



B&B  
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija  
Program: Strojništvo  
Modul: Orodjarstvo

## **TEHNIKE IN POSTOPKI HITRE IZDELAVE PROTOTIPOV**

Mentor: mag. Slavko Božič

Kandidat: Rok Regvar

Lektorica: Manja Belina, mag. prof. slov. in mag. prof. špan.

Kranj, januar 2025

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju, mag. Slavku Božiču, za vso pomoč, nasvete in ažurnost.

Zahvaljujem se tudi lektorici Manji Belina, ki je moje diplomsko delo jezikovno in slovnično pregledala.

Zahvaljujem se tudi mojim staršem, Bojanu in Marjani, ter sestri Urši za vso podporo pri doseganju mojih ciljev.

## **IZJAVA**

Študent Rok Regvar izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Slavka Božiča.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne \_\_\_\_\_

Podpis: \_\_\_\_\_

## **POVZETEK**

V diplomskem delu bomo predstavili hitro prototipiranje in uporabo tehnik in njihovih postopkov. Izdelali bomo prototip s 3D tiskanjem in primerjali prednosti in slabosti med različnimi tehnikami ter postopki v okviru naših zmožnosti. Tehnike in postopke bomo opisali in se bolj osredotočili na hitro prototipiranje z uporabo 3D tiskanja materiala PETG, saj je ena izmed najbolj dostopnih tehnik, ki jih lahko uporabimo pri izdelavi prototipa. Testni prototip bomo izdelali na podlagi datoteke .STL, ki nastane s pomočjo programske opreme za izdelavo računalniškega 3D modela, ki ustreza tiskalniku. Za konec bomo prototip analizirali in povzeli, kako se kakovost spreminja pri ostalih tehnikah in postopkih pri različnih parametrih. Preverili bomo tudi, katere tehnike uporabljamo glede na različne primere 3D prototipov in kaj želimo z njimi doseči v praksi.

## **KLJUČNE BESEDE**

- 3D tisk
- Prototip
- STL (vrsta datoteke)
- PETG (polietilen tereftalat glikol)
- Modeliranje
- FDM (model ciljnega nalaganja)

## **SUMMARY**

In this thesis, we will present rapid prototyping with 3D printing techniques and procedures. We will manufacture a prototype and compare the upsides and downsides of using different techniques in the scope of our abilities. We will describe the techniques and procedures and will give our attention to rapid prototyping and FDM 3D printing with PETG material as it is one of the most common techniques used to manufacture a prototype. We will create a prototype using a .STL file, that is made with computer-aided software to make a 3D model that is compatible with our printer. In the end we will analyze our prototype and summarize how the quality changes with other techniques and procedures with different parameters. We will also look over which of the techniques are more appropriate to be used for 3D procedures depending on what we want to achieve.

## **KEYWORDS**

- 3D printing
- Prototype
- STL(file format)
- PETG(polyethylene terephthalate glycol)
- Modeling
- FMD(Fused deposition modeling)

## KAZALO

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge.....	1
1.3	Predpostavke in omejitve.....	1
1.4	Metode dela.....	1
<b>2</b>	<b>TEHNOLOGIJA 3D TISKANJA .....</b>	<b>2</b>
2.1	Osnove 3d tiskanja .....	2
2.2	Hitro prototipiranje .....	3
2.3	Tehnologija fdm .....	4
2.4	Cnc obdelava .....	14
2.5	Lasersko navarjanje .....	15
<b>3</b>	<b>PRAKTIČNI DEL .....</b>	<b>16</b>
3.1	Izbira prototipa za tiskanje in programska oprema .....	16
3.2	uporabljena strojna oprema .....	16
3.3	Izdelava prototipa votle kocke.....	17
<b>4</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>LITERATURA IN VIRI.....</b>	<b>32</b>

## KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz dodajanja slojev 3D tiskalnika .....	2
Slika 2: Procesi in tehnike proizvodnje .....	3
Slika 3: Shema klasičnega tiskalnika FDM .....	5
Slika 4: Primeri zapolnitve modela.....	6
Slika 5: Grafični prikaz parametrov 1 .....	7
Slika 6: Grafični prikaz parametrov 2.....	8
Slika 7: Grafični prikaz PLA.....	9
Slika 8: Grafični prikaz PET.....	10
Slika 9: Grafični prikaz ABS.....	11
Slika 10: Grafični prikaz NAJLON.....	12
Slika 11: Grafični prikaz PC.....	13
Slika 12: Grafični prikaz TPU.....	14
Slika 13: Osnovna shema procesa CNC subtraktivne obdelave .....	15
Slika 14: Primer laserskega navarjanja.....	15
Slika 15: Slika tiskalnika FDM .....	17
Slika 16: Slika 3D računalniškega modela .....	18
Slika 17: Slika natiskanega prototipa št. 1 .....	19
Slika 18 : Prikaz robov prototipa 1 .....	20
Slika 19: Prikaz vrhnjega sloja 1.....	20
Slika 20: Slika natiskanega prototipa št. 2 .....	21
Slika 21: Slika defekta na prototipu št. 2.....	22
Slika 22: Prikaz robov prototipa 2.....	22
Slika 23: Prikaz vrhnjega sloja 2.....	23
Slika 24 : Slika defektne osnovne plošče.....	23
Slika 25: Slika natiskanega prototipa št. 3 .....	24
Slika 26: Prikaz robov prototipa 3.....	25
Slika 27: Prikaz vrhnjega sloja 3.....	26
Slika 28: Slika natiskanega prototipa št. 4 .....	27
Slika 29: Prikaz robov prototipa 4.....	28
Slika 30: Prikaz vrhnjega sloja 4.....	28

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Referenčni parametri .....	18
Tabela 2: Meritve prototipa št. 1 .....	19
Tabela 3: Spremenjeni parametri 1 .....	21
Tabela 4: Spremenjeni parametri 2 .....	24
Tabela 5: Meritve prototipa 3.....	25
Tabela 6: Spremenjeni parametri 3 .....	26
Tabela 7: Meritve prototipa 4.....	27

## KRATICE IN AKRONIMI

3D:	tridimenzionalno
ABS:	akrilonitril butadien stiren (angl. acrylonitrile butadiene styrene)
ASA:	akrilonitril stiren akrilat (angl. acrylonitrile styrene acrylate)
CAD:	računalniško podprto načrtovanje (angl. computer aided design)
CNC:	računalniško numerično modeliranje (angl. computer numerical control)
FDM:	ciljno nanašanje (angl. fused deposition modeling)
PETG:	polietilen tereftalat glikol (angl. polyethylene terephthalate glycol)
RP:	hitro prototipiranje (angl. rapid prototyping)
RT:	hitra izdelava orodij (angl. rapid tooling)
TPU:	termoplastični poliuretan (angl. thermoplastic polyurethane)



# 1 UVOD

## 1.1 Predstavitev problema

Pri procesih izdelave prototipov lahko naletimo na različne težave. Med najbolj pogostimi, s katerimi se srečujemo v podjetjih, je izbira pravega postopka izdelave za določen prototip. Dandanes poznamo več različnih tehnik in postopkov hitre izdelave prototipov, ki je znana tudi kot izdelava trdnih prostih oblik. Z napredovanjem v tehnologiji in vsesplošni uporabi 3D tiskalnikov se cene tiskanja postopoma nižajo. V tej nalogi bomo primerjali različne tehnike in postopke hitrega prototipiranja. Napredki v tehnologiji tudi dovoljujejo, da se vedno več uporabljajo nove različne tehnologije, postopki in materiali. Hitro prototipiranje poznamo že vrsto let, saj so bile prve tehnike hitre izdelave na voljo že v 80. letih 20. stoletja. Namenjene so predvsem za avtomatizacijo izdelave fizičnih modelov, dandanes pa se vse pogosteje uporabljajo za izdelavo orodij in tudi raznoraznih kakovostnih izdelkov v manjšem številu. Prototip v pričetku nastane, da iz idejne zasnove napravimo 3D model, ki ga nato pretvorimo v format .STL, ki je primeren za 3D tiskalnik. Glede na to, kaj želimo doseči, je izbira prave tehnike in postopka ključna za doseg želenega rezultata. Ob tem moramo biti pozorni na parametre tiskalnika, ki vplivajo na končni izdelek.

## 1.2 Cilji naloge

V tem diplomskem delu si bomo izbrali testni 3D model. Izdelali ga bomo s pomočjo tehnologije 3D tiska in analizirali njegove karakteristike. Postojijo različne tehnike in postopki obstoječih sistemov hitre izdelave prototipov, ki jih lahko uporabljamo za pridobitev želenega prototipa.

## 1.3 Predpostavke in omejitve

Pri delu bomo predvsem omejeni na material, ki ga je tiskalnik zmožen tiskati. V tem primeru bomo uporabljali PETG za izdelavo prototipov. Vpliv na to imajo tudi različni parametri, ki jih potrebujemo za izdelavo prototipa.

## 1.4 Metode dela

Pri raziskovanju bomo uporabili opisno metodo, opisali bomo trenutno stanje in ga analizirali ter kasneje uporabili pri delu kot osnovo za izboljšavo končnega izdelka. Uporabili bomo tudi induktivno-deduktivno metodo, saj bomo vzeli pod drobnogled določene prototipe in sklepali, da je enako stanje pri ostalih prototipih. Naše opisne metode bomo podkrepili z analitično metodo in praktičnim delom pri določeni tehniki in postopku.

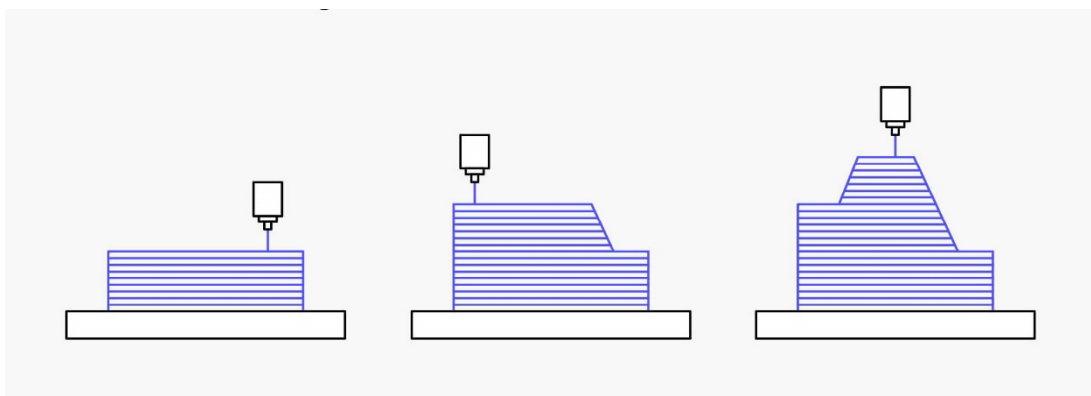
## 2 TEHNOLOGIJA 3D TISKANJA

### 2.1 Osnove 3d tiskanja

V nadaljevanju bomo predstavili nekaj tehnik in postopkov tiskanja, saj je možnosti veliko. Tehnološki proces 3D tiskanja je dodajanje materiala, ki deluje po principu nanašanja vsakega sloja posebej, da izdelamo končni tridimenzionalen produkt.

Tehnologijo 3D tiskanja lahko uporabimo za različne namene, kot je izdelava kakovostnih končnih izdelkov manjših serij. Veliko se uporablja za hitro izdelavo prototipov. Velika prednost te tehnologije je, da lahko izdelamo produkte kompleksnih geometrijskih oblik v enem tisku.

3D tiskanje je optimalna metoda za proizvodnjo prototipov in določenih končnih izdelkov, saj je pogosto tudi najbolj cenovno ugodna. Vsaka tehnika ima svoje prednosti in slabosti in ima lahko velik doprinos za ugodno pridobitev končnega zelenega rezultata (Muck & Križanovskij, 2015).



*Slika 1: Prikaz dodajanja slojev 3D tiskalnika*  
(Vir: Hubs, 2024)

### **Aditivna proizvodnja**

Aditivna proizvodnja je proces, po katerem ustvarimo fizični model iz računalniško ustvarjenega 3D modela. Poznamo različne tehnologije 3D tiskanja in materiale, s katerimi lahko tiskamo želeni trodimenzionalni izdelek. Ne predstavlja enotne tehnologije, vendar niz procesov, ki so si med seboj različni, vendar imajo skupne značilnosti:

- so procesi z dodajanjem materiala za izdelavo fizičnega trodimenzionalnega izdelka,
- izdelek, ki je narejen z dodajanjem zaporednih plasti materiala,

- izdelek je narejen iz digitalnega 3D modela.

Te procese imenujemo aditivni procesi, da jih lažje razlikujemo od ostalih bolj običajnih proizvodnih procesov v Sloveniji. So del niza procesov, ki jih lahko uporabljamo v industriji (Vir: Priročnik za 3D tiskanje, 2020).



*Slika 2: Procesi in tehnike proizvodnje*  
(Lastni vir)

## 2.2 Hitro prototipiranje

Pomembno je, da koncept hitrega prototipiranja razumemo in da ga ne zamenjamo s 3D tiskanjem ali aditivno proizvodnjo, saj se v veliko primerih uporabljata zamenljivo in napačno. Aditivna proizvodnja je ena od tehnologij, ki jih uporabljamo, da lahko hitro izdelujemo prototipe.

Je področje, ki uporablja več različnih tehnik za njegovo implementacijo. Spodaj je navedenih nekaj najpogostejših tehnik za hitro izdelavo prototipov:

- 3D skeniranje/obratni inženiring,
- aditivna proizvodnja,
- CNC obdelava,
- vakuumsko hitro litje,

- kalupi za prototipe,
- vlivanje v pesek,
- investicijsko litje.

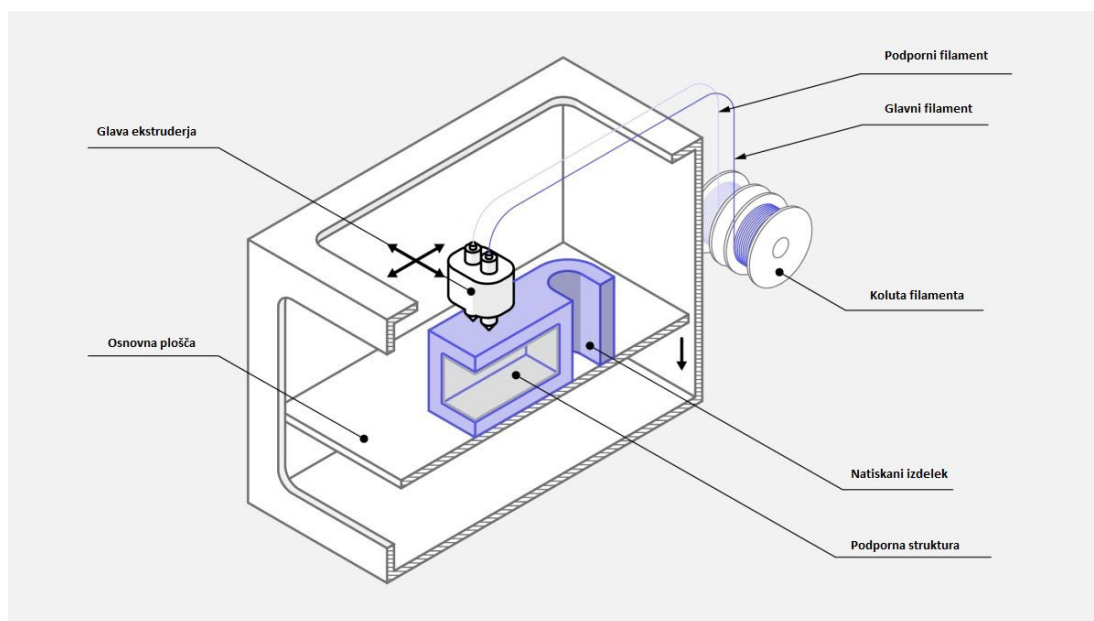
Namen koncepta hitre izdelave prototipov je testirati različne ideje, koncepte, oblikovne lastnosti, izdelke, zmogljivosti in funkcionalnosti (Vir: Priročnik za 3D tiskanje, 2020).

Pojem proste oblike je opredeljen kot proces izdelave, ki je neodvisen od kompleksnosti oblike želenega izdelka. To je glavna razlika glede na konvencionalne odzematelne (CNC) metode, kjer se čas izdelave in stroški dvigujejo glede na kompleksnost oblike izdelka. RP (angl. rapid prototyping) se je razvil ob pojavu prvih tehnologij 3D tiska, kjer takrat znani materiali v uporabi še niso bili tako dovršeni in niso imeli ustreznih lastnosti za izdelavo končnih izdelkov, temveč so bili namenjeni le ogledovanju in preverjanju, da je oblika bodočega končnega izdelka ugodna. S hitrim razvojem materialov in tudi tehnologij izraz prototip ni povsem ustrezen, saj lahko izdelujemo že končne izdelke. To imenujemo hitro izdelovanje (angl. rapid manufacturing, RM) oziroma neposredno digitalno izdelovanje (angl. direct digital manufacturing, DDM). Vmesna stopnja med prototipno in serijsko proizvodnjo je hitra izdelava orodij (angl. rapid tooling, RT) (Muck & Križanovskij, 2015).

### **2.3 Tehnologija fdm**

Tehnologija modeliranja s spajanjem slojev (angl. fused deposition modeling, FDM) je bila prva taka razvita tehnologija. Kot najbolj osnovni material za tiskanje izdelkov uporabljamo različne termoplastične materiale, zato pogosto uporabljamo izraz ekstrudiranje termoplastov. Tehnologijo so nato nadgrajevala, razvijala in prilagajala druga podjetja, ki so svoje modifikacije tehnologij ekstrudiranja različno poimenovala: MEM, FFF, PJP, FFM itd.

Zasnova principa je na uporabi termoplastov. Nanašanje termoplasta omogoča ekstrudirna glava in opiše površino enega sloja 3D izdelka, nato se delovna plošča za debelino tiskanja spusti v smeri Z in se ponovno natisne nov sloj izdelka. Ob tem se staljeni sloj termoplasta sprime s predhodno natisnjenim slojem, tako nastaja v smeri Z 3D izdelek in vsak novi sloj je podpora naslednjemu (Muck & Križanovskij, 2015).



*Slika 3: Shema klasičnega tiskalnika FDM*  
(Vir: Hubs, 2024)

Spajanje materiala torej poteka v treh korakih, in sicer v prvem pride do vzpostavitve površinskega kontakta, v drugem zaradi termične difuzije pride do povečanja površine stika med nanesenim materialom in obstoječim slojem, v tretjem koraku pa nastane notranja difuzija polimernih vezi (Muck & Križanovskij, 2015).

### **Zapolnitev natiskanega modela**

Pri tehnologiji FDM imamo to posebnost, da lahko izdelkom na predhodno določenih območjih nalagamo material z različno gostoto, kar nam omogoča optimizacijo med zahtevano trdnostjo izdelka in porabo materiala. Material lahko na teh območjih, kjer ni potreben, prihranimo in obenem s tem tudi skrajšamo čas, ki je potreben za izdelavo (Muck & Križanovskij, 2015).



*Slika 4: Primeri zapolnitve modela*  
(Vir: Hubs, 2024)

### **Podporne strukture**

Pri nekaterih izdelkih s previsi in šibkejšimi elementi ali deli potrebujemo tudi podporne strukture zaradi vzdrževanja oblike med tiskanjem. Ob tem je treba upoštevati, da se podporna struktura čim lažje odstrani ob zaključku tiskanja in da se izdelek ob odstranitvi ne poškoduje. Glede na to, da se model izdelava od dna proti vrhu, potrebujejo nekateri deli tudi podporne elemente za ohranjanje želene oblike med tiskanjem (Muck & Križanovskij, 2015).

### **Naknadna obdelava (FDM)**

Pri tiskanju izdelkov s tehnologijo FDM večinoma ni potrebna naknadna obdelava, saj je funkcionalnost izdelka dosežena takoj po koncu tiskanja in odstranitvi morebitnih podpornih struktur. Za doseganje višje estetske vrednosti oziroma doseganje specifičnega videza površine izdelka pa je treba ta izdelek ročno ali strojno naknadno obdelati (Muck & Križanovskij, 2015).

### **Materiali tiskanja FDM**

Pri tehnologiji ekstrudiranja termoplastov se lahko uporablja obsežno število raznovrstnih materialov, med drugimi tudi kompozitni. Najpogostejši med njimi je ABS (akrilo-nitril butadien stiren), ki se uporablja v industriji, pri kateri v kalupe brizgajo injekcijsko z namenom izdelave polizdelkov in izdelkov, kot so na primer plastične igrače. Zelo široko se uporablja tudi PLA (polimlečna kislina), kjer gre za polimer, narejen iz različnih agrokultur, kot sta sladkorni trs in koruzni škrob. Tako je bolj okolju prijazen kot ABS in prav tako varnejši za uporabo, saj niso prisotne strupene hlapne substance, ki se lahko sproščajo pri segrevanju termoplastov. Tukaj lahko omenimo še druge termoplastične materiale, kot sta npr. PC (polikarbonat) in PA (poliamid ali

najlon), za boljše razmerje med kakovostjo tiskanja in ceno (Vir: Muck & Križanovskij, 2015).

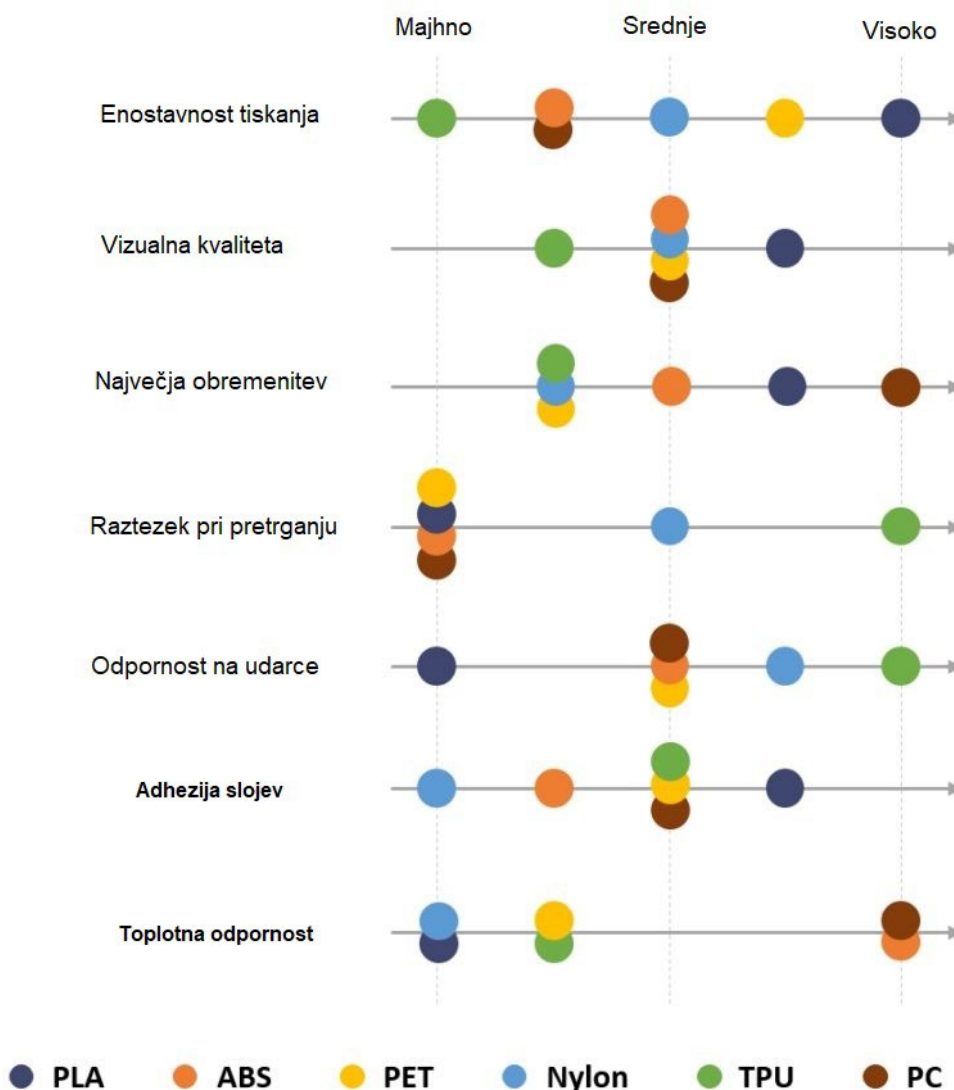
### Primerjava materialov

Uporabljamo več parametrov za primerjavo različnih materialov, kot so:

- Enostavnost tiskanja: to je, kako enostavno je tiskati v material z dejavniki, kot so oprijem na osnovno ploščo, največja hitrost tiskanja, pogostost okvarjenih delov, natančnost pretoka in enostavno podajanje v tiskalnik.
- Največja obremenitev: največja obremenitev, ki jo predmet lahko prenese, ko ga počasi vlečemo.
- Raztezek ob prelomu: razmerje med začetno dolžino in spremenjeno dolžino po zlomu predmeta. Imenuje se tudi deformacija zloma.
- Odpornost na udarce: energija, potrebna za zlom predmeta z nenadnim udarcem.
- Adhezija plasti (izotropija): to je, kako dobro se plasti materiala med seboj držijo. Povezan je z izotropijo (enotnostjo v vseh smereh). Boljši kot je oprijem plasti, bolj izotropen bo naš del.
- Toplotna odpornost: najvišja temperatura, ki jo lahko prenese predmet, preden se zmehta ali deformira (Vir: Hubs, 2024).



Slika 5: Grafični prikaz parametrov 1  
(Vir: Hubs, 2024)



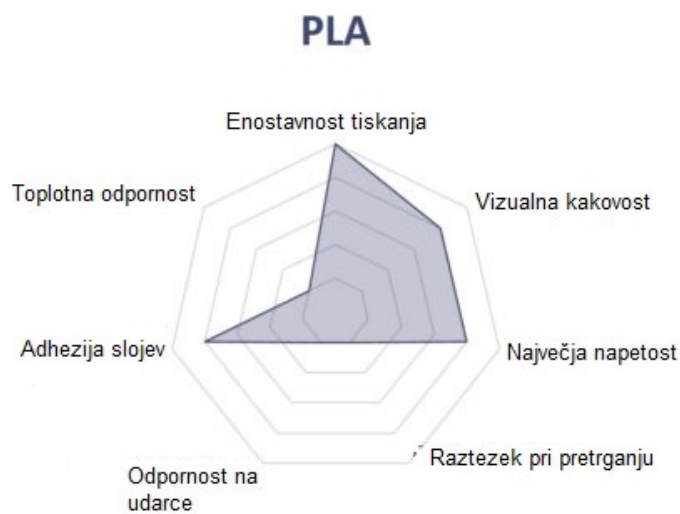
Slika 6: Grafični prikaz parametrov 2  
(Vir: Hubs, 2024)

### PLA – polilaktična kislina

PLA je enostavno tiskati. Ima nižjo temperaturo tiska kot ABS in se ne zvija tako zlahka, kar pomeni, da ogrevana osnovna plošča ni potrebna (čeprav vsekakor pomaga). Druga prednost uporabe PLA je, da med tiskanjem ne oddaja neprijetnega vonja (za razliko od ABS). Na splošno velja za filament brez vonja. Drugi privlačen vidik PLA je, da je na voljo v skoraj neskončnem številu barv in stilov.

PLA je do neke mere bolj okolju prijazna kot mnogi filamenti 3D tiskalnikov. Biološko se razgradi pod določenimi komercialno dosegljivimi pogoji (Vir: all3Dp, 2024).





Slika 7: Grafični prikaz PLA  
(Vir: Hubs, 2024)

## PET – polietilen tereftalat

Materialu PET dodajamo glikol. Kot material za 3D tiskanje je naravno čistejši, manj krhek in, kar je najpomembneje, lažji za tiskanje kot njegova osnovna oblika. Zaradi tega se PETG pogosto šteje za dobro sredino med ABS in PLA, dvema drugima pogosto uporabljenima vrstama filamentov za 3D tiskalnike – je bolj prilagodljiv in vzdržljiv kot PLA in lažji za tiskanje kot ABS.

Polietilen trimetilen tereftalat (PETT) je še ena različica PET. Ta filament za 3D tiskalnik je nekoliko bolj tog kot PETG in je priljubljen zaradi svoje prosojnosti.

Tri lastnosti pri uporabi PETG:

- PETG je higroskopičen, kar pomeni, da absorbira vlago iz zraka. To negativno vpliva na možnost tiskanja materiala, zato je treba poskrbeti, da se filament 3D tiskalnika shrani na hladnem in suhem mestu in da ga po potrebi pred uporabo posušimo.
- PETG je pri tiskanju lepljiv, zaradi česar je filament 3D tiskalnika slaba izbira za podporne strukture, vendar dober za oprijem plasti.
- Čeprav ni krhek, se PETG lažje opraska kot ABS.

PETG je dober vsestranski izdelek, vendar izstopa od mnogih drugih vrst filamentov za 3D tiskalnike zaradi svoje prožnosti, trdnosti in odpornosti na visoke temperature in udarce. Zaradi tega je idealen filament 3D tiskalnika za uporabo pri funkcionalnih

predmetih, ki bi lahko doživeli trajne ali nenadne obremenitve, kot so mehanski deli, deli tiskalnika in zaščitne komponente (Vir: all3Dp, 2024).



Slika 8: Grafični prikaz PET  
(Vir: Hubs, 2024)

### ABS – akrilonitril butadien stiren

Akrilonitril butadien stiren (ABS) je manj priljubljen kot PLA za vsakodnevno 3D tiskanje. Vendar pa je glede lastnosti materiala ABS dejansko zmerno boljši od PLA, kljub temu da ga je težje tiskati – nagnjen je k upogibanju brez vroče tiskalne podlage in lepila za podlago.

ABS, ki se pogosto uporablja pri brizganju, najdemo v mnogih industrijskih gospodinjstvih in potrošniških izdelkih, vključno z LEGO kockami in kolesarskimi čeladami.

Izdelki iz ABS se ponašajo z visoko vzdržljivostjo in sposobnostjo, da prenesejo visoke temperature, vendar bi morali biti navdušenci nad 3D tiskalniki pozorni na visoko temperaturo tiskanja filameta, nagnjenost k zvijanju med ohlajanjem in intenzivne, potencialno nevarne hlape. Tiskati je treba z ogrevano ploščo in dobro prezračenim prostorom (ali z ograjenim prostorom) (Vir: all3Dp, 2024).



*Slika 9: Grafični prikaz ABS*  
(Vir: Hubs, 2024)

## Najlon

Najlon, znan tudi kot poliamid (PA), je priljubljena družina sintetičnih polimerov, ki jih uporabljamo v številnih industrijskih aplikacijah in je glavni material pri 3D tiskanju s prašno fuzijo. Kot filament za 3D tiskanje se odlikuje tam, kjer so trdnost, fleksibilnost in vzdržljivost ključne zahteve.

Druga edinstvena značilnost tega filameta 3D tiskalnika je, da ga lahko barvamo pred ali po postopku tiskanja. Negativna stran tega je, da je najlon tako kot PETG higroskopičen, kar pomeni, da absorbira vlago, zato ga moramo shranjevati na hladnem in suhem mestu, da ostane filament v odličnem stanju, kar zagotavlja boljšo kakovost odtisov.

Z izkoriščanjem moči, prožnosti in vzdržljivosti najlona se ta vrsta filameta 3D tiskalnika lahko uporablja za ustvarjanje orodij, funkcionalnih prototipov ali mehanskih delov (kot so tečaji, zaponke ali zobniki) (Vir: all3Dp, 2024).



*Slika 10: Grafični prikaz najlona*  
(Vir: Hubs, 2024)

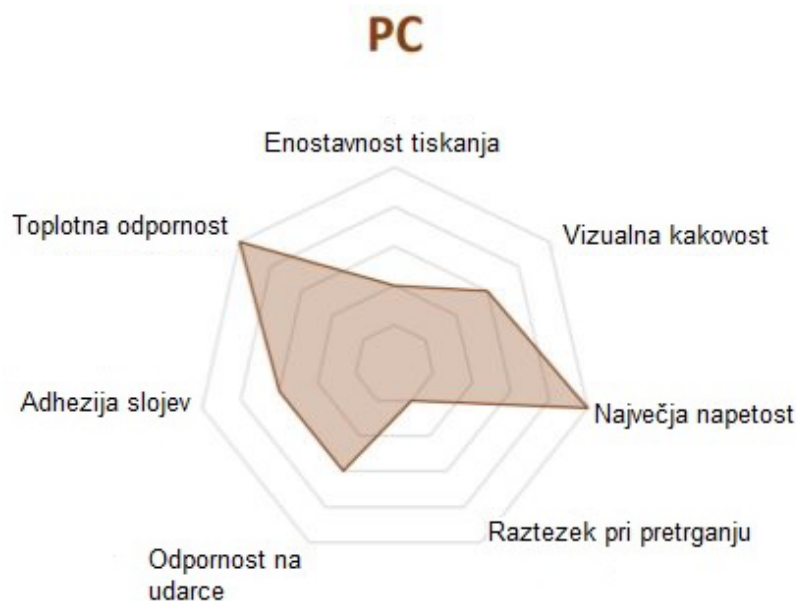
### **PC – polikarbonat**

Poleg tega, da je polikarbonat (PC) eden najmočnejših filamentov 3D tiskalnika na tem seznamu, je izjemno trpežen in odporen tako na fizične udarce kot na vročino, saj lahko prenese temperature do 110 °C. Prav tako je naravno prozoren, kar pojasnjuje njegovo uporabo v komercialnih predmetih, kot so neprebojno steklo, maske za potapljanje in elektronski zasloni.

Kljub temu, da je predstavljen v podobnih primerih uporabe, PC ne smemo zamenjati z akrilom ali pleksi steklom, ki se pod obremenitvijo rado razbije ali počí. Za razliko od teh dveh materialov je PC zmerno upogljiv (čeprav ne toliko kot na primer najlon), kar mu omogoča upogibanje, dokler se na koncu ne deformira.

Filament PC 3D tiskalnika je higroskopičen in absorbira vodo iz zraka, zato ga je treba shraniti na hladnem in suhem mestu, da zagotovimo boljše kakovost tiskanja.

Zaradi svojih fizikalnih lastnosti je PC idealen filament 3D tiskalnika za dele, ki morajo ohraniti svojo trdnost, žilavost in obliko v okoljih z visoko temperaturo, kot so električne, mehanske ali avtomobilske komponente. Njegovo optično jasnost lahko izkoristimo tudi za projekte razsvetljave, zaslone in druge aplikacije, ki zahtevajo preglednost (Vir: all3Dp, 2024).



*Slika 11: Grafični prikaz PC*  
(Vir: Hubs, 2024)

### TPU – termoplastični poliuretan

Kot pove že ime, so termoplastični elastomeri (TPE) v bistvu plastika z lastnostmi, podobnimi gumi, zaradi česar so izjemno prožni in trpežni. Kot tak se TPE običajno uporablja za proizvodnjo avtomobilskih delov, gospodinjstskih aparatov in medicinskega materiala.

V resnici je TPE širok razred kopolimerov (in mešanic polimerov), vendar se kljub temu uporablja za označevanje številnih komercialno dostopnih vrst filamentov 3D tiskalnikov. Ti filament, mehki in raztegljivi, lahko prenesejo fizično obremenitev, ki je ne prenese niti ABS niti PLA. Po drugi strani pa tiskanje ni vedno enostavno, saj je TPE težko iztisniti.

Termoplastični poliuretan (TPU) je posebna različica TPE in je priljubljen filament za 3D tiskalnike. V primerjavi z običajnim TPE je TPU nekoliko bolj tog, zaradi česar je tiskanje lažje. Je tudi nekoliko bolj vzdržljiv in lahko bolje ohrani svojo elastičnost v mrazu.

Termoplastični kopoliester (TPC) je še ena različica TPE, čeprav se ne uporablja tako pogosto kot TPU. Podobno kot pri TPE je glavna prednost TPC večja odpornost na kemikalije in izpostavljenost UV-žarkom ter toploto (do 150 °C).

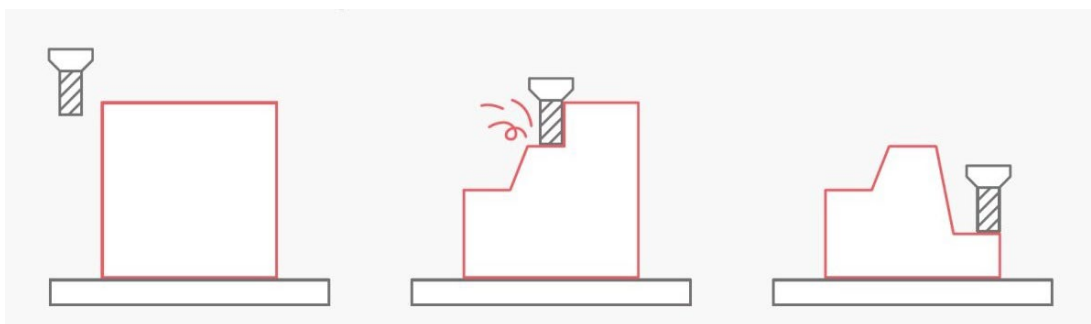
Uporaba TPE ali TPU je za ustvarjanje predmetov, ki morajo prenesti veliko obrabe. Če se naš 3D natisnjen del upogne, raztegne ali stisne, bi ti filamenti 3D tiskalnika morali biti kos tej nalogi. Primeri natisov lahko vključujejo igrače, etuije za telefone ali nosljive predmete (kot so zapestnice). TPC se lahko uporablja za podobne namene, vendar se še posebej dobro obnese v težjih okoljih, na primer na prostem ali kjer koli, kjer bo izpostavljen visoki vročini, na primer v avtomobilu (Vir: all3Dp, 2024).



Slika 12: Grafični prikaz TPU  
(Vir: Hubs, 2024)

## 2.4 Obdelava cnc

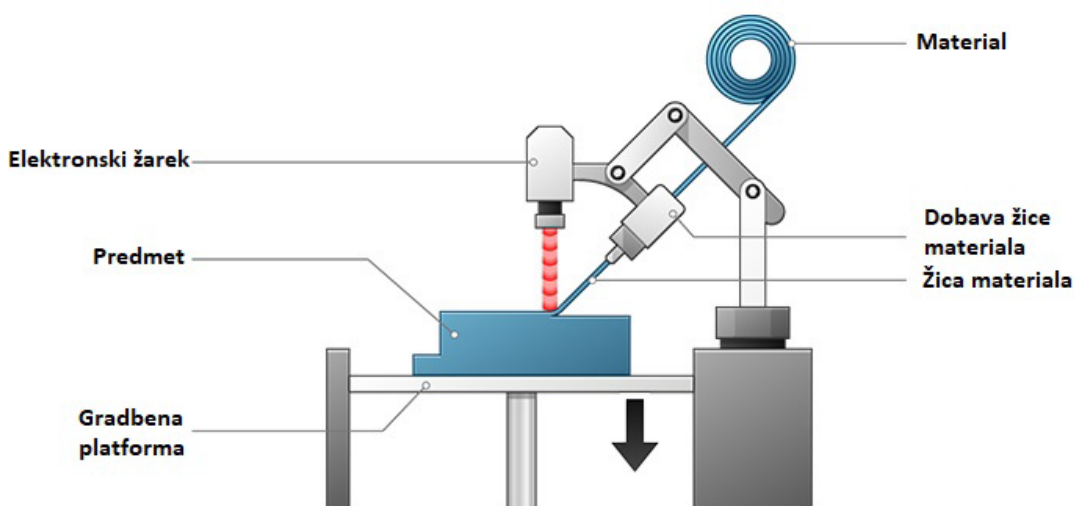
CNC (angl. computer numerical control) je odzematna ali subtraktivna tehnologija, pri kateri je prisotno računalniško krmiljenje obdelovalnih strojev za raznorazne geometrijske oblike osnovnega materiala. Krmiljeni stroji omogočajo različne postopke odzemanja materiala, kot so brušenje, struženje, vrtanje ipd., da pridobimo končni izdelek. Na podoben način lahko pridemo do končnega izdelka s preoblikovalnimi orodji, ki omogočajo preoblikovanje osnovnega materiala, kot na primer zvijanje, kovanje, ali pa tudi z uporabo kalupov (Vir: Muck & Križanovskij, 2015).



Slika 13: Osnovna shema procesa CNC subtraktivne obdelave  
(Vir: Hubs, 2024)

## 2.5 Lasersko navarjanje

Lasersko navarjanje prav tako štejemo med dodajalne postopke tiskanja kovinskih materialov, s katerim dobimo končni izdelek. Uporablja se lahko za nadgradnjo obstoječih izdelkov iz kovine za izboljšavo njihovih funkcionalnih in materialnih lastnosti, popravilo in tudi tisk oziroma gradnjo novih izdelkov. Posebnost tovrstne tehnologije je tako imenovana hibridna izdelava končnega izdelka, kar pomeni, da enostavnejše kose izdelka izdelamo s konvencionalnimi postopki izdelave in obdelave, bolj kompleksne oblike pa z laserskim navarjanjem (Vir: Muck & Križanovskij, 2015).



Slika 14: Primer laserskega navarjanja  
(Vir: 3Dnatives, 2024)

### **3 PRAKTIČNI DEL**

V praktičnem delu bomo izdelali svoj prototip in ga analizirali. Želimo videti, kako se bo material v tiskalniku izkazal pod določenimi parametri za tiskanje. Kot vemo, imajo nekateri parametri večji, nekateri manjši vpliv na končni izdelani prototip in z manipulacijo teh parametrov lahko naš prototip optimiramo.

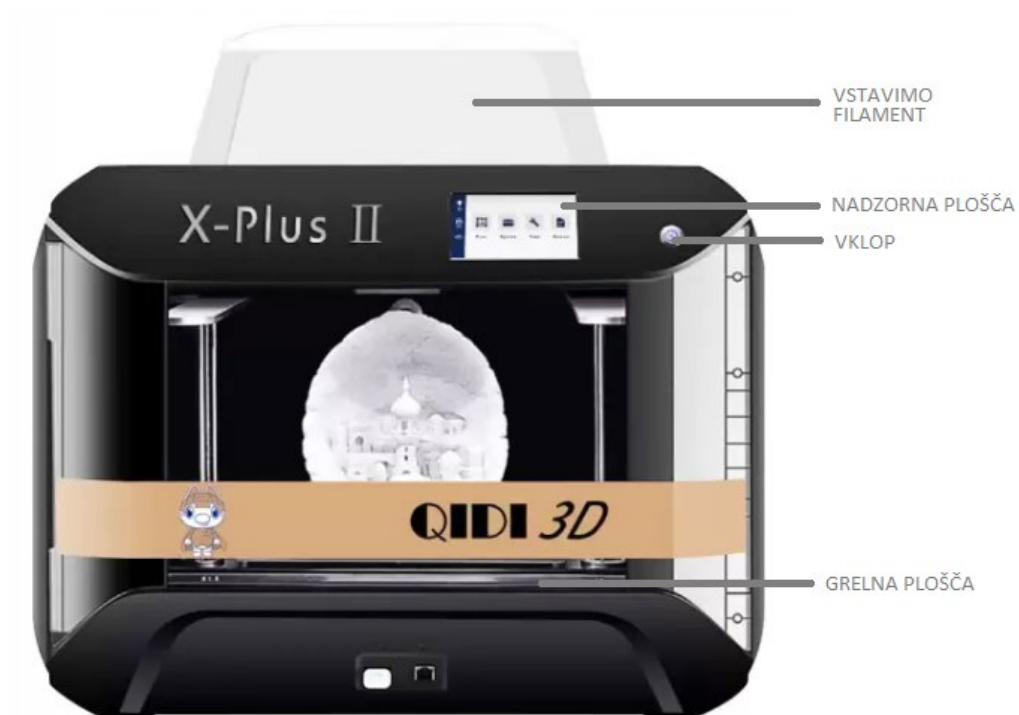
#### **3.1 Izbira prototipa za tiskanje in programska oprema**

Model za tiskanje lahko izdelamo sami s pomočjo namenske programske opreme ali pa izberemo model, ki je že na voljo in ga lahko najdemo na spletu. Prosto dostopne modele lahko najdemo na spletu in se lahko uporabljajo za različne namene, kot na primer za testiranje zmogljivosti tiskanja. Namenska programska oprema so različni programi, ki so lahko prosto dostopni (proengineer ali fusion360) ali pa profesionalni in plačljivi (programska oprema CAD (angl. computer aided design), kot so na primer Solidworks, Siemens UGS NX, CATIA in še marsikateri drugi). Cilj programske opreme je, da se ustvari računalniški 3D model in da se ga pretvori v format .STL, ki je razumljiv za tiskalnik. Uporabili bomo standardni, javno dostopni 3D model, ki ga bomo izdelali za namen preverjanja kakovosti tiskanja izdelka v okviru določenih parametrov.

#### **3.2 Uporabljena strojna oprema**

Izbiro modela in ustreznega programa za komunikacijo s tiskalnikom bomo izvedli na osebem računalniku, tiskanje bo potekalo na široko dostopnem 3D tiskalniku Qidi Tech X-Plus II 3D, ki temelji na tehnologiji FDM. Omogoča veliko dodatnih funkcij, kot so tiho tiskanje, prečiščevanje zraka, brezžična spletna povezava in še več. Za tiskanje uporabljamo filament premera 1,75 mm. Volumen za največji možni tisk modela je 270 x 200 x 200 mm. Tiskalnik uporablja kartezični koordinatni sistem, glava uporablja osi X in Y. Premer šobe je 0,4 mm.

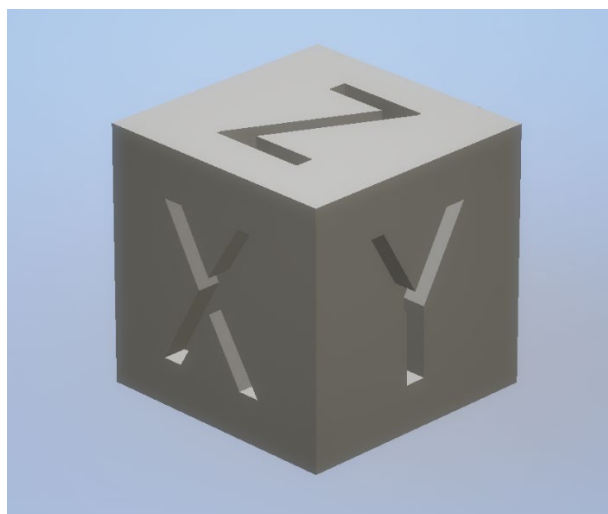




*Slika 15: Slika tiskalnika FDM  
(Lastni vir)*

### **3.3 Izdelava prototipa votle kocke**

Izdelali bomo prosto dostopen model na voljo na spletu za namen testiranja 3D tiskalnika z različnimi parametri. Analizirali bomo karakteristike končnega produkta. Velikost želenega in 3D modeliranega računalniškega modela je 20 x 20 x 20 mm. Preverili bomo tudi odstopanje.



*Slika 16: Slika 3D računalniškega modela  
(Lastni vir)*

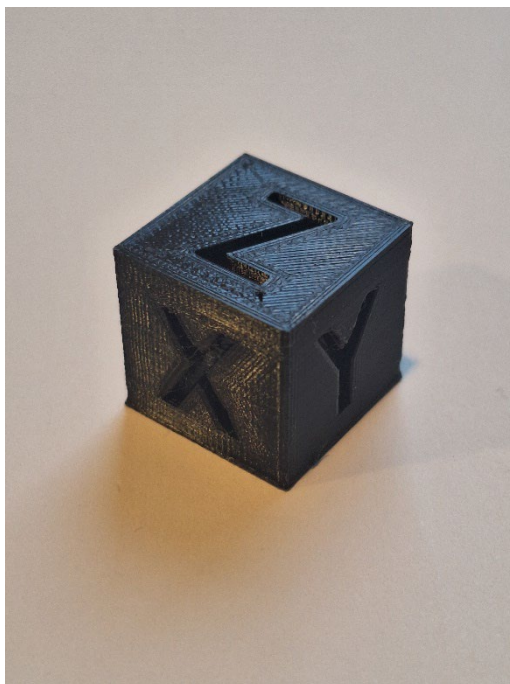
### **Prototip št. 1**

Prvi prototip bomo izdelali s priporočenimi parametri in ga primerjali z računalniškim modelom. Analizirali bomo karakteristike tiskanine.

Priporočeni parametri, ki jih bomo uporabili kot referenco:

Material	PETG
Hitrost tiskanja	100 [mm/s]
Temperatura tiskanja	240 [°C]
Temperatura osnovne plošče	70 [°C]
Zapolnjenost tiskanine	30 %
Višina sloja	0,08 [mm]

*Tabela 1: Referenčni parametri  
(Lastni vir)*

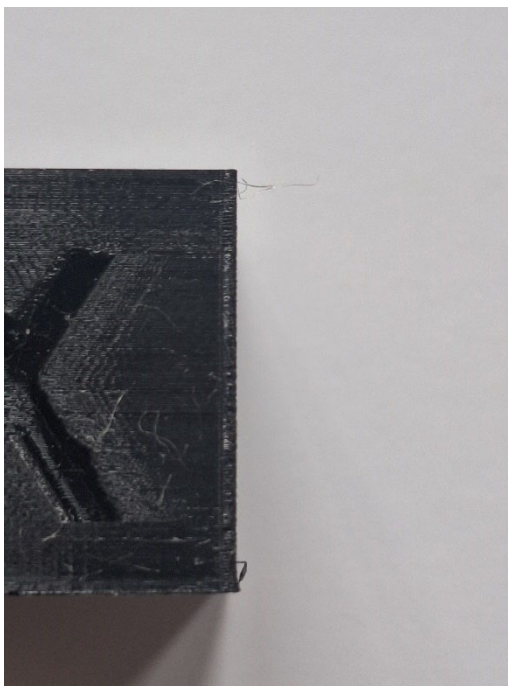


*Slika 17: Slika natiskanega prototipa št. 1  
(Lastni vir)*

Meritve prototipa 1

Meritve v [mm]	x	y	z
1.	19,92	20,01	19,47
2.	20,28	20,35	19,51
3.	19,91	20,25	19,49
Povprečje	20,03	20,21	19,49

*Tabela 2: Meritve prototipa št. 1  
(Lastni vir)*



*Slika 18: Prikaz robov prototipa 1  
(Lastni vir)*



*Slika 19: Prikaz vrhnjega sloja 1  
(Lastni vir)*

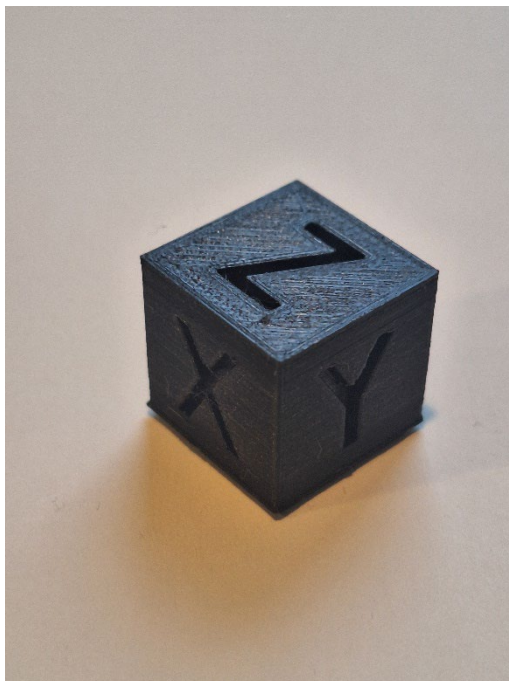
## Prototip št. 2

Izdelali smo prototip št. 2 s spremenjenimi parametri, ki odstopajo od priporočenih. Spremenili smo temperaturo tiskanja.

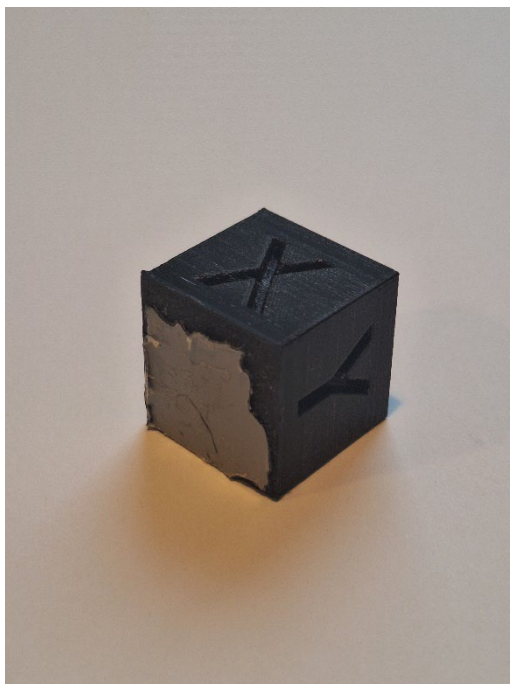
Parametri prototipa št. 2

Material	PETG
Hitrost tiskanja	100 [mm/s]
Temperatura tiskanja	270 [°C]
Temperatura osnovne plošče	70 [°C]
Zapolnjenost tiskanine	30 %
Višina sloja	0,08 [mm]

*Tabela 3: Spremenjeni parametri 1  
(Lastni vir)*

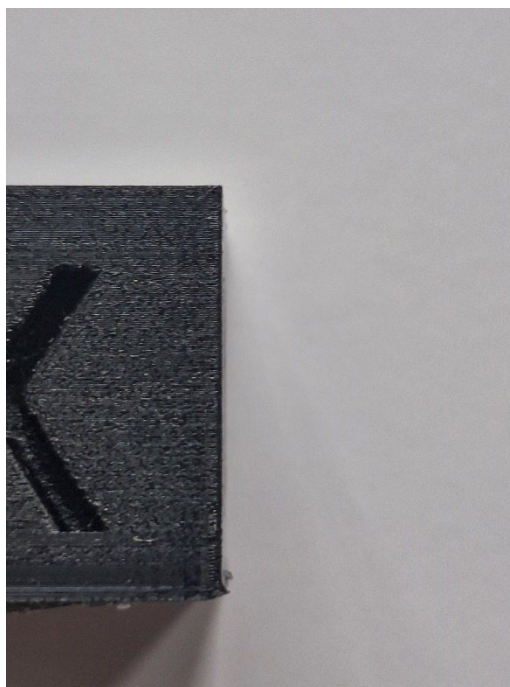


*Slika 20: Slika natiskanega prototipa št. 2  
(Lastni vir)*



*Slika 21: Slika defekta na prototipu št. 2  
(Lastni vir)*

Meritev za prototip št. 2 nismo opravili, saj smo dobili vidno defekten končni izdelek.



*Slika 22: Prikaz robov prototipa 2  
(Lastni vir)*



*Slika 23: Prikaz vrhnjega sloja 2  
(Lastni vir)*



*Slika 24: Slika defektne osnovne plošče  
(Lastni vir)*



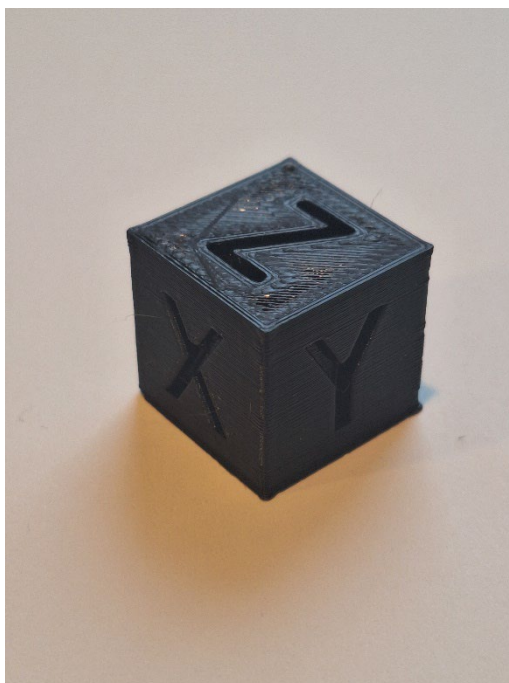
Osnovno ploščo smo zamenjali po defektnem printu.

### Prototip št. 3

Izdelali smo prototip št. 3 s spremenjenimi parametri, ki odstopajo od priporočenih. Spremenili smo hitrost tiskanja in velikost natiskanega sloja.

Material	PETG
Hitrost tiskanja	60 [mm/s]
Temperatura tiskanja	240 [°C]
Temperatura osnovne plošče	70 [°C]
Zapolnjenost tiskanine	30 %
Višina sloja	0,2 [mm]

*Tabela 4: Spremenjeni parametri 2  
(Lastni vir)*



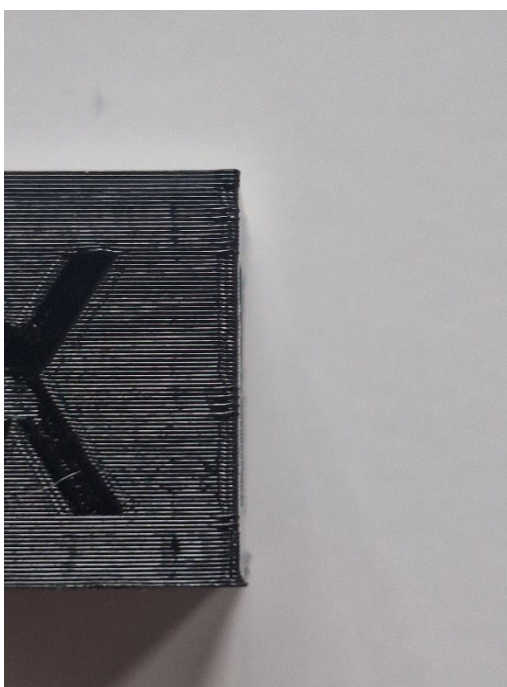
*Slika 25: Slika natiskanega prototipa št. 3  
(Lastni vir)*



### Meritve prototipa 3

Meritve v [mm]	x	y	z
1.	20,11	20,18	19,59
2.	20,62	20,07	19,55
3.	20,09	20,09	19,61
Povprečje	20,27	20,11	19,58

*Tabela 5: Meritve prototipa 3  
(Lastni vir)*



*Slika 26: Prikaz robov prototipa 3  
(Lastni vir)*



*Slika 27: Prikaz vrhnjega sloja 3  
(Lastni vir)*

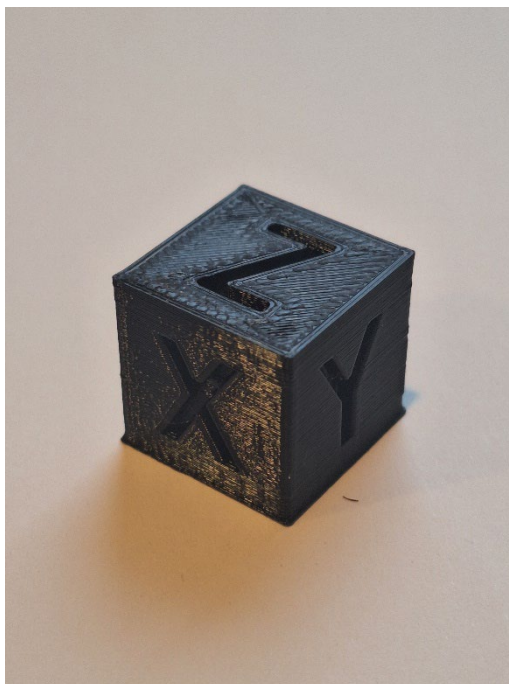
#### **Prototip št. 4**

Izdelali smo prototip št. 4 s spremenjenimi parametri, ki odstopajo od priporočenih. Spremenili smo hitrost tiskanja in velikost natiskanega sloja.

Parametri prototipa št. 4

Material	PTEG
Hitrost tiskanja	150 [mm/s]
Temperatura tiskanja	240 [°C]
Temperatura osnovne plošče	70 [°C]
Zapolnjenost tiskanine	30 %
Višina sloja	0,2 [mm]

*Tabela 6: Spremenjeni parametri 3  
(Lastni vir)*

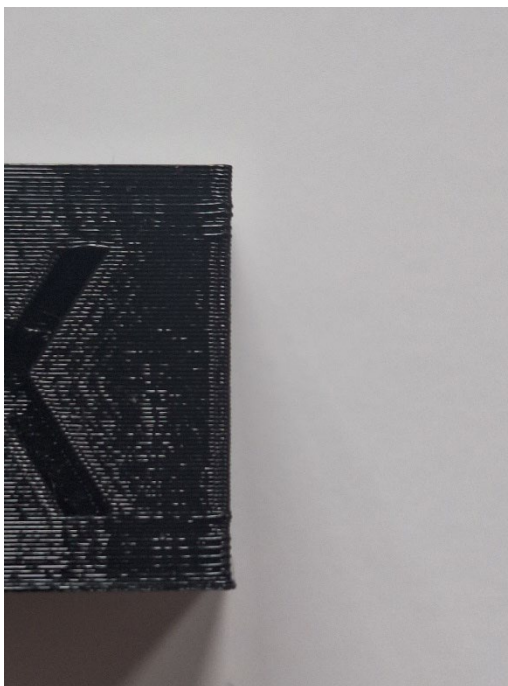


*Slika 28: Slika natiskanega prototipa št. 4  
(Lastni vir)*

Meritve prototipa 4

Meritve v [mm]	x	y	z
1.	20,11	20,16	19,61
2.	20,41	20,08	19,55
3.	19,95	20,53	19,57
Povprečje	20,16	20,26	19,58

*Tabela 7: Meritve prototipa 4  
(Lastni vir)*



*Slika 29: Prikaz robov prototipa 4  
(Lastni vir)*

Slika polovice stranice naše prototipne kocke za boljši prikaz končnega izgleda.



*Slika 30: Prikaz vrhnjega sloja 4  
(Lastni vir)*

Po štirih prototipih smo imeli majhen vzorec za analizo končnih izdelkov. Analizirali bomo obliko, kakšne so tolerance in izgled samih prototipov.

## 4 ZAKLJUČEK

Prototipe smo izdelali s 3D tiskalnikom, prosto dostopen 3D računalniški model smo pridobili na spletu in se v osnovi uporablja kot kalibracijski model za tiskalnik. Pričeli smo s tiskanjem pri osnovnih parametrih, ki jih je podal proizvajalec, nato smo jih tudi spremenili in analizirali, kako se prototip spremeni s spremembo vplivnih parametrov. Pričakovali smo relativno estetsko ugoden izdelek, kjer vzamemo v zakup vidne sloje tiskanine in nekaj dimenzijskega odstopanja v primerjavi z računalniškim modelom.

Ključni parametri za tiskanje PETG so hitrost tiskanja, višina sloja, temperatura tiskanja in hitrost hlajenja izdelka oziroma temperatura grelne plošče.

Kot je razvidno že iz imena, je aditivna tehnologija dodajalna, subtraktivna pa odzemna tehnologija. Medtem ko so naprave CNC v vesplošni uporabi, nastane več odpadnega materiala v primerjavi z aditivno tehnologijo. Osredotočili smo se na tehnologijo 3D tiskanja in izkaže se, da so bili rezultati po pričakovanjih glede na spreminjanje vplivnih parametrov z izjemo prototipa 2, kjer smo dobili defektno tiskanino.

### Prototip 1

Za najboljšega se je izkazalo, da je bil narejen s priporočenimi nastavitvami, kar je bilo tudi v skladu z našimi pričakovanji. Oblika je zadovoljiva, vidni so manjši sloji in pa tudi tako imenovani »laski«, ki nastanejo kot ostanek pri tiskanju sloja.

### Prototip 2

Pri tem prototipu smo spremenili temperaturo tiskanja. Čeprav smo dobili defekten izdelek zaradi povišane temperature, je treba poudariti, da bi bil ta prototip sicer estetsko najbolj primeren v primerjavi z drugimi. Po veliki verjetnosti bi bilo treba zamenjati osnovno ploščo in poizkusiti ponovno, saj je treba tudi plošče sčasoma menjavati in bi se lahko izkazalo, da je bila napaka na plošči in ne v načinu tiskanja.

### Prototip 3

Pri tem prototipu smo spremenili hitrost tiskanja in višino natiskanih slojev. Izkaže se, da je končni izdelek kljub temu primeren, vendar je opazna vizualna razlika v primerjavi s prejšnjima fino tiskanima izdelkoma, saj so večji sloji vidni. Odstopanja dimenzij so tudi drugačna v primerjavi s prejšnjima.

## Prototip 4

Pri tem prototipu smo spremenili hitrost tiskanja in višino natiskanega sloja napram priporočenemu printu. Izkaže se, da je bil natiskan z očitno razliko v primerjavi z ostalimi, kar je bilo tudi v skladu z našimi pričakovanji.

Vredno je tudi omeniti, da smo pri vseh tiskaninah uporabili enako zapolnjenost natiskanega izdelka. Ker tiskalnik v našem primeru tiska izdelek kot votli, ta zapolnjenost nima velikega praktičnega pomena in se lahko spreminja po želji. Bistveni za tiskanje so zadnji štirje zapolnjeni sloji, ki sestavljajo stranice izdelka, ki tako skupno znaša približno 0,24 mm pri prvih dveh tiskaninah in 0,8 mm pri drugih dveh tiskaninah. Če bi želeli prototipe estetsko izboljšati, bi jih bilo treba naknadno obdelati. Za občutek smo opravili tudi dimenzijske meritve in razvidno je, da imamo kar nekaj odstopanja, ki ga v največji meri dobimo zaradi natisnjene osnovne stranice prototipa in višine slojev. To je sicer znotraj mej zadovoljivega za namen, ki smo ga imeli, vendar take tiskanine niso primerne za aplikacije, ki potrebujejo visoko stopnjo natančnosti končnega izdelka. V takem primeru bi bila potrebna tudi naknadna obdelava.

Pri vseh štirih prototipih je tudi opažena vidna razlika med zgornjimi robovi na koncu tiskanine in spodnjimi robovi, natiskanimi ob pričetku tiskanja na osnovni plošči, gledano v smeri Z. Odstopanje je opaženo v smereh X in Y navzven tiskanine. Iz slik opazamo tudi vidno razliko med stranico Z, ki je vrhnja, in ostalimi. Razlika nastane zaradi razlike v načinu tiskanja vrhnje stranice in stranskih sten izdelka.

Namen naloge je bil izdelati 3D model in ga analizirati. Ocenjujemo, da je na dano nalogo 3D tisk najbolj priročna tehnologija.

Hitro prototipiranje in tehnologija 3D tiskanja se neprestano razvija in napreduje, zato lahko v prihodnje pričakujemo napredke v kakovosti in učinkovitosti.

Za boljšo predstavbo ostalih tehnologij bi bilo treba izdelati prototip tudi z njimi in izdelek podobno analizirati glede na dane priporočene pogoje in parametre.

## 5 LITERATURA IN VIRI

Muck, T. in Križanovskij, I. (2015). *3D-Tisk*. Ljubljana: Pasadena.

Hubs. (2024). *3D Printing Materials Compared*. Pridobljeno 29. 9. 2024 z naslova <https://www.hubs.com/knowledge-base/fdm-3d-printing-materials-compared/>

Hubs. (2024). *What are the types of 3D printers and what can they do?*. Pridobljeno 5. 10. 2024 z naslova <https://www.hubs.com/knowledge-base/types-of-3d-printing/>

Hubs. (2024). *What is FDM printing?*. Pridobljeno 5. 10. 2024 z naslova <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-fdm-3d-printing/>

Tehnični priročnik za 3D tiskanje. (2024). Pridobljeno 29. 9. 2024 z naslova <https://www.e3dplusvet.eu/wp-content/docs/O1A1-SL.pdf>

TRUMPF. (2024). *Laser metal deposition*. Pridobljeno 5. 10. 2024 z naslova [https://www.trumpf.com/en\\_INT/solutions/applications/additive-manufacturing/laser-metal-deposition/](https://www.trumpf.com/en_INT/solutions/applications/additive-manufacturing/laser-metal-deposition/)

Hubs. (2024). *3D printing materials compared*. Pridobljeno 19. 12. 2024 z naslova <https://www.hubs.com/knowledge-base/fdm-3d-printing-materials-compared/>

All3DP. (2024). *3D printer filament types*. Pridobljeno 20. 12. 2024 z naslova <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>