VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

IZDELAVA 3D-TISKALNIKA

Kandidat: Lucijan Katan

Vrsta študija: študentka izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor predavatelj: dr. Darko Friščić

Mentor v podjetju: Darko Dajčman, dipl. inž.

Lektorica: Lucija Hrženjak, prof. slov. in biol.

Maribor, 2021

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Lucijan Katan sem avtor diplomskega dela z naslovom Izdelava 3D tiskalnika, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Darka Friščića.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli kot moje lastne – kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32. a-členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, julij 2021 Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se gospodu Darku Friščiću in Darku Dajčmanu za vodstvo, pomoč in vso podporo pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Luciji Hrženjak za lektoriranje.

POVZETEK

V diplomskem delu je obravnavana izdelava 3D-tiskalnika glede na razmerje med ceno in kakovostjo. Opisani so proces izdelave in deli, ki so bili uporabljeni, poleg tega je podana razlaga, kako sem uporabil posamezne komponente pri sestavi tiskalnika. Namen dela je pokazati, da lahko naredimo 3D-tiskalnik sami. Tak je tudi cenovno ugodnejši in ima prav tako več možnosti za nadgradnjo.

Začetek 3D-tiskanja je vplival na vse vidike industrije kot tudi na celotno sodobno družbo. 3D-tisk je proces tiskanja materialov, iz katerih nastane fizičen, oprijemljiv predmet, ki mu lahko izmerimo prostornino, torej je tridimenzionalen. Tiska se lahko z raznolikimi materiali, saj uporabljamo od plastike do kovin. Tehnologija postaja vse bolj uveljavljena, saj pri izdelavi izdelka ni odpadnega materiala in je prijaznejša okolju v primerjavi s tradicionalnimi metodami izdelave, kot je npr. struženje. Odkriva se tudi vedno več možnosti uporabe v veliko panogah, kot so medicina, prehrambna industrija, letalska industrija ipd. V diplomskem delu sem se osredotočil na pogosta vprašanja, kot so: »ali je mogoče izdelati 3D-tiskalnik cenovno ugodno in ali je mogoče natisniti izboljšave in jih uporabiti na 3D-tiskalniku?«. V delu pričnemo s predstavitvijo 3D-tiskanja; poudarek je na 3D-tiskanju in namenu 3D tiskanih stvari. Sledi zgodovina razvoja 3D-tiskalnikov. Ta bo v pomoč pri opredelitvi področja in pri izboljšavah, ki so bile že izvedene oziroma uporabljene na 3D-tiskalnikih skozi čas. Predstavljena je tudi zgodovina tehnologije 3D-tiska. Nato so predstavljeni 3D-tiskalniki na splošno: opisane so vrste 3D-tiskalnikov, razlike v izdelavi, razlike v namenu uporabe, materiali oziroma filamenti, s katerimi lahko tiskamo, nazadnje pa so predstavljene še slabosti in prednosti 3D-tiskanja. Ob tem so opisana področja in prihodnost 3D-tiskanja v različnih panogah. Na osnovi vseh zbranih informacij in tehnične zasnove se lahko nato lotim izdelave 3D-tiskalnika. Pri tem bodo opisane komponente, ki sem jih vključil v 3D-tiskalnik, podana bo razlaga, zakaj sem jih kupil, in navedena bo njihova tehnična specifikacija. Postopek izdelave bo napisan po korakih, ki sem si jih zadal za lažjo in bolj učinkovito sestavo 3D-tiskalnika. Po izdelavi tiskalnika bom predstavil še tiskanje izdelka in možnosti izboljšav za nastali tiskalnik.

Rezultat dela je kakovostno izdelan 3D-tiskalnik, katerega izdelava je hkrati cenovno ugodna. S tem tiskalnikom lahko tiskamo doma z različnimi filamenti in ga lahko tudi nadgrajujemo.

Ključne besede: 3D-tiskalnik, tiskanje, razlike, izdelava, nadgradnje, komponente

ABSTRACT

The diploma paper describes the making of a 3D printer in terms of price-quality ratio. I will describe the building process itself and a description of the parts that were used. The purpose of this paper is to prove that we can make a 3D printer ourselves, which is more affordable and also has more options for upgrades in the future.

Initially the field of 3D printing is presented with a description of the topic and the many purposes of 3D printed things. This is followed by the history of 3D printers, which will help us defining the topic and will also help us with improvements and selection while building the 3D printer. The mention of many 3D printing processes over the time will also be mentioned. Then I will describe the 3D printing and printers topic in general, where several printing methods are described and mentioned, differences in production, differences in purpose of use, differences in materials and filaments with which we can print and the disadvantages and advantages of 3D printing. I will also mention and describe the areas where 3D printing is used and the various industries. Based on all the information gathered and all the technical concepts, I will start with start with the construction of the 3D printer, where I will describe the components that I included in the 3D printer, an explanation of why I bought them and their technical specification. The production itself will be written in steps with all the parts mentioned which were needed for that step.

After the production is finished, I will mention some of the challenges I faced while building and setting it up for the first time. Afterwards the possibilities and possible improvements are going to be mentioned and an example of a 3D print.

The result of the diploma paper is a quality made and affordable 3D printer, with which we can print at home with various filaments and the 3D printer can be upgraded with parts we either print or buy and switch when needed.

Keywords: 3D Printer, Printing, Differences, Production, Improvements, Components

KAZALO VSEBINE

1 UVOD 1

1.1 Opis področja in opredelitev problema 2
1.2 Namen, cilji in osnovne trditve 2
1.3 Predpostavke in omejitve 3
1.4 Uporabljene raziskovalne metode 3

2 RAZVOJ 3D-TISKANJA IN 3D-TISKALNIKOV 4

2.1 Začetki 3D-tiska 4
2.2 Selektivno lasersko sintranje 5
2.3 Model ciljnega nalaganja 5

3 SPLOŠNO O 3D-TISKALNIKU 6

3.1 Kaj je 3D-tiskanje? 6
3.2 Vrste tiskalnikov 6
3.3 Tehnologije 3D-tiskanja 7
3.3.1 Model ciljnega nalaganja 7
3.3.2 Selektivno lasersko sintranje 8
3.3.3 Stereolitografija 9
3.3.4 Maskirana sterolitografija 10
3.3.5 Digitalna svetlobna obdelava 11
3.3.6 Neposredno lasersko sintranje kovin 12
3.3.7 Fotopolimerno brizganje 13
3.3.8 Taljenje z elektronskim snopom 14
3.3.9 Elektronsko brizganje veziva 15
3.3.10 Brizganje materiala 16
3.4 Prednosti in slabosti 3D-tiskanja 17
3.4.1 Prednosti 17
3.4.2 Slabosti 19
3.5 Filamenti 20
3.5.1 Biopolimer polilaktična kislina 20
3.5.2 Akrilonitril butadien stiren 20
3.5.3 Polietilen tereftalat 20
3.5.4 Termoplastični elastomeri 21
3.5.5 Najlon 21
3.5.6 Resin 21
3.6 3D-modeliranje 22

3.6.1 Osnove 3D-modeliranja ... 22
3.6.2 Vrste 3D-modeliranja ... 22
3.6.3 Programska oprema ... 24
3.6.4 Vrste datotek ... 25
3.7 Uporaba 3D-tiskanja v vsakdanjih panogah ... 27
3.7.1 Prehrambna industrija ... 27
3.7.2 Glasbena industrija ... 27
3.7.3 Modna industrija ... 27
3.7.4 Gradbena industrija ... 28
3.7.5 Medicina ... 28
4 IZDELAVA 3D-TISKALNIKA ... 29
4.1 Sestavni deli za 3D-tiskalnik ... 29
4.2 Sestava 3D-tiskalnika ... 30
4.2.1 Sestava ohišja ... 30
4.2.2 Sestavljanje osi y ... 31
4.2.3 Sestavljanje osnovne plošče oziroma postelje ... 32
4.2.4 Sestavljanje osi x in z ... 34
4.2.5 Vezanje napajanja in matične plošče ... 37
4.2.6 Zaključek sestave in težave ... 39
5 TISKANJE IZBOLJŠAV IN IZBOLJŠEVANJE 3D-TISKALNIKA ... 41
5.1 Nadgradnje tiskalnika ... 41
5.1.1 Zmogljivost ... 41
5.1.2 Lažja uporaba in priprava ... 42
5.1.3 Videz tiskalnika ... 42
5.1.4 Strojna oprema ... 43
5.2 Nakupi izboljšav ... 43
6 TISKANJE IZDELKA ... 45
6.1 Priprava pred tiskanjem ... 46
6.2 Tiskanje ... 47
6.3 Končni izdelek ... 49
7 SKLEP ... 50
8 VIRI IN LITERATURA ... 52

KAZALO SLIK

SLIKA 1: PRIMER DELOVANJA FDM-TISKALNIKA IN OSNOVNIH SESTAVNIH DELOV 8
SLIKA 2: PRIMER DELOVANJA SLS-TISKALNIKA IN OSNOVNI SESTAVNI DELI 9
SLIKA 3: PRIMER DELOVANJA SLA-TISKALNIKA IN OSNOVNI SESTAVNI DELI 10
SLIKA 4: PRIMER DELOVANJA MSLA-TISKALNIKA IN OSNOVNI SESTAVNI DELI 11
SLIKA 5: PRIMER DELOVANJA DLP-TISKALNIKA IN OSNOVNI SESTAVNI DELI 12
SLIKA 6: PRIMER DELOVANJA DMS- TISKALNIKA IN OSNOVNI SESTAVNI DELI 13
SLIKA 7: PRIMER DELOVANJA POLYJET TISKALNIKA IN OSNOVNI SESTAVNI DELI 14
SLIKA 8: PRIMER DELOVANJA EBM-TISKALNIKA IN OSNOVNI SESTAVNI DELI 15
SLIKA 9: PRIMER DELOVANJA BJ-TISKALNIKA IN OSNOVNI SESTAVNI DELI 16
SLIKA 10: PRIMER DELOVANJA MJ-TISKALNIKA IN OSNOVNI SESTAVNI DELI 17
SLIKA 11: ALUMINIJASTI PROFIL, UPORABLJEN PRI IZDELAVI 3D-TISKALNIKA 30
SLIKA 12: OHIŠJE 3D-TISKALNIKA 31
SLIKA 13: SESTAVA OSI Y 32
SLIKA 14: POSTELJA 3D-TISKALNIKA NA OSI Y 33
SLIKA 15: POSTELJA 3D-TISKALNIKA S KALJENIM STEKLOM 34
SLIKA 16: GRELNA GLAVA NA OSI X 36
SLIKA 17: OS Z, KJER STA PRITRJENA MOTORJA 36
SLIKA 18: TISKALNIK Z VSEMI OSMI, POSTELJO IN OHIŠJEM 37
SLIKA 19: MATIČNA PLOŠČA 3D-TISKALNIKA 38
SLIKA 20: VEZANJE ELEKTRONIKE NA 3D-TISKALNIKU 38
SLIKA 21: PRIKLOP ELEKTRO MOTORJEV, SENZORJEV, GRELNE GLAVE, POSTELJE IN DRUGIH KOMPONENT 39
SLIKA 22: NEPOPOLNI PRVI TEST TISKALNIKA ZARADI NEPORAVNANE POSTELJE TISKALNIKA 40
SLIKA 23: SESTAVLJENI 3D-TISKALNIK 40
SLIKA 24: IZBOLJŠAVA ZA ZATEGOVANJE PASU X 41
SLIKA 25: NATISNJENE IZBOLJŠAVE ZA NATANČNEJŠE NASTAVLJANJE POSTELJE 42
SLIKA 26: NATISNJENO OHIŠJE ZA MATIČNO PLOŠČO 43
SLIKA 27: NASTAVITEV PROFILA TISKALNIKA V PROGRAMU ULTIMAKER CURA 45
SLIKA 28: PRIKAZ IN PREDOGLED RAZREZA MODELA 46
SLIKA 29: FOTOGRAFIJA TISKANJA IZDELKA PO ENI URI 47
SLIKA 30: FOTOGRAFIJA TISKANJA IZDELKA PO DVEH URAH IN POL 48
SLIKA 31: FOTOGRAFIJA TISKANJA IZDELKA PO TREH URAH IN POL 48
SLIKA 32: KONČNI ČAS TISKANJA, PRIKAZAN NA LCD-ZASLONU 49
SLIKA 33: NATISNJENI KONČNI IZDELEK 49

KAZALO TABEL (16, l.p., K, TNR)

TABELA 1: SESTAVNI DELI IN SPECIFIKACIJE OHIŠJA 30
TABELA 2: SESTAVNI DELI IN SPECIFIKACIJE OSI Y. 31
TABELA 3: SESTAVNI DELI IN SPECIFIKACIJE POSTELJE TISKALNIKA 33
TABELA 4: SESTAVNI DELI IN SPECIFIKACIJE OSI X IN Z. 35

1 UVOD

Danes lahko s pomočjo aditivne proizvodnje natisnemo tridimenzionalni objekt. Temu rečemo 3D-tiskanje. Tehnologija se je prvič pojavila leta 1970, množično pa se je začela uporabljati šele v zadnjem desetletju. 3D-tiskalniki so sprva bili dragi, s postopnim razvojem in izboljšanjem tehnologije pa so danes cenovno bolj ugodni ter dostopni skoraj vsakemu posamezniku (Gregurić, 2018).

Začetek 3D-tiskanja je vplival na vse vidike industrije kot tudi na celotno sodobno družbo. 3D-tisk je proces tiskanja materialov, iz katerih nastane fizičen, oprijemljiv predmet, ki mu lahko izmerimo prostornino, torej je tridimenzionalen. Tiska se lahko z raznolikimi materiali, saj uporabljamo od plastike do kovin. To omogoča koristno uporabo 3D-tiskanja v vsakdanjem življenju (Cappel, 2019). Tehnologija postaja vse bolj uveljavljena, saj pri izdelavi izdelka ni odpadnega materiala in je prijaznejša okolju v primerjavi s tradicionalnimi metodami izdelave, kot je npr. struženje. Odkriva se tudi vedno več možnosti uporabe v veliko panogah, kot so medicina, prehrambna industrija, letalska industrija ipd. (Marr, 2019).

Veliko ljudi se v prostem času posveča 3D-tiskanju, saj pri izdelavi predmetov ni meja. Za tisk je treba imeti le 3D-model, tiskalnik in filament, iz katerega natisnemo model: od ovitkov za telefon, igrač in vse do impresivnih ladij ter glasbenih instrumentov. Modeli oziroma CAD-datoteke so v veliki meri na voljo brezplačno na spletu, z različnimi programskimi orodji na računalniku pa lahko sami izdelamo svoj model. Programi za modeliranje postajajo vedno bolj prijazni za uporabnika in s tem tudi preprostejši za uporabo.

3D-tiskanje se je najprej uporabljalo samo za hitro prototipiranje. Izdelek so lahko namreč natisnili v le nekaj urah in pozneje s preizkusi s programsko opremo naredili popravke 3D-modela. Pozneje so natisnili posodobljeni model in ponovno preverili, ali izboljšave delujejo oziroma ali izdelek zadostuje postavljenim standardom. Če je izdelek potreboval dodatno izboljšavo, se je cikel znova ponovil, dokler niso imeli popolnega modela in prototipa.

Prihodnost tehnologije 3D-tiska je obetajoča, saj mnogi predvidevajo, da bo postala vodilna tehnologija serijske izdelave. Zaradi hitrega razvoja tehnologije postaja vse bolj cenovno ugodno, torej ne pomeni velikega stroška za podjetja in posameznike. Pričakuje se poudarek na učenju 3D-modeliranja, ki je ključen proces za 3D-tiskanje. Veliko podjetij na tem področju tudi sodeluje, izboljšuje in razvija nove revolucionarne stvari, ki jih svet komaj začenja spoznavati. 3D-tiskanje bo postalo vsesplošno po vsem svetu, znal ga bo uporabljati vsak

posameznik in si ga tudi želel uporabljati, saj prinaša neomejene možnosti oblikovanja iz nešteto različnih materialov.

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Področje, ki ga podrobneje raziščem in opišem v diplomskem delu, je izdelava 3D-tiskalnika, ki je predhodni korak izdelka. Raziščem tudi razvoj 3D-tiskanja in 3D-tiskalnikov ter tiskanje danes, proučim izdelavo tiskalnika in natisnem izboljšave za lažje upravljanje in kakovostnejše tiskanje izdelka.

Zanima me:

- ali je mogoče izdelati 3D-tiskalnik cenovno ugodno;
- ali je mogoče natisniti izboljšave in jih uporabiti na 3D-tiskalniku.

Za izbrano področje sem se odločil, ker že imam svoj 3D-tiskalnik. Dokazati pa sem hotel, da je mogoče izdelati 3D-tiskalnik, ki je boljši in cenovno ugodnejši kot tovrstni tiskalniki na trgu. Nadgraditi in povezati želim svoje znanje strojništva in znanje o 3D-tiskanju in tiskalnikih. Izdelati želim kakovosten izdelek, ki ga bom lahko uporabljal dlje časa in tudi nadgradil. Z izdelanim izdelkom želim dokazati, da lahko tiskalnik zgradi vsak z osnovnim znanjem strojništva in elektronike ter da danes izdelava oziroma nakup tiskalnika ni več predrag.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Nameni diplomskega dela so:

- naučiti se samostojno izdelati 3D-tiskalnik in raziskovati ter testirati možne izboljšave tiskalnika;
- izdelati cenovno ugoden in kakovosten 3D-tiskalnik ob čim manj stroškov za morebitne izboljšave;
- proučiti, ali izdelava 3D-tiskalnika ni predraga, če ga izdelamo sami.

Cilji diplomskega dela so:

- samostojno izdelati 3D-tiskalnik;
- raziskati nadgradnje 3D-tiskalnika;
- dokazati cenovno ugodnost samostojne izdelave tiskalnika.

Hipoteze, ki jih poskušam skozi diplomsko delo potrditi, so:

1. 3D-tiskalnik lahko izdelamo sami.
2. Lahko natisnemo dele za nadgradnjo tiskalnika.
3. Modularna konstrukcija je boljša kot serijska konstrukcija.

1.3 Predpostavke in omejitve

Pri izdelavi izdelka za diplomsko delo sem pričakoval kar nekaj omejitev, saj je bilo zaradi epidemije covida-19 težje dobiti dele za tiskalnik. A mi je uspelo. Če bi imel več časa za izdelavo oziroma če predpostavimo, da ne bi bilo epidemije in bi pošte delale normalno brez zamud, bi 3D-tiskalnik lahko zgradil še ceneje. Pri pisanju diplomskega dela nisem pričakoval posebnih omejitev, saj obstaja o raziskovani temi veliko literature, poleg tega imam že nekaj znanja s tega področja.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Pri raziskovalnem postopku sem uporabil metode analize in sinteze, teoretično-kavzalno metodo. Pri raziskovanju je velik del prispevalo tudi znanje, ki sem ga pridobil v času študija, in znanje, ki sem ga že imel o 3D-tiskalnikih.

2 RAZVOJ 3D-TISKANJA IN 3D-TISKALNIKOV

2.1 Začetki 3D-tiska

Prvi zapisi o tiskanju v treh dimenzijah z dodajanjem plasti so se pojavili leta 1970, a vendar do leta 1980 na tem področju ni bilo narejenega ničesar. Maja leta 1980 je na Japonskem dr. Hideo Kodama prijavil patent za sistem hitrega prototipiranja. Njegov patent je temeljil na tehnologiji tiska, ki ji danes rečemo stereolitografija (stereolithography, SLA). V tistem času je izvedba te ideje bila zelo draga, zato Kodama ni uspel pridobiti sredstev, zaradi česar ni uspel izdelati in patentirati svoje ideje, ki se je pozneje izkazala kot ena izmed temeljev za začetek tiskanja v treh dimenzijah. Vseeno pa se je ideja o hitrem prototipiranju nadaljevala (Gregurić, 2018).

Naslednji, ki so omenjali 3D-tiskanje, so bili trije Francozi, Jean-Claude André, Olivier de Witte in Alain le Méhauté. Le Méhauté je v osemdesetih letih minulega stoletja delal pri Alcatelu, kjer je raziskoval fraktalno geometrijo. S kolegi je delil zamisel o 3D-tiskanju, a ti so mu rekli, da je njegovo razmišljanje napačno in neizvedljivo. Kljub temu je bil odločen, da se želi izkazati, zato je začel razmišljati in raziskovati, kako izdelati zapletene dele. Svojo težavo je delil z de Wittejem, ki je delal za hčerinsko družbo Alcatela. De Witte je delal leta z laserji in poznal je tudi tekoče monomere. Vedel je, da postanejo trdni s pomočjo laserja. Ob tem se jima je porodila ideja o napravi, ki bi lahko izdelovala hitre prototipe. Idejo sta predstavila Andréju, ki je delal v francoskem nacionalnem centru za znanstvene raziskave. Čeprav ga je ideja zanimal, je francoski nacionalni center za znanstvene raziskave ni odobrili zaradi pomanjkanja dokazov z enačbami in zaradi premalo področij uporabe. Francozi so vložili patent za to idejo leta 1984, vendar so ga morali zaradi premalo sredstev prisilno opustiti (Gregurić, 2018).

Pozneje istega leta je bil Charles Hull, ki je delal za proizvajalca pohištva in miz, razočaran zaradi dolgo časa trajajoče proizvodnje za izdelavo manjših delov po meri. Predlagal je, da bi uporabili ultravijolične (UV) žarnice, ki so jih imeli v podjetju, in da bi jih namenili za drugačno uporabo. Imel je zamisel, da bi UV-žarnice uporabili za strjevanje smole po plasteh, in tako izdelovali manjše dele, ki so jih potrebovali. Hull je zaradi ideje dobil svoj laboratorij, da jo je lahko razvijal. Tri tedne po vloženem patentu Francozov je tudi Hull oddal vlogo za to tehnologijo, poimenoval jo je stereolitografija. Patent je bil izdan leta 1986. Istega leta je Charles Hull ustanovil svoje podjetje v Kaliforniji, ki se je imenovalo 3D Systems. Danes je to

podjetje eno največjih podjetij za 3D-tiskanje in vodilno na področju inovacij 3D-tiska. Prva zasnovana tehnologija 3D-tiska je bila stereolitografija, danes pa jih poznamo mnogo več (Gregurić, 2018).

2.2 Selektivno lasersko sintranje

Leta 1988, to je istega leta, kot je bila uvedena tehnologija SLA-1, je bila izumljena še ena tehnologija 3D-tiskanja. Tokrat je šlo za selektivno lasersko sintranje (SLS), za katerega je patent pripravil Carl Deckard, dodiplomski študent na univerzi v Teksasu. Deckardov prvi SLS 3D-tiskalnik se je imenoval betsy. Lahko je izdeloval le preproste kose, narejene iz plastike. Namen tiskalnika je bil preizkusiti idejo tehnologije SLS, zato podrobnosti in kakovost tiska niso bile pomembne (Gregurić, 2018).

2.3 Model ciljnega nalaganja

Medtem ko je patent za tehnologijo SLS čakal na odobritev, je bil ameriški vladi predložen še en patent za tehnologijo 3D-tiska. Tokrat je šlo za model ciljnega nanašanja. Patent za model ciljnega nalaganja (FDM) je predložil Scott Crump, ki je danes znan kot soustanovitelj podjetja Stratasys. Podjetje s sedežem v Minnesoti je bilo ustanovljeno leta 1989 in je eno izmed vodilnih na trgu za visokonatančne 3D-tiskalnike. Leta 1992 je bil Stratasysu končno izdan patent za FDM, kar je pomenilo začetek intenzivnega razvoja te tehnologije. Ena prvih panog, ki se je v začetku devetdesetih let 20. stoletja začela ukvarjati s to tehnologijo, je bila industrija s področja medicine (Gregurić, 2018).

Patent FDM je bil izdan po SLS in FDM, danes pa je v industriji najpreprostejša in najpogosteje uporabljena metoda 3D-tiska izmed tovrstnih tehnologij (Gregurić, 2018).

3 SPLOŠNO O 3D-TISKALNIKU

3.1 Kaj je 3D-tiskanje?

3D-tiskanje je postopek, pri katerem z dodajanjem materiala iz digitalnega modela izdelamo fizični objekt. Najprej je treba računalniško izdelati 3D-model, kjer si lahko pomagamo z več računalniškimi orodji. Veliko modelov je dostopnih brezplačno na spletu, za nekatere je pa treba plačati ali jih izdelati oziroma naročiti. Model nato pretvorimo v kodo, ki jo zna 3D-tiskalnik brati. Seveda jo je treba prilagoditi specifikacijam 3D-tiskalnika, saj se formati datotek med tiskalniki razlikujejo (Krizmanić, 2018).

Tehnologija se najpogosteje uporablja za preprosto in hitro izdelavo prototipov ter se izboljšuje, postaja vse bolj dostopna. Izraz 3D-tiskanje obsega številne postopke in tehnologije, ki ponujajo celoten spekter zmogljivosti za izdelavo delov in izdelkov iz različnih materialov. Vsem postopkom 3D-tiskanja je skupen dodajalni način tiskanja po plasteh. Nova uporaba 3D-tiskanja se pojavi skoraj vsak dan in se širi in globlje prodira v industrijski, proizvodni in potrošniški sektor. Večkrat tehnologijo 3D-tiska srečamo tudi v domovih posameznikov zaradi ugodnih cen (Krizmanić, 2018).

Velikokrat se izkaže, da je natisniti nek predmet veliko bolj ugodno in hitreje kot izdelka kupiti. 3D-tiskanje je nasprotje tradicionalnemu načinu izdelave predmetov. Namesto obdelave oziroma odstranjevanja materiala se pri 3D-tiskanju plasti materiala dodajajo (Krizmanić, 2018).

3.2 Vrste tiskalnikov

Poznamo več vrst 3D-tiskalnikov in postopkov tiskanja. Različne tiskalnike lahko primerjamo po enakih lastnostih kot 2D-tiskalnike (3D Insider).

3D-tiskalnike lahko primerjamo po naslednjih lastnostih (3D Insider):

- cena tiskalnika,
- kakovost tiska,
- hitrost tiska,
- zmožnosti tiskalnika,
- praktičnost tiskalnika,
- pričakovanja uporabnika.

3.3 Tehnologije 3D-tiskanja

Pri 3D-tiskanju se srečamo z več tehnologijami, ki se med seboj razlikujejo. Vsaka tehnologija ima svoje prednosti in slabosti. Temeljne tehnologije so se razvile v prvih letih obstoja 3D-tiska, danes pa se samo še nadgrajujejo.

3.3.1 Model ciljnega nalaganja

Tehnologija, ki jo pogosto srečamo pri domačih 3D-tiskalnikih, je model ciljnega nalaganja (fused deposition modeling, FDM). Ta tehnologija tiskanja deluje tako, da se termoplastični polimer iztisne skozi ogreto šobo in se nanaša na površino oziroma osnovno ploščo 3D-tiskalnika. FDM velja tudi za obliko dodajalne proizvodnje, ki jo lahko definiramo kot proces združevanja materialov za izdelavo objektov iz podatkov 3D-modelov, običajno plast za plastjo (Krizmanić, 2018).

Preden začnemo tiskati 3D-model, potrebujemo datoteko STL, ki je datotečni format stereolitografije. Ta model razdeli na plasti in ga usmerja k naslednjemu procesu gradnje. Za zahtevnejše modele potrebujemo včasih podporne strukture za izdelek, ki jih lahko dodamo s programsko opremo (Krizmanić, 2018).

Metoda FDM s pomočjo ogrete šobe nanaša plastični filament po plasteh na posteljo oziroma izdelek. Da material pride do šobe, potrebujemo motorček, ki potiska material do šobe in skozi njo. Ko filament pride do šobe, se utekočini in iztiska na izdelek. Takoj po dotiku gradbene ploskve oziroma izdelka se filament oziroma material strdi. Ko je sloj zapolnjen, se šoba oziroma postelja 3D-tiskalnika dvigne ali spusti za debelino plasti, ki smo jo nanašali, in tiskalnik lahko začne nanašati naslednjo plast (Krizmanić, 2018).

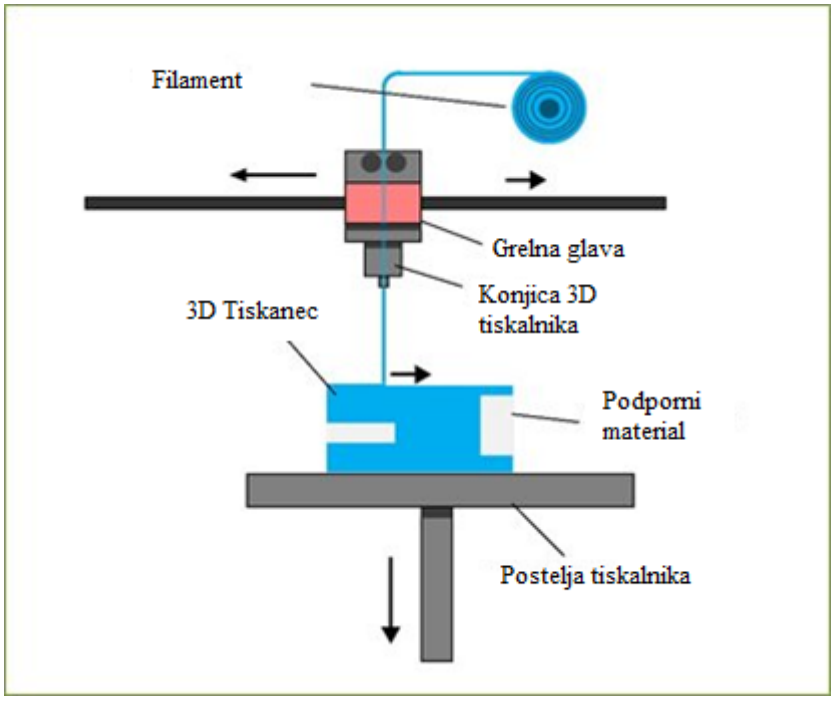
Pri tehnologiji FDM lahko uporabimo veliko različnih materialov. Najpogosteje uporabljamo akrilonitil butadien stiren (ABS), polilaktično kislino (PLA) in najlon (poliamid) (Krizmanić, 2018).

Prednosti tehnologije FDM sta (Grames, 2020):

- hitrost tiskanja in
- nizka cena tiskalnika in materiala.

Slabosti tehnologije FDM pa so (Grames, 2020):

- slaba natančnost,
- slabo izvedeni detajli izdelka,
- tiskanje kompleksnejših oblik.



Slika 1: Primer delovanja FDM-tiskalnika in osnovnih sestavnih delov

Vir: (https://www.3dpartsunlimited.com/wp-content/uploads/2018/05/3D-Parts-Unlimited-Blog-FDM-Diagram_1.jpg)

3.3.2 Selektivno lasersko sintranje

Pri selektivnem laserskem sintranju (SLS) se pri izdelavi predmeta uporablja prašek, ki ga laser v posameznih slojih sintra drugega za drugim. Ko laser zadene delce praška, se temperatura na mestu dvigne nad temperaturo kristalizacije, kar spoji posamezni sloj. Ko je ena plast končana oziroma kristalizirana, se plošča z materialom spusti. Nato se čez plast nanese nova plast prahu in lasersko sintranje se ponovi. Sistem za nanašanje prahu mora zagotoviti čim manj prašenja okolice in preprečiti onesnaženje optičnih elementov in zamik laserskega snopa. Prah se nanaša, dokler izdelek ni narejen v celoti. Izdelek je po končanem postopku zakopan v prahu, ki mu nudi podporo in hlajenje. Ta tehnologija ima veliko prednost zaradi hlajenja in podpore, saj tiskalniku ni treba dodajati nobenih podpornih točk neposredno na izdelek. Izdelava poteka neposredno iz 3D računalniškega modela, ki je izdelan v programu CAD. Uporabljamo lahko

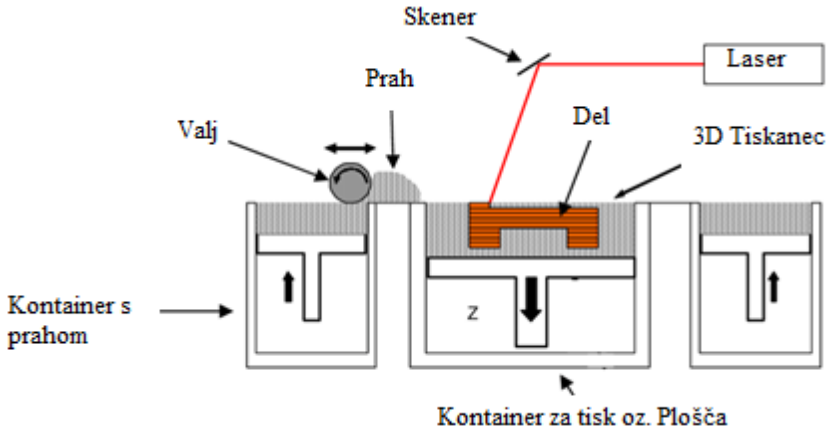
materiale, kot so razne plastične mase, kovine in celo keramika. Po tiskanju se lahko površine izdelkov gladijo, pleskajo, brusijo, barvajo ipd. (Krizmanić, 2018).

Prednosti tehnologije SLS so (Krizmanić, 2018):

- hitrost,
- natančnost,
- širok nabor materialov za tiskanje,
- podpore niso potrebne.
- uporabno za izdelavo končnega izdelka.

Slabosti tehnologije SLS pa so naslednje (Krizmanić, 2018):

- relativno velika poraba energije,
- potreba po interni atmosferi.



Slika 2: Primer delovanja SLS-tiskalnika in osnovni sestavni deli

Vir: (https://www.researchgate.net/figure/Scheme-showing-how-the-SLS-machine-works-A-laser-beam-is-driven-by-a-scanner-drawing-a_fig4_269275574)

3.3.3 Stereolitografija

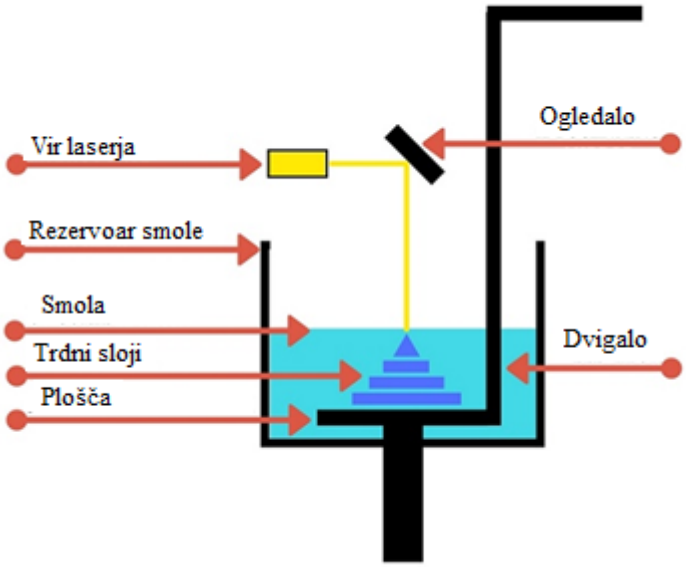
Stereolitografija (Stereo-Litographic Aparatus, SLA) je eden izmed najhitrejših načinov prototipiranja. Je prva tehnologija, s katero so 3D tiskali. Tisti, ki uporabljajo tehnologijo SLA, dajejo velik poudarek na natančnost izvedbe končnega izdelka. Izdelek je lahko natisnjen v nekaj urah. S to tehnologijo je mogoče natisniti vsako podrobnost modela. Pri tehnologiji SLA tiskamo izdelek obrnjen na glavo. Tiskamo s pomočjo UV-laserja, ki posveti v točko, kjer se smola stika s ploščo, in tam se smola strdi (Powell, 2020).

Prednosti tehnologije SLA (Krizmanić, 2018):

- kakovostni 3D-modeli,
- primerna za izdelavo kompleksnejših oblik.

Slabosti tehnologije SLA pa so naslednje (Krizmanić, 2018):

- izdelek se po tiskanju dlje časa celi,
- uporaba ni povsem preprosta,
- cena tiskalnika in materiala za tisk,
- material je neprimeren za obdelavo po tiskanju.



Slika 3: Primer delovanja SLA-tiskalnika in osnovni sestavni deli

Vir: (https://manufactur3dmag.com/wp-content/uploads/2018/01/The-Working-of-SLA-3D-printing-technology.jpg)

3.3.4 Maskirana sterolitografija

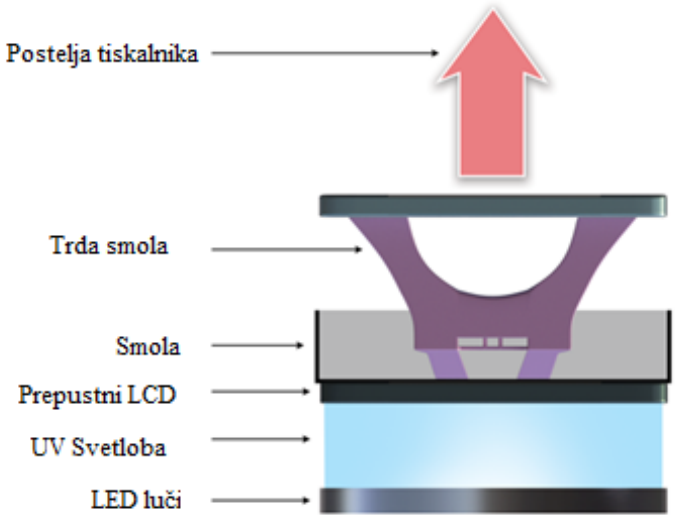
Pri tehnologiji maskirane sterolitografije (Masked Sterolitography, MSLA) se uporablja več LED-lučk, s katerimi svetimo na masko oziroma površino, ki prepusti LED-svetlobo, da ta posveti na tekoči polimer oziroma smolo. S to tehnologijo tiskamo celotno plast naenkrat (ALL3DP, 2020).

Prednosti tehnologije MSLA (ALL3DP, 2020):

- visoka kakovost,
- majhna poraba energije ob tiskanju,
- tiho delovanje,
- hitro tiskanje,
- končni izdelek je neposredno produkt in ne prototip.

Slabosti tehnologije MSLA so (ALL3DP, 2020):

- izdelek je le iz enega materiala,
- zahtevnost tiskanja,
- zahtevna priprava modela za tiskanje.



Slika 4: Primer delovanja MSLA-tiskalnika in osnovni sestavni deli

Vir: (https://www.aegisdentalnetwork.com/media/67258/)

3.3.5 Digitalna svetlobna obdelava

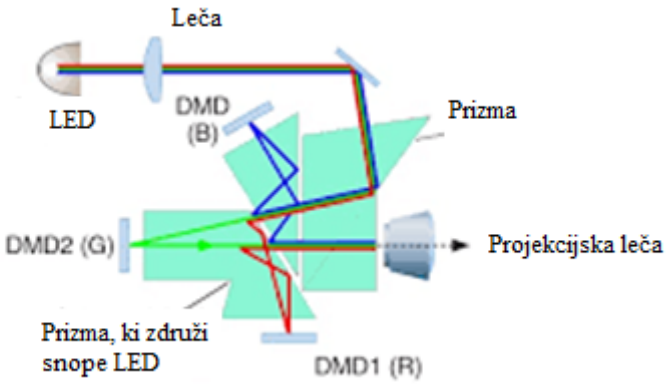
Tehnologija digitalne svetlobne obdelave (Digital Light Processing, DLP) je zelo podobna tehnologiji SLA, razlika je, da se tiska po celotnih plasteh s pomočjo LED-tehnologije. LED-diode posvetijo na več ogledal, ta usmerijo žarke svetlobe v celotno plast smole, ki se nato strdi. Izdelek se po strjenem sloju dvigne iz smole, kjer se odstrani odvečni del prejšnjega sloja, in se nato ponovno nastavi v prejšnji položaj, ko se postopek z LED-diodami in zrcali ponovi (ALL3DP, 2020).

Prednosti tehnologije DLP (ALL3DP, 2020):

- možnost tiskanja zahtevnejših in kompleksnejših modelov,
- hitro tiskanje,
- manj odpada in zato manjši strošek materiala.

Slabosti tehnologije DLP (ALL3DP, 2020):

- mehansko šibek izdelek, zelo občutljiv na svetlobo,
- večkratno vzdrževanje tiskalnika,
- veliko stroški tiska.



Slika 5: Primer delovanja DLP-tiskalnika in osnovni sestavni deli

Vir: (https://www.3de-shop.com/post/how-does-a-dlp-3d-printer-work/.html)

3.3.6 Neposredno lasersko sintranje kovin

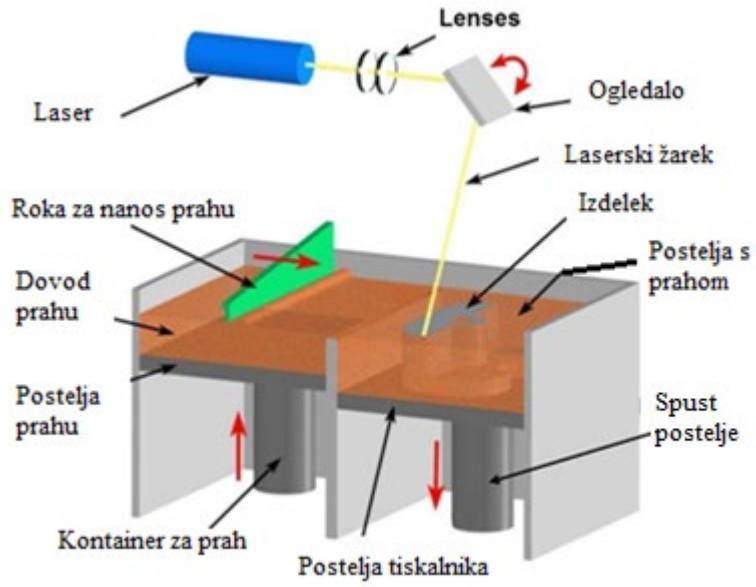
Tehnologija neposrednega laserskega sintranja kovin (Direct Metal Laser Sintering, DMLS) je enaka tehnologiji SLM, le da lahko za tisk uporabimo različne kovine, kot je na primer nerjaveče jeklo. Je odlična izbira za izdelavo prototipov iz kovin. Tiska se s pomočjo laserja, ki z žarkom sveti na prah in strdi kovinski prah. Ko se ena plast izdelka konča, tiskalnik nanese novo plast praha, ki jo spet obdela laser (ALL3DP, 2020).

Prednosti tehnologije DMLS (ALL3DP, 2020):

- uporabimo lahko skoraj vsako kovino,
- izdelava izdelkov, ki jih ne bi mogli npr. z litjem.

Slabosti tehnologije DMLS (ALL3DP, 2020):

- počasen postopek izdelave,
- zelo drag tiskalnik in dragi materiali,
- časovno zamudno.



Slika 6: Primer delovanja DMS- tiskalnika in osnovni sestavni deli

Vir: https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-diagram-of-direct-metal-laser-sintering-DMLS-process-6_fig1_334114846

3.3.7 Fotopolimerno brizganje

Fotopolimerno brizganje (Polyjet) je tiskanje s pomočjo stereolitografije. Pri polyjet tiskanju gre za postopek, kjer glava tiskalnika na posteljico nanaša fotopolimer po plasteh, strjuje ga UV-svetloba. Jedro naprave je tiskalna glava, ki jo poznamo iz velikih industrijskih tiskalnikov za tiskanje reklamnih letakov, le da namesto barve nanaša tekočo zmes reaktivnih monomerov in oligomerov, ki pozneje polimerizirajo. Hkrati se med tiskanjem nanaša podporni material, ki ga je po obdelavi treba očistiti. Izdelek po tisku lahko brusimo, peskamo, gladimo, barvamo ipd. Prednost te metode je tiskanje prozornih izdelkov, zato to tehnologijo srečamo pri vsakdanjih izdelkih, kot so npr. očala, pokrovi luči in pokrovi zaslonov (Bild, 2018).

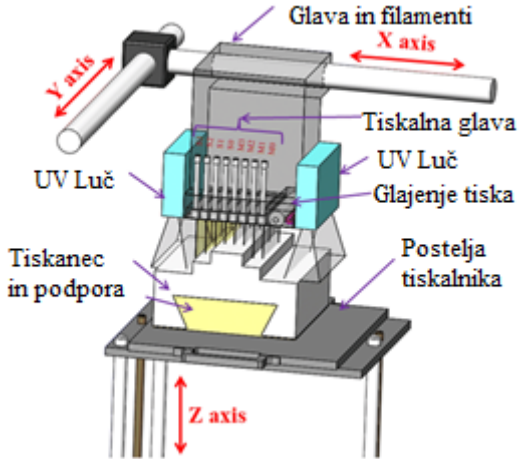
Prednosti tehnologije fotopolimernega brizganja so (Bild, 2018):

- izdelava gladkih in natančnih prototipov,
- priprava natančnih kalupov, vijakov, napeljav in drugih orodij za izdelavo,

- povezava zapletenih oblik, zapletenih podrobnosti in občutljivih lastnosti,
- vključitev najrazličnejših barv in materialov v en sam model z veliko natančnostjo.

Slabosti te tehnologije tiskanja 3D-predmetov pa so (Bild, 2018):

- ni primerna za tiskanje več modelov hkrati,
- slabše izdelan izdelek, kjer je potrebna podpora,
- proces je težko avtomatizirati.



Slika 7: Primer delovanja polyjet tiskalnika in osnovni sestavni deli

Vir: (https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-illustration-of-the-PolyJet-3D-printing-mechanism_fig1_337996957)

3.3.8 Taljenje z elektronskim snopom

Pri tehnologiji taljenja z elektronskim snopom (Electron Beam Melting, EBM) se namesto laserjev uporablja elektronski žarek, s katerim lahko 3D tiskamo razne kovine. Elektronski žarek strjuje kovinski prah po plasteh v vakuumu. S to tehnologijo lahko kovino preoblikujemo, kakor želimo, ne da bi izgubili lastnosti kovine. Izdelke, narejene s pomočjo te tehnologije, velikokrat srečamo v medicini kot razne vsadke (Sculpteo).

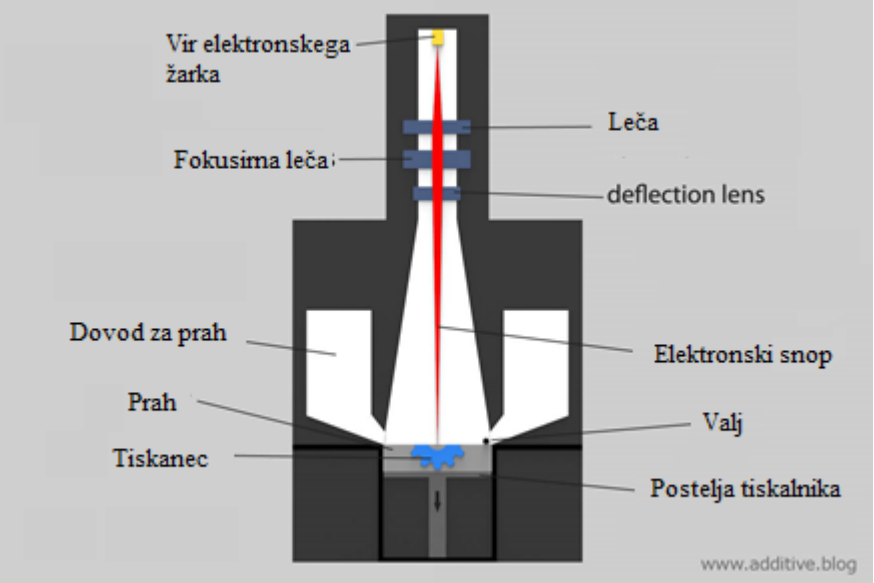
Prednosti tehnologije EBM (Sculpteo):

- tiskanje kovin brez izgube lastnosti materiala,
- tiskanje izdelkov večje gostote.

Slabosti tehnologije EBM (Sculpteo):

- visoke temperature ob tiskanju,

- čas tiskanja se podaljša zaradi sprotnega hlajenja,
- cena in zapletenost tiska.



Slika 8: Primer delovanja EBM-tiskalnika in osnovni sestavni deli

Vir: (https://pick3dprinter.com/wp-content/uploads/2019/07/Electronic-Beam-Melting-EBM-process.jpg)

3.3.9 Elektronsko brizganje veziva

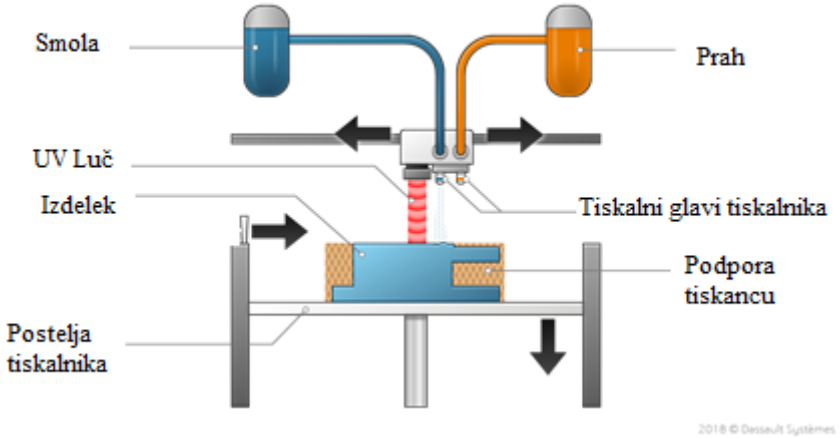
Elektronsko brizganje veziva (Binder Jetting, BJ) je relativno nova tehnologija 3D-tiskanja in združuje tehnologiji SLS in MJ. Pri SLS-tiskanju uporabljamo prah, ki ga strdimo v vezivne kapljice. Vezivne kapljice se nanesejo na površino. Ko je plast končana, se posipa s prahom, ki se ob stiku strdi. Ko je izdelek končan, ga pustimo nekaj časa v prahu, da se material utrdi. Prah, ki se uporablja pri tej tehnologiji, lahko recikliramo in uporabimo večkrat, kar je ena izmed prednosti njegove uporabe (Gregurić, 2019).

Prednosti tehnologije BJ (Gregurić, 2019):

- ne uporablja laserjev za strjevanja prahu,
- pri tiskanju ni visokih temperatur,
- zelo majhna verjetnost za nastanek napake pri tisku,
- tiskanje večjih modelov,
- cena.

Slabosti tehnologije BJ (Gregurić, 2019):

- omejeni smo pri barvi izdelka,
- veliko dodatne obdelave izdelka po tisku,
- malo materialov, ki omogočajo tisk,
- krhki prototipi, večinoma namenjeni le vizualni predstavitvi.



Slika 9: Primer delovanja BJ-tiskalnika in osnovni sestavni deli

Vir: (https://make.3dexperience.3ds.com/processes/binder-jetting)

3.3.10 Brizganje materiala

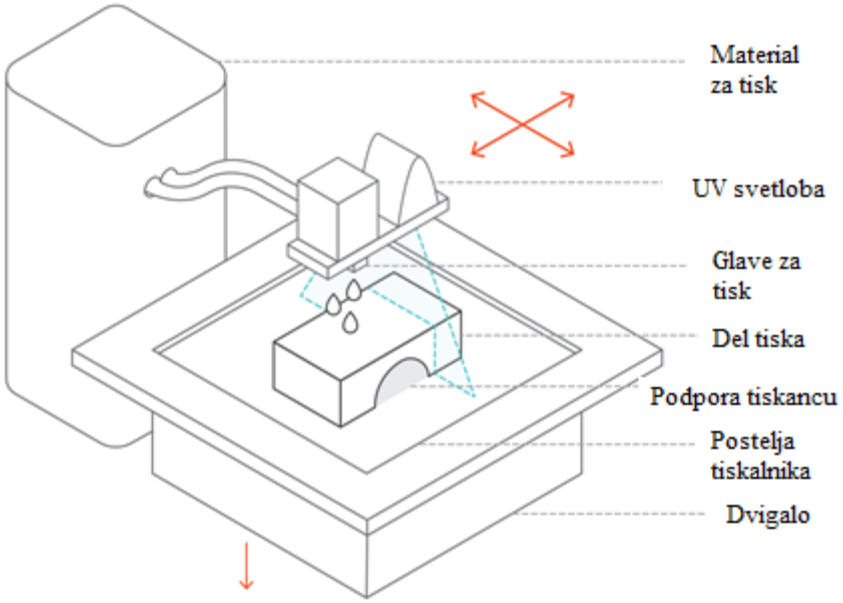
Brizganje materiala (Material Jetting, MJ) je ena izmed najhitrejših in najbolj natančnih tehnologij na področju 3D-tiska. Tiska se s pomočjo polimernih kapljic, ki se strdijo pod vplivom UV-svetlobo. Velika prednost te tehnologije je, da lahko nanesemo več kapljic hkrati, in tako hitreje dobimo končni izdelek (ALL3DP, 2020).

Prednosti tiskanja s tehnologijo MJ (ALL3DP, 2020):

- proizvodnja več izdelkov hkrati,
- končni izdelki so gladki brez dodatne obdelave,
- barve ohranijo svoje lastnosti in možnost uporabe več materialov pri tiskanju.

Slabosti tiskanja s tehnologijo MJ (ALL3DP, 2020):

- visoka cena tiskalnika in materiala za tiskanja,
- izdelki običajno niso dovolj robustni, zato niso namenjeni za velike obremenitve.



Slika 10: Primer delovanja MJ-tiskalnika in osnovni sestavni deli

Vir: (https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/introduction-material-jetting/3-mj-schematic.png)

3.4 Prednosti in slabosti 3D-tiskanja

3.4.1 Prednosti

Fleksibilen dizajn

3D-tiskanje omogoča izdelavo kompleksnejših oblik in dizajnov v primerjavi z drugimi načini izdelav. Tradicionalni načini izdelav so zelo omejeni pri kompleksnejših oblikah, česar pri 3D-tisku skorajda ne poznamo (TWI).

Hitro prototipiranje

3D-tiskanje lahko izdela dele v nekaj urah, kar pospeši postopek izdelave prototipov. To omogoči, da se vsaka faza oziroma vsak del prototipa konča oziroma izdela hitreje. V primerjavi z drugimi vrstami prototipiranja je 3D-tiskanje cenejše in hitrejše, saj nas od izdelave 3D-modela do izdelka lahko loči le nekaj ur, kar omogoči tudi hitro spreminjanje in izboljšanje dizajna in prototipa (TWI).

Tiskanje po potrebi

Tiskanje po potrebi je še ena prednost, saj v primerjavi s tradicionalnimi proizvodnimi postopki ne potrebujemo veliko prostorov za zaloge. Če je potreba po tiskanju majhna oziroma je ni,

prihranimo pri prostoru in stroških. Vse modele, ki jih potrebujemo za izdelavo, lahko shranimo na računalnik ali splet, kjer so še bolj dostopni. Urejanje oziroma izdelava nadgradenj tiskov nas stane zelo malo, saj lahko datoteke oziroma modele preuredimo (TWI).

Različni materiali

Glavni uporabljeni material za 3D-tisk je plastika, čeprav lahko uporabljamo tudi kovine, keramiko, les, prah ipd. Izmed uporabljenih materialov prevladuje plastika, saj je cenejša od drugih ekvivalentov. Tridimenzionalno lahko tiskamo iz več materialov hkrati, kar zagotovi posebne lastnosti, kot so večja toplotna odpornost, trdnost in vodotesnost (TWI).

Hiter dizajn in izdelava

Programska oprema za izdelavo 3D-modelov je vedno bolj prijazna za uporabo. Začetnik lahko izdela svoj model v le nekaj minutah in ga pozneje tudi natisne v le nekaj urah. Če je model kompleksnejši, se čas tiskanja podaljša zaradi počasnejšega tiska, da med tiskom ne nastanejo deformacije in napake. Preproste modele lahko natisnemo v nekaj urah, odvisno od uporabljene tehnologije tiska in materiala (TWI).

Stroškovno učinkovito

3D-tiskanje nam prihrani veliko časa in tudi stroškov. 3D-tiskalnik se lahko nastavi in pripravi za 3D-tisk, med tiskanjem pa ni potrebna prisotnost operaterja, saj so tiskalniki danes zelo zanesljivi, če so seveda pravilno nastavljeni. En operater oziroma ena oseba lahko upravlja več tiskalnikov hkrati. Zmanjšan je tudi strošek materiala, saj tiskalnik porabi le toliko materiala, kolikor ga je potrebnega za končni izdelek (TWI).

Dostopnost

3D-tiskalniki postajajo vedno bolj dostopni. Veliko ljudi si jih kupi za uporabo doma zaradi cenovne dostopnosti tiskalnika in potrebnega materiala za tisk. Pojavlja se tudi več lokalnih ponudnikov, ki ponujajo modeliranje in 3D-tiskanje, kar nam prihrani čas in ne zahteva velikih stroškov prevoza izdelka oziroma prototipa (TWI).

Okolju prijazno

Ker tehnologija zmanjšuje količino porabljenega materiala, je ta postopek že sam po sebi okolju prijazen. Če upoštevamo še nizek strošek upravljanja in tiskalnika, se okolijske koristi povečajo. Tiskalniki delujejo na elektriko in tako ne ustvarjajo izpušnih plinov kot nekateri tradicionalni stroji za podobno obdelavo (TWI).

Obetavna prihodnost tehnologije

3D-tiskanje se zaradi nizkih stroškov širi na veliko področij. Eno izmed teh področij je medicina, kjer se uporablja za reševanje življenj s tiskanjem organov za človeško telo, kot so jetra, ledvice in srca. 3D-tiskanje se nenehno izboljšuje (TWI).

3.4.2 Slabosti

Omejeni materiali

Čeprav lahko s 3D-tiskanjem ustvarimo predmete iz različnih plastičnih mas, kovin ipd., smo omejeni pri materialu, ker vseh kovin oziroma umetnih snovi ni mogoče temperaturno obdelati tako, da bi bilo omogočeno 3D-tiskanje. Nekaterih materialov za tiskanje ni mogoče reciklirati in le redki so varni za uporabo v prehrambni industriji (TWI).

Omejena velikost gradnje

3D-tiskalniki imajo trenutno majhne tiskalne komore, ki omejujejo velikost delov, ki jih lahko natisnemo. Večje dele je treba natisniti v ločenih delih in jih po tisku združiti. To lahko poveča stroške in čas proizvodnje zaradi ročnega dela, ki je potreben za združitev več delov v enega samega (TWI).

Obdelava po tiskanju

Čeprav je za velike dele potrebna naknadna obdelava, večina 3D-tiskov potrebuje neko obliko čiščenja, da odstranimo razne podporne elemente in da zgladimo površino izdelka. Naknadna obdelava je odvisna od velikosti predmeta, njegove uporabe in od tehnologije tiskanja, ki se je uporabila za izdelavo predmeta. Čeprav 3D-tiskanje omogoča hitro izdelavo delov, lahko hitrost izdelave upočasnimo z naknadno obdelavo (TWI).

Količina 3D-tiskov

Strošek 3D-tiskanja je konstanten za razliko od običajnih tehnik, kot je brizganje, pri katerih se na veliko količino strošek zmanjša in je količinsko učinkovitejše. Finančna naložba v 3D-tiskanje je manjša od drugih proizvodnih metod, vendar se pri večjem številu tiskalnikov strošek na izdelek ne zmanjša kot pri brizganju (TWI).

Zmanjšanje števila delovnih mest

Pomanjkljivost 3D-tehnologije je potencialno zmanjšanje potreb po človeškem delu, saj se večina proizvodnje avtomatizira in jo izvajajo tiskalniki sami. Številne države se zanašajo na

nizko kvalificirana delovna mesta, da bi ohranile svoje gospodarstvo, vendar jih ta tehnologija lahko ogrozi (TWI).

Avtorske pravice

Ker je 3D-tiskanje vedno bolj priljubljeno in dostopno, obstaja večja možnost, da ljudje ustvarjajo ponarejene izdelke, ki jih je nemogoče ločiti od originalnih delov (TWI).

3.5 Filamenti

3.5.1 Biopolimer polilaktična kislina

Biopolimer polilaktična kislina (Polylactic Acid, PLA) je ena izmed najbolj uporabljenih materialov za 3D-tisk, saj je ni treba segrevati na visoke temperature, zato med tiskanjem ne pride pogosto do deformacij. Ne potrebujemo ogrevane postelje za model 3D-tiska, je pa priporočljiva, saj tako še dodatno zmanjšamo deformacije med tiskom. PLA ponuja največ barv in slogov, s katerimi lahko tiskamo. Filament je brez vonja, biorazgradljiv in najbolj priljubljen med filament za 3D-tiskanje (All3DP, 2020).

PLA je zelo krhek v primerjavi z drugimi filamenti, zato se ne uporabimo, če bomo tiskali izdelek, ki se bo upogibal, zvijal ali spuščal iz višin. Izdelek se mora izogibati visokim temperaturam, saj lahko pride do deformacij (All3DP, 2020).

3.5.2 Akrilonitril butadien stiren

Akrilonitril butadien stiren (Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS) je drugi najbolj uporabljen filament na področju 3D-tiska. Izdelki, narejeni iz ABS-a, so zelo vzdržljivi in imajo sposobnost prenašanja visokih temperatur. Pri tiskanju z ABS moramo biti pozorni na deformacije pri tisku in pri hlajenju predmeta zaradi visokih temperatur, med tiskanjem lahko nastanejo potencialno nevarni hlapi (All3DP, 2020).

ABS je odporen proti visokim temperaturam in zelo trpežen. Pri lastnostih, ki so pri PLA slabše, je boljši, vendar je zaradi potrebne višje temperature pri tisku in potencialno nevarnih hlapov manj uporaben (All3DP, 2020).

3.5.3 Polietilen tereftalat

Polietilen tereftalat (Polyethylene Terephthalate, PET) je globalno najpogosteje uporabljena plastika. Ta material je uporabljen za plastenke, najdemo ga tudi v oblačilih. Za 3D-tisk se v industriji uporablja druga različica, ki se imenuje PETG (polietilen tereftalat glikol). PETG je

material med ABS in PLA. Pri tiskanju s PETG moramo biti pozorni, saj je material higroskopičen, kar pomeni, da absorbira vlago iz zraka. Zaradi tega se lahko filament pred tiskanjem poškoduje, če ni shranjen v primernih pogojih. PETG je pri tiskanju lepljiv, zato predmeti največkrat niso najbolj natančni in najlepši. Izdelek iz PETG ni odporen proti praskam in vdolbinam, kot bi bil iz ABS (All3DP, 2020).

PETG ima zelo dobre lastnosti, saj je zelo prilagodljiv, trden, odporen na visoke temperature in udarce. Iz PETG se največkrat tiskajo nadgradnje za 3D-tiskalnike (All3DP, 2020).

3.5.4 Termoplastični elastomeri

Termoplastični elastomeri (Thermoplastic Elastomers, TPE) so plastike z gumijastimi lastnostmi, zaradi česar so izjemno prilagodljivi in trpežni. Filament TPE je zelo zahteven za tisk, saj moramo z njimi tiskati z visoko temperaturo in počasi (All3DP, 2020).

Filamente TPE uporabljamo pri tisku, kadar je potrebna elastičnost izdelka. Izdelek se lahko upogiba, razteguje in stiska. Velikokrat je ta filament uporabljen pri izdelkih za avtomobilsko industrijo, pri beli tehniki ali pri medicinskih pripomočkih (All3DP, 2020).

3.5.5 Najlon

Najlon je najbolj močan in trpežen filament, ki se uporablja pri 3D-tiskanju. Vendar je najlon higroskopičen, enako kot PETG, zato ga moramo previdno in pravilno shranjevati ter uporabljati. Prednost najlona je, da ga lahko pobarvamo pred ali po tisku (All3DP, 2020).

Najlon se uporablja za izdelavo močnih in trpežnih izdelkov, kot so razna orodja oziroma deli za orodja, prototipi in mehanski deli. Najlon je za tisk zelo drag filament, zato ni toliko uporabljen. Za tisk je potrebna tudi visoka temperatura, ki pa se ji večina poskuša izogniti zaradi morebitnih nevarnosti pri tisku (All3DP, 2020).

3.5.6 Resin

Resin oziroma smola se uporablja pri SLA-tiskalnikih. Smolo uporabljamo za konceptne modele, funkcionalne prototipe in ustvarjanje raznih skulptur. Imajo posebne barvne odtenke, ampak pri tisku proizvajajo neprijetne vonjave, zato moramo tiskati z njimi v dobro prezračenih prostorih (All3DP, 2020).

Poznamo tri vrste smole: standardno, hitro in napredno. Standardno smolo uporabljamo pri vsakodnevnih tiskih, saj se hitro strjuje. Pri standardni smoli redkokdaj pride do deformacij izdelka. Ima dobre mehanske lastnosti in jo lahko primerjamo s filamentom ABS. Hitra smola

ima krajši čas strjevanja in je zato še manj dovzetna do deformacij. Uporabljamo jo za izdelavo hitrih prototipov in za izdelavo več elementov hkrati. Napredne smole uporabljamo v treh panogah, ki so inženiring, medicina in litje. V medicini so napredne smole zelo specifične za svoj namen. Poznamo smole z zelo dobro geometrijsko natančnostjo in odlično površinsko obdelavo. Te srečamo pri izdelavi prototipov za drone. Poznamo tudi fleksibilne smole, ki jih uporabljamo pri raznih ergonomičnih delih v industriji, ter smole, ki zdržijo zelo visoke temperature, udarce in obrabo. V medicini uporabljamo smole, ki so biokompatibilne. Največkrat jih srečamo v zobni industriji, kjer se uporablja za izdelovanje zobnih aparatov. Pri litju smole pogosto uporabljajo zlatarji, saj lahko tako dosežejo kompleksne oblike z minimalno porabo npr. zlata ali srebra (All3DP, 2020).

3.6 3D-modeliranje

3D-modeliranje je digitalna reprezentacija vsakega objekta ali površine, narejene s pomočjo programske opreme, ki nam to omogoča. Z modeli se srečamo na številnih področjih, vključno z inženiringom, arhitekturo, zabavo, razvojem iger, filmov itd. Modeliranje izvajamo s programsko opremo, s katero izdelamo model, ga oblikujemo in prikažemo v virtualnem prostoru (Carli, 2016).

3.6.1 Osnove 3D-modeliranja

Osnove 3D-modeliranja začenjam z razlago najosnovnejših pojmov. Kot prvi je najpreprostejši element – točka. Vsaka točka ima koordinati x in y, ki predstavljata njeno postavitev v 3D-prostoru. Sledi rob, ki je ravna črta in povezuje dva sosednja verteksa oziroma točki. Robovi pomagajo pri definiranju oblike 3D-modela (Carli, 2016).

Naslednji izmed pojmov je poligon. To je katera koli oblika, ki nastane s povezovanjem ravnih črt. Obstaja več vrst poligonov, ki so odvisni od števila strani. Skupek poligonov, robov in točk imenujemo poligonska mreža. V programih za 3D-modeliranje se srečamo tudi z vektorji. Ti predstavljajo geometrijski objekt z dolžino in širino. Vektor je običajno predstavljen s puščico. Zadnji pojem je ravnina, ki predstavlja dvodimenzionalno površino, ki se razteza (Carli, 2016).

3.6.2 Vrste 3D-modeliranja

3.6.2.1 Solidno modeliranje

Najpogostejša vrsta 3D-modeliranja je solidno oziroma polno modeliranje. Uporabljamo ga za izdelavo trdnih oblik. Cilj pri solidnem modeliranju je zagotoviti, da so vsi predmeti

geometrijsko pravilni. Ta vrsta modeliranja je bolj zapletena, saj zahteva notranjo in zunanjo simulacijo modela. Uporabljamo ga pri ustvarjanju animacij in pri vizualizaciji funkcionalnih modelov, saj oblikovalec lahko že na začetku vidi dizajn in kako deluje. Nekateri programi za to vrsto modeliranja omogočajo izbiro materiala, ki bo pozneje uporabljen pri izdelavi. Izvajamo lahko tudi simulacije, pri čemer nam program pokaže, kako se bodo materiali in model obnašali v vnaprej določenem okolju. Običajno pri tem modeliranju v programu začnemo z ravno površino, ki ji pozneje dodamo višino oziroma določimo dolžino osi z. Pri modeliranju uporabljamo preproste oblike, kocke, sfere in prizme. Za določanje parametrov so običajno uporabljene konstante (Ortiz, 2020).

Prednosti solidnega modeliranja (Ortiz, 2020):

- programska oprema je preprosta in relativno preprosta za uporabo,
- ni potrebe po veliki računalniški moči, saj modeli niso narejeni iz več tisočih točk oziroma trikotnikov,
- končni modeli so vedno matematično pravilni in izvedljivi v praksi.

Slabost solidnega modeliranja (Ortiz, 2020) je, da težko dosežemo realni videz in zahtevnejše oblike.

Programi, ki omogočajo solidno modeliranje, so Tinkercad, FreeCAD, SketchUp, Solidworks, Fusion 360 idr.

3.6.2.2 Površinsko modeliranje

Je matematična metoda za prikaz oziroma predstavitev 3D-predmetov. Temelji na zunanjem videzu 3D-modela in omogoča ogled z različnih zornih kotov. To modeliranje je najzahtevnejše, saj rišemo črte, ki definirajo obliko in ukrivljenost. Programska oprema izračuna gladko površino, ki povezuje vodilne črte. Srečamo ga pri izdelavi aerodinamičnih in termodinamičnih zasnov, pri katerih je še kako pomembno, kako sta definirani oblika in ukrivljenost silhuete, da je lahko učinkovito in dobro uporabljena. Pri modeliranju lahko dosežemo takšne modele, ki jih ni mogoče izdelati v praksi, zato moramo vsak model, ki je tako narejen, dobro proučiti (Ortiz, 2020).

Prednost površinskega modeliranja (Ortiz, 2020) je možnost izdelave kompleksnejših modelov. To je uporabno predvsem na področjih, kjer je pomemben videz modela (avtomobilska) in na področju simulacij v tekočini ali v zraku (aerodinamika in termodinamika).

Slabosti površinskega modeliranja pa sta (Ortiz, 2020):

- tehnika modeliranja je zelo zapletena in potrebuje zahtevnejše programe;
- potrebna je velika procesorska moč za hitro in učinkovito modeliranje.

Programi, ki omogočajo površinsko modeliranje, so Catia, FreeCAD, Inventor, Solidworks idr.

3.6.2.3 Žično modeliranje

Temelji na izdelavi 3D-modela z »upogibanjem žice« in sledenjem robovom predmeta. Ti modeli so v celoti sestavljeni iz točk, lokov, krogov, krivulj in črt. V primerjavi s površinskim in solidnim modeliranjem je najpreprostejša vrsta modeliranja. Osnovni element pri tem modeliranju so trikotniki. Več kot je trikotnikov, bližje videzu dejanskega predmeta je model. To vrsto modeliranja lahko uporabimo tudi s površinskim ali solidnim, saj lahko z njim izdelujemo kompleksnejše oblike. To modeliranje so uporabljali za risanje 3D-modelov, a se je na začetku izkazalo, da so bili modeli kockaste oblike zaradi premajhne procesorske moči, bilo je tudi manj trikotnikov. Danes je običajno, da imajo modeli po več milijon poligonov oziroma trikotnikov (Ortiz, 2020).

Prednost žičnega modeliranja (Ortiz, 2020) je, da v primerjavi s solidnim modeliranjem lahko dosežemo kompleksnejše površine in krivulje.

Slabosti žičnega modeliranja pa sta (Ortiz, 2020):

- potrebnega je veliko znanja, učenja programskega orodja in potrebno je razumevanje procesorske moči za kompleksnejše oblike;
- kompleksnejši elementi z veliko poligoni potrebujejo več procesorske oziroma računalniške moči, da izrišejo model.

3.6.3 Programska oprema

Za pripravo 3D-tiska potrebujemo dve različni programski opremi. Prva je oprema, ki omogoča izdelavo 3D-modela, to je program za modeliranje. Z njim lahko ustvarimo 3D-model, ki ga lahko shranimo v več različnih formatih. Najpogosteje se uporablja format CAD. Ko imamo pripravljen 3D-model, ga moramo pripraviti na 3D tiskalnik. 3D-model je treba dekodirati tako, da tiskalnik razume, kako model pozneje natisniti. Ta postopek imenujemo rezanje, saj zajema optično branje vsake plasti modela in tiskalniku pove, do katere točke premikati tiskalno glavo, da ustvari vse plasti modela. Rezalnik omogoča tudi polnjenje modela. Ustvari mrežno strukturo znotraj trdnega modela. Tako prihranimo filament, skrajšamo čas tiskanja in dodamo

stabilnost modelu. Rezalnik omogoča postavitev podpornih stebrov pri kompleksnejših modelih, saj ne more položiti filamenta v zraku. Podporne stebre lahko po tisku preprosto odstranimo. Ko končamo z rezalnikom, lahko podatke pošljemo 3D-tiskalniku, da lahko začne postopek tiskanja. Koda se običajno pošlje v kodi G.

3.6.4 Vrste datotek

Pri 3D-modeliranju in 3D-tisku poznamo več tipov datotek, ki shranjujejo vse pomembne informacije, kot so model, geometrija modela, barva, material, tekstura ipd. Datoteke večinoma shranjujejo informacije o 3D-modelu, vendar niso vse primerne za 3D-tisk. Vsi programi ne omogočajo shranjevanja v vseh formatih, zato je treba usvojiti več vrst 3D-modeliranja in programske opreme (All3DP, 2020).

3.6.4.1 STL

Format STL se je razvil s prvim 3D-tiskalnikom. Je zelo priljubljen zaradi preprostosti in berljivosti, saj je kodiran v kodi ASCII in binarni kodi. Format ne podpira informacij, kot so: uporabljeni material, tekstura in barva, ampak lahko zapiše oziroma shrani le geometrijo 3D-modela. Ker je format tako preprost, ga uporabljamo v večini primerov, kjer tiskamo le z enim materialom oziroma filamentom. Z razvojem novih tehnologij postaja ta format počasi zastarel in ga bo treba nadomestiti zaradi kompleksnejših oblik in drugih informacij, ki bodo potrebne ob samem tisku. Format ne podpira kompresije in je po današnjih standardih glede na velikost datoteke prevelik (All3DP, 2020).

Uporaba formata STL (All3DP, 2020):

- veliko modelov STL je na voljo brezplačno,
- kot dobra diagnostika, če se ob tiskanju modela pojavi napaka,
- Tiskanje z enim materialom oziroma barvo,
- ni potrebna visoka kakovost oziroma natančnost 3D-modela.

3.6.4.2 OBJ

Format OBJ je odprtokoden, torej dostopen vsem razvijalcem za morebitne spremembe oziroma modifikacije, ki bi jih potrebovali. Format podpira kodiranje v sistemu ASCII in binarnem sistemu. Datoteke OBJ lahko skupaj z geometrijskim modelom zapišejo tudi informacije o barvi, materialih in teksturah. Podpira več možnosti ob kodiranju geometrije. Lahko izberemo podobno kodiranje, kot je pri STL, ali pa naprednejše, ki nam omogoča

uporabo krivulj in površin prostih oblik. Na ta format lahko shranjujemo ukrivljeno geometrijo, ne da bi izgubili kakršne koli informacije. Poleg večje natančnosti teh datotek v primerjavi s STL imamo tudi manjšo velikost datoteke (All3DP, 2020).

Uporaba OBJ (All3DP, 2020):

- ko želimo tiskati več materialov oziroma barv naenkrat,
- veliko dostopnih in vnaprej narejenih modelov brezplačno,
- ko je potreba po natančnem tisku CAD-modela.

3.6.4.3 3MF

3MF je naslednik formata STL. Razvijati ga je začel Microsoft za lastne namene, vendar je leta 2015 podpisal pogodbo z velikani v industriji 3D-modeliranja in tiskanja. Sklenili so, da bodo ustvarili in razvili najnovejši, najboljši format in ga tudi uporabljali. Veliko podjetij je želelo razviti podoben format, vendar ga niso uporabljala oziroma so se le počasi prilagajala nanj. Format 3FM bo uporabljen v celotni 3D-industriji in bo revolucioniral prejšnje standarde. Ta format je preprosto berljiv in deluje na principu formata STL, le da je bolj kompakten, zmožen postaviti več različnih modelov in nositi veliko več informacij. Format nam tudi zagotavlja, da je model stoodstotno izvedljiv, brez izgubljenih poligonov ali prekritih slojev (All3DP, 2020).

Uporaba 3MF (All3DP, 2020):

- kadar želimo model natisniti brez pretvorbe iz CAD ali iz drugega formata;
- kadar se želimo izogniti napakam v geometriji modela in tiska.

3.6.4.4 G-koda

G-koda je programski jezik, s katerim človek stroju z računalniškim vodenjem ukaže, kako naj kaj naredi. Ta kako je definiran z napotki, kam naj se stroj premakne, kako hitro naj se premika in po kateri poti naj se premika (KreatorLab).

V stroju se po vnaprej podanih navodilih premika rezalno orodje, ki reže odvečni material in za sabo pušča le končni izdelek. Enaka zasnova velja tudi za druge oblike računalniško vodenega izdelovanja, kot je na primer dodajalna metoda, ki jo srečamo pri 3D-tiskalnikih. Poimenovanje programskega jezika G-koda prihaja iz ukazov za premikanje, ki se začenjajo s črko g (KreatorLab).

3.7 Uporaba 3D-tiskanja v vsakdanjih panogah

Čeprav se je 3D-tiskanje pojavilo šele leta 1984, ko je Chuck Hull natisnil majhno skodelico, se je tehnologija tako razvila, da jo uporabljamo skoraj povsod. 3D-tiskanje proizvajalcem omogoča, da razmislijo o kratkih proizvodnih serijah in ustvarijo povsem nove komponente, ki v tradicionalnem proizvodnem okolju ne bi bile izvedljive. Proizvajalci so zelo spretni, kadar uporabljajo postopke 3D-tiskanja. McLaren Racing ponuja odličen primer, kako 3D-tiskanje vpliva na industrijo. S 3D-tiskanjem razvijajo volanske obroče za dirkalnike formule 1. Ker lahko natisnejo volan tako hitro, omogočijo vozniku uporabo različnih prototipov. Glede na odziv voznika prilagodijo volan in ga natisnejo takoj, tako da lahko ponovno zberejo povratne informacije in ponovno prilagodijo volan. In tako vse, dokler vozniku volan ne ugaja (Marr, 2019).

3.7.1 Prehrambna industrija

Ena izmed panog, v kateri se uporablja 3D-tiskanje, je prehrambna industrija, kjer tiskajo različne izdelke iz npr. čokolade. Zaradi njenih temperaturnih lastnosti jo je namreč preprosto segreti, ohladi pa se hitro. Čokolada je idealen material za 3D-tisk in tiskanje v prehrambni industriji postaja vse obsežnejše, saj za tisk uporabljajo tudi že sladoled, različna testa, meso itd. Uporablja se večinoma za kompleksnejše predstavitve oziroma za predstavitev hrane (Marr, 2019).

3.7.2 Glasbena industrija

Svet je že doživel prvi koncert, na katerem so igrali na glasbila, narejena s pomočjo 3D-tiskalnikov. 3D tiskalniki se na področju glasbe uporabljajo za tisk kompleksnih oblik glasbil, ki jih z alternativnimi metodami ne moremo primerjati. Glasbila, ki se najpogosteje 3D tiskajo, so pihala in brenkala, saj lahko s pomočjo 3D-tiska ustvarimo posebne oblike, ki ustvarijo posebno resonanco zvoka (Marr, 2019).

3.7.3 Modna industrija

Adidas uporablja 3D-tiskalnike za tiskanje športnih copat. Zaradi 3D-tiska lahko čevlju dodelijo lastnosti, ki jih prej še nismo poznali. Tehnologijo največkrat srečamo pri izdelavi podplata, saj ustvarijo posebno obliko, ki zagotovi idealen povratek energije pri teku. Tega brez 3D-tiskalnika ne bi bilo mogoče ustvariti.

3.7.4 Gradbena industrija

Pri gradnji srečamo vedno več 3D-tiskanja. S pomočjo večjih 3D-tiskalnikov lahko zgradijo oziroma natisnejo celo hišo. Hiša, ki ima 120 kvadratnih metrov, se tiska približno 24 ur in stane 10,00 $. 3D-tisk v gradnji se nenehno izboljšuje, poleg tega ga nenehno raziskujejo, saj lahko s pomočjo tiska zagotovimo hitro in cenovno ugodno gradnjo (Marr, 2019).

3.7.5 Medicina

Medicina je panoga, ki se ukvarja s 3D-tiskom najdlje. Danes že lahko tiskamo opore za kosti, zobne aparate in tudi organe, kot so srce, jetra in razna tkiva. Tiskajo se tudi razni pripomočki, ki zdravstvenemu osebju olajšajo delo. 3D-tiskanje v medicini bo spremenilo prihodnost človeštva (Marr, 2019).

4 IZDELAVA 3D-TISKALNIKA

Najprej sem se moral odločiti za tehnologijo 3D-tiskanja. Glede na to, da so FDM-tiskalniki najcenejši in učinkovitejši na trgu, sem se odločil zgraditi tak tiskalnik. Glede na tehnologijo sem potreboval sestavne dele tiskalnika, ki sem jih kupil na spletu.

4.1 Sestavni deli za 3D-tiskalnik

Za osnovno sestavo potrebujem:

- ohišje,
- matično ploščo,
- linearna vodila,
- vodilne osi,
- osnovno ploščo oziroma posteljo,
- tiskalno glavo,
- grelno konico,
- napajalnik,
- motorje za osi,
- LCD-zaslon in kontroler za tiskalnik,
- druge stvari (vijaki, kozmetične stvari).

Sestavne dele sem naročil na spleta iz tujine, kjer so cenovno ugodnejši. Primerjal sem več različnih komponent med sabo in se odločil za omenjene zaradi odličnih lastnosti oziroma sposobnosti glede na njihovo ceno. Za primerjavo sem uporabljal sestavne dele tiskalnikov večjih proizvajalcev in poskušal poiskati podobne oziroma boljše komponente od komponent večjih proizvajalcev. Prednost modularne sestave tiskalnika je, da lahko sčasoma nadgradimo oziroma zamenjamo dele glede na potrebe. Pri serijskih tiskalnikih bi bili za spremembo namembnosti tiskalnika prisiljeni kupiti celoten tiskalnik in tudi nadgradnja je skoraj nemogoča zaradi serijsko posebej narejenih delov in programske opreme. Modularni tiskalniki imajo veliko možnosti nadgradnje in nekaj nadgradnje lahko natisnemo celo sami.

4.2 Sestava 3D-tiskalnika

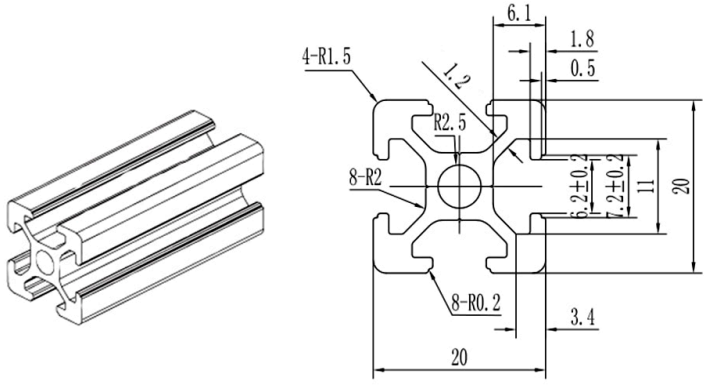
4.2.1 Sestava ohišja

Za sestavo ohišja sem uporabil aluminijasti profil črne barve. Potreboval sem jih za os x, y in z. Vsi aluminijasti profili imajo enako velikost (20 mm × 20 mm), utor (6,2 mm) in debelino (1,8 mm).

Tabela 1: Sestavni deli in specifikacije ohišja

Sestavni deli	Število kosov	Specifikacije	Cena v EUR
Aluminijast profil, os x	3	Dolžina: 480 mm	15
Aluminijasti profil, os y	2	Dolžina: 420 mm	10
Aluminijasti profil os z	2	Dolžina: 500 mm	10
Gumijasti podstavki	4	/	2

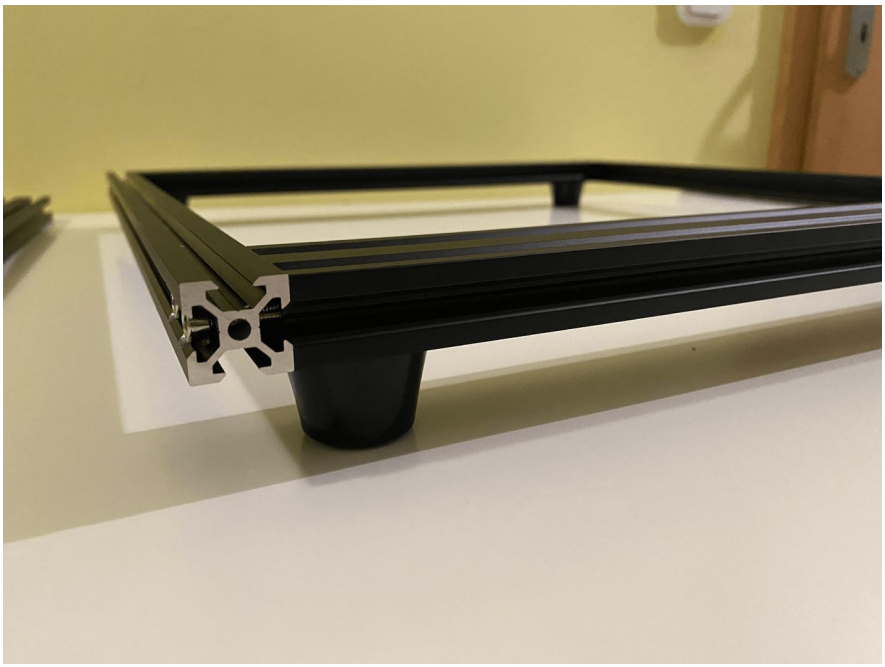
Vir: (Lastni vir)



Slika 11: Aluminijasti profil, uporabljen pri izdelavi 3D-tiskalnika

Vir: https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1uUsjM9zqK1RjSZPxq6A4tVXa1.jpg

Ohišje sem pritrdil z vijaki s cilindrično imbus glavo M5 × 20 mm. Potem ko sem pritrdil vijake, sem ohišje podložil še z gumijastimi podstavki, da sem konstrukciji dodal stabilnost. Os z ohišja sem lahko dodal šele na koncu, saj drugače ne bi mogel sestaviti osi z.



Slika 12: Ohišje 3D-tiskalnika

Vir: (Lastni vir)

4.2.2 Sestavljanje osi y

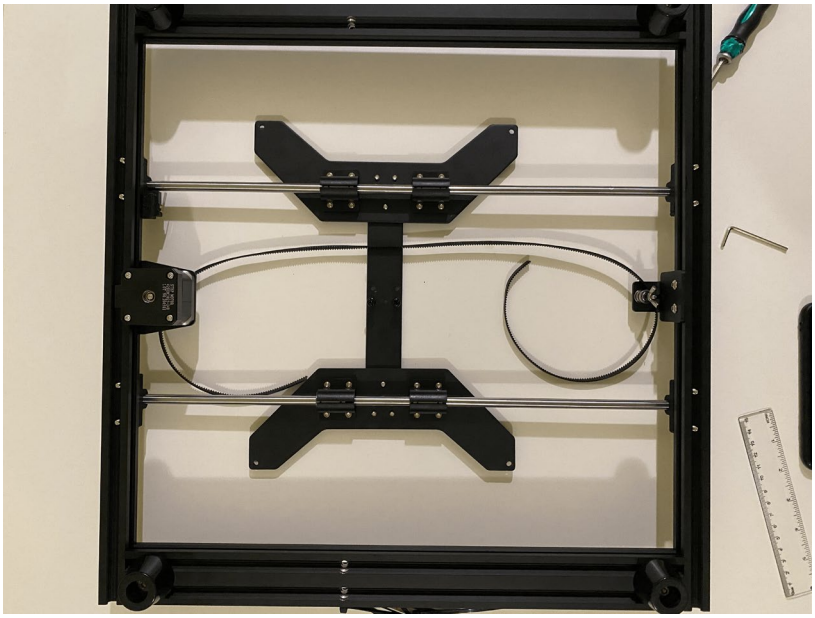
Za os y sem potreboval vodilno os. Izbral sem jekleno os Cf60 dolžine 420 mm in debeline 8 mm. Potreboval sem dve osi, saj sem pozneje na to os pritrdil posteljo tiskalnika, ki jo vodi elektro motor. Na vsako vodilo sem pritrdil dva linearna vodilna ležaja. Vodila sem pritrdil 130 mm vstran od vsake strani osi y. Pritrdil sem jih na ohišje s pomočjo vijakov M4 × 14 mm in T-matico. Na zadnjo stran tiskalnika sem k vodilu pritrdil še mejno stikalo, tako da bo tiskalnik vedel, kje je meja te osi. Poleg sem pritrdil še motor te osi. Na sprednjo stran sem pritrdil ležaj in ga pozneje povezal z motorjem s pomočjo časovnega pasu GT2. Tako sem sestavil os y, ki vodi osnovno ploščo tiskalnika.

Tabela 2: Sestavni deli in specifikacije osi y.

Sestavni deli	Število kosov	Specifikacije	Cena v EUR
Vodilna os	2	Dolžina: 420 mm	7,7
Linearni vodilni ležaj	4	/	6,7
Mejno stikalo	1	/	0,2
GT2 časovni pas	1	Širina: 6 mm	4,99

		Dolžina: 1 m	
Elektro motor	1	Vrsta: koračni Korak koraka: 18 stopinj Napetost: 5 V, 12 V, 24 V	4,9

Vir: (Lastni vir)



Slika 13: Sestava osi y

Vir: (Lastni vir)

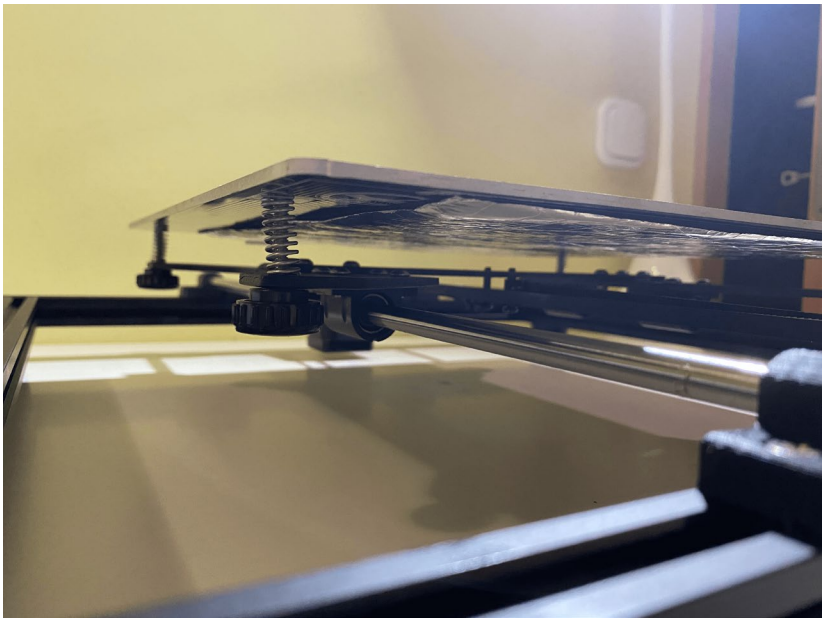
4.2.3 Sestavljanje osnovne plošče oziroma postelje

Po sestavi osi y sem na vodilne ležaje pritrdil podporno ploščo. Podporna plošča služi kot zaščita časovnega pasu pred visokimi temperaturami osnovne plošče oziroma postelje. Na podporno ploščo sem pozneje pritrdil osnovno grelno ploščo, ki pa ni neposredno na podpori. Med osnovno in podporno ploščo sem dal vzmeti, ki sem jih pritrdil z vijaki M4 × 25 mm in s plastičnimi vijaki, ki so bili 3D natisnjeni. S tem sem dosegel, da lahko na vsaki strani plošče reguliram višino. Postelja tiskalnika pomaga regulirati temperaturo površine, na katero tiskamo. Če je temperatura prenizka, lahko hitreje pride do deformacije izdelka. Temu se lahko izognemo z ogrevano posteljo, ki jo lahko reguliramo po višini na vsaki stranici s pomočjo vijakov. Na posteljo sem položil še kaljeno steklo, da bo čiščenje in odstranjevanje tiskanega izdelka s tiskalnika lažje. Plošča oziroma postelja tiskalnika mera 300 mm × 300 mm × 3 mm.

Tabela 3: Sestavni deli in specifikacije postelje tiskalnika

Sestavni deli	Število kosov	Specifikacije	Cena v EUR
Podporna plošča	1	/	16
Vzmeti	4	/	0,5
Plastični vijaki	4	/	2
Grelna plošča	1	Velikost: 300 mm × 300 mm Napetost: 12 V	16
Kaljeno steklo	1	Velikost: 300 mm × 300 mm Debelina: 3 mm	20

Vir: (Lastni vir)



Slika 14: Postelja 3D-tiskalnika na osi y

Vir: (Lastni vir)



Slika 15: Postelja 3D-tiskalnika s kaljenim steklom

Vir: (Lastni vir)

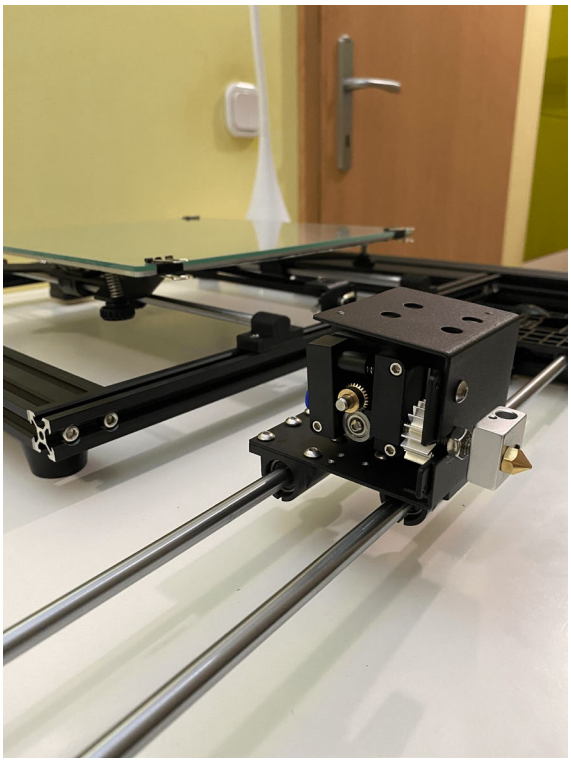
4.2.4 Sestavljanje osi x in z

Najprej sem se lotil sestave osi x. Potreboval sem dve jekleni osi z dolžino 500 mm, ki sem ju vstavil v držalo za osi z in y. Na osi sem namestil tri linearne vodilne ležaje, na katere sem pozneje namestil grelno glavo 3D-tiskalnika. Grelna glava je ključnega pomena pri 3D-tiskalniku, saj odmeri in segreva filament, s katerim tiskamo. Ima svoj elektro motor, tako da lahko pravilno odmerja količino filamenta glede na temperaturo. Grelna glava ima grelnik in senzor, ki segrevata oziroma prenašata informacije do matične plošče tiskalnika. Tako lahko poljubno nastavljamo temperaturo oziroma jo odčitamo na tiskalniku. Grelna glava se pomika po osi x s pomočjo motorja in časovnega pasa. Elektro motor je pritrjen na aluminijasti nastavek. Na os x sem namestil še mejno stikalo, da tiskalnik ve, kje je meja za tiskanje na tej osi. Po sestavi osi x sem sestavil še os z, za katero sem potreboval dva aluminijasta profila dolžine 520 mm in nanju pritrdil dva elektro motorja, ki bosta pozneje služila za premik te osi. Na elektro motorja sem namestil navojni palici, ki služita za premik. Zraven navojnih palic sem namestil še navadni jekleni vodilni osi, ki služita za boljšo stabilizacijo tiskalnika. Namestil sem eno mejno stikalo, da tiskalnik ve, kje je meja pri osi z. Na vrhu tiskalnika sem dodal še en aluminijasti profil, ki služi za stabilizacijo za obe osi. Po končanem sestavljanju sem obe osi z vijaki pritrdil na središče 3D-tiskalnika.

Tabela 4: Sestavni deli in specifikacije osi x in z.

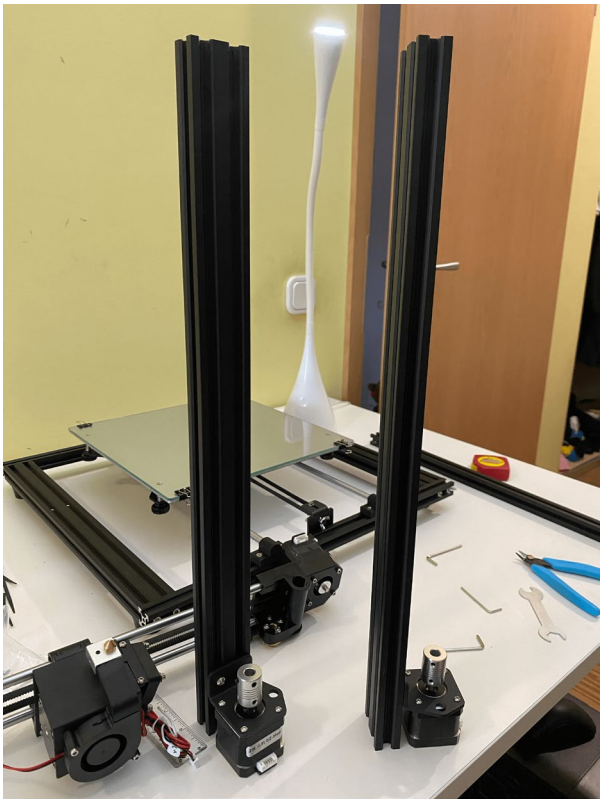
Sestavni deli	Število kosov	Specifikacije	Cena v EUR
Navojna palica za os z	2	Dolžina: 500 mm	11
Vodilo za os z	2	Dolžina: 520 mm	9,4
Vodilna os x	2	Dolžina: 500 mm	8,6
Linearni vodilni ležaj	3	/	1,7
Elektro motor	4	Vrsta: koračni Korak koraka: 18 stopinj Napetost: 5 V, 12 V, 24 V	19,6
Grelna glava	1	Velikost glave: 0,2 mm	16,8
Mejno stikalo	1	/	0,2
G52 časovni pas	1	Širina: 6 mm	4,99
Pritrjevalni element za časovni pas		/	1,2
Podstavek za grelno glavo	1	/	4,4
Držalo za motor	1	/	3,8

Vir: (Lastni vir)



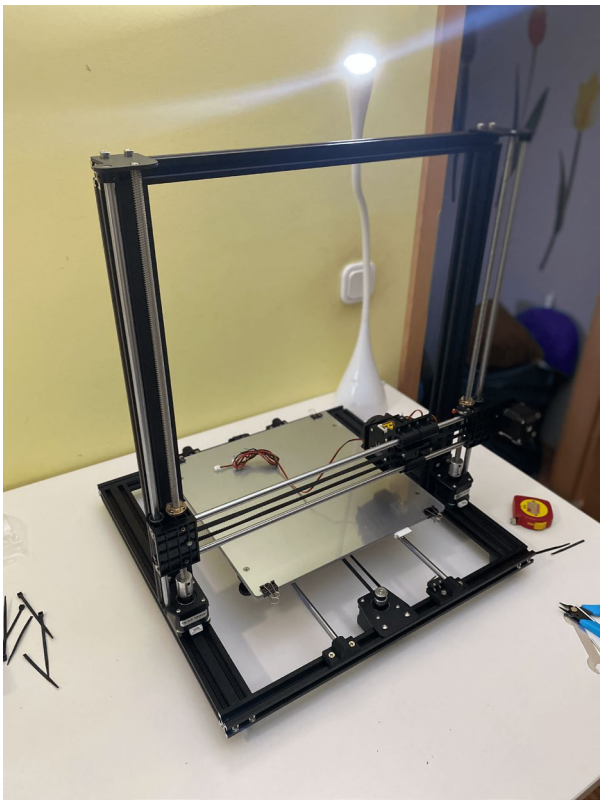
Slika 16: Grelna glava na osi x

Vir: (Lastni vir)



Slika 17: Os z, kjer sta pritrjena motorja

Vir: (Lastni vir)

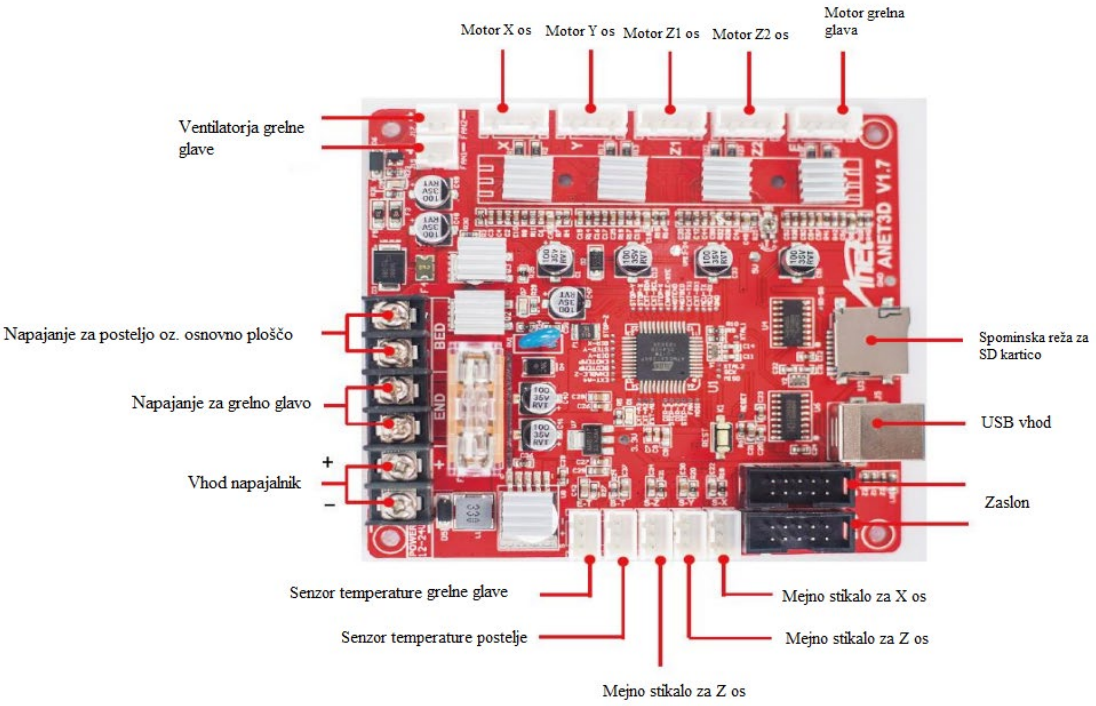


Slika 18: Tiskalnik z vsemi osmi, posteljo in ohišjem

Vir: (Lastni vir)

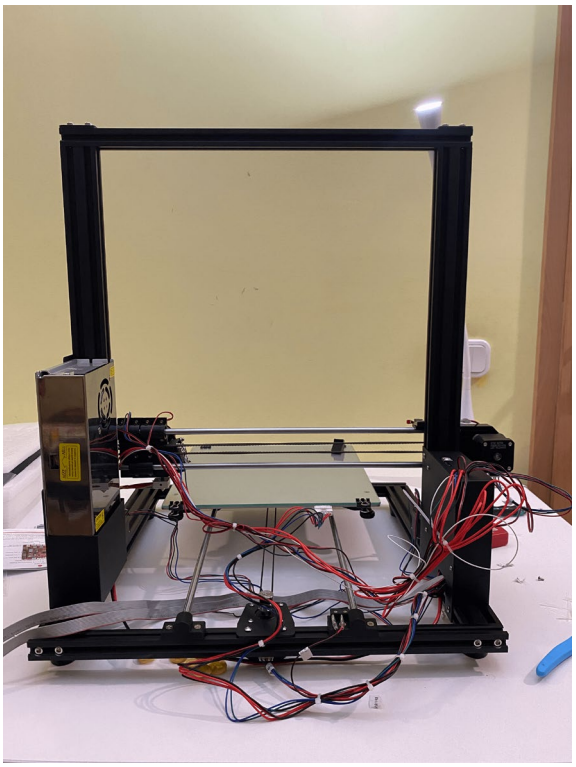
4.2.5 Vezanje napajanja in matične plošče

Za napajanje sem uporabil 24-V, 15-A in 360-W napajalnik, ki je izdelan za 3D-tiskalnike. Napajalnik sem pritrdil na levo strani osi z s pomočjo aluminijastega ohišja in vijakov ter t-matic. Na desno stran osi z sem pritrdil matično ploščo Anet A8. Proizvajalec matičnih plošč Anet je eden izmed vodilnih podjetji, ki se osredotočajo na modularne 3D-tiskalnike. V podjetju se namreč zavedajo, da sta nadgradnja in modularnost tiskalnika izjemnega pomena. Najprej sem napajanje povezal na matično ploščo. Nato sem povezal vse motorje, mejna stikala, napajanja grelne glave in postelje oziroma osnovne plošče, senzorje temperature, ventilatorjev in zaslon. Potem ko sem napeljal vse potrebne kable in napajanja, sem jih uredil s pomočjo vezic, da ne bi bile v napoto pri tiskanju. Pokril sem še matično ploščo, da sem jo zaščitil pred prahom in morebitnimi nevarnostnimi, ki bi lahko povzročile kratek stik ali podobno okvaro. Cena matične plošče je bila 27,70 EUR.



Slika 19: Matična plošča 3D-tiskalnika

Vir: (https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1PvmuXCR8LKJjSsppq6xhtVXaz.jpg)



Slika 20: Vezanje elektronike na 3D-tiskalniku

Vir: (Lastni vir)



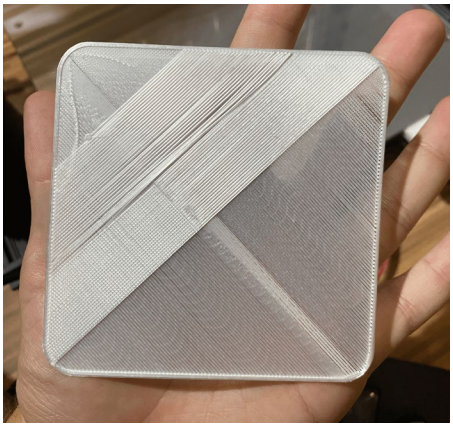
Slika 21: Priklop elektro motorjev, senzorjev, grelne glave, postelje in drugih komponent

Vir: (Lastni vir)

4.2.6 Zaključek sestave in težave

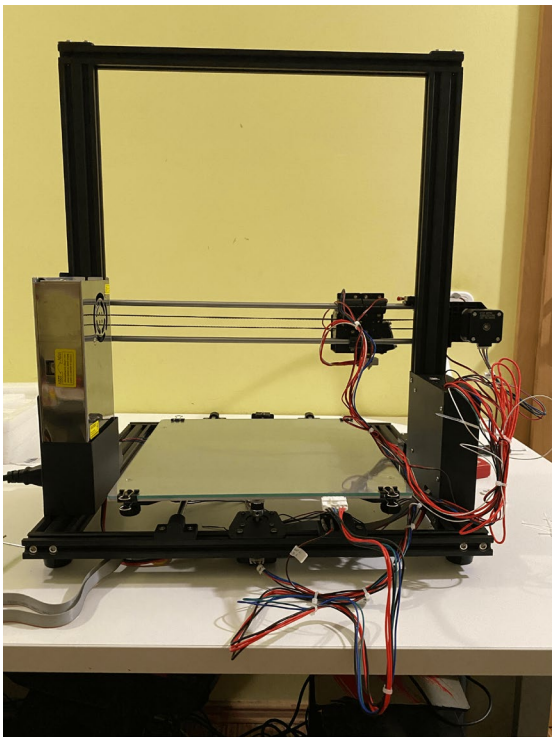
Po vezanju matične plošče in napajalnika sem preveril, ali so vsi deli fiksno nameščeni. Zaradi varnosti in morebitnih težav sem pred prvim vklopom oziroma testom preveril razdalje vseh osi in mejnih stikal ter položaj grelne glave in senzorjev. Po prvem vklopu se je tiskalnik uspešno vklopil in preveril vsa mejna stikala. Bile pa so prisotne tudi težave. Prva se je pojavila z osnovno ploščo oziroma posteljo tiskalnika, saj je bila na določenih straneh prenizko. S pomočjo plastičnih vijakov sem reguliral višino, ampak še vedno ni bila dovoljšnja, saj mora biti razdalja med konico grelne glave in postelje debelina enega papirja oziroma 0,08 mm. Dodatno sem moral znižati mejno stikalo, ki je bilo na osi z, da sem dobil razdaljo. Po ponovnem zagonu tiskalnika se je glava tiskalnika postavila pravilno. Ponovno sem preveril vse motorje, grelnike in senzorje, saj pri napačni vezavi obstaja nevarnost požara. Po dodatnem testu sem preizkusil, ali se postelja tiskalnika in konica pravilno segrevata. Konico sem segrel na 120 °C, posteljo na 60 °C. Pri doseženi temperaturi nisem zasledil nobenih napak, zato sem v grelno glavo naložil filament in ga nekaj poskusno natisnil. Filament je šel skozi grelno glavo brez težav. Odločil sem se natisniti testno kocko, pri kateri se je izkazalo, da postelja tiskalnika še vedno ni bila pravilno poravnana, saj so bile glede na tisk nekatere strani višje oziroma nižje

od drugih. Še enkrat sem preveril vse strani postelje in jih poskušal natančneje nastaviti. Poskusil sem še enkrat natisniti enako kocko in izkazalo se je, da so bile pozneje stranice pravilno in enakomerno nastavljene. Po prestanih vseh testih sem vedel, da sem uspešno sestavil 3D-tiskalnik. Dokazal sem, da je strošek tiskalnika, ki sem ga sestavil, manjši kot strošek tiskalnika na trgu, ki ponuja enake oziroma celo nekoliko slabše komponente. Skupna cena vseh komponent je bila 210,88 EUR. Tiskalnik s podobnimi komponentami bi stal več kot 300 EUR.



Slika 22: Nepopolni prvi test tiskalnika zaradi neporavnane postelje tiskalnika

Vir: (Lastni vir)



Slika 23: Sestavljeni 3D-tiskalnik

Vir: (Lastni vir)

5 TISKANJE IZBOLJŠAV IN IZBOLJŠEVANJE 3D-TISKALNIKA

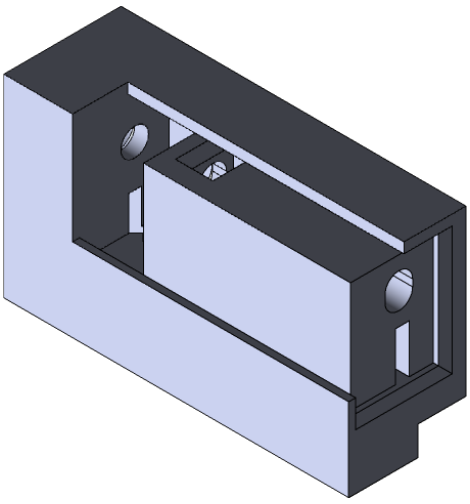
Na sestavljenem tiskalniku lahko natisnemo takojšne izboljšave, s katerimi bo priprava na tisk olajšana in kakovost tiska izboljšana. Nekatere osnovne sestavne dele tiskalnika sem natisnil na svojem starem tiskalniku. Tako sem prihrani denar in pozneje lahko kupil boljše komponente, od tistih, ki sem jih sprva načrtoval nabaviti. Tiskalnik, ki sem ga sestavil, je popolnoma modularen in ga lahko nadgrajujem po potrebi. Če bi potreboval večjo podlogo za tiskanje, bi lahko kupil in izmenjal osnovna vodila, profile in grelno posteljo ter tako povečal dolžino, širino in višino končnega izdelka.

5.1 Nadgradnje tiskalnika

Poznamo več vrst nadgradenj pri 3D-tiskalniku in jih delimo v več kategorij.

5.1.1 Zmogljivost

Ob tiskanju več izdelkov sem ugotovil, da je zategovanje pasu x preslabo, zato sem se odločil natisniti izboljšavo, ki je učinkovitejša in boljša. Uporabil sem CAD-model, ki je bil brezplačno dostopen na spletu, in ga pozneje zamenjal z obstoječim. Ugotovil, da sem z menjavo pridobil večjo natančnost osi x in da se je zato kakovost končnega izdelka izboljšala, saj je imel manj deformacij zaradi boljšega zategovanja pasu.



Slika 24: Izboljšava za zategovanje pasu x

Vir: (https://d2t1xqejof9utc.cloudfront.net/screenshots/pics/5247c96129be64925d2970df620c2af8/large.png)

5.1.2 Lažja uporaba in priprava

Za lažjo uporabo in pripravo 3D-tiskalnika na tisk in zaradi predhodnih težav z nastavitvijo grelne postelje sem se odločil natisniti izboljšavo, ki mi bo pomagala pri tem. Odločil sem se natisniti večje vijake, ki mi bodo pomagali pri ravnanju postelje. Trenutni so bili majhni, zato so ob najmanjši regulaciji nastali večji premiki oziroma večje razlike. Natisnil sem večje vijake in z njimi je nastavljanje postelje lažje in natančnejše. Natisnil sem jih s črnim filamentom PLA, ki sem ga imel na voljo. Po končanem tiskanju sem jih zamenjal s prvotnimi in tako nadgradil oziroma si olajšal pripravo postelje 3D-tiskalnika. Ker so ti vijaki oziroma gumbi večji, so prijaznejši in preprostejši za uporabo, saj se jih da bolje nastavljati.

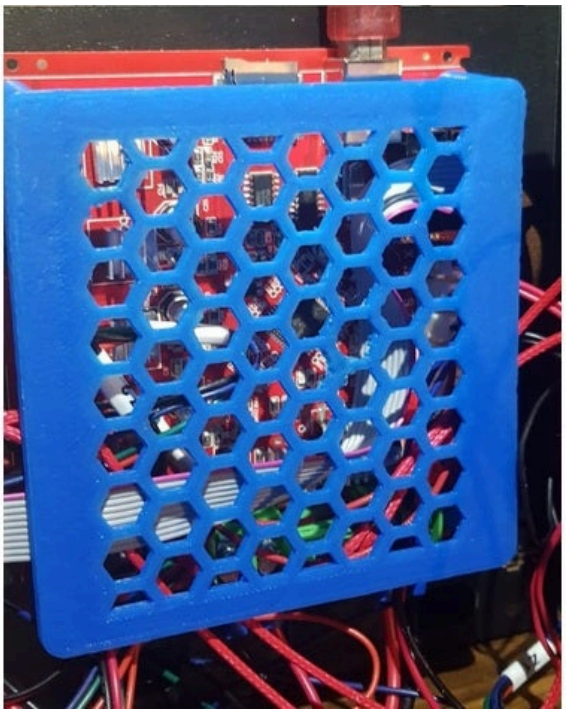


Slika 25: Natisnjene izboljšave za natančnejše nastavljanje postelje

Vir: (Lastni vir)

5.1.3 Videz tiskalnika

Pri 3D-tisku skorajda ni meja glede kozmetičnih nadgradenj oziroma izboljšav, saj vsak sestavni del obstaja v CAD-modelu, ki ga lahko natisnemo z drugim filamentom oziroma barvo, in tako izboljšamo videz tiskalnika. Za kozmetično nadgradnjo sem natisnil ohišje za matično ploščo Anet z modrim filamentom PLA. Model je bil prosto dostopen na spletni strani Thingiverse.com, na kateri lahko vsakdo deli lasten 3D-model, prav tako ga lahko tudi vsakdo prenese ter uporablja, ne da bi pri tem imel kakršnekoli stroške.



Slika 26: Natisnjeno ohišje za matično ploščo

Vir: (Lastni vir)

5.1.4 Strojna oprema

Pri 3D-tiskalniku lahko nadgradimo matično ploščo. Nadgradimo jo lahko s posebnimi različicami strojno-programske opreme, ki namestijo izboljšave. Na spletu sem zasledil izboljšavo za premik osi z. Ker sem imel vedno težave z osjo z in z nastavitvijo višine, sem se odločil nadgradnjo uporabiti. Nadgradnja je bila pri komunikaciji oziroma pri pošiljanju ukazov motorjem za os z. Nadgradnjo sem namestil s pomočjo vhoda USB in novejše različice sistema Merlin, ki ga uporablja tiskalnik. Strojno-programska oprema je nadgradnja za čipe, ki podpirajo samo branje in ne zapisovanja podatkov. Pri nadgradnji moramo biti zelo pozorni, da ne nastanejo napake oziroma da se naprava ne izklopi, saj lahko prekinemo zapis novih podatkov, zato jih čipi pozneje ne zmorejo prebrati. Zato smo nato prisiljeni kupiti novo ploščo oziroma – če imamo znanje – namestiti nove čipe na matično ploščo. Strojno-programsko opremo sem namestil brez težav, po namestitvi sem opazil boljše ravnanje oziroma kalibriranje osi z.

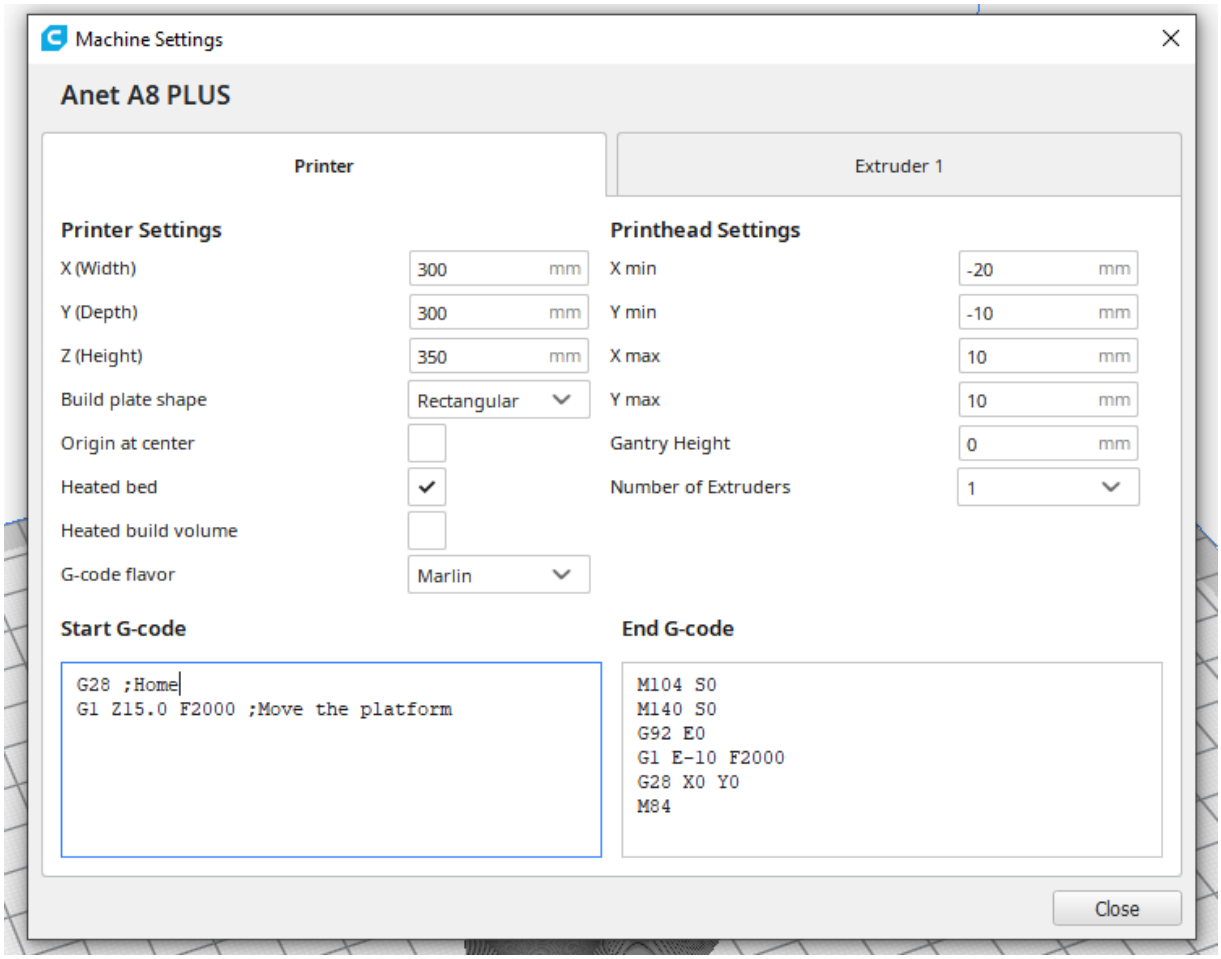
5.2 Nakupi izboljšav

3D-tiskalnik je modularni in ima veliko možnosti za nadgradnje. Te težko izvedemo pri serijsko izdelanih tiskalnikih. Pri modularnem tiskalniku je mogoče zamenjati vse sestavne dele, le da

moramo pogosto menjati več delov, če želimo nadgraditi le eno specifikacijo. Primer tega je nadgradnja površine tiska. Pri tej nadgradnji bi potreboval daljše aluminijaste profile, daljša vodila, daljše pasove za motorje in večjo grelno posteljo. Potrebna bi bila menjava veliko delov, rezultat bi bila večja površina tiskanja. Pri serijskem modelu tega ne bi bilo mogoče storiti, saj so osi in profili fiksni. Potreben bi bil nakup celotnega novega serijskega modela, ki pa je dražji od osnovnega, saj ponuja večjo površino. Modularni tiskalnik omogoča tako nadgradnjo, zato ni potrebe po nakupu novega tiskalnika. Na tak način prihranimo veliko denarja in tudi prostora, saj ne potrebujemo dodatnega mesta za večji tiskalnik. Pogosta izboljšava je tudi nadgradnja matične plošče in zaslona, saj lahko za zaslon uporabimo Arduino ali Raspberry Pi. Sistema sta odprtokodna in prilagodljiva, zato lahko 3D-tiskalnik popolnoma prilagodimo svojim potrebam. S to nadgradnjo lahko pozneje tiskamo tudi na daljavo oziroma imamo boljši pregled nad vsemi informacijami med tiskom. Pri serijsko izdelanih tiskalnikih to ni mogoče, saj ima vsak proizvajalec lastno programsko opremo, ki je strogo varovana in omejena.

6 TISKANJE IZDELKA

Preden začnemo tiskati, moramo najti model, ki ga želimo natisniti. Veliko modelov je na voljo na spletu in so brezplačni. Za primer tiskanja sem izbral figuro, ki sem jo našel na spletni strani Thingiverse.com. Model je treba prenesti in nato naložiti v programsko opremo, s katero pripravimo vse za tisk. Uporabil se program Ultimaker Cura, kamor sem prenesel model s spleta. Preden naložimo model, je treba v programski opremi nastaviti specifikacije tiskalnika, ki ga imamo. Nastavimo širino grelne glave, ki jo uporabljamo, hitrost tiskanja, hitrost filamenta skozi grelno glavo, velikost površine in format datoteke, ki jo tiskalnik prebere, preden začne tiskati.

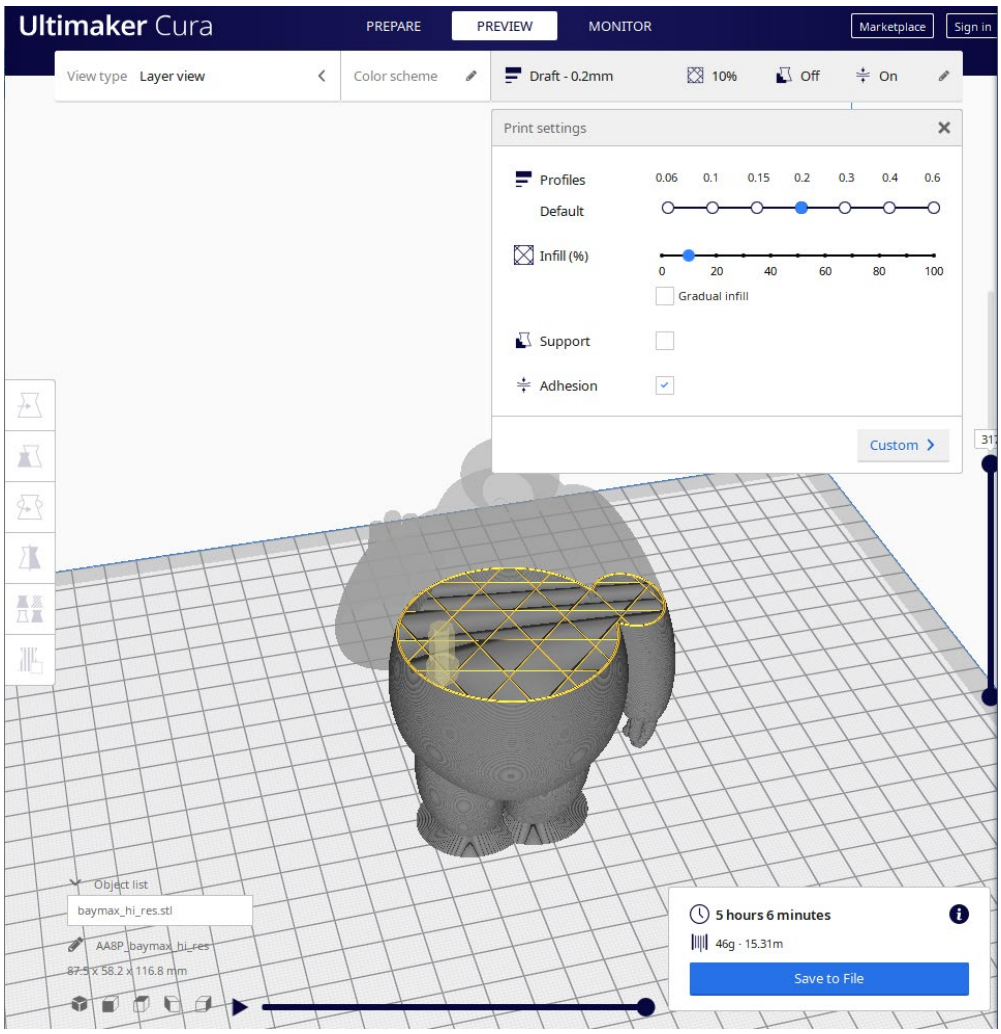


Slika 27: Nastavitev profila tiskalnika v programu Ultimaker Cura

Vir: (Lastni vir)

Nastavitve lahko pozneje shranimo, da jih ob naslednjem tiskanju ni treba ponovno nastavljati. Nato naložimo model, ki smo ga prenesli s spleta. Potem ko je model naložen, lahko izvedemo dodatne nastavitve, kot so debelina filamenta, kolikšen delež modela naj bo zapolnjen (večji

kot je delež zapolnjenosti, manj je trikotnikov v notranjosti modela), potrebne podpore pri izdelku, ki so namenjene stabilnosti in orientaciji oziroma postavitvi modela.



Slika 28: Prikaz in predogled razreza modela

Vir: (Lastni vir)

Po izvedbi nastavitev, ki jih želimo, programska oprema razreže model in na zaslonu se prikaže videz modela med tiskom in po tisku. Izračuna se tudi približni čas tiskanja izdelek ob izbranih nastavitvah in koliko filamenta se bo porabilo. Po pregledu lahko shranimo kodo, ki jo bo pozneje tiskalnik prebral. Kodo nato prenesemo na tiskalnik s pomočjo spominske kartice ali ključa USB.

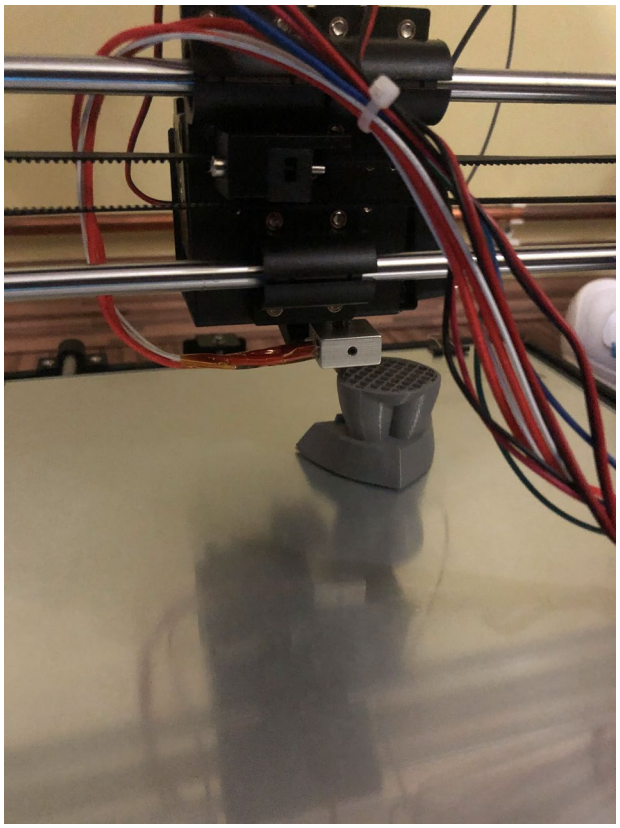
6.1 Priprava pred tiskanjem

Potem ko sem si pripravili model na računalniku, je bilo treba pripraviti 3D-tiskalnik na tiskanje. Preden začnemo tiskati, je treba preveriti višino grelne postelje na vseh robovih, da med tiskom ne nastanejo deformacije. Ko je postelja poravnana, se lotimo predgretja grelne

postelje oziroma plošče in grelne glave tiskalnika. Grelno posteljo in glavo segrejemo na temperaturo, primerno filamentu, ki ga uporabimo za tisk. Jaz sem za tiskanje uporabil PLA, zato sem posteljo segrel na 50 °C, grelno glavo pa na 210 °C. Ko dosežemo ciljno temperaturo, v grelno glavo naložimo filament. Nato kalibriramo osi tiskalnika, tako da se grelna glava postavi v točko 0. Ko opravimo vse te korake, lahko na tiskalnik naložimo model, ki smo ga pripravili na računalniku, in ga damo tiskati.

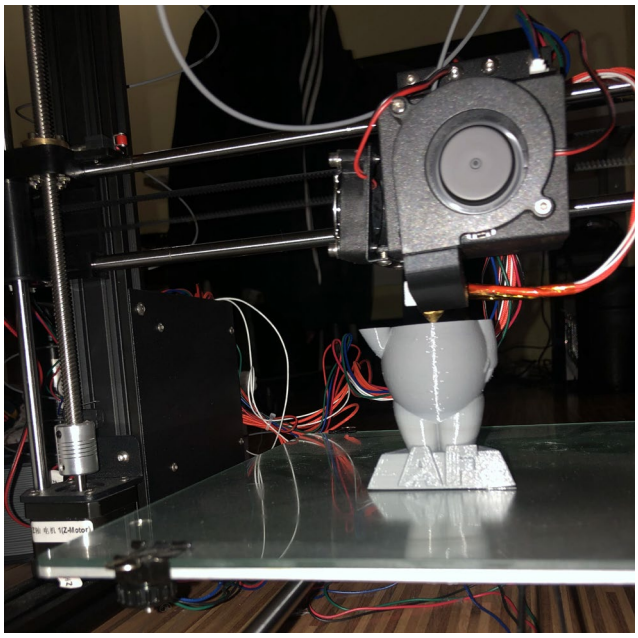
6.2 Tiskanje

Ko začnemo tiskati, je priporočljivo opazovati tiskalnik, saj takrat nastane največ napak oziroma deformacij zaradi morebitne slabe priprave oziroma nastavitve pred tiskanjem. Pomembna je prva ura tiskanja; če takrat ni napak, je velika verjetnost, da se ne bodo zgodile pozneje. Med tiskanjem ni bilo težav, napake se niso pojavile.



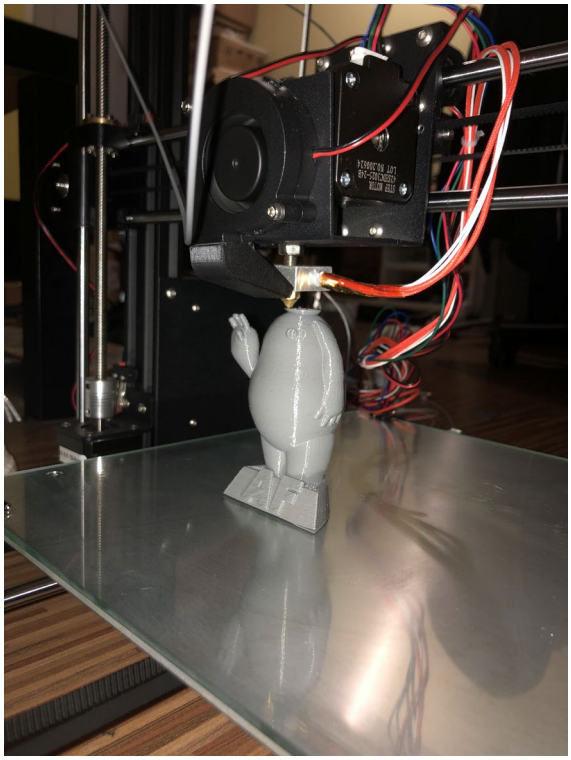
Slika 29: Fotografija tiskanja izdelka po eni uri

Vir: (Lastni vir)



Slika 30: Fotografija tiskanja izdelka po dveh urah in pol

Vir: (Lastni vir)

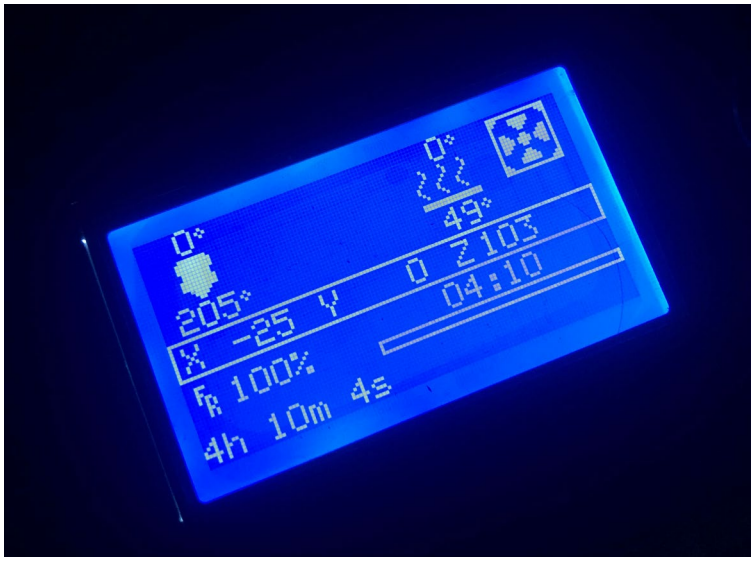


Slika 31: Fotografija tiskanja izdelka po treh urah in pol

Vir: (Lastni vir)

6.3 Končni izdelek

Tiskalnik je model, ki sem ga prenesel s spleta, z nastavitvami, narejenimi v programski opremi, tiskal 4 ure in 10 minut. Porabil sem 46 g oziroma 15 m filamenta.



Slika 32: Končni čas tiskanja, prikazan na LCD-zaslonu

Vir: (Lastni vir)



Slika 33: Natisnjeni končni izdelek

Vir: (Lastni vir)

7 SKLEP

V diplomskem delu sem hotel dokazati, da je mogoče izdelati modularni 3D-tiskalnik, ki ga je pozneje mogoče izboljšati z dodajanjem posameznih komponent. Odločil sem se izdelati popolnoma modularni tiskalnik, saj ima več prednosti kot serijsko izdelan tiskalnik. Modularni tiskalnik lahko pozneje po potrebi nadgradimo in se izognemo nakupu novega, kar pa v primeru serijsko izdelanega tiskalnika ni mogoče. Pri tem sem postavil tri hipoteze.

Prva hipoteza, ki sem si jo postavil, je, da lahko 3D-tiskalnik izdelamo sami. Hipotezo sem potrdil, potem ko sem sestavil 3D-tiskalnika. Preden sem začel raziskovati komponente, sem se dodatno poučil o splošni tematiki 3D-tiskanja in tiskalnikov in se na osnovi raziskovanja odločil, kakšen tiskalnik bom izdelal in kaj bom potreboval za njegovo izdelavo. Pri raziskovanju komponent sem uporabljal metode analize in sinteze. Raziskal sem trenutno ponudbo 3D-tiskalnikov na trgu in pridobil informacije o njihovih komponentah. Po raziskovanju komponent sem po spletu iskal cenovno ugodne, dobre in zanesljive komponente, ki sem jih pozneje uporabil za sestavo. Določene komponente sem predhodno natisnil z drugim tiskalnikom in prihranil nekaj denarja. Zato sem ga lahko namenil za nakup boljših komponent, na primer za nakup matične plošče tiskalnika. Ko sem imel vse komponente, sem se lotil sestavljanja tiskalnika. Sestavljanje je bilo sprva zapleteno, saj nisem vedel, kako začeti. Po načrtu sestave sem začel sestavljati in tiskalnik končal v osmih urah. Nato sem opazil prve napake. Te sem takoj izboljšal in popravil. Sledil je prvi test tiskanja, ki je bil uspešen.

Naslednja hipoteza se je glasila, da lahko sami natisnemo dele za nadgradnjo izdelanega 3D-tiskalnika. Potem ko sem tiskalnik izdelal, sem raziskoval možne nadgradnje komponent, ki so mi povzročale težave pri prvem testu tiskanja. Ugotovil sem, da poznamo več vrst nadgradenj za tiskalnike. Odločil sem natisniti nadgradnjo, ki bo pripomogla k lažji nastavitvi postelje 3D-tiskalnika. Natisnil sem večje vijake, ki omogočajo natančnejšo nastavitev višine v vsakem robu postelje. Nadgradnjo sem zamenjal s prvotno naročenimi vijaki in jo preizkusil pri tisku naslednje, kozmetične nadgradnje. Pri nastavitvi višine postelje tokrat ni bilo težav zaradi natisnjene komponente, ki je olajšala nastavitev. Tako sem dokazal, da je možno natisniti in izboljšati tiskalnik brez dodatnih večjih stroškov in s tem tudi potrdil drugo hipotezo. Po potrebi nadgradnje lahko kupim nove in boljše sestavne dele, s katerimi lahko izboljšam oziroma posodobim tiskalnik. To pri serijski izdelavi ni mogoče, saj bi bilo treba kupiti nov model tiskalnika.

Z zadnjo, tretjo hipotezo sem hotel potrditi, da je neserijska izdelava 3D-tiskalnika cenovno ugodna. Tudi to hipotezo sem potrdil, potem ko sem izbral in naročil osnovne sestavne dele. Pri izbiranju komponent sem ugotovil, da so cene komponent vedno cenejše zaradi izjemno hitrega razvoja tehnologije v zadnjih letih. Večino komponente sem naročil iz tujine, saj je slovenski trg 3D-tiskalnikov še vedno zelo majhen, zato so cene temu primerne. Edina slaba stran nakupa iz tujine je bil podaljšan čas transporta komponent zaradi pandemije covida-19.

S sestavo 3D tiskalnika sem dokazal, da je mogoče samostojno izdelati modularni 3D-tiskalnik, ki je cenejši kot serijsko izdelan tiskalnik. Dosegel sem vse namene in cilje, ki sem si jih zadal v uvodu. Z uporabo raziskovalnih metod sem si pomagal pri proučevanju 3D tiskalnikov in pri izbiri cenovno ugodnih in za izdelavo ustreznih delov. Kot sem že poudaril, sem v diplomskem delu potrdil vse tri hipoteze, ki sem si jih zadal v uvodu. Menim, da sem z diplomskim delom dokazal, da lahko tiskalnik izdelamo sami, natisnemo in uporabimo nadgradnje ter da je modularna konstrukcija boljša od serijske, saj lahko nadgrajujemo tiskalnik po potrebi.

Menim, da bo v prihodnjih letih zaradi nadaljnjega posodobljanja in neprestanega tehnološkega napredka 3D-tiskanje še dodatno pospešeno in še bolj priljubljeno. To lahko opazimo že danes pri mnogih vplivnih korporacijah. Ena izmed teh je na primer podjetje Adidas, ki s pomočjo 3D-tiskanja izdeluje napredne podplate za športne copate. S tehnologijo 3D-tiska lahko ustvarijo produkt, ki daje športniku najboljši povratek energije pri teku. S tega vidika lahko še posebej poudarim uporabnost 3D-tehnologije in bližanje te prek potrošniških navad v posameznikovo vsakdanjo uporabo. S tem lahko ugotovimo tudi, kako nam ta tehnologija omogoča boljše in novejše rešitve v veliko različnih panogah. Hkrati pa je 3D-tehnologija prehod na bolj ekonomično in ekološko rešitev izdelave tridimenzionalnih izdelkov.

8 VIRI IN LITERATURA

3D Insider. (Unknown). *The 9 Different Types of 3D Printers.* Najdeno na spletnem mestu: https://3dinsider.com/3d-printer-types/

All3DP. (2020). *3D Printer Filament Buyer's Guide*. Najdeno na spletnem mestu: https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/

All3DP. (2020). *Most Common 3D Printer File Formats*. Najdeno na spletnem mestu: https://all3dp.com/1/3d-printer-file-format/

All3DP. (2020). *The Types of 3D Printing Technology*. Najdeno na spletnem mestu: https://all3dp.com/1/typs-of-3d-printers-3d-printing-technology/

Bild, S. (2018). *SLA vs. PolyJet*. Najdeno na spletnem mestu: https://blog.trimech.com/sla-vs-polyjet-technology-review

Cappel, L.(2019). The Positive Effects of 3D Printing Accessibility on Society. Najdeno na spletnem mestu: https://www.machinedesign.com/3d-printing-cad/article/21837540/the-positive-effects-of-3d-printing-accessibility-on-society

Carli, L. (2016). *Osnovni principi 3D modeliranja*. Najdeno na spletnem mestu: http://matrika.fmf.uni-lj.si/letnik-3/stevilka-2/Osnovni_principi_3D_modeliranja.pdf

Gregurić, L. (2018). *History of 3D Printing: When Was 3D Printing Invented?* Najdeno na spletnem mestu: https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/

Gregurić, L. (2019). *What Is Binder Jetting? – 3D Printing Simply Explained*. Najdeno na spletnem mestu: https://all3dp.com/2/what-is-binder-jetting-3d-printing-simply-explained/

KreatorLab. (Unknown). *Kaj je G-koda?* Najdeno na spletnem mestu: https://kreatorlab.si/kaj-je-g-koda/

Krizmanić, B. (2018). *Tehnologija 3D tiskanja izdelave prototipa*. Najdeno na spletnem mestu: bb.si/sites/default/files/uploads/files/diplome/krizmanic_borut_-_diplomska_naloga.pdf

Marr, B. (2019*). Top 6 Most Amazing Ways 3D Printing Is Now Used In Practice*. Najedno na spletnem mestu: https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/12/13/top-6-most-amazing-ways-3d-printing-is-now-used-in-practice/?sh=7f0ceced1703

Ortiz, K. (2020). *Types of 3D Modeling: Which Is Best for Your Needs?* Najdeno na spletnem mestu: https://all3dp.com/2/types-of-3d-modeling/

Powell, B. (2020). *What is SLA 3D Printing?* Najdeno na spletnem mestu: https://makerfreedom.com/what-is-sla-3d-printing-pros-cons/

Sclupteo. (Unknown). *Electron Beam Melting Fabrication Process For Metal 3D Prints.* Najdeno na spletnem mestu: https://www.sculpteo.com/en/glossary/ebm-definition/

TWI. (Unknown). *What are the Advantages and Disadvantages of 3D Printing?* Najdeno na spletnem mestu: https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-3d-printing/pros-and-cons