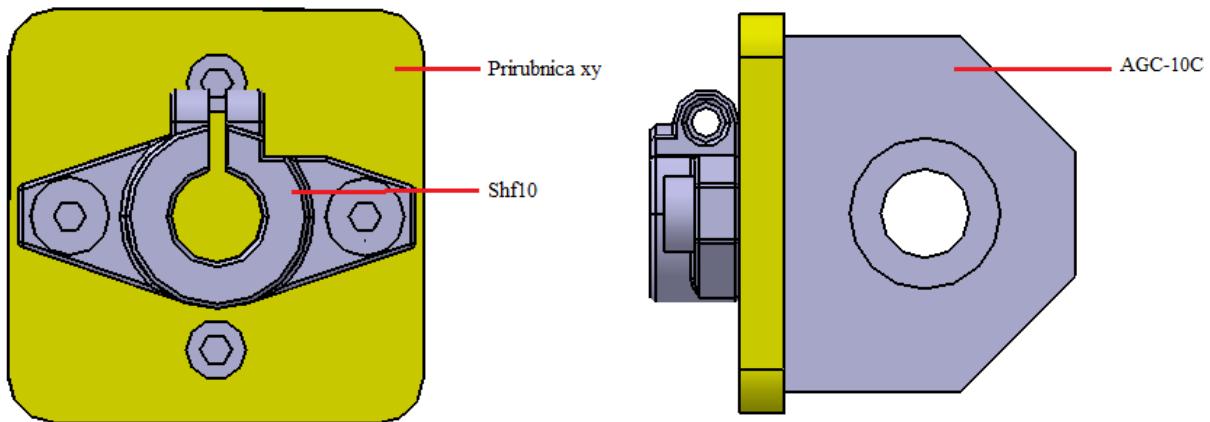
**Slika 3.19. Sklop ekstrudera sa svim elementima**

Prirubnica ekstrudera povezuje u jednu cjelinu ekstruder i koračni motor sa ležajevima LMK10LUU čije osi su međusobno okomite. Prirubnica ekstrudera ima dva izdužena provrta na mjestu gdje se pričvršćuje Prirubnica LMK10LUU ležaja tako da se udaljenost između osi okomitih ležajeva može pomicat između 30 mm i 35. Prirubnica ima još dodatna 4 provrta, dva sa svake strane LMK10LUU koji služe da se tu pričvrste dva ventilatora. Radionički crtež Prirubnice ekstrudera nalazi se u Prilogu.

### 3.5.1.6 Dodatak ekstrudera

Dodatak ekstrudera ima ulogu da odmakne Prirubnicu ekstrudera od ekstrudera 10 mm zbog konstrukcijskih razloga. Radionički crtež Dodatka ekstrudera nalazi se u Prilogu.

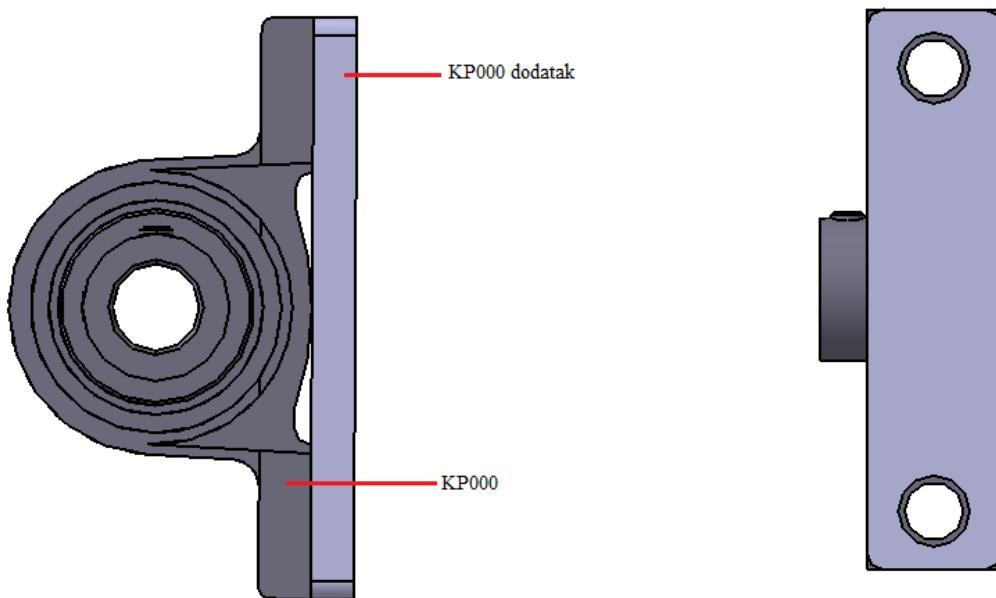
### 3.5.1.7 Prirubnica xy



Slika 3.20. Sklop prirubnice xy

Prirubnica xy služi da poveže ležaj AGC-10C koji služi kao "vagončić" koji se vozi po vodilicama X i Y osi te nosač vodilica ekstrudera Shf10. Radionički crtež Prirubnice xy nalazi se u Prilogu.

### 3.5.1.8 KP000 dodatak



Slika 3.21. KP000 sklop

KP000 dodatak ima ulogu da odmakne ležaj KP000 od okvira 3D tiskača 5 mm zbog konstrukcijskih razloga. Radionički crtež KP000 dodatka nalazi se u Prilogu.

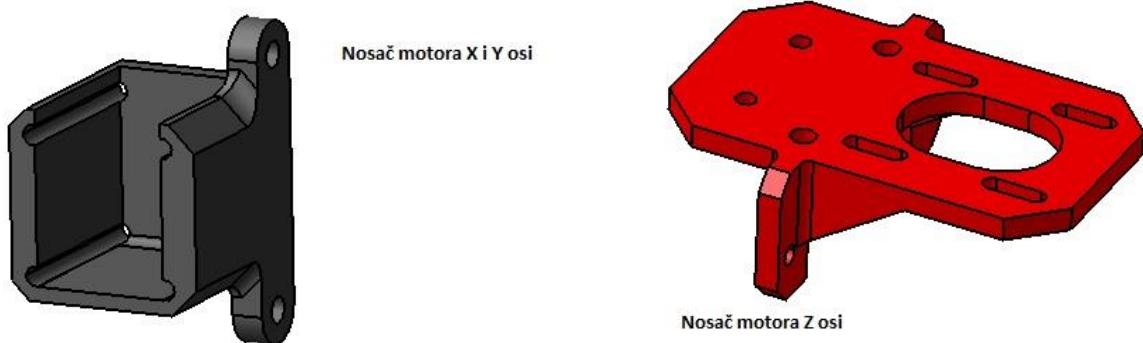
### 3.5.2 Nosači, držači i prirubnice

Kako bi se smanjila cijena izrade 3D tiskača, prvo je potrebno konstruirati i izraditi nosače koji imaju takvu funkciju da se bez njih 3D tiskač ne može pokrenuti, a zatim će se ostali nosači, prirubnice i držači izraditi na tom istom 3D tiskaču. Drugim riječima, 3D tiskač će graditi sam sebe.

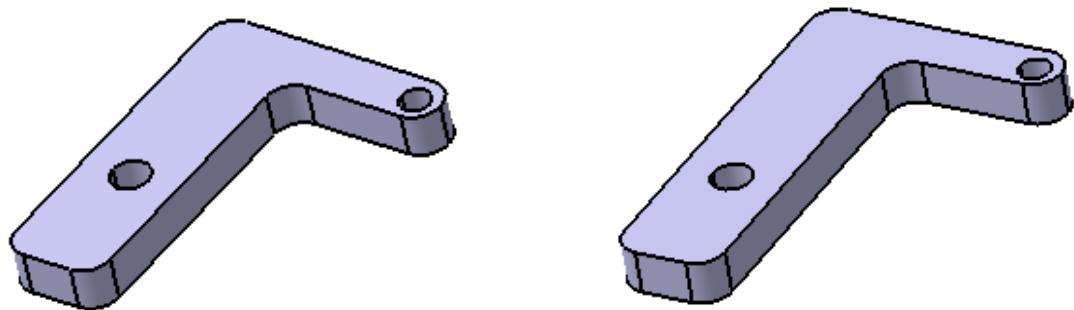
#### 3.5.2.1 Nosači, držači i prirubnice neophodni za pokretanje 3D tiskanja

**Tablica 3.3. Popis konstruiranih nosača, držača i prirubnica neophodnih za pokretanje 3D tiskanja**

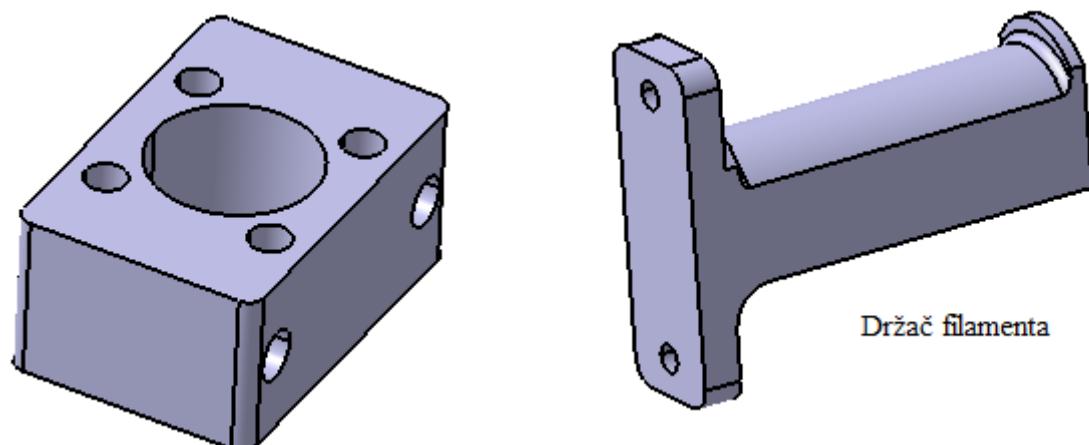
| Naziv               | Dimenzije (mm) | Broj komada |
|---------------------|----------------|-------------|
| Nosač motora X i Y  | 42x42x45       | 2           |
| Nosač motora Z      | 52x90x30       | 1           |
| Držač filamenta     | 25x70x89       | 1           |
| Držač endstopa 1    | 40x30x5        | 1           |
| Držač endstopa 2    | 45x30x5        | 1           |
| Prirubnica LMK10LUU | 44x30x20       | 1           |



**Slika 3.22. CAD model nosača moora X, Y i Z osi**

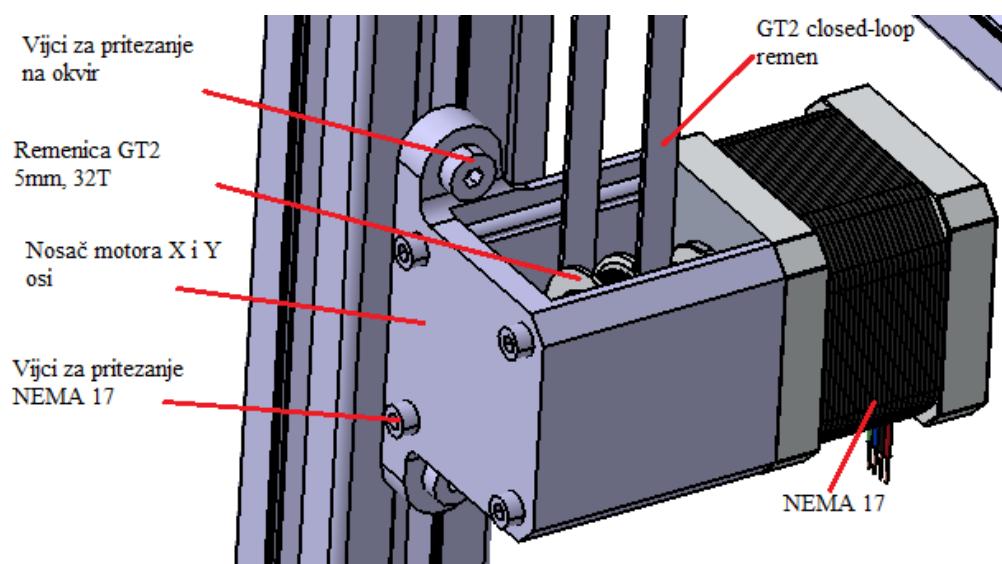


Slika 3.23. CAD model držača endstopa 1 i 2



Slika 3.24. CAD model prirubnice LMK10LUU i držača filamenta

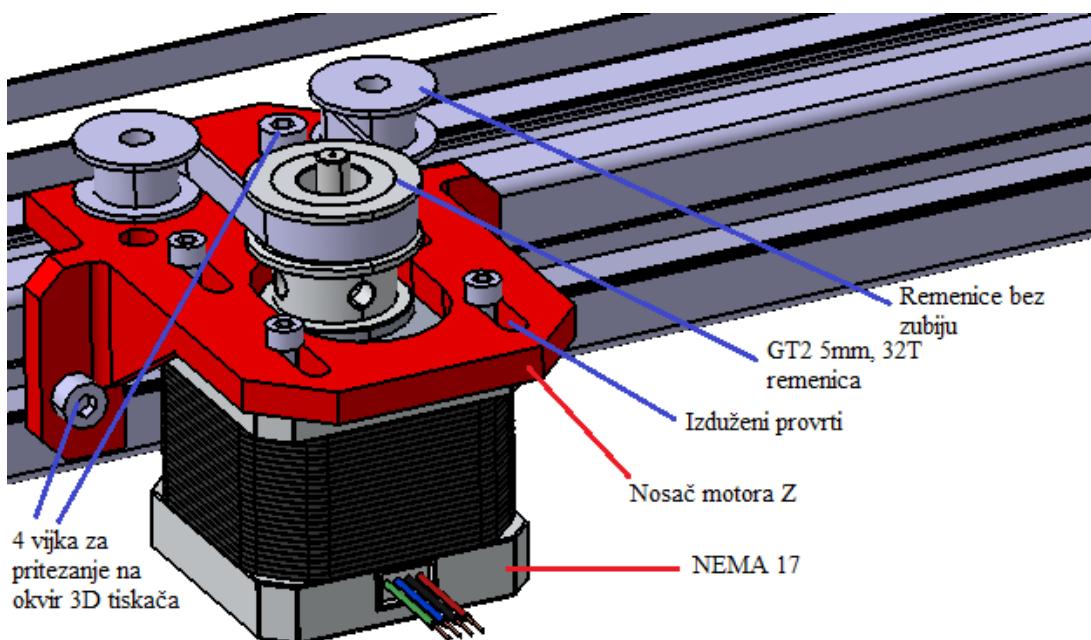
### 3.5.2.1.1 Nosač motora X i Y osi



Slika 3.25. Sklop motora X (Y) osi

Nosač motora za X i Y os je iste konstrukcije. Ima 4 provrta kroz koj prolaze vijci kojima se Nosač spaja sa koračnim motorom NEMA 17, te 2 provrta kroz koje prolaze vijci koji služe za pritezanje sklopa Nosača i motora za okvir 3D tiskača. Pošto se svaki remen preba prednapregnut, u ovom slučaju je jednostavno rješenje natezanja remena na način da po okviru samo spuštamo sklop koliko nam je potrebno da nategnemo remen te zbog toga nemamo nikakvih ograničenja u konstrukciji, a vidjet ćemo kod konstrukcije Nosača motora Z osi da to nije slučaj.

### 3.5.2.1.2 Nosač motora Z osi



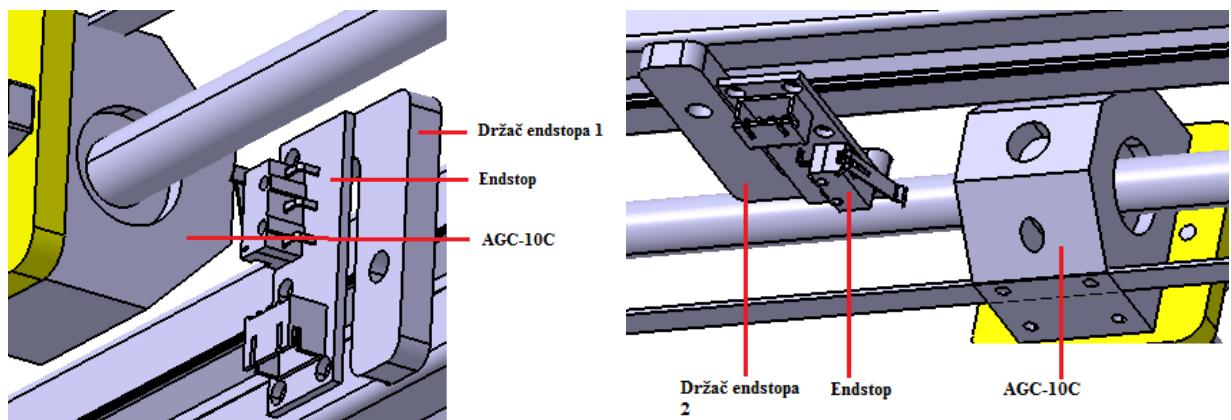
Slika 3.26. Sklop motora Z osi

Nosač motora Z ima 4 provrta za pritezanje na okvir 3D tiskača, 2 provrta kroz koji prolaze vijci, a na kojima se nalaze remenice bez zubiju te izdužene provrte u koje dolaze vijci sa kojima se motor Z pričvršćuje za Nosač motora Z. Izduženi provrtri služe za natezanje remena, odnosno motor Z se može pomicati od početnog do krajnjeg položaja 10 mm.

### 3.5.2.1.3 Držača filamenta

Držač filimenta ima 2 provrta kroz koji prolaze vijci sa kojima se pričvršćuje za okvir 3D tiskača, a svojim oblikom drži filament (ABS/PLA/PETG).

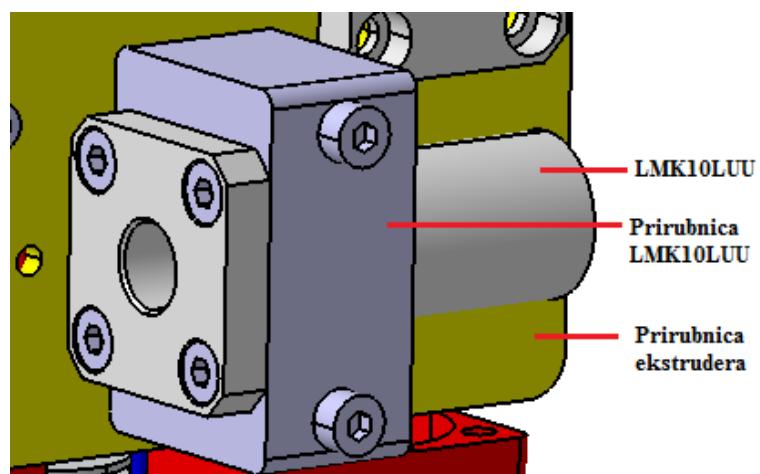
### 3.5.2.1.4 Držač endstopa 1 i 2



Slika 3.27. Sklop endstopa 1 i 2

Držač endstopa konstruiran je na način da se na njega pričvrsti endstop, a sklop držača i endstopa se pričvrsti na okvir 3D tiskača. Držač se sa vijkom priteže te se tako učvrsti na okvir ( profil 30x30 ) kako se nebi pomicao. Endstop ( mehaničke sklopke ) su nam važne kako bi odredili početak X i Y osi.

### 3.5.2.1.5 Prirubnica LMK10LUU ležaja



Slika 3.28. Prirubnica LMK10LUU sklop

Prirubnica LMK10LUU je konstruirana na način da se za nju pričvrsti ležaj LMK10LUU, a ona se sa vijcima pričvrsti za prirubnicu ekstrudera.

### 3.5.2.2 Nosači, držači i prirubnice izrađivane na 3D tiskaču

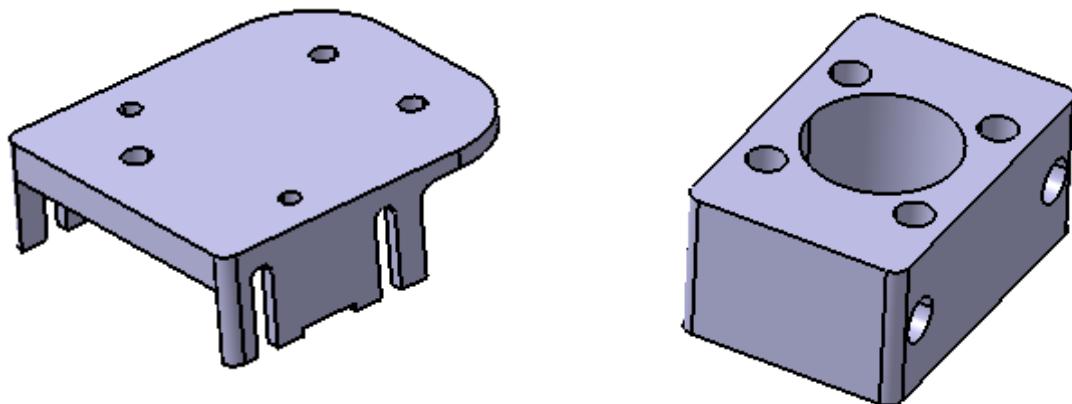
Nakon izrade dijelova koji su neophodni za funkcioniranje 3D tiskača, na 3D tiskaču potrebno je izraditi sljedeće komponente:

**Tablica 3.4. Popis konstruiranih dijelova koje je potrebno izraditi na 3D tiskaču**

| Naziv                           | Dimenziјe | Broj komada | Vrijeme 3D tiskanja (min) |
|---------------------------------|-----------|-------------|---------------------------|
| SSR-poklopac                    | 78x67x24  | 1           | 178                       |
| Ventilator_30x30_dodatak        | 40x30x13  | 1           | 69                        |
| Ventilator_30x30_dodatak_mirror | 40x30x13  | 1           | 69                        |
| Ventilator_30x30_drzac          | 39x36x36  | 1           | 83                        |
| Ventilator_30x30_drzac_mirror   | 39x36x36  | 1           | 83                        |
| kuciste_prikljucak_kabela_dio_1 | 95x53x33  | 1           | 162                       |
| kuciste_prikljucak_kabela_dio_2 | 95x53x32  | 1           | 200                       |
| Prirubnica_LMK10LUU             | 44x30x20  | 1           | 155                       |
| Nosac_napajanje_1               | 50x10x5   | 1           | 20                        |
| Nosac_napajanje_2               | 77x65x20  | 1           | 104                       |
| Nosac_napajanje_3               | 74x65x20  | 1           | 100                       |
| Poklopac_napajanje              | 117x40x33 | 1           | 151                       |
| Nosac_ventilator_1              | 80x60x30  | 1           | 162                       |
| Nosac_ventilator_2              | 80x60x10  | 1           | 79                        |
| Nosac_arduino                   | 102x70x35 | 1           | 204                       |
| Filament_dodatak                | 40x30x15  | 1           | 40                        |
| Lcd_nosac_1                     | 74x40x30  | 1           | 521                       |
| Lcd_nosac_2                     | 159x74x35 | 1           | 307                       |
| Mosfet_nosac                    | 64x25x8   | 4           | 180                       |
| <hr/>                           |           |             |                           |
| Ukupno vrijeme tiskanja ( min ) |           |             | 2867                      |
| Ukupno vrijeme tiskanja ( h )   |           |             | 47.78                     |

Pošto se navedeni dijelovi u Tablica 3.4. izrađuju aditivnom tehnologijom, postupkom taložnog očvršćivanja, nije potrebno izrađivati radionički crtež jer se dijelovi izrađuju izravno iz CAD modela, odnosno STL datoteke CAD modela. Zbog toga će dijelovi biti prikazani na sljedećim slikama u izometriji.

### 3.5.2.2.1 SSR poklopac i prirubnica LMK10LUU



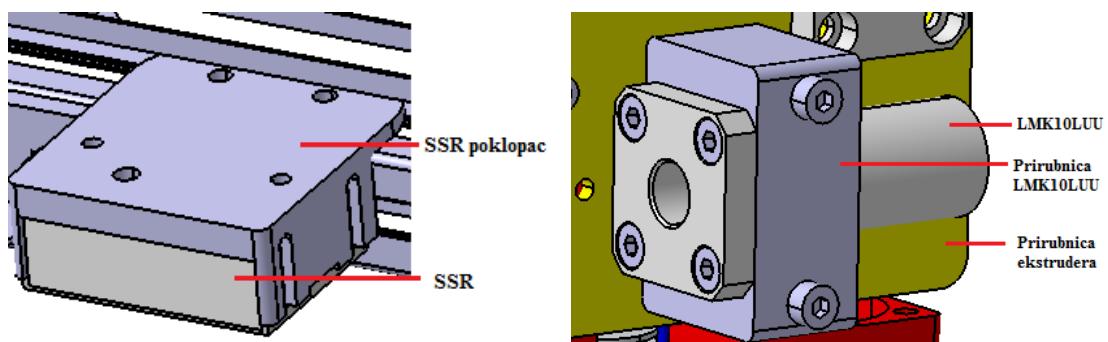
Slika 3.29. SSR poklopac i prirubnica LMK10LUU

SSR (engl. solid state relay) je elektronička sklopka, odnosno uređaj koji uključuje/isključuje strujni krug sa naponom mreže (230V) u ovisnosti je li na njegovim upravljačkim ulazima logička jedinica ili nula ( upravljanje sa Arduinom ).

SSR poklopac je dio koji ima dvije funkcije:

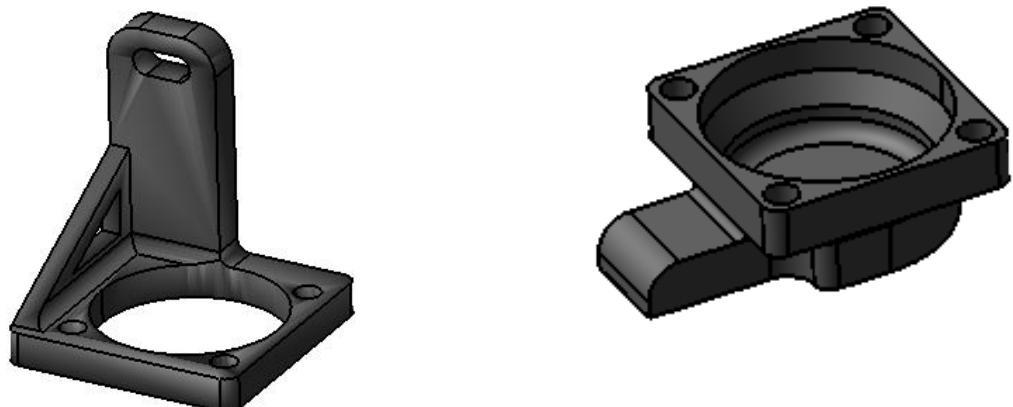
- pričvrstiti relej za okvir 3D tiskača
- fizički odvojiti žice pod naponom 230V te spriječiti mogući kratki spoj

Prirubnica LMK10LUU služi za povezivanje ležaja LMK10LUU sa prirubnicom ekstrudera.



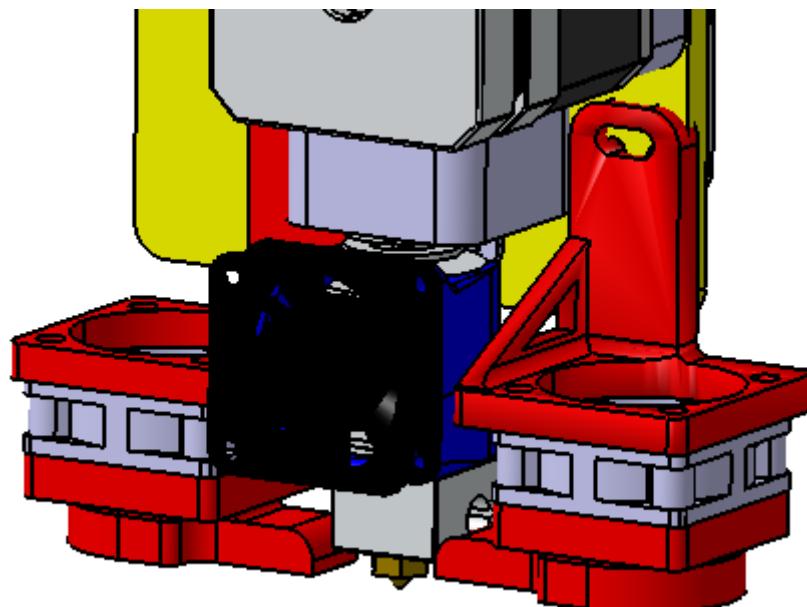
Slika 3.30. Funkcije SSR poklopca i prirubnice LMK10LUU

### 3.5.2.2.2 Ventilator 30x30 držač i ventilator 30x30 dodatak



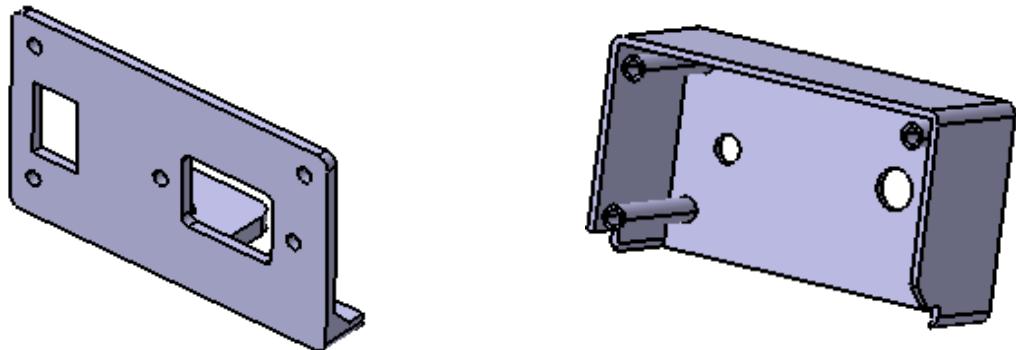
Slika 3.31. Ventilator 30x30 držač i ventilator 30x30 dodatak

Funkcija ventilatora 30x30 je da hlađi trenutno isprintane slojeve, kako nebi došlo do prekomjernog tečenja materijala, a time i do neuspjelog pokušaja 3D tiskanja ( samo kod taložnog očvršćivanja PLA i PETG - a ). Kako bi ventilator bio funkcionalan, konstruiran je držač koji ga pričvršćuje na prirubnicu ekstrudera, te dodatak koji je oblikovan kako bi protok zraka iz ventilatora dolazio neposredno pored sapnice ekstrudera.



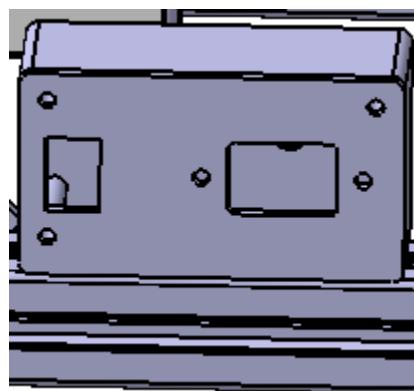
Slika 3.32. Funkcije držača i dodatka ventilatora 30x30

### 3.5.2.2.3 Kućište priključka kabela dio 1 i dio 2



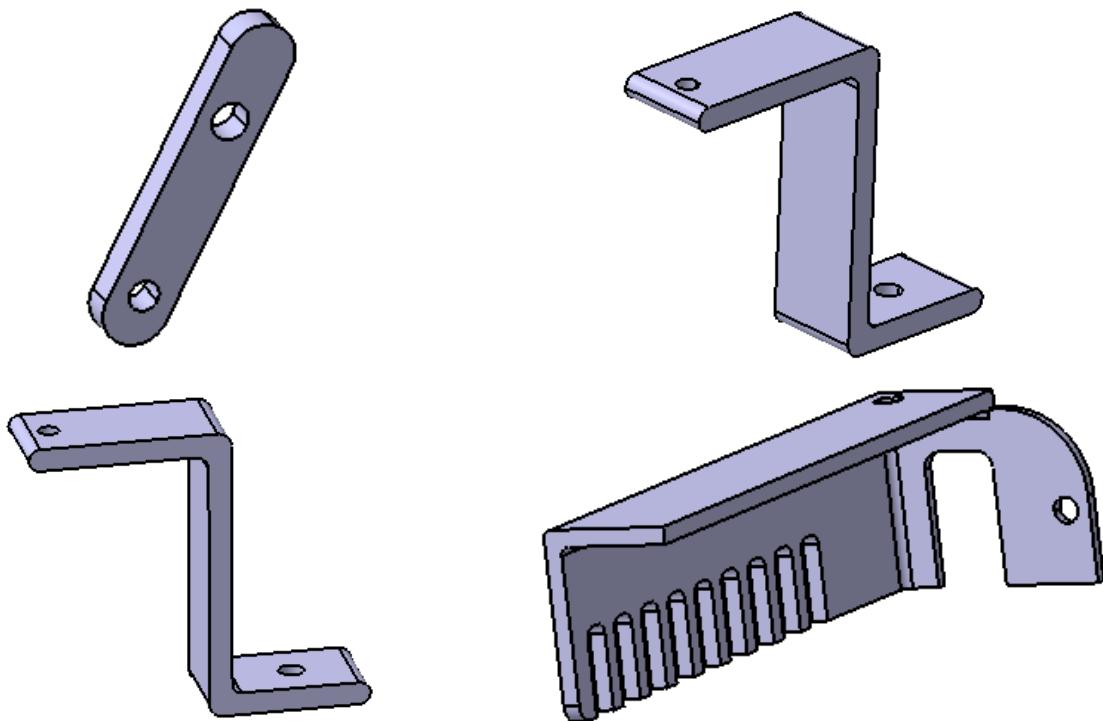
Slika 3.33. Kućište priključka kabela dio 1 i dio 2

Funkcija kućišta za priključak kabela je spajanje napona mreže od 230V na napajanje 3D tiskača. Također je u kućište implementiran prekidač tako da se napon mreže može lako uključiti/isključiti , a time i rad 3D tiskača. Na kućište kabela dio 1 dolazi prekidač i utičnica u koju dolazi kabel spojen na gradsku mrežu, te se dio 1 pričvršćuje na okvir 3D tiskača. Kućište kabela dio 2 je zapravo samo poklopac koji ima ulogu sprječavanja strujnog udara, odnosno mogućnosti da dođe do kratkog spoja zbog nekih vanjskih utjecaja.



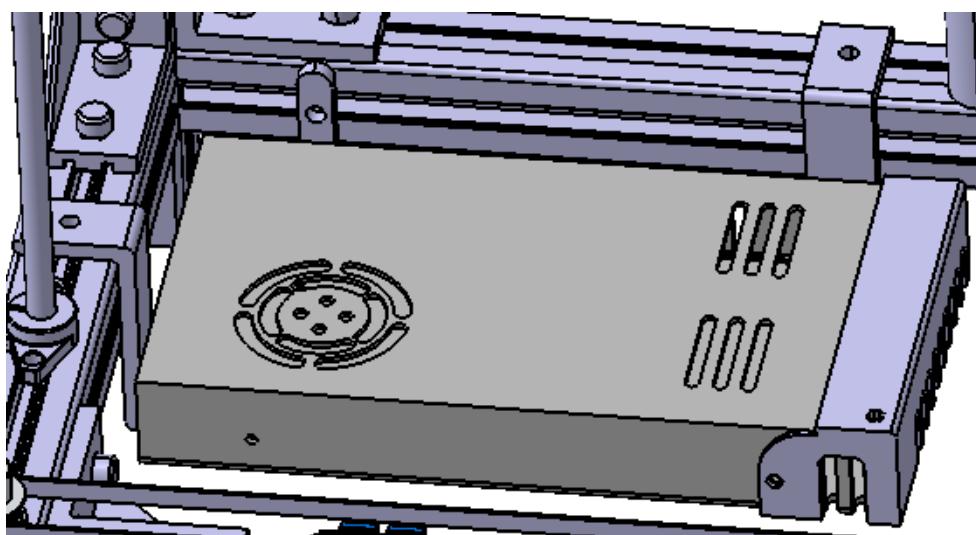
Slika 3.34. Funkcija kućišta priključka kabela dio 1 i dio 2

### 3.5.2.2.4 Nosači napajanja i poklopac napajanja



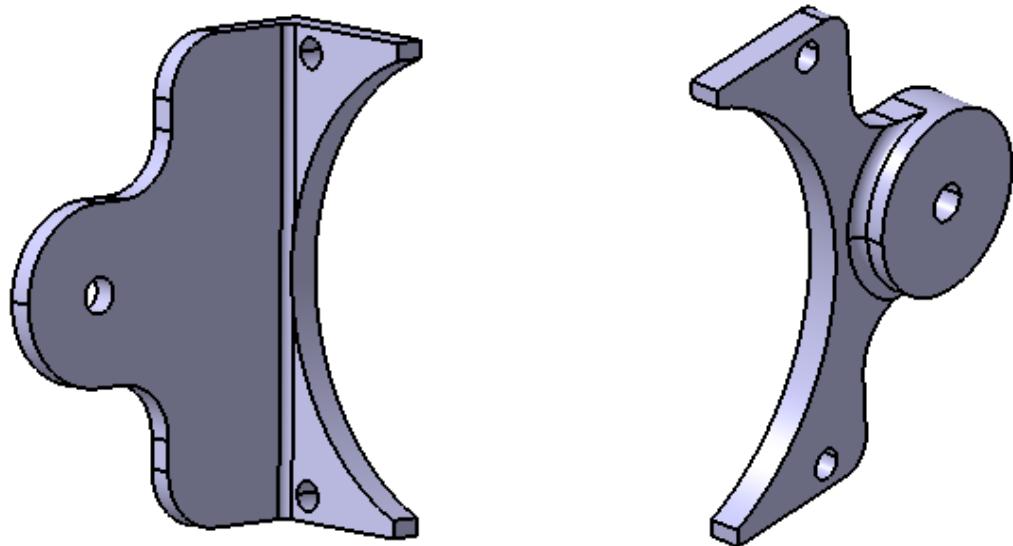
Slika 3.35. Napajanje nosač 1,2 i 3 te poklopac napajanja

Nosači napajanja imaju funkciju da pričvrste napajanje na okvir 3D tiskača, a poklopac napajanja ima ulogu da fizički odvoji brojne žice pod različitim naponom koje izlaze iz napajanja ( 230V i 12V ), te također da se tako spriječi nastajanje kratkog spoja ili strujnog udara zbog vanjskih utjecaja.



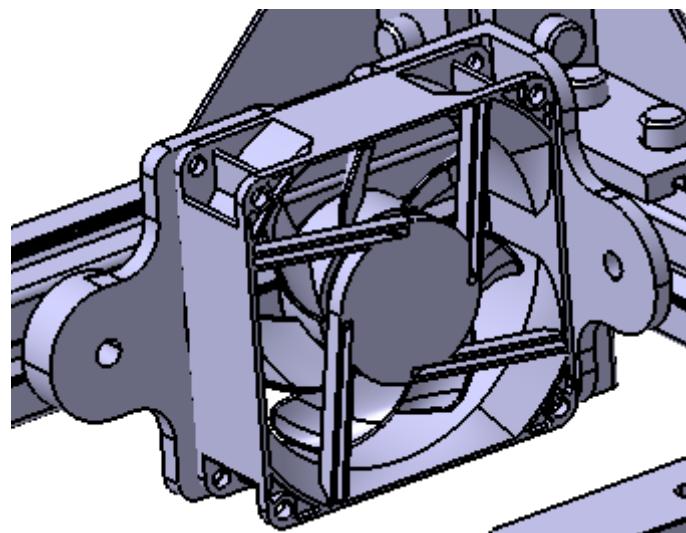
Slika 3.36. Napajanje sklop

### 3.5.2.2.5 Nosači ventilatora 80x80 za hlađenje elektronike

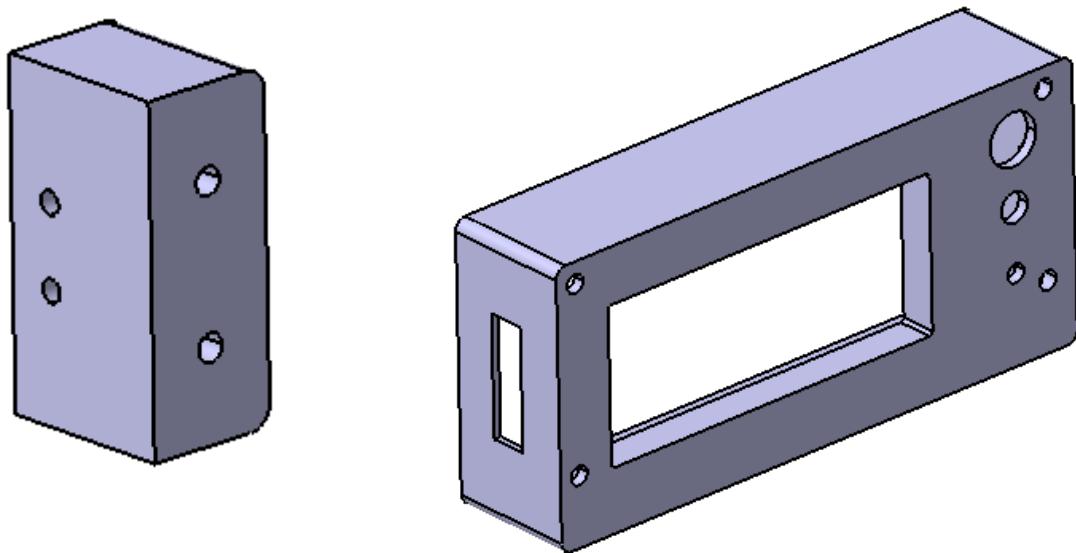


Slika 3.37. Ventilator 80x80 nosač 1 i nosač 2

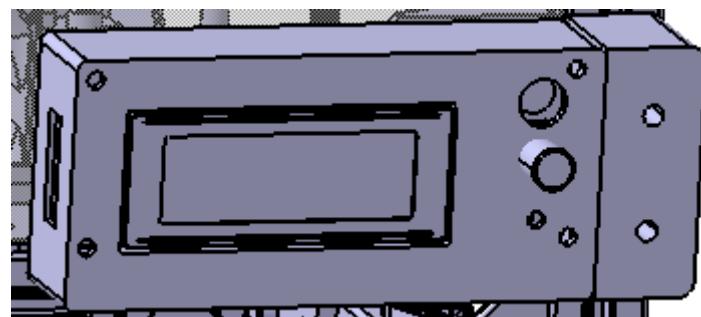
Funkcija nosača ventilatora 80x80 za hlađenje elektronike je pričvršćenje ventilatora na okvir 3D tiskača.



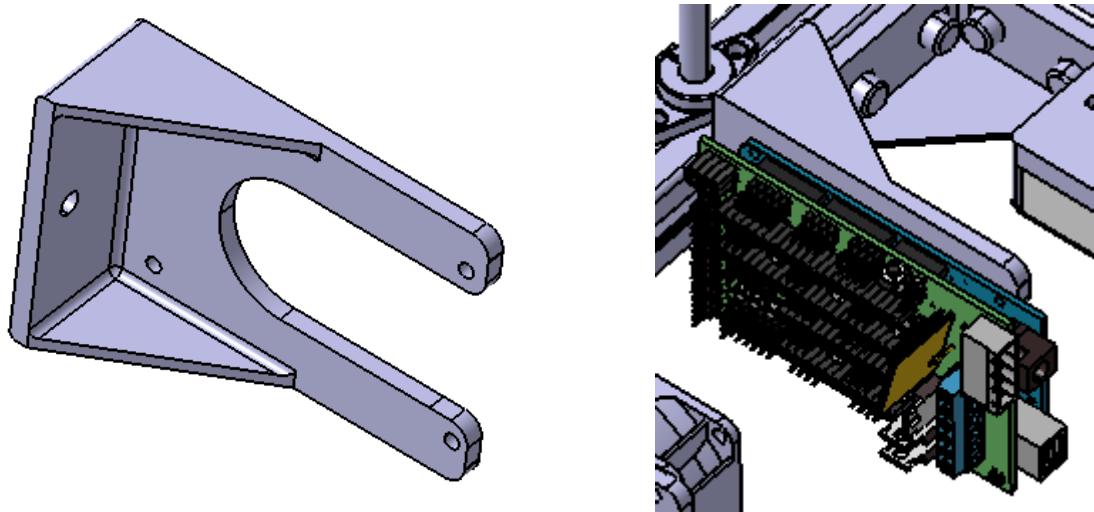
Slika 3.38. Ventilator 80x80 za hlađenje elektronike sklop

**3.5.2.2.6 Nosači LCD - a****Slika 3.39. LCD nosač 1 i nosač 2**

Na nosač 1 se vijcima priteže nosač 2. Nakon što imamo sklop nosača, na nosač 2 se vijcima priteže LCD zaslon, a zatim se taj cijeli sklop priteže na okvir 3D tiskača kroz dva preostala provrta na nosaču 1.

**Slika 3.40. LCD sklop**

### 3.5.2.2.7 Nosač Arduina



Slika 3.41. Nosač Arduina i Arduino sklop

Uloga nosača Arduina je da Arduino zajedno sa modulom Ramps 1.4. pričvrsti na okvir 3D tiskača.

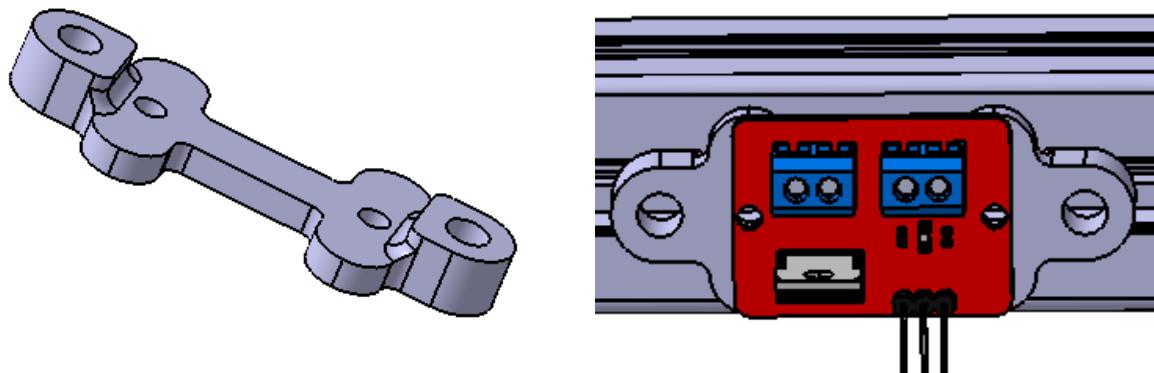
### 3.5.2.2.8 Vodilica filamenta



Slika 3.42. Vodilica filamenta

Uloga vodilice filamenta je kako joj i sam naziv govori, da vodi filament. Druga uloga joj je da se u prorez između prvrta koji vode filament stavi spužva čija je uloga da stvara otpor prolasku filamenta. Svrha toga je da filament prolazi u jednu stranu ( prema ekstruderu ), ali se ne može vraćati natrag prema kolutu filimenta te se na taj način osigurava da se filament ne zapetlja. Vodilica se pričvršćuje za okvir 3D tiskača.

### 3.5.2.2.9 Nosač Arduino mosfet modula



**Slika 3.43. Nosač i sklop Arduino mosfet modula**

Nosač Arduino mosfet modula služi da se mosfet modul pričvrsti za okvir 3D tiskača.

### 3.5.3 Pleksiglas ploče za izradu grijane komore

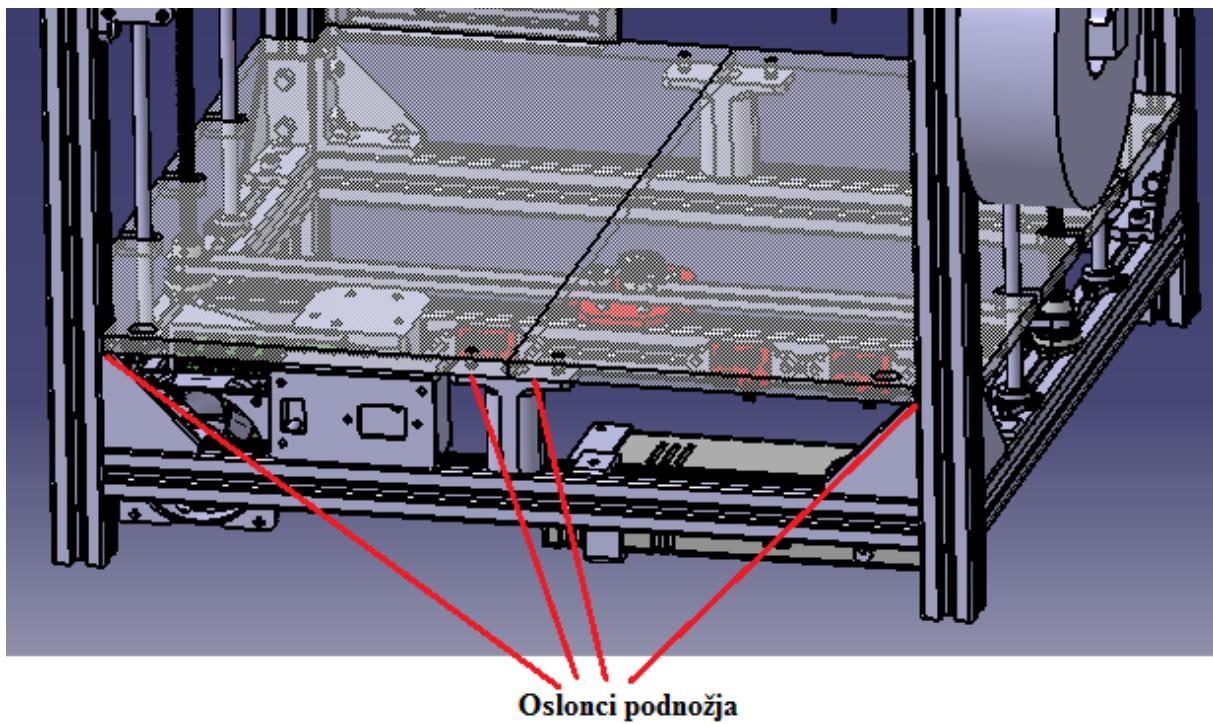
Svi do sada nabrojani standardni elementi, ali i konstruirani dijelovi kao prirubnice, držači i nosači dovoljni su za 3D tiskač bez grijane komore. Ukoliko 3D tiskač nema grijane komore, kao materijal za taložno očvršćivanje može se koristiti PLA i PETG. Pošto je u zadatku diplomskog rada navedeno da se mora koristiti i ABS, potrebno je konstruirati grijanu komoru. U sljedećoj tablici nabrojane su ploče od prozirnog pleksiglasa, koje se izrađuju laserskim rezanjem.

**Tablica 3.5. Popis ploča od pleksiglasa za grijanu komoru**

| Naziv                              | Dimenziije(mm) | Debljina(mm) | Broj komada | Napomena         |
|------------------------------------|----------------|--------------|-------------|------------------|
| Podnožje                           | 530x265        | 10           | 2           | Lasersko rezanje |
| Pokrov                             | 540x540        | 10           | 1           | Lasersko rezanje |
| Bocna_1                            | 543x530        | 5            | 1           | Lasersko rezanje |
| Bocna_2                            | 543x530        | 5            | 1           | Lasersko rezanje |
| Bocna_4                            | 543x530        | 5            | 1           | Lasersko rezanje |
| Bocna_5                            | 530x418        | 5            | 1           | Lasersko rezanje |
| Bocna_6                            | 530x124        | 5            | 1           | Lasersko rezanje |
| Bocna_7                            | 170x75         | 5            | 1           | Lasersko rezanje |
| Grijana komora L1 sklop - dijelovi |                |              |             |                  |
|                                    |                |              |             |                  |

|                                    |            |   |   |                                     |
|------------------------------------|------------|---|---|-------------------------------------|
| L1_dio_1                           | 105x85     | 5 | 1 | Lasersko rezanje                    |
| L1_dio_2                           | 105x85     | 5 | 1 | Lasersko rezanje                    |
| L1                                 | 177,85x266 | 5 | 1 | Lasersko rezanje, potrebno savijati |
| <hr/>                              |            |   |   |                                     |
| Grijana komora L2 sklop - dijelovi |            |   |   |                                     |
| <hr/>                              |            |   |   |                                     |
| L2_dio_1                           | 105x90     | 5 | 1 | Lasersko rezanje                    |
| L2_dio_2                           | 105x90     | 5 | 1 | Lasersko rezanje                    |
| L2                                 | 182,85x266 | 5 | 1 | Lasersko rezanje, potrebno savijati |

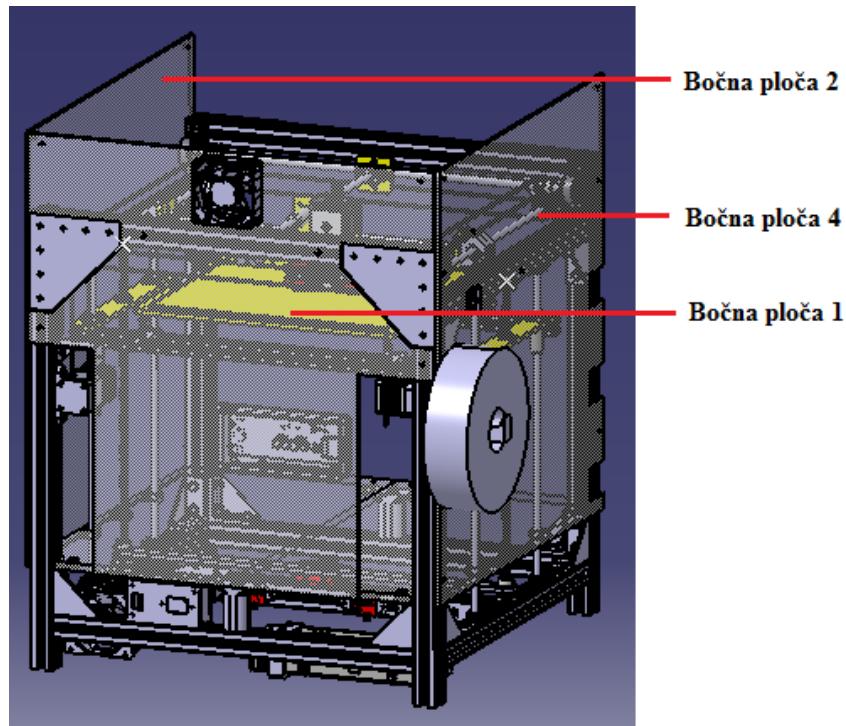
### 3.5.3.1 Podnožje



Slika 3.44. Podnožje grijane komore

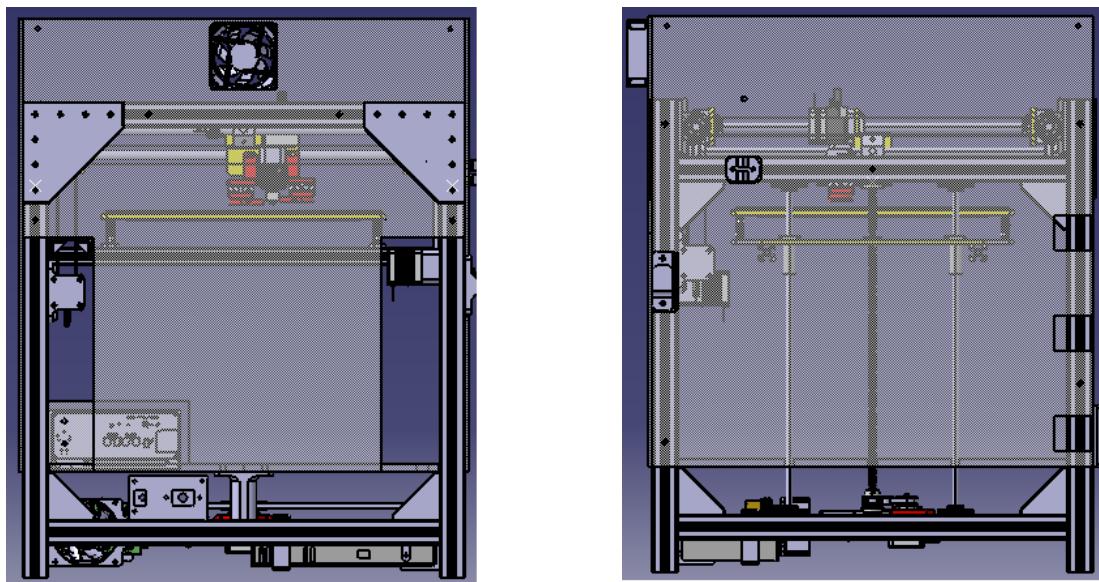
Podnožje grijane komore je debljine 10 mm, pošto je razmak između oslonaca velik, da ne dođe do progiba ploča. Podnožje čine dvije jednakе ploče koje su oslonjene na nosače te na kutnike koji spajaju okvir 3D tiskača. Razlog zbog čega su dvije ploče je veća fleksibilnost kod montiranja, pošto jednu cijelu ploču ne bi mogli stavili u položaj kakav je prikazan na Slika 3.44.

### 3.5.3.2 Bočne ploče 1, 2 i 4



Slika 3.45. Bočne ploče 1, 2 i 4

Konstrukcija bočne ploče 2 je najjednostavnija, u njoj treba samo napraviti provrte kroz kroz koje prolaze vijci kojima se pričvršćuje za okvir 3D tiskača.

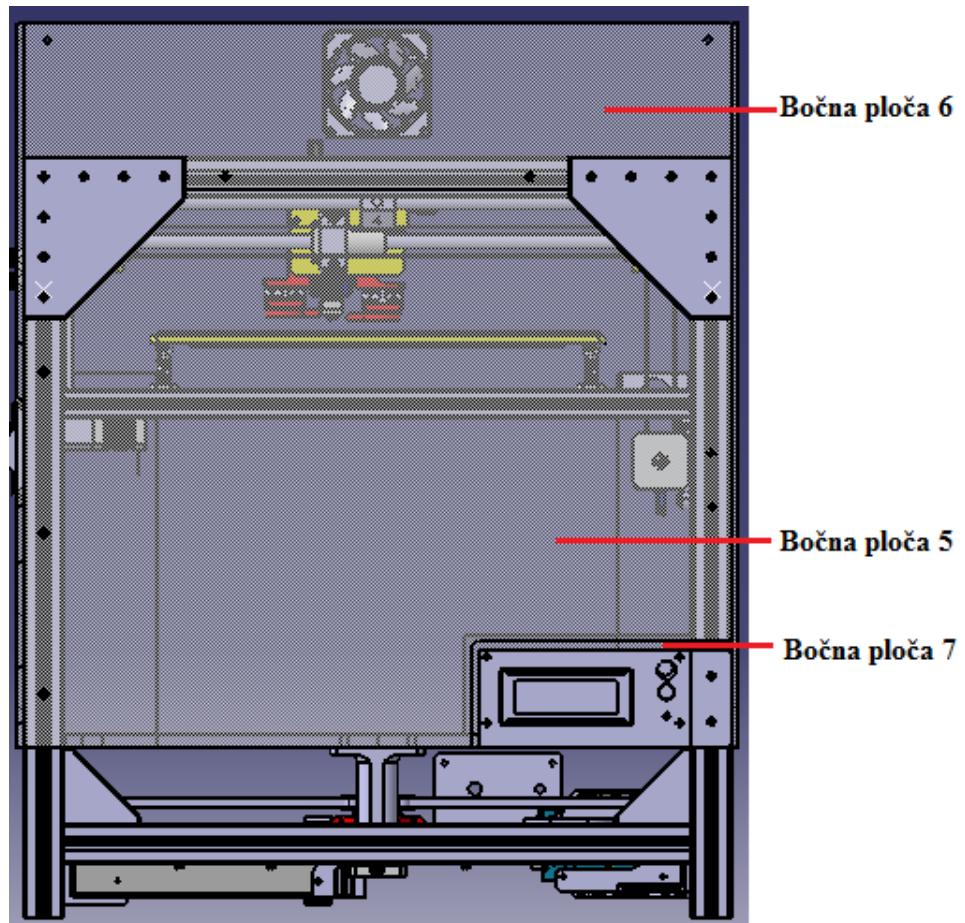


Slika 3.46. Bočna ploča 1 i 4

Bočna ploča 1 je dosta složena po konstrukciji, jer osim provrta gdje dolaze vijci za njezino pričvršćivanje na okvir 3D tiskača, treba konstruirati provrt gdje se montira ventilator 80x80 koji ima ulogu izvlačenja toplog zraka iz grijane komore (odnosno ulogu hlađenja zraka unutar grijane komore). Također treba čim točnije pratiti konturu vanjskih kutnika koji spajaju okvir 3D tiskača, odnosno treba biti minimalno zračnosti između ploče i kutnika kako se nebi gubila toplina iz komore. Sa svake strane ploče vidimo da je "izrezan" pravokutnik. Kako se koračni motori ne bi pregrijavali u grijanoj komori, vrlo je važno da iz izoliramo iz komore pa zbog toga na mjesto izrezanih pravokutnika u ploči dolaze drugi dijelovi koji će odvojiti motore od grijane komore.

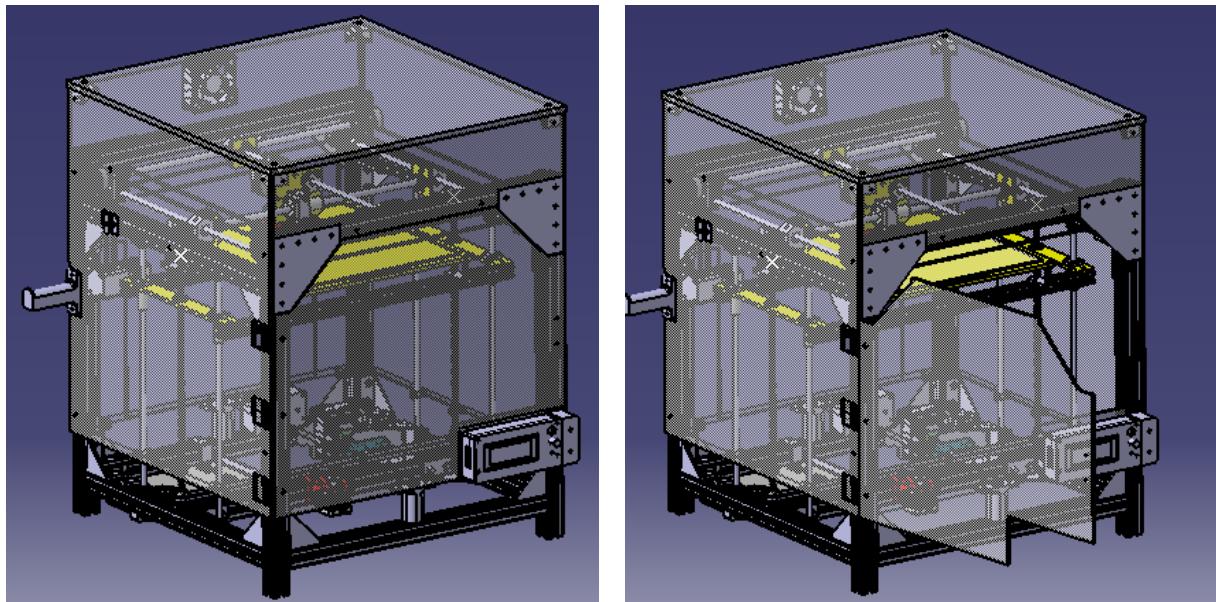
Bočna ploča 4 također nema samo provrte za vijke za pričvršćenje, nego ima i izrezane dijelove gdje dolaze nosač filimenta, vodilica filimenta te 3 spojnice za vrata grijane komore.

### 3.5.3.3 Bočne ploče 5,6 i 7



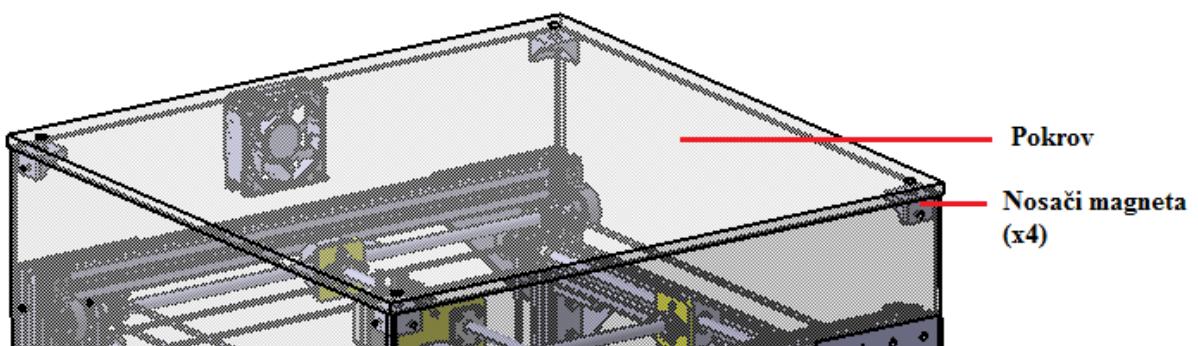
Slika 3.47. Bočne ploče 5, 6 i 7

Bočna ploča 5 su zapravo vrata grijane komore, a bočne ploče 6 i 7 su " pomočne ", ploče jednostavne konstrukcije koje imaju ulogu da zajedno sa zatvorenim vratima čine dobar spoj da se ne gubi toplina iz grijane komore.



**Slika 3.48. Zatvorena i otvorena " vrata " grijane komore**

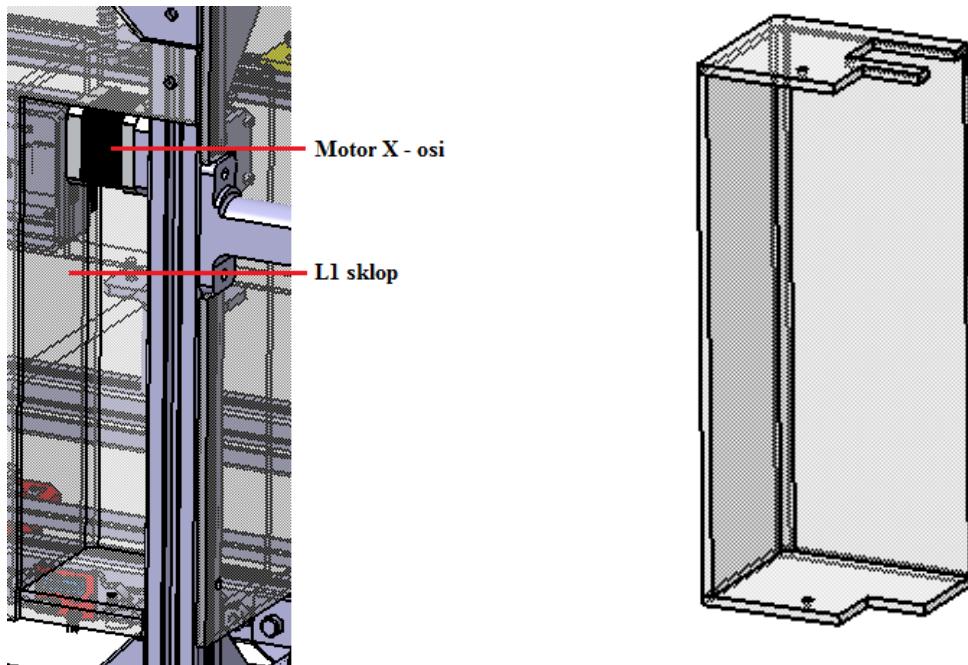
### 3.5.3.4 Pokrov



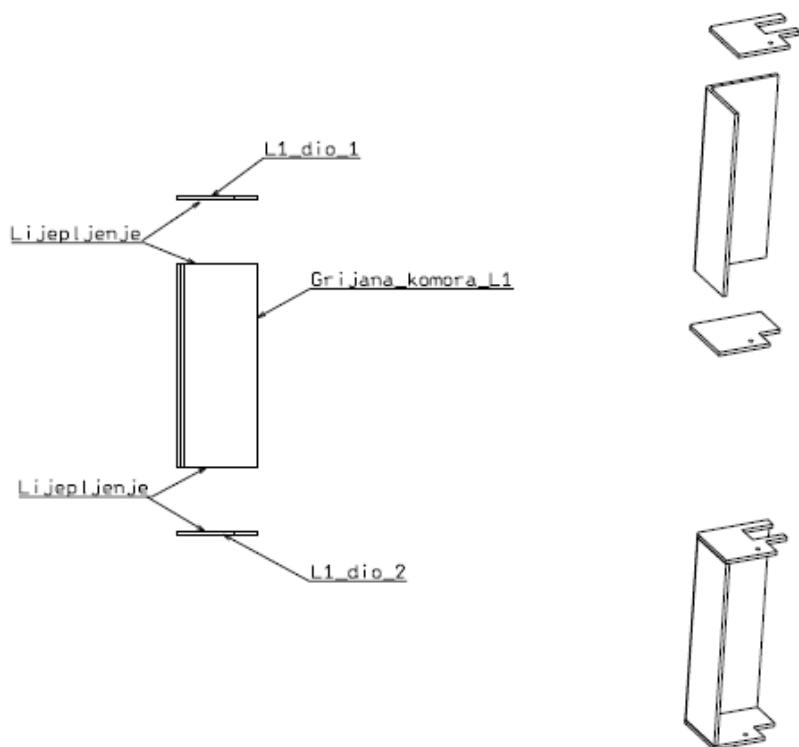
**Slika 3.49. Pokrov grijane komore**

Pokrov grijane komore je ploča debljine 10 mm, na kojoj se nalaze 4 provrta u koje dolaze magneti. Nosači magneta služe za međusobno povezivanje bočnih ploča, a također se i na njima nalaze magneti, orijentirani tako da su polovi suprotni od polova magneta koji se nalaze na pokrovu, te se na taj način ostvaruje spoj pokrova sa bočnim pločama grijane komore.

### 3.5.3.5 Sklop L1



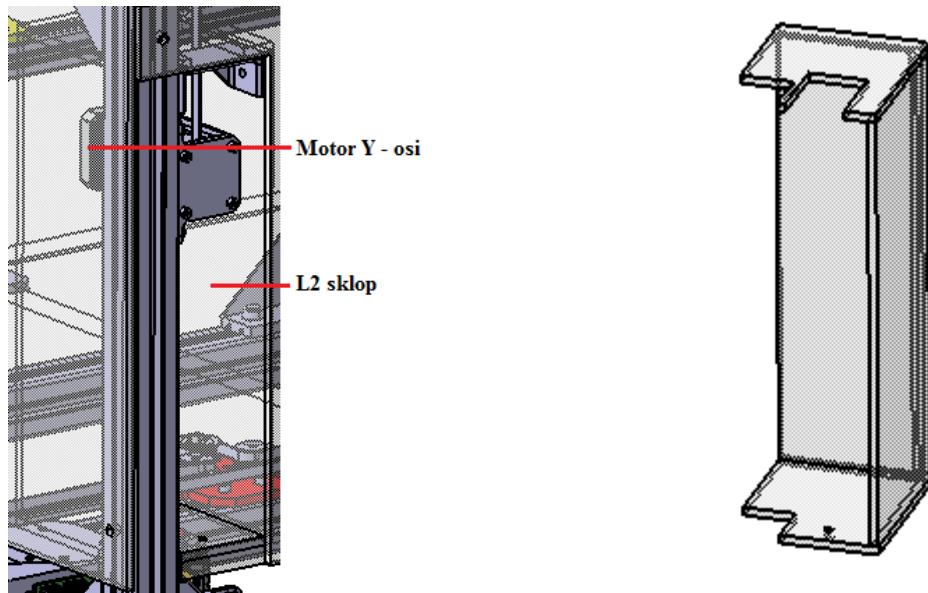
Slika 3.50. L1 sklop grijane komore



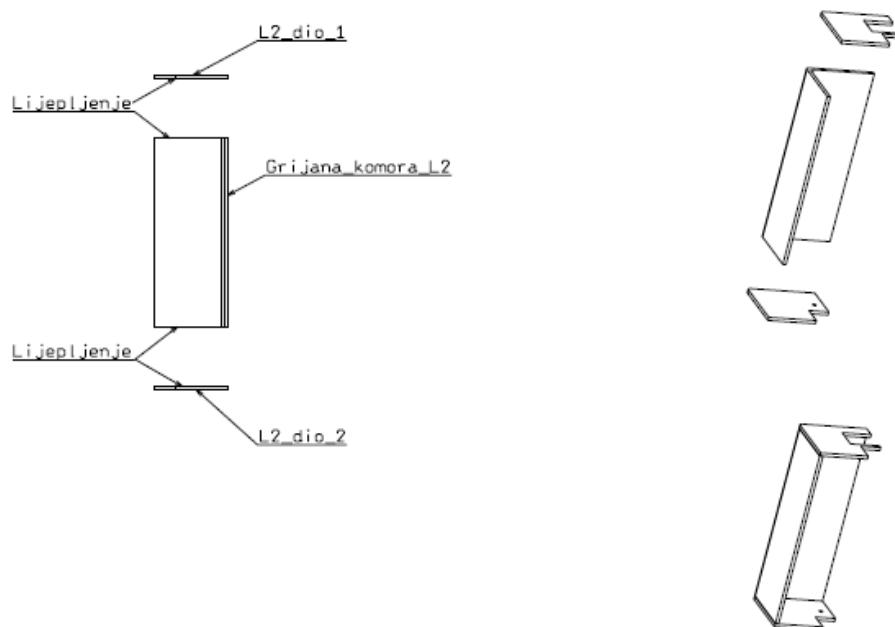
Slika 3.51. Način sastavljanja L1 sklopa

L1 sklop grijane komore ima funkciju da izolira motor X - osi od topline grijane komore. Sastoji se od 3 dijela koji su prvo laserski rezani, od kojih je jedan dio nakon toga savijen, a ostali dva su ljepljeni na njega. L2 sklop grijane komore ima funkciju da toplinski izolira motor Y - osi, a prikazan je u sljedećem poglavljju.

### 3.5.3.6 Sklop L2



Slika 3.52. L2 sklop grijane komore



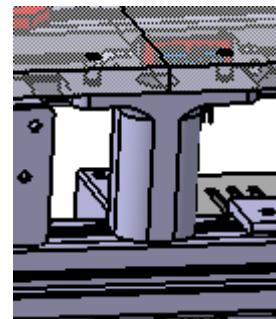
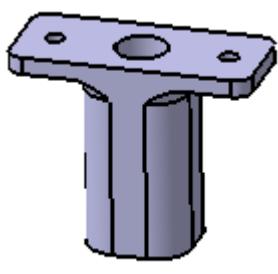
Slika 3.53. Način sastavljanja L2 sklopa

### 3.5.4 Nosači, držači i kutnici za grijanu komoru koji se izrađuju na 3D tiskaču

**Tablica 3.6. Popis nosača, držača i kutnika za grijanu komoru**

| Naziv                           | Dimenzije | Broj komada | Vrijeme 3D tiskanja<br>(min) |
|---------------------------------|-----------|-------------|------------------------------|
| GKP_nosač                       | 30x70x57  | 2           | 542                          |
| Grijana_komora_kutnik_1         | 34x34x30  | 3           | 321                          |
| Grijana_komora_kutnik_2         | 55x27x24  | 1           | 99                           |
| Držač_magneta                   | 30x30x20  | 4           | 288                          |
| Grijana_komora_kutnik_3         | 50x25x24  | 2           | 174                          |
| Nosač_grijača_GK                | 140x60x15 | 1           | 235                          |
| <hr/>                           |           |             |                              |
| Ukupno vrijeme tiskanja ( min ) |           |             | 1659                         |
| Ukupno vrijeme tiskanja ( h )   |           |             | 27.65                        |

#### 3.5.4.1 GKP nosač



**Slika 3.54. GKP nosač i njegova funkcija**

GKP nosač je dio koji služi kao oslonac podnožju grijane komore. Nosač na sebi ima tri provrta, od kojih dva služe za pritezanje jedne i druge podnožne ploče, a srednji provrt služi za pričvršćivanje nosača za okvir 3D tiskača. Bitno je da je iste visine kao kutnici koji spajaju okvir 3D tiskača jer podnožje naliježe na kutnike i taj nosač.

### 3.5.4.2 Držač magneta

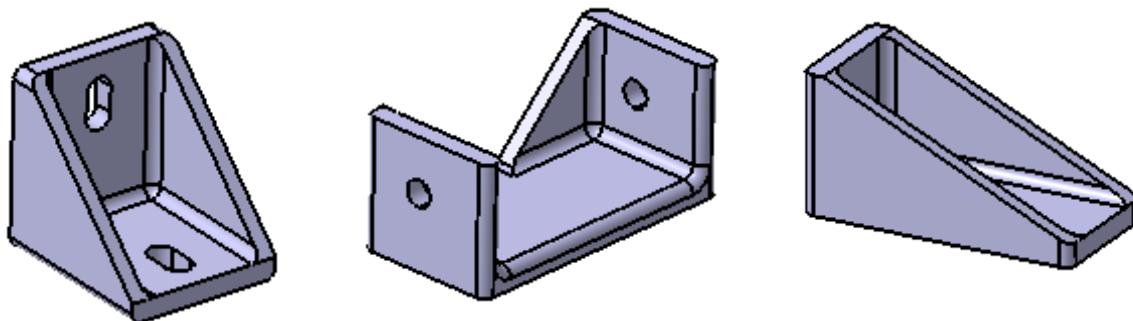


Slika 3.55. Držač magneta i njegova funkcija

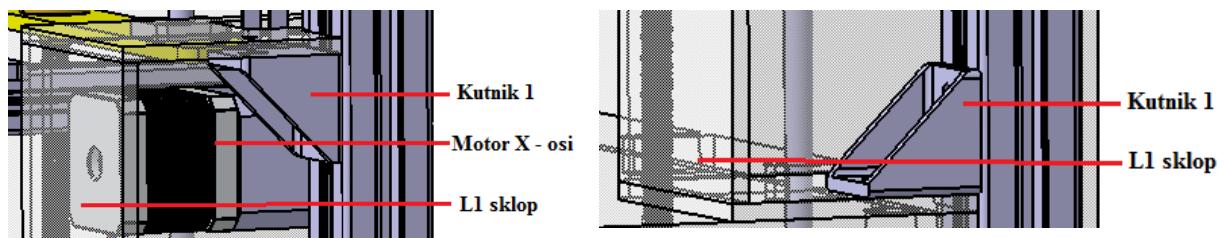
Držač magneta ima dvije uloge:

- povezuje bočne ploče grijane komore
- u njega je zaljepljen magnet koji služi za povezivanje pokrova grijane komore sa bočnim pločama grijane komore

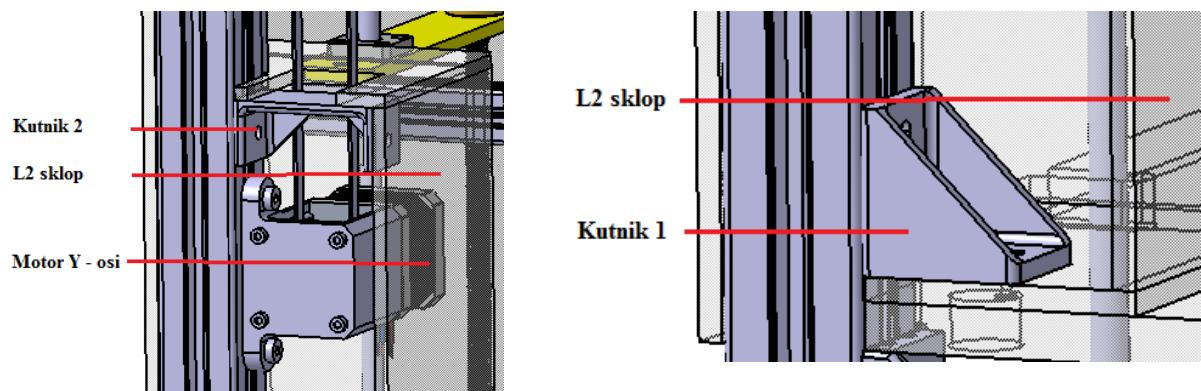
### 3.5.4.3 Kutnici 1, 2 i 3 grijane komore



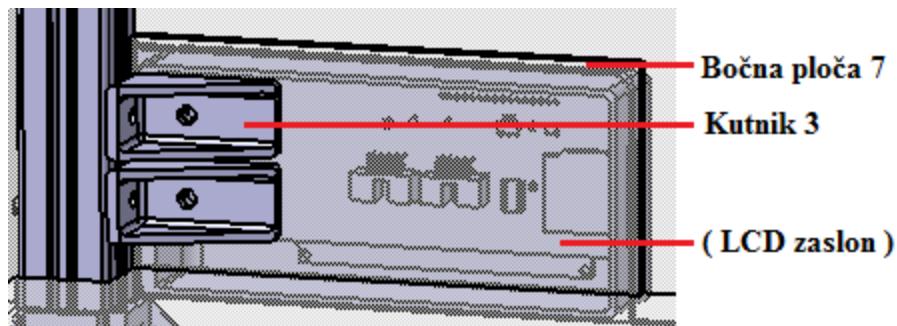
Slika 3.56. Grijana komora kutnik 1, 2 i 3



Slika 3.57. Fiksiranje L1 sklopa na okvir 3D tiskača



Slika 3.58. Fiksiranje L2 sklopa na okvir 3D tiskača

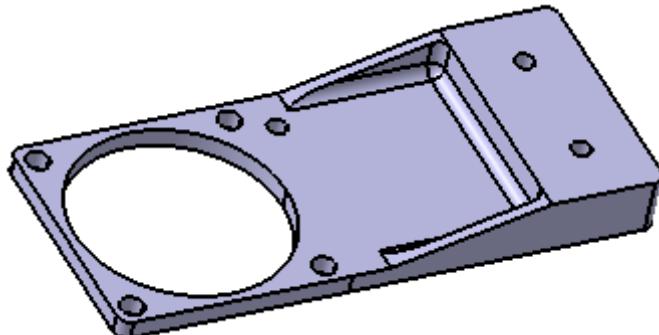


Slika 3.59. Fiksiranje ploče 7 grijane komore na okvir 3D tiskača

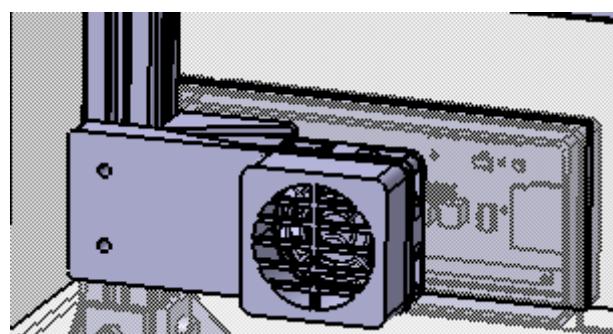
Na Slika 3.57., Slika 3.58. i Slika 3.59. se vide funkcije kutnika 1, 2 i 3. Oni služe da se određeni dijelovi grijane komore fiksiraju na okvir 3D tiskača.

Ovim poglavljem opisani su svi elementi potrebni za sastavljanje 3D tiskača te je sljedeći korak fizičko spajanje svih dijelova u funkcionalan stroj, 3D tiskač sa grijanom komorom.

### 3.5.4.4 Nosač grijajuća grijane komore



**Slika 3.60.** Nosač grijajuća grijane komore



**Slika 3.61.** Funkcija nosača grijajuća grijane komore

Funkcija nosača grijajuća je da pričvrsti grijajući grijajuću komoru na okvir 3D tiskača.

U poglavljima 3.5.3. i 3.5.4. opisani su svi konstruirani dijelovi koji su nam potrebni za izradu grijajuće komore 3D tiskača. Pleksiglas ploče izrađuju se laserskim rezanjem, a nosači, kutnici i držači izrađuju se na 3D tiskaču bez grijajuće komore. Pošto su svi konstruirani nosači, kutnici i držači izloženi temperaturama do oko  $65^{\circ}\text{C}$ , materijal 3D tiskanja treba biti ABS. Ranije opisane dijelove moguće je izraditi iz ABS - a na 3D tiskaču bez grijajuće komore pošto nisu velikih gabaritnih mjera, pa neće doći do raslojavanja zbog naprezanja uslijed hlađenja i skupljanja materijala.

Od dijelova konstruiranih i opisanih u poglavljima 3.5.2.1. i 3.5.2.2., iz ABS - a je potrebno izraditi nosače motora X, Y i Z osi pošto su oni u izravnom dodiru sa koračnim motorima kojima je normalna radna temperatura do  $60^{\circ}\text{C}$ . Također iz ABS - a je potrebno izraditi prirubnicu LMK10LUU ležaja, držač endstopa 1, držač endstopa 2, ventilator 30x30

dodatak, ventilator 30x30 držač, ventilator 30x30 dodatak zrcaljeno i ventilator 30x30 držač zrcaljeno pošto se ti dijelovi nalaze unutar grijane komore.

Sve ostale konstruirane i opisane dijelove moguće je izraditi od PLA ili PETG - a jer nisu izloženi povišenim temperaturama nego temperaturi okoline u kojoj se 3D tiskač nalazi.

## 4 Sklapanje tiskača

Kako bi se svi dijelovi međusobno spojili, potrebni su vijci. Za izradu 3D tiskača sa grijanom komorom, odabrani su imbus vijci zbog mogućnosti pritezanja vijaka na mjestima koja su teško dostupna te mogućnosti "kontrole" momenta pritezanja. U sljedećim tablicama prikazani su vijci koji se koriste za spajanje svih dijelova u funkcionalan stroj, te nabrojani dijelovi koje određeni vijci spajaju.

**Tablica 4.1. Imbus vijci, matice i T matice koje nam trebaju za spajanje svih dijelova**

| Imbus vijak | Količina | Matrice | Količina | T matice  | Količina |
|-------------|----------|---------|----------|-----------|----------|
| M3X8        | 8        | M3      | 70       | M4 slot 6 | 10       |
| M3X10       | 20       | M4      | 25       | M4 slot 8 | 18       |
| M3X12       | 24       | M5      | 8        | M5 slot 8 | 70       |
| M3X25       | 8        | M6      | 6        | M6 slot 8 | 36       |
| M3X30       | 2        |         |          |           |          |
| M3X40       | 3        |         |          |           |          |
| M3X45       | 4        |         |          |           |          |
| M3X50       | 8        |         |          |           |          |
| M4X8        | 3        |         |          |           |          |
| M4X10       | 33       |         |          |           |          |
| M4X12       | 13       |         |          |           |          |
| M4X16       | 5        |         |          |           |          |
| M4X30       | 4        |         |          |           |          |
| M4X35       | 4        |         |          |           |          |
| M4X40       | 4        |         |          |           |          |
| M5X10       | 41       |         |          |           |          |
| M5X12       | 16       |         |          |           |          |
| M5X16       | 15       |         |          |           |          |
| M5X30       | 2        |         |          |           |          |
| M5X40       | 2        |         |          |           |          |
| M5X50       | 2        |         |          |           |          |
| M6X12       | 20       |         |          |           |          |
| M6X20       | 16       |         |          |           |          |

**Tablica 4.2. Popis dijelova koje određeni vijci spajaju**

| <b>Imbus<br/>vijak<br/>upuštena<br/>glava</b> | <b>Komada</b> | <b>Komada<br/>matica</b> | <b>Spajanje</b>                                 | <b>T-matice</b> |
|---|---------------|--------------------------|---|-----------------|
| M3x12   | 10            | 10                       | Al ploča-držač stakla                           | 0               |
| M5X12   | 10            | 0                        | Prirubnica xy-AGC-10C                           | 0               |
| M6X10   | 6             | 6                        | GK bočna 5-nosači vrata GK                      | 0               |
|   |               |                          |   |                 |
| <b>Imbus<br/>vijak</b>                        |               |                          |   |                 |
| M3X8  | 8             | 8                        | Mosfet modul-nosač modula                       | 0               |
| M3X10   | 3             | 3                        | Arduino-nosač Arduina                           | 0               |
| M3x10   | 4             | 4                        | Endstop-nosač endstopa                          | 0               |
| M3X10   | 5             | 0                        | Motor Z-nosač motora Z                          | 0               |
| M3X10   | 8             | 0                        | Prirubnica Heatedbeda-T8 matica                 | 0               |
| M3X12   | 4             | 4                        | Držač ventilatora-prirubnica ekstrudera         | 0               |
| M3X12   | 20            | 20                       | Prirubnica Heatedbeda-LMK8LUU                   | 0               |
| M3X25   | 8             | 8                        | Ventilator sklop                                | 0               |
| M3X30   | 2             | 2                        | SSR nosač-SSR                                   | 0               |
| M3X40   | 3             | 3                        | Kućište kabela sklop                            | 0               |
| M3X45   | 4             | 0                        | Prirubnica ekstrudera-ekstruder motor           | 0               |
| M3X50   | 8             | 8                        | Motor X,Y-nosač motora                          | 0               |
| M4x8  | 3             | 0                        | Napajanje-nosači napajanja                      | 0               |
| M4x10   | 2             | 0                        | Ventilator 80x80 sklop-okvir                    | 2               |
| M4X10   | 3             | 0                        | Nosač endstopa-okvir                            | 3               |
| M4X10   | 8             | 8                        | Držač magneta-pleksi                            | 0               |
| M4X10   | 10            | 0                        | Profil 20x20-prirubnica heatedbeda-nosac opruge | 10, slot6       |
| M4X10   | 10            | 0                        | Prirubnica xy-SHF10                             | 0               |
| M4X12   | 8             | 0                        | KFL08-okvir                                     | 8               |
| M4x12   | 5             | 0                        | Motor Z-okvir                                   | 5               |
| M4X16   | 5             | 5                        | Prirubnica ekstrudera-LMK10LUU                  | 0               |
| M4x30   | 4             | 4                        | Držač LMK10LUU-LMK10LUU                         | 0               |
| M4X35   | 4             | 4                        | Ventilator 80x80-GK bočna ploča 1               | 0               |
| M4X40   | 4             | 4                        | Ventilator 80x80 sklop                          | 0               |
| M5X10   | 3             | 0                        | Napajanje nosači-okvir                          | 3               |
| M5X10   | 2             | 0                        | Arduino nosač-okvir                             | 2               |
| M5X10   | 2             | 0                        | SSR nosač-okvir                                 | 2               |
| M5X10   | 2             | 0                        | GKP nosač-okvir                                 | 2               |
| M5X10   | 6             | 0                        | Kutnici grijane komore-okvir                    | 6               |
| M5x10   | 6             | 6                        | Kutnici grijane komore-pleksi                   | 0               |
| M5X10   | 20            | 0                        | Pleksi-okvir                                    | 20              |
| M5X12   | 16            | 0                        | SHF8-okvir                                      | 16              |

|       |    |   |                                      |    |
|-------|----|---|--------------------------------------|----|
| M5X16 | 5  | 0 | Nosač motora X,Y-okvir               | 5  |
| M5X16 | 2  | 0 | Nosač filamenta-okvir                | 2  |
| M5X16 | 8  | 0 | Nosač mosfeta-okvir                  | 8  |
| M5X30 | 2  | 0 | Vodilica filamenta-okvir             | 2  |
| M5X40 | 2  | 2 | Držač LMK10LUU-prirubnica ekstrudera | 0  |
| M5X50 | 2  | 0 | LCD_nosač-okvir                      | 2  |
| M6X12 | 20 | 0 | Vanjski kutnici-okvir                | 20 |
| M6X20 | 16 | 0 | KP000-okvir                          | 16 |



Slika 4.1. Standardni dijelovi 1/2



Slika 4.2. Standardni dijelovi 2/2



Slika 4.3. Izrađene prirubnice



**Slika 4.4. Izradene ploče za grijanu komoru**

Spajanje svih dijelova u funkcionalnu cjelinu podijeljeno je na nekoliko podkoraka:

- sastavljanje okvira 3D tiskača
- sastavljanje vodilica X i Y osi
- sastavljanje navojnog vretena i vodilica Z osi
- spajanje grijane platforme i ekstrudera sa okvirom
- spajanje upravljačkog sustava
- sastavljanje grijane komore

#### 4.1 Okvir 3D tiskača



**Slika 4.5. Okvir 3D tiskača sa grijanom komorom**

Slaganje okvira je prvi i najvažniji korak izrade 3D tiskača. Na okvir se kasnije vežu svi ostali elementi, stoga je vrlo važno da aluminijski profili međusobno budu okomit i paralelni.

Prvi korak da se osigura okomitost i paralelnost je način izrade (rezanja) aluminijskih profila. Svi aluminijski profili su rezani na CNC stroju, čime se osigurava velika dimenzijska točnost. Drugi korak su veći kutnici koji svojim oblikom osiguravaju okomitost. Treći korak je vještina osobe koja spaja kutnike i profile u jednu cjelinu.

## 4.2 Vodilice X i Y osi

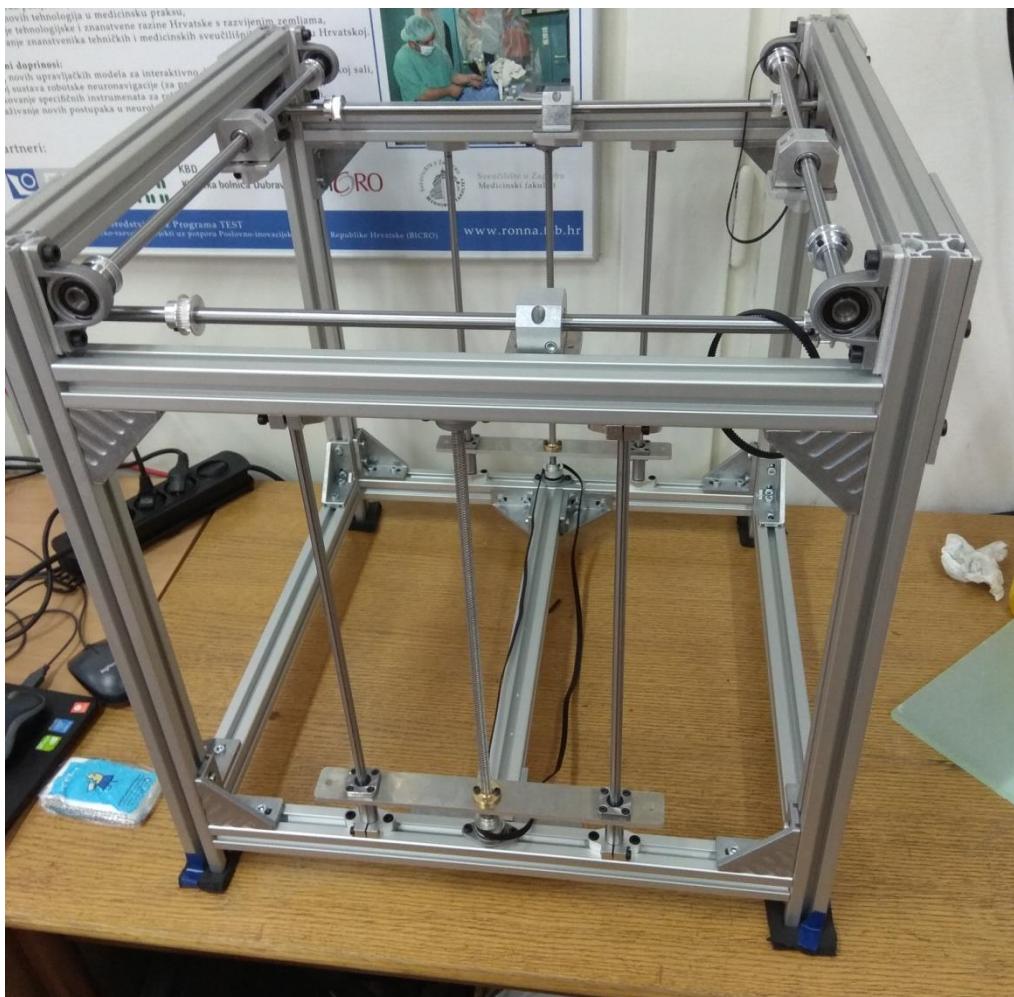


Slika 4.6. Vodilice X i Y osi

Kod sastavljanja vodilica X i Y osi potrebno je osigurati da se vodilice X osi nalaze 30 mm više nego vodilice Y osi. To se osigurava samom konstrukcijom okvira 3D tiskača.

Također je potrebno na određene vodilice staviti "closed - loop" remene prije montiranja na okvir.

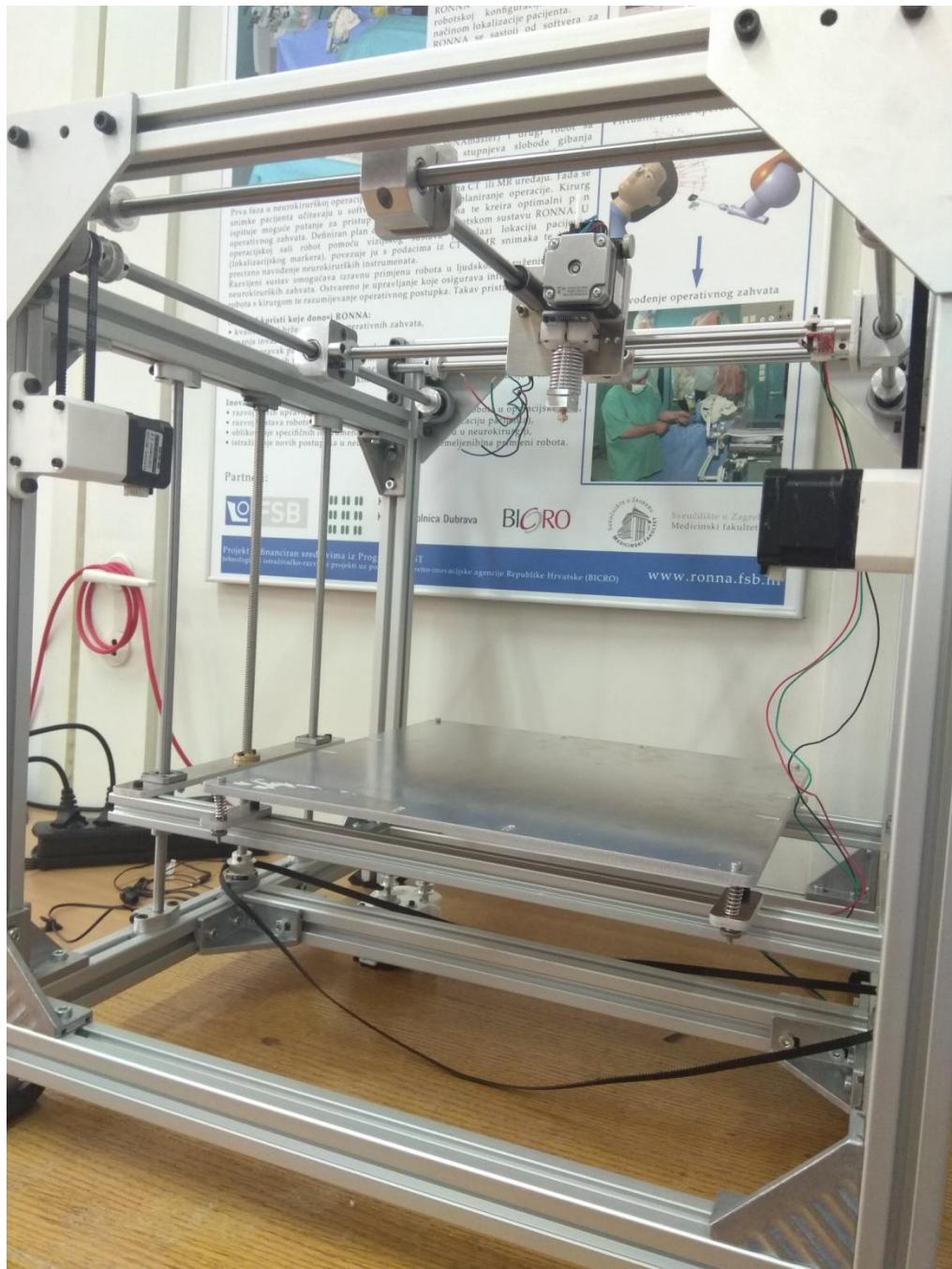
### 4.3 Navojno vreteno i vodilica Z osi



Slika 4.7. Navojno vreteno i vodilice Z osi

Kod spajanja navojnog vretena i vodilica Z osi sa okvirom 3D tiskača, bitno je osigurati da su vodilice na donjem i gornjem kraju jednakoraznake. To se postiže tako da se prvo pričvrste sa donje strane kada se prirubnica grijane podloge nalazi kao na Slika 4.7., a zatim se prirubnica grijane podloge maksimalno podigne te se vodilice tada pričvrste i na gornjem kraju.

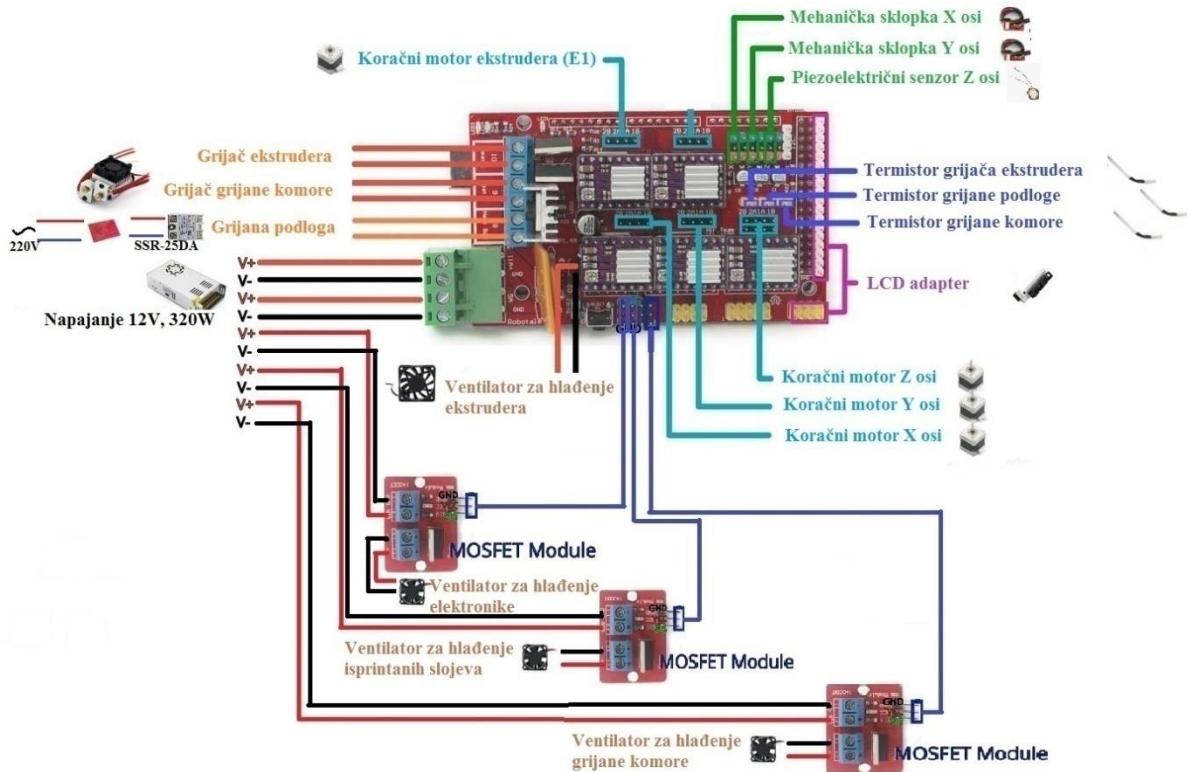
#### 4.4 Grijana platforma i ekstruder sa okvirom



**Slika 4.8. Grijana platforma i ekstruder sa okvirom**

Nakon ovog koraka izrade 3D tiskača, svi mehanički dijelovi su spojeni te je potrebno spojiti upravljački sustav 3D tiskača.

## 4.5 Upravljački sustav



Slika 4.9. Shema spajanja upravljačkog sustava 3D tiskača sa grijanom komorom

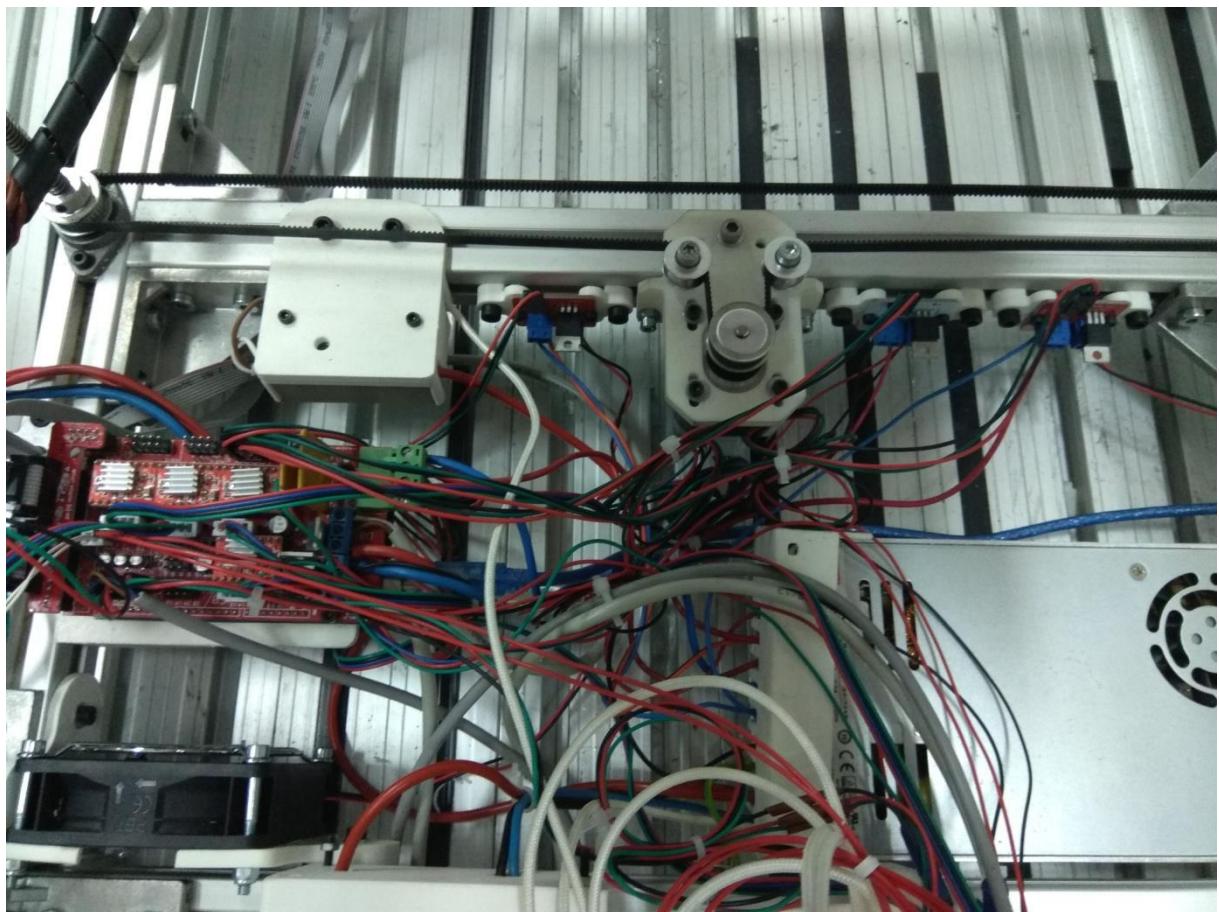
Spajanje svih elemenata je jednako spajaju elemenata 3D tiskača sa dva ekstrudera bez grijane komore. Pošto se u firmware-u, odnosno programu koji upravlja cijelokupnim radom 3D tiskača već nalazi program za ekstrudiranje pomoću dva ekstrudera, poslužit ćemo se pinovima koji su definirani na pločici Ramps 1.4., a koja dolazi na Arduino Mega 2560. Na isto mjesto gdje se spaja grijajući drugog ekstrudera spojen je grijajući grijane komore, a na mjesto gdje se spaja senzor temperature drugog ekstrudera spaja se senzor temperature grijane komore. Takvim načinom spajanja grijajuća i senzora temperature, u početnom programu potrebno je samo definirati temperaturu na koju će biti zagrijana grijana komora (firmware misli da će na tu temperaturu biti zagrijan grijajući drugog ekstrudera).

Uz standardne elemente koje koristi svaki 3D tiskač koji spada u FDM tehnologiju, koriste se i tri MOSFET modula. To su moduli pomoći kojih se može softverski upravljati sa

pokretanjem, regulacijom i gašenjem određene elektroničke komponente, u našem slučaju mi upravljamo sa raznim ventilatorima.

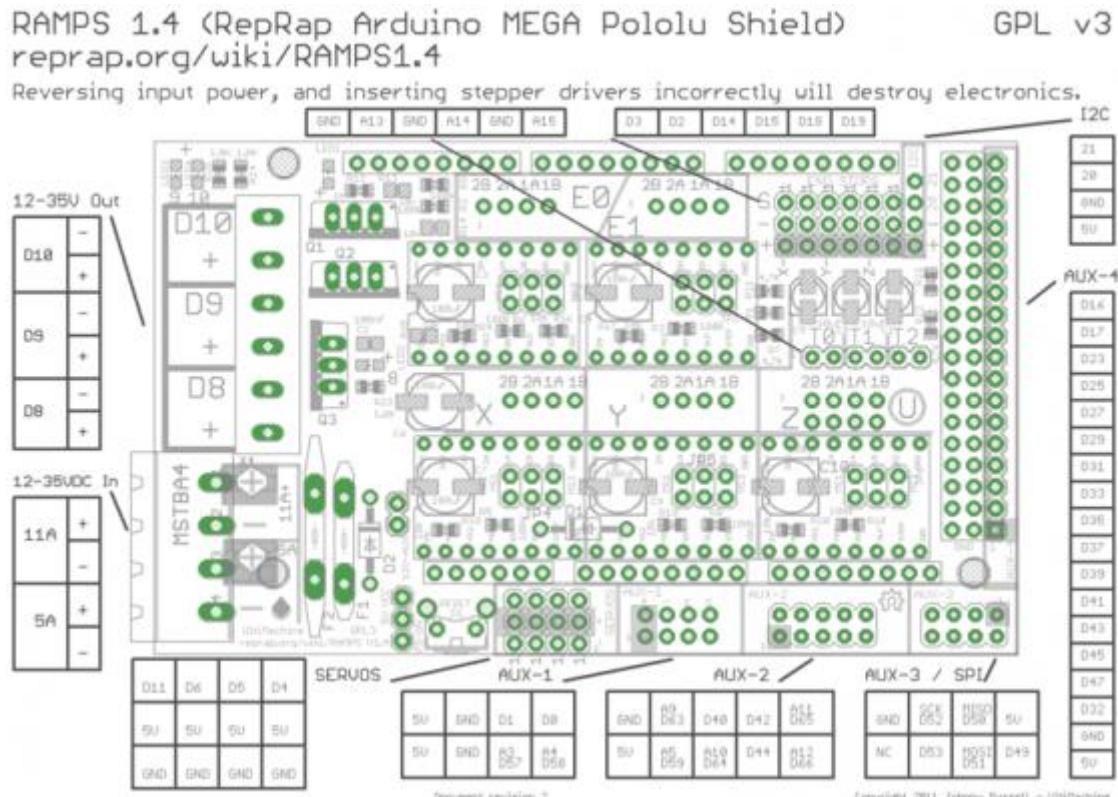
3D tiskač sa grijanom komorom koristi četiri različita ventilatora, od kojih samo ventilatorom koji hladi grijač ekstrudera ne treba upravljati ( može biti spojen direktno na 12V ).

Ventilatori koji se programski upravljaju su ventilator za hlađenje elektronike, koji se pokreće samo kada se pokrene neki od koračnih motora, jer onda strujnim krugom prolazi struja od oko 1.5 A pa se elektroničke komponente počinju grijati. Nakon što svi koračni motori prestanu raditi, ventilator se gasi. Drugi ventilator čijim se radom upravlja je ventilator koji hladi isprintane slojeve. On se pokreće kada je prvih nekoliko slojeva isprintano, a gasi se kada je 3D tiskanje završeno. Treći ventilator koji se programski upravlja je ventilator koji se pokrene ako je temperatura u grijanoj komori veća nego je to dopušteno, isisava vrući zrak iz grijane komore te ju na taj način hladi. Gasi se kada se temperatura nalazi u dopuštenim granicama.



Slika 4.10. Upravljanje 3D tiskača sa grijanom komorom

Na Slika 4.10. vidi se upravljački sustav 3D tiskača sa grijanom komorom ( Arduino Mega 2560 na kojem se nalazi shield Ramps 1.4., a na Ramps - u se nalaze upravljači koračnim motorima A4988 ), Solid State Relay koji je upravljan od strane Arduina, a uključuje/isključuje grijač grijane platforme, napajanje, ventilator za hlađenje elektronike te tri mosfet modula koja uključuju/isključuju određene ventilatore. Kako bi firmware koji će biti opisan u poglavljju 5 bio funkcionalan, mosfet module treba spojiti na odgovarajući način.



Slika 4.11. Raspored pinova na shieldu Ramps 1.4. [11].

Mosfet modul koji upravlja ventilatorom za hlađenje elektronike potrebno je spojiti na pin D4, mosfet modul koji upravlja ventilatorima za hlađenje isprintanih slojeva potrebno je spojiti na pin D6, a mosfet modul koji upravlja ventilatorom za hlađenje grijane komore potrebno je spojiti na pin D11.

Mosfet module je moguće spojiti i na drugačiji način, ali raspored pinova treba promijeniti u firmware-u.

Ventilatori za hlađenje isprintanih slojeva i ventilator za hlađenje grijane komore imaju zapravo ulogu kakvu im i naziv govori, međutim ventilator za hlađenje elektronike zapravo

služi za hlađenje upravljača koračnim motorima A4988, pošto oni propuštaju struju jakosti oko 1.5 A prema koračnim motorima.



**Slika 4.12. Upravljač koračnim motorima A4988**

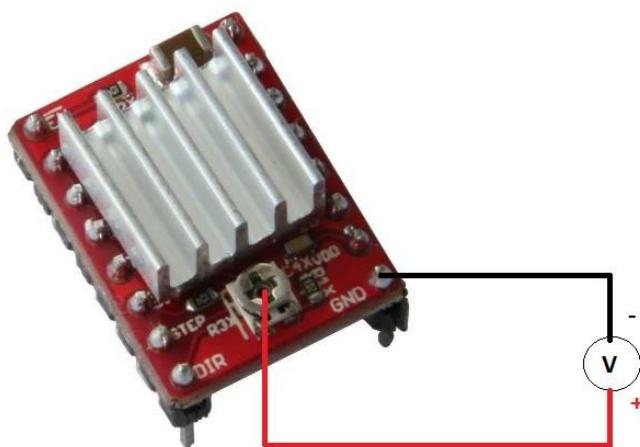
Upravljač zapravo šalje koračnom motoru signal za koliko se treba zakrenuti i u kojem trenutku.

Upravljač sa Slika 4.12. može upravljati bipolarnim koračnim motorom u 5 različitih rezolucija koraka. Kako je korak koračnih motora koji se koriste u diplomskom radu  $1.8^\circ$ , u sljedećoj tablici prikazani su koraci koji se mogu postići sa prikazanim upravljačem. Svi koraci manji od cijelog koraka ( $1.8^\circ$ ) nazivaju se mikrokoraci.

**Tablica 4.3. Mikrokoraci koji se mogu postići upravljačem A4988 u odnosu na određena logička stanja pinova**

| Veličina koraka | Zakret koračnog motora | Pin za mikrokorak MS1 | Pin za mikrokorak MS2 | Pin za mikrokorak MS3 |
|-----------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Cijeli korak    | $1.8^\circ$            | 0                     | 0                     | 0                     |
| 1/2 koraka      | $0.9^\circ$            | 1                     | 0                     | 0                     |
| 1/4 koraka      | $0.45^\circ$           | 0                     | 1                     | 0                     |
| 1/8 koraka      | $0.225^\circ$          | 1                     | 1                     | 0                     |
| 1/16 koraka     | $0.1125^\circ$         | 1                     | 1                     | 1                     |

Upravljač A4988 također sadrži potenciometar kojim se može regulirati maksimalna jačina struje koja se daje koračnom motoru, odnosno može se regulirati snaga koračnog motora. Na sljedećoj slici nalazi se shema mjerjenja napona na upravljaču koračnih motora.



**Slika 4.13.** Način mjerjenja napona na upravljaču A4988

Okretanjem potenciometra smanjujemo, odnosno povećavamo ulazni napon a time i proporcionalno jakost struje. Što je napon odnosno struja veća, to je i snaga motora veća ( stvara se veći okretni moment magnetskog polja ) ali se i motor te upravljač više zagrijavaju te je kod velikih napona potrebno osigurati dodatno hlađenje ( ventilatorom za hlađenje elektronike ).

Za 3D tiskač sa grijanom komorom, na upravljačima A4988 narinuti su sljedeći naponi:

**Tablica 4.4.** Naponi na upravljačima koračnih motora A4988

| Upravljač A4988 za: | Napon ( mV ) |
|---------------------|--------------|
| X - os              | 900          |
| Y - os              | 900          |
| Z - os              | 900          |
| E                   | 700          |

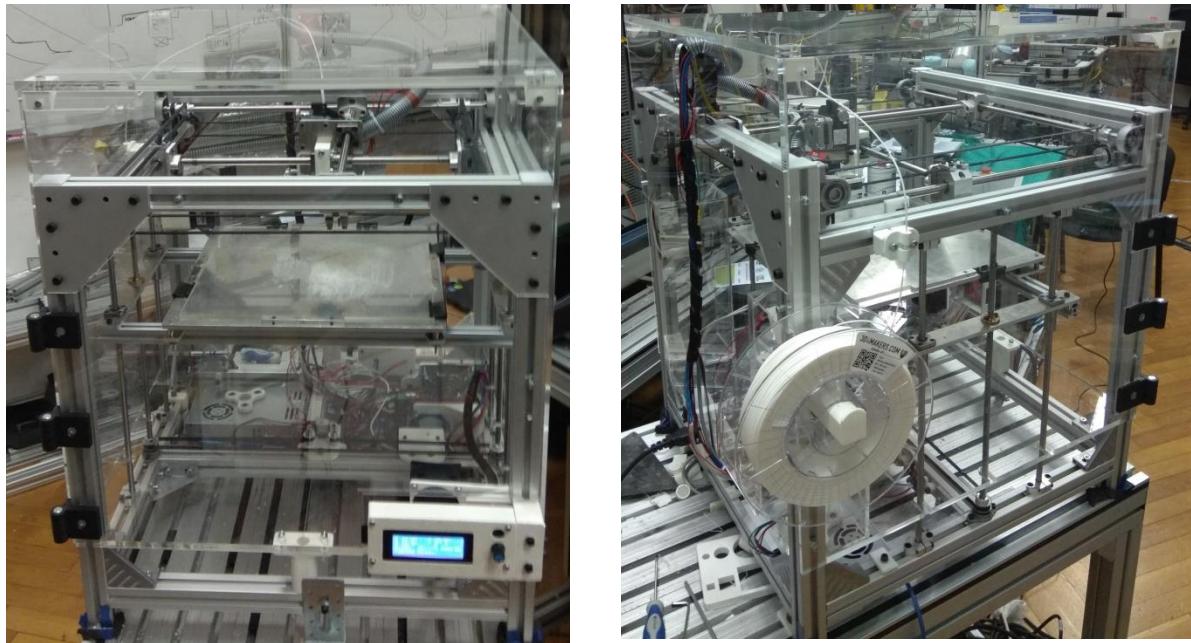
Na temelju napona na upravljačima, preko jednostavnih formula mogu se izračunati struje koje se propuštaju prema određenom koračnom motoru [13]:

$$I_{MAX} = \frac{V_{Ref}}{8 \cdot R_{CS}} \quad (1)$$

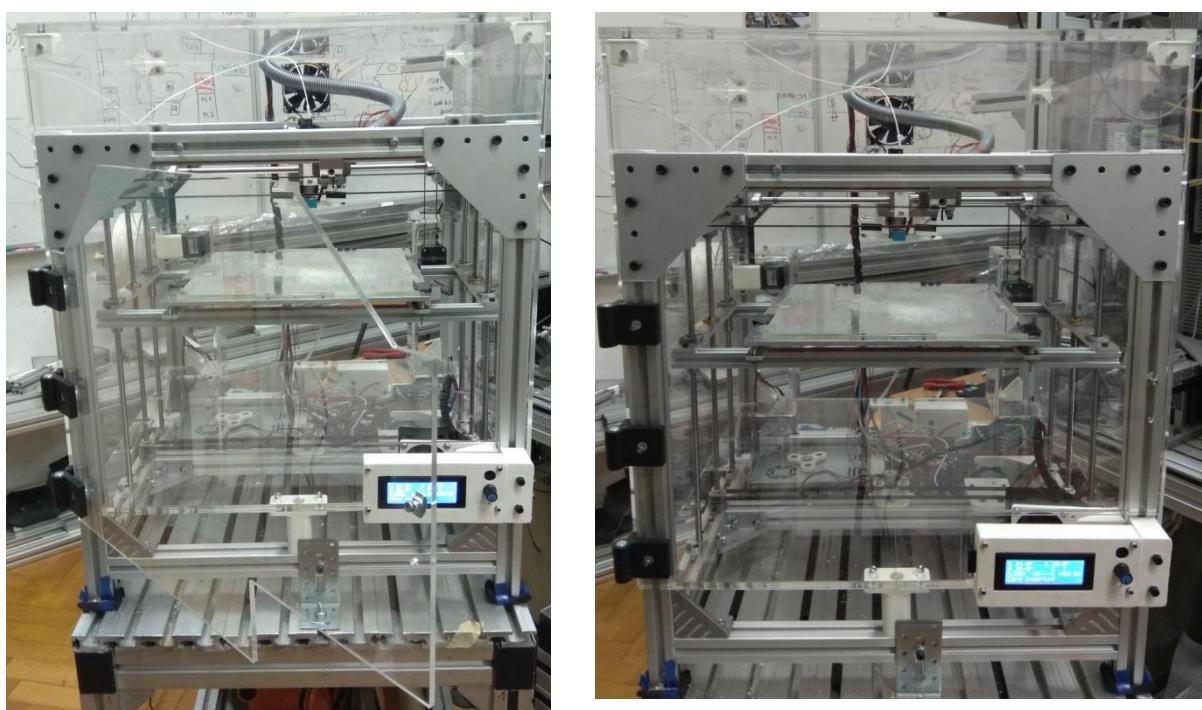
$$R_{CS} = 0.068 \Omega \quad [13]$$

$$I_{MAX} = \frac{0.9}{8 \cdot 0.068} = 1.65 \text{ A ( za X, Y i Z os )}$$

#### 4.6 Grijana komora



Slika 4.14. 3D tiskač sa grijanom komorom



Slika 4.15. Otvorena i zatvorena vrata grijane komore



Slika 4.16. Postignuta temperatura u grijanoj komori

Na Slika 4.16. prikazane su temperature određenih grijajućih i temperatura u grijanoj komori 3D tiskača. Prva temperatura, odnosno  $190\text{ }^{\circ}\text{C}$  odnosi se na temretaturu grijajućeg ekstrudera, druga temperatura, odnosno  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  odnosi se na temperaturu u grijanoj komori, a treća temperatura, odnosno  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  odnosi se na temperaturu grijane platforme.

Da bi se postigla temperatura u grijanoj komori od  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  potrebno je otprilike 15 minuta.

## 5 Upravljanje

### 5.1 Ugrađeni upravljački program ( *engl. firmware* )

U radu se koristi standardni softver otvorenog koda, Marlin, koji je potrebno prebaciti na matičnu ploču nekog stroja te nakon toga upravlja sa svim aktivnostima toga stroja u stvarnom vremenu. Kod 3D tiskača koordinira grijanje, koračne motore, senzore, LCD prikaz te sve ostalo što je potrebno za 3D tiskanje. Marlin podržava proces proizvodnje taložnim očvršćivanjem. [11]

Upravljački program koji upravlja sa Marlinom je G - kod. Naredbe G - koda govore stroju da izvrši jednostavne radnje kao zagrijavanje grijajućeg elementa na određenu temperaturu, pokrenuti neki od koračnih motora određenom brzinom vrtnje itd. Kako bi se omogućila izrada neke tvorevine, CAD model treba biti konvertiran u G - kod naredbe koristeći neki od brojnih programa koji se nazivaju " slicer ". Ti programi " režu " CAD model na slojeve, generirajući pritom G - kod naredbe koje Marlin implementira te upravlja sa radom 3D tiskača. [11]

Marlin firmware je potrebno skinuti sa službene web stranice [15]. te nakon toga podešiti određene parametre za svaki 3D tiskač zasebno. U sljedećem poglavlju biti će prikazane postavke Marlin firmware - a za 3D tiskač FSB300.

### 5.2 Postavke ugrađenog programa za 3D tiskač sa grijanjem komorom FSB300

Na sljedećim slikama usporedno će se prikazivati verzija Marlina sa početnim postavkama te verzija Marlina koji koristi FSB300 tiskač. Način izračuna pojedinih koeficijenata ili brojeva koji nisu standardni za sve 3D tiskače prikazan je u poglavlju 5.3.

Ukoliko netko prvi puta koristi Marlin, a želi promjeniti program u Marlinu, savjet je da dobro prouči web stranicu [16].

## 5.2.1 Datoteka Configuration.h

```
// @section info

// User-specified version info of this build to display in [Pronterface, etc] terminal window during
// startup. Implementation of an idea by Prof Braino to inform user that any changes made to this
// build by the user have been successfully uploaded into firmware.
#define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "(none, default config)" // Who made the changes.
#define SHOW_BOOTSCREEN
#define STRING_SPLASH_LINE1 SHORT_BUILD_VERSION // will be shown during bootup in line 1
#define STRING_SPLASH_LINE2 WEBSITE_URL // will be shown during bootup in line 2

// @section info

// User-specified version info of this build to display in [Pronterface, etc] terminal window during
// startup. Implementation of an idea by Prof Braino to inform user that any changes made to this
// build by the user have been successfully uploaded into firmware.
#define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "(Klasic Mario)" // Who made the changes.
#define SHOW_BOOTSCREEN
#define STRING_SPLASH_LINE1 SHORT_BUILD_VERSION // will be shown during bootup in line 1
#define STRING_SPLASH_LINE2 WEBSITE_URL // will be shown during bootup in line 2
```

**Slika 5.1. Marlin postavke 1**

```
// The following define selects which electronics board you have.
// Please choose the name from boards.h that matches your setup
#ifndef MOTHERBOARD
#define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
#endif

// The following define selects which electronics board you have.
// Please choose the name from boards.h that matches your setup
#ifndef MOTHERBOARD
#define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EEB
#endif
```

**Slika 5.2. Marlin postavke 2**

```
// @section extruder

// This defines the number of extruders
// :[1, 2, 3, 4, 5]
#define EXTRUDERS 1

// Generally expected filament diameter (1.75, 2.85, 3.0, ...). Used for Volumetric, Filament Width Sensor, etc.
#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 3.0

// @section extruder

// This defines the number of extruders
// :[1, 2, 3, 4, 5]
#define EXTRUDERS 2

// Generally expected filament diameter (1.75, 2.85, 3.0, ...). Used for Volumetric, Filament Width Sensor, etc.
#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75
```

**Slika 5.3. Marlin postavke 3**

---

```
#define TEMP_SENSOR_0 1
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_3 0
#define TEMP_SENSOR_4 0
#define TEMP_SENSOR_BED 0
#define TEMP_SENSOR_CHAMBER 0



---


#define TEMP_SENSOR_0 5
#define TEMP_SENSOR_1 11
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_3 0
#define TEMP_SENSOR_4 0
#define TEMP_SENSOR_BED 11
#define TEMP_SENSOR_CHAMBER 0
```

**Slika 5.4.** Marlin postavke 4

---

```
#define HEATER_0_MAXTEMP 275
#define HEATER_1_MAXTEMP 275
#define HEATER_2_MAXTEMP 275
#define HEATER_3_MAXTEMP 275
#define HEATER_4_MAXTEMP 275
#define BED_MAXTEMP 150



---


#define HEATER_0_MAXTEMP 285
#define HEATER_1_MAXTEMP 75
#define HEATER_2_MAXTEMP 275
#define HEATER_3_MAXTEMP 275
#define HEATER_4_MAXTEMP 275
#define BED_MAXTEMP 150
```

**Slika 5.5.** Marlin postavke 5

---

```
// Ultimaker
#define DEFAULT_Kp 22.2
#define DEFAULT_Ki 1.08
#define DEFAULT_Kd 114
```

---

```
// Ultimaker

//FSB300
#define DEFAULT_Kp 32.81
#define DEFAULT_Ki 3.54
#define DEFAULT_Kd 75.93
```

**Slika 5.6.** Marlin postavke 6

---

```
//120V 250W silicone heater into 4mm borosilicate (MendelMax 1.5+)
//from FOPDT model - kp=.39 Tp=405 Tdead=66, Tc set to 79.2, aggressive factor of .15 (vs .1, 1, 10)
#define DEFAULT_bedKp 10.00
#define DEFAULT_bedKi .023
#define DEFAULT_bedKd 305.4

//120V 250W silicone heater into 4mm borosilicate (MendelMax 1.5+)
//from FOPDT model - kp=.39 Tp=405 Tdead=66, Tc set to 79.2, aggressive factor of .15 (vs .1, 1, 10)
//FSB300
#define DEFAULT_bedKp 152.79
#define DEFAULT_bedKi 21.44
#define DEFAULT_bedKd 272.23
```

---

**Slika 5.7. Marlin postavke 7**

```
// Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false" here (most common setup).
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
#define X_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the probe.

// Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false" here (most common setup).
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define X_MAX_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the probe.
```

---

**Slika 5.8. Marlin postavke 8**


---

```
///#define X_DRIVER_TYPE A4988
///#define Y_DRIVER_TYPE A4988
///#define Z_DRIVER_TYPE A4988
///#define X2_DRIVER_TYPE A4988
///#define Y2_DRIVER_TYPE A4988
///#define Z2_DRIVER_TYPE A4988
///#define E0_DRIVER_TYPE A4988

#define X_DRIVER_TYPE A4988
#define Y_DRIVER_TYPE A4988
#define Z_DRIVER_TYPE A4988
///#define X2_DRIVER_TYPE A4988
///#define Y2_DRIVER_TYPE A4988
///#define Z2_DRIVER_TYPE A4988
#define E0_DRIVER_TYPE A4988
```

---

**Slika 5.9. Marlin postavke 9**

---

```

#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 4000, 500 }

/**
 * Default Max Feed Rate (mm/s)
 * Override with M203
 *
 * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
 */
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 300, 300, 5, 25 }

/**
 * Default Max Acceleration (change/s) change = mm/s
 * (Maximum start speed for accelerated moves)
 * Override with M201
 *
 * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
 */
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 3000, 3000, 100, 10000 }



---


#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 50, 50, 400, 419 }

/**
 * Default Max Feed Rate (mm/s)
 * Override with M203
 *
 * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
 */
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 300, 300, 2.25, 35 }

/**
 * Default Max Acceleration (change/s) change = mm/s
 * (Maximum start speed for accelerated moves)
 * Override with M201
 *
 * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
 */
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 1600, 1600, 100, 3000 }

```

---

**Slika 5.10. Marlin postavke 10**


---

```

/**
 * A Fix-Mounted Probe either doesn't deploy or needs manual deployment.
 * (e.g., an inductive probe or a nozzle-based probe-switch.)
 */
#ifndef FIX_MOUNTED_PROBE

/**
 * A Fix-Mounted Probe either doesn't deploy or needs manual deployment.
 * (e.g., an inductive probe or a nozzle-based probe-switch.)
 */
#define FIX_MOUNTED_PROBE

```

---

**Slika 5.11. Marlin postavke 11**

---

```
#define X_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER 10 // X offset: -left +right [of the nozzle]
#define Y_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER 10 // Y offset: -front +behind [the nozzle]
#define Z_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER 0 // Z offset: -below +above [the nozzle]



---


#define X_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER 0 // X offset: -left +right [of the nozzle]
#define Y_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER 0 // Y offset: -front +behind [the nozzle]
#define Z_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER 0 // Z offset: -below +above [the nozzle]
```

**Slika 5.12. Marlin postavke 12**


---

```
// Feedrate (mm/m) for the "accurate" probe of each point
#define Z_PROBE_SPEED_SLOW (Z_PROBE_SPEED_FAST / 2)
```

---

```
// Feedrate (mm/m) for the "accurate" probe of each point
#define Z_PROBE_SPEED_SLOW (Z_PROBE_SPEED_FAST / 4)
```

**Slika 5.13. Marlin postavke 13**


---

```
#define Z_CLEARANCE_DEPLOY_PROBE 10 // Z Clearance for Deploy/Stow
#define Z_CLEARANCE_BETWEEN_PROBES 5 // Z Clearance between probe points
#define Z_CLEARANCE_MULTI_PROBE 5 // Z Clearance between multiple probes
//#define Z_AFTER_PROBING 5 // Z position after probing is done

#define Z_PROBE_LOW_POINT -2 // Farthest distance below the trigger-point to go before stopping



---


#define Z_CLEARANCE_DEPLOY_PROBE 5 // Z Clearance for Deploy/Stow
#define Z_CLEARANCE_BETWEEN_PROBES 5 // Z Clearance between probe points
#define Z_CLEARANCE_MULTI_PROBE 5 // Z Clearance between multiple probes
//#define Z_AFTER_PROBING 5 // Z position after probing is done

#define Z_PROBE_LOW_POINT -1 // Farthest distance below the trigger-point to go before stopping
```

**Slika 5.14. Marlin postavke 14**


---

```
// Invert the stepper direction. Change (or reverse the motor connector) if an axis goes the wrong way.
#define INVERT_X_DIR false
#define INVERT_Y_DIR true
#define INVERT_Z_DIR false

// @section extruder

// For direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false.
#define INVERT_E0_DIR false



---


// Invert the stepper direction. Change (or reverse the motor connector) if an axis goes the wrong way.
#define INVERT_X_DIR true
#define INVERT_Y_DIR false
#define INVERT_Z_DIR true

// @section extruder

// For direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false.
#define INVERT_E0_DIR true
```

**Slika 5.15. Marlin postavke 15**

---

```
//#define Z_HOMEING_HEIGHT 4 // (in mm) Minimal z height before homing (G28) for Z clearance above the bed, clamps, ...
// Be sure you have this distance over your Z_MAX_POS in case.
```

---

```
#define Z_HOMEING_HEIGHT 2 // (in mm) Minimal z height before homing (G28) for Z clearance above the bed, clamps, ...
// Be sure you have this distance over your Z_MAX_POS in case.
```

**Slika 5.16. Marlin postavke 16**

```
// The size of the print bed
#define X_BED_SIZE 200
#define Y_BED_SIZE 200

// Travel limits (mm) after homing, corresponding to endstop positions.
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MIN_POS 0
#define X_MAX_POS X_BED_SIZE
#define Y_MAX_POS Y_BED_SIZE
#define Z_MAX_POS 200
```

---

```
// The size of the print bed
#define X_BED_SIZE 270
#define Y_BED_SIZE 270

// Travel limits (mm) after homing, corresponding to endstop positions.
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MIN_POS 0
#define X_MAX_POS X_BED_SIZE
#define Y_MAX_POS Y_BED_SIZE
#define Z_MAX_POS 270
```

**Slika 5.17. Marlin postavke 17**

```
///#define AUTO_BED_LEVELING_3POINT
///#define AUTO_BED_LEVELING_LINEAR
///#define AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR
///#define AUTO_BED_LEVELING_UBL
///#define MESH_BED_LEVELING

/***
 * Normally G28 leaves leveling disabled on completion. Enable
 * this option to have G28 restore the prior leveling state.
 */
#define RESTORE_LEVELING_AFTER_G28
```

---

```
#define AUTO_BED_LEVELING_3POINT
///#define AUTO_BED_LEVELING_LINEAR
///#define AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR
///#define AUTO_BED_LEVELING_UBL
///#define MESH_BED_LEVELING

/***
 * Normally G28 leaves leveling disabled on completion. Enable
 * this option to have G28 restore the prior leveling state.
 */
#define RESTORE_LEVELING_AFTER_G28
```

**Slika 5.18. Marlin postavke 18**

---

```
/*
 * Enable detailed logging of G28, G29, M48, etc.
 * Turn on with the command 'M111 S32'.
 * NOTE: Requires a lot of PROGMEM!
 */
#ifndef DEBUG_LEVELING_FEATURE
```

---

```
/*
 * Enable detailed logging of G28, G29, M48, etc.
 * Turn on with the command 'M111 S32'.
 * NOTE: Requires a lot of PROGMEM!
 */
#define DEBUG_LEVELING_FEATURE
```

Slika 5.19. Marlin postavke 19

---

```
#if ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_3POINT) || ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_UBL)
    #define PROBE_PT_1_X 15
    #define PROBE_PT_1_Y 180
    #define PROBE_PT_2_X 15
    #define PROBE_PT_2_Y 20
    #define PROBE_PT_3_X 170
    #define PROBE_PT_3_Y 20
#endif

/*
 * Add a bed leveling sub-menu for ABL or MBL.
 * Include a guided procedure if manual probing is enabled.
 */
#define LCD_BED_LEVELING
```

---

```
#if ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_3POINT) || ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_UBL)
    #define PROBE_PT_1_X 15
    #define PROBE_PT_1_Y 15
    #define PROBE_PT_2_X 15
    #define PROBE_PT_2_Y 250
    #define PROBE_PT_3_X 250
    #define PROBE_PT_3_Y 250
#endif

/*
 * Add a bed leveling sub-menu for ABL or MBL.
 * Include a guided procedure if manual probing is enabled.
 */
#define LCD_BED_LEVELING
```

Slika 5.20. Marlin Postavke 20

---

```
//#define EEPROM_SETTINGS // Enable for M500 and M501 commands
//#define DISABLE_M503    // Saves ~2700 bytes of PROGMEM. Disable for release!
#define EEPROM_CHITCHAT   // Give feedback on EEPROM commands. Disable to save PROGMEM.

#define EEPROM_SETTINGS // Enable for M500 and M501 commands
//#define DISABLE_M503    // Saves ~2700 bytes of PROGMEM. Disable for release!
#define EEPROM_CHITCHAT   // Give feedback on EEPROM commands. Disable to save PROGMEM.
```

---

**Slika 5.21. Marlin postavke 21**


---

```
// Preheat Constants
#define PREHEAT_1_TEMP_HOTEND 180
#define PREHEAT_1_TEMP_BED     70
#define PREHEAT_1_FAN_SPEED    0 // Value from 0 to 255

#define PREHEAT_2_TEMP_HOTEND 240
#define PREHEAT_2_TEMP_BED     110
#define PREHEAT_2_FAN_SPEED    0 // Value from 0 to 255
```

---



---

```
// Preheat Constants
#define PREHEAT_1_TEMP_HOTEND 185
#define PREHEAT_1_TEMP_BED     70
#define PREHEAT_1_FAN_SPEED    0 // Value from 0 to 255

#define PREHEAT_2_TEMP_HOTEND 235
#define PREHEAT_2_TEMP_BED     110
#define PREHEAT_2_FAN_SPEED    0 // Value from 0 to 255
```

---

**Slika 5.22. Marlin postavke 22**


---

```
* SD CARD
*
* SD Card support is disabled by default. If your controller has an SD slot,
* you must uncomment the following option or it won't work.
*
*/
#ifndef SDSUPPORT
```

---



---

```
* SD CARD
*
* SD Card support is disabled by default. If your controller has an SD slot,
* you must uncomment the following option or it won't work.
*
*/
#define SDSUPPORT
```

---

**Slika 5.23. Marlin postavke 23**

```

// ENCODER SETTINGS
//
// This option overrides the default number of encoder pulses needed to
// produce one step. Should be increased for high-resolution encoders.
//
// #define ENCODER_PULSES_PER_STEP 4

//
// Use this option to override the number of step signals required to
// move between next/prev menu items.
//
// #define ENCODER_STEPS_PER_MENU_ITEM 1

// ENCODER SETTINGS
//
// This option overrides the default number of encoder pulses needed to
// produce one step. Should be increased for high-resolution encoders.
//
#define ENCODER_PULSES_PER_STEP 4

//
// Use this option to override the number of step signals required to
// move between next/prev menu items.
//
#define ENCODER_STEPS_PER_MENU_ITEM 1

```

**Slika 5.24. Marlin postavke 24**


---

```

// Individual Axis Homing
//
// Add individual axis homing items (Home X, Home Y, and Home Z) to the LCD menu.
//
// #define INDIVIDUAL_AXIS_HOMING_MENU

// Individual Axis Homing
//
// Add individual axis homing items (Home X, Home Y, and Home Z) to the LCD menu.
//
#define INDIVIDUAL_AXIS_HOMING_MENU

```

---

**Slika 5.25. Marlin postavke 25**


---

```

// #define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER

#define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER

```

---

**Slika 5.26. Marlin postavke 26**

## 5.2.2 Datoteka Configuration\_adv.h

---

```
#define WATCH_TEMP_PERIOD 20          // Seconds
#define WATCH_TEMP_INCREASE 2          // Degrees Celsius

#define WATCH_TEMP_PERIOD 480          // Seconds
#define WATCH_TEMP_INCREASE 2          // Degrees Celsius
```

---

Slika 5.27. Marlin napredne postavke 1

```
* Controller Fan
* To cool down the stepper drivers and MOSFETs.
*
* The fan will turn on automatically whenever any stepper is enabled
* and turn off after a set period after all steppers are turned off.
*/
#ifndef USE_CONTROLLER_FAN
#if ENABLED(USE_CONTROLLER_FAN)
  #define CONTROLLER_FAN_PIN -1          // Set a custom pin for the controller fan
  #define CONTROLLERFAN_SECS 60          // Duration in seconds for the fan to run after all motors are disabled
  #define CONTROLLERFAN_SPEED 255        // 255 == full speed
#endif

* Controller Fan
* To cool down the stepper drivers and MOSFETs.
*
* The fan will turn on automatically whenever any stepper is enabled
* and turn off after a set period after all steppers are turned off.
*/
#define USE_CONTROLLER_FAN
#if ENABLED(USE_CONTROLLER_FAN)
  #define CONTROLLER_FAN_PIN 4           // Set a custom pin for the controller fan
  #define CONTROLLERFAN_SECS 30          // Duration in seconds for the fan to run after all motors are disabled
  #define CONTROLLERFAN_SPEED 255        // 255 == full speed
#endif
```

---

Slika 5.28. Marlin napredne postavke 2

```
#define E0_AUTO_FAN_PIN -1
#define E1_AUTO_FAN_PIN -1
#define E2_AUTO_FAN_PIN -1
#define E3_AUTO_FAN_PIN -1
#define E4_AUTO_FAN_PIN -1
#define CHAMBER_AUTO_FAN_PIN -1
#define EXTRUDER_AUTO_FAN_TEMPERATURE 50
#define EXTRUDER_AUTO_FAN_SPEED 255 // == full speed
```

---

```
#define E0_AUTO_FAN_PIN -1
#define E1_AUTO_FAN_PIN 11
#define E2_AUTO_FAN_PIN -1
#define E3_AUTO_FAN_PIN -1
#define E4_AUTO_FAN_PIN -1
#define CHAMBER_AUTO_FAN_PIN -1
#define EXTRUDER_AUTO_FAN_TEMPERATURE 55
#define EXTRUDER_AUTO_FAN_SPEED 255 // == full speed
```

---

Slika 5.29. Marlin napredne postavke 3

### 5.2.3 Datoteka pins\_RAMPS.h

```
#ifndef FAN_PIN
#define FAN_PIN      RAMPS_D9_PIN
#endif

#ifndef FAN_PIN
#define FAN_PIN      RAMPS_D9_PIN
#endif

#ifndef FAN_PIN
#define FAN_PIN      RAMPS_D8_PIN
#endif

#ifndef FAN_PIN
#define FAN_PIN      4 // IO pin. Buffer needed
#endif

#ifndef FAN_PIN
#define FAN_PIN      RAMPS_D9_PIN
#endif

#ifndef FAN_PIN
#define FAN_PIN      RAMPS_D9_PIN
#endif

#ifndef FAN_PIN
#define FAN_PIN      RAMPS_D8_PIN
#endif

#ifndef FAN_PIN
#define FAN_PIN      6 // IO pin. Buffer needed
#endif

#ifndef FAN_PIN
#define FAN_PIN      RAMPS_D9_PIN
#endif

#ifndef FAN_PIN
#define FAN_PIN      RAMPS_D9_PIN
#endif
```

---

**Slika 5.30. Marlin napredne postavke 4**

Nakon što smo promijenili sve potrebne parametre u Marlin firmware - u, potrebno je preko USB kabela prebaciti Marlin na Arduino Mega 2560 te je 3D tiskač sa grijanom komorom spremam za 3D tiskanje materijala iz ABS - a, PLA i PETG materijala.

Potrebito je samo generirani G - kod prebaciti na SD karticu, koju tada stavljamo u čitač SD kartice na LCD - u. Detaljnije korištenje programa koji generira G - kod , naziva " MatterControl ", prikazano je u priručniku za 3D tiskanje koji se nalazi u prilogu.

## 5.3 Proračuni koji su potrebni za postavke Marlin-a

### 5.3.1 Potrebni koraci ekstrudera da se materijal tiskanja istisne 1 mm

Formula za izračun koliko koraka ekstruder treba napraviti za pomak materijala tiskanja od 1 mm prema [18].:

$$E_{kor/mm} = \frac{Koraka\_motora \cdot mikrokoraka \cdot omjer\_zupčanika}{promjer\_zupčanika\_uvlačenja\_filamenta \cdot \pi} \quad (2)$$

$$Koraka\_motora = \frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200$$

$$Mikrokoraka = 16x$$

$$Omjer\_zupčanika = 3$$

$$Promjer\_zupčanika\_uvlačenja\_filamenta = 7.3$$

$$E_{kor/mm} = \frac{200 \cdot 16 \cdot 3}{7.3 \cdot \pi} = 418.8 \sim 419$$

Motor ekstrudera treba napraviti 419 koraka da se filament pomakne za 1 milimetar.

### 5.3.2 Potrebni koraci motora X i Y osi da se glava ekstrudera pomakne za 1 mm

$$M_{XY,kor/mm} = \frac{Koraka\_motora \cdot mikrokoraka}{broj\_zubi\_zupčanika \cdot korak\_remena} \quad (3)$$

$$Koraka\_motora = \frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200$$

$$Mikrokoraka = 16x$$

$$Broj\_zubi\_zupčanika = 32$$

$$Korak\_remena = 2mm$$

$$M_{XY,kor/mm} = \frac{200 \cdot 16}{32 \cdot 2} = 50$$

Motor X i Y osi treba napraviti 50 koraka da se glava ekstrudera pomakne za 1 milimetar u X ili Y smjeru. Iz toga slijedi da je najmanji pomak glave ekstrudera  $1/50 = 0.02$  mm, pa nam je to ujedno i ograničenje u točnosti X i Y osi.

### 5.3.3 Potrebni koraci motora Z osi da se grijana platforma pomakne za 1 mm

$$M_{Z,kor/mm} = \frac{\text{Koraka_motora} \cdot \text{mikrokoraka}}{\text{korak_navojnog_vretena} \cdot \text{broj_početaka}} \quad (4)$$

$$\text{Koraka_motora} = \frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200$$

$$\text{Mikrokoraka} = 16x$$

$$\text{Korak_navojnog_vretena} = 2 \text{ mm}$$

$$\text{Broj_početaka} = 4$$

$$M_{Z,kor/mm} = \frac{200 \cdot 16}{2 \cdot 4} = 400$$

Motor Z osi treba napraviti 400 koraka da se grijana platforma pomakne za 1 milimetar.

Iz toga slijedi da je rezolucija Z osi  $1/400 = 0.0025 \text{ mm}$ . Pošto je najmanji sloj 3D tiskanja 0.1 mm, rezolucija Z osi je bolja 40 puta nego je potrebna za postizanje fizikalnog maksimuma.

Možemo vidjeti da se izračunate vrijednosti iz poglavlja 5.3.1., 5.3.2., i 5.3.3. uvrštavaju u Marlin firmware prema Slika 5.10.

## 5.4 Podešavanje PID parametara

Prije pokretanja prvog 3D tiskanja, potrebno je podesiti neke parametre koji služe za PWM regulaciju zagrijavanja grijajuća ekstrudera i grijajuća grijane platforme.

Ugađanje PID parametara podrazumjeva podešavanje parametara proporcionalnog, integralnog i derivacijskog djelovanja algoritma. Potrebno je podesiti P, I i D parametre algoritma kako bi se najučinkovitije postigla željena temperatura grijajuća ekstrudera i grijane platforme. Marlin firmware podržava automatsko ugađanje PID parametara pomoću Ziegler - Nicholsove metode, slanjem jednostavne naredbe M303.

### 5.4.1 PID parametri grijajuća ekstrudera

Prvo PID ugađanje parametara izvodi se pomoću početnih postavki u Marlin firmwareu. Grijajući ekstruder zagrijava se do  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  te zatim hlađi, ponavljajući isti postupak 5 puta.

```

SENDING:M303 E0 S200 C5
PID Autotune start
bias: 85 d: 85 min: 198.39 max: 204.42
bias: 81 d: 81 min: 198.36 max: 202.28
bias: 80 d: 80 min: 198.39 max: 202.19 Ku: 53.62
Tu: 20.15
Classic PID
Kp: 32.17 Ki: 3.19 Kd: 81.04
bias: 80 d: 80 min: 198.29 max: 202.14 Ku: 52.87
Tu: 19.82
Classic PID
Kp: 31.72 Ki: 3.20 Kd: 78.61
bias: 78 d: 78 min: 198.42 max: 202.05 Ku: 54.68
Tu: 18.51
Classic PID
Kp: 32.81 Ki: 3.54 Kd: 75.93
PID Autotune finished! Put the last Kp, Ki and Kd
constants from below into Configuration.h
#define DEFAULT_Kp 32.81
#define DEFAULT_Ki 3.54
#define DEFAULT_Kd 75.93

```

**Slika 5.31. Prvo ugadanje PID parametara za grijajući ekstruder**

```

SENDING:M303 E0 S200 C8
PID Autotune start
bias: 92 d: 92 min: 197.93 max: 204.29
bias: 86 d: 86 min: 198.22 max: 202.14 Ku: 55.88
Tu: 19.17
Classic PID
Kp: 33.53 Ki: 3.50 Kd: 80.33
bias: 86 d: 86 min: 198.16 max: 202.19 Ku: 54.35
Tu: 19.66
Classic PID
Kp: 32.61 Ki: 3.32 Kd: 80.14
bias: 86 d: 86 min: 198.32 max: 202.23 Ku: 56.01
Tu: 19.33
Classic PID
Kp: 33.61 Ki: 3.48 Kd: 81.22
bias: 85 d: 85 min: 198.39 max: 202.14 Ku: 57.65
Tu: 19.33
Classic PID
Kp: 34.59 Ki: 3.58 Kd: 83.59
bias: 83 d: 83 min: 198.39 max: 202.28 Ku: 54.35
Tu: 19.82
Classic PID
Kp: 32.61 Ki: 3.29 Kd: 80.82
bias: 85 d: 85 min: 198.09 max: 202.14 Ku: 53.43
Tu: 19.82
Classic PID
Kp: 32.06 Ki: 3.23 Kd: 79.45
PID Autotune finished! Put the last Kp, Ki and Kd
constants from below into Configuration.h
#define DEFAULT_Kp 32.06
#define DEFAULT_Ki 3.23
#define DEFAULT_Kd 79.45

```

**Slika 5.32. Drugo ugadanje PID parametara za grijajući ekstruder**

Nakon prvog ugadanja PID parametara, parametri se spreme u Marlin firmware te se pokrene drugo ugadanje u trajanju od 8 ciklusa zagrijavanja i hlađenja. Nakon drugog

ugađanja parametri se trajno spreme u Marlin firmware te se svako sljedeće grijanje grijaća ekstrudera izvodi pomoću tih parametara. Parametre možemo vidjeti na Slika 5.6.

### 5.4.2 PID parametri grijaća grijane platforme

Prvo PID ugađanje parametara izvodi se pomoću početnih postavki u Marlin firmwareu. Grijać grijane platforme zagrijava se do 60 °C te zatim hlađi, ponavljajući isti postupak 8 puta.

|  |  |
|--|--|
| SENDING:M303 E-1 S60 C8  | SENDING:M303 E-1 S60 C8  |
| PID Autotune start   | PID Autotune start   |
| bias: 88 d: 88 min: 59.60 max: 61.00   | bias: 57 d: 57 min: 59.80 max: 61.44   |
| bias: 93 d: 93 min: 59.60 max: 60.40 Ku: 296.03  | bias: 53 d: 53 min: 59.68 max: 60.36   |
| Tu: 12.62  | bias: 50 d: 50 min: 59.79 max: 60.38 Ku: 216.72  |
| Classic PID  | Tu: 14.09  |
| Kp: 177.62 Ki: 28.16 Kd: 280.10  | Classic PID  |
| bias: 81 d: 81 min: 59.60 max: 60.50 Ku: 229.18  | Kp: 130.03 Ki: 18.46 Kd: 229.02  |
| Tu: 13.27  | bias: 54 d: 54 min: 59.66 max: 60.20 Ku: 255.83  |
| Classic PID  | Tu: 14.42  |
| Kp: 137.51 Ki: 20.72 Kd: 228.11  | Classic PID  |
| bias: 78 d: 78 min: 59.61 max: 60.40 Ku: 252.22  | Kp: 153.50 Ki: 21.29 Kd: 276.64  |
| Tu: 12.94  | bias: 51 d: 51 min: 59.76 max: 60.24 Ku: 273.41  |
| Classic PID  | Tu: 12.62  |
| Kp: 151.33 Ki: 23.38 Kd: 244.84  | Classic PID  |
| bias: 78 d: 78 min: 59.68 max: 60.40 Ku: 273.97  | Kp: 164.05 Ki: 26.01 Kd: 258.70  |
| Tu: 11.80  | bias: 50 d: 50 min: 59.78 max: 60.20 Ku: 299.59  |
| Classic PID  | Tu: 12.62  |
| Kp: 164.38 Ki: 27.87 Kd: 242.38  | Classic PID  |
| bias: 76 d: 76 min: 59.60 max: 60.40 Ku: 241.91  | Kp: 179.75 Ki: 28.50 Kd: 283.47  |
| Tu: 13.93  | bias: 48 d: 48 min: 59.80 max: 60.20 Ku: 305.58  |
| Classic PID  | Tu: 13.11  |
| Kp: 145.15 Ki: 20.84 Kd: 252.69  | Classic PID  |
| bias: 78 d: 78 min: 59.60 max: 60.33 Ku: 273.97  | Kp: 183.35 Ki: 27.98 Kd: 300.39  |
| Tu: 12.12  | bias: 45 d: 45 min: 59.80 max: 60.25 Ku: 254.65  |
| Classic PID  | Tu: 14.25  |
| Kp: 164.38 Ki: 27.12 Kd: 249.12  | Classic PID  |
| PID Autotune finished! Put the last Kp, Ki and Kd<br>constants from below into Configuration.h | Kp: 152.79 Ki: 21.44 Kd: 272.23  |
| #define DEFAULT_bedKp 164.38   | PID Autotune finished! Put the last Kp, Ki and Kd<br>constants from below into Configuration.h |
| #define DEFAULT_bedKi 27.12  | #define DEFAULT_bedKp 152.79   |
| #define DEFAULT_bedKd 249.12   | #define DEFAULT_bedKi 21.44  |
|  | #define DEFAULT_bedKd 272.23   |

Slika 5.33. Prvo i drugo ugađanje PID parametara za grijać grijane platforme

Nakon prvog ugađanja parametara, dobiveni parametri se spreme u Marlin firmware te se pokrene drugi ciklus ugađanja PID parametara. Dobiveni parametri drugog ugađanja su trajno spremljeni u Marlin Firmware te se svako sljedeće grijanje grijaća grijane platforme izvodi pomoću tih parametara. Parametre možemo vidjeti na Slika 5.7.

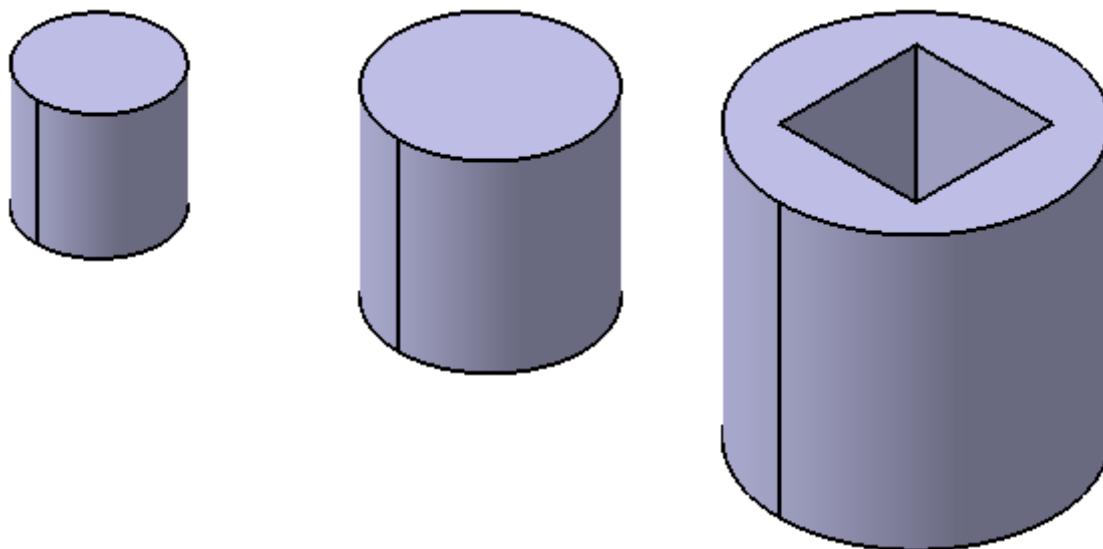
## 6 Primjena razvijenog 3D tiskača sa grijanom komorom

### 6.1 Analiza točnosti izrađenih dijelova iz različitih materijala ( ABS, PLA, PETG )

Za potrebe analize točnosti izrađenih dijelova na 3D tiskaču sa grijanom komorom, konstruirani su posebni dijelovi te izrađeni od različitih materijala za 3D tiskanje. Dijelovi će također biti izrađeni SLS tehnologijom pa će se uspoređivati sa dijelovima FDM tehnologije.

Važno je napomenuti da dimenzije izrađenih dijelova ovise o parametrima 3D tiskanja, stoga se prikazane dimenzije dijelova odnose na parametre 3D tiskanja koji su za određeni materijal navedeni u priručniku za 3D tiskanje koji se nalazi u prilogu.

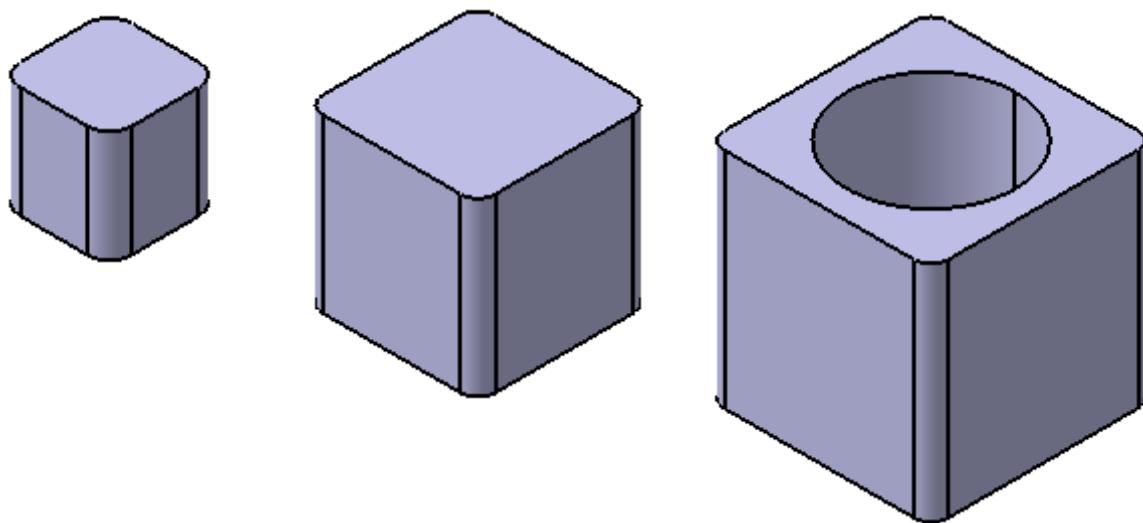
#### 6.1.1 CAD model dijelova za 3D tiskanje



Slika 6.1. Prva grupa dijelova

U prvu grupu dijelova spadaju dijelovi cilindričnog oblika. To su :

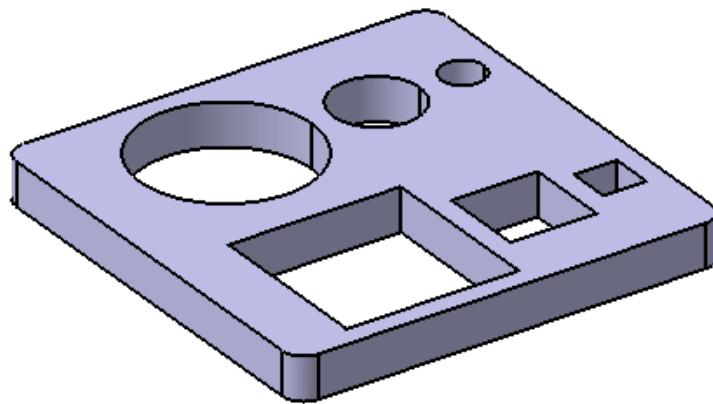
- cilindar promjera 10 milimetara i visine 10 milimetara
- cilindar promjera 20 milimetara i visine 20 milimetara
- cilindar promjera 40 milimetara i visine 40 milimetara sa provrtom dimenzija 20 x 20 milimetara



Slika 6.2. Druga grupa dijelova

U drugu grupu dijelova spadaju dijelovi kvadratnog oblika. To su :

- kocka dimenzija  $10 \times 10 \times 10$  milimetara
- kocka dimenzija  $20 \times 20 \times 20$  milimetara
- kocka dimenzija  $40 \times 40 \times 40$  milimetara sa provrtom promjera 30 milimetara

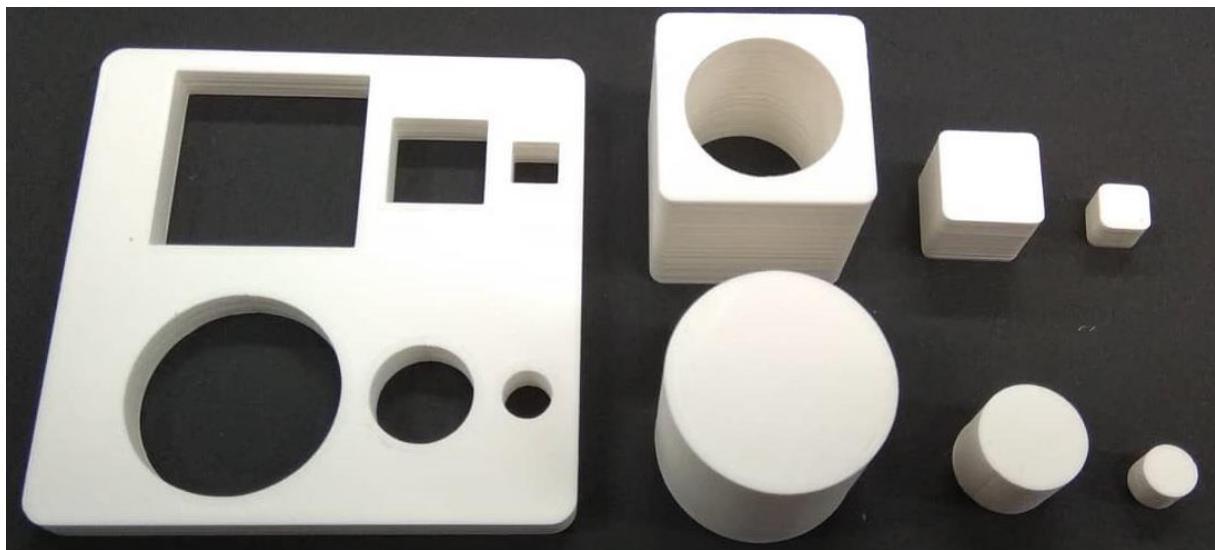


Slika 6.3. Treći dio

Treći dio je kocka dimenzija  $100 \times 100 \times 10$  milimetara sa provrtima promjera 10, 20 i 40 milimetra te provrtima dimenzija  $10 \times 10$ ,  $20 \times 20$  i  $40 \times 40$  milimetara.

Na temelju dijelova prikazanih na Slika 6.1., Slika 6.2. i Slika 6.3. izvršit će se analiza točnosti 3D tiskanih dijelova iz različitih materijala.

### 6.1.2 Dijelovi izrađeni iz PLA



Slika 6.4. Dijelovi izrađeni iz PLA materijala

Tablica 6.1. Dimenziije prve grupe dijelova izrađene iz PLA

| Naziv                        | Izmjerene dimenzije |             |                        |
|------------------------------|---------------------|-------------|------------------------|
|                              | Promjer (mm)        | Visina (mm) |                        |
| Cilindar $\Phi 10 \times 10$ | $\Phi 9.95$         | 10.05       |                        |
| Cilindar $\Phi 20 \times 20$ | $\Phi 19.93$        | 20.05       |                        |
|                              | Promjer (mm)        | Visina (mm) | Pravokutan provrt (mm) |
| Cilindar $\Phi 40 \times 40$ | $\Phi 39.9$         | 40          | -                      |

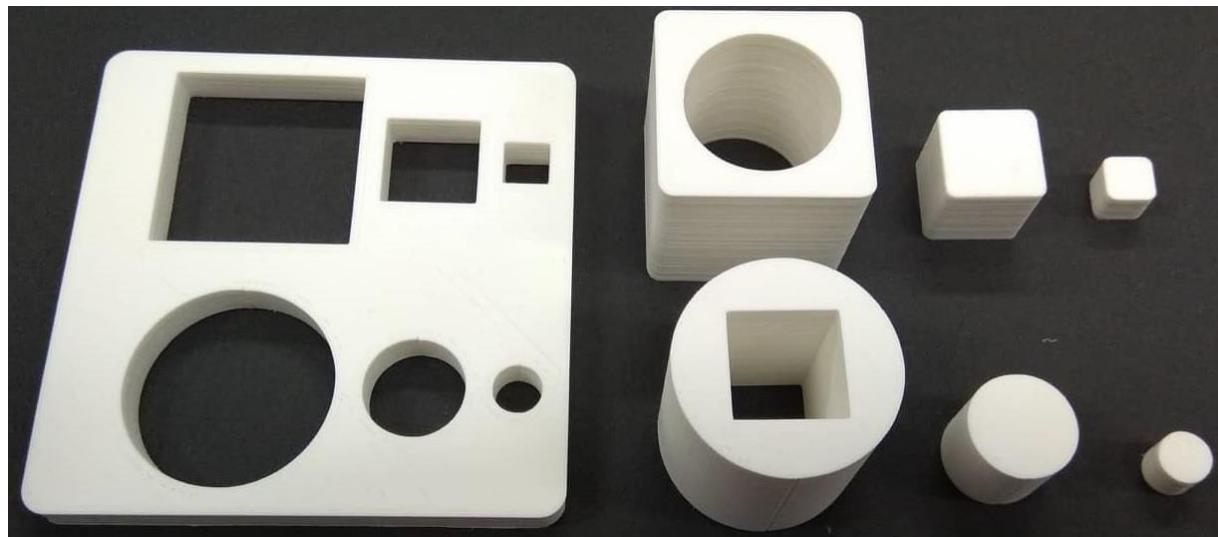
Tablica 6.2. Dimenziije druge grupe dijelova izrađene iz PLA

| Naziv                          | Izmjerene dimenzije |             |             |              |
|--------------------------------|---------------------|-------------|-------------|--------------|
|                                | Duljina (mm)        | Širina (mm) | Visina (mm) |              |
| Kocka $10 \times 10 \times 10$ | 10.05               | 10.06       | 10.05       |              |
| Kocka $20 \times 20 \times 20$ | 20.02               | 20          | 20.05       |              |
|                                | Duljina (mm)        | Širina (mm) | Visina (mm) | Provrt (mm)  |
| Kocka $40 \times 40 \times 40$ | 39.93               | 39.96       | 40          | $\Phi 29.64$ |

**Tablica 6.3. Dimenzijs trećeg dijela izrađenog iz PLA**

| Naziv                     | Izmjerene dimenzije |             |             |
|---------------------------|---------------------|-------------|-------------|
|                           | Duljina (mm)        | Širina (mm) | Visina (mm) |
| Kvadar 100 x 100 x 10     | 99.7                | 99.6        | 10.05       |
| Promjer (mm)              |                     |             |             |
| Provrt $\Phi 10$          | $\Phi 9.53$         |             |             |
| Provrt $\Phi 20$          | $\Phi 19.55$        |             |             |
| Provrt $\Phi 40$          | $\Phi 39.55$        |             |             |
| Pravokutan provrt 10 x 10 | Duljina (mm)        | Širina (mm) |             |
|                           | 9.65                | 9.6         |             |
| Pravokutan provrt 20 x 20 | 19.65               | 19.65       |             |
| Pravokutan provrt 40 x 40 | 39.52               | 39.58       |             |

### 6.1.3 Dijelovi izrađeni iz PETG

**Slika 6.5. Dijelovi izrađeni iz PETG materijala**

**Tablica 6.4. Dimenziye prve grupe dijelova izrađene iz PETG**

| Naziv                        | Izmjerene dimenziye |             |
|------------------------------|---------------------|-------------|
|                              | Promjer (mm)        | Visina (mm) |
| Cilindar $\Phi 10 \times 10$ | $\Phi 9.95$         | 10.05       |
| Cilindar $\Phi 20 \times 20$ | $\Phi 19.92$        | 20.05       |
|                              | Promjer (mm)        | Visina (mm) |
| Cilindar $\Phi 40 \times 40$ | $\Phi 39.9$         | 40.05       |
|                              |                     | 19.6x19.6   |

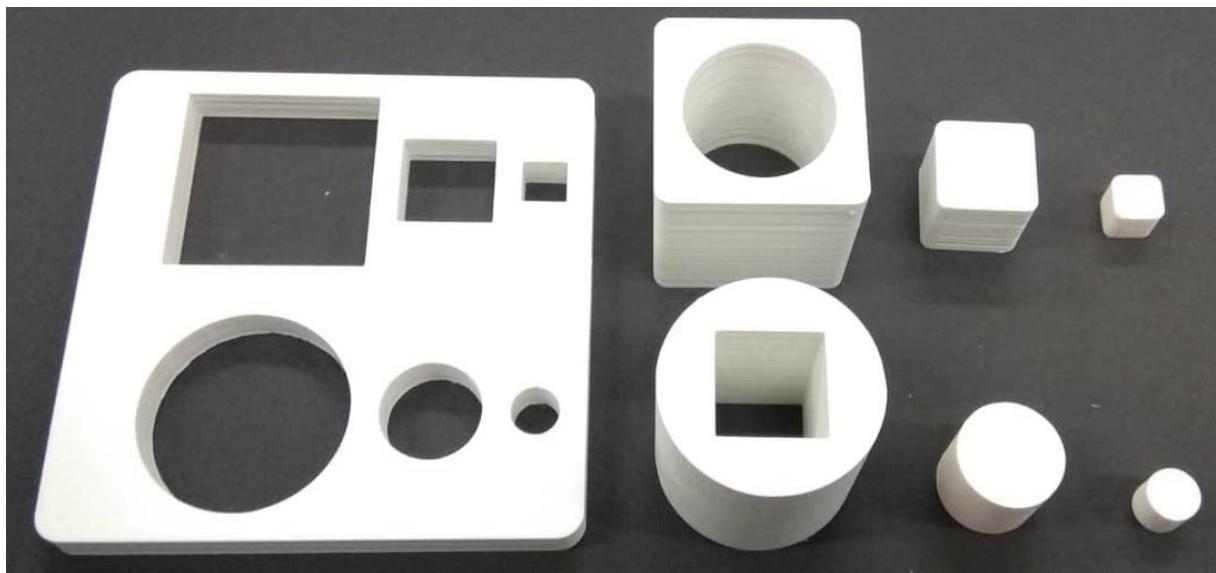
**Tablica 6.5. Dimenziye druge grupe dijelova izrađene iz PETG**

| Naziv                          | Izmjerene dimenziye |             |              |
|--------------------------------|---------------------|-------------|--------------|
|                                | Duljina (mm)        | Širina (mm) | Visina (mm)  |
| Kocka $10 \times 10 \times 10$ | 10.05               | 10.05       | 10.1         |
| Kocka $20 \times 20 \times 20$ | 20.05               | 20.1        | 20.1         |
|                                | Duljina (mm)        | Širina (mm) | Visina(mm)   |
| Kocka $40 \times 40 \times 40$ | 39.97               | 39.96       | 40.1         |
|                                |                     |             | $\Phi 29.53$ |

**Tablica 6.6. Dimenziye trećeg dijela izrađenog iz PETG**

| Naziv                             | Izmjerene dimenziye |             |             |
|-----------------------------------|---------------------|-------------|-------------|
|                                   | Duljina (mm)        | Širina (mm) | Visina (mm) |
| Kvadar $100 \times 100 \times 10$ | 99.9                | 99.9        | 10.1        |
|                                   | Promjer (mm)        |             |             |
| Provrt $\Phi 10$                  | $\Phi 9.58$         |             |             |
| Provrt $\Phi 20$                  | $\Phi 19.52$        |             |             |
| Provrt $\Phi 40$                  | $\Phi 39.58$        |             |             |
|                                   | Duljina (mm)        | Širina (mm) |             |
| Pravokutan provrt $10 \times 10$  | 9.5                 | 9.5         |             |
| Pravokutan provrt $20 \times 20$  | 19.5                | 19.5        |             |
| Pravokutan provrt $40 \times 40$  | 39.5                | 39.46       |             |

### 6.1.4 Dijelovi izrađeni iz ABS - a



Slika 6.6. Dijelovi izrađeni iz ABS materijala

Tablica 6.7. Dimenziije prve grupe dijelova izrađene iz ABS - a

| Naziv                        | Izmjerene dimenzije |                        |
|------------------------------|---------------------|------------------------|
|                              | Promjer (mm)        | Visina (mm)            |
| Cilindar $\Phi 10 \times 10$ | $\Phi 9.8$          | 10.05                  |
| Cilindar $\Phi 20 \times 20$ | $\Phi 19.82$        | 20.05                  |
|                              | Promjer (mm)        | Visina (mm)            |
| Cilindar $\Phi 40 \times 40$ | $\Phi 39.8$         | 40                     |
|                              |                     | Pravokutan provrt (mm) |
|                              |                     | 19.65x19.65            |

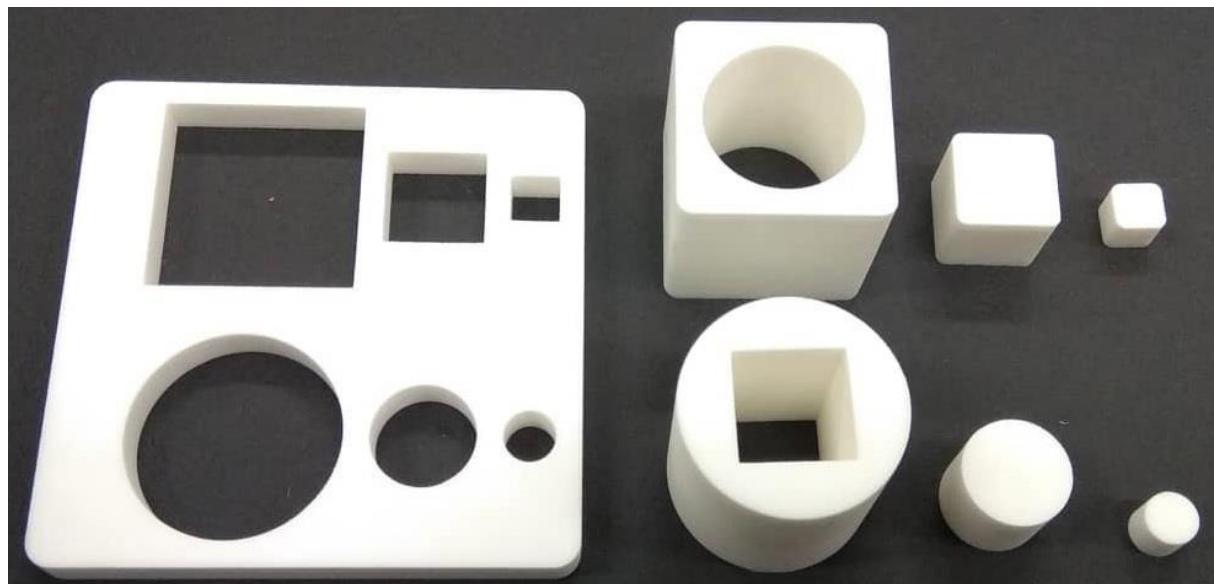
Tablica 6.8. Dimenziije druge grupe dijelova izrađene iz ABS - a

| Naziv                          | Izmjerene dimenzije |             |             |             |
|--------------------------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                | Duljina (mm)        | Širina (mm) | Visina (mm) |             |
| Kocka $10 \times 10 \times 10$ | 9.9                 | 9.95        | 10.05       |             |
| Kocka $20 \times 20 \times 20$ | 19.9                | 19.9        | 20.05       |             |
|                                | Duljina (mm)        | Širina (mm) | Visina (mm) | Provrt (mm) |
| Kocka $40 \times 40 \times 40$ | 39.85               | 39.85       | 39.95       | $\Phi 29.6$ |

**Tablica 6.9.** Dimenzijske trećeg dijela izrađenog iz ABS - a

| Naziv                     | Izmjerene dimenzije       |             |             |
|---------------------------|---------------------------|-------------|-------------|
|                           | Duljina (mm)              | Širina (mm) | Visina (mm) |
| Kvadar 100 x 100 x 10     | 99.3                      | 99.3        | 10.05       |
| <b>Promjer (mm)</b>       |                           |             |             |
| Provrt $\Phi 10$          | $\Phi 9.6$                |             |             |
| Provrt $\Phi 20$          | $\Phi 19.6$               |             |             |
| Provrt $\Phi 40$          | $\Phi 39.4$               |             |             |
|                           | Duljina (mm)              |             | Širina (mm) |
|                           | Pravokutan provrt 10 x 10 | 9.6         | 9.6         |
| Pravokutan provrt 20 x 20 | 19.55                     | 19.55       |             |
| Pravokutan provrt 40 x 40 | 39.45                     | 39.45       |             |

### 6.1.5 Dijelovi izrađeni SLS tehnologijom

**Slika 6.7.** Dijelovi izrađeni SLS tehnologijom

**Tablica 6.10. Dimenziye prve grupe dijelova izrađene SLS tehnologijom**

| Naziv                        | Izmjerene dimenziye |             |
|------------------------------|---------------------|-------------|
|                              | Promjer (mm)        | Visina (mm) |
| Cilindar $\Phi 10 \times 10$ | $\Phi 9.9$          | 10.02       |
| Cilindar $\Phi 20 \times 20$ | $\Phi 19.85$        | 20          |
|                              | Promjer (mm)        | Visina (mm) |
| Cilindar $\Phi 40 \times 40$ | $\Phi 39.9$         | 40.02       |
|                              |                     | 20.05x20.05 |

**Tablica 6.11. Dimenziye druge grupe dijelova izrađene SLS tehnologijom**

| Naziv                          | Izmjerene dimenziye |             |              |
|--------------------------------|---------------------|-------------|--------------|
|                                | Duljina (mm)        | Širina (mm) | Visina (mm)  |
| Kocka $10 \times 10 \times 10$ | 9.95                | 9.95        | 10           |
| Kocka $20 \times 20 \times 20$ | 19.9                | 19.9        | 20           |
|                                | Duljina (mm)        | Širina (mm) | Visina(mm)   |
| Kocka $40 \times 40 \times 40$ | 39.9                | 39.9        | 40           |
|                                |                     |             | $\Phi 29.95$ |

**Tablica 6.12. Dimenziye trećeg dijela izrađenog SLS tehnologijom**

| Naziv                             | Izmjerene dimenziye |             |             |
|-----------------------------------|---------------------|-------------|-------------|
|                                   | Duljina (mm)        | Širina (mm) | Visina (mm) |
| Kvadar $100 \times 100 \times 10$ | 99.9                | 99.9        | 10.02       |
|                                   | Promjer (mm)        |             |             |
| Provrt $\Phi 10$                  | $\Phi 9.95$         |             |             |
| Provrt $\Phi 20$                  | $\Phi 20.05$        |             |             |
| Provrt $\Phi 40$                  | $\Phi 40.05$        |             |             |
|                                   | Duljina (mm)        | Širina (mm) |             |
| Pravokutan provrt $10 \times 10$  | 10.05               | 10.05       |             |
| Pravokutan provrt $20 \times 20$  | 20.05               | 20.05       |             |
| Pravokutan provrt $40 \times 40$  | 40.05               | 40.05       |             |

### 6.1.6 Osvrt na dimenzijska odstupanja u smjeru osi Z ( visina tvorevine )

Dimenzijska odstupanja svih tvorevina izrađenih iz PLA, PETG i ABS materijala su 0.05 mm ili 0.1 mm. Do tih dimenzijskih odstupanja dolazi zbog parametra 3D tiskanja koji ima ulogu da se sapnica ekstrudera kod tiskanja prvog sloja odmakne od grijane podloge kako bi materijal mogao izlaziti iz sapnice. Pošto su tiskani slojevi debljine 0.2 mm, ako tiskamo tvorevinu visine 10 mm, potrebno je izraditi 50 slojeva. Kada se na tu visinu zbroji visina

udaljenosti sapnice od grijane podloge tijekom tiskanja prvog sloja, javlja se pogreška u iznosu vrijednosti toga parametra. Pošto je pogreška jednaka kod svih tvorevina, možemo zaključiti da je 3D tiskač vrlo precizan za dimenzije po Z osi.

### 6.1.7 Osvrt na dimenzijska odstupanja u smjeru osi X i Y ( vanjske mjere )

Dimenzijska odstupanja vanjskih mjera kod manjih tvorevina ( do 40 mm x 40 mm ) su unutar +0.1 mm za dijelove izrađivane iz PLA i PETG materijala, dok je za tvorevine većih vanjskih mjera pogreška do maksimalno -0.3 mm. Pošto su pogreške u smjeru osi X i u smjeru osi Y unutar 0.05 mm za svaku tvorevinu, možemo zaključiti da 3D tiskač u smjeru osi X i Y ima odstupanja u iznosu od 0.05 mm. Tvorevine većih vanjskih mjera su manjih dimenzija nego CAD model, a to možemo pripisati sakupljanju materijala uslijed hlađenja.

Tvorevine izrađene iz ABS - a, sa parametrima 3D tiskanja koji su navedeni u Priručniku za tiskanje PLA, PETG i ABS - a, koji se nalazi u prilogu, dimenzijski odstupaju više što je tvorevina većih vanjskih dimenzija, što se može pripisati velikom koeficijentu sakupljanja ABS - a uslijed hlađenja. Također je maksimalna pogreška između dimenzija u X smjeru i Y smjeru 0.05 mm, što dokazuje da 3D tiskač u smjeru X i Y osi ima odstupanja u iznosu od 0.05 mm. Ukupna dimenzijska pogreška može se smanjiti sa promjenom parametara 3D tiskanja.

Vanjske dimenzije cilindra su za zadane parametre 3D tiskanja kod PLA i PETG materijala unutar -0.1 mm, dok su kod ABS - a unutar -0.2 mm.

### 6.1.8 Osvrt na dimenzijska odstupanja u smjeru osi X i Y ( unutarnje mjere )

Dimenzijska odstupanja unutarnjih mjera su kod svih tvorevina, neovisno o materijalu 3D tiskanja između -0.4 mm i -0.5 mm. Također su ista dimenzijska odstupanja neovisno da li se radi o provrtu okruglog presjeka ili o provrtu pravokutnog presjeka. Time se dokazuje da je 3D tiskač vrlo precizan u smjeru X i Y osi, a dimenzijska odstupanja potrebno je riješiti promjenom parametara ili cijelog softvera.

## 7 Analiza troškova

U sljedećoj tablici navedeni su svi troškovi koji su potrebni za izradu 3D tiskača sa grijanom komorom.

**Tablica 7.1. Troškovi izrade 3D tiskača sa grijanom komorom**

| Naziv   | Cijena ( HRK ) |
|---|----------------|
| Aluminijski profili i kutnici                             | 1300           |
| Vodilice $\phi 8$ i $\phi 10$ , AGC-10C ležajevi          | 1600           |
| Izrada aluminijskih ploča                                 | 530            |
| 4 filamenta po 750 grama                                  | 870            |
| Ventilatori za hlađenje elektronike i isprintanih slojeva | 240            |
| Izrada ploča od pleksiglasa                               | 1400           |
| Dijelovi kupljeni sa web stranica                         | 4700           |
| Vijci i dodatni dijelovi                                  | 500            |
| Ukupno:   | 11140          |

Ukupna cijena svih dijelova od kojih je načinjen 3D tiskač sa grijanom komorom iznosi 11 140 HRK.

## 8 ZAKLJUČAK

Pošto se postupci aditivne proizvodnje temelje na slojevitom izrađivanju tvorevine, većina tradicionalnih načela konstruiranja proizvoda s obzirom na način izrađivanja više ne vrijedi. Proizvodi izrađeni aditivnim postupcima mogu imati podrez ili kompleksne detalje koje nije moguće ili je jako skupo izraditi klasičnim postupcima proizvodnje.

Aditivna proizvodnja izvrstan je izbor ako je potrebno izraditi relativno male i kompleksne proizvode, ali veliki proizvodi jednostavne geometrije nisu dobri kandidati za takvu proizvodnju. Jedan od najvećih izazova pred aditivnim tehnologijama je kontrola kvalitete izrađene tvorevine. U usporedbi s proizvodima izrađenim tradicionalnim postupcima obrade, svojstva materijala, točnost izmjera i kvaliteta površine u većini su slučajeva inferiorni.

Jedan od postupaka aditivne proizvodnje je i taložno očvršćivanje. To je postupak kod kojeg se za izradu tvorevine koristi rastaljeni, najčešće polimerni materijal. Polimerni materijal u obliku žice prolazi kroz mlaznicu gdje se zagrijava i tali, te se istiskuje, tako tvoreći slojeve. Polimerni materijali koji se najčešće tiskaju su PLA i PETG, jer za njihovo tiskanje nije potrebna grijana komora, odnosno povišena temperatura prostora u kojem se vrši tiskanje. Ukoliko je moguće postići povišenu temperaturu prostora, najčešće korišteni materijal je ABS.

U diplomskom radu je izrađen 3D tiskač sa grijanom komorom kako bi se mogli tiskati najčešće korišteni polimerni materijali, PLA, PETG i ABS.

Prvi korak je izrada CAD modela. Napredak konstrukcije 3D tiskača može se primijetiti kroz različite verzije CAD modela. U verziji 1, puno je dijelova koji nisu standardni te bi njihovo izrađivanje bilo jako skupo, dok su u konačnoj verziji skoro svi dijelovi standardni, a oni koje je potrebno izrađivati svedeni su na 2D problem te je njihova izrada jeftina.

Ovaj diplomski rad je pravi pokazatelj kako su CAD programi odličan alat za svakog strojara, jer višestruko skraćuju vrijeme i cijenu razvoja proizvoda. CAD programi su odličan alat za konstruiranje novih proizvoda, međutim treba biti vrlo oprezan sa njima jer u programima nema nikakvih ograničenja, dok je u stvarnosti drugačije. U izradu 3D tiskača uloženo je znanje iz mehanike (sile, ubrzanja), čvrstoće (progibi), elemenata konstrukcija (navojna vretna, ležajevi, remenice, remeni), termodynamike (grijači, grijana komora), tehnologije izrade dijelova (lasersko rezanje, aditivne tehnologije), energetskih sustava (koračni motori), upravljanja sustavom, programiranja i materijala.

Nakon puno uloženog vremena i napora, sklopljen je funkcionalan 3D tiskač sa grijanom komorom koji može izrađivati tvorevine gabaritnih mjera 280 mm x 280 mm x 250 mm, iz najčešće korištenih polimernih materijala, PLA, PETG i ABS - a. Temperatura grijane komore od sobne ( $25^{\circ}\text{C}$ ) pa do  $45^{\circ}\text{C}$  postiže se za 15 minuta. Ukupna cijena izrade 3D tiskača je oko 11 500 HRK, a njegova točnost je u smjeru osi Z unutar 0.05 mm, dok je točnost u smjeru osi X i Y unutar 0.1 mm.

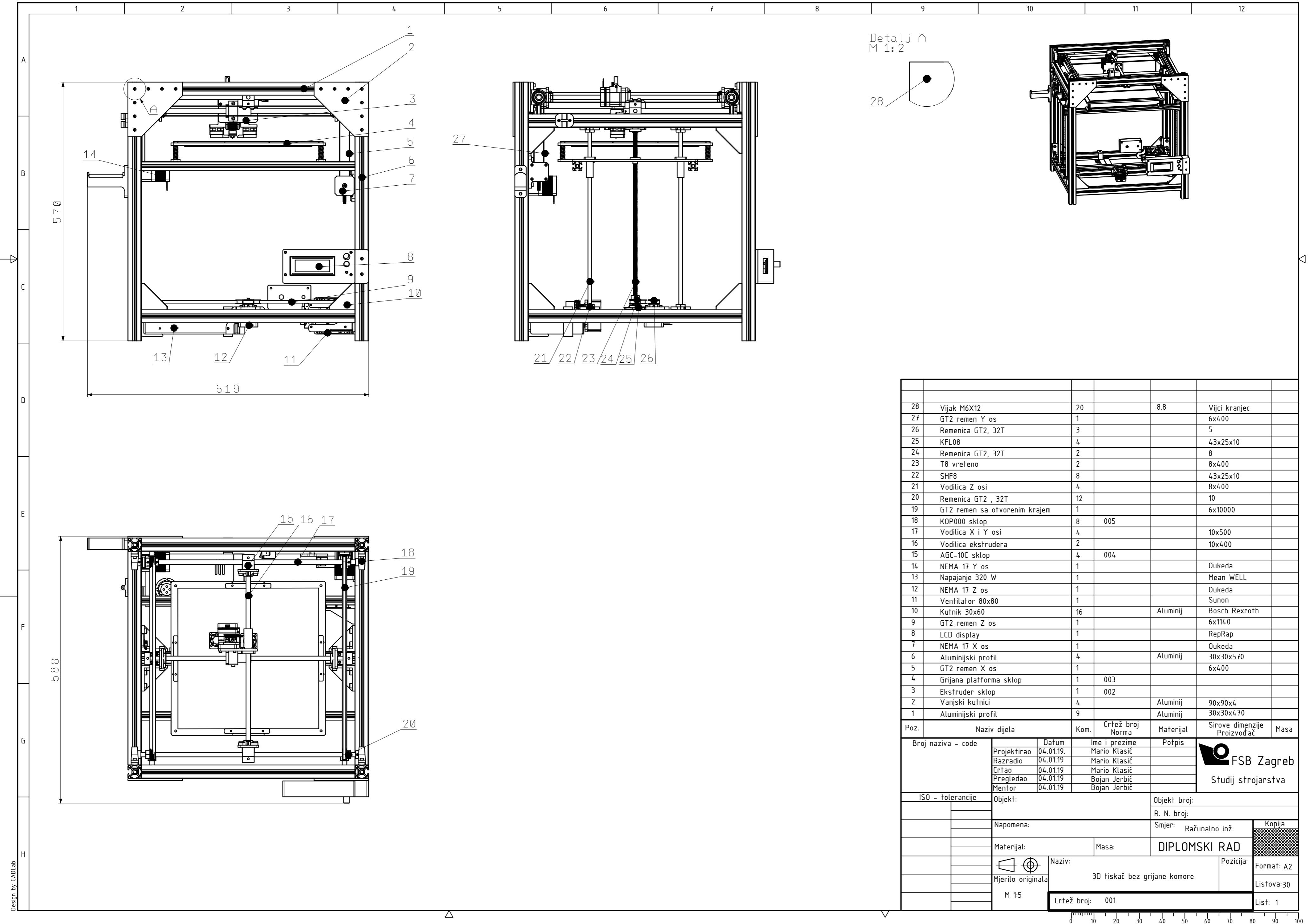
Da bi se neki složeni problem uspješno riješio, potrebno je uložiti puno vremena i sve probleme pojednostaviti na više jednostavnih, elementarnih problema. Takav pristup i način razmišljanja vode prema rješenju.

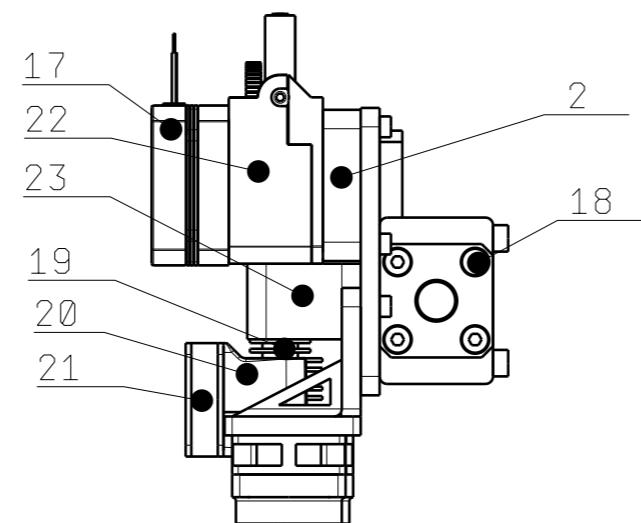
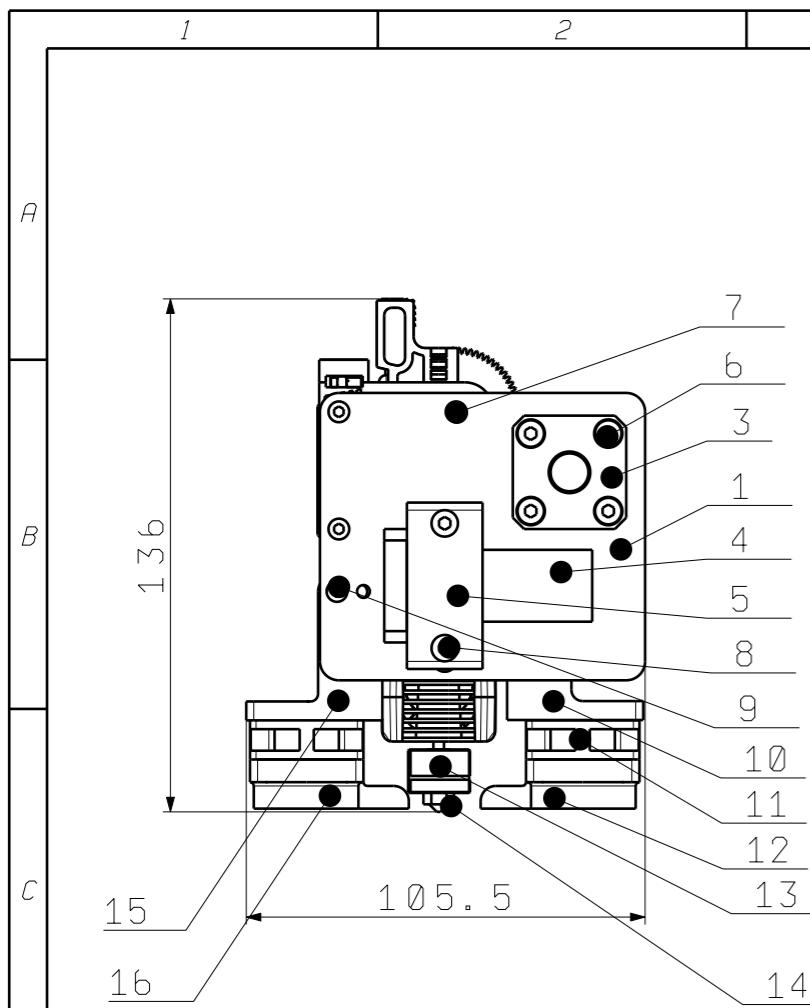
## LITERATURA

- [1] Godec D., Šercer M., Aditivna proizvodnja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, lipanj 2015.
- [2] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1970.
- [3] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 1975.
- [4] Herold, Z.: Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.
- [5] <https://reprap.org/wiki/ABS>, pristupljeno 17.12.2018.
- [6] <https://reprap.org/wiki/PLA>, pristupljeno 17.12.2018.
- [7] <https://reprap.org/wiki/PETG>, pristupljeno 17.12.2018.
- [8] <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Polylactic-Acid-PLA-Polylactide>, pristupljeno 17.12.2018.
- [9] <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Glycol-Modified-Polyethylene-Terephthalate-PETG-PET-G>, pristupljeno 17.12.2018.
- [10] <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Acrylonitrile-Butadiene-Styrene-ABS>, pristupljeno 17.12.2018.
- [11] <https://reprap.org/forum/read.php?219,426628>, pristupljeno 17.12.2018.
- [12] Klasić M.: Projektiranje i upravljanje robotske ruke izrađene na 3D printeru, Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje 2017.
- [13] <https://www.pololu.com/product/1182>, pristupljeno 17.12.2018.
- [14] <http://marlinfw.org/>, pristupljeno 18.12.2018.
- [15] <https://github.com/MarlinFirmware/Marlin>, pristupljeno 18.12.2018.
- [16] <http://marlinfw.org/docs/configuration/configuration.html>, pristupljeno 19.12.2018.
- [17] <http://marlinfw.org/meta/gcode/>, pristupljeno 19.12.2018.
- [18] <https://e3d-online.com/titan-extruder>, pristupljeno 19.12.2018.
- [19] <https://www.prusaprinters.org/calculator/>, pristupljeno 27.12.2018.
- [20] [https://reprap.org/wiki/PID\\_Tuning](https://reprap.org/wiki/PID_Tuning), pristupljeno 27.12.2018.

## **PRILOZI**

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija
- III. Priručnik sa tiskanje PLA, PETG i ABS - a





卷之三

| 23  | Piezo20              | 1   |            |           | Piezo20-online        |
|-----|----------------------|-----|------------|-----------|-----------------------|
| 22  | E3D Titan            | 1   |            |           | E3D                   |
| 21  | Ventilator 30x30     | 1   |            |           | E3D                   |
| 20  | Nosač ventilatora    | 1   |            |           | E3D                   |
| 19  | Hladnja HotEnda      | 1   |            |           | E3D                   |
| 18  | Vijak M4X30          | 4   |            | 8. 8      | Vijci kranjec         |
| 17  | NEMA 17              | 1   |            |           | OUKEDA                |
| 16  | Dodatak zrcaljeno    | 1   |            | ABS       | 40x30x13              |
| 15  | Držač zrcaljeno      | 1   |            | ABS       | 39x36x36              |
| 14  | Sapnica 0. 4 mm      | 1   |            |           | E3D                   |
| 13  | HotEnd               | 1   |            |           | E3D                   |
| 12  | Ventilator dodatak   | 1   |            | ABS       | 40x30x13              |
| 11  | Ventilator 30x30     | 2   |            |           | Ruilian               |
| 10  | Držač ventilatora    | 1   |            | ABS       | 39x36x36              |
| 9   | Vijak M3X12          | 2   |            | 8. 8      | Vijci kranjec         |
| 8   | Vijak M5x40          | 2   |            | 8. 8      | Vijci kranjec         |
| 7   | Vijak M3X44          | 3   |            | 8. 8      | Vijci kranjec         |
| 6   | Vijak M4X15          | 4   |            | 8. 8      | Vijci kranjec         |
| 5   | Držač LMK10LUU       | 1   |            | ABS       | 44x30x20              |
| 4   | LMK10LUU             | 2   |            | Aluminij  | 30x30x55              |
| 3   | LMK10LUU             | 2   |            | Aluminij  | 30x30x55              |
| 2   | Ekstruder dodatak    | 1   | 002-002    | AlMg3     |                       |
| 1   | Prirbnica ekstrudera | 1   | 002-001    | AlMg3     |                       |
| Poz | Naziv dijela         | Kom | Crtež broj | Materijal | Dimenzi je/proizvodac |
|     |                      |     |            |           | Masa                  |

| POZ. | IZMENI BROJ JATA | NAM.      | OPIS         | DATA | PRIM. JAT | DNEVNI BROJ PREDMETA | NAZIV |
|------|------------------|-----------|--------------|------|-----------|----------------------|-------|
|      |                  |           |              |      | Potpis    |                      |       |
|      | Projektirao      | 03.01.19. | Mario Klasić |      |           |                      |       |
|      | Razradio         | 03.01.19. | Mario Klasić |      |           |                      |       |
|      | Urtao            | 03.01.19. | Mario Klasić |      |           |                      |       |
|      | Pregledao        | 03.01.19. | Bojan Jerbić |      |           |                      |       |
|      | Mentor           | 03.01.19. | Bojan Jerbić |      |           |                      |       |

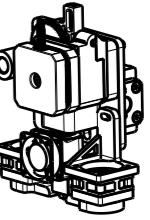
|                          |                |  |
|--------------------------|----------------|--|
| <i>ISO - tolerancije</i> | <i>Objekt:</i> | <i>Objekt broj:</i>                      |
|                          |                | <i>R<sub>o</sub> N<sub>o</sub> broj:</i> |

|  |                  |                                 |               |
|--|------------------|---------------------------------|---------------|
|  | <i>Napomena:</i> | <i>Smjer:</i><br>Računalno inž. | <i>Kopija</i> |
|--|------------------|---------------------------------|---------------|

|  |   |        |               |            |
|--|---|--------|---------------|------------|
|  | Materijal:  | Massa: | DIPLOMSKI RAD |            |
|  |   | Naziv: | Pozicija:     | Format: A3 |

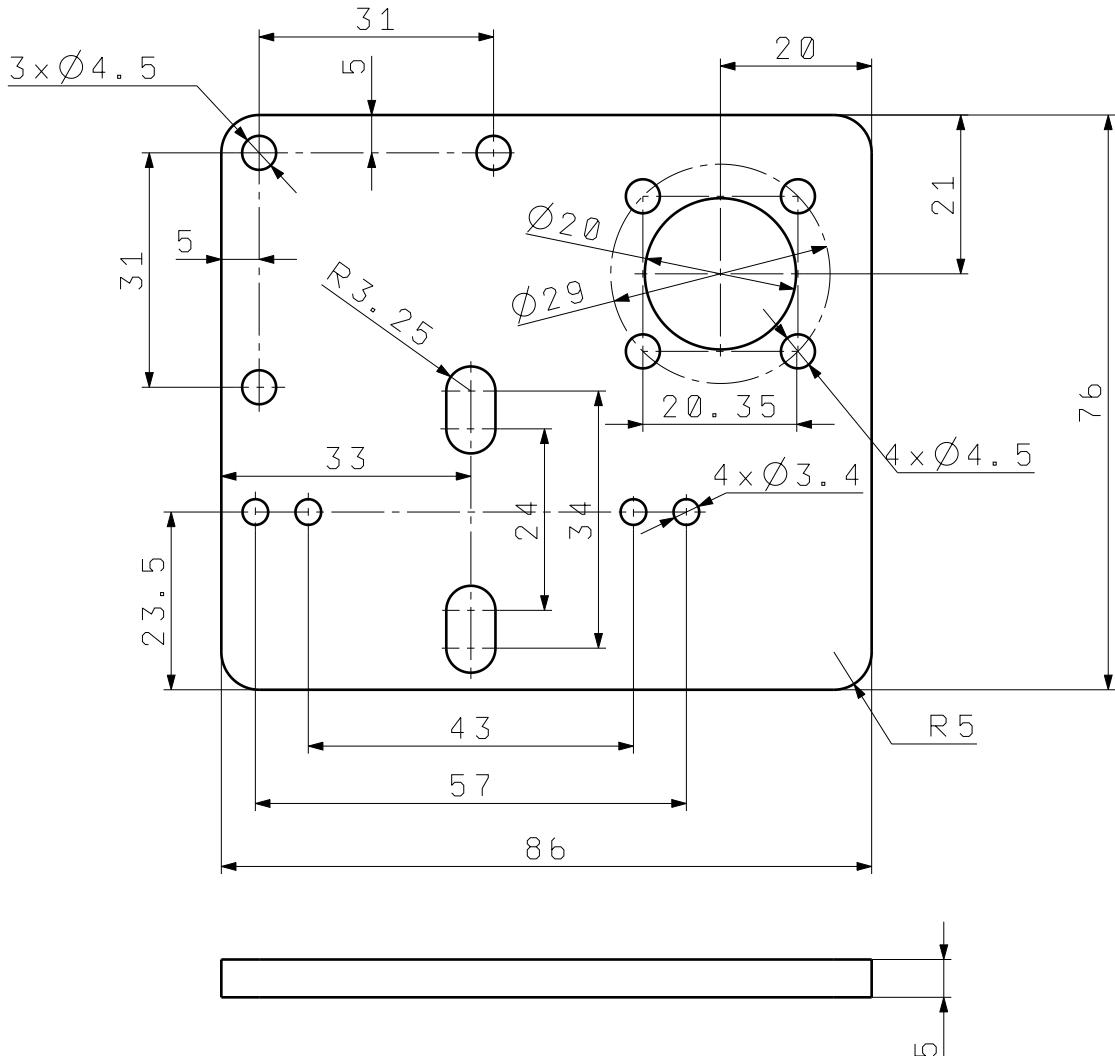
Mjøllo original Ekstruder sklop Listova: 30  
M 1:2

Crtež broj: 002 List: 2

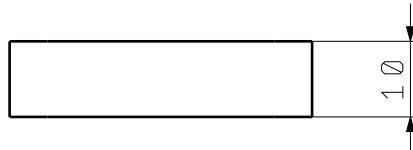
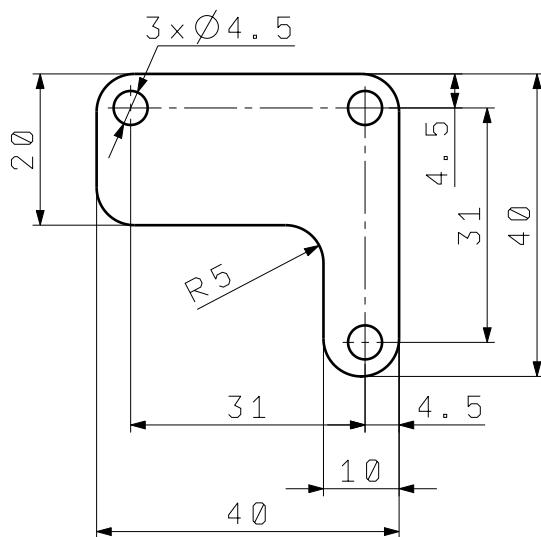


Studi i strojarstva

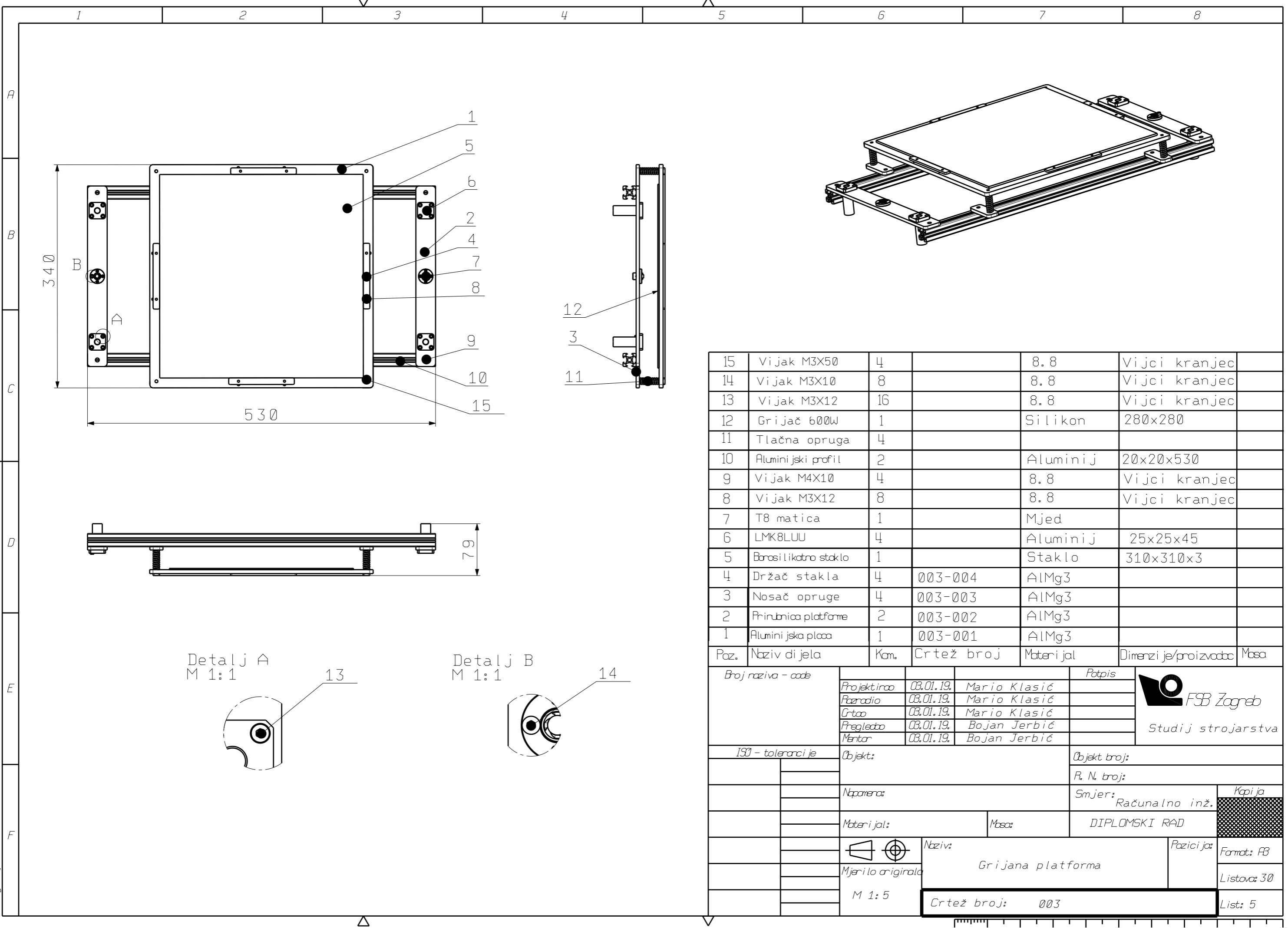
A horizontal scale bar with numerical markings at intervals of 10, starting from 0 and ending at 100. The markings are labeled as 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, and 100.



|   | Datum                 | Ime i prezime | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
|---|-----------------------|---------------|----------------|--|
| Projektirao   | 03.01.19.             | Mario Klasić  |                |  |
| Razradio  | 03.01.19.             | Mario Klasić  |                |  |
| Crtao   | 03.01.19.             | Mario Klasić  |                |  |
| Pregledao   | 03.01.19.             | Bojan Jerbić  |                |  |
| Mentor  | 03.01.19.             | Bojan Jerbić  |                |  |
| Objekt:   |                       |               | Objekt broj:   |  |
|   |                       |               | R. N. broj:    |  |
| Napomena:   |                       |               | Smjer:         | Kopija   |
|   |                       |               | Računalno inž. |  |
| Materijal:  | AlMg3                 | Masa: 0.08 Kg | DIPLOMSKI RAD  |  |
|  | Naziv:                |               | Pozicija:      | Format: A4   |
| Mjerilo originala   | Prirubnica ekstrudera |               | 1              |  |
| M 1:1   | Crtež broj:           | 002-001       |                | Listova: 30  |
|   |                       |               |                | List: 3  |



|   | Datum       | Ime i prezime     | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
|---|-------------|-------------------|----------------|--|
| Projektirao   | 03.01.19.   | Mario Klasić      |                |  |
| Razradio  | 03.01.19.   | Mario Klasić      |                |  |
| Crtao   | 03.01.19.   | Mario Klasić      |                |  |
| Pregledao   | 03.01.19.   | Bojan Jerbić      |                |  |
| Mentor  | 03.01.19.   | Bojan Jerbić      |                |  |
| Objekt:   |             |                   | Objekt broj:   |  |
|   |             |                   | R. N. broj:    |  |
| Napomena:   |             |                   | Smjer:         | Kopija   |
|   |             |                   | Računalno inž. |  |
| Materijal:  | ALMg3       | Masa: 0.025 Kg    | DIPLOMSKI RAD  |  |
|  | Naziv:      |                   | Pozicija:      | Format: A4   |
| Mjerilo originala   |             | Dodatak ekstruder | 2              | Listova: 30  |
| M 1:1   | Crtež broj: | 002-002           |                | List: 4  |



1 2 3 4 5 6 7 8

A

B

C

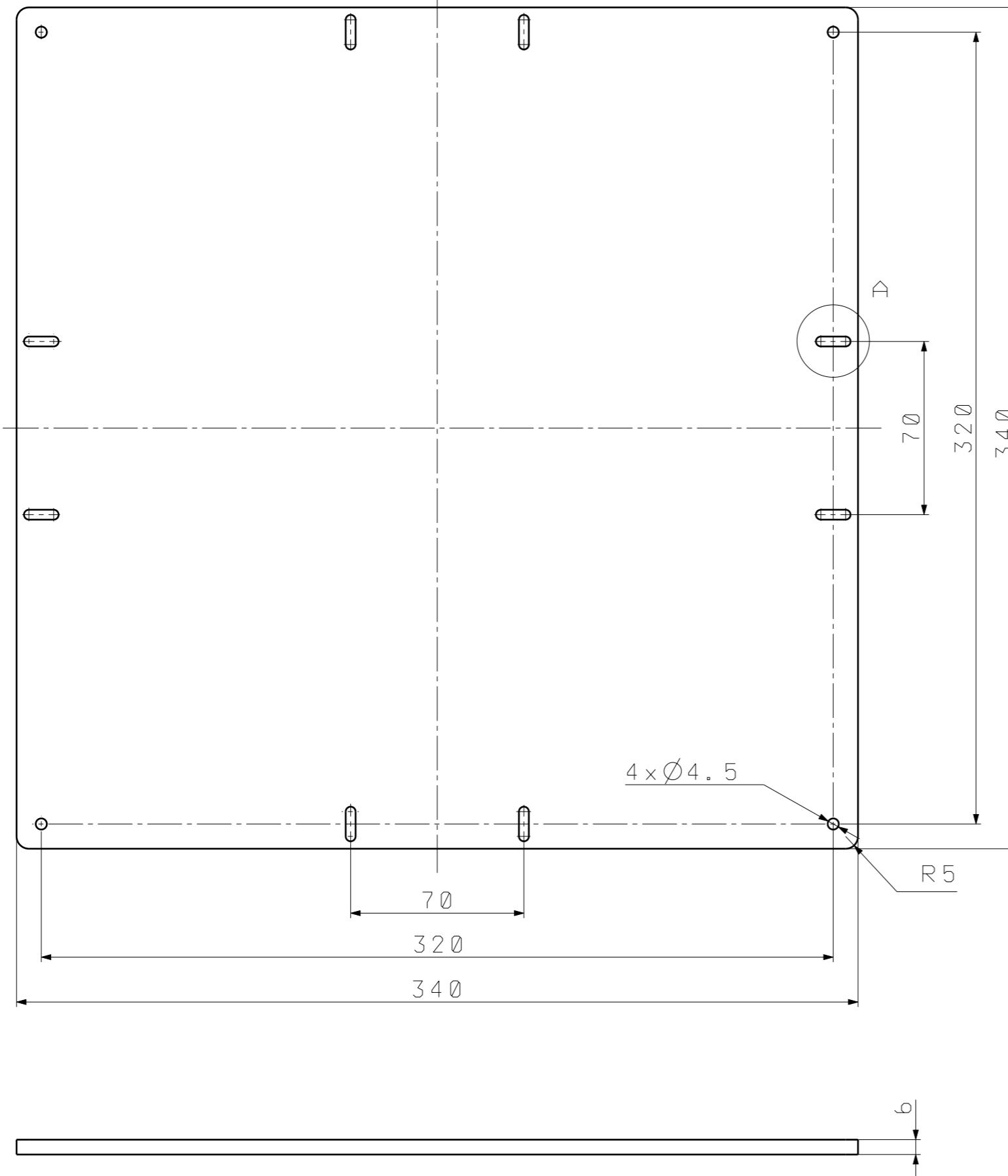
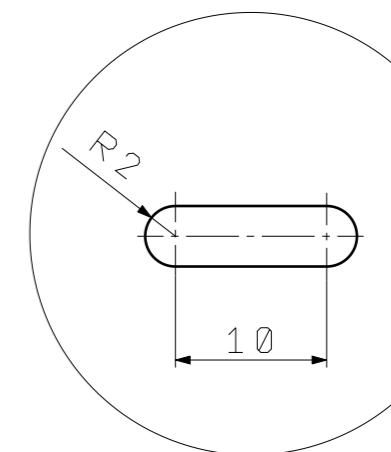
D

E

F



Detalj A  
M 2:1

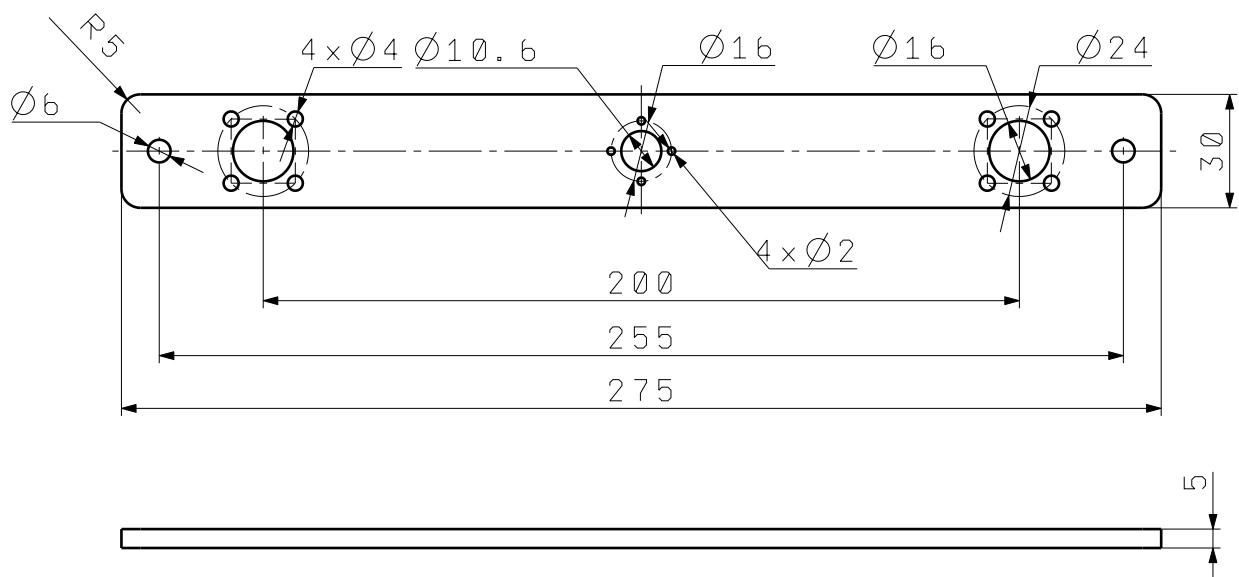


|             | Datum     | Ime i prezime | Potpis |
|-------------|-----------|---------------|--------|
| Projektirao | 03.01.19. | Mario Klasić  |        |
| Pozradio    | 03.01.19. | Mario Klasić  |        |
| Učao        | 03.01.19. | Mario Klasić  |        |
| Pregledao   | 03.01.19. | Bojan Jerbić  |        |
| Mentor      | 03.01.19. | Bojan Jerbić  |        |

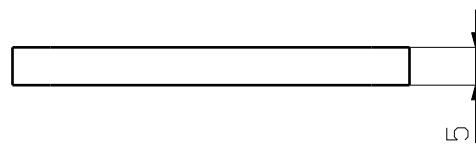
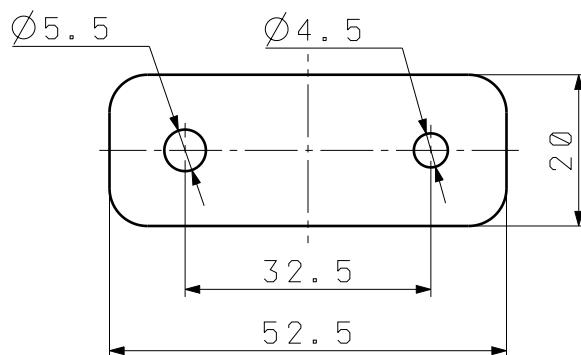
Objekt:  Objekt broj:   
R. N. broj:

|                                |                       |   |
|--------------------------------|-----------------------|---|
| Napomena: <input type="text"/> | Smjer: Računalno inž. | Kopija <input checked="" type="checkbox"/>        |
| Materijal: AlMg3               | Masa: 1.871 Kg        | DIPLOMSKI RAD <input checked="" type="checkbox"/> |

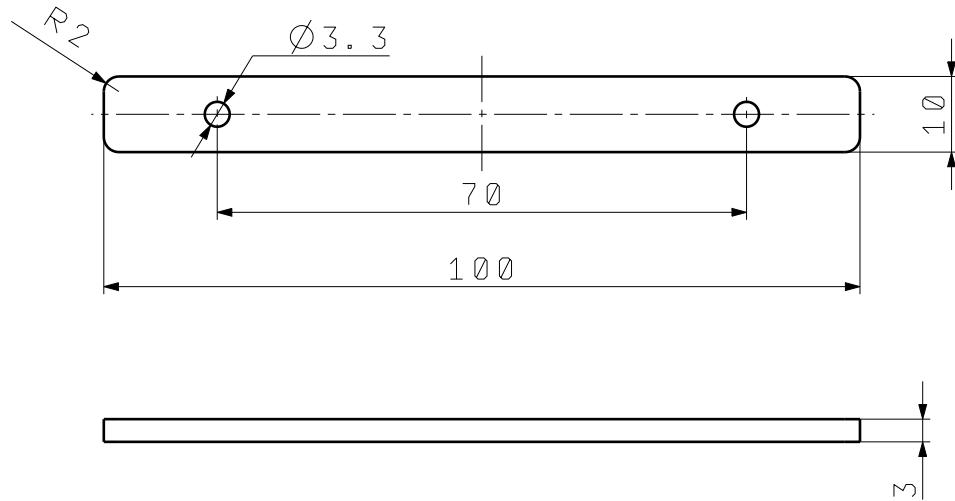
Mjeroilo originala: M 1:2 Naziv: Aluminijска ploča Pozicija: 1 Format: A3  
Crtež broj: 003-001 Listova: 30 List: 6



|   | Datum       | Ime i prezime          | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
|---|-------------|------------------------|----------------|--|
| Projektirao   | 03.01.19.   | Mario Klasić           |                |  |
| Razradio  | 03.01.19.   | Mario Klasić           |                |  |
| Crtao   | 03.01.19.   | Mario Klasić           |                |  |
| Pregledao   | 03.01.19.   | Bojan Jerbić           |                |  |
| Mentor  | 03.01.19.   | Bojan Jerbić           |                |  |
| Objekt:   |             |                        | Objekt broj:   |  |
|   |             |                        | R. N. broj:    |  |
| Napomena:   |             |                        | Smjer:         | Kopija   |
|   |             |                        | Računalno inž. |  |
| Materijal:  | AlMg3       | Masa: 0.103 Kg         | DIPLOMSKI RAD  |  |
|  | Naziv:      | Prirubnica Heated Beda |                | Format: A4   |
| Mjerilo originala   |             |                        | Pozicija:<br>2 | Listova: 30  |
| M 1:2   | Crtež broj: | 003-002                |                | List: 7  |



|   |                        |               |                |  |
|---|------------------------|---------------|----------------|--|
|   | Datum                  | Ime i prezime | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
| Projektirao   | 03.01.19.              | Mario Klasić  |                |  |
| Razradio  | 03.01.19.              | Mario Klasić  |                |  |
| Crtao   | 03.01.19.              | Mario Klasić  |                |  |
| Pregledao   | 03.01.19.              | Bojan Jerbić  |                |  |
| Mentor  | 03.01.19.              | Bojan Jerbić  |                |  |
| Objekt:   |                        | Objekt broj:  |                |  |
|   |                        | R. N. broj:   |                |  |
| Napomena:   |                        | Smjer:        | Računalno inž. | Kopija   |
| Materijal: AlMg3  | Masa: 0.013 Kg         | DIPLOMSKI RAD |                |  |
|  | Naziv:                 |               | Pozicija:<br>3 | Format: A4   |
| Mjerilo originala<br>M 1:1  | Nosač opruge           |               |                | Listova: 30  |
|   | Crtež broj:<br>003-003 |               |                | List: 8  |



|   |                        |               |                |  |
|---|------------------------|---------------|----------------|--|
|   | Datum                  | Ime i prezime | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
| Projektirao   | 03.01.19.              | Mario Klasić  |                |  |
| Razradio  | 03.01.19.              | Mario Klasić  |                |  |
| Crtao   | 03.01.19.              | Mario Klasić  |                |  |
| Pregledao   | 03.01.19.              | Bojan Jerbić  |                |  |
| Mentor  | 03.01.19.              | Bojan Jerbić  |                |  |
| Objekt:   |                        | Objekt broj:  |                |  |
|   |                        | R. N. broj:   |                |  |
| Napomena:   |                        | Smjer:        | Računalno inž. | Kopija   |
| Materijal: AlMg3  | Masa: 0.008 Kg         | DIPLOMSKI RAD |                |  |
|  | Naziv:<br>Držač stakla |               | Pozicija:<br>4 | Format: A4   |
| Mjerilo originala   |                        |               |                | Listova: 30  |
| M 1:1   | Crtež broj:<br>003-004 |               |                | List: 9  |

1                    2                    3                    4                    5                    6                    7                    8

A

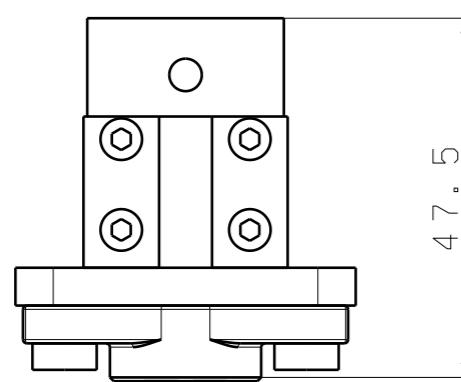
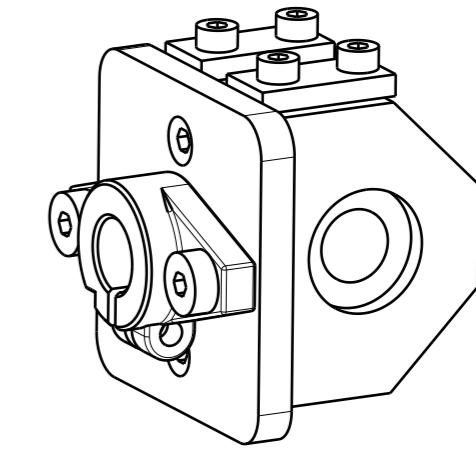
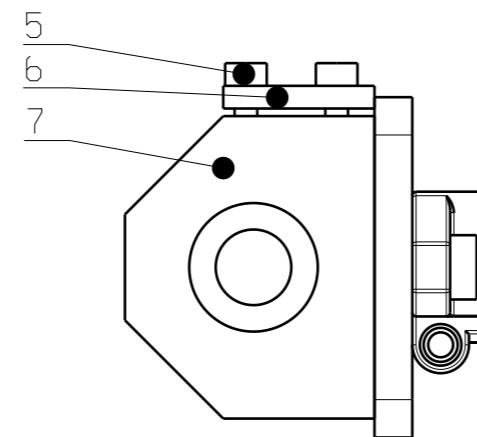
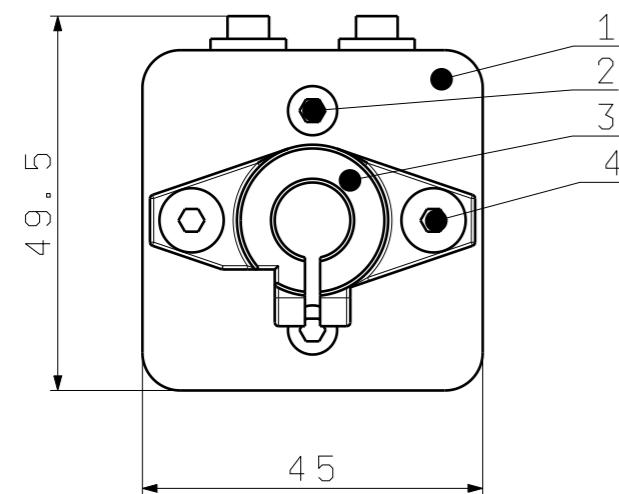
6

6

4

4

八



| Poz. | Naziv dijela   | Kom. | Crtež broj | Materijal | Dimenziјe/proizvodac | Masa |
|------|----------------|------|------------|-----------|----------------------|------|
| 7    | AGC-10C        | 1    |            | Aluminij  | Matis                |      |
| 6    | AGC10C dodatak | 2    |            | Aluminij  | 20x10x3              |      |
| 5    | Vijak M3X10    | 4    |            | 8.8       | Vijci kranjec        |      |
| 4    | Vijak M5X10    | 2    |            | 8.8       | Vijci kranjec        |      |
| 3    | SHF10          | 1    |            | Aluminij  | 43x30x10             |      |
| 2    | Vijak M5X12    | 2    |            | 8.8       | Vijci kranjec        |      |
| 1    | Prirubnica XY  | 1    | 004-001    | AlMg3     |                      |      |
| Poz. | Naziv dijela   | Kom. | Crtež broj | Materijal | Dimenziјe/proizvodac | Masa |

| <i>Broj raziva - oček</i> | <i>Opis</i>            |
|---------------------------|------------------------|
| Projektirao               | 03.01.19. Mario Klasić |
| Prazeradio                | 03.01.19. Mario Klasić |
| Urtao                     | 03.01.19. Mario Klasić |
| Pregledao                 | 03.01.19. Bojan Jerbić |
| Mentor                    | 03.01.19. Bojan Jerbić |

*ISO - tolerancije* Objekt: Objekt broj:

R. N. broj:

|  |                  |                        |               |
|--|------------------|------------------------|---------------|
|  | <i>Napomena:</i> | <i>Smjer:</i>          | <i>Kopija</i> |
|  |                  | <i>Računarsko inž.</i> |               |

Raccolta n. 112.

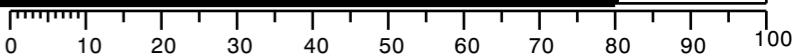
*Náter i ja:* *Masa:* **DIPLOMSKI RAD**

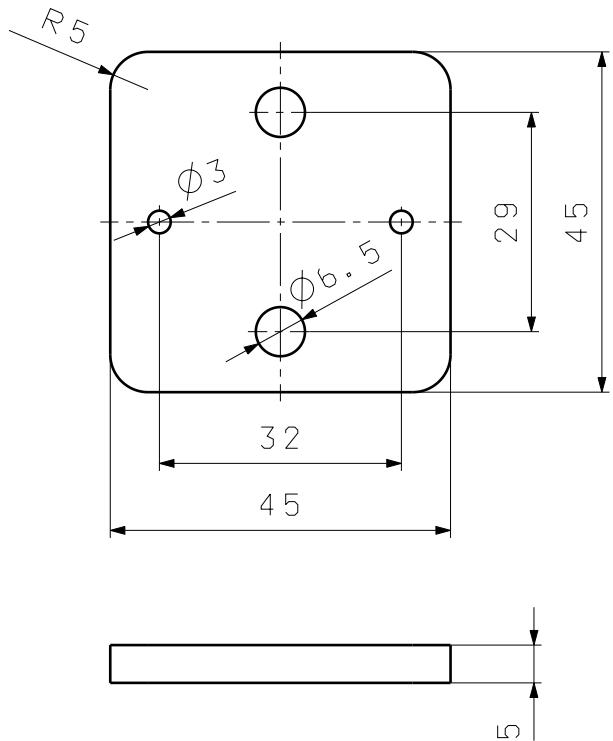
|  |  |  |        |           |            |
|--|--|--|--------|-----------|------------|
|  |  |  | Naziv: | Pozicija: | Format: FB |
|--|--|--|--------|-----------|------------|

Mjerilo originala AGC-10C sklop / istava: 30

M 1:1      *Scutellaria* sp.

Lrtež broj: 004 List: 10

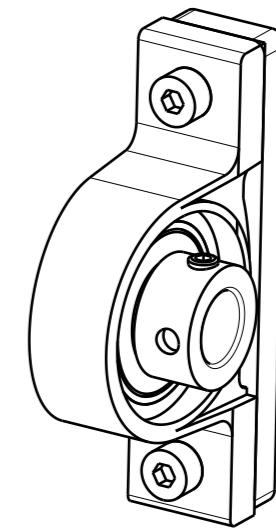
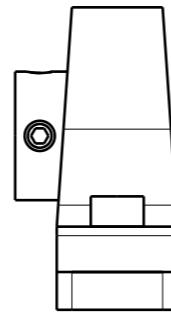
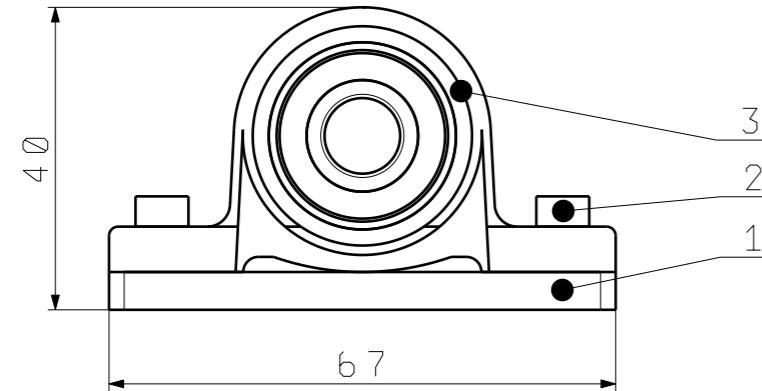




|   |                |               |                |  |
|---|----------------|---------------|----------------|--|
|   | Datum          | Ime i prezime | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
| Projektirao   | 03.01.19.      | Mario Klasić  |                |  |
| Razradio  | 03.01.19.      | Mario Klasić  |                |  |
| Crtao   | 03.01.19.      | Mario Klasić  |                |  |
| Pregledao   | 03.01.19.      | Bojan Jerbić  |                |  |
| Mentor  | 03.01.19.      | Bojan Jerbić  |                |  |
| Objekt:   |                | Objekt broj:  |                |  |
|   |                | R. N. broj:   |                |  |
| Napomena:   |                | Smjer:        | Računalno inž. | Kopija   |
| Materijal: AlMg3  | Masa: 0,026 Kg | DIPLOMSKI RAD |                |  |
|  | Naziv:         |               | Pozicija:      | Format: A4   |
| Mjerilo originala   |                | Prirubnica XY | 1              | Listova: 30  |
| M 1:1   | Crtež broj:    | 004-001       |                | List: 11   |

1 2 3 4 5 6 7 8

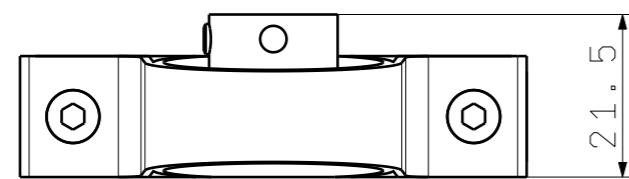
A



B

C

D

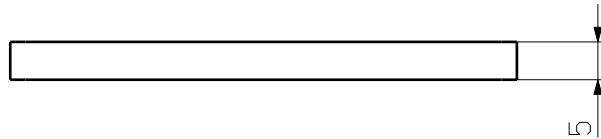
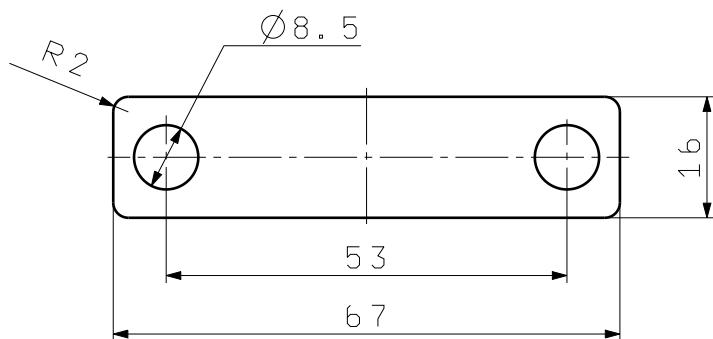


| Poz. | Naziv dijela  | Kom. | Crtež broj | Materijal | Dimenzi je     |
|------|---------------|------|------------|-----------|----------------|
| 3    | KP000         | 1    |            |           | 67x35x21.5     |
| 2    | Vijak M6X15   | 2    |            | 8.8       | Vijaci kranjec |
| 1    | KP000 dodatak | 1    | 005-001    |           |                |
|      |               |      |            |           | Masa           |

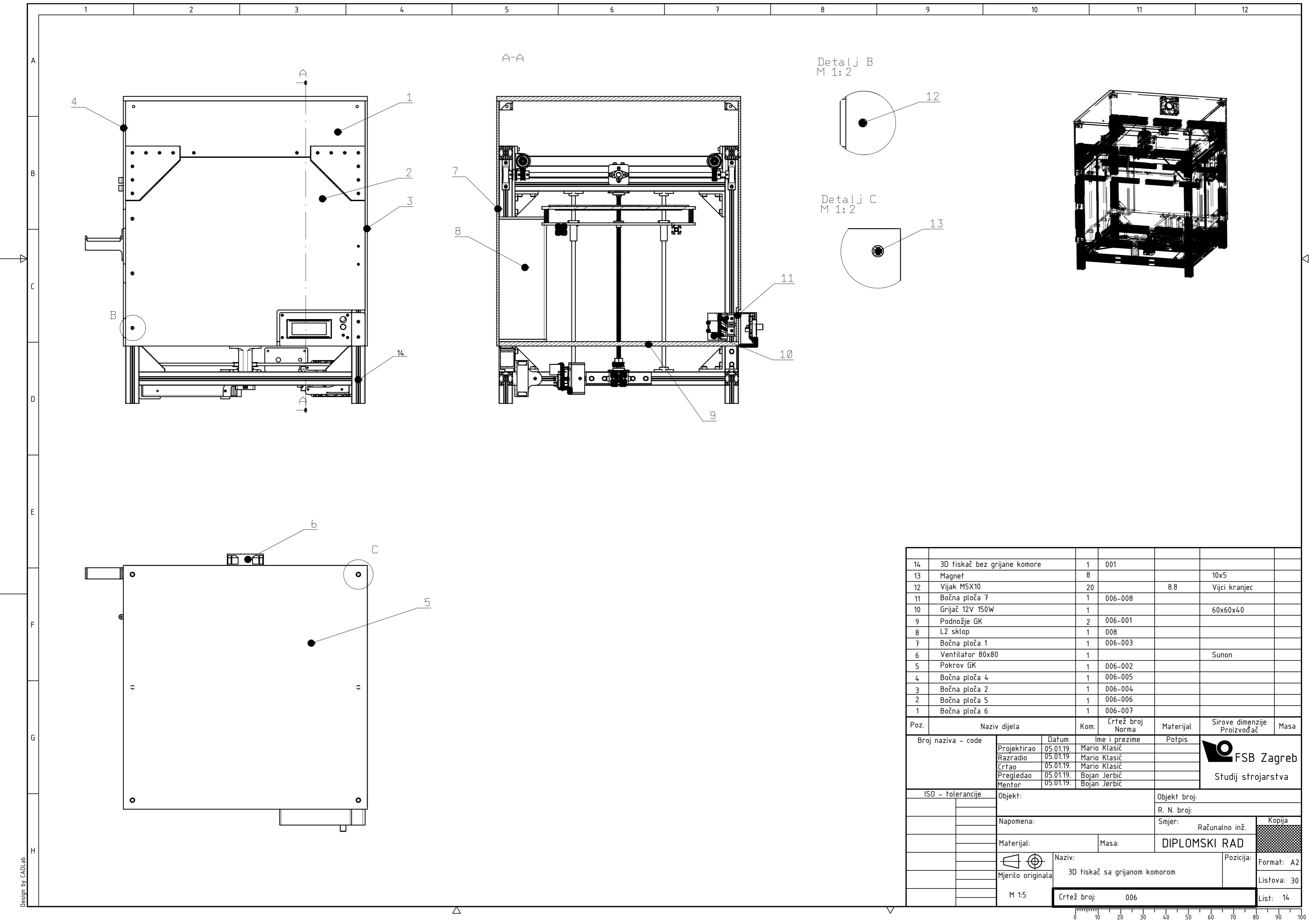
| Broj naziva - oznake |             |           |              | Potpis |
|----------------------|-------------|-----------|--------------|--------|
|                      | Projektirao | 03.01.19. | Mario Klasić |        |
|                      | Pozradio    | 03.01.19. | Mario Klasić |        |
|                      | Crtao       | 03.01.19. | Mario Klasić |        |
|                      | Pregledao   | 03.01.19. | Bojan Jerbić |        |
|                      | Mentor      | 03.01.19. | Bojan Jerbić |        |

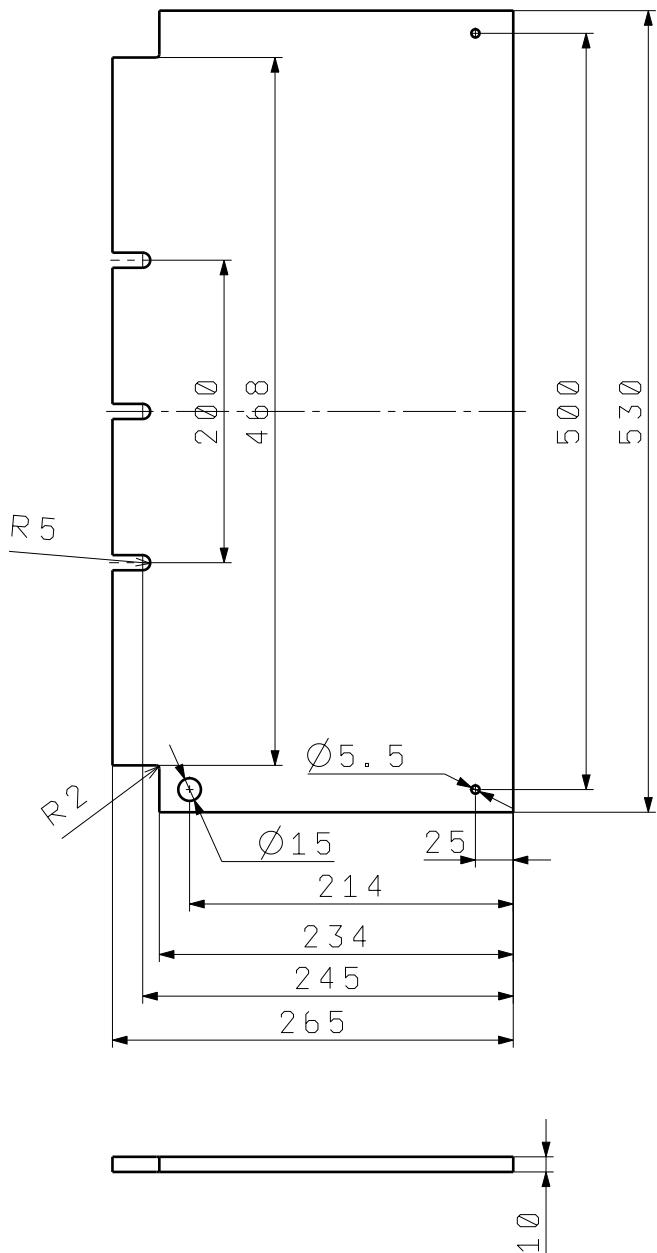
 FSB Zagreb  
Studij strojarstva

| ISJ - tolerancije | Objekt: | Objekt broj: | R. N. broj: | Smjer:   |                |
|-------------------|---------|--------------|-------------|--|----------------|
|                   |         |              |             | Napomena:  | Računalno inž. |
|                   |         |              |             | Materijal:   |                |
|                   |         |              |             | Masa:  | DIPLOMSKI RAD  |
|                   |         |              |             |  Naziv: | Pozicija:      |
|                   |         |              |             | KP000 sklop  | Format: A3     |
|                   |         |              |             | Mjeroilo originala   | Listova: 30    |
|                   |         |              |             | M 1: 1   | List: 12       |
|                   |         |              |             | Crtež broj: 005  |                |
|                   |         |              |             |  |                |

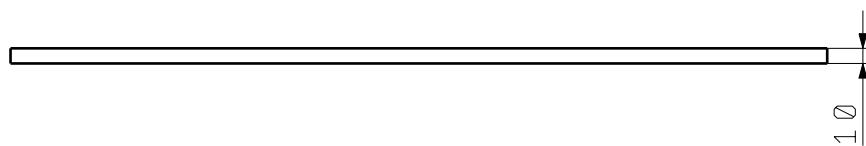
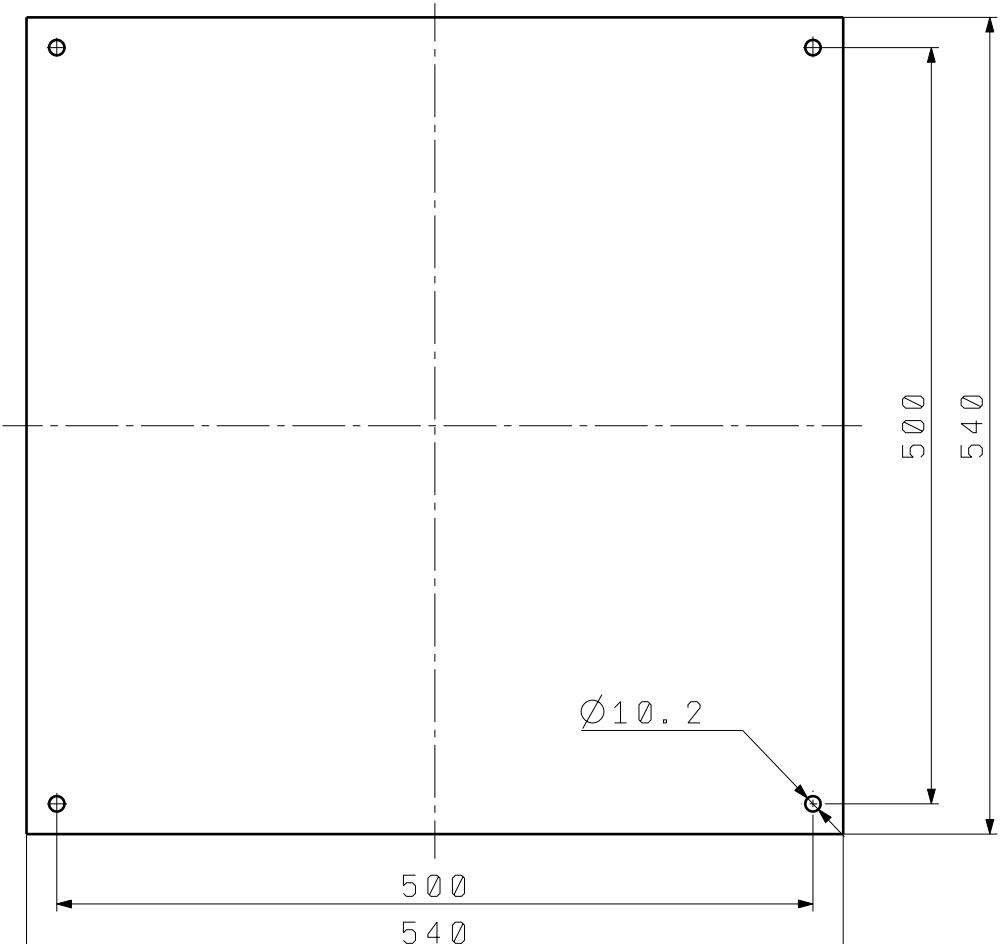


|   |                         |                |  |
|---|-------------------------|----------------|--|
| Datum   | Ime i prezime           | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
| Projektirao   | 03.01.19.               | Mario Klasić   |  |
| Razradio  | 03.01.19.               | Mario Klasić   |  |
| Crtao   | 03.01.19.               | Mario Klasić   |  |
| Pregledao   | 03.01.19.               | Bojan Jerbić   |  |
| Mentor  | 03.01.19.               | Bojan Jerbić   |  |
| Objekt:   | Objekt broj:            |                |  |
|   | R. N. broj:             |                |  |
| Napomena:   | Smjer:                  | Računalno inž. | Kopija   |
| Materijal: AlMg3  | Masa: 0.013 Kg          | DIPLOMSKI RAD  |  |
|  | Naziv:<br>KP000 dodatak | Pozicija:<br>1 | Format: A4   |
| Mjerilo originala<br>M 1:1  |                         |                | Listova: 30  |
|   | Crtež broj:<br>005-001  |                | List: 13   |

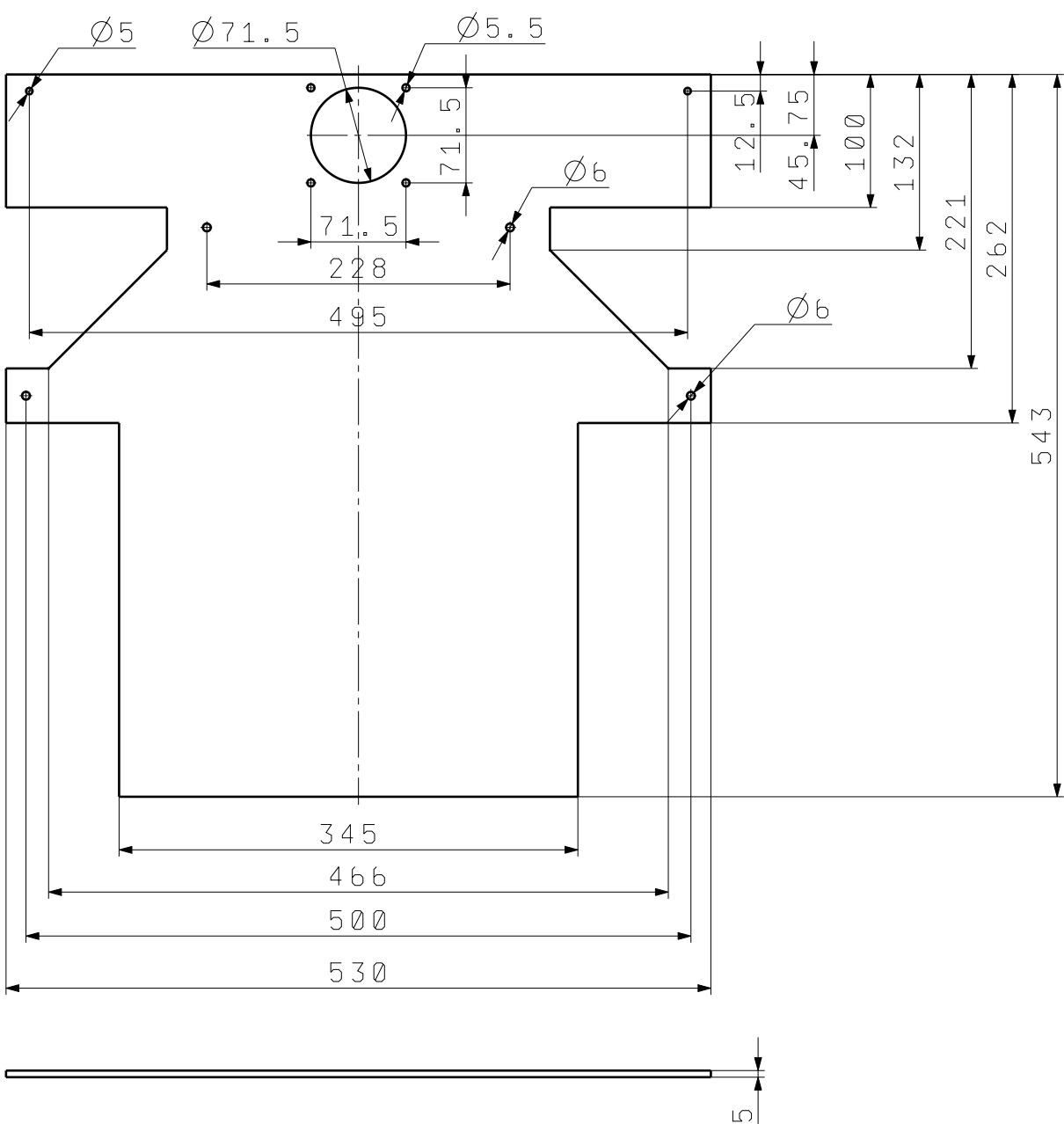




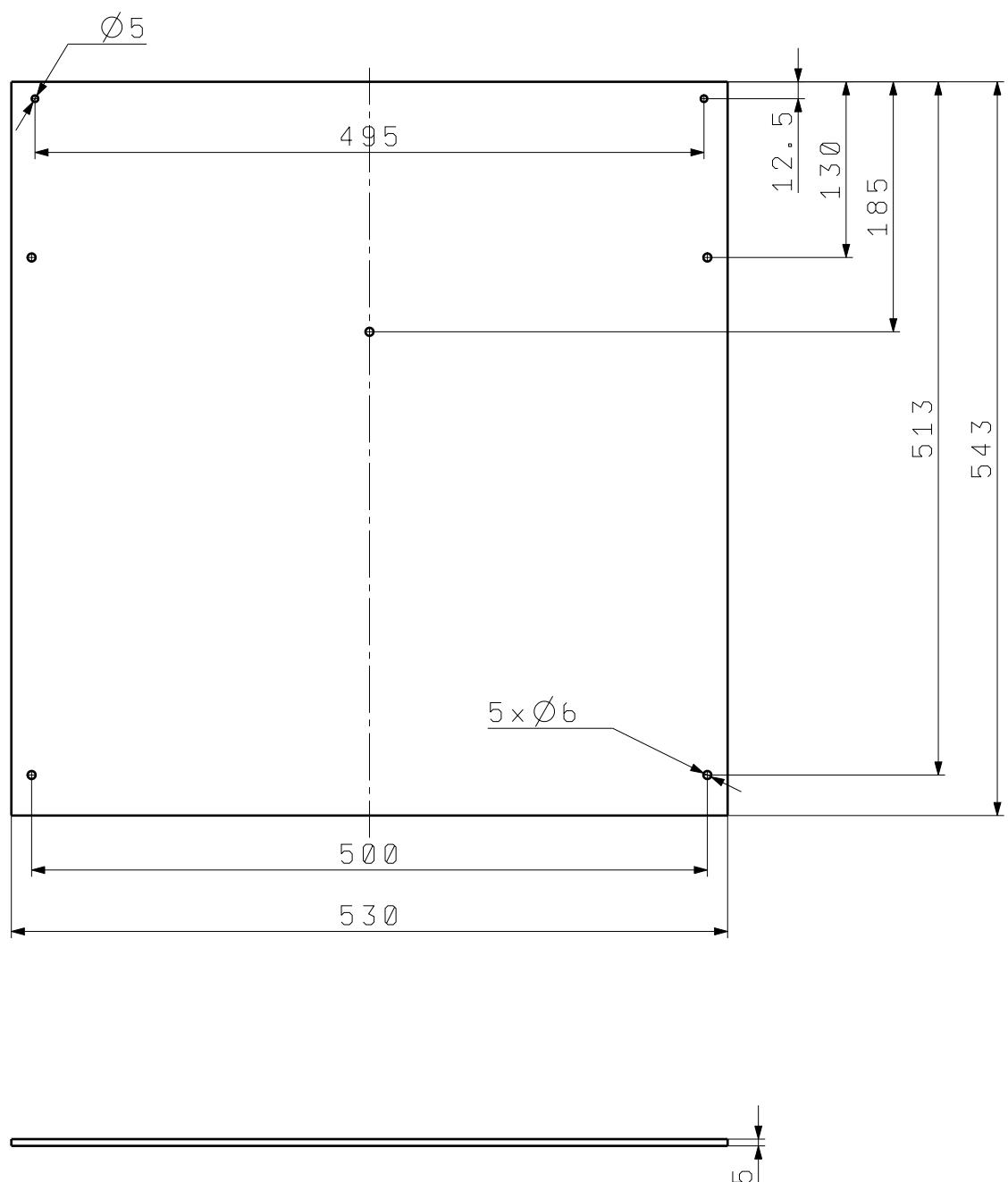
|   | Datum         | Ime i prezime  | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
|---|---------------|----------------|----------------|--|
| Projektirao   | 03.01.19.     | Mario Klasić   |                |  |
| Razradio  | 03.01.19.     | Mario Klasić   |                |  |
| Crtao   | 03.01.19.     | Mario Klasić   |                |  |
| Pregledao   | 03.01.19.     | Bojan Jerbić   |                |  |
| Mentor  | 03.01.19.     | Bojan Jerbić   |                |  |
| Objekt:   |               |                | Objekt broj:   |  |
|   |               |                | R. N. broj:    |  |
| Napomena:   |               |                | Smjer:         | Kopija   |
|   |               |                | Računalno inž. |  |
| Materijal:  | Perspex akril | Masa: 1.651 Kg | DIPLOMSKI RAD  |  |
|  | Naziv:        |                | Pozicija:      | Format: A4   |
| Mjerilo originala   |               | Podnožje GK    | 9              | Listova: 30  |
| M 1:5   | Crtež broj:   | 006-001        |                | List: 15   |



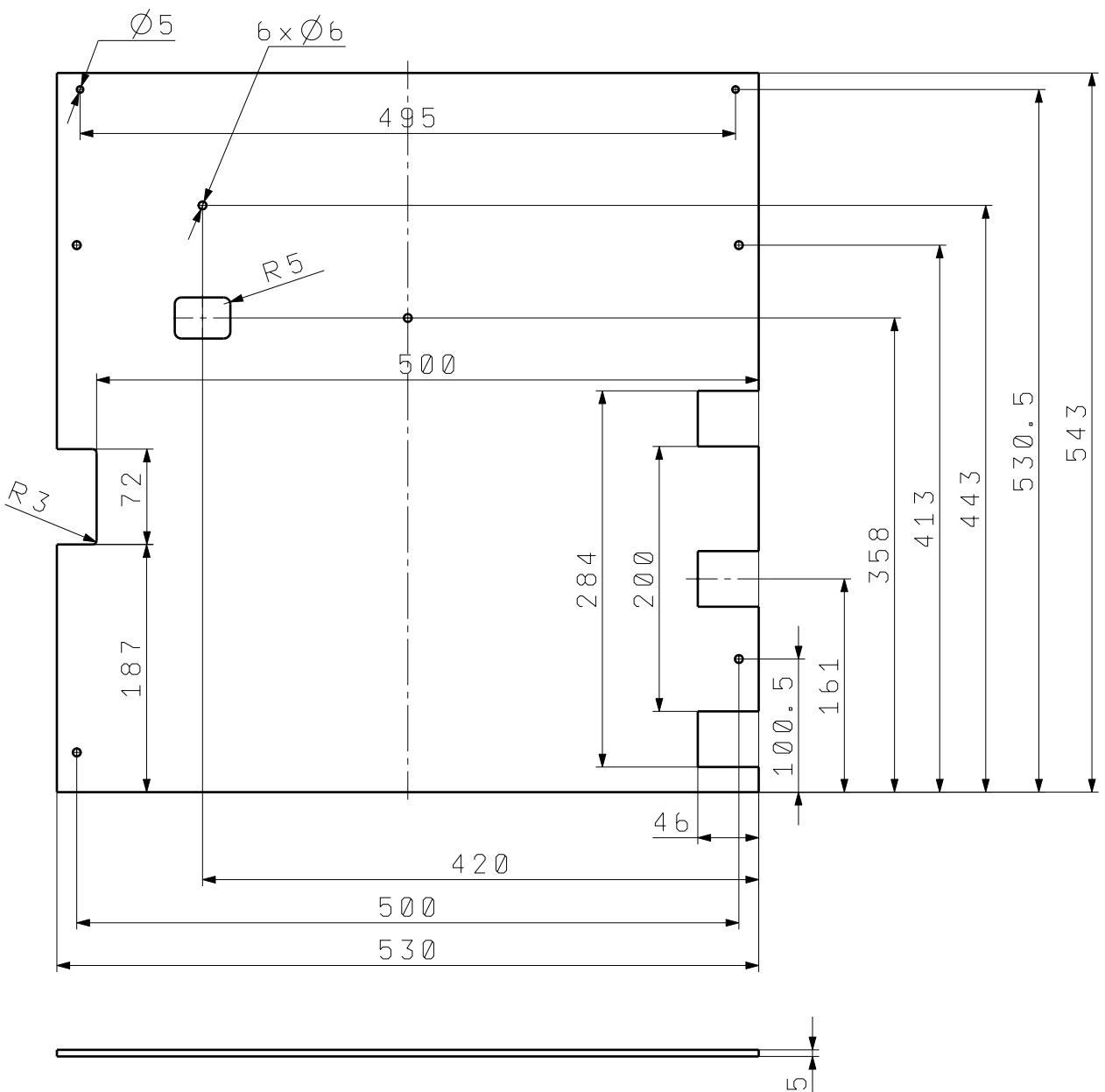
|   |                        |                |                |  |
|---|------------------------|----------------|----------------|--|
| Datum:  | Datum:                 | Ime i prezime: | Potpis:        |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
| Projektirao   | 03.01.19.              | Mario Klasić   |                |  |
| Razradio  | 03.01.19.              | Mario Klasić   |                |  |
| Crtao   | 03.01.19.              | Mario Klasić   |                |  |
| Pregledao   | 03.01.19.              | Bojan Jerbić   |                |  |
| Mentor  | 03.01.19.              | Bojan Jerbić   |                |  |
| Objekt:   |                        | Objekt broj:   |                |  |
|   |                        | R. N. broj:    |                |  |
| Napomena:   |                        | Smjer:         | Računalno inž. | Kopija   |
| Materijal: Perspex akril  | Masa: 3.4 Kg           | DIPLOMSKI RAD  |                |  |
|  | Naziv:                 | Pokrov GK      | Pozicija:<br>5 | Format: A4   |
| Mjerilo originala<br>M 1:5  | Crtež broj:<br>006-002 |                |                | Listova: 30  |
|   |                        |                |                | List: 16   |



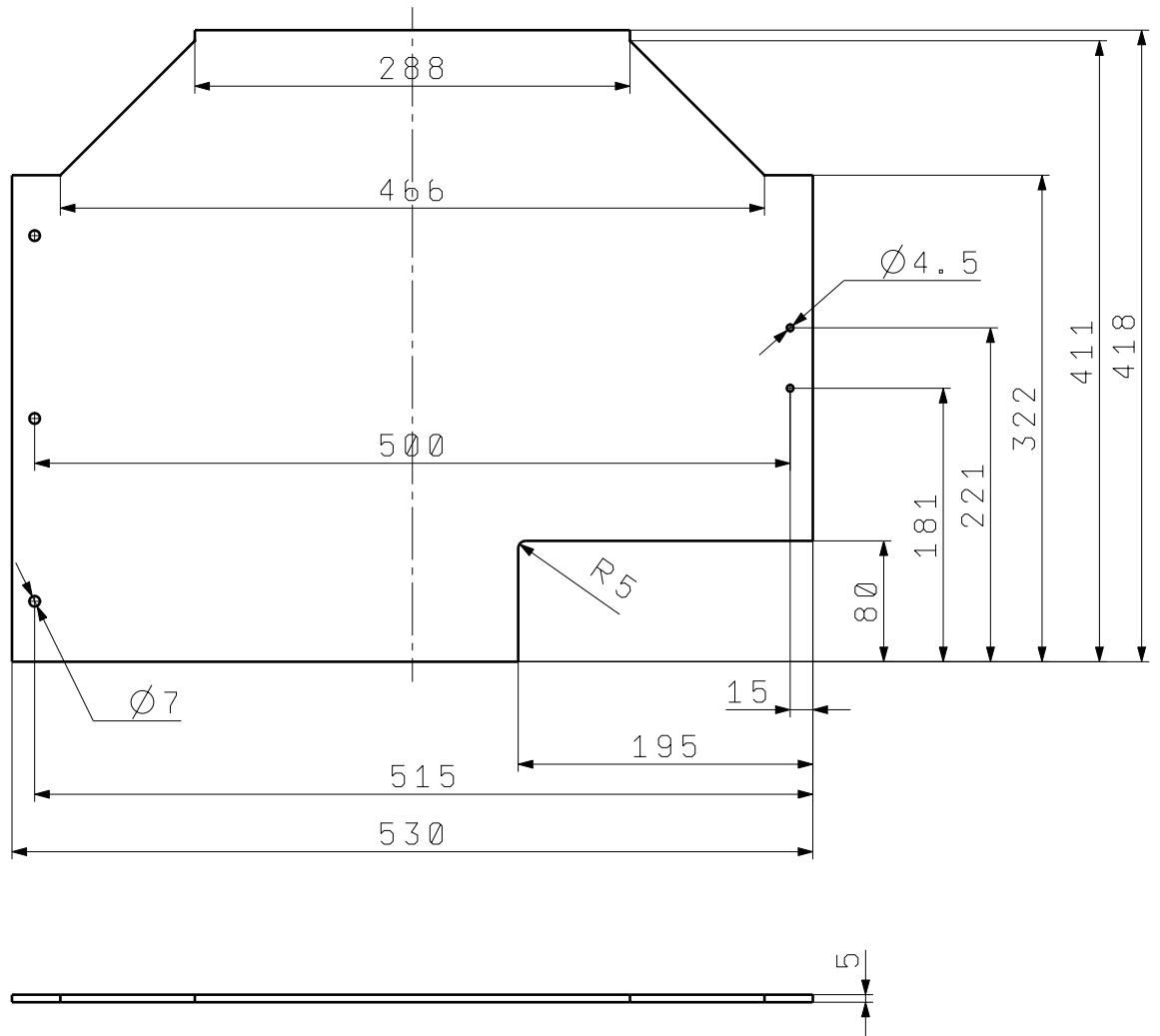
|                   | Datum         | Ime i prezime           | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
|-------------------|---------------|-------------------------|----------------|--|
| Projektirao       | 03.01.19.     | Mario Klasić            |                |  |
| Razradio          | 03.01.19.     | Mario Klasić            |                |  |
| Crtao             | 03.01.19.     | Mario Klasić            |                |  |
| Pregledao         | 03.01.19.     | Bojan Jerbić            |                |  |
| Mentor            | 03.01.19.     | Bojan Jerbić            |                |  |
| Objekt:           |               |                         | Objekt broj:   |  |
| Napomena:         |               |                         | R. N. broj:    |  |
| Materijal:        | Perspex akril | Masa: 1.26 Kg           | Smjer:         | Kopija   |
|                   |               |                         | Računalno inž. |  |
| Mjerilo originala | M 1: 5        | Naziv:<br>Bočna ploča 1 | Pozicija:<br>7 | Format: A4   |
|                   |               | Crtež broj:<br>006-003  |                | Listova: 30  |
|                   |               |                         |                | List: 17   |

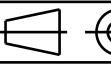


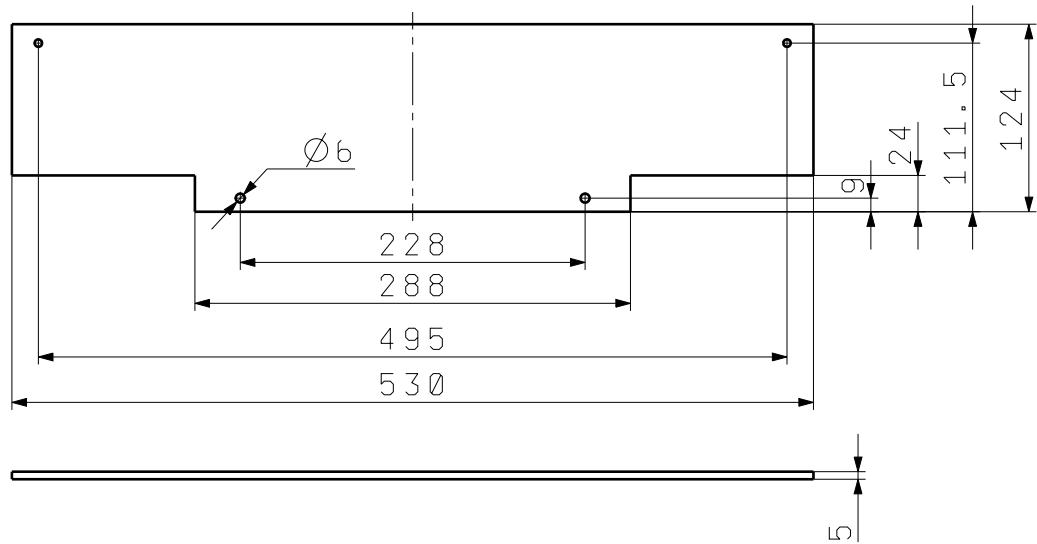
|   | Datum         | Ime i prezime | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
|---|---------------|---------------|----------------|--|
| Projektirao   | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Razradio  | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Crtao   | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Pregledao   | 03.01.19.     | Bojan Jerbić  |                |  |
| Mentor  | 03.01.19.     | Bojan Jerbić  |                |  |
| Objekt:   |               |               | Objekt broj:   |  |
|   |               |               | R. N. broj:    |  |
| Napomena:   |               |               | Smjer:         | Kopija   |
|   |               |               | Računalno inž. |  |
| Materijal:  | Perspex akril | Masa: 1.7 Kg  | DIPLOMSKI RAD  |  |
|  | Naziv:        |               | Pozicija:      | Format: A4   |
| Mjerilo originala   |               | Bočna ploča 2 | 3              |  |
| M 1:5   | Crtež broj:   | 006-004       |                | Listova: 30  |
|   |               |               |                | List: 18   |



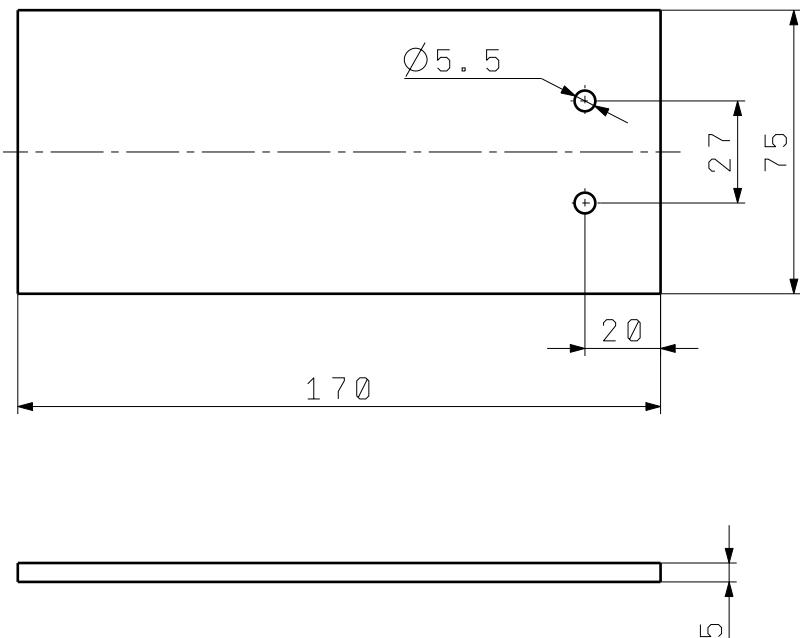
|   |                         |                                |                |  |
|---|-------------------------|--------------------------------|----------------|--|
|   | Datum                   | Ime i prezime                  | Potpis         | <br><b>FSB Zagreb</b><br>Studij strojarstva |
| Projektirao   | 03.01.19.               | Mario Klasić                   |                |  |
| Razradio  | 03.01.19.               | Mario Klasić                   |                |  |
| Crtao   | 03.01.19.               | Mario Klasić                   |                |  |
| Pregledao   | 03.01.19.               | Bojan Jerbić                   |                |  |
| Mentor  | 03.01.19.               | Bojan Jerbić                   |                |  |
| Objekt:   |                         | Objekt broj:                   |                |  |
|   |                         | R. N. broj:                    |                |  |
| Napomena:   |                         | Smjer:<br>Računalno inž.       | Kopija         |  |
| Materijal: Perspex akril  |                         | Masa: 1.67 Kg<br>DIPLOMSKI RAD |                |  |
| <br>Mjerilo<br>originala | Naziv:<br>Bočna ploča 4 |                                | Pozicija:<br>4 | Format: A4   |
|   | Crtež<br>broj: 006-005  |                                |                | Listova: 30  |
| M 1:5   |                         |                                |                | List: 19   |



|   |               |                |                |   |
|---|---------------|----------------|----------------|---|
| Datum:  | Datum:        | Ime i prezime: | Potpis:        |  <b>FSB Zagreb</b><br>Studij strojarstva |
| Projektirao   | 03.01.19.     | Mario Klasić   |                |   |
| Razradio  | 03.01.19.     | Mario Klasić   |                |   |
| Crtao   | 03.01.19.     | Mario Klasić   |                |   |
| Pregledao   | 03.01.19.     | Bojan Jerbić   |                |   |
| Mentor  | 03.01.19.     | Bojan Jerbić   |                |   |
| Objekt:   |               | Objekt broj:   |                |   |
|   |               | R. N. broj:    |                |   |
| Napomena:   |               | Smjer:         | Računalno inž. | Kopija  |
| Materijal:  | Perspex akril | Masa:          | 1.14 Kg        | DIPLOMSKI RAD   |
|  | Naziv:        | Bočna ploča 5  | Pozicija:      | Format: A4  |
| Mjerilo originala   |               |                | 2              | Listova: 30   |
| M 1: 5  | Crtež broj:   | 006-006        |                | List: 20  |

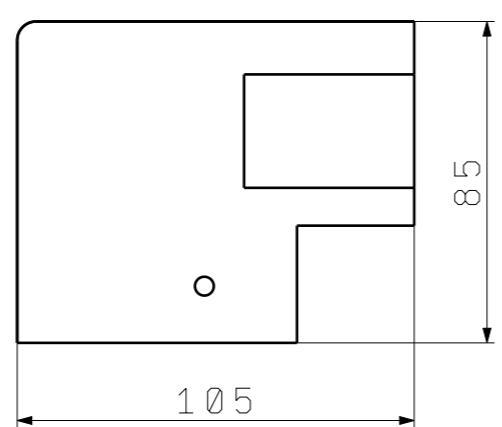
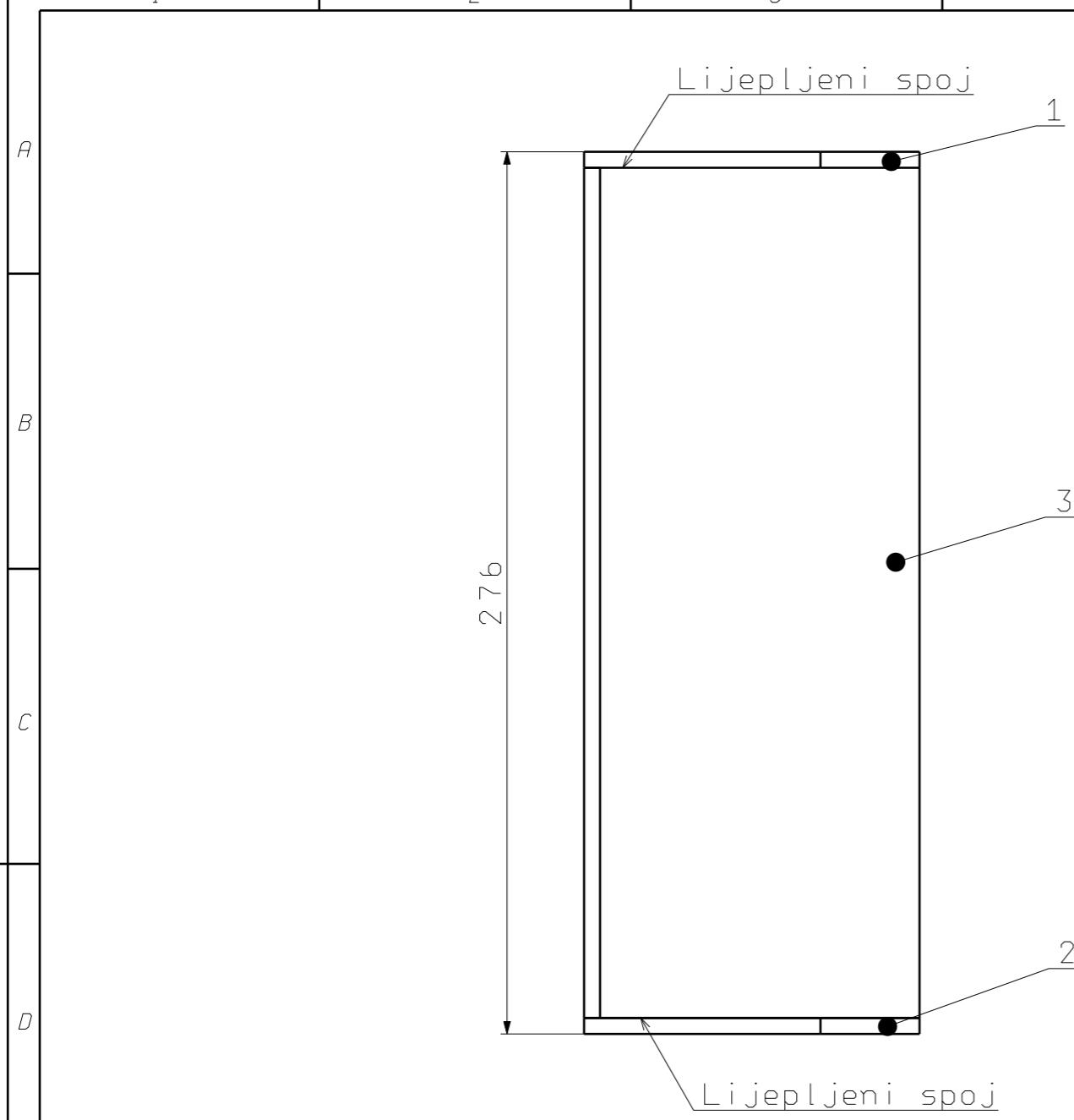


|   |   |               |                |  |
|---|---|---------------|----------------|--|
|   | Datum   | Ime i prezime | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
| Projektirao   | 03.01.19.   | Mario Klasić  |                |  |
| Razradio  | 03.01.19.   | Mario Klasić  |                |  |
| Crtao   | 03.01.19.   | Mario Klasić  |                |  |
| Pregledao   | 03.01.19.   | Bojan Jerbić  |                |  |
| Mentor  | 03.01.19.   | Bojan Jerbić  |                |  |
| Objekt:   |   | Objekt broj:  |                |  |
|   |   | R. N. broj:   |                |  |
| Napomena:   |   | Smjer:        | Računalno inž. | Kopija   |
| Materijal:  | Perspex akril   | Masa:         | 0.36 Kg        | DIPLOMSKI RAD  |
|  |  | Naziv:        |                | Format: A4   |
| Mjerilo originala   |   | Bočna ploča b | Pozicija:<br>1 | Listova: 30  |
| M 1:5   | Crtež broj:<br>006-007  |               |                | List: 21   |

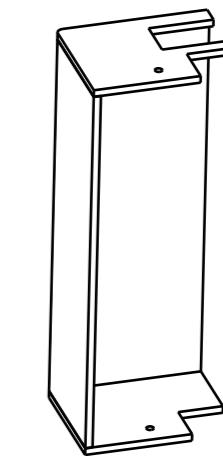


|   |                     |                 |  |
|---|---------------------|-----------------|--|
| Datum   | Ime i prezime       | Potpis          |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
| Projektirao   | 03.01.19.           | Mario Klasić    |  |
| Razradio  | 03.01.19.           | Mario Klasić    |  |
| Crtao   | 03.01.19.           | Mario Klasić    |  |
| Pregledao   | 03.01.19.           | Bojan Jerbić    |  |
| Mentor  | 03.01.19.           | Bojan Jerbić    |  |
| Objekt:   | Objekt broj:        |                 |  |
|   | R. N. broj:         |                 |  |
| Napomena:   | Smjer:              | Računalno inž.  | Kopija   |
| Materijal: Perspex akril  | Masa: 0.07 Kg       | DIPLOMSKI RAD   |  |
|  | Naziv:              |                 | Format: A4   |
| Mjerilo originala   | Bočna ploča 7       | Pozicija:<br>11 | Listova: 30  |
| M 1:2   | Crtež broj: 006-008 |                 | List: 22   |

1 2 3 4 5 6 7 8



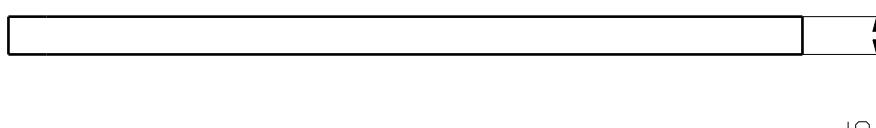
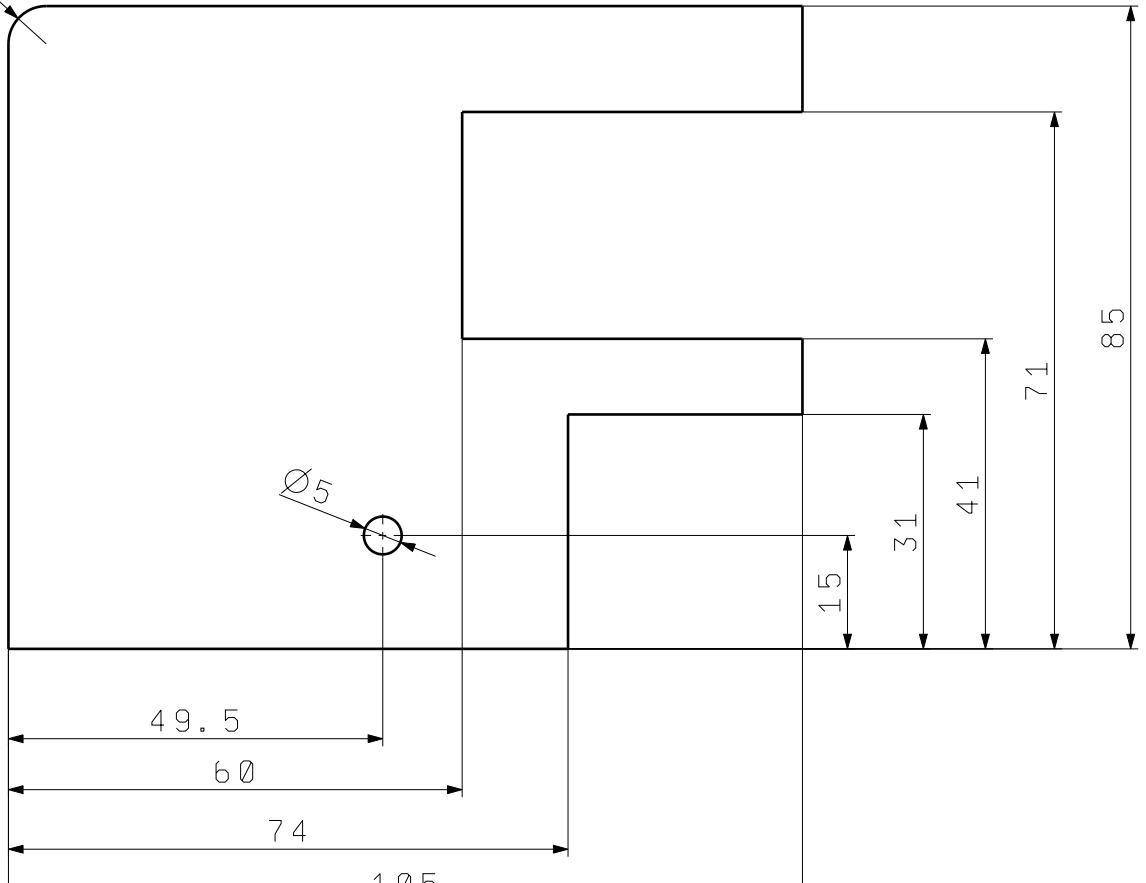
Design by CADlab



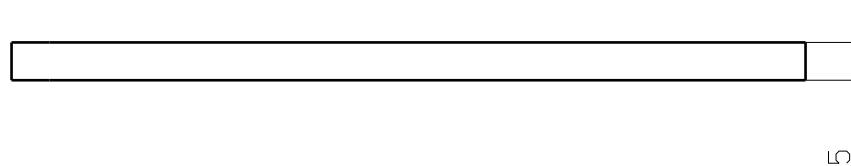
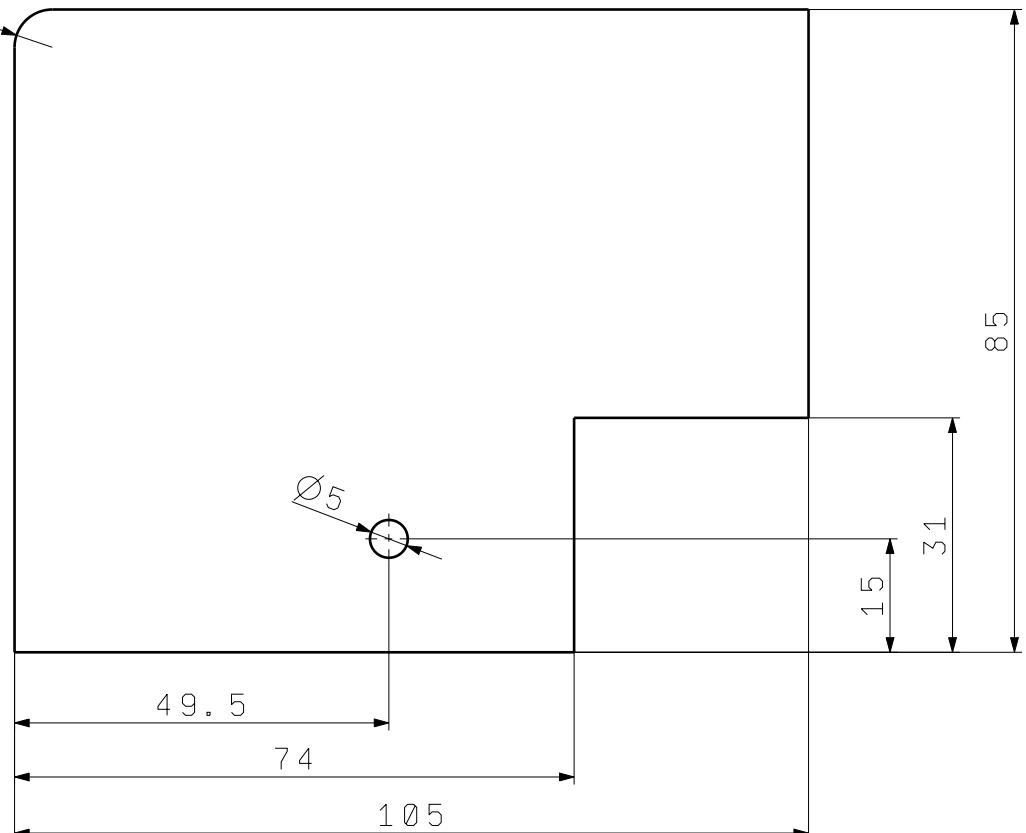
| Poz.                 | Naziv dijela | Kom.      | Crtež broj   | Materijal | Dimenzi je     | Masa |  |  |
|----------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|----------------|------|--|--|
| 3                    | L1           | 1         | 007-003      |           |                |      |  |  |
| 2                    | L1 dio 2     | 1         | 007-002      |           |                |      |  |  |
| 1                    | L1 dio 1     | 1         | 007-001      |           |                |      |  |  |
| Broj naziva - oznake |              |           |              |           |                |      |  |  |
| Projektirao          |              | 03.01.19. | Mario Klasić |           | Potpis         |      |  |  |
| Razradio             |              | 03.01.19. | Mario Klasić |           |                |      |  |  |
| Crtao                |              | 03.01.19. | Mario Klasić |           |                |      |  |  |
| Pregledao            |              | 03.01.19. | Bojan Jerbić |           |                |      |  |  |
| Mentor               |              | 03.01.19. | Bojan Jerbić |           |                |      |  |  |
| ISO - tolerancije    |              |           |              |           |                |      |  |  |
| Objekt:              |              |           |              |           | Objekt broj:   |      |  |  |
|                      |              |           |              |           | R. N. broj:    |      |  |  |
| Napomena:            |              |           |              |           | Smjer:         |      |  |  |
|                      |              |           |              |           | Računalno inž. |      |  |  |
| Materijal:           |              |           |              | Masa:     | Kopija         |      |  |  |
|                      |              |           |              |           |                |      |  |  |
| DIPLOMSKI RAD        |              |           |              |           |                |      |  |  |
| Mjeroilo originala   |              | Naziv:    |              |           | Pozicija:      |      |  |  |
| M 1: 2               |              | L1 sklop  |              |           | Format: A3     |      |  |  |
| Crtež broj: 007      |              |           |              |           |                |      |  |  |
| Listovi: 30          |              |           |              |           |                |      |  |  |
| List: 23             |              |           |              |           |                |      |  |  |

 FSB Zagreb  
Studijski strojarstva

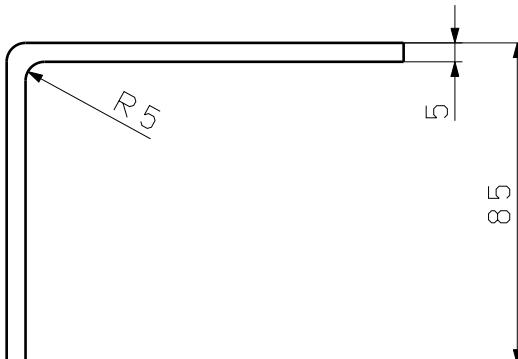
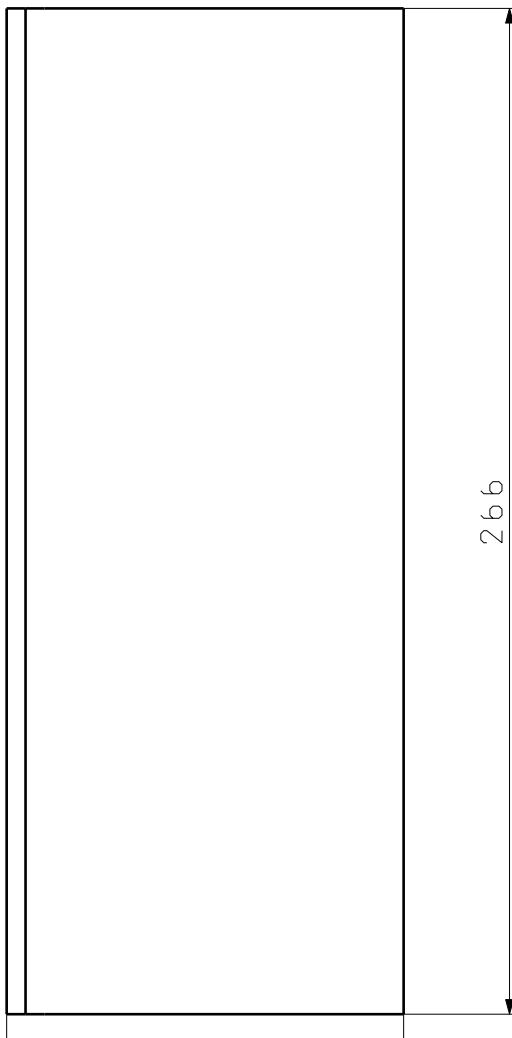
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100



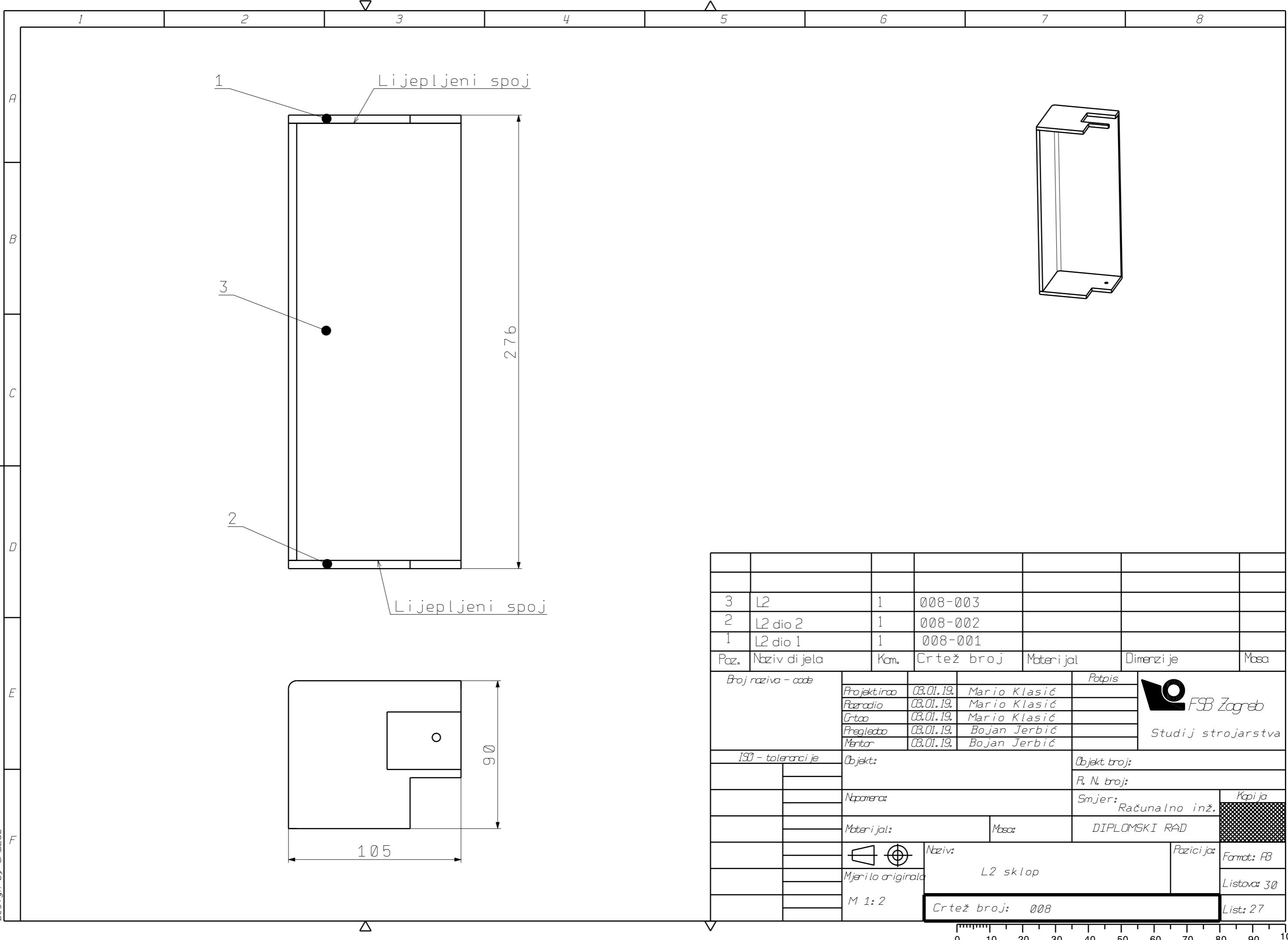
|   | Datum         | Ime i prezime | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
|---|---------------|---------------|----------------|--|
| Projektirao   | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Razradio  | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Crtao   | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Pregledao   | 03.01.19.     | Bojan Jerbić  |                |  |
| Mentor  | 03.01.19.     | Bojan Jerbić  |                |  |
| Objekt:   |               |               | Objekt broj:   |  |
|   |               |               | R. N. broj:    |  |
| Napomena:   |               |               | Smjer:         | Kopija   |
|   |               |               | Računalno inž. |  |
| Materijal:  | Perspex akril | Masa: 0.04 Kg | DIPLOMSKI RAD  |  |
|  | Naziv:        | L1 dio 1      | Pozicija:      | Format: A4   |
| Mjerilo originala   |               |               | 1              | Listova: 30  |
| M 1:1   | Crtež broj:   | 007-001       |                | List: 24   |

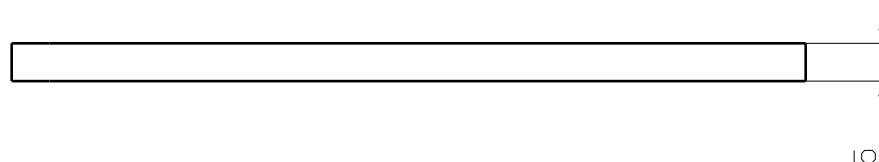
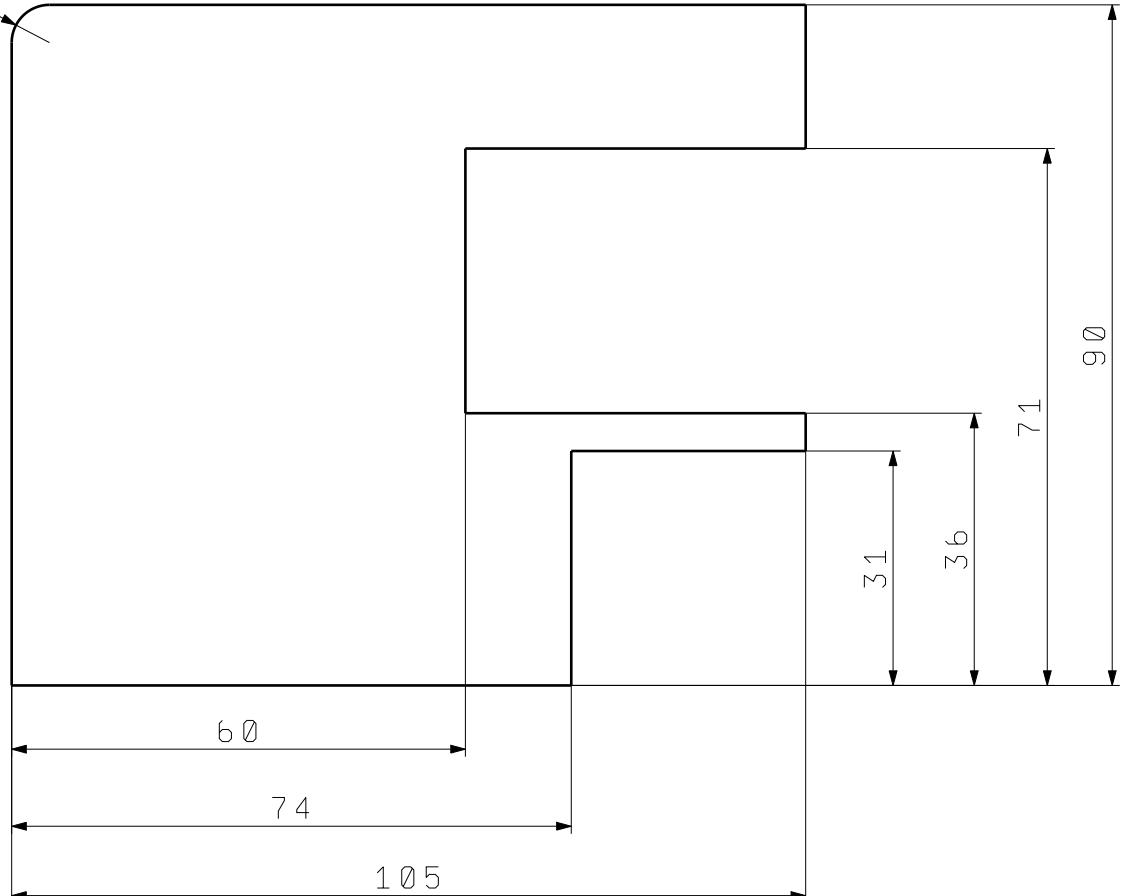


|   |               |               |                |  |
|---|---------------|---------------|----------------|--|
|   | Datum         | Ime i prezime | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
| Projektirao   | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Razradio  | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Crtao   | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Pregledao   | 03.01.19.     | Bojan Jerbić  |                |  |
| Mentor  | 03.01.19.     | Bojan Jerbić  |                |  |
| Objekt:   |               | Objekt broj:  |                |  |
|   |               | R. N. broj:   |                |  |
| Napomena:   |               | Smjer:        | Računalno inž. | Kopija   |
| Materijal:  | Perspex akril | Masa:         | 0.05 Kg        |  |
|   |               |               | DIPLOMSKI RAD  |  |
|  | Naziv:        | L1 dio 2      | Pozicija:      | Format: A4   |
| Mjerilo originala   |               |               | 2              |  |
| M 1:1   | Crtež broj:   | 007-002       |                | Listova: 30  |
|   |               |               |                | List: 25   |

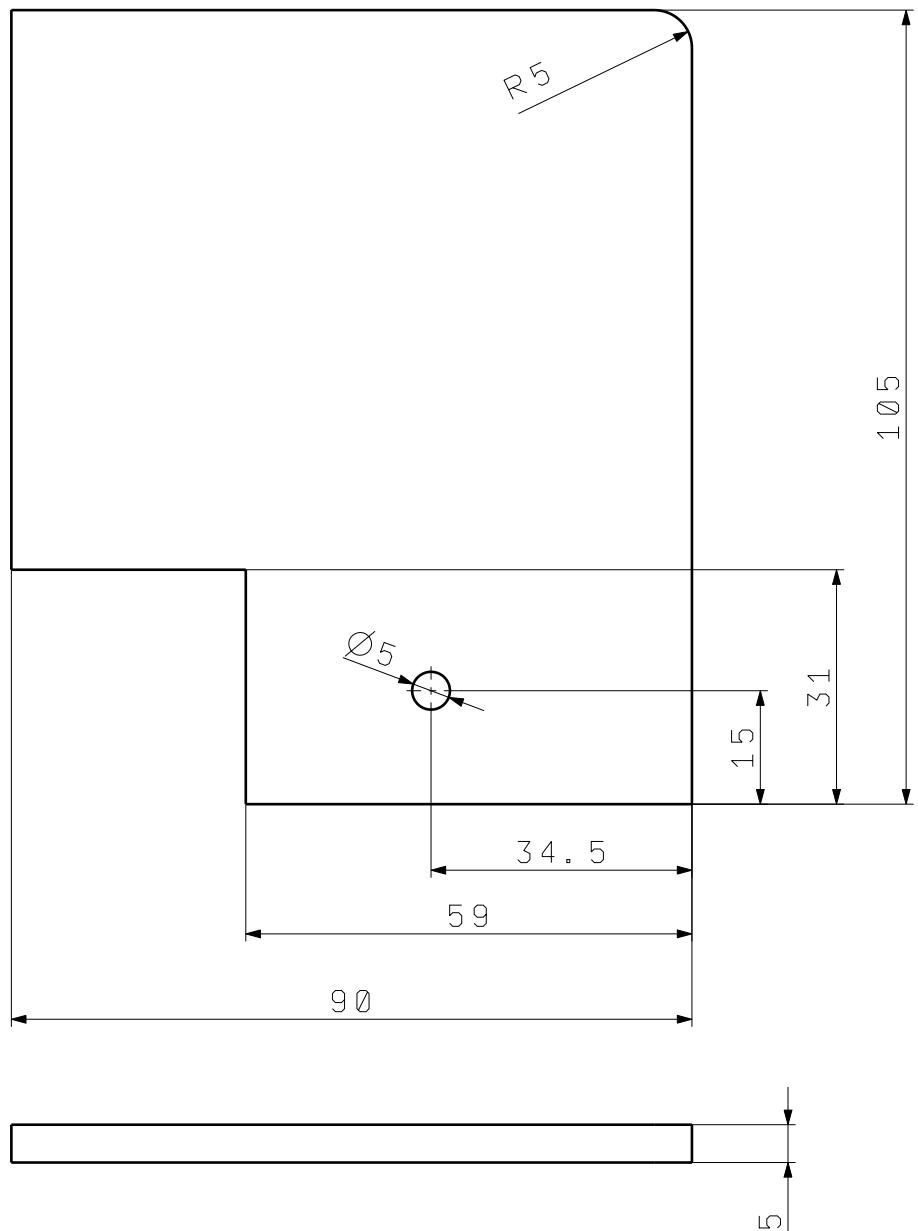


|   | Datum         | Ime i prezime | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
|---|---------------|---------------|----------------|--|
| Projektirao   | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Razradio  | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Crtao   | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Pregledao   | 03.01.19.     | Bojan Jerbić  |                |  |
| Mentor  | 03.01.19.     | Bojan Jerbić  |                |  |
| Objekt:   |               |               | Objekt broj:   |  |
|   |               |               | R. N. broj:    |  |
| Napomena:   |               |               | Smjer:         | Kopija   |
|   |               |               | Računalno inž. |  |
| Materijal:  | Perspex akril | Masa: 0.3 Kg  | DIPLOMSKI RAD  |  |
|  | Naziv:        | L1            | Pozicija:<br>3 | Format: A4   |
| Mjerilo originala   |               |               |                | Listova: 30  |
| M 1: 2  | Crtež broj:   | 007-003       |                | List: 26   |

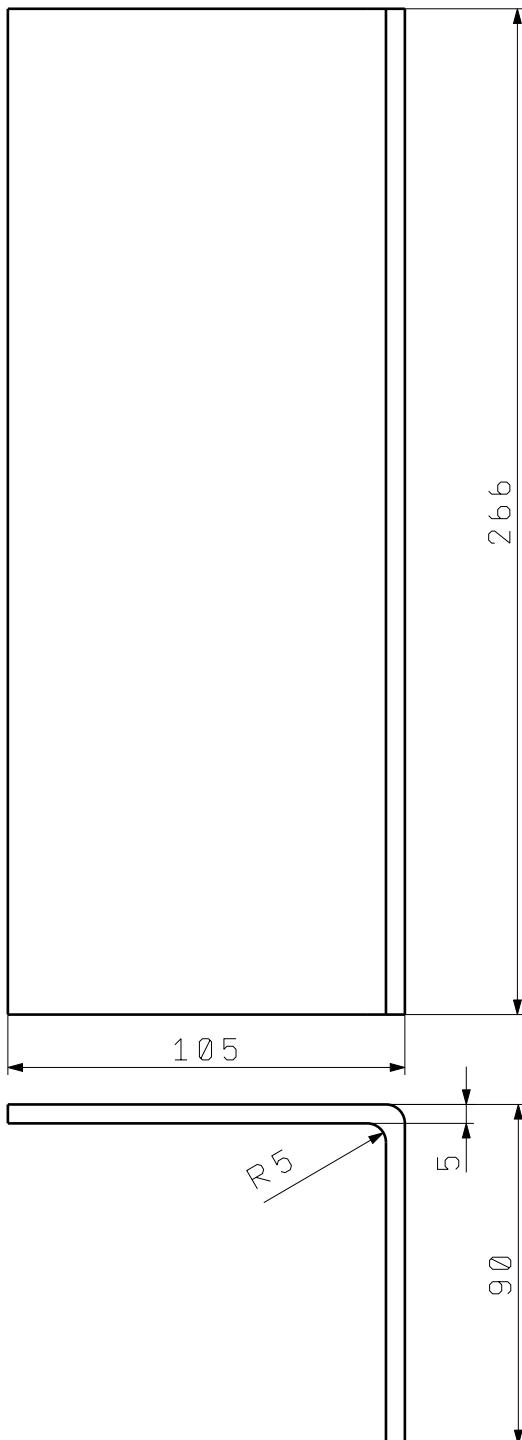




|   |               |               |                |  |
|---|---------------|---------------|----------------|--|
|   | Datum         | Ime i prezime | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
| Projektirao   | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Razradio  | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Črtao   | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Pregledao   | 03.01.19.     | Bojan Jerbić  |                |  |
| Mentor  | 03.01.19.     | Bojan Jerbić  |                |  |
| Objekt:   |               | Objekt broj:  |                |  |
|   |               | R. N. broj:   |                |  |
| Napomena:   |               | Smjer:        | Računalno inž. | Kopija   |
| Materijal:  | Perspex akril | Masa:         | 0.04 Kg        |  |
|   |               |               | DIPLOMSKI RAD  |  |
|  | Naziv:        | L2 dio 1      | Pozicija:      | Format: A4   |
| Mjerilo originala   |               |               | 1              | Listova: 30  |
| M 1: 1  | Crtež broj:   | 008-001       |                | List: 28   |



|   |                        |                |  |
|---|------------------------|----------------|--|
| Datum   | Ime i prezime          | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
| Projektirao   | 03.01.19.              | Mario Klasić   |  |
| Razradio  | 03.01.19.              | Mario Klasić   |  |
| Crtao   | 03.01.19.              | Mario Klasić   |  |
| Pregledao   | 03.01.19.              | Bojan Jerbić   |  |
| Mentor  | 03.01.19.              | Bojan Jerbić   |  |
| Objekt:   | Objekt broj:           |                |  |
|   |                        | R. N. broj:    |  |
| Napomena:   | Smjer:                 | Računalno inž. | Kopija   |
| Materijal: Perspex akril  | Masa: 0.05 Kg          | DIPLOMSKI RAD  |  |
|  | Naziv:<br>L2 dio 2     | Pozicija:<br>2 | Format: A4   |
| Mjerilo originala<br>M 1:1  | Crtež broj:<br>008-002 |                | Listova: 30  |
|   |                        |                | List: 29   |



|   | Datum         | Ime i prezime | Potpis         |  FSB Zagreb<br>Studij strojarstva |
|---|---------------|---------------|----------------|--|
| Projektirao   | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Razradio  | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Crtao   | 03.01.19.     | Mario Klasić  |                |  |
| Pregledao   | 03.01.19.     | Bojan Jerbić  |                |  |
| Mentor  | 03.01.19.     | Bojan Jerbić  |                |  |
| Objekt:   |               |               | Objekt broj:   |  |
|   |               |               | R. N. broj:    |  |
| Napomena:   |               |               | Smjer:         | Kopija   |
|   |               |               | Računalno inž. |  |
| Materijal:  | Perspex akril | Masa: 0.3 Kg  | DIPLOMSKI RAD  |  |
|  | Naziv:        | L2            | Pozicija:      | Format: A4   |
| Mjerilo originala   |               |               | 3              | Listova: 30  |
| M 1:2   | Crtež broj:   | 008-003       |                | List: 30   |

# Priručnik za korištenje programa " Matter Control 1.7 " za 3D tiskač FSB300

-postavke parametara za materijale ABS/PLA/PETG

The image shows the MatterControl 1.7 software interface. At the top, there's a toolbar with FILE, VIEW, HELP, and a red 'Update Available' indicator. Below the toolbar, the printer selection dropdown shows 'FSB300'. There are buttons for 'RESET CONNECTION' and 'Settings'. The main area has tabs for '3D VIEW' and 'LAYER VIEW'. On the left, a circular preview image shows a white cylinder labeled 'Cilindar40 Ready to Print'. Below the preview, two small blue squares are labeled '0°'. In the center, there are icons for home, print, pause, and cancel.

**Quality Settings:**

| Category                     | Setting                   | Value                               | Unit        |
|------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------|
| Layer Height                 | Layer Height              | 0.2                                 | mm          |
|                              | First Layer Height        | 0.2                                 | mm or %     |
| Outer Surface - Perimeters   | Perimeters                | 4                                   | count or mm |
|                              | Avoid Crossing Perimeters | <input checked="" type="checkbox"/> |             |
| Outer Surface - Top & Bottom | External Perimeters First | <input type="checkbox"/>            |             |
|                              | Start End Overlap         | 100                                 | %           |
| Bottom Solid Layers:         | Merge Overlapping Lines   | <input checked="" type="checkbox"/> |             |
|                              | Expand Thin Walls         | <input checked="" type="checkbox"/> |             |
| Top Solid Layers:            | 10                        | count or mm                         |             |
|                              | Bottom Solid Layers:      | 10                                  | count or mm |

**Infill Settings:**

| Category       | Setting        | Value                               | Unit |
|----------------|----------------|-------------------------------------|------|
| Infill         | Fill Density   | 30%                                 | mm   |
|                | Infill Type    | GRID                                |      |
| Advanced       | Starting Angle | 45                                  | °    |
|                | InfillOverlap  | 0.15                                | mm   |
| Fill Thin Gaps | Fill Thin Gaps | <input checked="" type="checkbox"/> |      |

**Speed Settings:**

| Category                  | Setting              | Value             | Unit      |
|---------------------------|----------------------|-------------------|-----------|
| Speed for Infill          | Infill               | 50                | mm/s      |
|                           | Top Solid Infill     | 25                | mm/s or % |
|                           | Raft                 | 100%              | mm/s or % |
|                           | Speed for Perimeters | Inside Perimeters | 30        |
| Outside Perimeter         |                      | 70%               | mm/s or % |
| Speeds for Other Printing | Support Material     | 50                | mm/s      |
|                           | Bridges              | 20                | mm/s      |
| Speed for Non-Print Moves | Travel               | 100               | mm/s      |
|                           | Modifiers            | First Layer Speed | 50%       |

| General Filament Printer  |                          | Advanced                 | Options...  |                                  |
|---|--------------------------|--------------------------|-------------|----------------------------------|
| Layers / Surface<br>Infill<br>Speed<br>Raft / Priming<br>Support Material<br>Output Options<br>Multiple Extruders<br>Single Print | Raft                     | <input type="checkbox"/> |             |                                  |
|   | Create Raft              |                          |             |                                  |
|   | Expand Distance          | 3mm                      | count or mm | <input type="button" value="X"/> |
|   | Air Gap                  | 0.1                      | mm          | <input type="button" value="X"/> |
|   | Fan Speed                | 100                      | %           |                                  |
|   | Raft Extruder            | 0                        |             |                                  |
|   | Skirt                    | <input type="checkbox"/> |             |                                  |
|   | Distance or Loops        | 2                        | count or mm | <input type="button" value="X"/> |
|   | Distance From Object     | Custom                   | 4           | mm                               |
| Minimum Extrusion Length  | 0                        | mm                       |             |                                  |
| Brim  | <input type="checkbox"/> |                          |             |                                  |
| Distance or Loops   | 0                        | count or mm              |             |                                  |

| General Filament Printer  |                           | Advanced                              | Options...   |                                  |
|---|---------------------------|---------------------------------------|--------------|----------------------------------|
| Layers / Surface<br>Infill<br>Speed<br>Raft / Priming<br>Support Material<br>Output Options<br>Multiple Extruders<br>Single Print | Support Material          | <input checked="" type="checkbox"/>   |              |                                  |
|   | Generate Support Material | <input type="checkbox"/>              |              |                                  |
|   | Support Type              | GRID <input type="button" value="X"/> |              |                                  |
|   | Support Options           | <input type="checkbox"/>              |              |                                  |
|   | Pattern Spacing           | 2.5                                   | mm           |                                  |
|   | Support Percent           | 50                                    | %            | <input type="button" value="X"/> |
|   | Infill Angle              | 45                                    | °            |                                  |
|   | Interface Layers          | 0.5mm                                 | layers or mm | <input type="button" value="X"/> |
|   | X and Y Distance          | 0.7                                   | mm           |                                  |
|   | Air Gap                   | 0.3                                   | mm           | <input type="checkbox"/>         |
|   | Support Everywhere        | <input type="checkbox"/>              |              |                                  |
|   | Create Perimeter          | <input type="checkbox"/>              |              |                                  |
| Extruders   | <input type="checkbox"/>  |                                       |              |                                  |
| Support Material Extruder   | 1                         |                                       |              |                                  |
| Support Interface Extruder  | 1                         |                                       |              |                                  |

| General Filament Printer  |                  | Advanced                            | Options... |  |
|---|------------------|-------------------------------------|------------|--|
| Layers / Surface<br>Infill<br>Speed<br>Raft / Priming<br>Support Material<br>Output Options<br>Multiple Extruders<br>Single Print | File Settings    | <input checked="" type="checkbox"/> |            |  |
|   | Center On Bed    | <input type="checkbox"/>            |            |  |
|   | First Layer Only | <input type="checkbox"/>            |            |  |
|   | Use G0           | <input checked="" type="checkbox"/> |            |  |

| General Filament Printer  |                      | Advanced                 | Options... |  |
|---|----------------------|--------------------------|------------|--|
| Layers / Surface<br>Infill<br>Speed<br>Raft / Priming<br>Support Material<br>Output Options<br>Multiple Extruders<br>Single Print | Extruder Change      | <input type="checkbox"/> |            |  |
|   | Wipe Shield Distance | 0                        | mm         |  |
|   | Wipe Tower Size      | 0                        | mm         |  |

| General Filament Printer  |                                     | Advanced                 | Options... |  |
|---|-------------------------------------|--------------------------|------------|--|
| Layers / Surface<br>Infill<br>Speed<br>Raft / Priming<br>Support Material<br>Output Options<br>Multiple Extruders<br>Single Print | Settings Will Clear at End of Print | <input type="checkbox"/> |            |  |
|   | Spiral Vase                         | <input type="checkbox"/> |            |  |
|   | Bottom Clip                         | <input type="checkbox"/> |            |  |
|   | Layer(s) To Pause:                  | <input type="checkbox"/> |            |  |

**MatterControl - Settings**

**QUALITY**      **MATERIAL**

General Filament Printer Advanced Options...

|  |   |   |
|--|---|---|
| Material Temperatures Retraction Extrusion Cooling | Properties<br>Diameter<br>Density<br>Cost | 1.75 mm<br>ABS/PLA/PETG - parametar nije neophodan za 3D tiskanje PLA 1.24 g/cm³<br>0 \$/kg |
|--|---|---|

General Filament Printer Advanced Options...

|  |   |
|--|---|
| Material Temperatures Retraction Extrusion Cooling | Extruder Temperatures<br>Extruder Temperature ABS 235°C PLA 190°C PETG 235°C 235 °C<br>Extruder Wipe Temperature 0 °C   |
|  | Bed Temperatures<br>Bed Temperature ABS 120°C PLA 70°C za prva dva sloja, PETG 80°C za prva dva sloja, 120 °C<br>Bed Remove Part Temperature ABS - grijana komora 40°C nakon toga 60°C nakon toga 70°C 0 °C |

General Filament Printer Advanced Options...

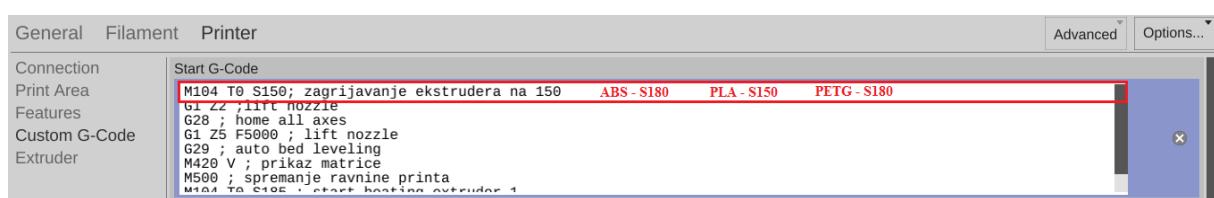
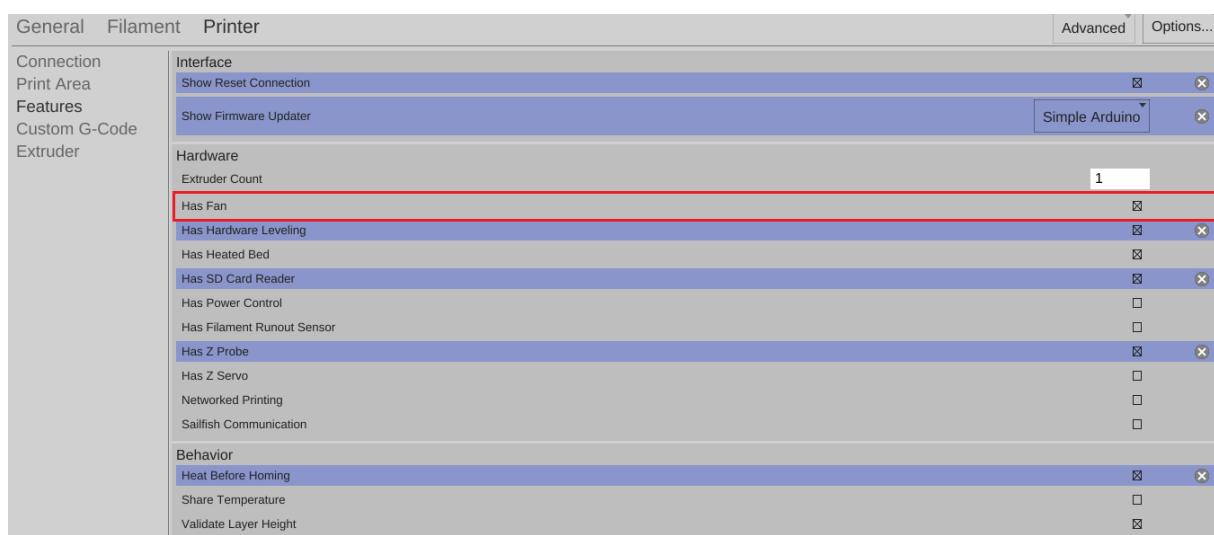
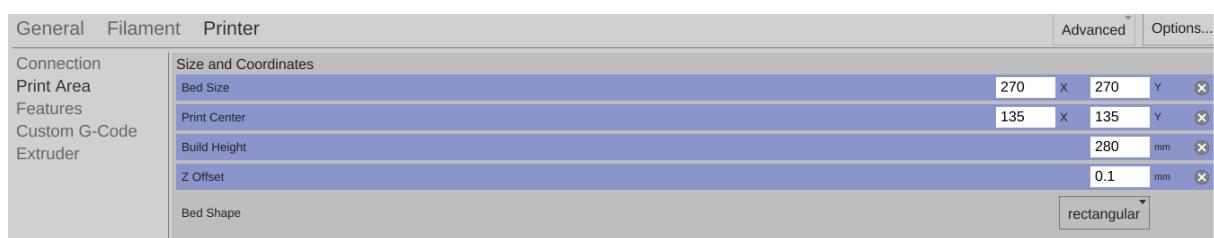
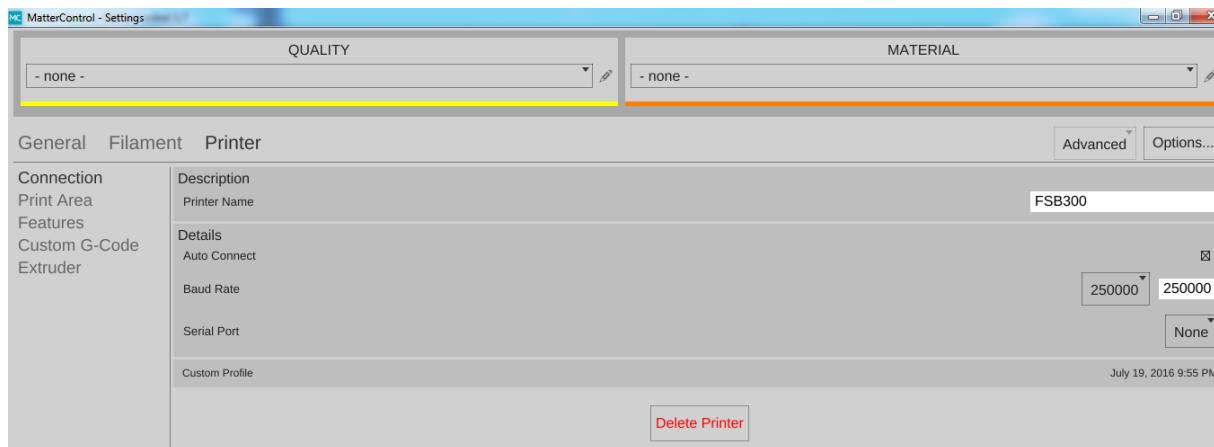
|  |   |
|--|---|
| Material Temperatures Retraction Extrusion Cooling | While Printing<br>Length on Move 1 mm<br>Extra Length On Restart 0 mm<br>Time For Extra Length 0 s<br>Speed 30 mm/s<br>Z Lift 0.3 mm<br>Minimum Travel Requiring Retraction 20 mm<br>Retract When Changing Islands<br>Minimum Extrusion Requiring Retraction 0.1 mm<br>Wipe Before Retract<br>On Tool Change<br>Length on Tool Change 10 mm<br>Extra Length After Tool Change 0 mm<br>zero to disable |
|--|---|

General Filament Printer Advanced Options...

|  |  |
|--|--|
| Material Temperatures Retraction Extrusion Cooling | Flow<br>Extrusion Multiplier ABS 0.94 PLA 0.97 PETG 0.985 0.97<br>Extrusion Width<br>First Layer 100% mm or %<br>Outside Perimeters 100% mm or %<br>Support Material 0 mm or % |
|--|--|

General Filament Printer Advanced Options...

|  |   |
|--|---|
| Material Temperatures Retraction Extrusion Cooling | Fan Speed<br>Minimum Fan Speed 100 %<br>Maximum Fan Speed 100 %<br>Bridging Fan Speed 100 %<br>Disable Fan For The First 3 layers<br>Cooling Thresholds<br>Slow Down If Layer Print Time Is Below 0 seconds<br>Minimum Print Speed 0 mm/s |
|--|---|



General Filament Printer Advanced Options...

**Connection**

**Print Area**

**Features**

**Custom G-Code**

**Extruder**

**Start G-Code**

```
G28 ; home all axes
G1 Z5 F5000 ; lift nozzle
G29 ; auto bed leveling
M420 V ; prikaz matrice
M500 ; spremanje ravnine printa
M104 T0 S185 ; start heating extruder 1
M109 T0 S185 ; wait for extruder 1
```

ABS - S235 PLA - S185 PETG - S235

**End G-Code**

```
G92 E0 ; postavi ekstruder na 2
G1 E0 ; uvlačenje filimenta za 2 mm
G28 X0 ; home x axis
G28 Y0 ; home y axis
M104 S0 ; turn off temperature
M140 S0 ; temperatura beda na 0
M84 ; disable motors
```

General Filament Printer Advanced Options...

**Connection**

**Print Area**

**Features**

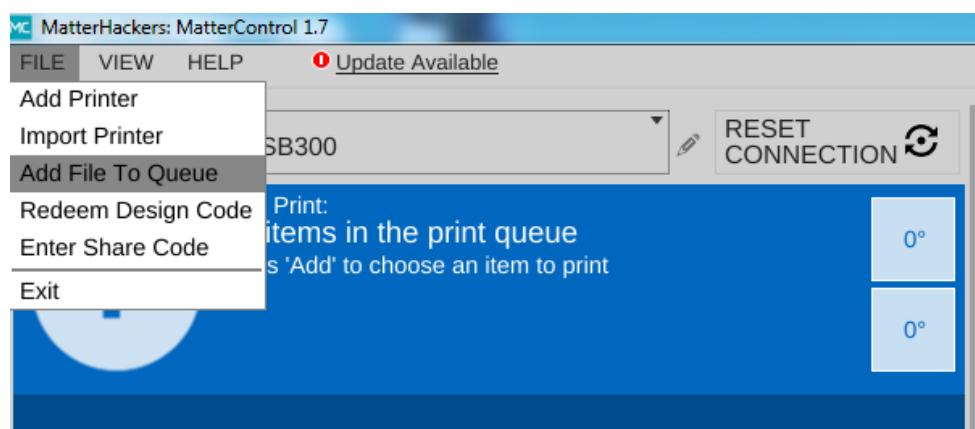
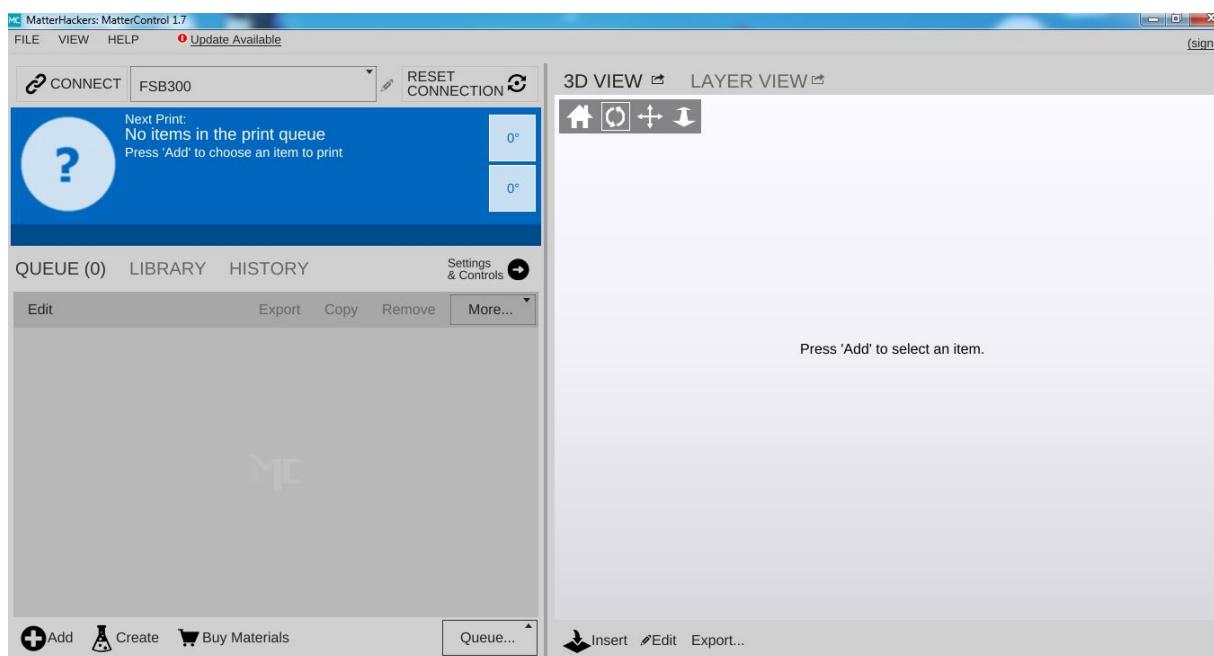
**Custom G-Code**

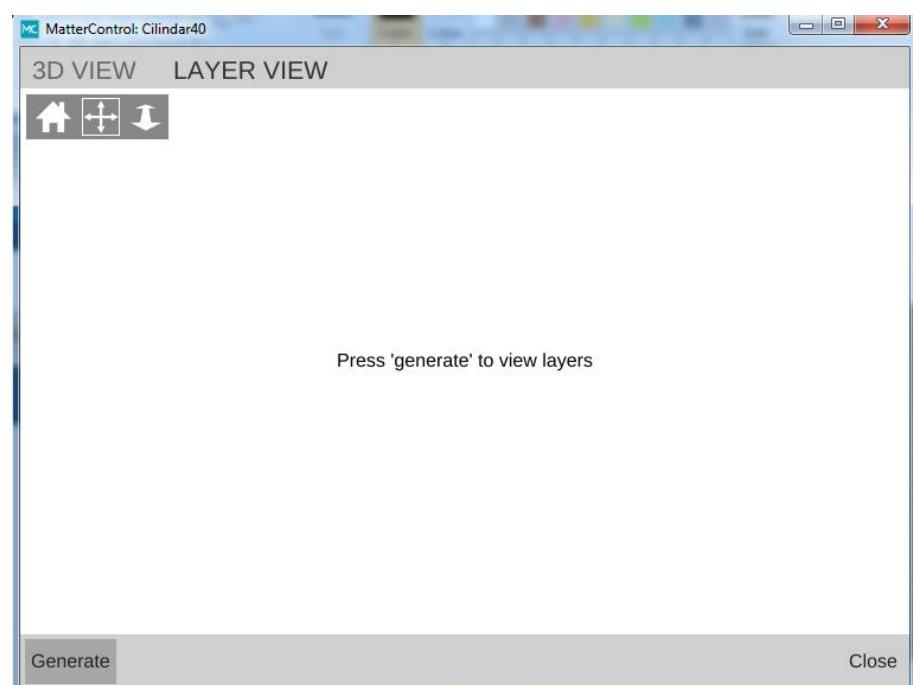
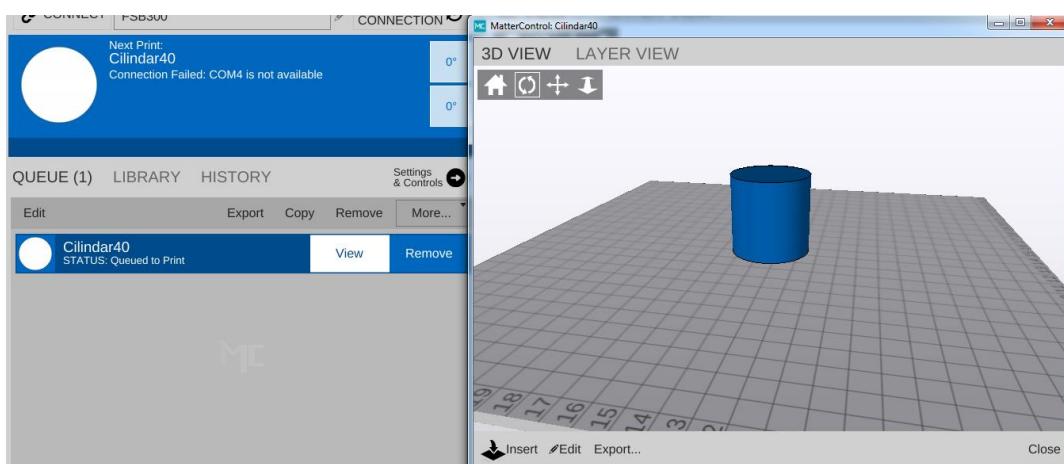
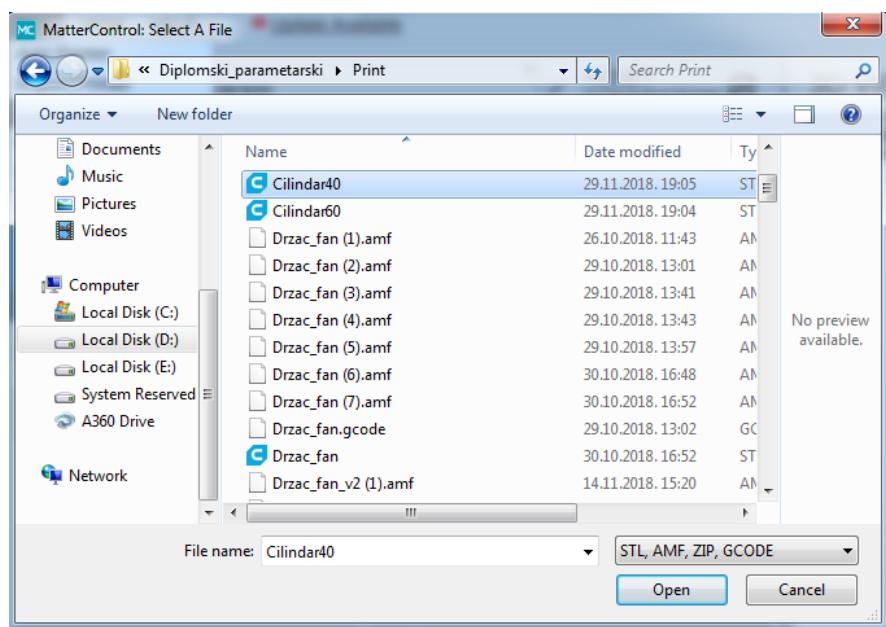
**Extruder**

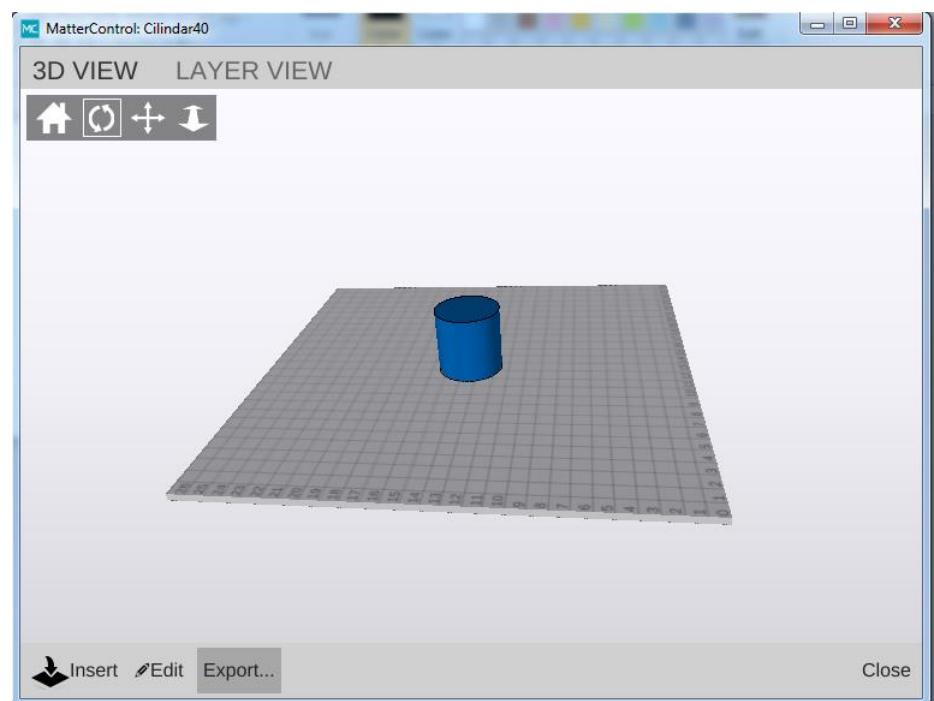
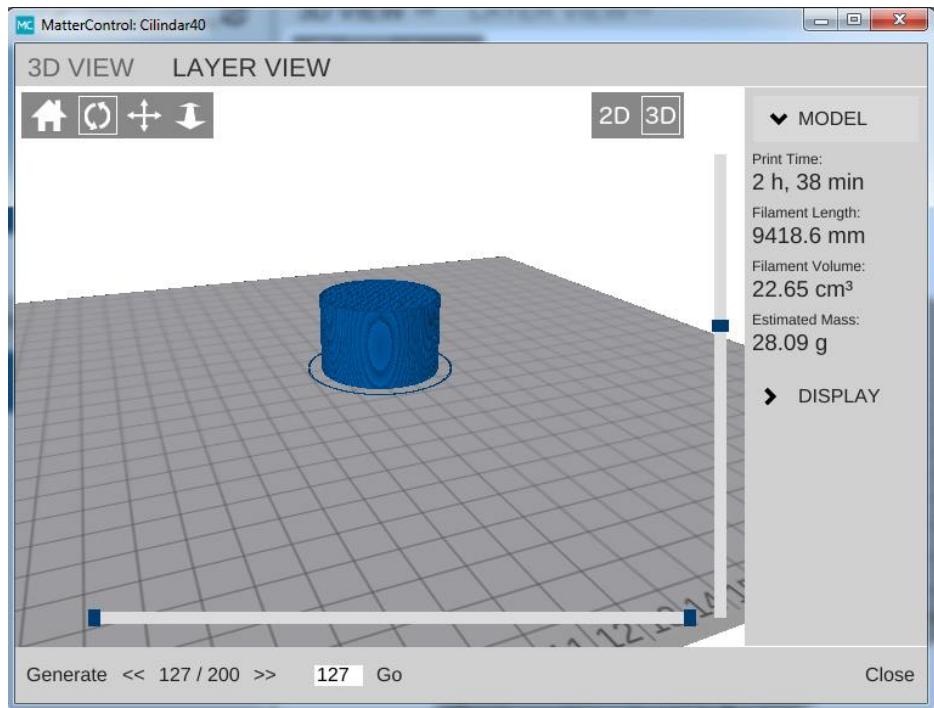
Nozzle Diameter 0.4 mm

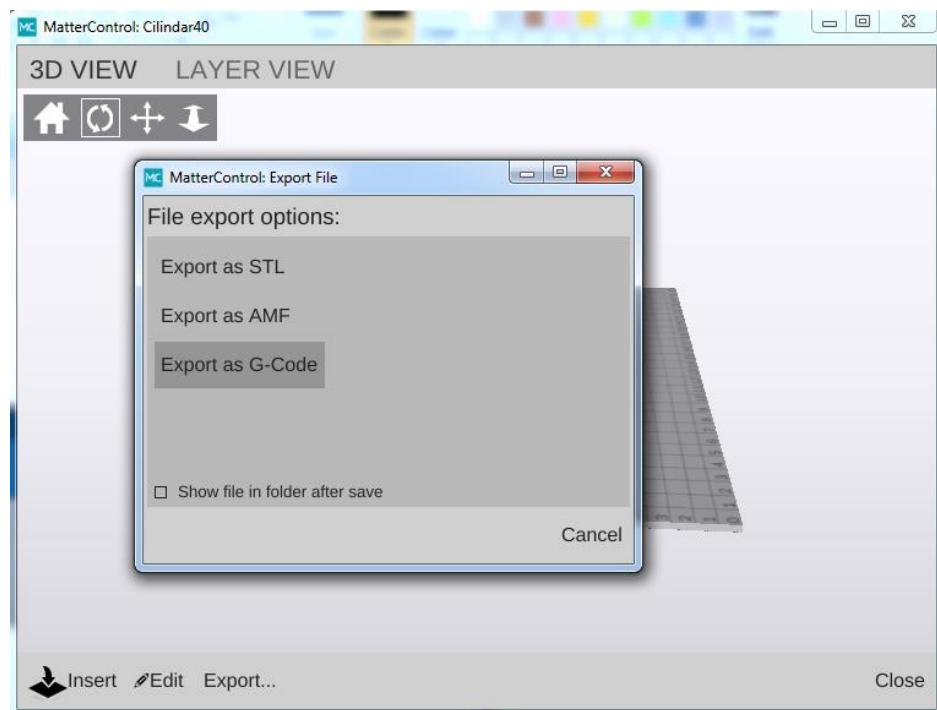
Extruder Offset 40 X 55 Y

-generiranje .gcode datoteke iz .stl datoteke - SIMETRIČNI DIJELOVI



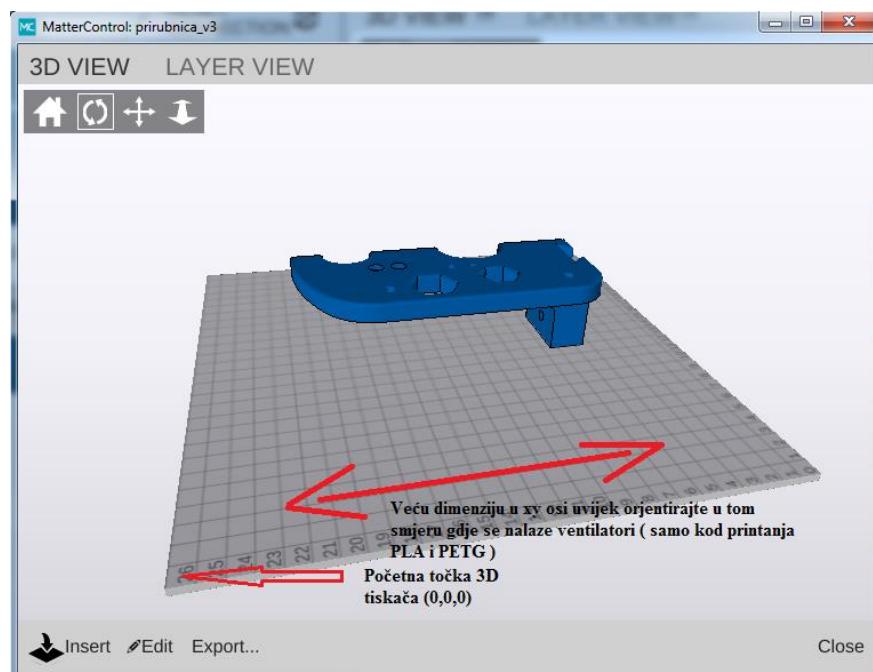


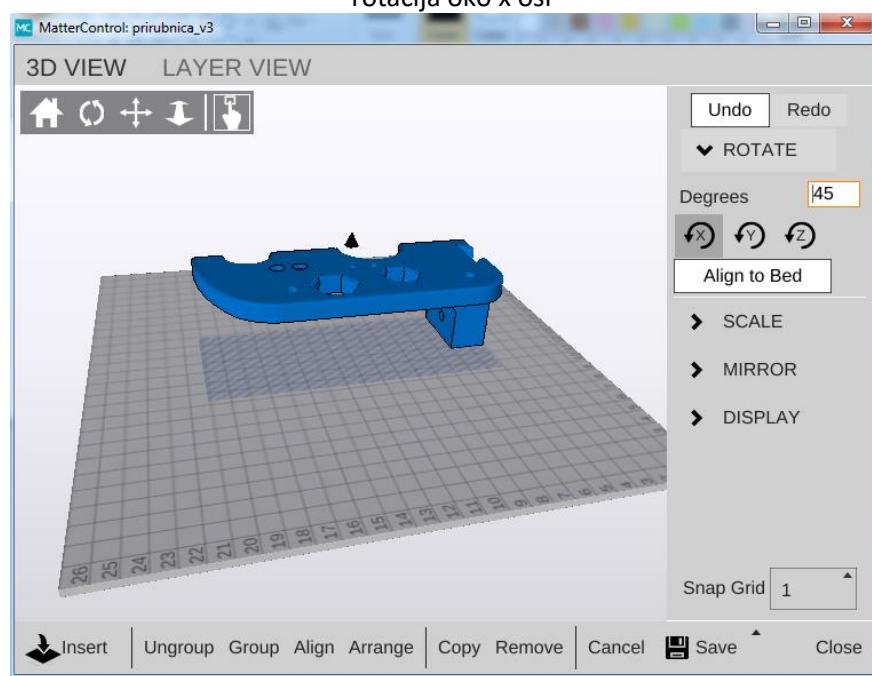
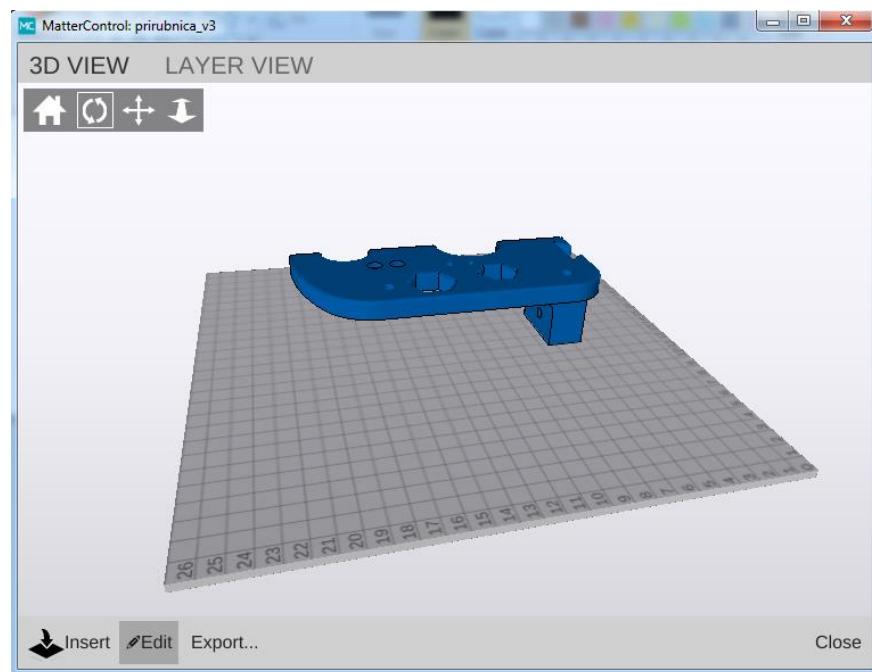


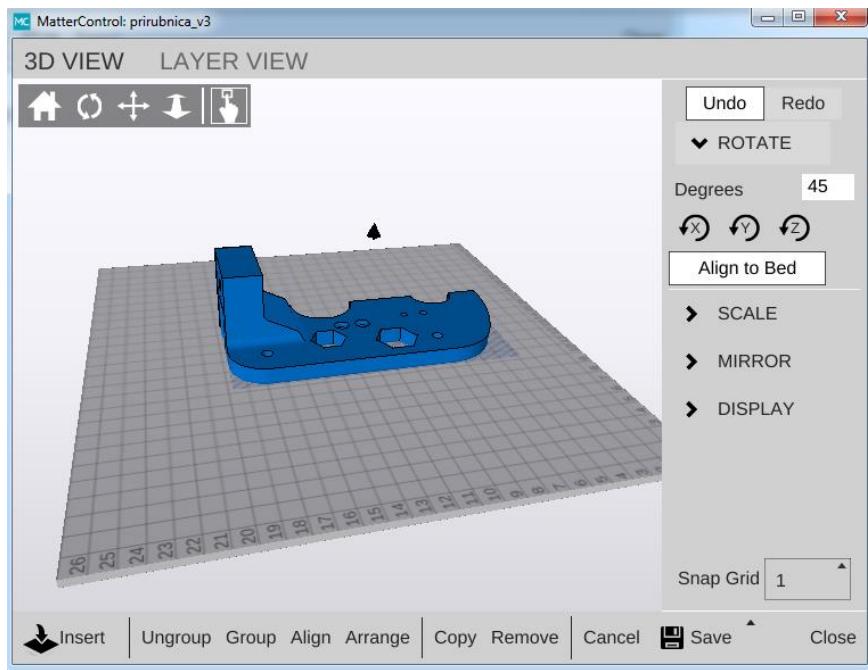


- prebacite .gcode datoteku na SD karticu i spremni ste za 3D tiskanje!!!

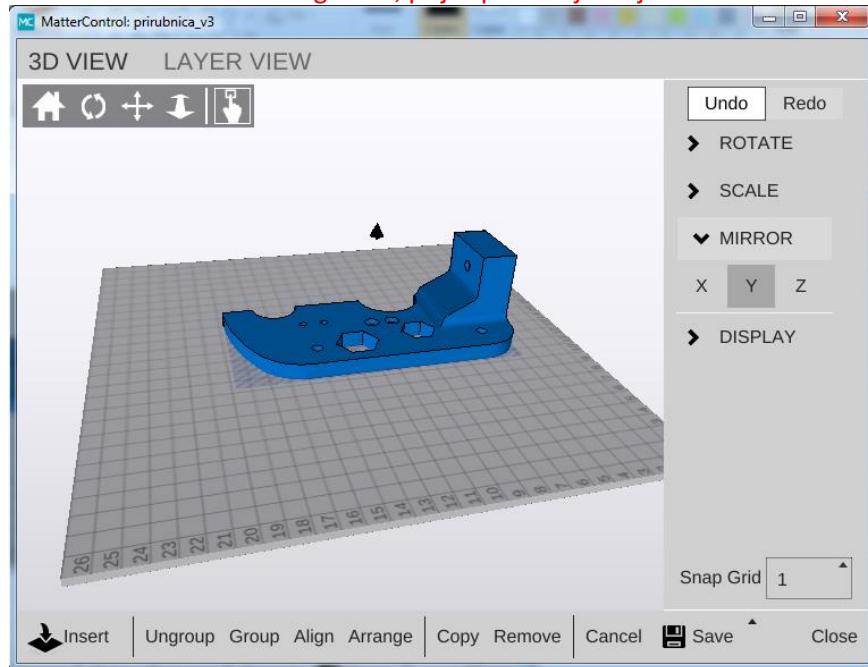
- generiranje .gcode datoteke iz .stl datoteke - NESIMETRIČNI PREDMETI

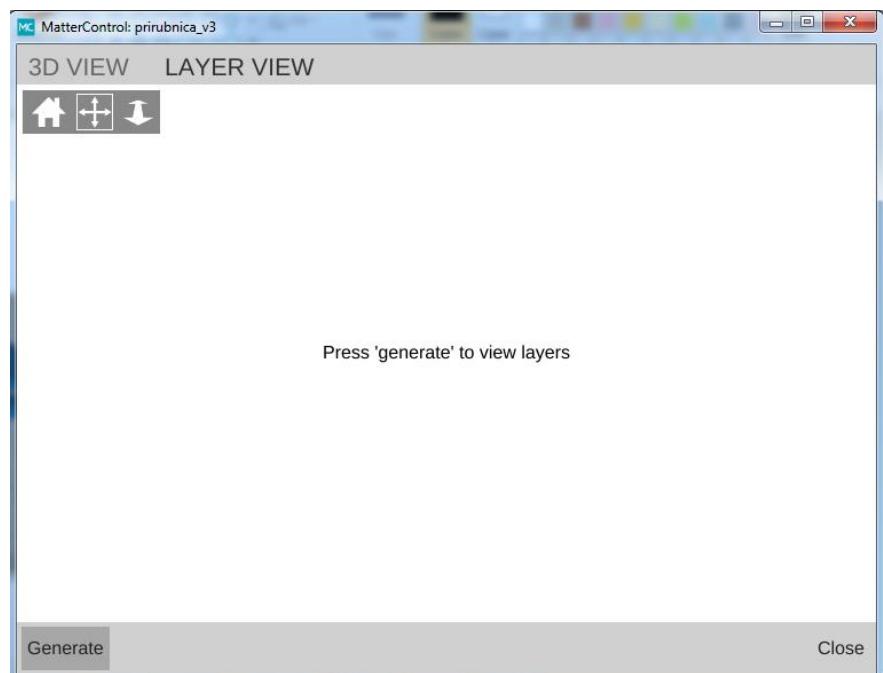
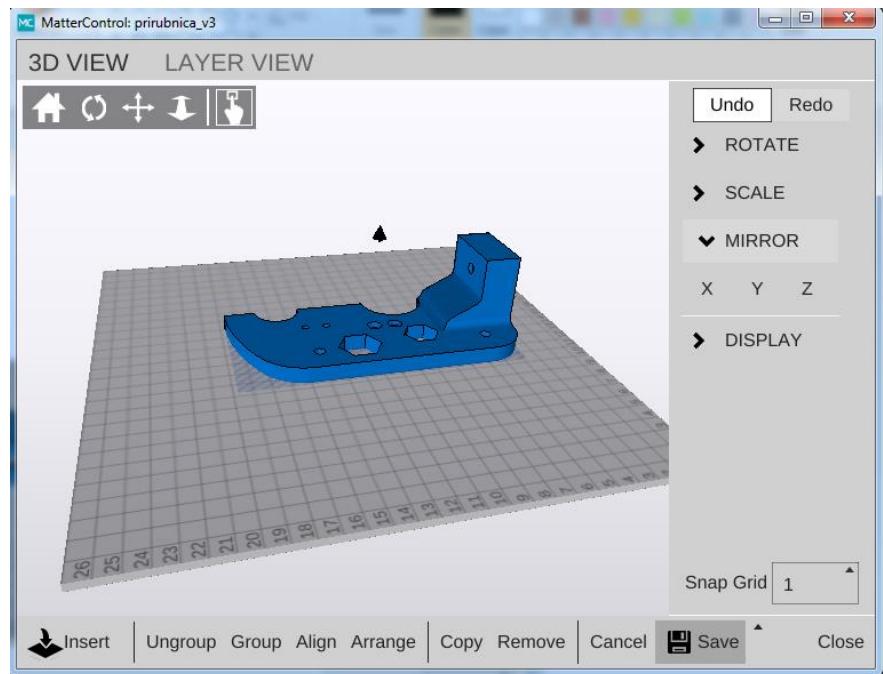


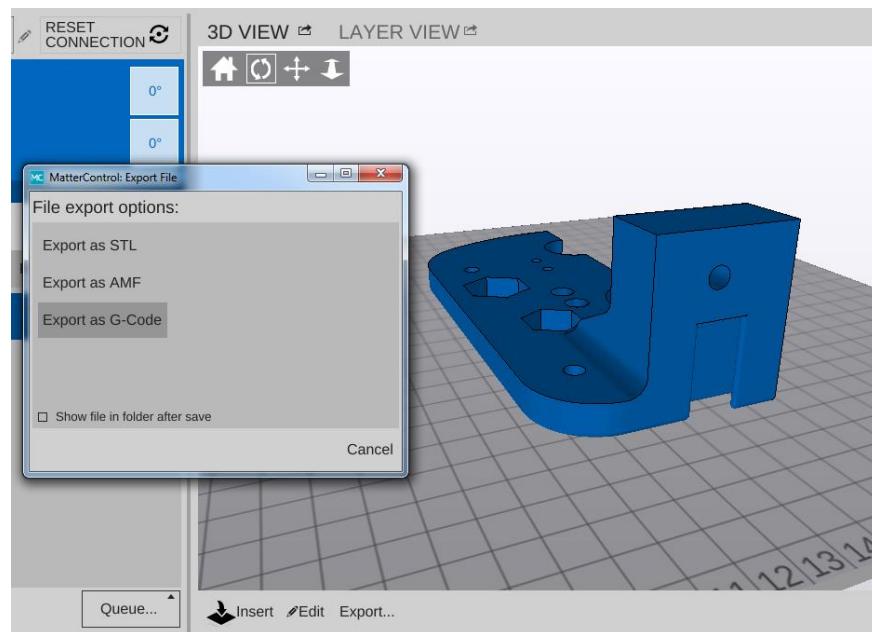
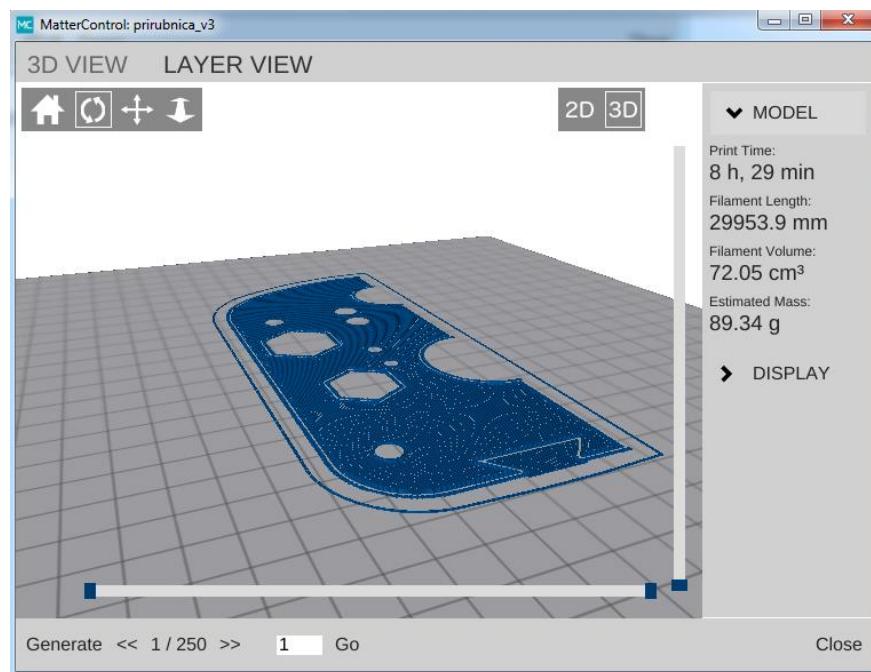




- nakon što dio rotirate kako Vam odgovara, prije spremanja uvijek stavite "MIRROR" oko Y osi







- prebacite .gcode datoteku na SD karticu i spremni ste za 3D tiskanje!!!