

ŠOLSKI CENTER VELENJE  
ELEKTRO IN RAČUNALNIŠKA ŠOLA  
Trg mladosti 3, 3320 Velenje

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA

## **3D-TISKALNIK**

Tematsko področje: APLIKATIVNI INOVACIJSKI PREDLOGI IN PROJEKTI

Avtorja:

Janez Korenjak, 3. letnik

Valentin Podkrižnik, 3. letnik

Mentor:

Peter Vrčkovnik, dipl. inž. elektrotehnike

Somentor:

Klemen Hleb, dipl. inž. elektrotehnike (UN)

Velenje, 2016

Raziskovalna naloga je bila opravljena na ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2016.

Mentor: Peter Vrčkovnik, dipl. inž. elektrotehnike

Somentor: Klemen Hleb, dipl. inž. elektrotehnike (UN)

Datum predstavitve: marec 2016

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD ŠC Velenje, šolsko leto 2015/16  
KG elektronika/robotika/programiranje  
AV KORENJAK, Janez/PODKRIŽNIK, Valentin  
SA VRČKOVNIK, Peter/HLEB, Klemen  
LE ŠTRUC, Mojca/DIKLIČ, Simona  
KZ 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3  
ZA ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola  
LI 2016  
IN 3D-TISKALNIK  
TD RAZISKOVALNA NALOGA  
OP IX, 49 str., 4 pregl., 27 sl., 9 pril., 8 vir.  
IJ SL  
JI sl/en

AI 3D tiskanje je postopek izdelave tridimenzionalnih trdnih objektov skoraj katere koli oblike iz digitalnega modela. Za tisk lahko uporabljamo veliko različnih materialov, izbira pa je odvisna od zmogljivosti in tipa tiskalnika. V splošnem se materiali po plasteh nanašajo na različne načine, a najpogostejši v tiskalnikih nižjega cenovnega razreda je nanos topljenega polimera skozi majhno šobo. Polimer je v večini primerov topljiva plastika z ugodnimi lastnostmi za topljenje in hlajenje. 3D tiskalnik polnilo med 3D tiskanjem vleče v ogrevano glavo, kjer se polnilo stopi in skozi šobo nanese na tiskalno posteljo. Za delovanje mora biti šoba ali baza sposobna premikanja po delovnem prostoru vsaj v treh oseh – torej treh dimenzijah. Načeloma vsako os poganja svoj motor, zato je kvaliteta tiska odvisna od natančnosti in kvalitete pogonskih in transportnih komponent, predvsem pa tudi od vodenja motorjev. Cilj raziskovalne naloge je z lastnim znanjem izdelati delujoč 3D tiskalnik za domačo in profesionalno uporabo.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

ND ŠC Velenje, 2015/16

CX electronics/robotics/programming

AU KORENJAK, Janez/PODKRIŽNIK, Valentin

AA VRČKOVNIK, Peter/HLEB, Klemen

PR ŠTRUC, Mojca/DIKLIČ, Simona

PP 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3

PB ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola

PY 2016

TI 3D-PRINTER

DT RESEARCH WORK

NO IX, 49 p., 4 tab., 27 fig., 9 ann., 8 ref.

LA SL

AL sl/en

AB 3D printing is a manufacturing process of making three dimensional solid objects of almost any shape from a digital model. For printing you can use many different materials, the choice of which depends on the performance and type of the printer. In general, the materials are layered in different ways, but the most common in printers of the lower price class is coating of a polymer through a small nozzle. The polymer is in most cases meltable plastics with advantageous properties for melting and cooling. While 3D printing the printer is pulling filament into a heated head, where the filament melts and through a nozzle onto a print bed. For the operation the nozzle must be capable of moving around the working space at least in three axes, so three dimensions. In principle, each axis is powered by its own motor – therefore the quality of the print depends on the accuracy and quality of the drive and transport components, in particular from the guidance of motors. The goal of the research work is to build a working 3D printer for home and professional use.

## KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
1.1	Hipoteze .....	1
2	PREGLED 3D TISKALNIKOV .....	2
2.1	Kaj je 3D tiskanje .....	2
2.2	Modeli 3D tiskalnikov .....	2
2.2.1	Kartezični model.....	2
2.2.2	Delta model .....	3
2.3	Kako deluje 3D tiskanje.....	3
2.4	Procesi in tehnologije tiskanja .....	4
2.4.1	Vat Photopolymerisation (Fotopolimerizacija) .....	5
2.4.2	Material Jetting (Brizganje materiala).....	6
2.4.3	Binder Jetting (Spajalno brizganje).....	7
2.4.4	Material Extrusion (Vlivanje materiala).....	8
2.4.5	Powder Bed Fusion (Spajanje na podlagi praha).....	9
2.4.6	Sheet Lamination (Spajanje plošč).....	10
2.4.7	Directed Energy Deposition (Odlaganje z usmerjeno energijo).....	11
2.5	Iztiskanje (Ekstruzija) .....	12
2.5.1	Vroče iztiskanje .....	12
2.5.2	Hladno iztiskanje .....	12
2.6	Materiali.....	12
2.6.1	PLA – Poly Lactic Acid (Polimer iz mlečne kisline) .....	13
2.6.2	ABS – Acrylonitrile Butadiene Styrene (Akrilonitril butadien stiren).....	13
2.7	Primeri in aplikacije 3D tiskanja.....	13
2.8	Industrijsko tiskanje.....	14

2.9	Osebno tiskanje.....	14
2.10	Zgodovina.....	15
2.11	Prihodnost.....	15
3	PREGLED ELEKTRONSKEGA DELA .....	16
3.1	Arduino Mega 2560 .....	16
3.2	Ramps 1.4 .....	18
3.3	Gonilniki .....	19
3.4	Motorji .....	20
3.5	Napajalnik .....	22
3.6	Končna stikala.....	23
3.7	Miza .....	24
3.8	Senzor temperature .....	25
3.9	Grelec šobe .....	26
3.10	LCD modul.....	26
3.11	Sistem za dovajanje materiala (Ekstruder).....	27
4	IZDELAVA LASTNEGA IZDELKA.....	28
4.1	Opis izdelave.....	28
4.2	Kosovnica in stroški.....	31
5	OD RAČUNALNIŠKEGA MODELA DO NATISNJENEGA IZDELKA .....	32
5.1	Izdelava in izvoz računalniškega modela .....	32
5.2	Razrez modela na plasti in tiskanje.....	34
5.3	Natisnjen izdelek.....	35
6	ZAKLJUČEK IN RAZPRAVA .....	36
7	POVZETEK .....	38
8	ZAHVALA.....	39
9	PRILOGE .....	40

10 VIRI.....	49
--------------	----

## **KAZALO SLIK**

Slika 1: Vat Photopolymerisation (Fotopolimerizacija).....	5
Slika 2: Material Jetting (Brizganje materiala).....	6
Slika 3: Binder Jetting (Spajalno brizganje).....	7
Slika 4: Material Extrusion (Vlivanje materiala) .....	8
Slika 5: Powder Bed Fusion (Spajanje na podlagi praha) .....	9
Slika 6: Sheet Lamination (Spajanje plošč).....	10
Slika 7: Directed energy Deposition (Odlaganje z usmerjeno energijo).....	11
Slika 8: Arduino Mega 2560 .....	16
Slika 9: Ramps 1.4.....	18
Slika 10: Gonilnik motorja .....	19
Slika 11: Koračni motor Nema17 .....	20
Slika 12: Vezalna shema koračnega motorja Nema17 .....	21
Slika 13: Napajalnik AC – DC/230V – 12V .....	22
Slika 14: Mehansko končno stikalo.....	23
Slika 15: Miza.....	24
Slika 16: Senzor temperature.....	25
Slika 17: Graf v odvisnosti upornosti od temperature za PTK in NTK upor .....	25
Slika 18: Grelec šobe.....	26
Slika 19: LCD modul.....	26
Slika 20: Sistem za dovajanje materiala (Ekstruder).....	27
Slika 21: Ogrodje tiskalnika .....	28
Slika 22: Izdelane iverne plošče .....	29
Slika 23: Iverni plošči z koračnimi motorji in tiskalno mizo .....	29
Slika 24: Model 3D tiskalnika .....	30
Slika 25: Računalniški model kocke .....	32
Slika 26: Nastavitve za izvoz datoteke .....	33
Slika 27: Model razrezan na plasti .....	34

## **KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Tehnični podatki Arduino Mega 2560.....	17
Preglednica 2: Razlika gonilnikov z hladilnimi rebri in brez.....	19
Preglednica 3: Lastnosti koračnega motorja Nema 17 .....	21
Preglednica 4: Kosovnica .....	31

## **KAZALO PRILOG**

Priloga 1: Izrezek G–kode .....	40
Priloga 2: Tehniške risbe jeklenih profilov za ogrodje tiskalnika .....	41
Priloga 3: Tehniška risba spodnje iverne plošče .....	42
Priloga 4: Tehniška risba sredinske iverne plošče.....	43
Priloga 5: Tehniška risba zgornje iverne plošče.....	44
Priloga 6: Izrezek programa za konfiguracijo delta modela tiskalnika .....	45
Priloga 7: Izrezek programa za merjenje temperature.....	46
Priloga 8: Izrezek programa za konfiguracijo končnih stikal.....	47
Priloga 9: Izrezek programa za upravljanje koračnih motorjev .....	48



## 1 UVOD

Kot mlada raziskovalca, ki se zanimava za novosti v tehnologiji, sva se odločila izdelati 3D tiskalnik, predvsem zato, ker se ta tehnologija hitro širi in je dostopna vse več ljudem. 3D tiskalnik je naprava, s katero lahko poljuben računalniški model pretvorimo v fizično obliko. 3D tiskalnik je sestavljen iz treh vodil, ki predstavljajo tri prostorske osi (x, y, z). Natančnost tiskalnika je odvisna od preciznosti motorjev, ki poganjajo osi, natančnosti izdelave ter nekaj parametrov, ki so vključeni v sam program tiskalnika. 3D tiskalnik lahko natisne model iz katerekoli umetne mase. Princip tiskanja temelji na iztiskanju segretega materiala čez šobo, ki ima določen premer odprtine, na segreto tiskalno površino, ki povečuje natančnost tiskanja. Namen raziskovalne naloge je izdelati 3D tiskalnik, ki je cenovno dostopen za domačo uporabo in natisne model, ki ne odstopa več kot 10 % od računalniškega modela.

### 1.1 Hipoteze

- 3D tiskalnik je možno sestaviti doma za ceno, ki ne presega 500 €.
- Programiranje tiskalnika ni možno izvesti z osnovnim znanjem iz programiranja.
- 3D tiskalnik je možno narediti s pomočjo osnovnih znanj iz elektrotehnike in mehatronike. Nekateri deli so lastne izdelave (ohišje), v večini pa so deli kupljeni ali pa natisnjeni s pomočjo 3D tiskalnika.
- 3D tiskalnik tiska z odstopanji do 10 % od računalniškega modela, upoštevamo krčenje materiala (3 % - 5 %) ter premer šobe (0,3 mm).
- Tiskalnik je po ceni in specifikacijah primerljiv s 3D tiskalnikom Orion Delta (<http://www.seemecnc.com/products/orion-delta-3d-printer>).
- S 3D tiskalnikom bomo lahko tiskali tako preproste (kocka, piramida ...) kot tudi bolj zahtevne predmete (makete zgradb ...).
- S 3D tiskalnikom zaradi povešanja materiala ne bo možno tiskati ostrih in pravih kotov brez podpornega materiala.

## **2 PREGLED 3D TISKALNIKOV**

### **2.1 Kaj je 3D tiskanje**

3D tiskanje ali proizvodnja z dodajanjem je postopek izdelave tridimenzionalnih fiksnih predmetov iz prej narejene digitalne datoteke. Nastanek tridimenzionalnega natisnjene izdelka je dosežen z dodajanjem materiala, ki prihaja iz šobe. V 3D tiskanju predmet nastane z zaporednim nanašanjem plasti materiala, dokler se ne ustvari celoten predmet. Vsako od teh plasti je mogoče videti kot tanke, horizontalne plasti prereza predmeta.

### **2.2 Modeli 3D tiskalnikov**

Poznamo več modelov 3D tiskalnikov. Najpogostejša sta delta model in kartezični model.

#### **2.2.1 Kartezični model**

Kartezični model je najbolj priljubljen med potrošniki. Poimenovan je po dimenzionalnem koordinatnem sistemu (X, Y in Z os), ki se uporablja za določanje premikov v treh dimenzijah. Kartezični 3D tiskalniki so običajno sestavljeni s tiskalno mizo, ki se premika po Z-osi. Sistem za dovajanje materiala se nahaja na X-osi in Y-osi in se lahko premika v štirih smereh. To zasnovo je mogoče videti pri proizvajalcema Ultimaker in MakerBot.

Prednosti kartezičnega modela so: enostavna kalibracija in odpravljanje napak, sistem za dovajanje materiala je nameščen na sami glavi tiskalnika, so bolj pogosti ...

Slabosti kartezičnega modela: zelo počasno gibanje Z-osi, pogoste gradbene napake zaradi Z-osi, različne vztrajnosti gibanja na vsako os, kar ima posledico pri hitrosti tiskanja ...

### **2.2.2 Delta model**

Tudi delta model deluje v kartezični ravnini, ampak se bistveno razlikuje po zgradbi. Glava tiskalnika se pomika po navpičnih vodilih, ki so razporejeni v trikotni konfiguraciji, iz tega tudi izhaja ime delta. Oblikovani so bili za doseganje velikih hitrosti, njihova tiskalna miza pa se ne premika, kar je v nekaterih primerih priročno. Nekateri trdijo, da ta model tiskalnika ni tako natančen kot kartezijski model.

Prednosti delta modela: ima zelo visoke pospeške in veliko hitrost tiskanja, hitro odpravljanje mehanskih napak, odporen je na protiudarec motorja, visoka hitrost Z-osi, nizki stroški vzdrževanja, boljši izgled ...

Slabosti delta modela: prva kalibracija je zelo dolgotrajna, težko je določiti vzrok napake, če je izgradnja modela slaba, s kalibracijo ne bomo mogli doseči natančnosti, krožno območje grajenja je lahko včasih nadležno, ti modeli so redki in manj podprti ...

## **2.3 Kako deluje 3D tiskanje**

Vse se začne z virtualno izdelavo zelenega predmeta. Virtualni izdelek naredimo v računalniškem programu za 3D modeliranje ali z uporabo 3D optičnega odčitovalnika. 3D optični odčitovalnik naredi 3D kopijo predmeta.

3D skenerji uporabljajo različne tehnologije za ustvarjanje 3D kopije predmeta, kot so čas preleta, strukturiranje oziroma moduliranje svetlobe, merilno optično odčitavanje in še druge. V zadnjem času veliko IT podjetji, kot sta Microsoft in Google, opremi njihove izdelke z tehnologijo, ki podpira 3D odčitavanje, odličen primer je Microsoft Kinect. To je jasen znak, da bodo v prihodnje v ročne naprave, kot so pametni telefoni, vgrajeni 3D optični odčitovalniki. Digitalizacija realnih predmetov v 3D model bo postala zelo enostavna.

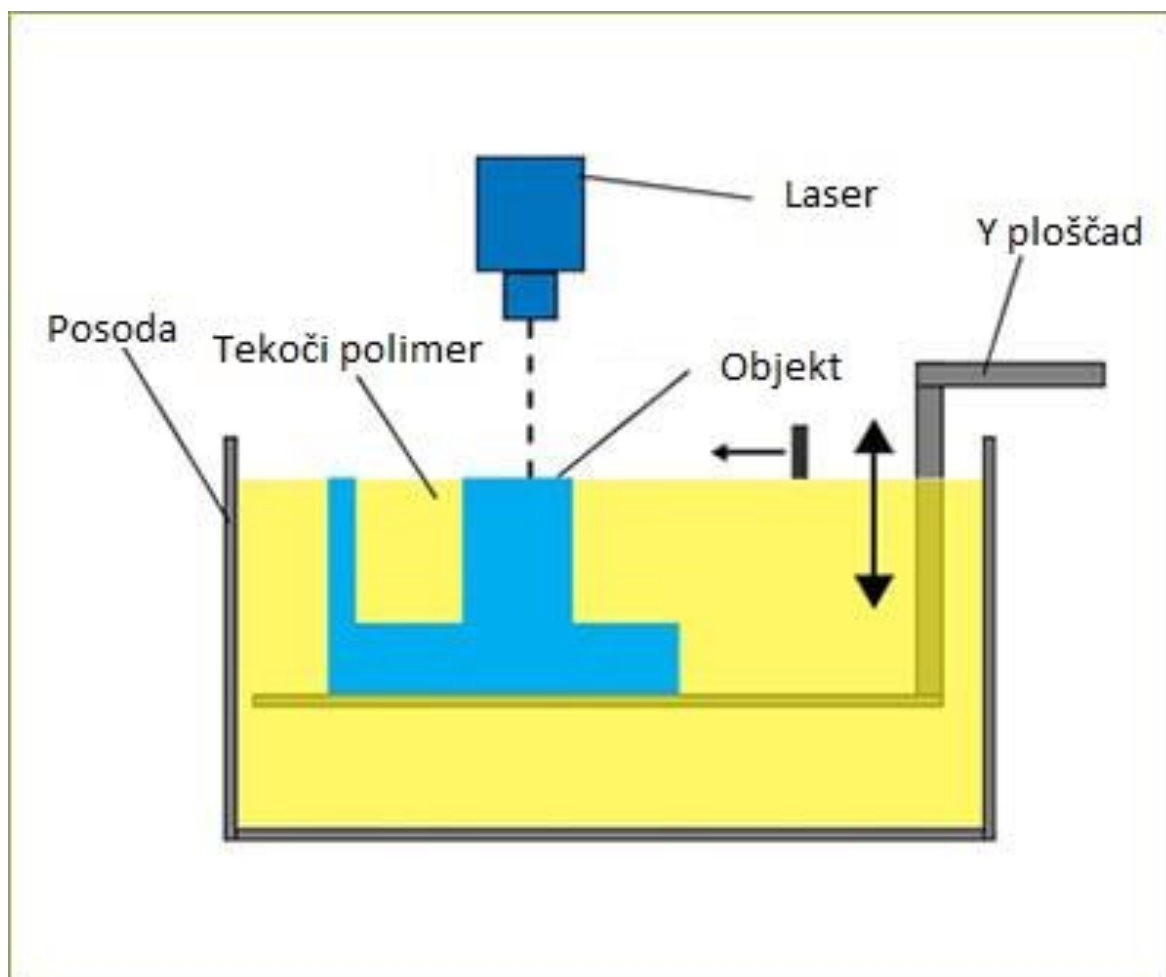
Za pripravo digitalne datoteke na tiskanje program za 3D modeliranje »razreže« digitalni model na stotine horizontalnih plasti. Ko je datoteka shranjena v tiskalniku, se lahko tako ustvari plast za plastjo. 3D tiskalnik prebere vsako plast posebej in jo nato nanese na prejšnjo plast. Tako počasi nastaja končna tridimenzionalna podoba izdelka.

## **2.4 Procesi in tehnologije tiskanja**

Vsi 3D tiskalniki ne uporabljajo enake tehnologije. Obstaja več načinov kreiranja 3D objekta, vse pa v osnovi uporabljajo enak princip: dodajanje materiala. Razlikujejo se le po tem, kako je vsaka plast posebej nanešena na prejšnjo, in po debelini plasti. Nekatere metode uporabljajo taljenje ali mehčanje materiala za izdelavo plasti. Selektivno lasersko sintiranje in odlaganje taljenega materiala sta najpogostejši tehnologiji, ki uporabljata ta način tiskanja. Druga metoda tiskanja je, ko govorimo o strjevanju tekočega polimera s pomočjo UV laserja ali kakšnega drugega podobnega vira svetlobe plast za plastjo. Od leta 2010 je Ameriška družba za testiranje in materiale razdelila aditivno proizvodnjo v 7 kategorij.

#### 2.4.1 Vat Photopolymerisation (Fotopolimerizacija)

3D tiskalnik, ki deluje na podlagi fotopolimerizacije ima posodo napolnjeno s tekočim polimerom, ki se ob stiku z ultravijolično svetlobo strdi. Najbolj pogosto uporabljena tehnologija v tem procesu je stereolitografija. Ta tehnologija vključuje kad tekoče ultravijolične strjevalne smole in ultravijolični laser za izgradnjo plasti. Za vsak sloj laserski žarek sledi prečnemu prerezu dela vzorca na površini tekoče smole. Izpostavljenost ultravijolični svetlobi smolo strdi in naredi plast predmeta.

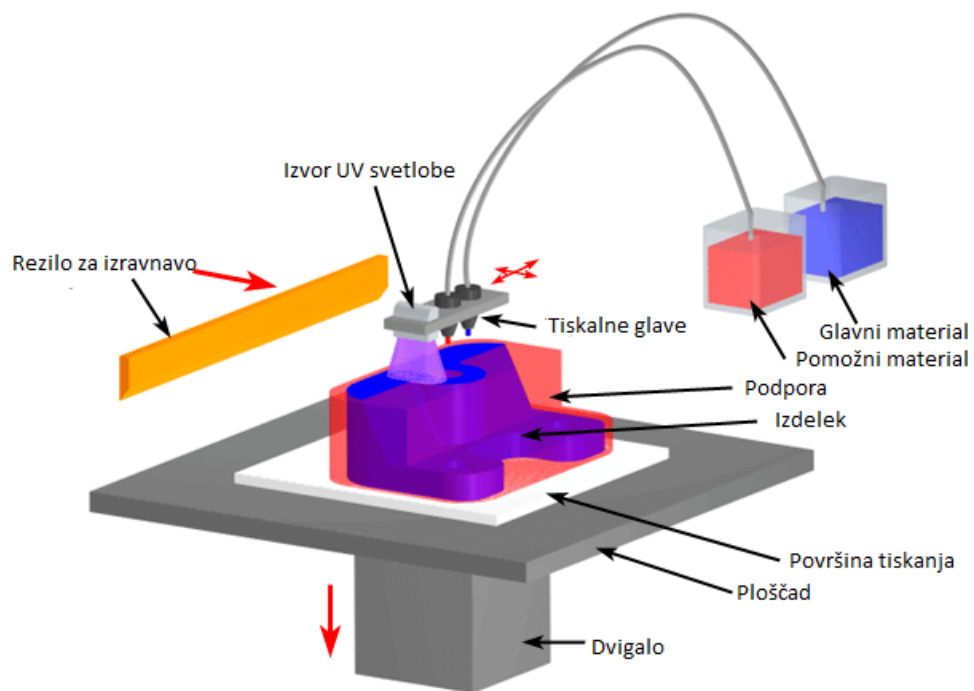


Slika 1: Vat Photopolymerisation (Fotopolimerizacija)

Vir: <http://goo.gl/wupXII>

### 2.4.2 Material Jetting (Brizganje materiala)

V tem procesu je plast tekoče polimerske smole nanešena na podlago. Tehnologija deluje podobno kot navaden tiskalnik, le da pri tem procesu ultravijolična svetloba strdi vsako plast posebej.

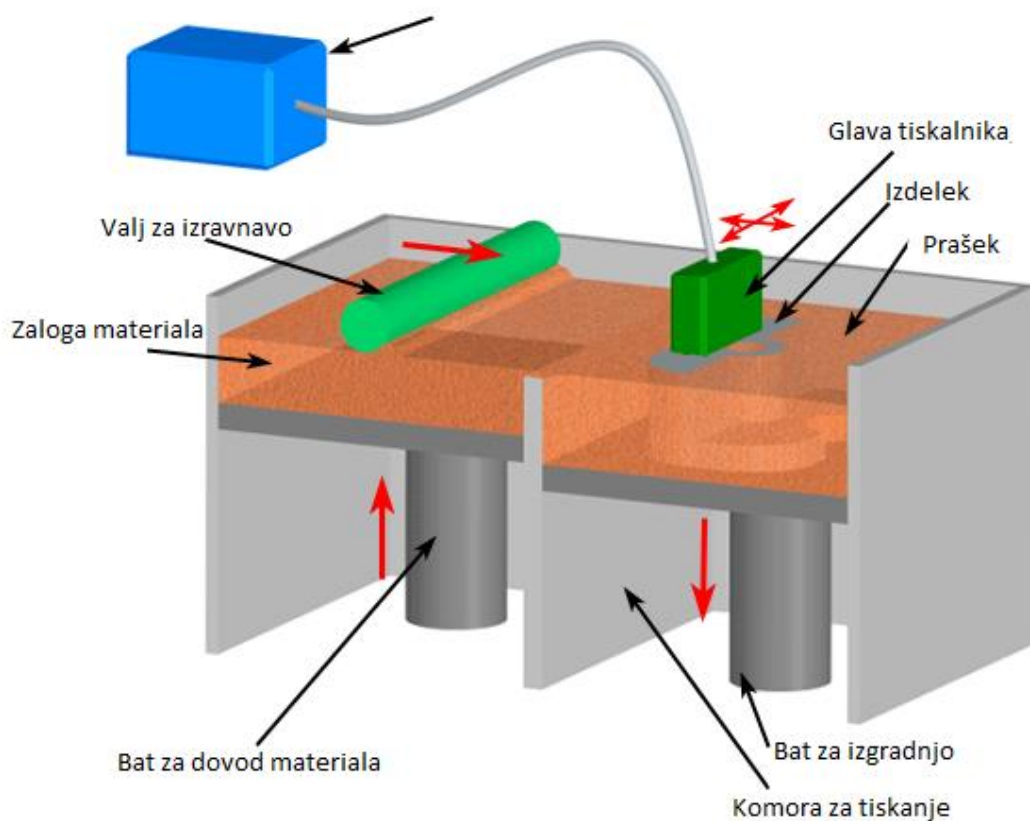


Slika 2: Material Jetting (Brizganje materiala)

Vir: <http://goo.gl/wupXII>

### 2.4.3 Binder Jetting (Spajalno brizganje)

Pri tem postopku uporabljamo dva materiala, prašku podoben material in registrator. V komori za tiskanje se enakomerno razporeja prašek, na katerega se nanaša registrator skozi šobo, ki povežejo material v prej sprogramirano tridimenzionalno obliko. Končni izdelek je »zlepljen« iz prašku podobnega materiala. Po končanem tiskanju se odvečni prašek odstrani in uporabi za naslednji izdelek.

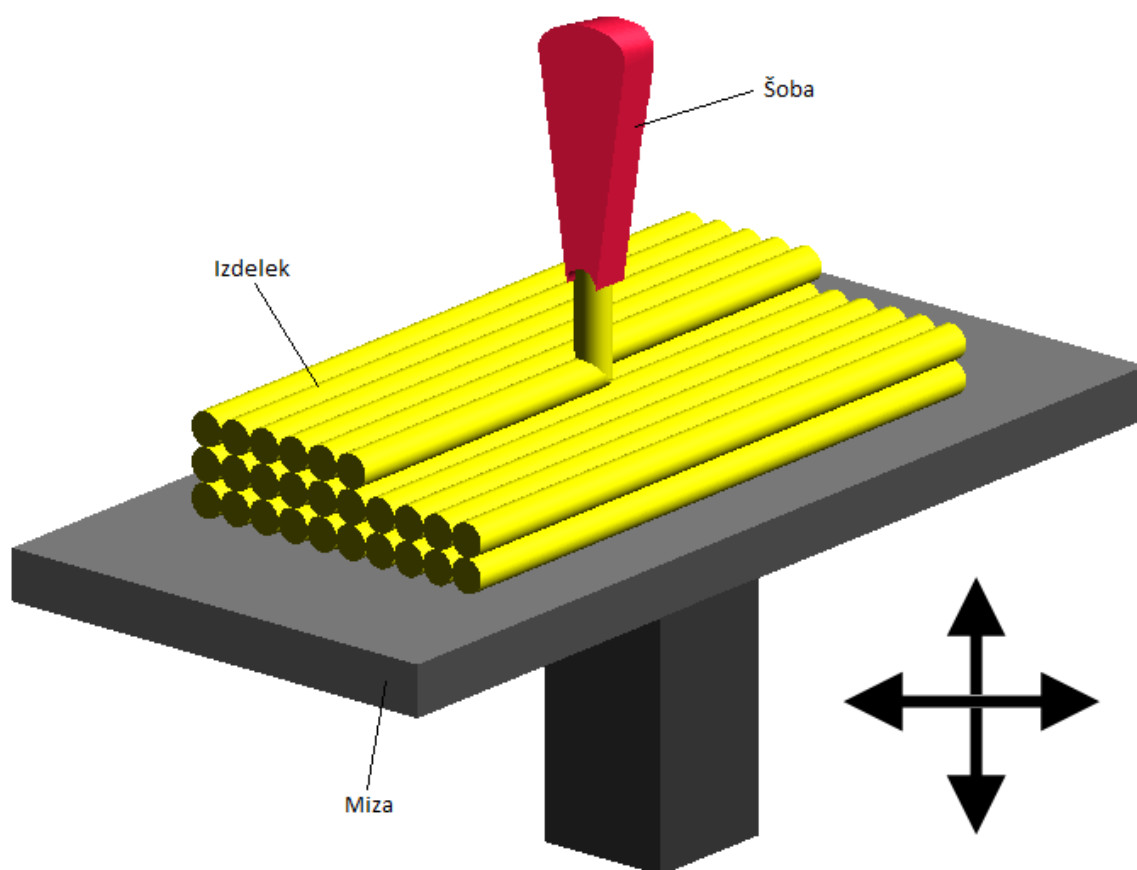


Slika 3: Binder Jetting (Spajalno brizganje)

Vir: <http://goo.gl/wupXII>

#### 2.4.4 Material Extrusion (Vlivanje materiala)

Tehnologija deluje s pomočjo plastične nitke ali kovinske žice, ki je odvita iz tuljave in transportirana do glave tiskalnika s pomočjo ekstruderja, ki izklopi ali vklopi dobavo materiala. Glava tiskalnika je segrevana in tali material. Glava se lahko premika v obe vodoravni in navpični smeri z numerično krmiljenim mehanizmom, ki je posredno ali neposredno nadzorovan. Objekt je pridobljen z iztiskanjem staljenega materiala, ki tvori plast za plastjo. Material se ohladi takoj po iztisku iz šobe glave tiskalnika. Ta tehnologija se pogosto uporablja v povezavi z dvema materialoma: PLA in ABS, glavne razlike med njima pa so temperaturna obstojnost, trdnost in raven krčenja pri ohlajanju. Na trgu se pojavljajo vedno novi in boljši materiali.



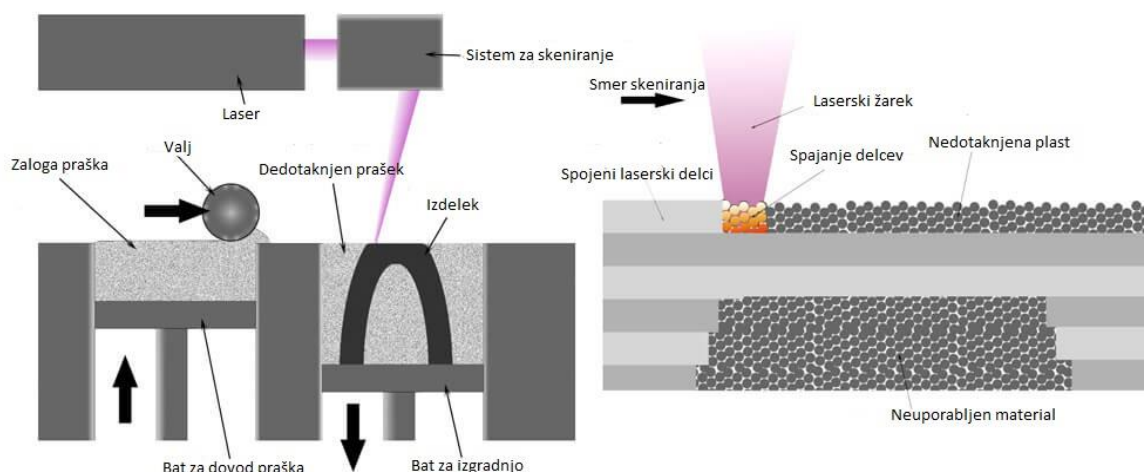
Slika 4: Material Extrusion (Vlivanje materiala)

Vir: <http://goo.gl/wupXll>



### 2.4.5 Powder Bed Fusion (Spajanje na podlagi praha)

Ta tehnologija uporablja laserje visokih moči, da spoji majhne delce plastike, kovine, keramike, stekla v želen tridimenzionalni predmet. Laser selektivno spaja prahu podoben material s strjevanjem plasti za plastjo. Ko je ena plast strjena, se izdelek zniža za eno plast in nanese se nov sloj praška, pri čemer se postopek ponavlja. Ves nestrjen prašek ostane kot je in zato izdelek ne rabi podpornega materiala, saj mu podporo zagotavlja že nestrjen prašek. Prašek, ki po tiskanju ostane, lahko uporabimo za naslednji izdelek.

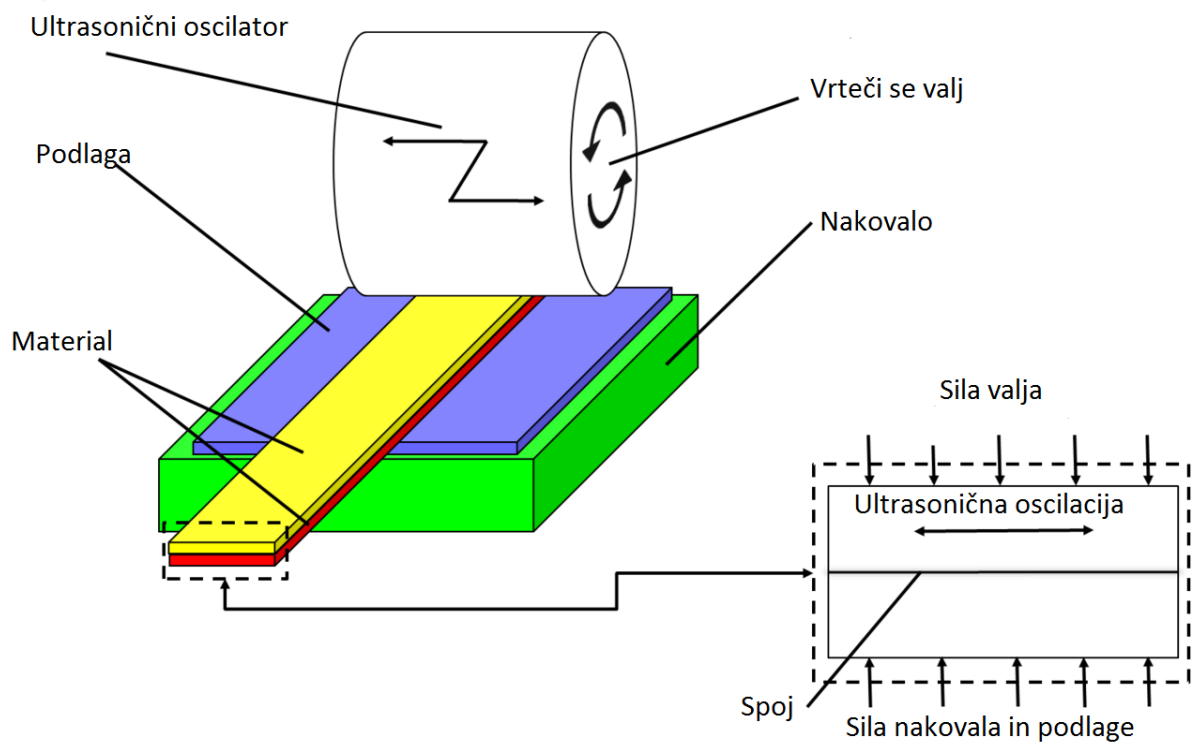


Slika 5: Powder Bed Fusion (Spajanje na podlagi praha)

Vir: <http://goo.gl/wupXII>

## 2.4.6 Sheet Lamination (Spajanje plošč)

Ta tehnologija vključuje material v obliki listov, ki se vežejo z zunanjo silo. Listi so lahko iz kovine, papirja ali polimerov. Pločevine so zvarjene z ultrasoničnim varjenjem ter nato dokončno oblikovane z CNC strojem. Če uporabljamo papir, so listi zlepljeni ter oblikovani z natančnimi in ostrimi noži.

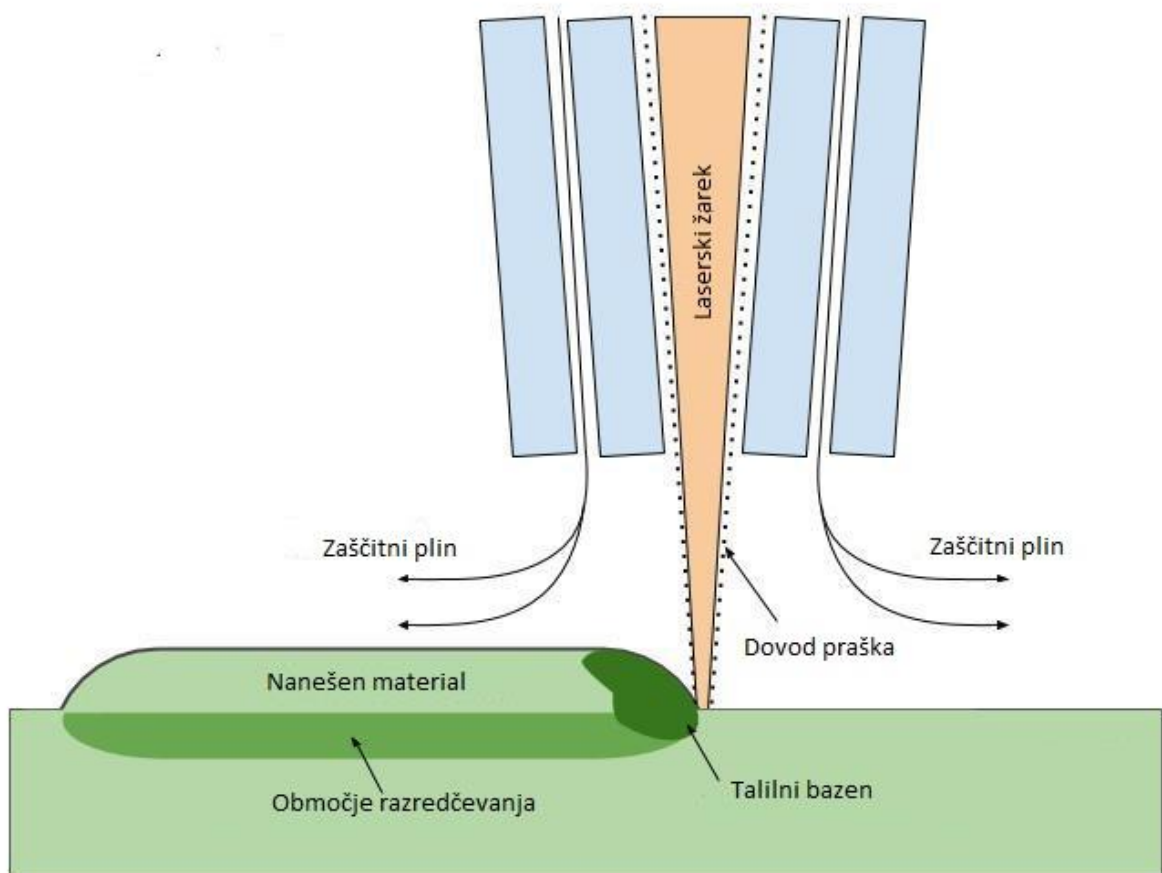


Slika 6: Sheet Lamination (Spajanje plošč)

Vir: <http://goo.gl/wupXII>

### 2.4.7 Directed Energy Deposition (Odlaganje z usmerjeno energijo)

Ta postopek se uporablja predvsem v visokotehnoški kovinski industriji. Naprava za 3D tiskanje je ponavadi pritrjena na več osi in je sestavljena iz šobe, ki deponira prašek ali kovinsko žico, ter vira energije, ponavadi laserja, ki topi material.



Slika 7: Directed energy Deposition (Odlaganje z usmerjeno energijo)

Vir: <http://goo.gl/7ThQeJ>

## **2.5 Iztiskanje (Ekstruzija)**

Iztiskanje ali ekstruzija je proces, ki se uporablja za ustvarjanje predmetov konstantnega prečnega prereza. Material se potiska skozi matrico (prej narejen prečni prerez predmeta). Glavna prednost tega proizvodnega procesa pred drugimi je njegova sposobnost ustvariti zelo zapletene prereze.

Iztiskanje ali ekstruzija je lahko neprekinjena (teoretično proizvaja neomejeno dolg kos) ali pol prekinjena (proizvajanje več kosov). Proces iztiskanja ali ekstruzije je mogoč z vročim ali hladnim materialom. V 3D tehniki se iztiska predvsem vroč material. Običajni materiali za iztiskanje ali ekstruzijo so: kovine, polimeri, beton, keramika ...

### **2.5.1 Vroče iztiskanje**

Vroče iztiskanje ali vroča ekstruzija je vroč delovni proces, kar pomeni, da se izvaja nad temperaturo rekristalizacije materiala zaradi lažjega iztiskanja materiala čez matrico. Večina vročega iztiskanja se opravi na vodoravnih hidravličnih stiskalnicah. Največja pomanjkljivost tega procesa je njegov strošek za opremo in strošek vzdrževanja.

### **2.5.2 Hladno iztiskanje**

Hladno iztiskanje ali hladna ekstruzija poteka pri sobni temperaturi ali temperaturi, ki je blizu sobne. Ta vrsta iztiskanja ali ekstruzije za nas ne pride v poštev, saj se mora material stopiti preden ga lahko tiskalnik potisne čez šobo. Prednosti tega postopka so: pomankanje oksidacije, večja moč materiala zaradi hladnega preoblikovanja, manjše odstopanje, boljša kakovost površine ... Materiali, ki se pri tem postopku najpogosteje uporabljajo so: svinec, kositer, aluminij, baker, cirkonij, titan, niobij in jekla.

## **2.6 Materiali**

Poznamo veliko materialov s katerimi lahko natisnemo 3D izdelek. Najpogostejša dva materiala, ki se uporabljata pri postopku vlivanja materiala in v katera smo se pri izdelovanju tiskalnika najbolj poglobili, sta PLA in ABS plastika.

### **2.6.1 PLA – Poly Lactic Acid (Polimer iz mlečne kisline)**

PLA je biorazgradljiva vrsta plastike, ki je izdelana iz rastlinskih sredstev, kot sta koruzni škrob ali sladkorni trs. Tališče plastike je nekje od 180°C do 220°C. To je razlog za ime »zelena plastika«. Pogosto jo uporabljajo kot embalažo za živila, lahko pa jo uporabimo tudi za tiskanje.

Prednosti: lahko se natisne na hladno površino, velja za okolju prijazen material, ima sijoč in gladek videz, med tiskanjem ne nastajajo škodljivi hlapi, dosežemo višje hitrosti tiskanja, izdelek lahko natisnemo z več detajli ...

Slabosti: lahko se deformira zaradi toplote, manj čvrsta kot ABS ...

### **2.6.2 ABS – Acrylonitrile Butadiene Styrene (Akrilonitril butadien stiren)**

ABS plastika je narejena iz virov na osnovi plastike in ima mnogo višje tališče kot PLA plastika, zato je tudi močnejša in težja. Tališče plastike je nekje od 200°C do 250°C. Zaradi teh posebnosti se ABS plastika pogosto uporablja v avtomobilski industriji (za odbijače), motoristične čelade, glasbila ...

Prednosti: čvrst in trden material, primeren za izdelavo strojnih in avtomobilskih delov, ima višje tališče, daljša življenjska doba ...

Slabosti: bolj škodljiva za okolje kot PLA, se deformira pri tiskanju na hladno površino, pri tiskanju nastajajo hlapi, zato moramo zračiti prostor, težje tiskanje kot z PLA plastiko, ni primerna za uporabo z živila ...

## **2.7 Primeri in aplikacije 3D tiskanja**

Aplikacije vsebujejo hitro izdelavo prototipov, izdelavo modelov arhitekturnega obsega in maket, zdravstveno varstvo (tiskanje zob in tiskanje s človeškim tkivom ...) in zabavo (tiskanje filmskih rekvizitov ...).

Drugi primeri tiskanja vključujejo rekonstrukcijo fosilov v paleontologiji, posnemanje starodavnih artefaktov v arheologiji, rekonstrukcijo kosti in telesnih delov v forenziki ter rekonstrukcijo močno poškodovanih dokazov, pridobljenih na kraja zločina.

## 2.8 Industrijsko tiskanje

V zadnjih nekaj letih je izraz 3D tiskanje postal znan in je dosegel širšo javnost. Kljub temu veliko ljudi izraza še nikoli ni slišalo, čeprav je tehnologija v uporabi že desetletja. Še posebej so se razvijalci dolgo ukvarjali z vprašanjem, kako bi tehnologijo naredili primerno za tradicionalne proizvodne in raziskovalne namene. Uporaba 3D tiskalnika za te namene se imenuje hitra izdelava prototipov.

Seveda se ob tem postavlja vprašanje, zakaj 3D tiskalnik uporabljati za te namene. Trenutno je na trgu mogoče izbrati 3D tiskalniki, ki stanejo več tisoč dolarjev, vendar podjetjem prihranijo veliko časa, ki bi ga sicer potrebovali za izdelavo prototipa. Podjetje, ki se ukvarja z izdelavo čevljev, je prej na prototip čakalo nekaj dni, sedaj pa lahko v nekaj urah ustvari prototip ter ga po želji spremeni in ponatisne še isti dan. Strošek je le minimalen, medtem ko je prihranek časa ogromen.

Poleg hitrega tiskanja prototipov je 3D tiskanje primerno tudi za hitro izdelavo predmetov. Hitra izdelava je nova oblika proizvodnje, kjer podjetja uporabijo 3D tiskalnike za hitro izdelavo izdelkov po naročilu. Na ta način tiskani predmeti niso prototipi, ampak so dejansko že končni izdelek. Zaradi te tehnologije lahko pričakujemo večjo razpoložljivost osebno prilagojenih predmetov.

## 2.9 Osebno tiskanje

Osebno ali domače 3D tiskanje je v porastu predvsem za hobije ali pa za navdušence in se je pričelo leta 2011. Zaradi hitrega razvoja na tem trgu, so tiskalniki vedno cenejši. Cene se razprostirajo nekje od 200 € do 2000 €. To omogoča dostop do 3D tiskanja vedno več ljudem.

## 2.10 Zgodovina

V zgodovini proizvodnje se pogosteje uporablja proces proizvodnje z odstranjevanjem materiala. Provinca obdelave (ustvarjanje natančnih oblik z veliko natančnostjo) je bila v glavnem odstranjevalna, od polnjenja in obračanja skozi rezkanje in brušenje.

Manufaktura z dodajanjem se prvič pojavi v obliki izdelave hitrih prototipov. Njegova naloga je bila zmanjšanje časa in stroškov pri izdelavi prototipov, novih delov in strojev, ki je bil predhodno možen le z odstranjevanjem materiala. Skozi leta tehnologija napreduje in tudi 3D tiskanje se močno širi v industrijo, kjer se z dodajanjem materiala izdelki izdelujejo hitreje in bolj poceni.

Vendar pa je resnična vključitev 3D tiskalnikov v proizvodnjo možna le kot dopolnjevanje prejšnjih postopkov proizvodnje. Nova tehnologija tako stare ne izpodriva, ampak jo samo dopolnjuje. Napoved za prihodnost podjetij pravi, da bodo morali biti glede proizvodnih postopkov še bolj fleksibilni, da bi lahko sledili razvoju in trendom potrošnika.

## 2.11 Prihodnost

Nekateri zagovorniki aditivne proizvodnje napovedujejo, da bo 3D tiskanje spremenilo naravo komerciale, saj bodo potrošniki namesto, da bi stvar kupili, to stvar izdelali sami doma.

3D tiskalniki z zmogljivostjo tiskanja v različnih barvah in različnih materialih že obstajajo in se bodo izboljševali, dokler njihovi izdelki ne bodo pripravljeni za preboj na trg. Z vplivi na rabo energije, zmanjševanje odpadkov, prilagajanje, razpoložljivosti izdelka, medicino, umetnost, gradbeništva in znanosti bo 3D tiskanje spremenilo proizvodni svet kot ga poznamo.

Po najinem mnenju je le vprašanje časa, kdaj bodo s pomočjo 3D tiskalnikov tiskali zobe ali druge dele telesa, kot sta proteza roke ali noge. Vsak natisnjen del telesa bodo zdravniki lahko prilagodili posamezniku tako, da se bo najbolje prilegal njegovemu telesu. Napredek pa bo 3D tiskanje po najinem mišljenju prineslo tudi v gradbeništvo, saj bodo lahko natisnili celo hišo. Za izgradnjo hiše delavci tako ne bodo več potrebovali leto dni ali več, ampak samo nekaj dni, mogoče celo le nekaj ur.

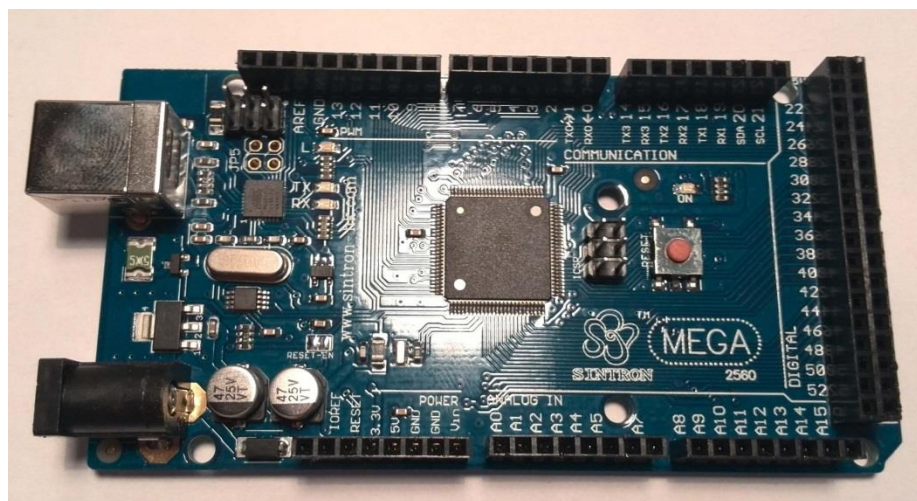
### 3 PREGLED ELEKTRONSKEGA DELA

V nadaljevanju so opisani elektronski sestavni deli tiskalnika, ki so potrebni za pravilno izvajanje programa ter samo delovanje tiskalnika.

#### 3.1 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 je mikrokontroler, ki temelji na ATmega2560. Arduino Mega 2560 lahko napajamo preko povezave USB ali s pomočjo zunanega napajalnika. Vir napajanja je izbran samodejno. Zunanje napajanje lahko prihaja iz AC-DC adapterja ali baterije. Programiramo ga lahko z Arduino programsko opremo ali pa kar direktno preko ICSP povezave. Priporočljiva napajalna napetost je 7V – 12V, saj je napetost zadostna za brezhibno delovanje plošče, obenem pa dovolj majhna, da se regulator napetosti ne pregreva in ne poškoduje plošče.

Tehnični podatki mikrokontrolerja so navedeni v Preglednici 1.



Slika 8: Arduino Mega 2560  
Vir: Lasten



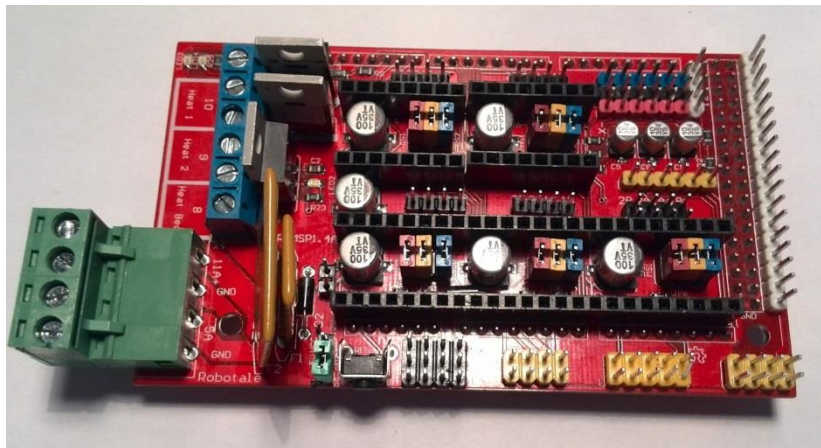
Preglednica 1: Tehnični podatki Arduino Mega 2560

Vir: <https://goo.gl/Mm1Znt>

Mikrokontroler	Atmega2560
Napajalna napetost	6V – 20V
Digitalni vhodno/izhodni pini	54 (15 pinov zagotavlja PWM)
Analogni vhodni pini	16
Enosmerni tok na vhodno/izhodnih pinih	20mA
Enosmerni tok na 3,3V pinu	50mA
Flash spomin	256kB (8kB za bootloader)
SRAM	8kB
EEPROM	4kB
Oscilator	16MHz
Dolžina	101,52 mm
Širina	53,3 mm
Teža	37 g

## 3.2 Ramps 1.4

*Ramps* je okrajšava za RepRap Arduino Mega Pololu Shield. V glavnem je namenjen za uporabo gonilnikov koračnih motorjev (podobno kot 4988 gonilniška plošča). *Ramps* lahko deluje le, ko je povezan z njegovo matično ploščo Aruino Mega 2560 in z gonilniki koračnih motorjev 4988/DRV8825. Je stabilen v delovanju in ima veliko združljivost z večino 3D tiskalnikov (z vsemi RepRap modeli). Kombinacija *Ramps* 1.4 + MEGA2560 + A4988/DRV8825 je postala prevladujoči trend DIY 3D tiskalnih nadzornih plošč.

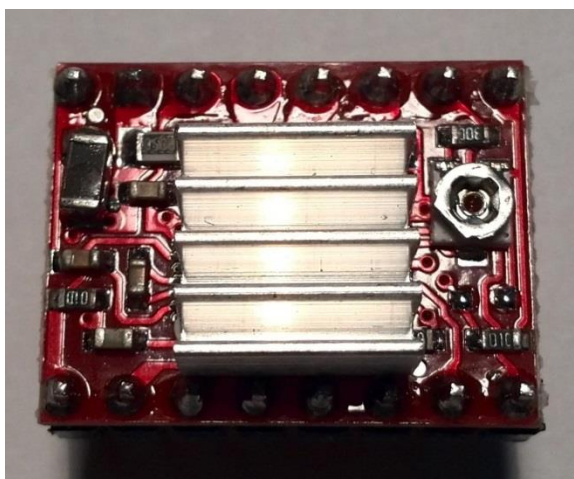


Slika 9: Ramps 1.4  
Vir: Lasten

### 3.3 Gonilniki

Pololu A4988 je mikrokoračni gonilnik motorja z vgrajenim prevajalnikom za enostavno delovanje. Izdelan je za upravljanje bipolarnih koračnih motorjev v polnem, polovičnem, četrtinskem, osmiškem in šestnajstiškem – korak načinu. Prevajalec, ki pretvori impulze iz Ramps-a v premike motorja, je ključ za enostavno izvajanje A4988. Preprost vnos enega impulza na STEP vhod premakne motor za en obrat, kar je v našem primeru  $1,8^\circ$ . Uporabimo jih za aplikacije, kjer kompleksen mikroprocesor ni na voljo ali pa bi bil preobremenjen. Gonilniki so lahko brez hladilnih reber ali z njimi.

Primerjavo najdemo v Preglednici 2.



Slika 10: Gonilnik motorja  
Vir: Lasten

Preglednica 2: Razlika gonilnikov z hladilnimi rebri in brez

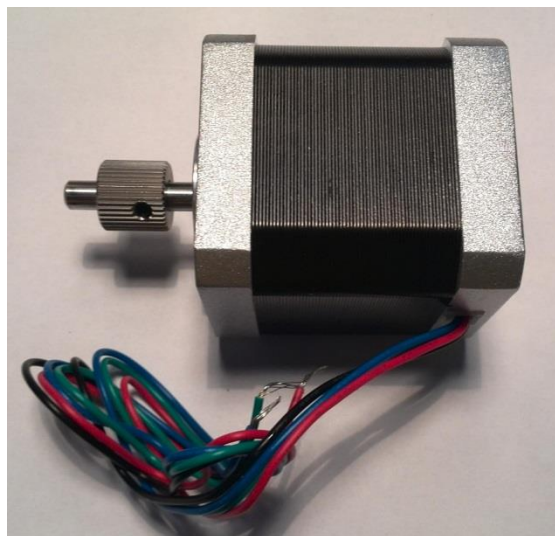
Vir: <https://goo.gl/qKruvq>

	Z hladilnimi rebri	Brez hladilnih reber
Tok	2A	1A
Napetost	Do 35V	Do 35V

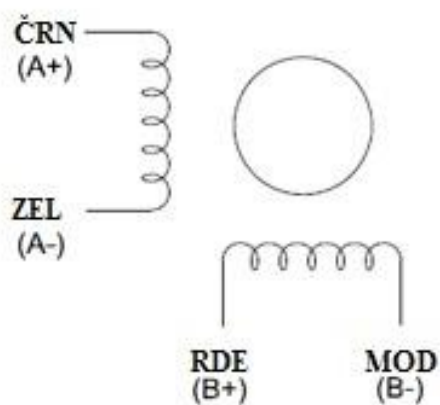
### 3.4 Motorji

Koračni motor je brezkrtačni enosmerni električni motor, ki razdeli en cel obrat v več enakih korakov. Položaj motorja je lahko upravljan tako, da se premakne in drži na enem od teh korakov brez kakršne koli povratne informacije senzorjev (open-loop controle), v kolikor je motor skrbno dimenzioniran za določeno aplikacijo v zvezi z navorom in hitrostjo. Veliko se uporabljajo v robotski industriji. Nema se nanaša na velikost okvirja motorja, ki je standardizirana s strani ameriškega Nacionalnega Električnega Združenja Proizvajalcev. Določa »obraz« velikosti motorja, ne pa njegove dolžine. Tako poznamo velikosti koračnih motorjev od Nema 8 do Nema 42. Nema 17 je eden večjih in težjih koračnih motorjev, kar pomeni, da ima večji navor, vendar pa njegova velikost ni indikator njegove moči.

Lastnosti motorja so navedene v Preglednici 3.



Slika 11: Koračni motor Nema17  
Vir: Lasten



Slika 12: Vežalna shema koračnega motorja Nema17

Vir: <https://goo.gl/Lgv2QM>

Preglednica 3: Lastnosti koračnega motorja Nema 17

Vir: <http://goo.gl/jn5RhB>

Tok	1,8A
Napetost	2,8V
Navor	0,43Nm
Korak	1,8°
Dolžina	43,2mm
Širina	43,2mm

### 3.5 Napajalnik

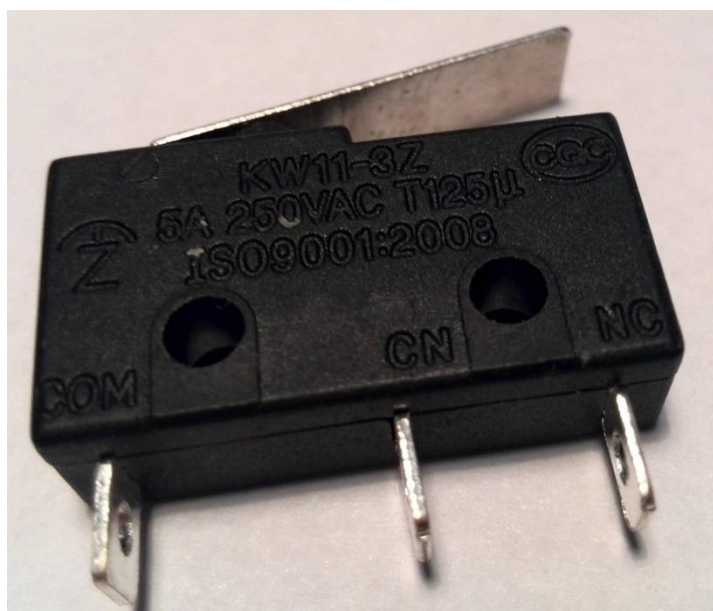
Napajalnik je elektronska naprava, ki dobavlja električno energijo do električnega porabnika. Primarna funkcija napajalnika je pretvorba energije iz ene oblike v drugo, napajalnike včasih imenujemo tudi električne pretvornike. Lahko so samostojne naprave, ali pa so vgrajeni v večje naprave skupaj z njihovimi obremenitvami. Primeri tega vključujejo napajalnike v namiznih računalnikih in elektronskih napravah. Za optimalno delovanje 3D tiskalnika se uporabi od 300W do 400W napajalnik AC – DC/230V – 12V.



Slika 13: Napajalnik AC – DC/230V – 12V  
Vir: Lasten

### 3.6 Končna stikala

V industriji je končno stikalo elektromehanska naprava, ki jo upravljamo z gibanjem strojnega dela ali s prisotnostjo nekega predmeta. Sestavljena je iz aktuatorja, ki je mehansko povezan z naborom kontaktov. Če pride predmet v kontakt z aktuatorjem, naprava upravlja kontakte tako, da sklene ali razklene neko električno povezavo. Uporabljajo se za nadzor strojev, kot del varnostnega sistema, kot varnostne zapore ali za štetje predmetov, ko prečkajo neko točko, za določanje končne pozicije premika oz. maksimalne dolžine premika strojnega dela po vodilih ali gredi. V našem primeru smo jih uporabili za določanje maksimalne višine tiskanja.



Slika 14: Mehansko končno stikalo  
Vir: Lasten

### 3.7 Miza

Na tiskalni mizi nastaja končni izdelek. Iz glave tiskalnika se plast za plastjo nanaša na mizo, ta pa se segreje, da je material pritrjen na konstanto mesto in ne more priti do zamika. Segreje se na približno 120°C, obenem pa preprečuje tudi krivljenje materiala zaradi prehitrega ohlajanja. Ponavadi je miza priključena na +12V napetosti, novejša izvedba pa podpirajo tudi +24V. Izdelana je iz polimera, ki je odporen na visoke temperature, saj je v njem bakrena plast, ki služi segrevanju.



Slika 15: Miza  
Vir: Lasten



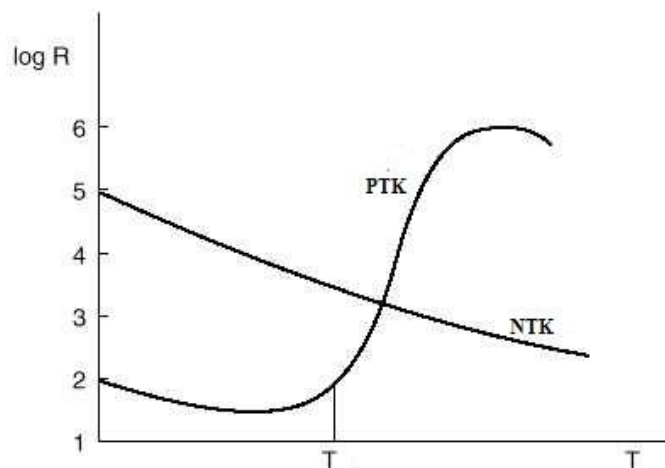
### 3.8 Senzor temperature

Za merjenje temperature večina 3D tiskalnikov uporablja termistorje. To so upori, ki s spreminjanjem temperature spreminjajo upornost. Poznamo termistorje s pozitivnim temperaturnim koeficientom (PTK) in z negativnim temperaturnim koeficientom (NTK). V večini primerov se uporabljajo termistorji z upornostjo  $100\text{k}\Omega$ .

Razliko med PTK in NTK termistorjem lahko najdemo na Sliki 17.



Slika 16: Senzor temperature  
Vir: Lasten



Slika 17: Graf v odvisnosti upornosti od temperature za PTK in NTK upor  
Vir: <https://goo.gl/XjMfEV>

### 3.9 Grelec šobe

Šobo greje grelec, ki je narejen iz keramičnega telesa, v katerem je navita uporovna žica, ki se segreje, če skozi njo teče tok. Najpogostejši so 40W grelci, ti so tudi najbolj razširjeni. Njihova priključna napetost je +12V.



Slika 18: Grelec šobe  
Vir: Lasten

### 3.10 LCD modul

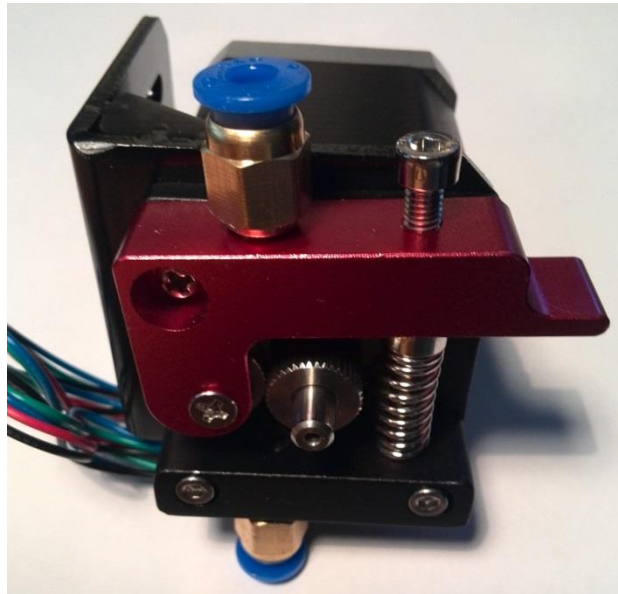
LCD modul ima štiri vrstice, v katere lahko vnesemo deset znakov. Služi prikazovanju poteka tiskanja in prikazovanju drugih podatkov tiskalnika, če nimamo direktne povezave z računalnikom.



Slika 19: LCD modul  
Vir: Lasten

### 3.11 Sistem za dovajanje materiala (Ekstruder)

Sistem za dovajanje materiala dobavlja material za tiskanje glavi tiskalnika. Sistem za dovajanje materiala je lahko pritrjen direkto na glavo tiskalnika ali pa je ločeno pritrjen na ohišje tiskalnika. V drugem primeru moramo zagotoviti povezavo med ekstruderjem in glavo tiskalnika, za kar ponavadi uporabimo plastično cev.



Slika 20: Sistem za dovajanje materiala (Ekstruder)  
Vir: Lasten

## 4 IZDELAVA LASTNEGA IZDELKA

V nadaljevanju je predstavljena izdelava lastnega izdelka ter kosovnica s cenami posameznega materiala.

### 4.1 Opis izdelave

Najprej smo izdelali načrt za ogrodje tiskalnika ter načrte za iverne plošče. Načrti posameznih delov ogrodja tiskalnika ter ivernih plošč so v prilogi.

Ko smo jeklene profile dimenzij 30mm x 30mm narezali na željene mere, smo jih zvarili in pobarvali.

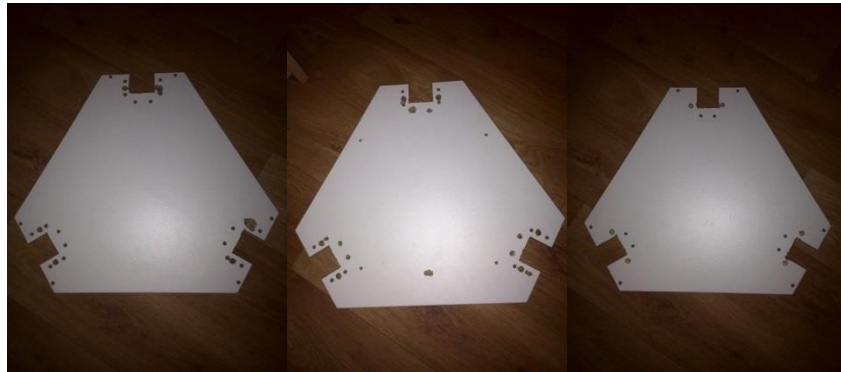
Izdelek je prikazan na Sliki 21.



Slika 21: Ogrodje tiskalnika  
Vir: Lasten

Nato smo izrezali tri iverne plošče ter v njih izvrtali vnaprej določene luknje.

Plošče so prikazane na Sliki 22.



Slika 22: Izdelane iverne plošče  
Vir: Lasten

Nato smo na spodnji iverni plošči z nosilci za motorje pritrtili koračne motorje, nato pa še tiskalno mizo.

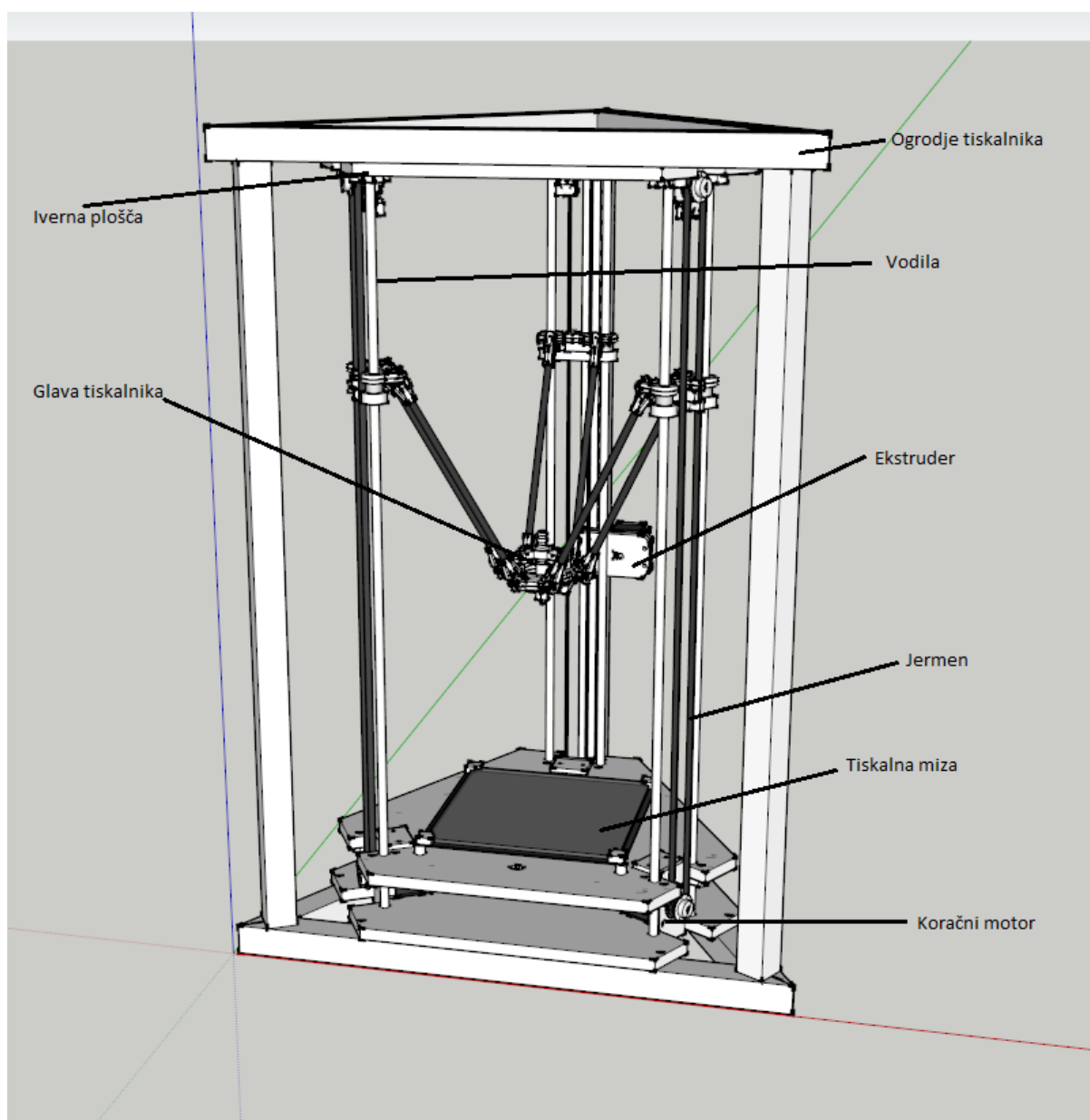
Izdelek je prikazan na Sliki 23.



Slika 23: Iverni plošči z koračnimi motorji in tiskalno mizo  
Vir: Lasten

Vstavili smo še vodila, ki so iz nerjavne kovine, njihov premer pa je 8 mm, ter na njih namestili glavo tiskalnika. Dodali smo še zgornjo iverno ploščo ter jermenski prenos, za katerega smo uporabili zobati jermen širine 5 mm. Ta služi premikanju tiskalne glave po vodilih. Na koncu smo vse skupaj pritrdili v ogrodje.

Izdelek je prikazan na Sliki 24.



Slika 24: Model 3D tiskalnika  
Vir: Lasten

## 4.2 Kosovnica in stroški

Preglednica 4: Kosovnica

Vir: Lasten

	Naziv artikla	Količina	Opombe	Cena materiala
1.	Arduino Mega 2560	1		9,59 €
2.	Ramps 1.4	1		4,88 €
3.	Gonilnik koračnih motorjev	4	A4988, s hladilnimi rebri	5,99 €
4.	Koračni motor	4	NEMA 17, korak 1,8°	35,96 €
5.	Napajalnik	1	AC – DC /230V – 12V, 400W	46,36 €
6.	Končno stikalo	3	Mehanska	4,49 €
7.	Grelna miza	1	250 X 250, 12V	7,98 €
8.	Senzor temperature	1	Termistor 100kΩ	4,96 €
9.	Glava tiskalnika	1		22,36 €
10.	LCD modul	1	LED 10 x 4	7 €
11.	Ekstruder	1		12,48 €
12.	Nerjavna vodila Ø8	6	W FI 8 GRED X90 ISO h6 NERJAVNA	98,26 €
13.	Linearni ležaj	6	LME 08 UU MPT LEŽAJI LINEARNI	20,36 €
14.	Jekleni profil	9	30mm x 30mm	0 €
15.	Iverna plošča	3		33,99 €
16.	Imbus vijaki M5	30		2,80 €
17.	Imbus vijaki M3	40		4,80 €
18.	Kroglični ležaj	6	5 x 16 x 2,5	2,40 €
19.	Kovinska palica Ø 5	1		5,20 €
20.	Zobati jermen	3	5mm	21,99 €
21.	Plastični deli	48	Natisnjeni na drugem 3D tiskalniku	0 €
23.	Zobnik za jermen	6		8,98 €
24.	Teflonska cev	1		2,54 €
Skupaj				363,57 €

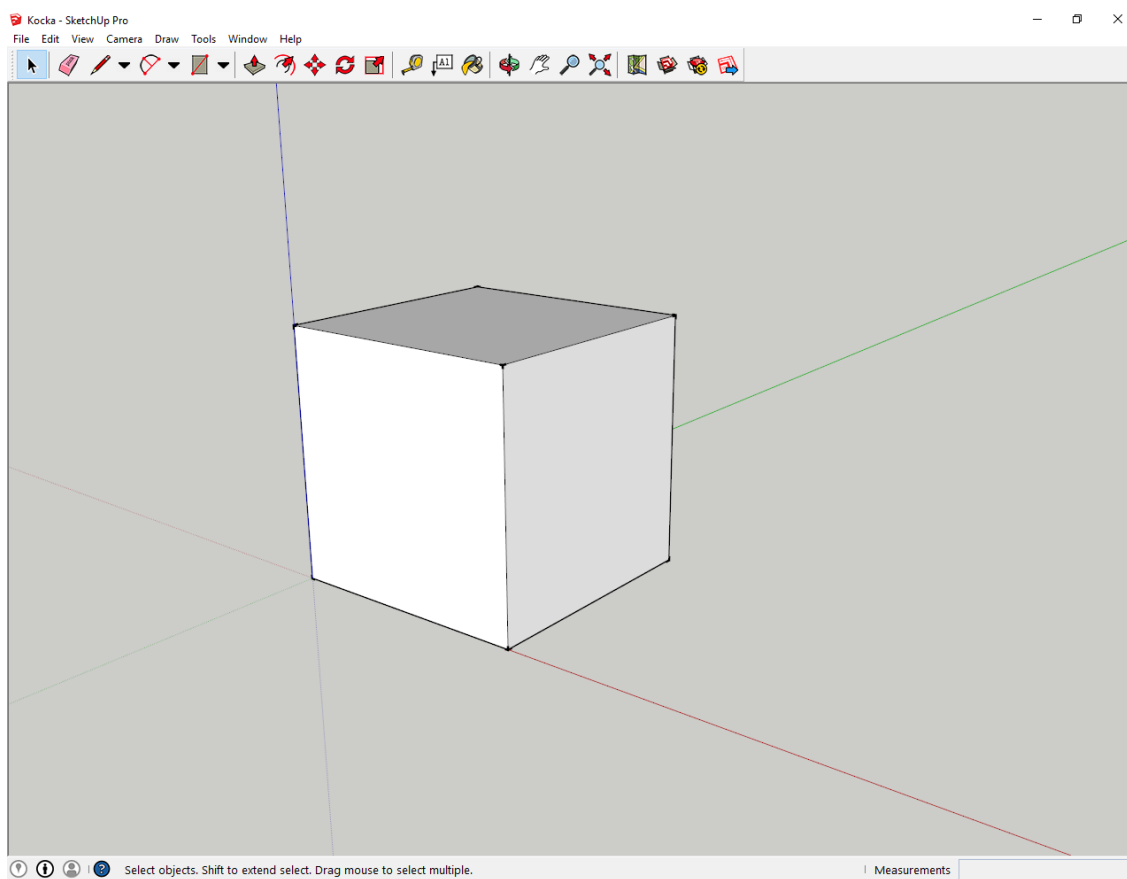
## 5 OD RAČUNALNIŠKEGA MODELA DO NATISNJENEGA IZDELKA

V nadaljevanju so predstavljeni posamezni postopki, kako iz računalniškega modela nekega predmeta dobimo natisnjen predmet.

### 5.1 Izdelava in izvoz računalniškega modela

Seveda moramo, če želimo natisniti izdelek, najprej narediti njegov računalniški model. Za izdelavo računalniškega modela lahko uporabimo kateri koli program za izdelovanje modelov. V našem primeru smo uporabili program SketchUp in v njem izdelali računalniški model kocke z robovi dolgimi 5 cm.

Model lahko vidite na Sliki 25.

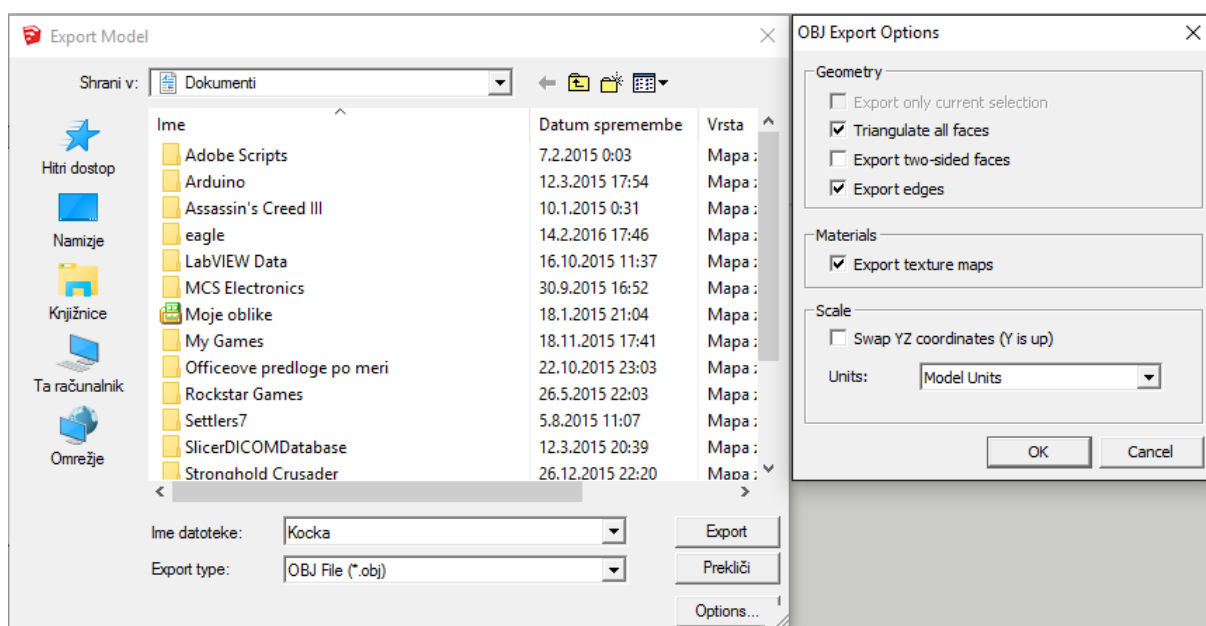


Slika 25: Računalniški model kocke  
Vir: Lasten



Model izvozimo tako, da gremo pod zavihek »File«, nato pa izberemo možnost »Export« in nato še »3D Model«. Odpre se nam okno za izvoz modela.

Nastavitve lahko vidite na Sliki 26.

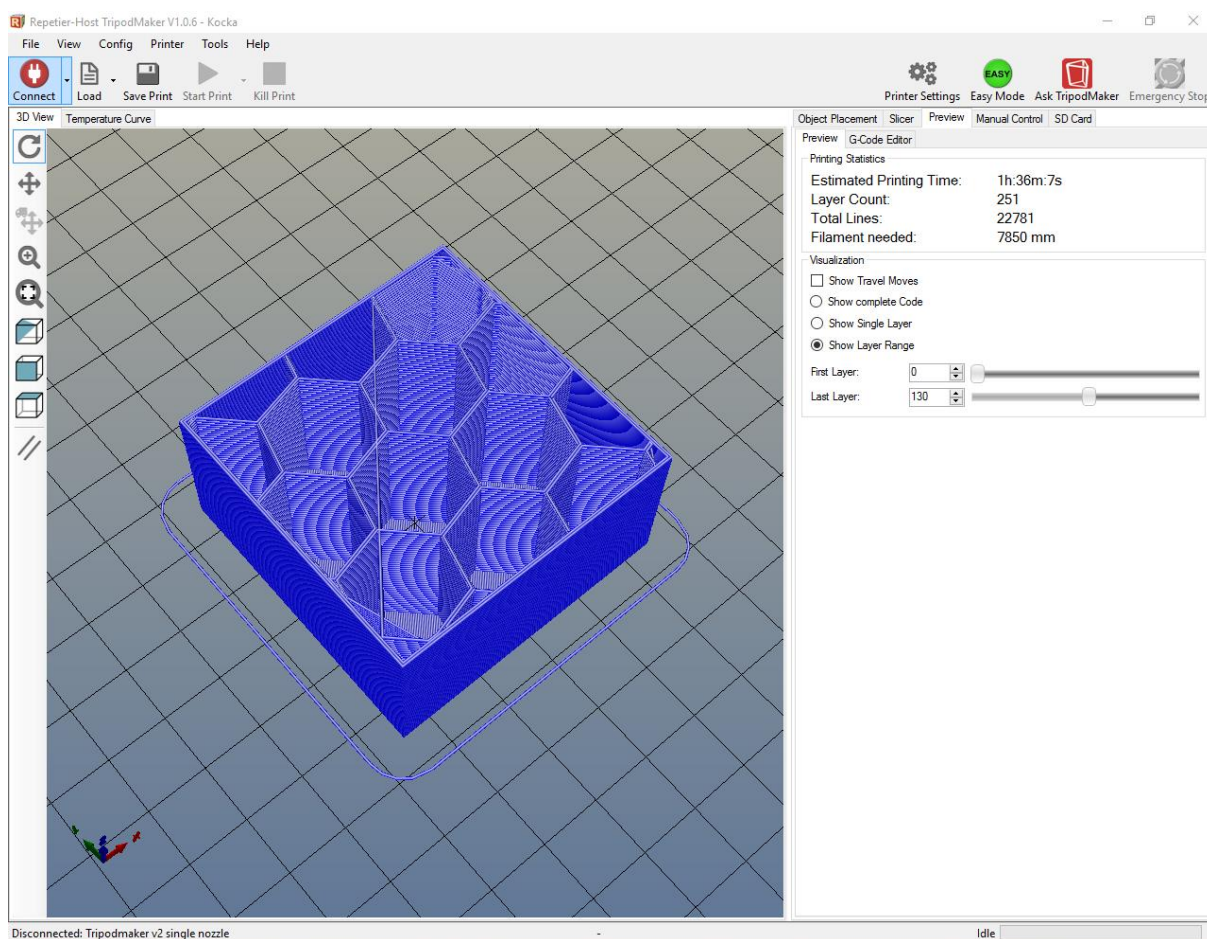


Slika 26: Nastavitve za izvoz datoteke  
Vir: Lasten

## 5.2 Razrez modela na plasti in tiskanje

Ko smo uspešno izvozili model, odpremo program za tiskanje, v našem primeru je to program Repetier-Host. Odpremo program in izberemo možnost »Load« ter izberemo prej izvoženo datoteko. V programu se nam pokaže model, ki smo ga izdelali prej. Odpremo zavihek »Slicer« in tam razrežemo model na plasti; tako se ustvari G-koda, s katero program komunicira s tiskalnikom. Izrezek G-kode je v prilogi.

Model po plasteh lahko vidite na Sliki 27.



Slika 27: Model razrezan na plasti  
Vir: Lasten

### **5.3 Natisnjen izdelek**

Izdelek smo natisnili z večjimi odstopanji kot smo pričakovali, zaradi nenatančnosti samega tiskalnika. Pri tiskanju moramo biti pozorni na hitrost tiskanja, saj z večjo hitrostjo natančnost še dodatno upada, ter na nemoteno dovajanje materiala, s katerim tiskamo. Zelo pozorni moramo biti med samim izvajanjem tiskanja, da lahko sproti odpravimo napake, ki nastanejo med tiskanjem.

## 6 ZAKLJUČEK IN RAZPRAVA

Ob tej raziskovalni nalogi sva se veliko naučila o znanjih, ki so še v razvoju in nama bodo koristila tudi vnaprej. Spoznala sva postopke, kako se lotiti izdelave projekta od načrtovanja do končnega izdelka in kako reševati težave, ki nastajajo ob tem. Najina raziskava je že precej razširjena, saj sva naletela na veliko podobnih raziskav in člankov. 3D tiskanje je v zadnjih letih postalo že kar precej razširjeno in dostopno skoraj vsakomur. Razvoj je v zadnjih letih že tako napredoval, da lahko tiskamo že z veliko različnimi materiali. 3D tiskalniki so ideja, ki je uvedla veliko novosti v industriji in proizvodnji.

Na začetku raziskovalne naloge sva si postavila naslednje hipoteze:

- 3D tiskalnik je možno sestaviti doma za ceno, ki ne presega 500 €.
- Programiranja tiskalnika ni možno izvesti z osnovnim znanjem iz programiranja.
- 3D tiskalnik je možno narediti s pomočjo osnovnih znanj iz elektrotehnike in mehatronike. Nekateri deli so lastne izdelave (ohišje), v večini pa so deli kupljeni ali pa natisnjeni s pomočjo 3D tiskalnika.
- 3D tiskalnik tiska z odstopanji do 10 % od računalniškega modela, upoštevamo krčenje materiala (3 % - 5 %) ter premer šobe (0,3 mm).
- Tiskalnik je po ceni in specifikacijah primerljiv s 3D tiskalnikom Orion Delta (<http://www.seemecnc.com/products/orion-delta-3d-printer>).
- S 3D tiskalnikom bomo lahko tiskali tako preproste (kocka, piramida ...) kot tudi bolj zahtevne predmete (makete zgradb ...).
- S 3D tiskalnikom zaradi povešanja materiala ne bo možno tiskati ostrih in pravih kotov brez podpornega materiala

Potrdila sva prvo hipotezo, ki pravi, da je možno tiskalnik izdelati doma za ceno, ki ne presega 500 €, saj sva za izdelavo tiskalnika porabila približno 364 €. Prav tako sva potrdila tudi drugo in tretjo hipotezo, saj sva uspela sprogramirati le posamezno delovanje koračnih motorjev in odčitovanje temperature s senzorjev temperature. Program sva v končni fazi prenesla z interneta, saj je najino znanje programiranja prešibko. Izrezki programa so v prilogi. Samo sestavljanje in povezovanje elektronike pa sva z lahkoto opravila z osnovnim znanjem elektrotehnike kot tudi mehatronike.

Delno sva potrdila četrto hipotezo, saj tiskalnik tiska manjše in enostavnejše predmete v danih parametrih, pri večjih in bolj zahtevnih predmetih pa se kvaliteta tiskanja bistveno poslabša. Delno potrjena je tudi peta hipoteza, v kateri sva predvidevala, da je tiskalnik primerljiv s 3D tiskalnikom Orion Delta, saj je cenejši kot zgoraj navedeni model, vendar pa so druge tehnične lastnosti, kot sta hitrost tiskanja in natančnost, bistveno slabše. Prav tako pa sva delno potrdila tudi šesto in sedmo hipotezo, ker lahko tiskamo preproste predmete kot sta kocka in piramida, za kaj bolj zahtevnega pa tiskalnik ni dovolj natančen. Poleg tega se začne ob tiskanju bolj zahtevnih kotov material povešati, če nima zagotovljene podpore.

Razmišljala sva o spremembi dizajna samega tiskalnika, saj je trenutna različica tiskalnika kar precej težka in zavzame tudi dosti prostora. Usmerila bi se v izdelavo manjšega modela, verjetno bi tudi zamenjala sam model tiskalnika, saj je Delta model 3D tiskalnikov zelo zahteven za izdelavo, ker je potrebna velika mera natančnosti pri sami izdelavi. Za sam material bi namenila malo več denarja, kar bi povečalo natančnost ter izboljšalo samo delovanje tiskalnika. Mogoče bi dodala še kakšno hipotezo ter preizkusila, kako bi se obneslo 3D tiskanje v medicini ali kakšni drugi znanstveni vedi. Naredila pa bi tudi primerjavo hitrosti in natančnosti tiskanja med delta in kartezičnim modelom tiskalnika.

## **7 POVZETEK**

Kot mlada raziskovalca, ki se zanimava za novosti v tehnologiji, sva se odločila izdelati 3D tiskalnik. Vodila naju je ideja, da se tovrstna tehnologija hitro širi in je dostopna vse več ljudem. Skozi raziskovalno nalogo sva se poglobila v sestavo 3D tiskalnikov. Preučila sva dva najbolj pogosta modela tiskalnikov ter primerjala njihove prednosti in slabosti. Opisala sva zgodovino 3D tiskanja, se poglobila v načine 3D tiskanja in raziskala prihodnost tiskanja. Pozanimala sva se tudi, kako dostopna je tehnologija 3D tiskanja posamezniku ter v katerih mejah se gibljejo cene 3D tiskalnikov. Naredila sva pregled elektronskega dela ter vsak posamezni sestavni del slikala ter dodala kratek opis. Naredila sva računalniški model 3D tiskalnika, nato pa naročila material, ga izdelala, opisala postopek izdelave ter vse dele vnesla v kosovnico ter dopisala še cene materiala na podlagi katerih sva potem izračunala končno ceno izdelka. Na koncu sva pregledala hipoteze, ki sva si jih postavila na začetku raziskovalne naloge ter jih potrdila ovrгла ali delno potrdila.

Ugotovila sva, da je izdelava tovrstnih modelov tiskalnikov precej zahtevna in da je potrebna velika natančnost, predvsem pri izdelavi vodil, po katerih se premika glava tiskalnika, saj je od njih odvisen velik del natančnosti tiska. Ob pregledu dela bi izboljšala predvsem zunanjo konstrukcijo, kar bi tiskalniku doprineslo natančnost, s čimer bi omogočila tiskanje tudi večjih in bolj zahtevnih stvari.

## **8 ZAHVALA**

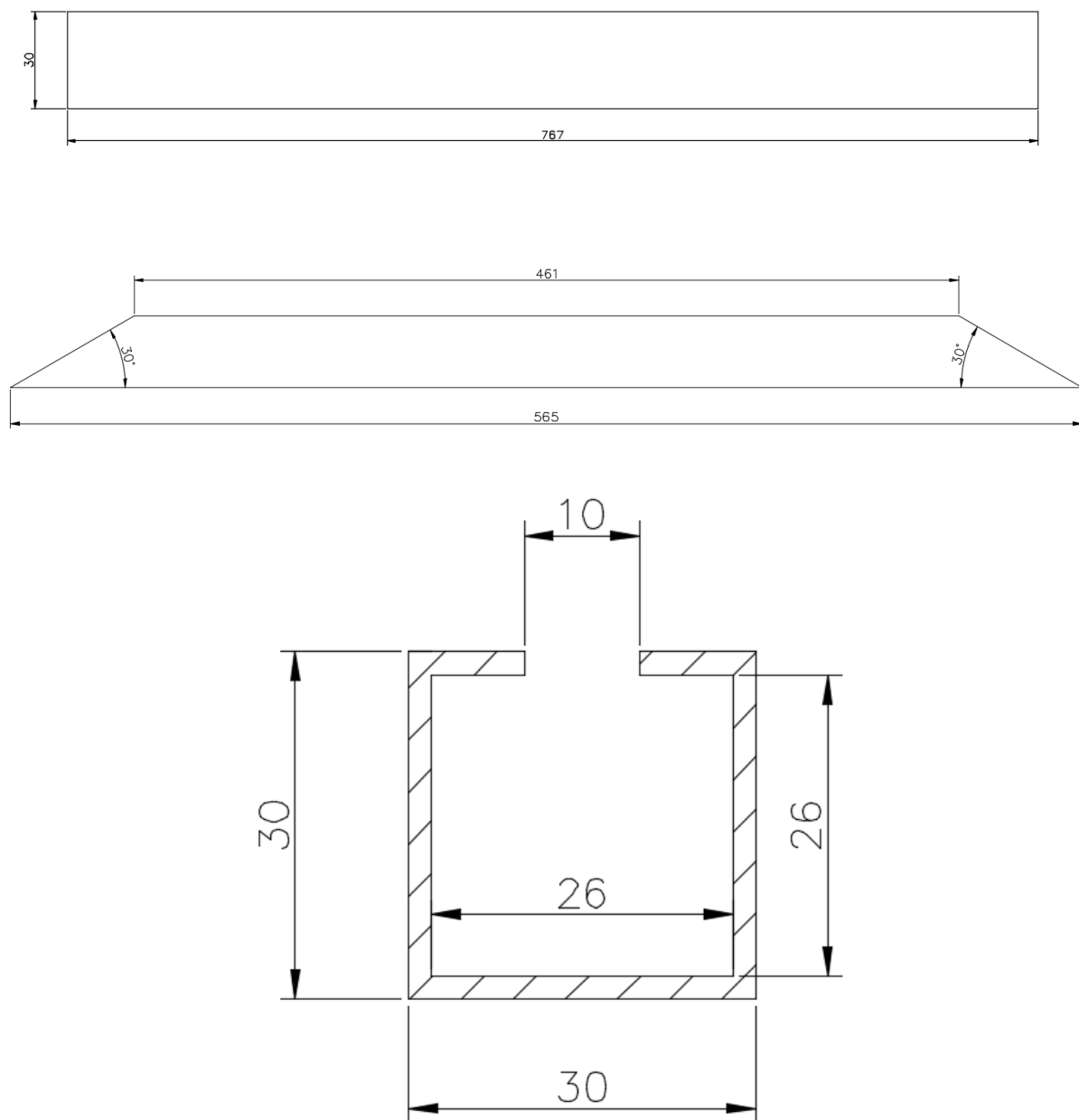
Zahvaljujema se mentorjema gospodu Petru Vrčkovniku in gospodu Klemnu Hlebu za pomoč, usmerjanje ter trud in podporo pri raziskovalni nalogi. Gospe Mojci Štruc ter gospe Simoni Diklič za lektoriranje naloge. Zahvala gre tudi elektro in računalniški šoli in vsem, ki so pripomogli k nastanku te naloge.

## 9 PRILOGE

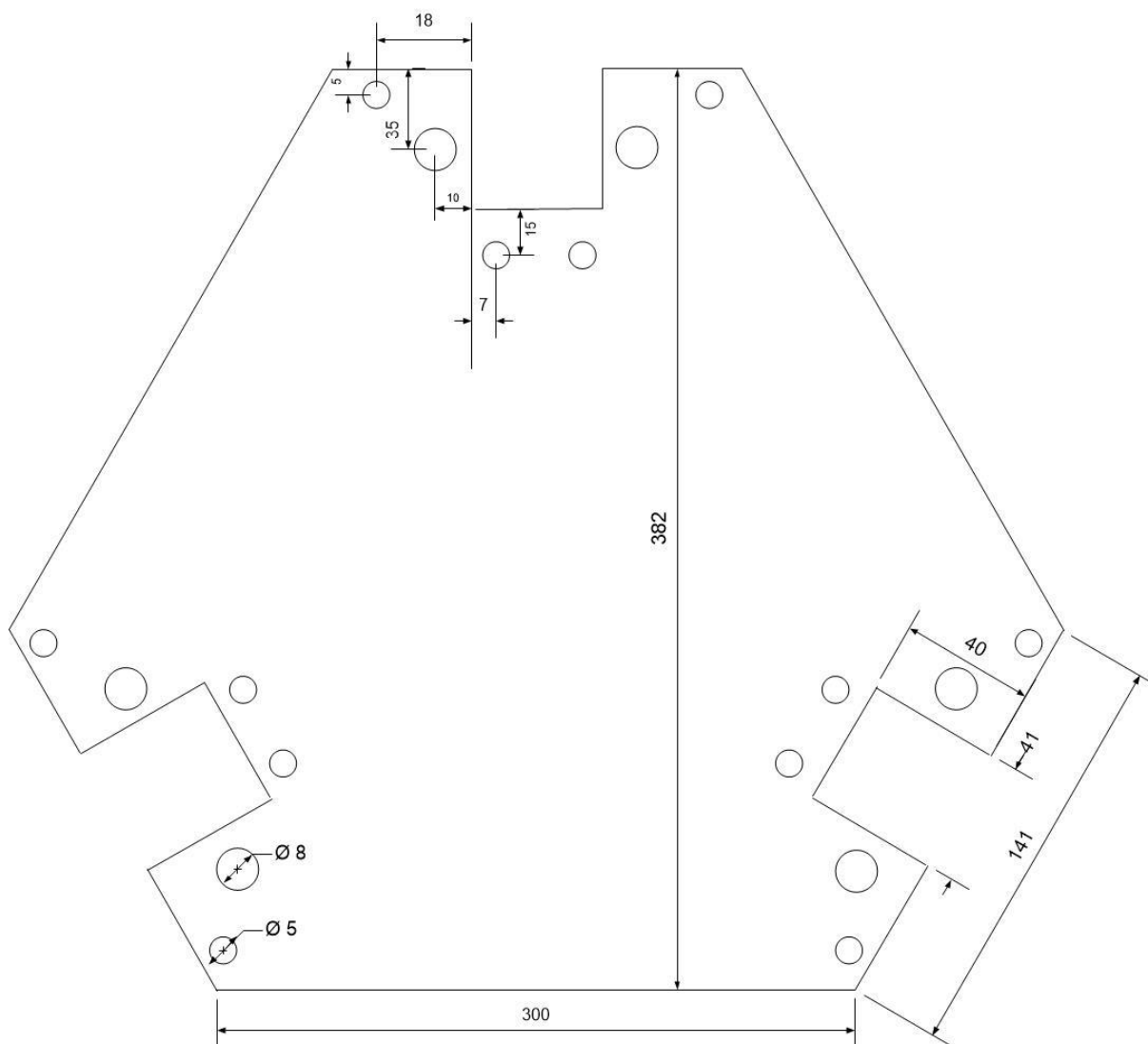
81	G1	X-24.825	Y-24.825	E20.00452
82	G1	X24.765	Y-24.825	E22.23568
83	G1	X24.625	Y-24.479	F9000.000
84	G1	X24.183	Y-24.223	F9000.000
85	G1	X24.223	Y-24.183	E22.23823 F1200.000
86	G1	X24.223	Y-23.671	E22.26127
87	G1	X23.671	Y-24.223	E22.29641
88	G1	X23.158	Y-24.223	E22.31946
89	G1	X24.223	Y-23.158	E22.38719
90	G1	X24.223	Y-22.646	E22.41023
91	G1	X22.646	Y-24.223	E22.51055
92	G1	X22.134	Y-24.223	E22.53360
93	G1	X24.223	Y-22.134	E22.66652
94	G1	X24.223	Y-21.622	E22.68956
95	G1	X21.622	Y-24.223	E22.85507
96	G1	X21.109	Y-24.223	E22.87812
97	G1	X24.223	Y-21.109	E23.07621
98	G1	X24.223	Y-20.597	E23.09926
99	G1	X20.597	Y-24.223	E23.32995
100	G1	X20.085	Y-24.223	E23.35300
101	G1	X24.223	Y-20.085	E23.61628
102	G1	X24.223	Y-19.573	E23.63933
103	G1	X19.573	Y-24.223	E23.93521
104	G1	X19.060	Y-24.223	E23.95825
105	G1	X24.223	Y-19.060	E24.28672
106	G1	X24.223	Y-18.548	E24.30977
107	G1	X18.548	Y-24.223	E24.67083
108	G1	X18.036	Y-24.223	E24.69387
109	G1	X24.223	Y-18.036	E25.08753
110	G1	X24.223	Y-17.524	E25.11057
111	G1	X17.524	Y-24.223	E25.53682
112	G1	X17.012	Y-24.223	E25.55987
113	G1	X24.223	Y-17.012	E26.01870
114	G1	X24.223	Y-16.499	E26.04175
115	G1	X16.499	Y-24.223	E26.53318

Priloga 1: Izrezek G-kode  
Vir: Lasten

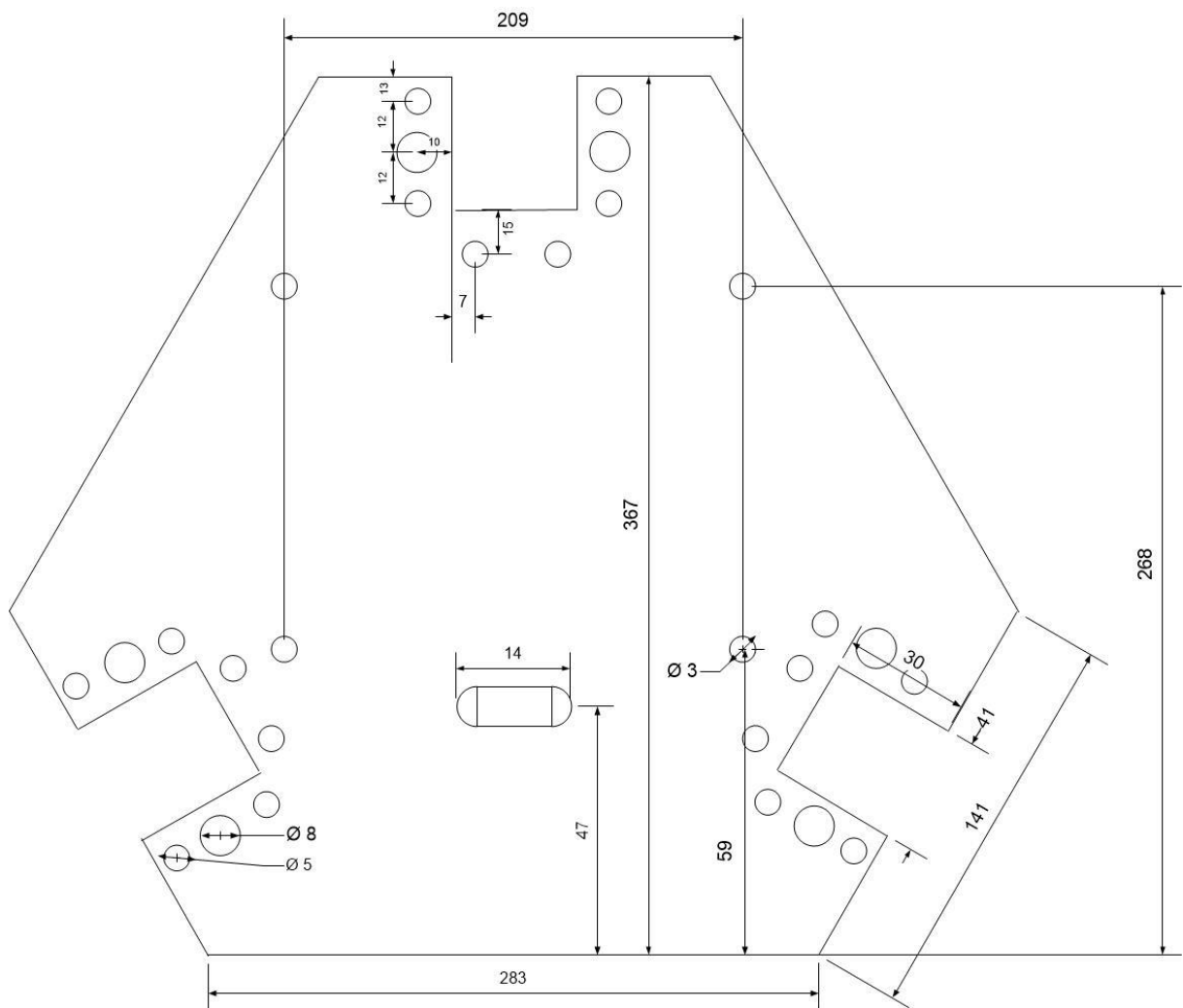




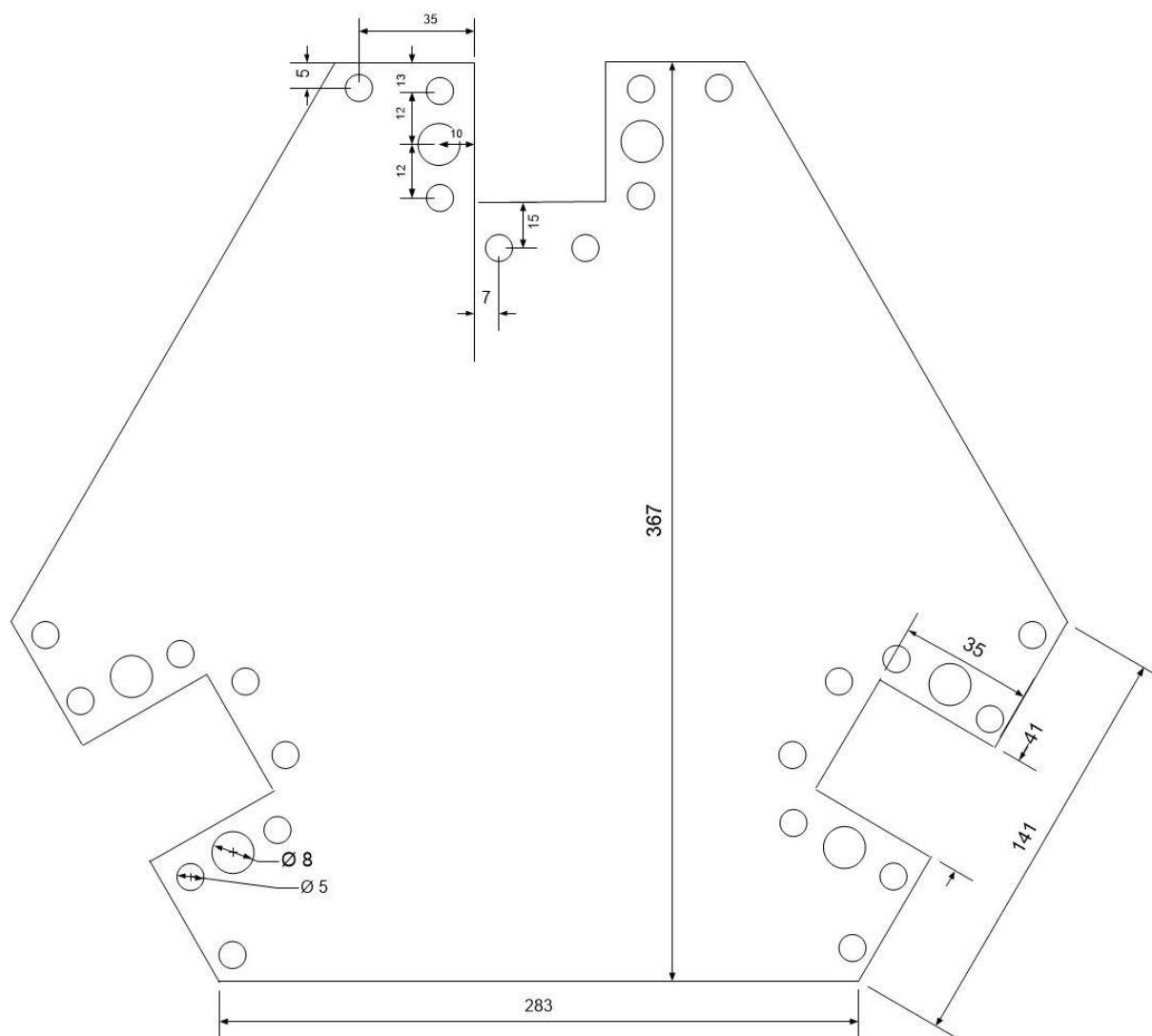
Priloga 2: Tehniške risbe jeklenih profilov za ogrodje tiskalnika  
Vir: Lasten



Priloga 3: Tehniška risba spodnje iverne plošče  
Vir: Lasten



Priloga 4: Tehniška risba sredinske iverne plošče  
Vir: Lasten



Priloga 5: Tehniška risba zgornje iverne plošče  
Vir: Lasten

```
//=====
//===== Delta Settings =====
//=====
// Enable DELTA kinematics
#define DELTA

// Make delta curves from many straight lines (linear interpolation).
// This is a trade-off between visible corners (not enough segments)
// and processor overload (too many expensive sqrt calls).
#define DELTA_SEGMENTS_PER_SECOND 200

// Center-to-center distance of the holes in the diagonal push rods.
#define DELTA_DIAGONAL_ROD 336.89 // mm

// Horizontal offset from middle of printer to smooth rod center.
#define DELTA_SMOOTH_ROD_OFFSET 238.0 // mm

// Horizontal offset of the universal joints on the end effector.
#define DELTA_EFFECTOR_OFFSET 17.21 // 31.86 - 34.31 mm
// smile = increase

// Horizontal offset of the universal joints on the carriages.
#define DELTA_CARRIAGE_OFFSET 35.88 // mm

// Effective horizontal distance bridged by diagonal push rods.
#define DELTA_RADIUS (DELTA_SMOOTH_ROD_OFFSET-DELTA_EFFECTOR_OFFSET-DELTA_CARRIAGE_OFFSET)

// Effective X/Y positions of the three vertical towers.
#define SIN_60 0.8660254037844386
#define COS_60 0.5
#define DELTA_TOWER1_X -SIN_60*DELTA_RADIUS // front left tower
#define DELTA_TOWER1_Y -COS_60*DELTA_RADIUS
#define DELTA_TOWER2_X SIN_60*DELTA_RADIUS // front right tower
#define DELTA_TOWER2_Y -COS_60*DELTA_RADIUS
#define DELTA_TOWER3_X 0.0 // back middle tower
#define DELTA_TOWER3_Y DELTA_RADIUS

// Diagonal rod squared
#define DELTA_DIAGONAL_ROD_2 pow(DELTA_DIAGONAL_ROD,2)
```

Priloga 6: Izrezek programa za konfiguracijo delta modela tiskalnika  
Vir: Lasten

```
#define TEMP_SENSOR_0 5
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_BED 6

// This makes temp sensor 1 a redundant sensor for sensor 0. If the temperatures difference between these sensors is too high the print will be aborted.
//#define TEMP_SENSOR_1_AS_REDUNDANT
#define MAX_REDUNDANT_TEMP_SENSOR_DIFF 10

// Actual temperature must be close to target for this long before M109 returns success
#define TEMP_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds)
#define TEMP_HYSTERESIS 3 // (degC) range of +/- temperatures considered "close" to the target one
#define TEMP_WINDOW 1 // (degC) Window around target to start the residency timer x degC early.

// The minimal temperature defines the temperature below which the heater will not be enabled It is used
// to check that the wiring to the thermistor is not broken.
// Otherwise this would lead to the heater being powered on all the time.
#define HEATER_0_MINTEMP 5
#define HEATER_1_MINTEMP 5
#define HEATER_2_MINTEMP 5
#define BED_MINTEMP 5

// When temperature exceeds max temp, your heater will be switched off.
// This feature exists to protect your hotend from overheating accidentally, but *NOT* from thermistor short/failure!
// You should use MINTEMP for thermistor short/failure protection.
#define HEATER_0_MAXTEMP 275
#define HEATER_1_MAXTEMP 275
#define HEATER_2_MAXTEMP 275
#define BED_MAXTEMP 150

// If your bed has low resistance e.g. .6 ohm and throws the fuse you can duty cycle it to reduce the
// average current. The value should be an integer and the heat bed will be turned on for 1 interval of
// HEATER_BED_DUTY_CYCLE_DIVIDER intervals.
//#define HEATER_BED_DUTY_CYCLE_DIVIDER 4

// PID settings:
// Comment the following line to disable PID and enable bang-bang.
#define PIDTEMP
#define BANG_MAX 255 // limits current to nozzle while in bang-bang mode; 255=full current
#define PID_MAX 255 // limits current to nozzle while PID is active (see PID_FUNCTIONAL_RANGE below); 255=full current
#ifndef PIDTEMP
```

Priloga 7: Izrezek programa za merjenje temperature  
Vir: Lasten

```
// coarse Endstop Settings

#define ENDSTOPPULLUPS // Comment this out (using // at the start of the line) to disable the endstop pullup resistors

#ifndef ENDSTOPPULLUPS
  // fine Enstop settings: Individual Pullups. will be ignored if ENDSTOPPULLUPS is defined
  // #define ENDSTOPPULLUP_XMAX
  // #define ENDSTOPPULLUP_YMAX
  // #define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
  // #define ENDSTOPPULLUP_XMIN
  // #define ENDSTOPPULLUP_YMIN
  // #define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
#endif

#ifdef ENDSTOPPULLUPS
  #define ENDSTOPPULLUP_XMAX
  #define ENDSTOPPULLUP_YMAX
  #define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
  #define ENDSTOPPULLUP_XMIN
  #define ENDSTOPPULLUP_YMIN
  #define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
#endif

// The pullups are needed if you directly connect a mechanical endswitch between the signal and ground pins.
const bool X_MIN_ENDSTOP_INVERTING = false; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING = false; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool X_MAX_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING = true; // set to true to invert the logic of the endstop.
// #define DISABLE_MAX_ENDSTOPS
// #define DISABLE_MIN_ENDSTOPS

// Disable max endstops for compatibility with endstop checking routine
#if defined(COREXY) && !defined(DISABLE_MAX_ENDSTOPS)
  #define DISABLE_MAX_ENDSTOPS
#endif

// For Inverting Stepper Enable Pins (Active Low) use 0, Non Inverting (Active High) use 1
#define X_ENABLE_ON 0
#define Y_ENABLE_ON 0
#define Z_ENABLE_ON 0
```

---

Priloga 8: Izrezek programa za konfiguracijo končnih stikal  
Vir: Lasten

```
// Say which 16 bit timers can be used and in what order
#if defined(__AVR_ATmega1280__) || defined(__AVR_ATmega2560__)
#define _useTimer5
//#define _useTimer1
#define _useTimer3
#define _useTimer4
//typedef enum { _timer5, _timer1, _timer3, _timer4, _Nbr_16timers } timer16_Sequence_t ;
typedef enum { _timer5, _timer3, _timer4, _Nbr_16timers } timer16_Sequence_t ;

#elif defined(__AVR_ATmega32U4__)
//#define _useTimer1
#define _useTimer3
//typedef enum { _timer1, _Nbr_16timers } timer16_Sequence_t ;
typedef enum { _timer3, _Nbr_16timers } timer16_Sequence_t ;

#elif defined(__AVR_AT90USB646__) || defined(__AVR_AT90USB1286__)
#define _useTimer3
//#define _useTimer1
//typedef enum { _timer3, _timer1, _Nbr_16timers } timer16_Sequence_t ;
typedef enum { _timer3, _Nbr_16timers } timer16_Sequence_t ;

#elif defined(__AVR_ATmega128__) || defined(__AVR_ATmega1281__) || defined(__AVR_ATmega2561__)
#define _useTimer3
//#define _useTimer1
//typedef enum { _timer3, _timer1, _Nbr_16timers } timer16_Sequence_t ;
typedef enum { _timer3, _Nbr_16timers } timer16_Sequence_t ;

#else // everything else
//#define _useTimer1
//typedef enum { _timer1, _Nbr_16timers } timer16_Sequence_t ;
typedef enum { _Nbr_16timers } timer16_Sequence_t ;
#endif

#define Servo_VERSION          2          // software version of this library

#define MIN_PULSE_WIDTH        544       // the shortest pulse sent to a servo
#define MAX_PULSE_WIDTH        2400      // the longest pulse sent to a servo
#define DEFAULT_PULSE_WIDTH    1500     // default pulse width when servo is attached
#define REFRESH_INTERVAL       20000    // minimum time to refresh servos in microseconds

#define SERVOS_PER_TIMER       12        // the maximum number of servos controlled by one timer
#define MAX_SERVOS              (_Nbr_16timers * SERVOS_PER_TIMER)
```

Priloga 9: Izrezek programa za upravljanje koračnih motorjev  
Vir: Lasten



## 10 VIRI

1. <http://www.seemecnc.com/products/orion-delta-3d-printer>
2. <http://www.google.si>
3. [https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/2rpx98/advice\\_delta\\_vs\\_cartesian/](https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/2rpx98/advice_delta_vs_cartesian/)
4. <https://all3dp.com/know-your-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-and-scara/>
5. <http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>
6. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
7. <http://www.absplastic.eu/pla-vs-abs-plastic-pros-cons/>
8. <https://en.wikipedia.org/wiki/Extrusion>