

# 3D printanje

---

**Hotko Cernić, Krešo**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:950724>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-29**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
**STROJARSKI ODJEL**  
**STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA**

**Krešo Hotko Cernić**

**3D PRINTANJE**

**3D PRINTING**

**ZAVRŠNI RAD**

Karlovac, 2018. godina



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
**STROJARSKI ODJEL**  
**STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA**

**Krešo Hotko Cernić**

**3D PRINTANJE**

**3D PRINTING**

**ZAVRŠNI RAD**

**Mentor:**

**Marijan Brozović, dipl.ing.**

**Karlovac, 2018. godina**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
KARLOVAC UNIVER



OF APPLIED

SCIENCES

Trg J.J.Strossmayera 9

HR-47000, Karlovac, Croatia

Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510

Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579

## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

**Stručni / specijalistički studij: Strojarstva**  
(označiti)

Usmjerenje: **Strojarske konstrukcije**

Karlovac, 15.06.2018

### ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: **Krešo Hotko Cernić**

Matični broj: 0110612092

Naslov: **3D PRINTANJE**

Opis zadatka:

U završnom radu opisati 3D printanje kao novu tehnologiju. 3D printanje je aditivna tehnologija izrade trodimenzionalnih predmeta. Proces se sastoji od konstruiranja predmeta pomoću CAD programa ili skeniranjem 3D skenerom, generiranjem programskog koda sa potrebnim zadanim parametrima za izradu predmeta, učitavanjem u printer i na kraju, printanjem. Postoji nekoliko metoda 3D printanja i sve su aditivne. Podijeliti ih možemo na: FDM ili FFF tehnologiju, stereolitografiju, polyjet, LOM, selektivno lasersko sinteriranje, direktno lasersko sinteriranje i aditivnu proizvodnju elektronskim snopom. Najpopularniji 3D printeri su printeri koji rade na principu FDM tehnologije, a to su: printeri prema „Kartezijevom sustavu“, Delta printeri, Polar i printeri sa robotskom rukom. Za izradu i testiranje odabrati izradu Delta 3D printera, samostalnim izborom komponenti. Prednost takvog printera je manji broj dijelova potrebnih za izradu, te mogućnost printanja visokih predmeta. Nakon izrade potrebno je izvršiti testiranje koje zahtijeva kalibriranje i nakon toga izrada gotovog predmeta.

Zadatak izraditi i opremiti sukladno Pravilniku o Završnom ispitu VUK-a.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

15.06.2018.

02.11.2018.

26.11.2018.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Marijan Brozović, dipl.ing., v. pred.

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

Zahvaljujem se roditeljima Srebrenki Cernić Hotko i Zoranu Hotku, pokojnoj baki Zdravki Cernić, rođacima Saši Muminoviću i Mojci Muminović Zajc, mentoru profesoru Marijanu Brozoviću dipl.ing., te prijateljima i poslovnim kolegama koji su me pratili tokom školovanja.

Krešo Hotko Cernić

## 3D PRINTANJE

### SAŽETAK

3D printanje je tehnologija nastala 80-ih godina prošlog stoljeća zahvaljujući doktoru Hideo Kodami. Razvoj nije tekao brzo, sve do zadnjih 20 godina, kada su tehnološke mogućnosti omogućile praćenje zamisli 3D printanja. 3D printanje je aditivna tehnologija izrade trodimenzionalnih predmeta. Proces se sastoji od konstruiranja predmeta pomoću CAD programa ili skeniranjem 3D skenerom, generiranjem programskog koda sa potrebnim zadanim parametrima za izradu predmeta, učitavanjem u printer i na kraju, printanjem. Postoji nekoliko metoda 3D printanja i sve su aditivne. Podijeliti ih možemo na: FDM ili FFF tehnologiju, stereolitografiju, polyjet, LOM, selektivno lasersko sinteriranje, direktno lasersko sinteriranje i aditivnu proizvodnju elektronskim snopom. Najpopularniji 3D printeri su printeri koji rade na principu FDM tehnologije, a to su: printeri prema „Kartezijevom sustavu“, Delta printeri, Polar i printeri sa robotskom rukom. Za izradu i testiranje sam odabrao izradu Delta 3D printera, samostalnim izborom komponenti potrebnih za izradu. Prednost takvog printera je manji broj dijelova potrebnih za izradu, te mogućnost printanja visokih predmeta. Nakon izrade je slijedilo testiranje koje je zahtijevalo kalibriranje i nakon toga izrada gotovog predmeta. 3D printanje je tehnologija koja pruža veliki potencijal, ali današnje tehnološke mogućnosti još uvijek ne mogu ispuniti zahtjeve koje ta ideja zahtjeva. S vremenom bi i ta varijabla mogla nestati, pa bi se kvaliteta života mogla uvelike povećati.

Ključne riječi: 3D printanje, FDM printeri, Delta 3D printer

## 3D PRINTING

### SUMMARY

3D printing is a technology created in the 80s of the last century thanks to Dr. Hideo Kodami. The development did not go fast, until the last 20 years, when the technological capability allowed it. 3D printing is an additive technology for making three-dimensional objects. The process consists of object design using a CAD program or scanning with a 3D scanner, generating a program code with the required parameters, loading the program in to the printer, and finally printing. There are several methods of 3D printing and are all additive. We can divide them into: FDM or FFF technology, stereolithography, polyjet, LOM, selective laser sintering, direct laser sintering and additive electron beam production. The most popular 3D printers are printers working on FDM technology, namely: printers based on "Cartesian coordinating system", Delta printers, Polar printers and printers with robotic hand. I have decided to create a Delta 3D printer whose components i selected on my own. The advantage of such a printer is the smaller number of parts needed to construct and the ability to print high-end items. When printer was assembled, it was followed by the testing that required calibration and then the completion of the finished object. 3D printing is a technology that provides great potential, but today's technological capabilities are still unable to meet the requirements that this idea demands. Over time, this variable could disappear, so the quality of life could greatly increase.

Key words: 3D printing, FDM printers, Delta 3D printer



## SADRŽAJ

### Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Što je 3D printanje.....	3
3. Metode 3D printanja.....	4
3.1. FDM (engl. Fused Deposition Modeling) ili FFF (engl. Fused Filament Fabrication ) tehnologija .....	5
3.2. Stereolitografija (SLA) .....	6
3.3. Praškasti inkjet 3D printeri (engl. Polyjet) .....	7
3.4. LOM tehnologija (proces izrade laminiranjem) .....	8
3.5. Selektivno lasersko sinteriranje .....	9
3.6. Direktno lasersko sinteriranje metala.....	10
3.7. Aditivna proizvodnja elektronskim snopom.....	11
4. Vrste 3D printera.....	12
4.1. Printeri prema „Kartezijevom sustavu“ .....	13
4.2. Delta printeri .....	15
4.3. Polar .....	17
4.4. Printeri sa robotskom rukom (SCARA) .....	19
5. Dijelovi Delta 3D printera .....	20
6. Izvedba Delta printera .....	21
6.1. Konstrukcija printera.....	23
6.2. Elektronički dijelovi printera .....	27
6.3. Software .....	32
7. Testiranje Delta printera.....	33
8. Zaključak.....	35
9. Popis korištene literature.....	36



Slika 1. Izvedba printera prema „Kartezijevom sustavu“. Izvor: <a href="https://www.3dprintergear.com.au/assets/thumbL/Z-M200.png">https://www.3dprintergear.com.au/assets/thumbL/Z-M200.png</a> .....	14
Slika 2. Izvedba Delta 3D printera: Izvor: <a href="http://cdn.shopify.com/s/files/1/0276/2543/products/h2-delta-diy-3d-printer-kit_1024x1024.jpg?v=1504624585">http://cdn.shopify.com/s/files/1/0276/2543/products/h2-delta-diy-3d-printer-kit_1024x1024.jpg?v=1504624585</a> .....	16
Slika 3. Izvedba Polar 3D printera. Izvor: <a href="https://3dprint.com/wp-content/uploads/2015/01/polar3d2.jpg">https://3dprint.com/wp-content/uploads/2015/01/polar3d2.jpg</a> .....	18
Slika 4. Jedna od izvedbi SCARA 3D printera. Izvor: <a href="http://www.robotdigg.com/upload/201607/1684/c246b7b04a5b7568e4ef9094660b7474.jpg">http://www.robotdigg.com/upload/201607/1684/c246b7b04a5b7568e4ef9094660b7474.jpg</a> .....	19
Slika 5. Delta 3D printer samostalne izrade. Izvor: Rad autora .....	21
Slika 6. Donji dio radne površine spojen na izvor napajanja u svrhu zagrijavanja. Izvor: Rad autora.....	23
Slika 7. Ruke sa pomičnim zglobovima Delta Kossel dužine 200 mm i dimenzija 4x6 mm. Izvor: <a href="https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41-virbeGqL._SX342_.jpg">https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41-virbeGqL._SX342_.jpg</a> .....	24
Slika 8. Nosači ruke na linearnim vodilicama proizvođača Anycubic dužine 400 mm. Izvor: Rad autora .....	25
Slika 9. Asinhroni koračni motor Nemo 7 sa remenicom od 16 zubaca. Izvor: Rad autora .....	26
Slika 10. Napajanje snage 300W, 12V, 25A. Izvor: Rad autora.....	27
Slika 11. Asinhroni koračni motor sa nastavkom za doziranje filameta u mlaznicu. Izvor: Rad autora .....	28
Slika 12. Mikroprekidač za signalizaciju visine nosača ruke na vodilici. Izvor: Rad autora .....	29
Slika 13. J-head bowden hotend Kossel mlaznica za ekstrudiranje filameta. Izvor: Rad autora.....	30
Slika 14. Arduino 1.4 rebrap meha printer kit 2560 sa display-em. Izvor: Rad autora .....	31
Slika 15. Pregled predmeta za printanje u Ultimaker Cura programu. Izvor: Rad autora .....	32
Slika 16. Testiranje rada printera. Izvor: Rad autora .....	33
Slika 17. Isprintani predmeti prije i nakon završne obrade. Izvor: Rad autora .....	34

# 1. Uvod

Tema ovog rada je općenito upoznavanje s aditivnom tehnologijom izrade predmeta nazvanom 3D printanje. Kroz poglavlja prikazuje se kako je tehnologija nastala, tko je njen začetnik, kako je napredovala i u kojim područjima se danas primjenjuje. Opisuju se metode 3D printanja, kao i najpopularnije vrste 3D printera, a prikazan je postupak konstruiranja i izvedbe Delta 3D printera kućne izrade.

Prvi pokušaji procesa 3D printanja se pojavljuju 1980-ih zahvaljujući doktoru Hideo Kodami. Prototipni sustav bio je zasnovan na korištenju fotoosjetljivog tekućeg polimernog materijala koji se stvrdnjavao nakon izlaganja UV zračenju. Sustav na žalost, nije bio komercijaliziran, a smatra se pretečom SLA metodi.

Nakon nekoliko godina, uz još jedan propali pokušaj od strane francuskih inženjera koji su odustali od stereolitografije zbog slabe poslovne perspektive, 1986. godine Charles Hull izbacuje prvi patent za stereolitografiju (SLA). Pokrenuo je tvrtku 3D Sistemi i nakon godinu dana predstavio prvi uređaj nazvan SLA-1.

Na Teksaškom sveučilištu 1988. godine je predstavljen patent za SLS tehnologiju od strane Carla Deckarda, koja je radila tako da se praškasti materijal stapa zajedno u željeni oblik laserom. Njegov prvi stroj se zvao „Betsy“.

U međuvremenu je Scott Crump, suosnivač Stratasys Inc, 1989. godine patentirao FDM (Fused Deposition Modeling) tehnologiju koja radi na principu taljenja polimernog materijala i slaganja istog, sloj po sloj, kako bi se dobio željeni 3D predmet.

Kroz devedesete razvoj aditivnog procesa proizvodnje je bio potisnut razvojem CNC strojeva. Vrijedi spomenuti tehnologiju razvijenu na MIT-u u Bostonu koristeći škrobno-plastično bazirani prah s vezivom na bazi vode i selektivnu lasersko sinteriranje. No razvoj materijala koji se primjenjuju u toj tehnologiji, metoda izrade i vezivna sredstva su uvelike napredovala. Također CAD (*engl. Computer aided design*) programi su postajali sve razvijeniji i jednostavniji za upotrebu.

Najveće dostignuće nastalo je 1999. godine na području medicine, kada je prvi puta transplantiran organ dobiven 3D printanjem. Radilo se o ljudskom mjehuru čiji su nacrti načinjeni iz CT-a pacijenta, napravljen je biorazgradivi kalup, a matične stanice uzete iz pacijentovog mjehura su slojevito postavljene na kalup i nakon toga transplantirane.

2000. godine isprintan je prvi funkcionalni ljudski bubreg, no trebalo je 13 godina da dođe do prve transplantacije.

Nakon toga dolazi do RepRap projekta, pokrenutog od strane doktora Adriana Bowyera, koji je zamišljen kao izgradnja samoreplicirajuće 3D printera, to jest printera koji bi mogao sve ili većinu dijelova za drugi printer samostalno isprintati. Svrha toga je da printeri budu dostupni široj populaciji.

Na sličnoj ideji se bazira i Shapeways u Nizozemskoj čija je svrha prikupljanje nacrti raznih 3D modela na jedno dostupno mjesto na kojemu bi se navedeni nacrti dijelili s ostatkom svijeta ili bi osobe netehničkih mogućnosti i znanja mogle odabrati što žele isprintati i navedeno im bude poslano nakon proizvodnje na kućnu adresu.

Razvoj nastavlja dalje sve većom brzinom, pa tako uskoro nastaje i prvi HD 3D printer na tržištu, prvu isprintanu umjetnu nogu (protezu), prototip automobila čija je karoserija u potpunosti isprintana, isprintanu i implantiranu čeljust, razvoj printanja hrane (razvija NASA) i još mnogo toga.

Smatra se da aditivna tehnologija još uvijek ima puno mjesta za napredak i razvoj, a 3D printeri su dostupni skoro svakom čovjeku, da li kao gotov proizvod ili kao DIY projekt za izradu.

## 2. Što je 3D printanje

3D printanje definiramo kao aditivnu tehnologiju proizvodnje trodimenzionalnih predmeta.

Proces 3D printanja započinje tako da se predmet modelira na računalu pomoću jednog od CAD (engl. Computer Aided Design) programa ili skenira putem 3D skenera. Model mora biti spremljen u datoteku STL formata koji je standardni format podržan od strane svih programa za 3D modeliranje.

Iz datoteke printeru se generira skup naredbi u kojima se nalaze svi zadani parametri za ispis predmeta. Predmet se ispisuje sloj po sloj. Tipična debljina sloja je 0.1 mm no ona varira ovisno o tehnologiji koja se koristi za ispis. Također, ovisi o preferencama osobe koja nadzire tehnologiju, materijalu i slično. Može varirati od nekoliko mikrona pa do nekoliko centimetara. O navedenim parametrima ovisi i trajanje printanja, kao i o veličini predmeta koji se printa.

Prednosti 3D printanja su mogućnost izvedbe kompliciranijih predmeta nego što se može dobiti tokarenjem, glodanjem i sličnim postupcima u kraćem vremenu. Količina srha pri izradi predmeta je minimalna, no predmeti u većini slučajeva moraju na završnu obradu.

Primjena 3D printera je široka u automobilskoj industriji, elektronici, medicini, arhitekturi, vojnoj industriji, zrakoplovnoj industriji, strojogradnji i još mnogim drugima. Međutim, navedena tehnologija je još uvijek u začecima te postoje široke mogućnosti njene potencijalne primjene.

Ograničenje u aditivnoj tehnologiji trenutno predstavljaju samo dostupni materijali koji se koriste za izradu predmeta. Trenutno su dostupni polimerni materijali (akrilne i epoksidne smole, PA, PMMA, PS, PAEK, TPE, ABS, PC, PLA, PE, PP, PVC), metali (cink, aluminij, bronca, nehrđajući čelik, legure titana, kobalt-kroma, berilij-bakra, visokolegirani čelik, volfram, ugljični čelik) i keramika. Postoji mogućnost printanja zlatom i srebrom, pa čak i biološkim materijalima u vidu printanja hrane.

### 3. Metode 3D printanja

Postoji nekoliko metoda 3D printanja. Sve su aditivne, a razlikuju se u načinu izrade predmeta, to jest načinu kako se nanose slojevi koji sačinjavaju konačni proizvod.

Neke metode koriste taljenje materijala kako bi ekstrudirale slojeve, dok druge ozračuju UV laserom svaki uzastopni sloj materijala koji je fotoreaktivan na UV zrake.

Američko društvo za testiranje materijala odredilo je odredilo klasifikaciju aditivnih tehnologija u sedam kategorija, koje imaju i podkategoriju, a mi ćemo spomenuti one najbitnije i najprimjenjenije.

### 3.1. FDM (engl. Fused Deposition Modeling) ili FFF (engl. Fused Filament Fabrication ) tehnologija

FDM ili FFF su skraćenice za jednaku tehnologiju izrade predmeta. Model koji se kreira u CAD programu ili dobiva 3D skenerom ubacuje se u računalni software koji generira kod sa sadržajem svih parametara (brzina doziranja, temperatura mlaznice, temperatura radne površine, debljina filameta, horizontalna i vertikalna kretanja, itd) potrebnih da bi se predmet isprintao na 3D printeru. Plastični ili metalni materijal, odnosno filament dovodi se u ekstruzijsku mlaznicu koja može povećavati i smanjivati protok materijala. Mlaznica je zagrijana kako bi otapala materijal i može se pomicati horizontalno i vertikalno. Predmet se izrađuje tako da se slaže sloj na sloj na radnu površinu koja može a i ne mora nužno biti zagrijana na određenu temperaturu ovisno o tehnologiji. Materijal se tako postepeno hladi i učvršćuje. Ova tehnologija ima široku primjenu pri korištenju ABS i PLA materijala, no nije ograničena samo na njih.

Korištenjem ove tehnologije dobiva se na fleksibilnosti mogućnosti izrade modela. Oni mogu imati unutrašnje šupljine, zakrivljenja, provrte i tome slično. Postoje neka ograničenja kao što su nagib za koji nije poželjno da je preko 45 stupnjeva bez korištenja potpornog materijala. Kvaliteta i vrijeme izrade ovise o debljini visine sloja koja se kreće u većini slučajeva od 0,15 – 0.25 mm, koriste se i slojevi raspona od 0,05-0,5 mm.

Kod procesa proizvodnje potrebno je obratiti pozornost na orijentaciju sloja zbog opterećenja koje će se vršiti na predmet pri njegovom korištenju. Kao svi vlaknasti materijali, predmet koji dobijemo printanjem je najčvršći kada je sila usmjerena u istom smjeru kao i vlakna, zbog toga se slojevi rade okomito jedan na drugi kako bi se postigla što veća moguća kombinacija orijentacija vlakana i tada se opterećenje može podnijeti u svim smjerovima djelovanja.

Ova tehnologija glasi kao najjeftinija, a najpopularniji FDM/FFF printeri su Kartezijski, Delta i Core XY.



### 3.2. Stereolitografija (SLA)

Stereolitografija je tehnologija aditivne proizvodnje kod koje se koristi tekući fotopolimer, smola, i UV laser kako bi se isprintao predmet sloj po sloj.

Tehnologija radi tako da je platforma uronjena u smolu, dok UV laserski snop usmjeren lećom iscrtava oblik zadan parametrima. Dio smole ozračen UV zrakom očvršćuje i tako dobivamo sloj zadanog predmeta koji printamo.

Postoje dva postupka izrade predmeta SLA tehnologijom. Postupak pri kojem se radna površina i sloj predmeta spušta u fotopolimer i postupak gdje se radna površina i sloj predmeta podižu iz dna spremnika u kojem se nalazi fotopolimer (engl. bottom up).

Kada UV laser ocrta cjelokupni sloj zadanog predmeta na platformi ona se uranja za jedan sloj u dubinu ili diže, ovisno o postupku SLA tehnologije. Debljina sloja varira, a najčešće su to vrijednosti od 0.05 mm do 0.15 mm. O debljini ovisi kvaliteta izrade predmeta, ali se posljedično produljuje vrijeme izrade. Stroj tada prelazi novim filmom smole preko platforme i UV laser iscrtava sljedeći zadani sloj. Postupak se ponavlja sve dok predmet nije završen. Stereolitografija zahtjeva korištenje potpornih dijelova kod printanja kako ne bi došlo do deformacija tijekom samog postupka. Tijekom printanja, ostaci smole mogu ostati zatočeni u dijelovima predmeta, što je nužno očistiti kod završetka printanja s potpornim dijelovima. U slučaju izostavljanja, pri završnoj obradi dolazi do deformacija i oštećenja predmeta. Nakon čišćenja predmet se u UV komori dodatno učvršćuje.

Stereolitografija se najčešće koristi kod proizvodnje šupljih dijelova s debljim stijenkama, posebice kod proizvodnje kalupa za lijevanje metala ili nekih drugih materijala.

Najveći nedostatak navedene metode je visoka cijena izrade i održavanja.

### 3.3. Praškasti inkjet 3D printeri (engl. Polyjet)

PolyJet tehnologija je vrlo precizna metoda aditivne tehnologije koja radi na principu Inkjet printera. Na radnu površinu mlaznica raspršuje kapi fotopolimernog materijala prema zadanim parametrima. Materijal se istovremeno zrači UV laserom i učvršćuje čime se dobiva završni predmet. Rezolucija sloja kreće se već od 16 mikrona i preciznošću od 0,1 mm po sloju ova tehnologija omogućava proizvodnju jako glatkih i preciznih predmeta. Obavezno se mora koristiti potporni materijal na mjestima gdje zadani predmet ima udubljenja ili složenije oblike za printanje. Polyjet printer za tu potrebu ima dodatnu mlaznicu koja ubrizgava materijal u obliku gela koji se nakon završetka printanja lako uklanja.

Prednost Polyjet tehnologije je printanje gotovih proizvoda. Nakon završetka printanja, predmet nije potrebno dodatno završno obrađivati. Moguće je printati složenije oblici, predmete s različitim detaljima (kao što su slike, crteži, slova), a spektar materijala za korištenje je puno veći nego kod ostalih metoda.

Polyjet tehnologija je trenutno najbrža dostupna komercijalna tehnologija za 3D printanje.

### 3.4. LOM tehnologija (proces izrade laminiranjem)

Laminiranje je jedna od starijih metoda 3D printanja.

Slojevi materijala (papir, plastika, metal) se međusobno lijepe jedan na drugi, dok se željeni oblik svakog sloja postiže rezanjem nožem, odnosno u novije vrijeme laserom.

Materijal namotan na zagrijani valjak se odmata i istovremeno premazuje adhezijskim sredstvom koje povezuje slojeve. Nakon toga dolazi do radne površine koja se lagano digne kako bi se sloj naljepio. Laserom se izrezuje oblik zadan parametrima za printanje predmeta i sloj se lijepi na radnu površinu ili prijašnji sloj. Nakon lijepljenja radna površina se spušta, a višak materijala se uklanja namatanjem na drugi valjak. Proces se ponavlja dok se ne dobije konačan željeni oblik predmeta.

Prednost ove metode je izrada velikih modela bez kemijskih reakcija, koji se naknadno mogu završno obrađivati (glodanjem, tokarenjem) poput drveta, niska cijena, nije potrebna visokoprecizna dimenzijska točnost.

### 3.5. Selektivno lasersko sinteriranje

Selektivno lasersko sinteriranje (SLS) je metoda aditivne proizvodnje koja koristi laser velike snage kako bi se sinterirale, tj spojile čestice praha materijala korištenog za proizvodnju predmeta.

Ovim postupkom proizvode se pretežno metalni predmeti.

Proces se odvija tako da uređaj ima dvije radne površine. Jednu za izradu predmeta a drugi za dobavu materijala, laser visoke snage, sustav za skeniranje radne površine i valjka za dobavu materijala.

Materijal u prahu zagrijava se na temperaturu blizu vlastite temperature taljenja. Prema parametrima dobivenim iz CAD datoteke, sustav za skeniranje skenira presjek po presjek i tako laserom spaja čestice praha. Kada je laser završen sa spajanjem sloja, radna površina na kojoj se nalazi predmet se spušta za jedan definirani sloj, a radna površina za dobavu materijala se diže. Valjak zatim rasprostire materijal na radnu površinu s predmetom i sustav nastavlja s kreiranjem sljedećeg sloja. Postupak se nastavlja dok predmet nije gotov.

SLS metoda je jedina metoda koja ne treba potporne dijelove pri proizvodnji. Radi se o jednoj od prvih metoda primijenjenih u proizvodnji dijelova. Nije potrebno uklanjati srh, već se prah jednostavno strese s gotovog proizvoda. Najviše se koristi u zrakoplovnoj industriji zbog svojih visokotemperaturnih svojstva.

Nedostatak su skupi strojevi koji troše puno električne energije, a najčešće se koristi u maloserijskoj proizvodnji i proizvodnji prototipova.

### 3.6. Direktno lasersko sinteriranje metala

Direktno lasersko sinteriranje metala (DMLS) je tehnologija slična SLS tehnologiji, ali za materijal izrade koristi metal umjesto plastike, keramike ili stakla i koristi u potpunosti hibernetički zatvorenu komoru.

Komora je zagrijana do temperature neznatno niže od temperature tališta metala, gdje je raspoređen tanak sloj metala u prahu na radnu površinu, nakon čega ga laser velike snage sinterira, odnosno tali u željeni oblik dobiven prema parametrima CAD programa. Proces se ponavlja sloj po sloj, najčešće debljine oko 20 mikrometara.

Dok SLS metoda nema potrebe za potpornim materijalima, kod DMLS su potrebni zbog kuteva, provrta i slično. Ipak, najviša potreba za potporom postoji zbog visoke temperature potrebne za taljenje materijala koja je puno viša nego za taljenje plastike. Kada ne bi bilo potpornih materijala, u trenutku kada bi se materijal stalio i sinterirao laserom, postao bi teži od praha i jednostavno bi potonuo. Nakon završetka printanja, predmet je potrebno i završno obraditi (pjeskarenje, brušenje ili nekim drugim postupkom).

DMLS metodom dobivamo predmete visoke površinske kvalitete i točnosti detalja, kao i odličnih mehaničkih karakteristika. Zbog slojevite proizvodnje možemo dobiti kompliciranije oblike koje ne bi mogli lijevanjem ili nekom drugom konvencionalnom proizvodnjom, a ne zahtijeva kalupe ili alate za proizvodnju. Najčešće se koristi u proizvodnji medicinskih alata, prototipova, zrakoplovnoj industriji i proizvodnji predmeta po narudžbi.

### 3.7. Aditivna proizvodnja elektronskim snopom

Aditivna proizvodnja elektronskim snopom je tehnologija izrade predmeta od metalne žice ili praha koji se međusobno vare pomoću elektronskog snopa u vakuumu.

Postoje dva načina proizvodnje, pomoću praha i pomoću žice.

Kod korištenja praha, proces je sličan SLS procesu. Metalni prah se stavlja na radnu površinu koja je pomična i laser velike snage snopom zagrijava dijelove sloja (temperature oko 1000 °C) i tako ih stapa u željeni oblik. Kod korištenja praha nije potrebno koristiti potporne materijale jer tu ulogu preuzima prah. Zbog vakuuma ne dolazi do kontaminacije radnog prostora, pa se mogu koristiti materijali visokog afiniteta prema kisiku kao što je titanij. Navedeno je velika prednost uzimajući u obzir da se isti koristi najviše u medicini za izradu implantata, kao i zrakoplovnoj industriji. Sam predmet kada je isprintan nije potrebno dodatno strojno obrađivati, no potrebna su duga i iscrpna testiranja za provjeru kvalitete zato što postupak zahtjeva korištenje čistih, nekontaminiranih materijala.

Kod korištenja metalne žice kao materijala, proces je sličan FDM procesu. Žica se topi elektronskim snopom lasera na radnoj površini i tako se međusobno povezuje na mjestima definiranim parametrima CAD programa.

Snage lasera za topljenje materijala su raspona snage 30-42 kW.

## 4. Vrste 3D printera

3D printeri, iako još u razvoju, se koriste u svim relevantnim i nerelevantnim granama industrije. Zbog velikih prednosti koje ovaj način nudi, sve više pogona u proizvodnim uslugama izrađuje barem neke dijelove svog asortimana aditivnom tehnologijom.

Jednostavnost korištenja i upravljanja, pa na kraju i samoizgradnje određenih 3D printera, budi znatiželju stoga se danas sve češće 3D printeri mogu naći i u kućnoj upotrebi kao hobiji.

Najpopularniji printeri za izradu predmeta su printeri koji rade na principu FDM tehnologiji:

- Printeri prema „Kartezijevom sustavu“
- Delta printeri
- Polar
- Printeri sa robotskom rukom

Osim kratkog opisa svakog od navedenih printera, detaljnije ćemo razraditi izradu i konstrukciju Delta 3D printera.

#### 4.1. Printeri prema „Kartezijevom sustavu“

Printeri nazvani po najpopularnijem koordinatnom sustavu, koriste tri geometrijske osi kojima definiraju točke kretanja robotske ruke s mlaznicom kako bi isprintala predmet.

Printeri izrađeni prema ovom sustavu su danas najčešći u upotrebi.

Najčešće se sastoje od platforme koja se pomiče samo po Z osi. Mlaznica se nalazi na konstrukciji koja joj omogućava micanje po X i Y osi u četiri smjera.

Dva najpoznatija branda koja proizvode ovakve printere su „Ultimaker“ i „MakerBot“.

Premda napravljeni na istom principu, svaki od proizvođača ima pojedine segmente prema kojima se printeri razlikuju.

CORE XY printeri se razlikuju po načinu povezivanja stepper motora na X i Y osima zbog smanjenja težine printera, zbog čega se pomicanje mlaznice može odraditi finije i preciznije, što povećava kvalitetu izrade i kraće vrijeme izrade.

Ultimaker printeri koriste isti raspored osi kao i iznad navedeni, a razlikuju se po načinu kretanja X i Y osi. Koriste dvije nezavisne klizne šipke na kojima se nalazi nosač mlaznice s okomitim ležajevima, pa tako jedini pomak koji radna platforma mora odraditi je pomicanje gore i dolje, što daje još precizniji i kvalitetniji proizvod.



Slika 1. Izvedba printera prema „Kartezijevom sustavu“. Izvor: <https://www.3dprintergear.com.au/assets/thumbL/Z-M200.png>



## 4.2. Delta printeri

Delta 3D printeri također koriste Kartezijski koordinatni sustav, ali za pomicanje mlaznice koriste tri ruke koje se miču vodilicama raspoređenim u trokut. Svaka ruka ima svoj paralelogram. Micanje po X i Y osi se izvodi tako da se mijenjaju kutevi tih paralelograma.

Ruke Delta 3D printera vise s fiksiranih platformi gdje se nalaze svi dijelovi potrebni za njihovo pomicanje. Zbog toga je glava printera gdje se nalazi mlaznica puno lakša i smanjuje inerciju. Reduciranjem inercije, pogotovo kod zaustavljanja, glava se može puno brže kretati uz zadržavanje preciznosti.

Postolje 3D printera je najčešće okruglog oblika i nepomično.

Najveća prednost ovog printera je mogućnost printanja visokih predmeta uz visoku preciznost i brzinu. Lakše ih je i nadograditi u slučaju da trebamo izradu viših predmeta, gdje je potrebno samo zamijeniti vodilice Z osi. U usporedbi s ostalim printerima, broj komponenti za njegovu izradu je puno manji, stoga su manji troškovi izrade i održavanja.

Nedostatak je što printer mora biti puno viši od predmeta kojeg printamo zbog konstrukcije ruku koje pomiču glavu s mlaznicom i teže je printati predmete velike površine.

Dilema između Delta i klasičnih Kartezijskih printera je što stručnjaci smatraju da Delta printeri nisu precizni i detaljni naspram Kartezijskih.

Slika 2. Izvedba Delta 3D printera: Izvor:  
[http://cdn.shopify.com/s/files/1/0276/2543/products/h2-delta-diy-3d-printer-kit\\_1024x1024.jpg?v=1504624585](http://cdn.shopify.com/s/files/1/0276/2543/products/h2-delta-diy-3d-printer-kit_1024x1024.jpg?v=1504624585)



### 4.3. Polar

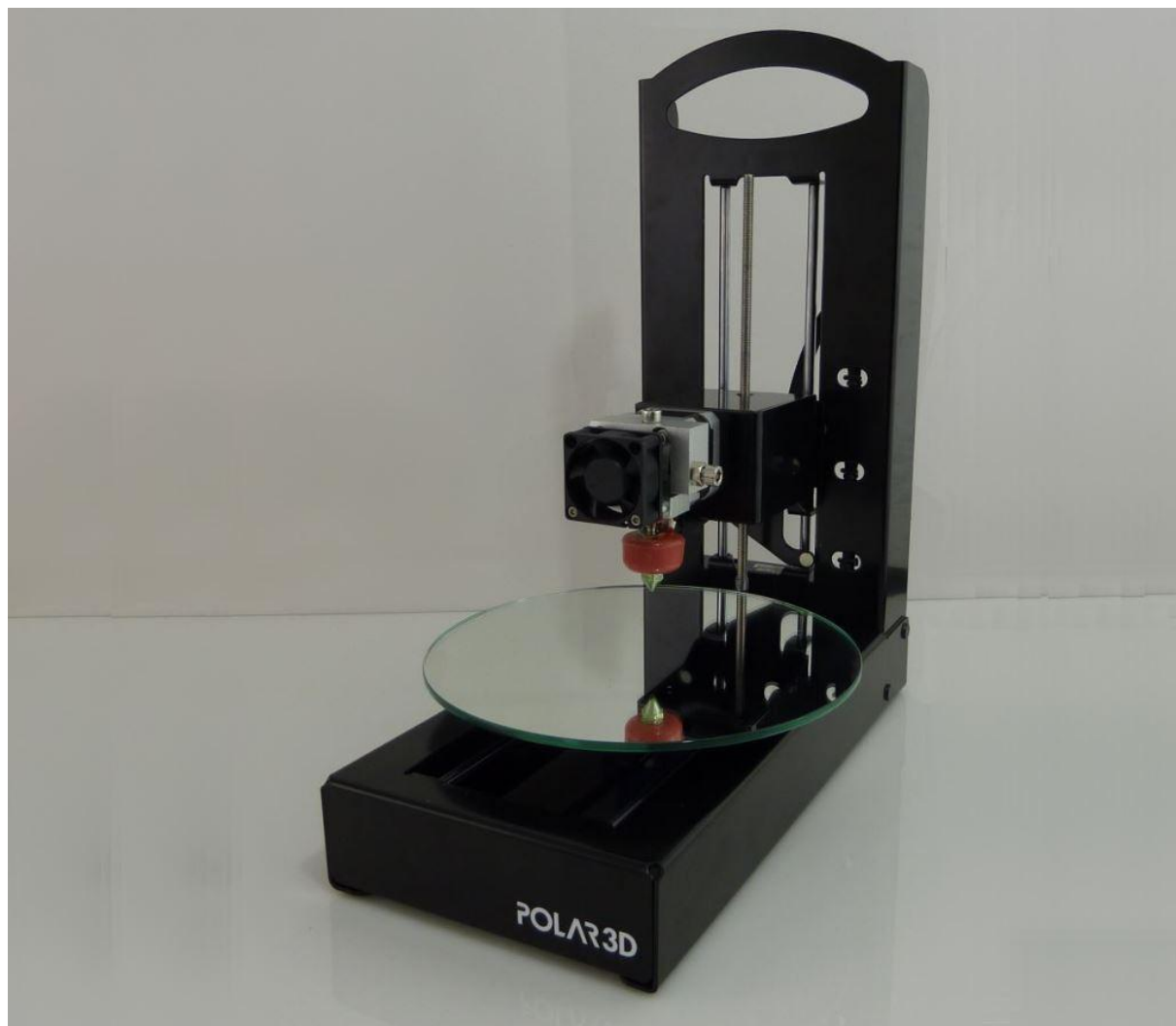
Polar 3D printeri su printeri u razvoju i puno obećavaju. Koriste polarni koordinatni sustav koji je sličan Kartezijskom, ali zadane koordinate opisuju poziciju zadane točke na kružnoj mreži, a ne kvadratnoj.

Polar printeri imaju kružnu radnu površinu koja se okreće i pomiče naprijed i nazad, te glavu s mlaznicom koja se pomiče gore i dolje, što omogućuje korištenje svakog dijela radne površine za printanje predmeta.

Velika prednost je da printer funkcionira samo s dva steper motora, što je u usporedbi s klasičnim Kartezijskim printerom koji koristi bar 4, puno manje.

U početku zamišljen kao instrukcijski printer na kojemu bi osnove 3D printanja učili u školama i fakultetima, prednosti pri korištenju cjelokupne radne površine i manjem broju dijelova od kojih se sastavlja čine ovaj 3D printer vrlo obećavajućim za budućnost.

Slika 3. Izvedba Polar 3D printera. Izvor: <https://3dprint.com/wp-content/uploads/2015/01/polar3d2.jpg>



#### 4.4. Printeri sa robotskom rukom (SCARA)

Printeri s robotskom rukom, skraćenice SCARA (engl. Selective Compliance Assembly Robotic Arm) je vrlo precizan sustav za 3D printanje.

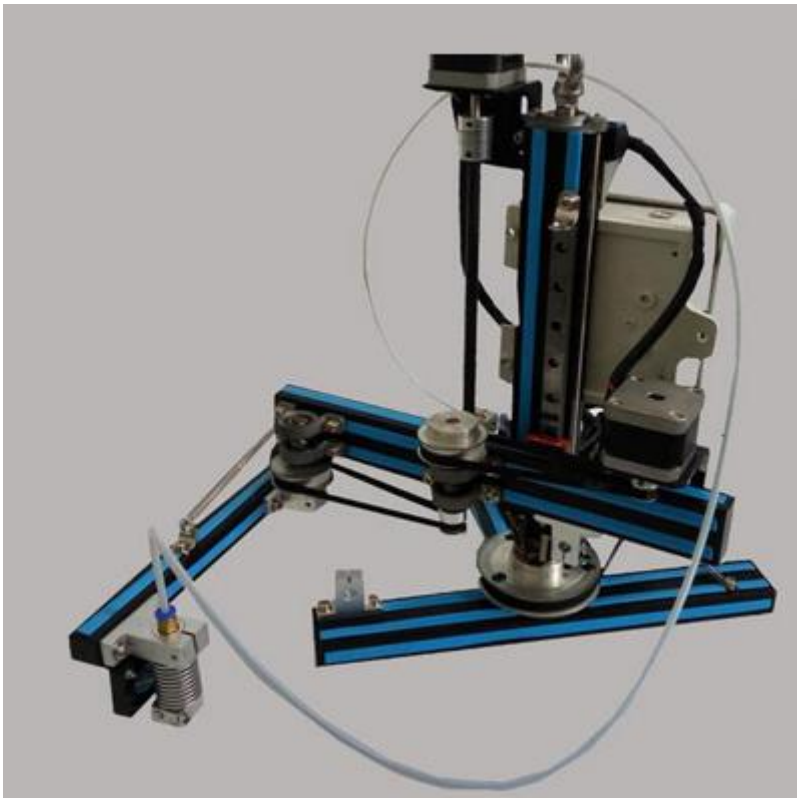
Ovaj 3D printer je rađen na principu jednostavne robotske ruke najčešće korištene u automobilskoj industriji, no postoji više izvedbi.

Printer se sastoji od radne površine koja može i ne mora biti zagrijana i nije fiksirana za sam 3D printer što ga čini mobilnijim. Robotska ruka ima kretnje u svim smjerovi, a vrhu se nalazi glava s mlaznicom.

Prednost ovog printera je fleksibilnost glave s mlaznicom što omogućava jednostavnost izrade kompleksnijih predmeta.

Premda je dizajn obećavajuć, najveći nedostatak je veliki broj dijelova od kojih je sastavljen, što znači skuplju izradu i više troškove održavanja, te manja kvaliteta izrade predmeta od konvencionalnog Kartezijskog printera.

*Slika 4. Jedna od izvedbi SCARA 3D printera. Izvor: <http://www.robotdigg.com/upload/201607/1684/c246b7b04a5b7568e4ef9094660b7474.jpg>*



## 5. Dijelovi Delta 3D printera

FDM 3D printer koji ću detaljnije razraditi je delta izvedba. Uz printere koji rade „Kartezijskim principom“, delta printeri se najčešće koristi za samoizgradnju i hobi.

Pri izradi 3D printera, sve više ljudi se odlučuje za izgradnju Delta 3D printera zbog manjeg broja dijelova potrebnih za sklapanje i jednostavnije izvedbe, te prednosti printanja predmeta većih gabarita nego što bi se moglo na „Kartezijevom printeru“ istog ili sličnog troška izrade.

Glavni dijelovi printera su:

- Radna površina koja može i ne mora biti grijana
- Steper motori za pokretanje pokretnih dijelova
- Konstrukcija printera
- Nosači mlaznice (ruke) sa vodilicama na konstrukciji
- Mlaznica
- Upravljačka jedinica
- Napajanje
- Mikroprekidači

## 6. Izvedba Delta printera

Kao pokazni primjer 3D printera samostalno je sklopljen Delta 3D printer i testirana izrada predmeta. Izrađeni predmeti su dijelovi za airsoft replike i dijelovi za action kamere.

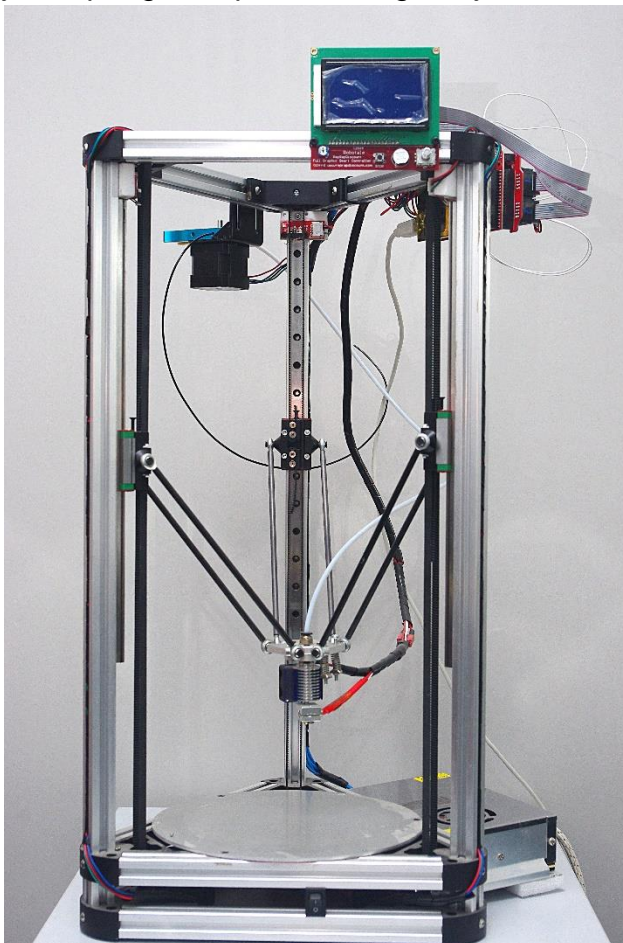
Delta printer je odabran jer je potreban manji broj dijelova za izgradnju, te zbog brzine rada i mogućnosti printanja većih predmeta.

Nekoliko različitih veličina, to jest izvedbi Delta 3D printera dostupne su na internet stranicama koje su dostupne široj populaciji koja se bavi 3D printanjem u paketima gdje dolaze sa svim potrebnim dijelovima za sastavljanje i pokretanje.

*Slika 5. Delta 3D printer samostalne izrade.*

*Izvor: Rad autora*

Izradi ovog Delta printera pristupljeno je na specifičan način. Umjesto kupovine cjelokupnog kompleta za izgradnju, izrađen je printer po vlastitim specifikacijama





autora. Svaka komponenta pribavljena je zasebno, bili kupljena ili samostalno izrađena, kako bi gotov printer zadovoljavao zadane zahtjeve.

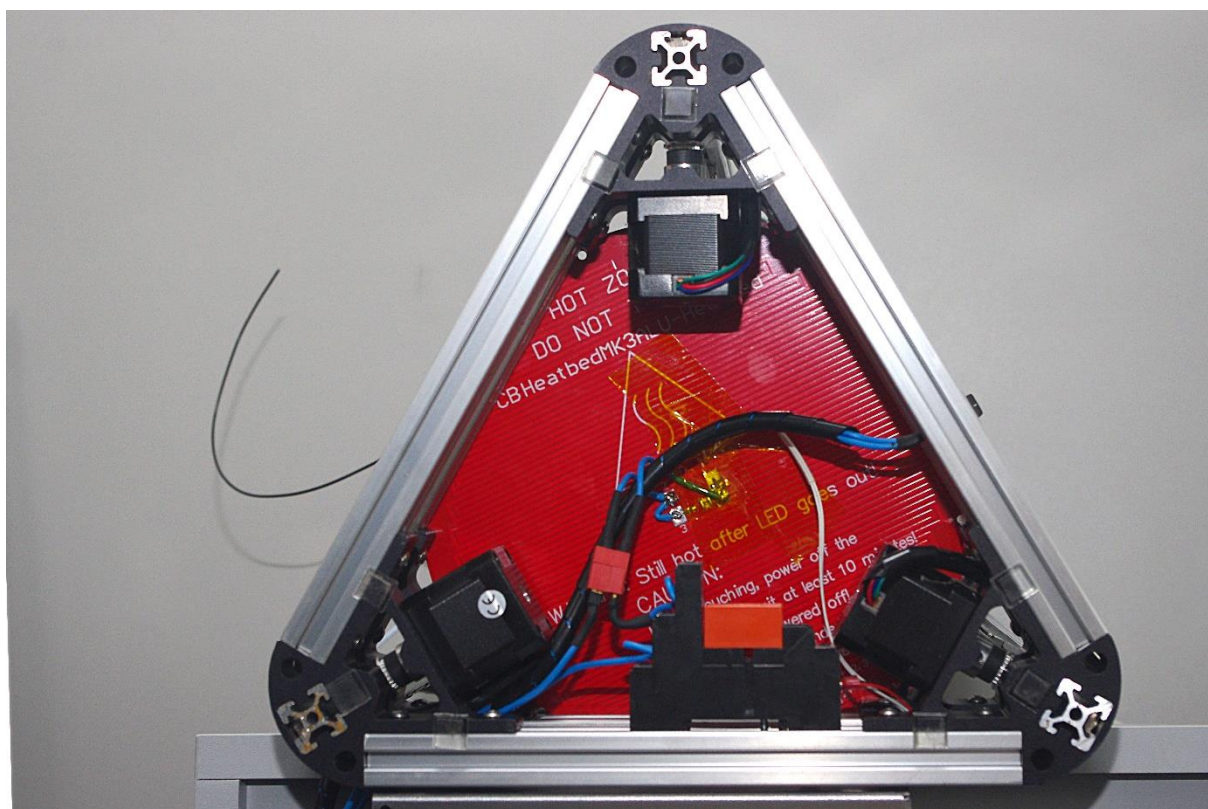
Ovakav način izrade je, naravno, skuplji od kupovanja gotovih kompleta dostupnih na internetu, ali korisniku daje veće mogućnosti za prilagodbu po traženim specifikacijama, kao i u konačnici puno veće shvaćanje 3D printera i 3D print tehnologije.

## 6.1. Konstrukcija printera

Konstrukcija printera izvedena je s aluminijskim profilima presjeka 32x32 milimetra povezanih plastičnim učvršćivačima isprintanim na 3D printeru u obliku uglate trostrane prizme, što prikazuje Slika 1. Dno printera ima povišenu konstrukciju na koju se montira radna površina i ispod koje se nalaze priključci za ožičenja i stepper motori.

Za radnu površinu korištena je MK3 aluminijska ploča s mogućnosti zagrijavanja promjera 220 milimetara i s mogućnošću spajanja na 12 ili 24 Volti (Slika 2.). Korištenje radne površine koja ima mogućnost grijanja produžuje vrijeme izrade predmeta, no kvaliteta izrade je bolja zbog postepenog hlađenja predmeta.

*Slika 6. Donji dio radne površine spojen na izvor napajanja u svrhu zagrijavanja. Izvor: Rad autora*



Za pokretanje mlaznice, jer se radi od trokutastom obliku, potrebna su tri seta ruku sa pomičnim zglobovima i koriste se ruke dužine 200 mm i presjeka 4x6mm. Ruke se šarafe s jedne strane na vodilice profila koje se nalaze na trokutastoj konstrukciji i s druge strane na nosač mlaznice.

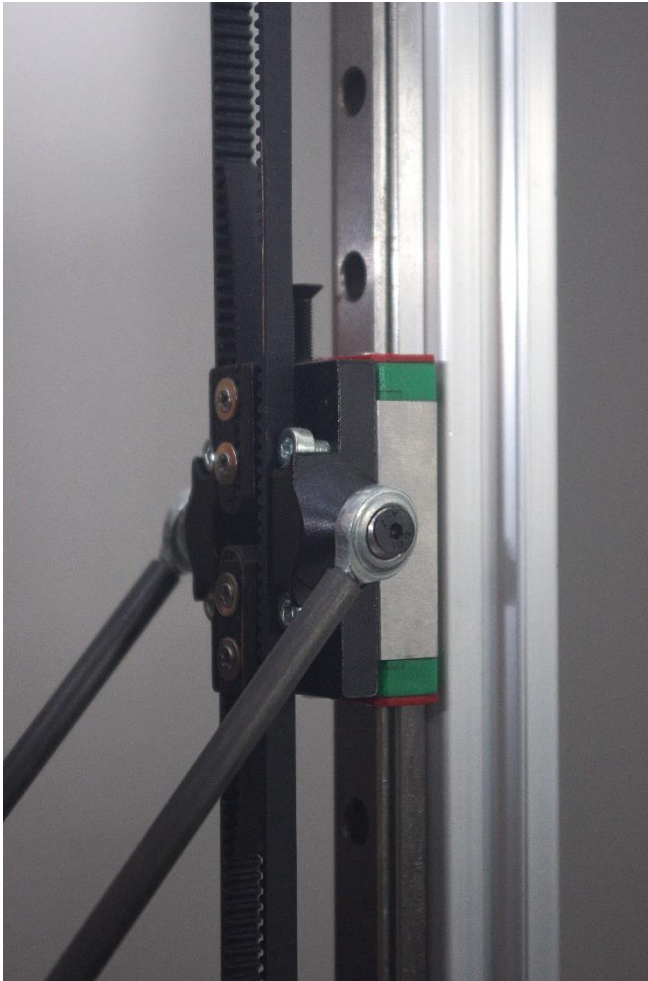
Slika 7. Ruke sa pomičnim zglobovima Delta Kossel dužine 200 mm i dimenzija 4x6 mm. Izvor: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41-virbeGqL.\\_SX342\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41-virbeGqL._SX342_.jpg)



Kao što Slika 4 prikazuje, vodilice profila sa nosačima su proizvođača Anycubic i dolaze u različitim dužinama, što olakšava eventualnu naknadnu nadogradnju Delta printera u visinu. Za ovaj printer odabrane su Anycubic mgn12 vodilice dugačke 400 mm sa klizačima na koje se montiraju ruke.

*Slika 8. Nosači ruke na linearnim vodilicama proizvođača Anycubic dužine 400 mm.*

*Izvor: Rad autora*



Vodilice ruku se pomiču zupčastim remenjem pomoću koračnih motora. Koračni motori na osovina ima remenice sa 16 zubaca. Remenje je postavljeno oko remenica koračnih motora, sve do remenica na vrhu printera, a spojeno je na vodilici ruke, te ju tako pomiče gore i dolje.

*Slika 9. Asihroni koračni motor Nemo 7 sa remenicom od 16 zubaca. Izvor: Rad autora*



## 6.2. Elektronički dijelovi printera

Printer i njegove komponente je potrebno napajati električnom energijom i za tu svrhu koristimo napajanje snage 300w, 12V, 25A. Na spomenuto napajanje spajamo sve električne komponente printera, a ono se napaja direktno iz gradske mreže, bez potrebe dodatnih pretvarača ili adaptera.

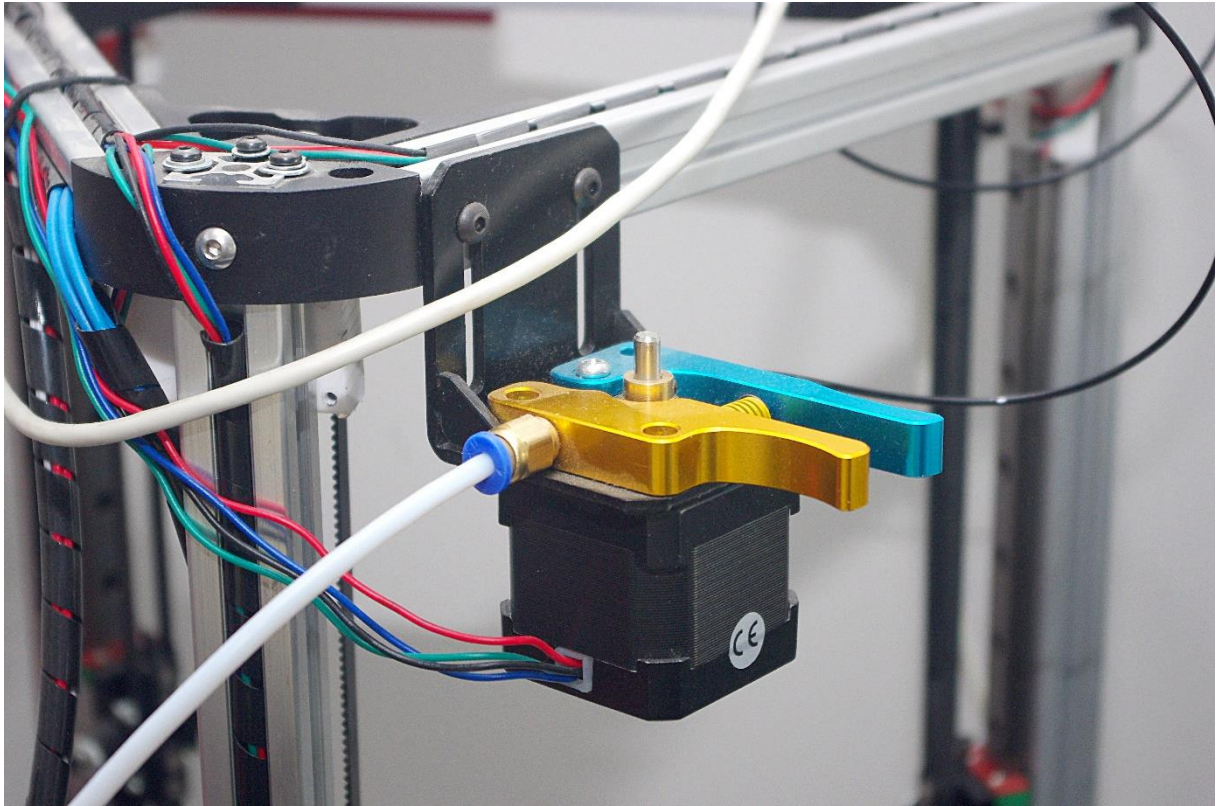
*Slika 10. Napajanje snage 300W, 12V, 25A. Izvor: Rad autora*



Za pokretanje ruku 3D printera i doziranje filamenta koriste se koračni, tj. stepper motori. Specifičnost koračnih motora je mogućnost jako male, ali precizne promjene položaja rotora i održavanja trenutne pozicije pod različitim opterećenjem.

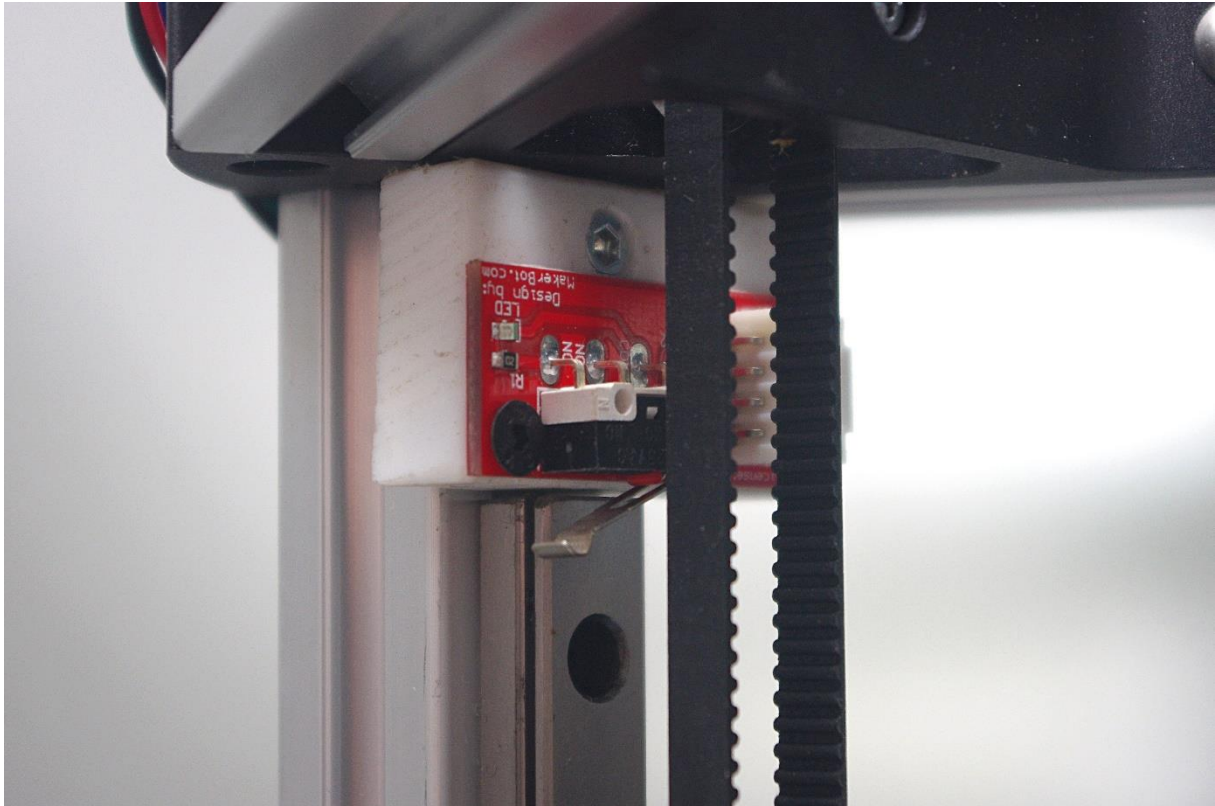
*Slika 11. Asinhroni koračni motor sa nastavkom za doziranje filameta u mlaznicu.*

*Izvor: Rad autora*



Kao graničnike visine ruku 3D printera korišteni su 5A mikroprekidači s polugom koji u trenutku kada su aktivirani (vodilica ruke dodirne mikroprekidač), šalju signal upravljačkom modulu i on tada zna kako je ta ruka došla do svoje najviše točke. Za najnižu točku nisu potrebni graničnici jer je najniža točka definirana kao nulta koordinata prilikom kalibracije.

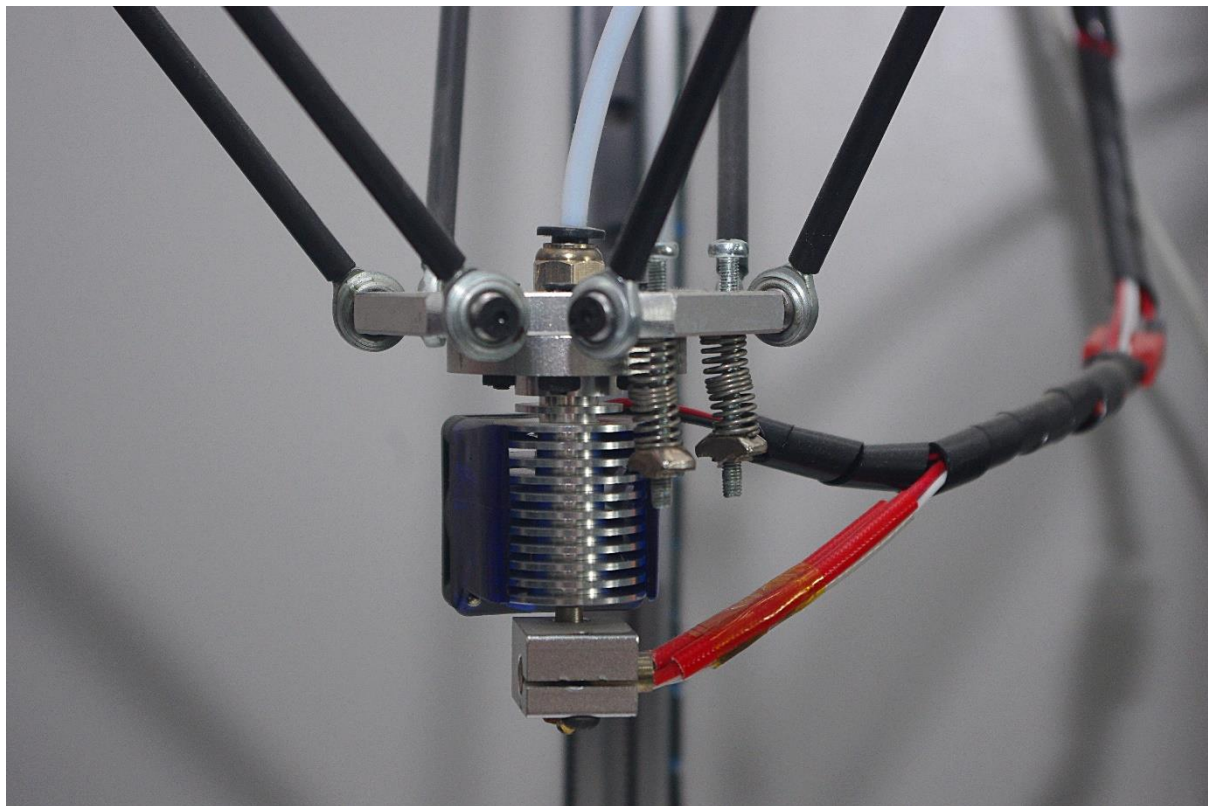
*Slika 12. Mikroprekidač za signalizaciju visine nosača ruke na vodilici. Izvor: Rad autora*



Za doziranje filameta kroz vodilice u mlaznicu korišten je ekstruder montiran na koračni motor proizvođača Makerbot, kroz koji se provuče materijal koji koristimo za printanje, te ga on dozira u J-head Volcano Bowden mlaznicu. Debljina filameta za navedeni set-up može biti do 1.75mm u promjeru.



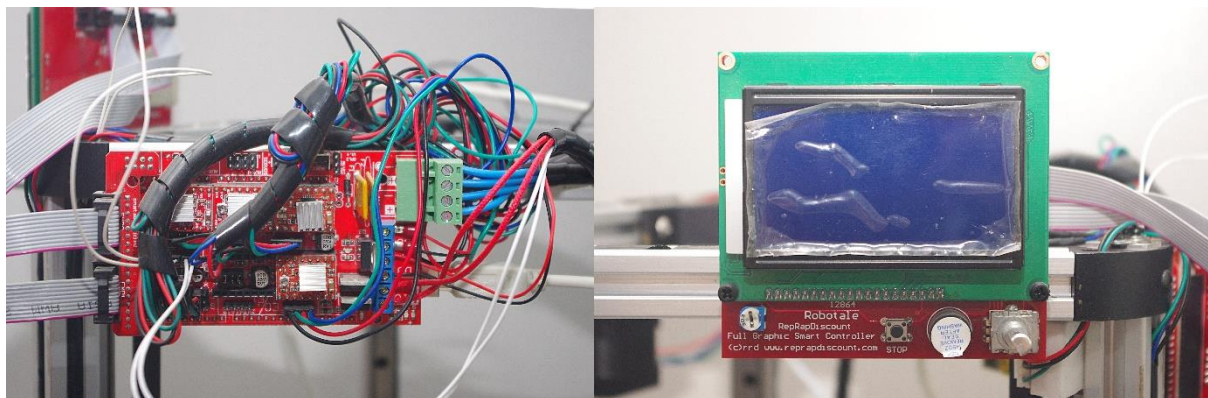
*Slika 13. J-head bowden hotend Kossel mlaznica za ekstrudiranje filamenta. Izvor: Rad autora*



Svaki printer, pa tako i ovaj, mora imati svoju upravljačku i pokretačku jedinicu koja će svim elektroničkim dijelovima davati potrebne signale za rad i u konačnici dobiti isprintani predmet željenog oblika koji smo konstruirali u nekom od 3D CAD programa.

Za ovaj printer koristili smo komponente koje su vrlo popularne u „DIY 3D printer“ svijetu i dolaze s velikim preporukama. To je Arduino Mega 2560 s RAMPS 1.4 upravljačkim sklopom, 12864 LCD displayem, A4988 driverom za koračne motore. Navedene komponente se spoje prema već predviđenim uputama, jer se radi o paketu predviđenim za Delta 3D printere.

*Slika 14. Arduino 1.4 repara meha printer kit 2560 sa display-em. Izvor: Rad autora*



## 6.3. Software

Razvojem strojarstva pojavili su se mnogi CAD programi koji pojednostavljaju predodžbu i izradu 3D modela koje kasnije pokušavamo u proizvodnji dobiti na raznim strojevima. Koji od tih programa će korisnik koristiti, ovisi većinom o njegovom osobnom izboru ili potrebama.

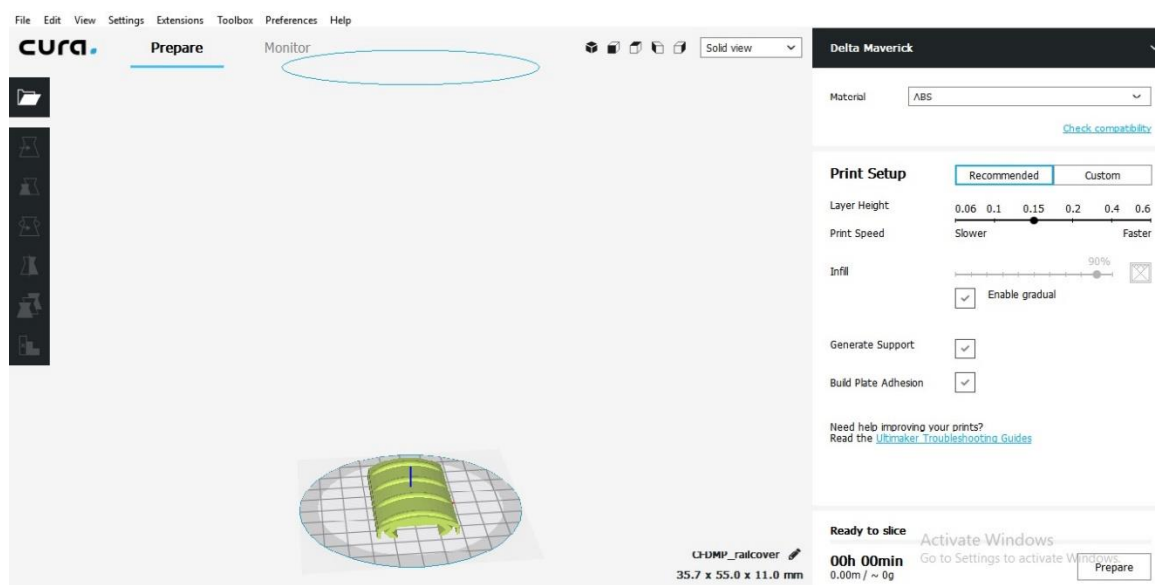
CAD model koji konstruiramo se sprema u .STL formatu. Navedenom datotekom generiramo kroz program za generiranje koda sve parametre potrebne da bi printer mogao početi s radom i isprintati predmet. Kao i kod CAD programa, postoji i veliki broj programa za generiranje koda za printanje, kao što su Sketchup, Slic3r, Cura, KISSlicer, OctoPrint, popularno zvanu „Slicer“ programi.

U Slicer programima, osim što učitamo željeni predmet generiran CAD programom, unosimo i parametre poput temperature mlaznice, radne ploče, kvalitete printanja, brzine printanja, debljina sloja printa, unutrašnju ispunu modela i slično.

Slanje koda za printanje prema printeru može se odraditi na dva načina.

Prvi način je povezivanjem izravno na računalo putem USB kabela i programa za komunikaciju računalo – printer (npr. Pronterface upravljački program), ili korištenjem memorijske SD kartice na koju jednostavno snimimo kod i nju umetnemo u 3D printer.

*Slika 15. Pregled predmeta za printanje u Ultimaker Cura programu. Izvor: Rad autora*

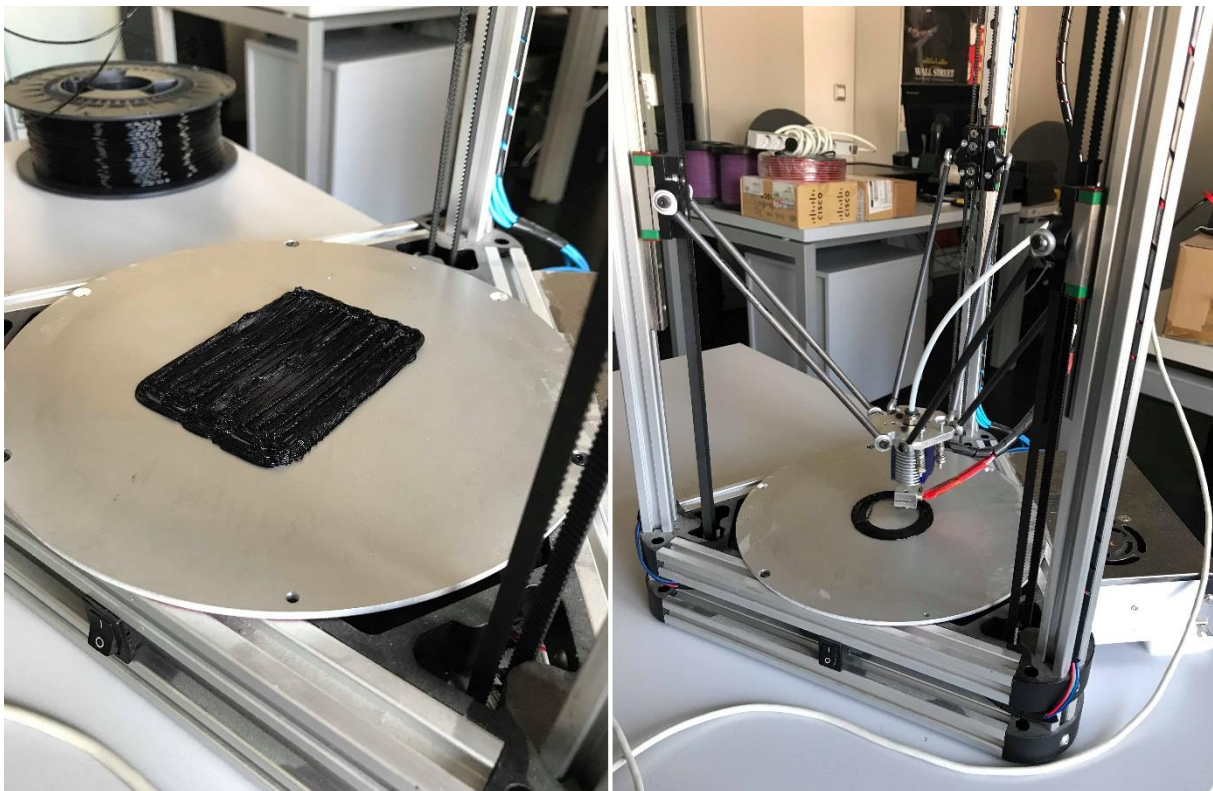


## 7. Testiranje Delta printera

Nakon provjere i slaganja svih komponenti Delta 3D printera, odradili smo kalibraciju i testni print predmeta.

Predmet koji smo testirati za kalibraciju i printanje je pokrov metalnog nosača za airsoft repliku / taktičnu pušku.

*Slika 16. Testiranje rada printera. Izvor: Rad autora*



Za generiranje koda smo koristili program „Ultimaker Cura“, a komunikaciju između računala i printera program „Marlin“.

Nakon kalibracije i testiranja, dobiveni su isprintani predmeti zadovoljavajuće kvalitete. Prvi dio slike 17 prikazuje predmete skinute sa radne površine, a drugi dio predmete nakon obrade i uklanjanja srha.

*Slika 17. Isprintani predmeti prije i nakon završne obrade. Izvor: Rad autora*



## 8. Zaključak

3D printanje je još relativno nova tehnologija čija se primjena tek počinje adekvatno razvijati i primjenjivati u svakodnevnom životu, kako pojedinaca u svrhu hobija, tako i globalnih tvrtki u proizvodnji. 3D printanje je tehnologija čiju ideju još uvijek u potpunosti ne prate današnje tehnološke mogućnosti, ali s vremenom ima potencijal doći do vrhunca te time pojednostaviti svakodnevni život u mnogim segmentima. Primjena procesa je vrlo široka, od proizvodnje rezervnih dijelova, pa čak i kompletnih objekata (kuće, hale i slično), preko izrade medicinskih pomagala (kukovi, kosti), pa sve do proizvodnje same hrane. Nakon općeg upoznavanja sa svijetom 3D printanja, prezentiran je i način samostalne izgradnje jedne verzije 3D printera, takozvanog Delta 3D printera, što dokazuje kako je ova tehnologija pristupačna širokoj populaciji koja si može uvelike poboljšati kvalitetu života koristeći se njome.

## 9. Popis korištene literature

- 3D Hubs, What is 3D Printing; The definitive guide to additive manufacturing, Dostupno na: <https://www.3dhubs.com/what-is-3d-printing>, (*Pristupljeno: 30.05.2018*).
- 3D natives (2017) The 4 Types of FFF/FDM 3D Printer Explained (Cartesian, Delta, Polar). Dostupno na: <https://www.3dnatives.com/en/four-types-fdm-3d-printers140620174/> (*Pristupljeno: 11.06.2018*).
- 3D printing.com, Dostupno na: <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>, (*Pristupljeno: 30.05.2018*).
- 3DINSIDER. The 9 Different Types of 3D Printers. Dostupno na: <http://3dinsider.com/3d-printer-types/>, (*Pristupljeno: 11.06.2018*).
- All3DP (2018) 24 Best 3D Printing Software Tools of 2018 (All Are Free). Dostupno na: <https://all3dp.com/1/best-free-3d-printing-software-3d-printer-program/>, (*Pristupljeno: 15.06.2018*).
- Arcam EBM a GE Additive company. Electron Beam Melting- in the forefront of Additive Manufacturing. Službena stranica. Dostupno na: <http://www.arcam.com/technology/electron-beam-melting/>, (*Pristupljeno: 10.06.2018*).
- Bell, C. A. (2015) 3D Printing with Delta Printers, Apress ISBN:9781484211731, Dostupno na: <https://books.google.hr/books?id=mDcwCgAAQBAJ>, (*Pristupljeno: 10.05.2018*).
- Bensoussan H. (2016) The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today, Sculpteo, Dostupno na: <https://www.sculpteo.com/blog/2016/12/14/the-history-of-3d-printing-3d-printing-technologies-from-the-80s-to-today/> (*Pristupljeno 27.06.2018*).
- Bulent Y., 3D Printers Explained: Delta, Cartesian, Polar, Scara. Mechanical Wonders, All3DP. Dostupno na: <https://all3dp.com/know-your-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-and-scara/>, (*Pristupljeno: 11.06.2018*).
- Campbell C. (2015) Cartesian, Delta, and Polar: The Most Common 3D Printers. M:, Dostupno na: <https://makezine.com/2015/03/10/cartesian-delta-polar-common-3d-printers/> (*Pristupljeno: 11.06.2018*).
- Čizmić M. (2014) 3D printanje- od ideje do proizvoda u nekoliko minuta, Women in Adria, Dostupno na: <http://www.womeninadria.com/3d-printanje-od-ideje-proizvoda-u-nekoliko-minuta/>, (*Pristupljeno: 30.05.2018*).
- Dormehl L. (2018) 15 major milestones along the brief history of 3D printing, Digital trends, Dostupno na: <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/history-of-3d-printing-milestones/>

- General Electric. Additive Manufacturing. Electron Beam Melting. Dostupno na: <https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing/information/electron-beam-melting-technology/>, (*Pristupljeno: 10.06.2018*).
- Goldberg D. (2018) History of 3D Printing: It's Older Than You Are (That Is, If You're Under 30), Redshift by Autodesk. Dostupno na: <https://www.autodesk.com/redshift/history-of-3d-printing/>
- Hung-Huan S., Shih-His C., Tzu-Cheng C. (2017) Patent Application Publication, United States, Pub.No, 2017/023485 A1, Dostupno na: <https://patentimages.storage.googleapis.com/73/bb/60/fd541126badda1/US20170203485A1.pdf>
- IZIT, Stratasys tehnologije 3D printanja. Dostupno na: <http://www.izit.hr/tehnologije/>, (*Pristupljeno: 10.06.2018*).
- Mads Aasvik (2017) Building a Large Kossel Delta Printer- pt.1: Parts and Planning. Norwegian Creations. Dostupno na: <https://www.norwegiancreations.com/2017/01/building-a-large-kossel-delta-printer-pt-1-parts-and-planning/>, (*Pristupljeno 13.06.2018*).
- Schmitt, Betina Madeira, Zirbes, Christiano Fraga, Bonin, Cassiano, Lohmann, Daniel, Lencina, Diovani Castoldi, & Netto, Aurélio da Costa Sabino. (2017). A Comparative Study of Cartesian and Delta 3D Printers on Producing PLA Parts. Materials Research, 20(Suppl. 2), 883-886. Epub February 05, 2018. <https://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2016-1039>
- Sculpteo, What is 3D Printing or additive manufacturing? Dostupno na: <https://www.sculpteo.com/en/3d-printing/>
- Stratasys (2018) What is 3D printing? Dostupno na: <https://www.stratasysdirect.com/resources/tutorials/what-is-3d-printing/>, (*Pristupljeno: 10.06.2018*).
- Tractus 3D printing technology- Delta versus Cartesian. Dostupno na: <https://tractus3d.com/3d-printing-technology/>, (*Pristupljeno: 11.06.2018*).
- Ultimaker. Professional 3D printing made accessible. Official website. Dostupno na: <https://ultimaker.com/>, (*Pristupljeno: 11.06.2018*).