

**VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA
MARIBOR**

POVEČANJE ZMOGLJIVOSTI 3D-TISKALNIKA

Kandidat: Mihael Namestnik Brbre

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor in predavatelj: dr. Darko Friščić, univ. dipl. gosp. inž.

Mentor v podjetju: Darko Dajčman, dipl. inž.

Lektorica: Iris Taferner, prof. slov.

Maribor, 2021

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Mihael Namestnik Brbre sem avtor diplomskega dela z naslovom Povečanje zmogljivosti 3D-tiskalnika, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Darka Friščiča, univ. dipl. gosp. inž.

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 avtorskih 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 pomoč, vodstvo in vso podporo pri izdelavi diplomskega dela. Prav tako se zahvaljujem svoji družini za podporo in lektorici Iris Taferner za lektoriranje diplomskega dela.

POVZETEK

V diplomskem delu z naslovom Povečanje zmogljivosti 3D-tiskalnika je obravnavana primerjava tovarniškega in modificiranega 3D-tiskalnika z dodeljenimi programskimi pogoji in če so pri dodelanem 3D-tiskalniku kakšne izboljšave v primerjavi s tovarniško različico.

Na začetku bo podrobno predstavljena zgodovina 3D-tiskalnikov, od kod prihaja ideja in kako je prišlo to prvih prototipnih 3D-tiskalnikov. Prav tako bom opisal osnove 3D-tiskalnikov, kaj ti sploh so in kako se splošno gledano lahko izdela model v programski opremi ter po katerih postopkih lahko virtualni 3D-model spravimo v dejanski izdelek. Poudarek bo predvsem na različnih tehnologijah 3D-tiskanja, opisu delovanja, razlikah v namenu uporabe in naknadne obdelave ter prednostih in slabostih vsake različne tehnologije. Sledi veliki nabor različnih materialov oziroma filamentov za 3D-tiskanje, opis fizikalnih značilnosti in primerne uporabe za tiskanje. Naslednje poglavje bo o prednostih in slabostih o 3D-tiskanju v industriji nasploh ter opis z vidika programske opreme za modeliranje 3D-modelov, kaj sploh je modeliranje, vrste različnih modeliranj, programskih oprem in datotečnih formatov za shranjevanje digitalnih modelov. Opredeljen bo 3D-tiskalnik, njegove tovarniške lastnosti in sposobnosti, zatem pa sledi podrobni opis izhodiščnega modela, priprav na tisk in spremljanje procesa tiskanja. Sledi poglavje o tiskanju dodatkov za 3D-tiskalnik, podrobni opis funkcionalnosti in porabljenega časa in materiala ter posamične slike modela v programski opremi in fizičnem tiskanem izdelku. Nato se bodo tiskani dodatki nameščali na osnovni 3D-tiskalnika, hkrati pa se bo začel proces tiskanja novega izhodiščnega modela pod enakimi programskimi pogoji, ki so bili prisotni pri osnovnem 3D-tiskalniku. To poglavje bo vsebovalo tudi opis efektivnosti dodatkov ter podrobni opis primerjave izhodiščnega modela med osnovnim in dodelanim 3D-tiskalnikom. Iz ekonomskega vidika bo tudi omemba faktorjev za postavitev cene končnega izdelka, kot so potrošna elektrika, cena filimenta, vključevanje cene v vzdrževanje delov 3D-tiskalnika, urna postavka in dobiček. Prisoten bo teoretičen primer postavljenе cene na dokončan izdelek.

Cilj dela je opredeliti, ali se res lahko 3D-tiskalnik izboljša samo z vidika dodajanja 3D-tiskanih kosov in ponazoriti primerjavo osnovnega ter dodelanega 3D-tiskalnika.

Ključne besede: 3D-tiskalnik, tehnologija, tiskanje, modifikacije, primerjava

ABSTRACT

Performance increase of a 3D printer

The diploma paper discusses the comparison with the pre-established software conditions between the factory and modified 3D printer and if the modified 3D printer offers any improvements.

At the start, there will be a brief overview of the history and basics of 3D-printing and the responsible people for this contribution, what a 3D printer even is and where the idea came from. Furthermore, there will also be mentioned how the first prototype of a 3D printer came into existence. After that there follows a deeper emphasis on the description and the overall advantages and disadvantages of different technologies. There'll also be a short description on a variety of different materials or so called filaments such as different plastics, nylon, ceramic, concrete and even some edible filaments just to name a few and their different physical characteristics and applicable uses, we can use for 3D printing and a quick overview of the software program aspect of making a 3D model, what even is modelling in the 3D printing world, different modelling techniques, software programs and data files for saving or sharing digital models and how we can bring this model into a real printable product. Before the process of printing and adding add-ons to the 3D-printer, I'll present the 3D printer in its factory specifications, settings and it's performance capabilities, then follows the printing of a starting point of a small standardized model of a ship for future references when compared to the spent time and filament of the same model printed on the modified 3D-printer. There'll follow a short description of every add-on piece and its effectiveness for the modified 3D printer, which will later be applied and print the starting point model with the same preset software conditions like on the model printed on the factory 3D printer. From an economic point of view there will also be mentioned a price on a finished product, with the variety of factors in mind like cost of electricity, price of the filament, maintenance of 3D-printer parts, hourly rate and profit. Based on this factors, there will also be a theoretical example mentioned on the topics of pricing a finished product. The goal of my diploma paper is to define, can a 3D printer really be improved upon just from the perspective of adding 3D printable add-ons on a factory 3D printer, and the comparison in working conditions and finished products between the factory and modified 3D printer.

Keywords: 3D-printer, technology, printing, modifications, comparison

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	6
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	6
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	7
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	8
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	8
2	ZGODOVINA 3D-TISKALNIKOV	9
2.1	ZAČETEK 3D-TISKALNIKOV	9
3	OSNOVE 3D-TISKANJA.....	10
3.1	KAJ JE 3D-TISKANJE?	10
3.2	VRSTE 3D-TISKALNIH TEHNOLOGIJ	11
3.2.1	<i>Stereolitografija</i>	11
3.2.2	<i>Selektivno lasersko sintranje</i>	14
3.2.3	<i>Ciljno slojno nanašanje</i>	17
3.2.4	<i>Fotopolimerno brizganje – Polyjet</i>	21
3.2.5	<i>Digitalno svetlobno procesiranje</i>	23
3.2.6	<i>Selektivno lasersko taljenje</i>	25
3.2.7	<i>Taljenje z elektronskimi žarki</i>	27
3.3	MATERIALI IN FILAMENTI ZA 3D-TISKANJE	29
3.3.1	<i>Biopolimer polilaktična kislina</i>	29
3.3.2	<i>Termoplastični poliuretan</i>	29
3.3.3	<i>Termoplastični elastomer</i>	30
3.3.4	<i>Sintetična smola</i>	30
3.3.5	<i>Akrilonitril butadien stiren</i>	30
3.3.6	<i>Polietilen tereftalat</i>	31
3.3.7	<i>Najlon</i>	31
3.3.8	<i>Keramika</i>	31
3.3.9	<i>Beton</i>	32
3.3.10	<i>Živila</i>	32
3.4	PREDNOSTI IN SLABOSTI 3D-TISKANJA	33
3.4.1	<i>Prednosti</i>	33
3.4.2	<i>Slabosti</i>	36
3.5	3D-MODELIRANJE.....	37
3.5.1	<i>Vrste 3D-modeliranja</i>	37

3.5.2	<i>Programska oprema</i>	38
3.5.3	<i>Vrste datotečnih formatov za shranjevanje modelov</i>	39
4	ANYCUBIC I3 MEGA	41
5	IZHODIŠČNI MODEL – 3DBENCHY	43
5.1	TISK MODELA 3DBENCHY Z OSNOVNIM ANYCUBIC I3 MEGA	44
6	TISKANJE DODATKOV ZA ANYCUBIC I3 MEGA	47
6.1	DVOSTRANSKI DOVOD ZRAKA ZA OHLAJEVANJE ŠOBE IN IZDELKA	48
6.2	STABILIZACIJSKA PODPORA ZA DROG NA Z OSI	49
6.3	VENTIL ZA ROČNO DOVAJANJE FILAMENTA	51
6.4	PRAŠNI FILTER ZA FILAMENT	52
6.5	POZICIJSKA PLOŠČA ZA FILAMENTNI SENZOR	53
6.6	ZAŠČITA IN POKRIVALO ZA KABLE NA EKSTRUDERU	54
6.7	PRSTNA ROČKA ZA PREMIKANJE DELOVNE PLOŠČE	55
6.8	NAKLONSKI DOVOD KABLOV NA EKSTRUDERU	56
6.9	TISK MODELA 3DBENCHY Z MODIFICIRANIM ANYCUBIC I3 MEGA	57
7	PRIMERJAVA OSNOVNEGA IN PREDELANEGA ANYCUBIC I3 MEGA	58
8	EKONOMSKI VIDIK 3D-TISKANJA	60
9	SKLEP	62
10	VIRI	64

KAZALO SLIK

SLIKA 1: CHARLESOV HULLOV 3D-TISKALNIK	10
SLIKA 2: SHEMA SLA-TISKALNIKA	13
SLIKA 3: SOČASEN TISK PODPOR SLA	13
SLIKA 4: SHEMA SLS-TISKALNIKA	16
SLIKA 5: KOMERICALNI PROSTOČASNI FDM-TISKALNIK (PRUSA I3 MK3S+)	19
SLIKA 6: SHEMA FFM-TISKALNIKA Z DVEMA EKSTRIDIRNIMA GLAVAMA	20
SLIKA 7: PRIKAZ DELOVANJA TEHNOLOGIJE POLYJET	22
SLIKA 8: DLP-TEHNOLOGIJA	24
SLIKA 9: ANYCUBIC PHOTON S	24
SLIKA 10: INDUSTRIALSKI SLM-TISKALNIKI	26
SLIKA 12: EBM-TISKALNIK	28
SLIKA 17: 3D-TISKAN SLADKOR RAZLICNIH GEOMETRIJSKIH OBLIK	32

SLIKA 18: RELATIVITY SPACE 3D-TISKANJE VESOLJSKE RAKETE	35
SLIKA 19: MODIFICIRANJE G-KODE V PROGRAMU ULTIMAKER CURA	40
SLIKA 20: OSNOVNI ANYCUBIC I3 MEGA.....	41
SLIKA 21: 3DBENCHY	43
SLIKA 22: PREDOGLED MODELA 3DBENCHY V PROGRAMU ULTIMAKER CURA	44
SLIKA 23: SEGREVANJE EKSTRUADERJA IN DELOVNE PLOŠČE, SPREMLJANJE PREKO USB-KABLA V PROGRAMU ULTIMAKER CURA.....	45
SLIKA 24: FILAMENT ECOPLA ČRNE BARVE OD PODJETJA 3DJAKE	45
SLIKA 25: 3DBENCHY PRI 69 % OPRAVLJENOSTI	46
SLIKA 26: KONČNI MODEL 3DBENCHY, NAREJEN Z ANYCUBIC I3 MEGA.....	46
SLIKA 27: INFORMACIJE O I3 MEGA, PROGRAM ZA STROJNO OPREMO – VERZIJA 1.1.0	47
SLIKA 28: 3D-MODEL DVOSTRANSKEGA DOVODA ZA ZRAK V PROGRAMU ULTIMAKER CURA	48
SLIKA 29: 3D-TISKAN MODEL DVOSTRANSKEGA DOVODA ZA ZRAK.....	48
SLIKA 30: 3D-MODEL STABILIZACIJSKE PODPORE DROGA NA Z OSI V PROGRAMU ULTIMAKER CURA	49
SLIKA 31: 3D-TISKAN MODEL STABILIZACIJSKE PODPORE ZA DROG NA Z OSI	49
SLIKA 32: DESNI DROG PO Z OSI.....	50
SLIKA 33: DODANA STABILIZACIJSKA PODPORA DESNEGA DROGA.....	50
SLIKA 34: 3D-MODEL VENTILA ZA ROČNO DOVAJANJE FILAMENTA V PROGRAMU ULTIMAKER CURA	51
SLIKA 35: 3D-TISKAN MODEL VENTILA ZA ROČNO DOVAJANJE FILAMENTA.....	51
SLIKA 36: 3D-MODEL PRAŠNEGA FILTRA ZA FILAMENT V PROGRAMU ULTIMAKER CURA	52
SLIKA 37: 3D-TISKAN MODEL PRAŠNEGA FILTRA ZA FILAMENT	52
SLIKA 38: PRIKAZ DELOVANJA PRAŠNEGA FILTRA ZA FILAMENT	52
SLIKA 39: 3D-MODEL POZICIJSKE PLOŠČE ZA FILAMENTNI SENZOR V PROGRAMU ULTIMAKER CURA.....	53
SLIKA 40: 3D-TISKAN MODEL POZICIJSKE PLOŠČE ZA FILAMENTNI SENZOR	53
SLIKA 41: 3D-MODEL ZAŠČITE OZ. POKRIVALA ZA KABLE NA EKSTRUADERJU V PROGRAMU ULTIMAKER CURA	54
SLIKA 42: 3D-TISKAN MODEL ZAŠČITE OZ. POKRIVALA ZA KABLE NA EKSTRUADERJU.....	54
SLIKA 43: 3D-MODEL PRSTNE ROČKE ZA PREMIKANJE DELOVNE PLOŠČE V PROGRAMU ULTIMAKER CURA.....	55
SLIKA 44: 3D-TISKAN MODEL PRSTNE ROČKE ZA PREMIKANJE DELOVNE PLOŠČE	55
SLIKA 45: 3D-MODEL NAKLONSKEGA DOVODA KABLOV NA EKSTUDER V PROGRAMU ULTIMAKER CURA.....	56
SLIKA 46: 3D-TISKAN MODEL NAKLONSKEGA DOVODA KABLOV NA EKSTUDER	56
SLIKA 47: TISKANJE LADJICE 3DBENCHY S PREDELANIM ANYCUBIC I3 MEGA	57
SLIKA 48: MODEL 3DBENCHY PRI 86 % OPRAVLJENOSTI NA PREDELANIM ANYCUBIC I3 MEGA	57
SLIKA 49: LEVO OSNOVNI, DESNO PREDELANI 3D-TISKALNIK (DIAGONALNI POGLED).....	58
SLIKA 50: LEVO OSNOVNI, DESNO PREDELANI 3D-TISKALNIK (SPREDNJI POGLED)	59
SLIKA 51: LEVO OSNOVNI, DESNO PREDELANI 3D-TISKALNIK (ZADNJI POGLED).....	59
SLIKA 52: PODATKI ZA DOLOČANJE CENE – VENTIL ZA ROČNO OBRAČANJE FILAMENTA.....	61

KAZALO TABEL

TABELA 1: SPECIFIKACIJE 3D-TISKALNIKA ANYCUBIC I3 MEGA	42
TABELA 2: NASTAVITVE TISKANJA MODELA 3DBENCHY	44

1 UVOD

3D-tisk je do sedaj dokaj znana tehnologija, ki sega v pozna 60. leta 20. stoletja. Danes je tako obširno, da ima 3D-tiskanje pomemben vpliv v skoraj vsakem koraku našega življenja, ponekod očiten, ponekod pa čisto nepričakovani. Ta vrsta tehnologije odklepa nove panoge služb in odgovornosti ter novih produktov, v preteklosti izdelanih na različno nemogoče načine. Že danes lahko 3D-tiskanje srečamo v raznoraznih panogah znanosti, v medicini za tisk določenih tkiv in organov, v geografskem urbanizmu za tisk reliefa mest in pokrajin, v živilski industriji za tisk hrane, kot sta pleskavica in čokolada, v zdravstvu za tisk zobnih aparatov, zobovja ali celo implantatov, v farmaciji za tisk zdravil, v modnem oblikovanju za izdelavo dodatkov, v vesoljski, letalski in avtomobilski industriji za izdelavo karoserij, delov motorjev, strojništva za izdelavo orodij, industrijskih delov itd.

1.1 *Opis področja in opredelitev problema*

V svojem diplomskem delu sem si izbral 3D-tiskanje kot področje raziskovanja, nameravam pa raziskati, ali lahko razmerje med kakovostjo in hitrostjo tiskanja izdelkov PLA-filamenta določim, kjer se še ekonomsko in kakovostno gledano obdelovanec izkazuje kot soliden izdelek. Med določenim nastavljenim razmerjem oz. fino točko med kakovostjo in hitrostjo tiskanja se najde prihranjen čas, ki bi bil zapravljen za nekoliko več dela, materiala in energije.

S tega področja sledi naknadno vprašanje, ali bi dodajanje 3D-tiskanih mehaničnih delov za 3D-tiskalnik doprineslo kakšno izboljšavo na katerikoli značilnosti prilagajanja 3D-tiskalnika, kot so hitrost, resolucija oz. kakovost tiska, stabilizacija. Pri tem delu se bi sam proces tiskanja lahko ne le samo izboljšal na samem izdelanem kosu, temveč tudi doprinesel daljšo življenjsko dobo določenih komponent 3D-tiskalnika.

Za konec pa še s področja ekonomije, kako določiti ceno končnih izdelkov s parametri, kot so potrošna elektrika, cena filimenta, vzdrževanje delov 3D-tiskalnika, urna postavka in profit. Ta vprašanja so mi pritegnila pozornost, ker se smatrajo kot temeljna vprašanja za vodenje uspešnega, kakovostnega in profitabilnega začetnega 3D-tisk posla s samo enim 3D-tiskalnikom, iz katerega lahko izkoristimo dodatno izboljšavo z dodatnimi prilagoditvami.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela je pokazati in dokazati, da se lahko 3D-tiskalnik, tisk in proces tiskanja na splošno izboljšajo le z dodajanjem 3D-tiskanih komponent.

Pri določenih trditvah bo treba poiskati mejo učinkovitosti, kjer se hipoteza diplomskega dela lahko potrdi, oziroma če ta meja ne obstaja ali ni zadovoljiv rezultat, se bo smatrala kot zavrnjena hipoteza.

Hipoteze/trditve diplomskega dela:

- S povečano hitrostjo tiskalnika ne vplivamo na kakovost izdelka.

Pri tej hipotezi želim poiskati točko oziroma mejo, pri kateri prilagajanje hitrosti na višjo nastavitev 3D-tiskanja spremeni kakovost natisnjenega izdelka.

- Če povečamo hitrost tiskanja, bomo lahko hitreje in ceneje dali izdelek na trg.

Pri tej trditvi me zanima, kako veliko vlogo igra hitrost izdelanega tiska na trgu in če lahko na podlagi tega teoretično prehitimo konkurenco v hitrosti cene in dobavljivosti.

- S povečano hitrostjo tiskanja prihranimo čas in ne vplivamo na kakovost tiskanja in ne na lastnosti končnega izdelka.

Pri tej hipotezi me zanima konstruktivnost in kakovost tiskanega izdelka glede na to, da se bi hitrost tiskanja povečala, in koliko časa bi pri tem prihranili. Kaj je v tem primeru bolj smiselno, prihraniti čas ali kakovost?

- 3D-tiskalnik se lahko izboljša, ne da bi zamenjali tovarniške nastavitev in komponente, temveč samo dodali dodatne dele.

Zadnja in bolj glavna hipoteza se osredotoča na 3D-tiskane komponente, ki bi bile dodane na 3D-tiskalnik in pripomogle k splošnemu boljšemu procesu tiskanja ter k boljšemu končnemu izdelku.

Namen in cilji diplomskega dela:

V izdelavi diplomskega dela bi se prav tako želel naučiti pravilno nastaviti, pripraviti in uporabljati 3D-tiskalnik ter razumeti ključne dejavnike in kakšen vpliv imajo ti parametri eden na drugega. Želim doseči izboljšano razmerje med hitrostjo in kakovostjo tiskanja.

Raziskati želim različne tehnike vsebinske konstrukcije 3D-tiska, spreminjanje hitrosti tiskanja in primerjavo izdelkov z različnimi hitrostmi. Pri tej raziskavi bi poiskal najboljše razmerje med hitrostjo in kakovostjo tiskanja za največ prihranjenega časa, ki je dominanten faktor pri postavljanju dobaviteljskega roka in cene.

CILJI:

- izboljšati razmerje med hitrostjo in kakovostjo 3D-tiska,
- raziskati različne tehnike 3D-tiska,
- simulacija tiska z različnimi hitrostmi,
- poiskati najboljše razmerje med hitrostjo in kakovostjo tiskanja,
- raziskati, kateri faktor pri celotnem 3D-tiskanju igra največjo vlogo pri postavitevi cene.

1.3 Predpostavke in omejitve

Predpostavke:

Fizične in spletne literature je ogromno, zato obrazložitev ne bo predstavljala težave, saj je obširna ideja že v izdelavi več desetletij.

Omejitve:

Ker gre za delo z lastnim 3D-tiskalnikom, sem finančno omejen pri vzdrževanju, filamentih in morebitnih okvarah, ki se lahko zgodijo v času izdelave diplomskega dela.

Diplomsko delo bo prav tako narejeno v času razhajanja virusa SARS COVID-19, ki mi je že do sedaj omejil in zakasnil določene attribute pri delu z 3D-tiskalnikom.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Pri diplomskem delu bom uporabil svoje znanje, ki sem ga pridobil kot samouk, znanje ostalih ljudi z interneta ter zanje, ki sem ga pridobil med študijem. Prav tako bom uporabil teoretično-kavzalno metodo in metodo analize ter sinteze.

2 ZGODOVINA 3D-TISKALNIKOV

2.1 Začetek 3D-tiskalnikov

3D-tiskanje se prvič pojavi leta 1970. Opisuje najpreprostejšo nalogu – tiskanje v treh dimenzijah z dodajanjem slojev oz. plasti. Šele leta 1980 je dr. Hideo Kodama na Japonskem vložil vlogo za patent prototipa. Njegov patent se danes imenuje stereolitografija oz. SLA (Stereolithography). Zaradi predragih sredstev za izgradnjo prototipa je dr. Hideo Kodama moral zapustiti projekt, vendar se projekt tukaj ni ustavil (L., What is Material Jetting? - 3D Printing Simply Explained, 2019).

V osemdesetih letih so trije francozi – Jean-Claude André, Alain le Méhauté in Olivier de Witte prišli na podobno zamisel. Le Méhauté je delal pri Alcatelu, kjer je raziskoval fraktalno geometrijo in prišel do ideje o tiskanju v treh dimenzijah; kasneje je to idejo povedal svojima kolegom. Čeprav so prvotni komentarji kolegov bili prežeti z dvomi in neizvedljivostjo, je Le Méhauté bil nepopustljiv in začel raziskovati ter izdelovati dele za prototip. Njegov kolega De Witte je bil takrat zaposlen pri hčerinskem podjetju Alcatela, kjer se je specializiral z laserji in tekočim monomerjem. Monomer je majhna molekula, ki se lahko kemijsko veže z drugo molekulo monomera, kjer nastane polimer. Pri tekočem monomerju lahko s pomočjo laserja s strelnjem visokofrekvenčnih fotonskih žarkov tekoči monomer strdi v trdi polimer. Na podlagi te ideje sta prišla na zamisel o napravi, ki bi lahko v kratkem času izdelovala polimerske prototipe. S to idejo sta šla do Jean-Claude Andréa, ki je takrat delal v francoskem nacionalnem centru za znanstvene raziskave. Ideja je bila Andréu privlačna, vendar je zaradi pomanjkanja enačb in dokazov za potencialna uporabna področja francoski nacionalni center za znanstvene raziskave idejo zavrnil. Jean-Claude André, Alain le Méhauté in Olivier de Witte so leta 1984 vložili patent, vendar so morali idejo zaradi pomanjkanja sredstev opustiti (L., What is Binder Jetting? - 3D Simply Explained, 2019).

Leta 1983 je izumitelj Charles Hull eksperimentiral z materiali, ki se utrjujejo ob prisotnosti UV-sevanja, in jih izpostavil skenirnemu laserju. Z utrjevanjem zaporednih slojev fotopolimernega materiala je ugotovil, da lahko izdela trde polimerne predmete v treh dimenzijah. Tukaj se je začela pot razvoja stereolitografije, kjer mu je kmalu uspelo izdelati računalniško nadzorovano vodenje UV-laserskega žarka in leta 1986 vložil patent ter ustanovil današnjo svetovno znano podjetje 3D Systems. (Tadeja Muck, 2015).

3 OSNOVE 3D-TISKANJA

3.1 Kaj je 3D-tiskanje?

3D-tiskanje je proces, ki se začne v programu za modeliranje na računalniku. Narisan 3D-model se s pomočjo programske opreme pretvori v kodo, ki ga 3D-tiskalnik natisne v fizični predmet z dodajanjem materiala po treh dimenzijskih oseh. Gre za podoben princip delovanja kapljičnih oz. brizgalnih (inkjet) in laserskih tiskalnikov, ki natisnejo t. i. 2D-sloj besedila, slike, grafe na papir. 3D-tiskalnik doda še eno dimenzijo, drugi medium oz. snov materiala in preciznejši nadzor nanašanja slojev, ki nato nastane 3D-predmet.

V 3D-svetu se uporablja veliko programov za risanje modelov, eni so plačljivi z licencami in dodatnimi atributi (SOLIDWORKS, AutoCAD, Fusion360 SketchUP ...), nekateri pa brezplačni, dokaj enostavni za razumeti in primerni za začetnike na tem področju.

Sam uporabljam program imenovan FreeCAD, ki je prosto in odprtakodni računalniško podprt načrtovalni program za modeliranje 3D-shem in modelov. Program mi je všeč, ker ponuja veliko osnovnih funkcij, kot je SolidWorks, poleg tega pa je brezplačen.



Slika 1: Charlesov Hullov 3D-tiskalnik

Vir: (<https://3dprint.com/wp-content/uploads/2015/06/sla1g.jpg>)

3.2 Vrste 3D-tiskalnih tehnologij

»Vsak kovanec ima dve plasti« in tudi v 3D-tiskальнem svetu ni nič drugače. Danes je že toliko različnih možnih načinov za tiskanje, da se je treba temeljito pozanimati, v kateri smeri želimo izdelovati modele. Vsaka izmed teh različnih tehnologij ima svoje prednosti in slabosti, ki so odvisne od tega, kar izdelovalec/dobavitelj želi doseči.

3.2.1 Stereolitografija

Stereolitografsko tiskanje (Stereolithography – SLA) se doseže z delovno aktivno platformo oz. ploščo, tekočim fotopolimerom, sistemom za nanašanje fotopolimera z vakuumskim strgalom, UV-laserjem (moč do 1 W) in računalniško vodenim optičnim sistemom za skeniranje, ki vključuje zrcala in leče (Tadeja Muck, 2015).

3.2.1.1 Delovanje tiskalnika SLA

Fotopolimer se z uporabo vodenega zunanjega vira svetlobe (laserja) struje ter s pomikanjem perforirane delovne plošče oz. platforme v Z-osi (gor/dol), ki se pomika za natančno določeno debelino nanosa prvega sloja. Optični sistem naprave preveri točnost ravni površine fotopolimera, da se lahko laserski žarek pravilno fokusira. Nato žarek z določeno dolžino ekspozicije in močjo sevanja skenira površino tekočega fotopolimera in utrdi potrebno steno delovnega 3D-predmeta v trenutnem sloju. Delovna plošča se spusti za debelino sloja, sistem za nanos in poravnava z vakuumskim strgalom pa enakomerno poravna novi sloj tekočega fotopolimera. Za tem sistem miruje, dokler se gladina fotopolimera ne umiri. Postopek se ponovi pri vsakem sloju, dokler ne nastane končni 3D-model. Ob končanem delu se delovna plošča s perforirane osnovne plošče dvigne nad kad, nakar se lahko odcejen fotopolimer odstrani (Tadeja Muck, 2015).

Ker gradnja 3D-predmeta pri tehnologiji SLA poteka v kadi s tekočim fotopolimerom, je uporaba opor privzeta. Pri SLA ločimo dve vrsti opor – osnovne in podporne. Izjema so nekatere tehnologije, ki uporabljojo prašek kot material v tako imenovanih posteljah (SLS, SLM, 3DP ...). Vsak 3D-predmet mora imeti pred začetkom osnovno oporo, ki omogoča vezanost predmeta v procesu tiskanja na delovno ploščo. Sočasen tisk podpor pa je nujen pri izdelavi predmetov s previsnimi deli (Tadeja Muck, 2015).

Previs je vsak del predmeta, katerega kot je manjši od 30° oziroma večji od 150° . Nastavitev previsa se lahko v določenih 3D-tiskarskih programih poljubno spremeni (Tadeja Muck, 2015).

3.2.1.2 Naknadna obdelava (SLA)

Po končanem tisku je treba 3D-predmet previdno odstraniti iz osnovne plošče z uporabo nitrilnih rokavic, saj je tekoč fotopolimer nevaren za kožo. Odvečni tekoči fotopolimer se odcedi in predmet se dodatno očisti s kemičnimi sredstvi, najpogosteje na osnovi tripropilen glikol monometil etra (TPM) ali propilen karbonata, na koncu pa se še izpere v izopropil alkoholu (IPA) (Tadeja Muck, 2015).

Ker 3D-predmet po tisku še nima kočne trdnosti, ga je treba dodatno obsevati v UV-peči. UV-peči so naprave za naknadno utrjevanje, kjer je temperatura, pri kateri se predmet utruje, odvisna od vrste uporabljenega polimera, mase in volumna 3D-predmeta. Naknadna obdelava se konča z odstranitvijo podpornega materiala. Da pa dosežemo zahtevano končno kakovost površine, lahko površino 3D-predmeta zaključimo z brušenjem, vrtanjem ali peskanjem (Tadeja Muck, 2015).

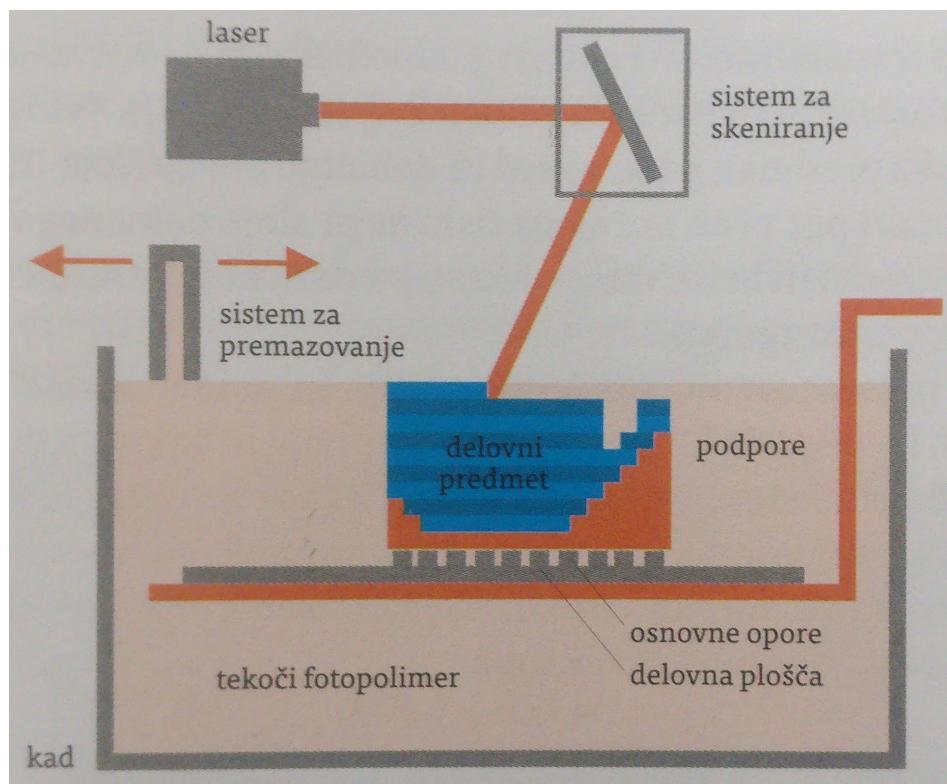
3.2.1.3 Prednosti in slabosti tehnologije SLA

Prednosti (Tadeja Muck, 2015):

- natančnost in odlična kakovost površine predmetov,
- velik nabor materialov,
- dokaj visoka hitrost tiska,
- nezahtevna naknadna obdelava površine, kot so barvanje, brušenje itd.

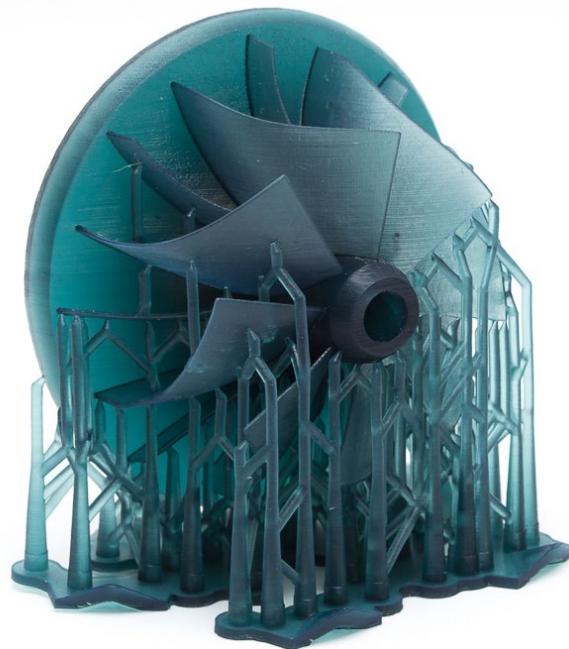
Slabosti (Tadeja Muck, 2015):

- manjša trajnost izdelkov kot pri FDM ali SLS,
- potrebna uporaba podpor,
- potrebno naknadno utrjevanje v UV-pečeh,
- negativen ekološki vidik (toksičnost monomerov, oligomerov, sredstev za čiščenje).



Slika 2: Shema SLA-tiskalnika

Vir: (Tadeja Muck in Igor Križanovskij – 3D-TISK)



Slika 3: Sočasen tisk podpor SLA

Vir: (<https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/supports-3d-printing-technology-overview/photo3.jpg>)

3.2.2 Selektivno lasersko sintranje

Selektivno lasersko sintranje (Selective Laser Sintering – SLS) je leta 1979 patentiral R. F. Housholder, vendar ga ni komercializiral. Pod vodstvom Carla Deckarda so na Univerzi v Teksasu v osemdesetih letih postopek modificirali in tehnologijo selektivnega laserskega sintranja leta 1989 patentirali (Tadeja Muck, 2015).

3.2.2.1 Delovanje SLS-tiskalnika

SLS-tiskalnik mora vsebovati osnovne komponente, kot so delovna in pomožna platformo s posteljo za tisk in dodajanjem materiala, sistem za nanos materiala, pomožna platforma s posteljo za odstranjevanje odvečnega materiala ter računalniško voden optični sistem z laserjem za precizno sintranje v slojih. Delci osnovnega praškastega materiala merijo od 50 do 100 μm , ki se nanašajo v slojih. Po nanosu vsakega posameznega sloja računalniško voden laser opiše trenutni prečni rez predmeta tako, da se delci med seboj spajajo oziroma sintrajo. Kadar je prah izpostavljen laserskemu snopu, se temperatura materiala dvigne nad temperaturo kristalizacije, kar omogoča, da se delci praškastega materiala spojijo in nastane sloj predmeta. Delovna platforma se nato z materialom v postelji spusti za višino enega sloja v postelji (Tadeja Muck, 2015).

Temperatura praškastega materiala v postelji na delovni platformi oziroma plošči se vzdržuje malo pod temperaturo tališča prehoda materiala. Infrardeči grelci so nameščeni nad delovno platformo, da vzdržujejo povišano temperaturo, še posebej okoli delovnega predmeta. Predgrevanje materiala je nujno, da je potrebna energija laserja nižja, hkrati pa so notranje napetosti v delovnem predmetu, ki se tiska, manjše na mestih, kjer so tudi možne deformacije, predvsem pa krčenje materiala in s tem 3D-predmeta. Kadar je prvi sloj oblikovan in segret, se fokusiran laserski snop usmeri na površino sloja, nato pa se premika s pomočjo galvanometrov tako, da opiše in sintra steno predmeta v posameznem sloju (Tadeja Muck, 2015).

Obkrožajoči prašasti material je podpora pri tisku predmeta. Potem se delovna platforma spusti za višino sloja in na posteljo platforme se nanese nov sloj materiala, katerega površino poravna rotirajoči valj. Nato se ponovi sintranje z računalniško vodenim laserskim snopom. Postopek se ponavlja, dokler 3D-predmet ni natisnjen. Po končanem tisku je predmet treba pustiti v postelji, prekrit s prahom, dokler se temperatura ne zniža do vrednosti, ko ga lahko izpostavimo sobni temperaturi (Tadeja Muck, 2015).

Če predmet iz tiskalnika vzamemo prehitro, lahko pride do degradacije materiala zaradi kisika, poleg tega pa se zaradi notranjih napetosti, ki nastanejo kot posledica previsoke temperaturne razlike, predmet lahko deformira. Na koncu odvečni material odstranimo in po potrebi 3D-predmet naknadno obdelamo (Tadeja Muck, 2015).

Praškast material mora imeti ustrezeno sipkost, da je omogočen enakomeren nanos posameznega sloja. Če so delci okrogle oblike, je sipkost večja. Težava se pojavi v primeru, če so delci premajhni, saj se medsebojno trenje zaradi tega poveča in lahko vodi do nastanka elektrostatičnih sil, ki povzročijo zmanjšanje sipkosti. Sistem za nanos prašnega materiala mora omogočiti nanos točno določenega volumna iz pomožne platforme na delovno platformo. Tisk mora potekati v interni atmosferi, z minimalnim deležem kisika, saj se lahko zaradi povečevanja razmerja med prosto površino in prostornino delcev praškastega materiala poveča površinska energija in s tem reaktivnost materiala, kar lahko ob sipkosti kisika povzroči eksplozivnost (Tadeja Muck, 2015).

Sistem za nanos prahu mora zagotoviti čim manj prašenja, saj lahko v nasprotnem primeru pride do kontaminacije optičnih elementov, zamika laserskega snopa in celo do poškodbe gibljivih delov stroja. Ena pogostih konstrukcij sistemov za nanos praškastega materiala je vključevanje vertikalne komore z rotirajočim valjem, ki se vrti v nasprotni smeri pomikanja in z dodatnimi vibracijami omogoča nanos enakomernega sloja (Tadeja Muck, 2015).

Ena od prednosti SLS-tehnologije je velika izbira materialov, saj imamo na voljo tako imenovane praškaste polimerne materiale (poliamid oziroma najlon, polistiren itd.) kot kovinske (zmesi jekla, titana itd.), v zadnjem času pa tudi keramiko. Pri tisku 3D-predmetov s SLS-tehnologijo ne potrebujemo dodatne podpore materiala, natisnjen predmet je v večini primerov že funkcionalen, zato naknadna obdelava ni potrebna (Tadeja Muck, 2015).

3.2.2.2 Naknadna obdelava (SLS)

Če želimo boljšo površinsko kakovost predmeta, jo je mogoče obdelati s strojnim ali ročnim brušenjem, peskanjem, barvanjem ipd. Trdnost predmeta se lahko izboljša tudi s postopkom infiltracije (Tadeja Muck, 2015).

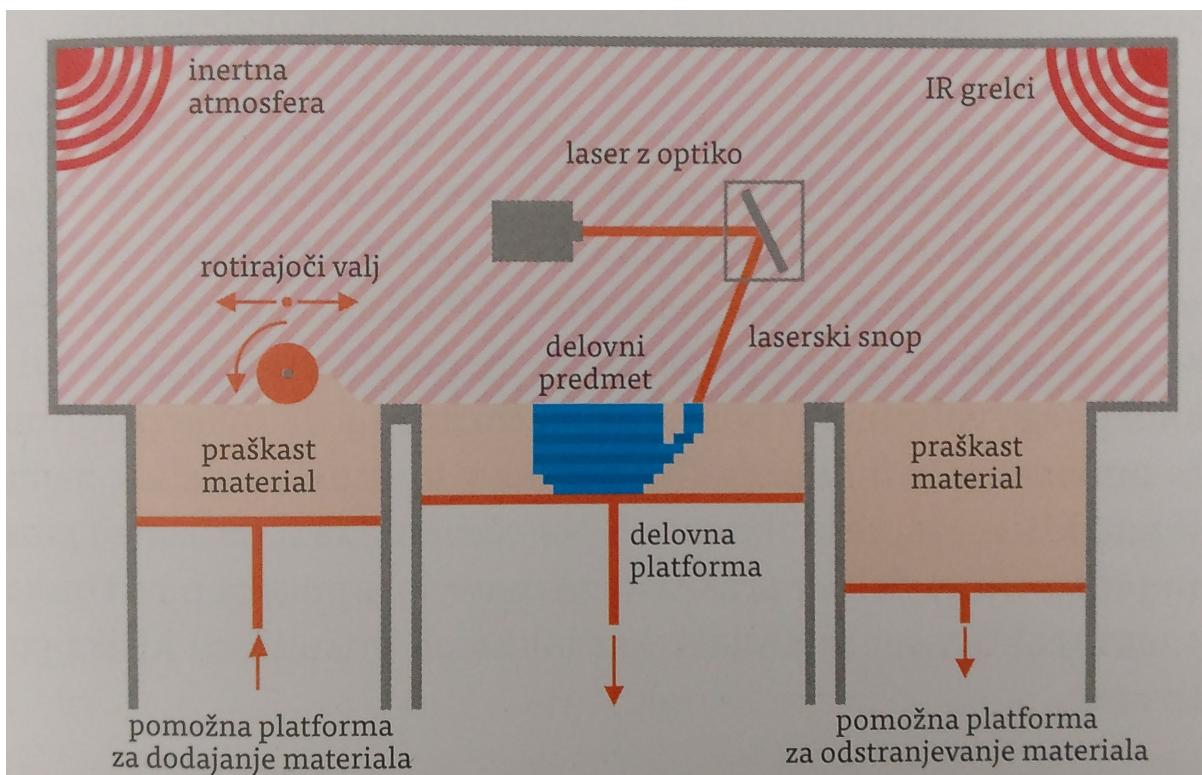
3.2.2.3 Prednosti in slabosti SLS-tehnologije

Prednosti (Tadeja Muck, 2015):

- velika natančnost,
- možna izdelava prototipov, funkcionalnih delov in končnih izdelkov,
- razmeroma hiter postopek,
- velik izbor materialov,
- brez podpornega materiala,
- trajnost končnega predmeta.

Slabosti (Tadeja Muck, 2015):

- potrebna interna zaprta atmosfera, zaradi tega morajo biti 3D-tiskalniki večjih dimenzijs,
- velika poraba energije za sintranje (300–500-krat večja kot SLA-tehnologija),
- pogosto potrebna dodatna infiltracija za izdelavo trdnih končnih izdelkov.



Slika 4: Shema SLS-tiskalnika

Vir: (Tadeja Muck in Igor Križanovskij – 3D-TISK)

3.2.3 Ciljno slojno nanašanje

Ciljno slojno nanašanje (Fused Filament Modeling – FFM oz. znano tudi kot Fused Deposition Modeling – FDM) je danes v 3D-industriji ena izmed najpreprostejših in najpogostejših načinov tiskanja, saj je enostavna za razumevanje in uporabo pri začetnikih. Izumil ga je Scott Crump leta 1988, ki je soustanovitelj znanega podjetja Stratasys. FDM-patent je bil Stratasysu izdan leta 1992 in se je prvotno začel uporabljati v medicinski veji (Tadeja Muck, 2015).

3.2.3.1 Delovanje FDM-tiskalnika

Kot osnovni material za tisk predmetov se uporabljo različni termoplastični materiali, zato se pogosto uporablja tudi izraz ekstrudiranje termoplastov. Termoplastični filament se odvija s koluta in napelje v ekstrudirno glavo, ki ima električno uravnavano ogrevalno komoro. Temperatura je odvisna od uporabljenega polimera, pri termoplastih ABS dosežemo poltekoče stanje za dobro tiskanje pri temperaturi od 250° C do 280° C. Pri termoplasti PLA pa pri temperaturi od 200° C do 230° C. V tem delu se termoplastični filament že predhodno ogreje, nato postane poltekoč in se v tankem sloju nanaša na osnovno ploščo. Ko je sloj nanešen, se delovna platforma za debelino sloja spusti v smeri Z in proces nanašanja poltekočega termoplasta se nadaljuje sloj za slojem do izdelave končnega 3D-predmeta (Tadeja Muck, 2015).

3.2.3.2 Gostota zapolnitve (FFM)

Posebnost tehnologije FFM je, da na predhodno določena območja omogoča nalaganje materiala z različno gostoto. Tako je mogoč kompromis med zahtevano trdnostjo in porabo materiala za izdelavo predmeta. Material se lahko prihrani na mestih, kjer ni potrebe po največji gostoti zapolnitve, hkrati pa se skrajša tudi čas izdelave. Za konceptne prototipe je lahko 3D-predmet skoraj votel oziroma se uporabi najnižja gostota zapolnitve, če potrebujemo funkcionalni prototip ali končni izdelek z visoko stopnjo trdnosti in žilavosti, pa mora biti notranjost predmeta gosto zapolnjena (Tadeja Muck, 2015).

3.2.3.3 Podporne strukture (FFM)

Pri kompleksnejših 3D-predmetih s previsi in šibkejšimi elementi moramo uporabiti podporni material (Muck in Križanovskij, 2015).

Sistem z eno ekstrudirno glavo mora izdelati podporno strukturo z enakim materialom, kot se uporabi za gradnjo predmeta. V tem primeru je treba izdelati struktorno frakturo, ki bo mejo med podporo in tiskalnim predmetom omogočila lažje ločevanje in odstranjevanje podpor. Učinek površinske frakture se lahko doseže na dva načina – z uporabo različnih temperatur, pri, katerih se vložijo linije termoplasta in gradijo podporo, ali pa z določitvijo različnih debelin slojev za podporo 3D-predmeta (Tadeja Muck, 2015).

Nekateri FDM-tiskalniki imajo dve ekstrudirni glavi, ki lahko sočasno tiskajo dva materiala, ponavadi se ob kompleksnih 3D-predmetih ena glava uporabi za tisk 3D-predmeta, druga pa za tisk podpor. Prav tako je priporočljivo, da se uporabita dva različna materiala, kjer ima podporni material slabše mehanske lastnosti, tako da ga je lažje odstraniti ali pa da se lahko topi pri nižji temperaturi kot material, ki se uporablja za tisk 3D-predmeta. Najpogosteje odstranjevanje podpornega materiala sta fizično lomljenje ali pa topljenje podpor v ustreznih vodni raztopini natrijevega hidroksida v ultrazvočni kopeli (Tadeja Muck, 2015).

Pri novejših tiskalnikih izdelava navadno poteka v ogrevani zaprti komori, kar zaradi hitre temperaturne spremembe in ohranjanja dimenzijske stabilnosti omogoča zmanjšanje notranjih napetosti v predmetu. Tehnologije kot osnovni material uporabljujo polimere, ki omogočajo izdelavo 3D-predmetov z najvišjo trdnostjo in žilavostjo (Tadeja Muck, 2015).

3.2.3.4 Naknadna obdelava (FFM)

3D-predmeti, natisnjeni z FFM-tehnologijo z vidika funkcionalnosti in rigidnosti strukture večino časa ne zahtevajo naknadne obdelave. Ob estetski vrednosti končnega izdelka oz. videzu površine se naknadna obdelava izvede ročno ali strojno (Tadeja Muck, 2015).

Pri ročni obdelavi se za dosego gladke sijoče površine uporablja hlapi acetona, če pa je želena matirana površina (MATTE), se lahko izvede obdelava s sodo bikarbono pod manjšim pritiskom, kjer se nato 3D-predmet spere z vodo (Tadeja Muck, 2015).

3.2.3.5 Naknadna obdelava v industrijskih 3D-tiskalnikih (FFM)

Strojna obdelava pri industrijskem 3D-tisku najpogosteje poteka na velikih tiskalnikih z visoko proizvodnjo zmogljivostjo, najpogosteje obdelave so:

- peskanje s polimernim medijem (bead blasting) – omogoča kakovostno, poceni in hitro površinsko obdelavo. Končna obdelana površina 3D-predmeta lahko doseže visoko gladkost, ki se lahko dolgotrajno ohrani z recikliranimi materialom, t. i. plastic blast media (PBM) (Tadeja Muck, 2015);
- lepljenje – uporablja se pri izdelavi velikih 3D-predmetov, ki jih moramo zaradi premajhnega delovnega volumena tiskalnika natisniti v več delih in zlepiti. Pogosto se uporabljajo epoksi ali cianoakrilatna lepila. Pod to kategorijo se še šteje varjenje z vročim zrakom ali ultrazvokom (Tadeja Muck, 2015);
- galvanizacija – omogoča nanos kovinskega sloja (npr. bakra, srebra, zlata, niklja, kroma) na termoplastični material, kjer končni 3D-predmet dobi videz kovinskega predmeta. Galvanizacija končnemu izdelku poveča trdnost in odpornost proti obrabi (Tadeja Muck, 2015);
- prajmerji – posebna sredstva pri barvni kategoriji, kjer se z nanašanjem razprševanja na 3D-predmet pokažejo območja, kjer so vidne napake, kot so plasti med sloji, luknje zračni žepi ipd.). Nepravilnosti na površini se zakrijejo in naknadno obrusijo. Kadar se površina 3D-predmeta posuši, se očisti in razmasti, kjer se lahko nato pobarva in/ali lakira (Tadeja Muck, 2015).



Slika 5: Komercialni prostočasni FDM-tiskalnik (Prusa i3 MK3S+)

Vir: (https://filament2print.com/4045-tm_thickbox_default/prusa-i3-mk3s.jpg)

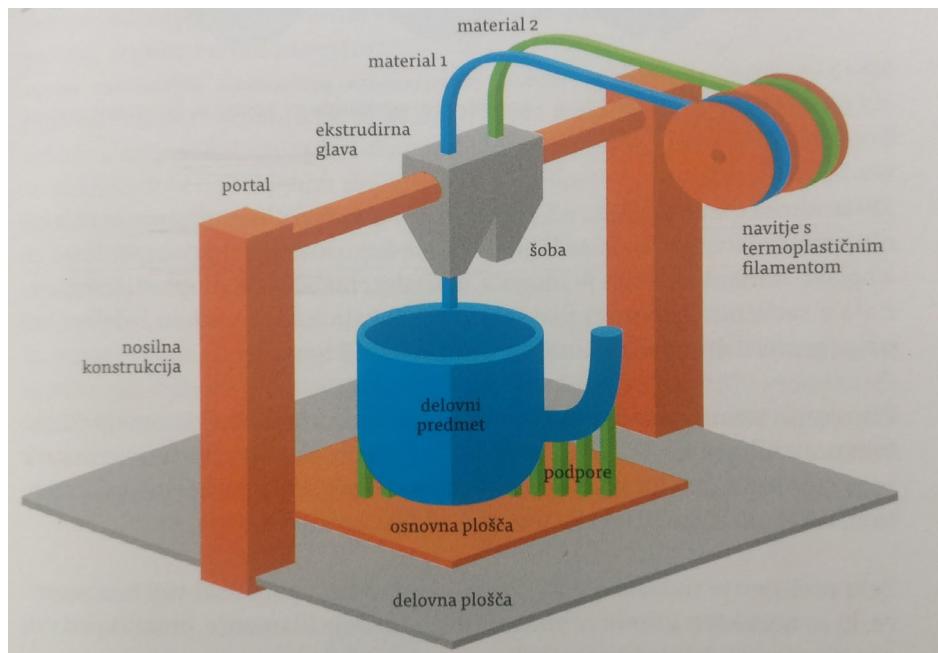
3.2.3.6 Prednosti in slabosti FFM-tehnologije

Prednosti (Tadeja Muck, 2015):

- možnost izdelave konceptnih in funkcionalnih prototipov,
- omogoča poljubno gostoto zapolnitve predmeta,
- vedno večji nabor materialov z različnimi specifičnimi lastnostmi (pred kratkim dodana izbira lesenega materiala),
- preprosta zamenjava filimenta,
- preprosto odstranjevanje podpor in opor,
- preprosta naknadna obdelava,
- preprosto vzdrževanje naprave.

Slabosti (Tadeja Muck, 2015):

- natančnost izdelave,
- opazni stopničasti prehodi med sloji,
- krožni presek filimenta, ki ovira izdelavo natančnih kotnih struktur,
- miniaturno krčenje 3D-predmeta zaradi hitrega segrevanja in ohlajanja.



Slika 6: Shema FFM-tiskalnika z dvema ekstridirnima glavama

Vir: (Tadeja Muck in Igor Križanovskij – 3D-TISK)

3.2.4 Fotopolimerno brizganje – Polyjet

Tehnologijo PolyJet je razvilo izraelsko podjetje Object Geometries, ki so ga leta 1998 ustanovili partnerji Rami Bonen, Gershon Miller in Hanan Gotaiit. Leta 2000 so prestavili sočasno izdelavo 3D-predmetov z različnimi fotopolimerskimi materiali (Tadeja Muck, 2015).

3.2.4.1 Delovanje tiskalnika PolyJet

Gre za neposredni postopek tiskanja, ki deluje po podobnem principu kot običajni kapljični tisk, le da se namesto tiskarske barve oz. črnila kapljično nanaša tekoči fotopolimer, ki se točkovno utrujuje z UV-lučkami. Za gradnjo kompleksnejših predmetov s previsnimi strukturami se mora sočasno uporabiti in tiskati tudi podporni material, ki se nanaša po enakem principu kot osnovni material, torej z brizganjem oziroma kapljičnim nanašanjem. Tiskalna glava nanese trenutni sloj in ta takoj fotopolimerizira pod vplivom UV-svetlobe, ki jo dovajata ena ali dve lučki, nameščeni ob straneh tiskalne glave. Nato se delovna plošča oziroma platforma spusti za debelino sloja navzdol in tiskalna glava nanese naslednji sloj. Po končani izdelavi se struktura podpornega materiala odstrani z vodnim curkom (Tadeja Muck, 2015).

3.2.4.2 Naknadna obdelava (PolyJet)

Z uporabo vodne črpalke pri večjih predmetih ali z ročnim čiščenjem običajno kar s ščetko pri manjših predmetih se na koncu z natisnjenega predmeta brez težav odstrani ves podporni material, ki je navadno podoben akrilatnemu gelu. Naknadno utrjevanje ni potrebno, seveda je vedno možna ročna ali strojna obdelava. V primeru željenega barvnega tiska se lahko tudi obarva, saj utrjen fotopolimer zelo dobro absorbira barvo. Obstajajo pa tudi novejše tehnologije, imenovane PolyJet Matrix, ki omogočajo neposredni tisk z barvnimi materiali (Tadeja Muck, 2015).

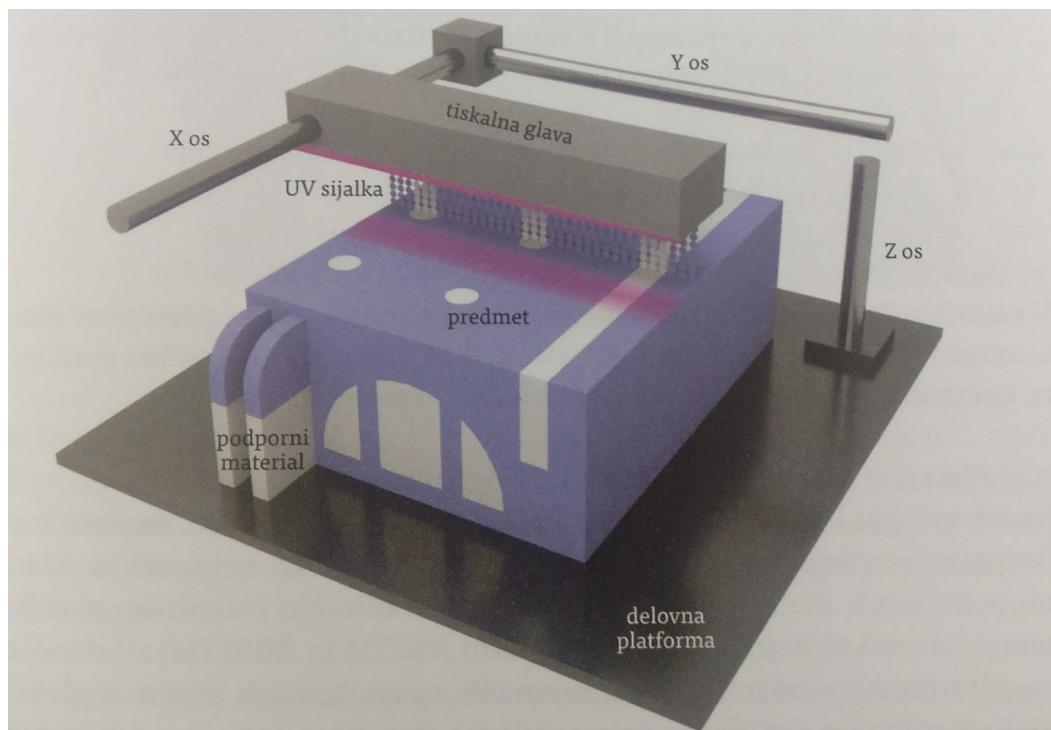
3.2.4.3 Prednosti in slabosti tehnologije PolyJet

Prednosti (Tadeja Muck, 2015):

- visoka kakovost 3D-predmeta,
- tiskanje gladkih površin in finih podrobnosti z visoko natančnostjo,
- hiter proces gradnje, tiska predmeta,
- brez naknadne obdelave površine, predmet se lahko uporablja takoj,
- okolju prijazna tehnologija, med procesom tiska ne nastajajo večje količine odpadkov,
- preprosta uporaba,
- sočasen tisk z materiali z različnimi fizikalnimi in mehanskimi lastnostmi (PolyJet Matrix).

Slabosti (Tadeja Muck, 2015):

- slaba temperaturna obstojnost razpoložljivih materialov,
- visoka cena izdelave večjih izdelkov,
- uporaba podpornega materiala.



Slika 7: Prikaz delovanja tehnologije PolyJet

Vir: (Tadeja Muck in Igor Križanovskij – 3D-TISK)

3.2.5 Digitalno svetlobno procesiranje

Digitalno svetlobno procesiranje (Digital Light Processing – DLP) je 3D-tiskarska tehnologija, ki jo je leta 1987 iznašel Larry Hornbeck. DLP-tehnologija je zelo podobna SLA-tehnologiji, saj obe uporablja tekoči polimer oz. resin kot material in svetlobni vir za utrjevanje polimera (Tadeja Muck, 2015).

3.2.5.1 Delovanje DLP-tiskalnika

DLP-tehnologija uporablja digitalna mikrozrcala (DMD), položena na polprevodniškem čipu. DMD lahko vsebuje tudi do milijon majhnih mikrozrcal za usmerjanje svetlobe in uravnavanje oblike sloja na dno komore, v kateri je tekoči polimer. Tiskalnik utrjuje tekoči polimer s pomočjo LED-lučk, ki svetijo na ogledala in usmerjajo žarke svetlobe po celotni plasti tekoče plastike. V primerjavi s tehnologijo SLA, kjer svetlobni žarek potuje oz. plošča potuje in se v danem momentu strdi samo določena točka v sloju, se pri DLP-tehnologiji zaradi digitalnega projektorskega zaslona svetlobni vir nanese v istem času enakomerno po celotni površini plošče. Pulzivno utripanje svetlobe s tem doseže strditev celotnega sloja v istem času (L., What Is a DLP 3D Printer? - Simply Explained, 2018).

3.2.5.2 Primerjava končnega izdelka s tehnologijo SLA

Čeprav je v tiskanju časovno hitrejša DLP-tehnologija, ima tudi svoje meje. Zaradi uporabe digitalnih projektorskih zaslonov se resolucija projektorja direktno navezuje na resolucijo 3D-predmeta. V primerjavi s tehnologijo SLA tukaj ni težav, saj ozek svetlobni žarek potuje po zarisani poti in so zato tiski bolj kakovostni. Tisk DLP-tehnologije je v primerjavi s SLA precej bolj kockast, vendar se lahko težava odpravi z naknadno obdelavo, kot je rahlo brušenje površine (L., What Is a DLP 3D Printer? - Simply Explained, 2018).

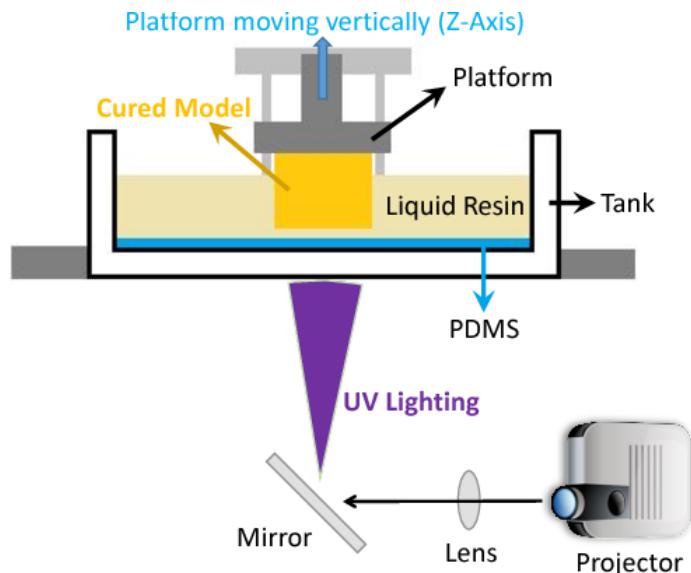
3.2.5.3 Prednosti in slabosti DLP-tehnologije

Prednosti (L., What Is a DLP 3D Printer? - Simply Explained, 2018):

- časovno hitro tiskanje,
- manj odpada s primerjavo s SLA-tehnologijo,
- v primerjavi z ostalimi tehnologijami ena izmed najtišjih v procesu tiskanja,
- zmožna za tiskanje kompleksnejših 3D-predmetov.

Slabosti (L., What Is a DLP 3D Printer? - Simply Explained, 2018):

- slabe mehanske lastnosti 3D-predmeta, ki so prav tako občutljive na svetlobo,
- dražje tiskanje in kompleksnejše vzdrževanje tiskalnika v primerjavi z preprostejšim FDM-tiskalnikom.



Slika 8: DLP-tehnologija

Vir:(<https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/474494ebee101406df339c04d1721c92efd1c58f/1-Figure1-1.png>)



Slika 9: Anycubic Photon S

Vir: (<https://pick3dprinter.com/wp-content/uploads/2020/06/Anycubic-Photon-S-3D-Printer.jpg>)

3.2.6 Selektivno lasersko taljenje

Selektivno lasersko taljenje (Selective Laser Melting – SLM oz. prav tako imenovano Direct Metal Laser Melting – DMLM) je prašno kovinska aditivna tehnologija. Uporablja velik razpon različnih kovin, končni izdelek pa je danes zelo podoben obdelovancem, izdelanih po tradicionalnih industrijskih procesih. SLM se velikokrat zamenja za tehnologijo DMLS, kjer SLM tali kovino, DMLS pa sintra oz. spoji kovino (J., 2019).

Kljub potencialu SLM-tehnologije se zaenkrat uporablja redko v kateri industriji. Razlog je visoka cena opreme in kosov, prav tako pa zahteve za naknadno obdelavo. Trenutno se SLM-tiskalniki uporabljajo v medicini (pacientski implanti, dragocene medicinske komponente), avtomobilski industriji (prototipi in maloserijski dragoceni kosi), letalski in vesoljski industriji (zračni kanali) in orodjarstvu (J., 2019).

3.2.6.1 Delovanje SLM-tiskalnika

Velik del SLM-tiskalnika je komora, v kateri je kovinski prah. Nato se ta kovinski prah s pomočjo robotskega mehanizma enakomerno razporedi v tanke sloje na delovno ploščo. S pomočjo visokoenergijskega laserja se kovinski prah v 2D-dimenziji tali, dokler ne opravi celotnega sloja. Ko se sloj uspešno opravi, se delovna plošča za višino enega sloja spusti in komora s kovinskим prahom za en sloj dvigne. Proses se izvaja, dokler 3D-predmet ni dokončan. Delovno ploščo in komoro s kovinskim prahom omejuje stena, ki preprečuje presip odvečnega kovinskega prahu. Celotna notranjost SLM-tiskalnika je zavarovana v svoji kontrolirani atmosferi, kjer ni zunanjih vplivov, kot so veter, vlaga, neregulirana temperatura, delci, ki niso kovinski prah itd. (J., 2019).

3.2.6.2 Naknadna obdelava (SLM)

Ob končanem 3D-tisku se ponavadi obdelovanec iz delovne plošče odstrani s pomočjo žage za rezanje kovine. Ker so oporne strukture izdelane iz istega materiala kot obdelovanec, je lahko poseg odstranjevanja opor težek in časovno zamuden. Površina opravljenega izdelka je ponavadi groba, zato je ob želji gladkega površinskega izdelka treba zaključiti z brušenjem (J., 2019).

3.2.6.3 Prednosti in slabosti SLM-tehnologije

Prednosti (J., 2019):

- zelo velik izbor kovin,
- lahko se izdelajo interno kompleksnejše strukture, ki bi bile zelo zapletene in/ali drage, če bi se opravljalo po tradicionalnem posegu obdelovanja,
- prihranek na času in delu, ker ne potrebuje kalup,
- odvisno od velikosti obdelovanca in delovne plošče lahko v istem sloju opravlja velikoserijske izdelke.

Slabosti (J., 2019):

- dragi poseg, še posebej v primeru, če kosi niso optimizirani za delovni proces,
- specializirano modeliranje in industrijske izkušnje ter znanje so nujne za uspešno in varno delovanje,
- zaenkrat še omejeno za serijske izdelave manjših kosov,
- groba površina končnega 3D-predmeta,
- potrebno dosti naknadne obdelave za vizualno boljši izdelek.



Slika 10: Industrijski SLM-tiskalniki

Vir: (<https://www.3dprintingmedia.network/wp-content/uploads/2019/03/slm-solutions-identify3d-2.jpg>)

3.2.7 Taljenje z elektronskimi žarki

Taljenje z elektronskimi žarki (Electron Beam Melting – EBM) je tehnologija, ki je dokaj podobna SLS-tehnologiji. Največja razlika teh dveh tehnologij je, da EBM namesto laserjev CO₂ za termoplastični polimer uporablja elektronske žarke, ki oblikujejo raznorazne kovinske strukture. Pri EBM-tehnologiji se velikokrat uporablajo titanske zlitine, ki v reakciji med kovinskim prahom in elektronskim žarkom spojijo utrjeno kovinsko 3D-strukturo. Ta tehnologija je bolj orientirana za industrijsko okolje, kjer se končni izdelki razpršijo v znanstvene vede, kot so medicina, aeronavtika in avtomobilска industrija (L., Electron Beam Melting (EBM) - 3D Printing Simply Explained, 2019).

3.2.7.1 Delovanje EBM-tiskalnika

Tiskalnik je sestavljen iz elektronskih žarkov zmožnega energijskega vira, predala za kovinski prah, prav tako vsebuje dioptrijske leče za uravnavanje goriščne točke, mehanizem za slojno dodajanje kovinskega prahu in toplotno ploščo. Celoten postopek tiskanja se mora izvajati v vakuumsko zaprti komori, saj bi drugače elektronski žarki trčili s plinastimi molekulami in ne bi prišlo do pravilnega spoja. Kadar je zaželen notranji pritisk komore dosežen (približno 0,1 µBar), se začneta segrevati energijski vir za elektronski žarek in grelna plošča (L., Electron Beam Melting (EBM) - 3D Printing Simply Explained, 2019).

Tiskalnik deluje po principu slojnega tiskanja, kjer se prvoslojni prah položi na grelno ploščo in s pomočjo elektronskih žarkov spoji v kovinski sloj. Elektronski žarek se upravlja s pomočjo računalniško vodenih elektromagnetnih tuljav. Ob zaključku enega sloja se položi nov sloj kovinskega prahu in postopek se ponavlja, dokler izdelek ni končan (L., Electron Beam Melting (EBM) - 3D Printing Simply Explained, 2019).

3.2.7.2 Naknadna obdelava (EBM)

Ob končanem izdelku se 3D-predmet ne more takoj uporabljati, ker je še vroč in obdan z napol sintriranim prahom, ki ga je treba odstraniti. Predmet, predolgo puščen v vročem stanju, se lahko popači, zato so pomožne strukture oz. opore še toliko bolj dober pripomoček, saj prav tako odvajajo odvečno toplovo. Vroča temperatura prostora v komori pomaga utrditi 3D-predmet, ne sme pa se prehitro ohlajati, saj lahko pride do stresnih mikrorazpok (L., Electron Beam Melting (EBM) - 3D Printing Simply Explained, 2019).

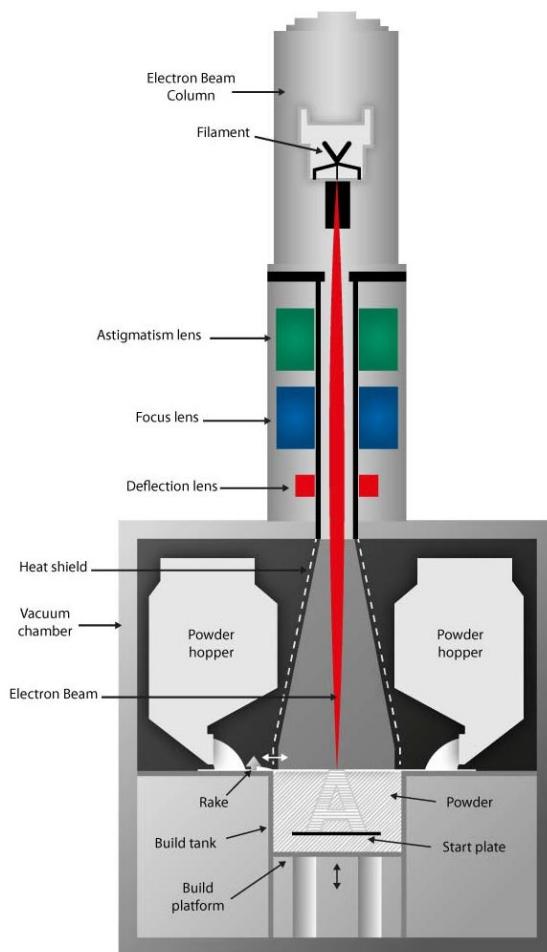
3.2.7.3 Prednosti in slabosti EBM tehnologije

Prednosti (L., Electron Beam Melting (EBM) - 3D Printing Simply Explained, 2019):

- tiskanje 3D-predmetov z večjo gostoto, ki pomaga pri mehanski trdnosti,
- proces tiskanja je razlog za brez izgubnih karakteristih pri tiskanju 3D-predmeta, kjer se lahko nesintrirani kovinski prah ponovno uporabi,
- časovno hiter proces tiskanja,
- manj uporabljenih strukturnih opor v primerjavi z ostalimi tehnologijami.

Slabosti (L., Electron Beam Melting (EBM) - 3D Printing Simply Explained, 2019):

- dokaj majhni volumen za tiskanje, razen če se uporablajo ogromni industrijski tiskalniki, ki pa so precej dražji,
- omejena izbira kovin (titan ali kromsko-kobaltne zlitine).



Slika 11: EBM-tiskalnik

Vir: (<https://www.3dprintingbusiness.directory/wp-content/uploads/2016/09/schematic-ebm-setup.jpg>)

3.3 MATERIALI IN FILAMENTI ZA 3D-TISKANJE

Poleg naravnih materialov, kot sta kovina in peščenjak, obstajajo tudi industrijsko narejeni filamenti, ki se razlikujejo po mehanskih karakteristikah.

3.3.1 Biopolimer polilaktična kislina

Biopolimer polilaktična kislina (Polylactic Acid – PLA) je v FFF-tehnologiji ena izmed najbolj uporabljenih filamentov za 3D-tiskanje. Delovna temperatura šobe za kakovostni tisk PLA-filamenta se giblje od 190° C do 210° C, temperatura delovne plošče (če ima delovna plošča možnost ogrevanja) pa od 50° C do 60° C. Ogrevalna delovna plošča ni potrebna, vendar je priporočljiva. Izmed vseh polimerskih filamentov na razpolago ima PLA največjo izbiro med barvami, filament je prav tako brez vonja in biorazgradljiv, zato ni primeren za izdelke, ki bi se uporabljali v zunanjem naravnem okolju. Ima krhke mehanske sposobnosti, zato ni primeren za izdelke, ki se morajo upogibati ali prestatи elastičnost (AllThat3D, TPU Filament 3D Printing Material - The Complete Guide, b.d.).

3.3.2 Termoplastični poliuretan

Termoplastični poliuretan (TPU) je eden izmed najbolj popularnih fleksibilnih materialov za ekstrudno 3D-tiskanje, ima sposobnosti, kot so ekstremna fleksibilnost, nekateri modeli celo ponujajo transparentne filamente in so odporni na olje ter vodo. Ima podobne karakteristike kot TPE-filament, vendar ima boljše elastične sposobnosti pri nižjih temperaturah. Napram PLA-filamentom in ABS-filamentom prenese večje mehanske sile, je pa težje tiskanje zaradi fleksibilnosti materiala (AllThat3D, TPU Filament 3D Printing Material - The Complete Guide, b.d.).

3.3.3 Termoplastični elastomer

Tako kot TPU je tudi termoplastični elastomer (TPE) fleksibilen, vendar zahtevnejši za tiskanje, saj se mora uporabiti večja delovna temperatura in proces tiskanja mora biti počasnejši. Prednosti tega materiala so, da so izdelki bolj durabilni, netoksični in odporni proti zdrsnim površinam, ki se uporablajo kot ovitki za telefone, vzmeti in avtomobilske pasove (za gonila) (AllThat3D, TPU Filament 3D Printing Material - The Complete Guide, b.d.).

3.3.4 Sintetična smola

Sintetična smola je tekoča plastika, ki se ob svetlobnem žarku strdi. V 3D-svetu se tej smoli tudi bolj pogosto reče resin, ki ima neprijetne vonjave in je priporočljivo, da je delovni prostor primerno ozračen. Pri sintetični smoli so tudi različne različice tekočih plastik, ki se uporablajo za različne namene. Hitri resin se uporablja pri izdelavi hitrih prototipov in za izdelavo več kosov hkrati. Standardni resin se uporablja pri izdelavi predmetov, ki imajo dobre mehanske karakteristike in manjše vplive deformacij. Napredni resin se dostikrat uporablja v medicinski panogi, kjer morajo biti tiski bioaplikativni in zelo natančni po specifikacijah in geometrično natančni z gladko površino (AllThat3D, TPU Filament 3D Printing Material - The Complete Guide, b.d.).

3.3.5 Akrilonitril butadien stiren

Akrilonitril butadien stiren (Acrylonitrile Butadiene Styrene – ABS) je dober filament za izdelavo mehansko trdnih in večnamenskih izdelkov, ki morajo biti durabilni. Pri ABS-filamentih je ogrevalna delovna plošča potrebna, saj se iztiskan filament krči, ko se ohlaja. ABS-filament je prav tako treba držati na normalni sobni temperaturi brez vlage, saj se drugače lahko dolgoročno karakteristično poslabša. Pri tiskanju je treba regulirati temperaturo prostora in šobe, da ne bi prišlo do nezaželenih deformacij (AllThat3D, TPU Filament 3D Printing Material - The Complete Guide, b.d.).

3.3.6 Polietilen tereftalat

Polietilen tereftalat (Polyethylene Terephthalate – PET) se zadnje čase veliko uporablja pri tiskanju modnih dodatkov in nanosov na oblačilih. Ima prav tako glikolno različico, imenovano polietilen tereftalat glikol (Polyethylene terephthalate glycol – PETG), ki je transparentna različica. PETG je dobra alternativa ABS in PLA filamentov, je pa higroskopičen (vpija vlago iz zraka) ter ga je zaradi tega treba shranjevati v suhem prostoru. Ker se filament ob tiskanju ne krči oz. se krči minimalno, ogrevalna delovna plošča ni potrebna in se ne lepi na omenjeno ploščo (AllThat3D, TPU Filament 3D Printing Material - The Complete Guide, b.d.).

3.3.7 Najlon

Najlon je eden izmed najbolj trpežnih in močnih filamentov v 3D-tiskanju. Kot PETG je tudi najlon higroskopičen ter ga je treba shranjevati v suhih neprodušnih prostorih. Izdelki iz najlona se najdejo v raznih orodjih oz. delih orodja, prototipih in mehanskih delih. Cena in tiskanje najlona sta razmeroma dostopna, potrebuje pa visoko temperaturo za tiskanje. Končni izdelki iz najlona so površinsko gladki in zelo mehansko durabilni (Tadeja Muck, 2015).

3.3.8 Keramika

Pri keramiki se ponavadi zaradi rigidnosti še doda kovinski prah, polipropilen ali vosek za mešanje veziv, ki oblikujejo filamentno navitje. Komercialna tehnologija, ki za osnovni material uporablja keramiko, se imenuje FDC (Fused Deposition of Ceramics). Natisnjeni izdelek je ponavadi krhek in ga je treba naknadno obdelati. Ker je izdelek iz keramike, mu je treba s segrevanjem odstraniti preostala veziva in obdelati pri temperaturi nad 1000° C (Tadeja Muck, 2015).

3.3.9 Beton

Beton kot osnovni material pred ekstrudiranjem ni treba segrevati ali topiti, je pa potreben velik delovni volumen, saj se ta vrsta materiala porablja pri gradbenih tiskih, kot so grajenje zidov, temeljev in celo hišnih konstrukcij. V tisku se prav tako poleg betona še lahko uporabi mešanica cementa, steklenih vlaken in nekaterih gradbenih odpadkov (Tadeja Muck, 2015).

3.3.10 Živila

V 3D-tiskanju se je prav tako pojavila veja živilskih filamentov, ki so oralno primerni užitju. Eden prvih osnovnih materialov je zaradi tekoče lastnosti ob pravilni delovni temperaturi bila čokolada, zatem pa so sledile kreme, fižolove in riževe omake, paste in v zadnjem desetletju celo poizkus v tiskanju umetnega užitnega mesa (Tadeja Muck, 2015).



Slika 12: 3D-tiskan sladkor različnih geometrijskih oblik

Vir: (<https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1284,h=722,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2020/09/04133122/3d-printed-food-offers-many-possibilities-and-has-techsmartt-via-youtube-200823.jpg>)

3.4 PREDNOSTI IN SLABOSTI 3D-TISKANJA

3.4.1 Prednosti

Hiter tisk prototipnih izdelkov

3D-TISKALNIKI so znani po hitrem in cenovno ugodnem procesu realiziranih prototipov, ki vplivajo na naknadno spremjanje virtualnih modelov v programih ali pa celo nasploh hitrejše tiskanje (Tadeja Muck, 2015).

Cenovna učinkovitost recikliranega materiala

Tehnologije, kot so FDM, lahko odvečen filament (strukturne opore, zarisi na delovni plošči itd.) do nekatere mere recikliramo, pri nekaterih tehnologijah, kot je pa recimo BJ, pa celo 100 % ponovno uporabimo prašni material, ki se ni porabil v izdelovanju in se s tem hkrati prihrani na materialu za prihodnje projekte (L., What is Binder Jetting? - 3D Simply Explained, 2019).

Kompleksnost modelov

Kompleksni in fleksibilni modeli so v primerjavi s tradicionalnimi metodami pri 3D-tiskanju enostavnejši za zmodeliranje in konstruiranje v končni izdelek. Obdelovanec, ki bi potreboval vrsto različnih orodij in strojev, na katerem se opravi ena faza, se lahko v celoti v enem tisku sestavi v 3D-tiskalniku (Tadeja Muck, 2015).

Raznovrstni materiali

Kadar ljudje pomislijo na 3D-tiskanje, razmišljajo o plastičnih materialih, vendar se pot tukaj ne konča. Danes imamo na razpolago za tiskanje različne vrste plastik z drugačnimi karakteristikami, mnogo kovin in zlitin, keramiko, les, pesek, beton in živila za oralno uživanje ter celo pred kratkim organske materiale za medicinske operacije v zamenjavi nekaterih organov (Tadeja Muck, 2015).

Množično prilagajanje in proizvodnja nizkih naklad

V tradicionalnih proizvodnjah so določene kalupe in šablone za proizvod že naprej določene, pri 3D-tiskanju pa lahko v G-kodi poljubno število kosov dodamo ali odstranimo, odvisno od naročene serije. Edina normalna omejitev pri tem je, kako veliko delovno površino imamo in koliko materiala bomo porabili (Tadeja Muck, 2015).

Avtonomni nadzor

3D-tiskanje je danes že tako napredno, da se lahko 3D-tisk opravlja brez človekovega nadzora, če je seveda vse pravilno nastavljeno. Zaradi preproste uporabe in nadzora je normalno, da ena oseba oz. operater v industriji spremišča več tiskalnikov hkrati (twi-global, b.d.).

Enostavna tehnologija za razumevanje in uporabo

Programska oprema, kot so Cura, Fusion 360 in podobni, so čedalje bolj enostavni za razumevanje in uporabo. Seveda je vpleteno začetno spoznanje osnovnih funkcij programa, vendar lahko čisti začetnik v kratkem časovnem roku samoinicializira tisk in z učenjem CAD-programov tudi riše modele za 3D-tiskanje (Tadeja Muck, 2015).

Tiskanje za domače projekte

Ker je 3D-tiskanje čedalje bolj cenovno ugodno, je tudi velik trg v prostočasnih in domačih projektih, ki ponujajo lokalno modeliranje in 3D-tiskanje v primeru, če nekdo potrebuje kakšen specifičen kos ali celo prototip (twi-global, b.d.).

Prenos in deljenje 3D-modelov v internetni oblak

Poleg množičnega prilagajanja oblike 3D-modelov in izdelave nizkih naklad pa pospešuje tudi razvoj različnih možnosti za shranjevanje, deljenje in prenos digitalnih modelov. Strani, kot sta Thingiverse in yeggi, ponujajo prav to, kjer lahko vsaka oseba v raznovrstne kategorije (orodja, nakit, igrače, figure itd.) s programsko opremo spreminja 3D-model in prilagaja po svojem stilu. Ta možnost deljenja prav tako vzpodbuja sodelovanje med različnimi ljudmi ali celo ekipami in industrijami. Več, kot je ljudi, ki imajo dostop do 3D-modelov, več bo ponovitev pri razvoju izdelkov, ki doprinesejo nove, kreativnejše in funkcionalnejše rešitve (Tadeja Muck, 2015).

Trgovinsko poslovanje in lokalna proizvodnja

En velik plus pri 3D-tiskanju je na področju trgovanja in lokacije proizvodnje izdelkov. Že danes ponuja veliko ljudi svoje izkušnje in 3D-tiskalnike za izdelavo izdelkov po meri ali pa za celo čisto unikatne prototipe. Trgovanje po tradicionalnih poteh, kjer se je recimo ovitek telefona izdelal na Kitajskem zaradi cenovno ugodnih razlogov in oposlal po kateremkoli kotičku po svetu, je čedalje slabša opcija. Trgovine morajo hraniti izdelke v skladiščih in spremljati obtok izdelkov, pri 3D-tiskanju pa je dorečeno točno število naročil. Cenejšim delovnim silam na vzhodu sveta, kot so Kitajska, Malezija in Tajska, bo lokalizacija 3D-predmetov dolgoročno gledano močna alternativna konkurenca. Cena in čas transportacije, legitimnost prodajalcev in izdelki po meri bodo imeli velik konkurenčni vpliv na vzhodne industrijske gigante v proizvodnji plastičnih izdelkov (Tadeja Muck, 2015).

Prihodnost 3D-tiskanja

3D-tiskanje se je v zadnjih desetletjih razširilo v naprednejše kategorije 3D-tiskanja, kjer se izdelki lahko tako rekoč dejansko uporabljajo za transplantacijo 3D-tiskanih umetnih organov v medicinski veji, izdelovanje celovitih karoserij avtomobilov in pred kratkim za izdelovanje vesoljskih raket pri pionirskega podjetju Relativity Space.



Slika 13: Relativity Space 3D-tiskanje vesoljske rakete

Vir: (<https://spectrum.ieee.org/image/MzM5NTk1OA.jpeg>)

3.4.2 Slabosti

Omejen volumenski prostor tiskanja

Prostočasni in industrijski 3D-tiskalniki so v primerjavi s tradicionalnimi metodami in strojem kot recimo CNC-sistemom veliko manjši v volumenski kapaciteti tiskanja. Zato je včasih za izdelavo izdelka treba tiskati več kosov, ki se kasneje združijo v en končni predmet (twi-global, b.d.).

Naknadna obdelava obdelovancev

Večina 3D-tiskanih izdelkov je potrebno pri zaključenem tiskanju zaradi imperfekcij, deformiranosti površinske kakovosti ali ojačitve mehanskih karakteristik ročno ali strojno naknadno obdelovati (twi-global, b.d.).

Avtorske pravice in ilegalni tiski

Eden izmed večjih šibkosti je zlorabljanje avtorskih pravic, ki so prisotne pri kraji modeliranih predmetov v CAD-programih, ponarejevanje originalnih izdelkov in kopiranje 3D-tiskalnikov od ostalih podjetij. Tukaj se še odvisno od geografske lokacije in predpisanih zakonov pojavi težava tiskanja kosov orožij in pušk, ki se lahko sestavijo in uporabijo za zlobne namene (twi-global, b.d.).

Manjšanje število zaposlenih ljudi v 3D-tiskarski industriji

Avtonomnost je dvostranska tematika, ki ima kljub pozitivnosti na razvoju tudi slabo stran. Vpliva na razpoložljivo število zaposlenih ljudi v 3D-tiskarski industriji, kjer se tehnologija giblje v smeri avtonomnosti in je samo vprašanje časa, kdaj se bo tudi delo serviserja iz človeškega poklica spreobrnilo na avtonomno robotsko delo (twi-global, b.d.).

Finančna naložba

Finančna naložba v 3D-tiskanje je v primerjavi z drugimi proizvodnjimi metodami cenovno ugodnejša, vendar se pri večjem številu tiskov in nasploh tiskalnikov ne zmanjša (twi-global, b.d.).

3.5 3D-MODELIRANJE

3D-modeliranje je digitalna predstavitev predmeta oz. kosa, narejena s pomočjo CAD ali drugih programskih oprem. Modeliranje je razpršeno v vseh inžinirskih in znanstvenih vejah in nekaterih razvedrilnih industrijah, kot so razvoj video iger, filmov itd. (Tadeja Muck, 2015).

Vsaki 3D-tiskalnik mora razumeti volumenski prostor in smeri ter pot, po kateri mora slediti. Te smeri oz. tako imenovane osi imenujemo os X, Y in Z. So tridimenzionalne smeri, ki predstavljajo vsako pot na delovni plošči. V 3D-modeliranju pa imamo tako imenovane točke in črte, ki povezujejo te točke, da se lahko zarišejo robovi oz. dejanska pot, po kateri se bo tiskal filament (Tadeja Muck, 2015).

Poligon je katerakoli oblika, ki nastane s povezovanjem teh ravnih črt, poznamo pa jih več vrst, ki so odvisne od števila strani. Skupek teh točk in poligonov imenujemo poligonska mreža. Poleg točk, poligonov in poligonskih mrež še imamo vektorje, ki predstavljajo geometrijsko dolžino in širino, predstavljeno s puščico (Carli, 2016).

3.5.1 Vrste 3D-modeliranja

3.5.1.1 Solidno modeliranje

Solidno modeliranje oz. imenovano tudi polno modeliranje se uporablja za izdelavo trdih oblik. Ta vrsta modeliranja je kompleksna, saj morajo biti modeli geometrijsko pravilni, ki zahtevajo raznorazne notranje in zunanje simulacije. Ta vrsta modeliranja se uporablja pri ustvarjanju animacij za vizualizacijo funkcionalnosti modelov v simulacijah in digitalni vizualni pregled končnega izdelka. Uporabljam preprosta telesa, kot so kocke, krogle, stožci, kvader in valji. Prednosti te oblike modeliranja so preprosta uporaba modeliranja z osnovnim razumevanjem programskih funkcij, nizka potrebna računalniška moč za izračunavanje trikotnikov (Ortiz, 2020).

Najbolj znani programi za solidno modeliranje so FreeCAD, SketchUp, Tinkercad, Solidworks, Fusion 360 idr.

3.5.1.2 Površinsko modeliranje

Površinsko modeliranje je matematični prikaz 3D-modelov, ki omogočajo videz z različnih zornih kotov. Ta vrsta modeliranja je zahtevnejša, saj se uporabljačte, ki definirajo obliko in ukrivljenost predmeta, ter računa gladino površine, ki povezuje vodilne črte. To vrsto modeliranja srečamo pri aerodinamičnih in termodinamičnih risbah, kjer morajo biti oblike zelo precizne. Prednost površinskega modeliranja je izdelava kompleksnejših modelov, ki se uporablja pri izdelkih, kjer je pomemben natančen videz, in na področju simulacij v medijih, kot so zrak (aerodinamika) in tekočine (termodinamika) (Ortiz, 2020).

3.5.1.3 Žično modeliranje

Žično modeliranje temelji na ideji, da so modeli v celoti sestavljeni iz točk, krogov, krivulj in črt. Izmed vseh omenjenih metod modeliranj je žična najpreprostejša, osnovni elementi pri modeliranju pa so trikotniki. Večje število trikotnikov pomeni večjo resolucijo modela, predstavljenega v programu, ki se pa prav tako lahko uporablja tudi s solidnim in površinskim modeliranjem. Prednost žičnega modeliranja je, da v primerjavi s solidnim modeliranjem lahko pridobimo kompleksnejše krivulje in površine (Ortiz, 2020).

3.5.2 *Programska oprema*

Za uspešno natisnjeno 3D-izdelek potrebujemo dve različni programski opremi. Prva je program, ki omogoča risanje, izdelovanje in modeliranje 3D-modelov (CAD), katere lahko shranimo v različne datotečne formate. Kadar je 3Dmodel izdelan, se ga naloži v drugem programu, ki je odgovoren za dekodiranje 3D-modela na način, da ga bo koordinatni sistem 3D-tiskalnika razumel. Rezkalni programi so vizualni vtičniki za virtualno premikanje, rotiranje modela in nastavljanje raznovrstnih parametrov 3D-tiskalnika. Kadar smo zadovoljni z 3D-modelom in nastavljenimi parametri tiskalnika, model »narežemo« (slice) v poljuben datotečni format, ki ga nato naložimo na 3D-tiskalnik in lahko začnemo tiskati (AllThat3D, The History of 3D Printing, b.d.).

3.5.3 Vrste datotečnih formatov za shranjevanje modelov

Pri 3D-modeliranju in tiskanju poznamo več tipov datotečnih formatov, s katerimi tiskalnik tiska model. Ti formati shranjujejo informacije, kot so ime modela, koordinatni koraki osi v kronološkem zaporedju, geometrija modela, uporaba materiala, gostota modela, hitrost premikanja, raven ohlajevanja izdelka ipd. (AllThat3D, The History of 3D Printing, b.d.).

3.5.3.1 STL

Kot omenjeno že na začetku zgodovine 3D-tiskalnikov, je avtor datotečnega formata STL Charles Hull, ki je prav tako ustanovitelj znanega podjetja 3D Systems. Gre za preprost in berljiv format, ki je napisan v kodi ASCII in binarni kodi. STL-format ima samo informacijo o geometriji 3D-modela. Zaradi preprostosti formata se uporablja v primerih, kjer je vpletен samo en filament za tiskanje 3D-predmeta. Kljub pionirskega in enostavnega sloga pa ta tip formata postaja zastarel, saj ne podpira dovolj informacij za današnje bolj zapletene modele. Format prav tako ne podpira kompresije in je po današnjih standardih glede velikosti ostalih datotečnih formatov prevelik (AllThat3D, The History of 3D Printing, b.d.).

3.5.3.2 3MF

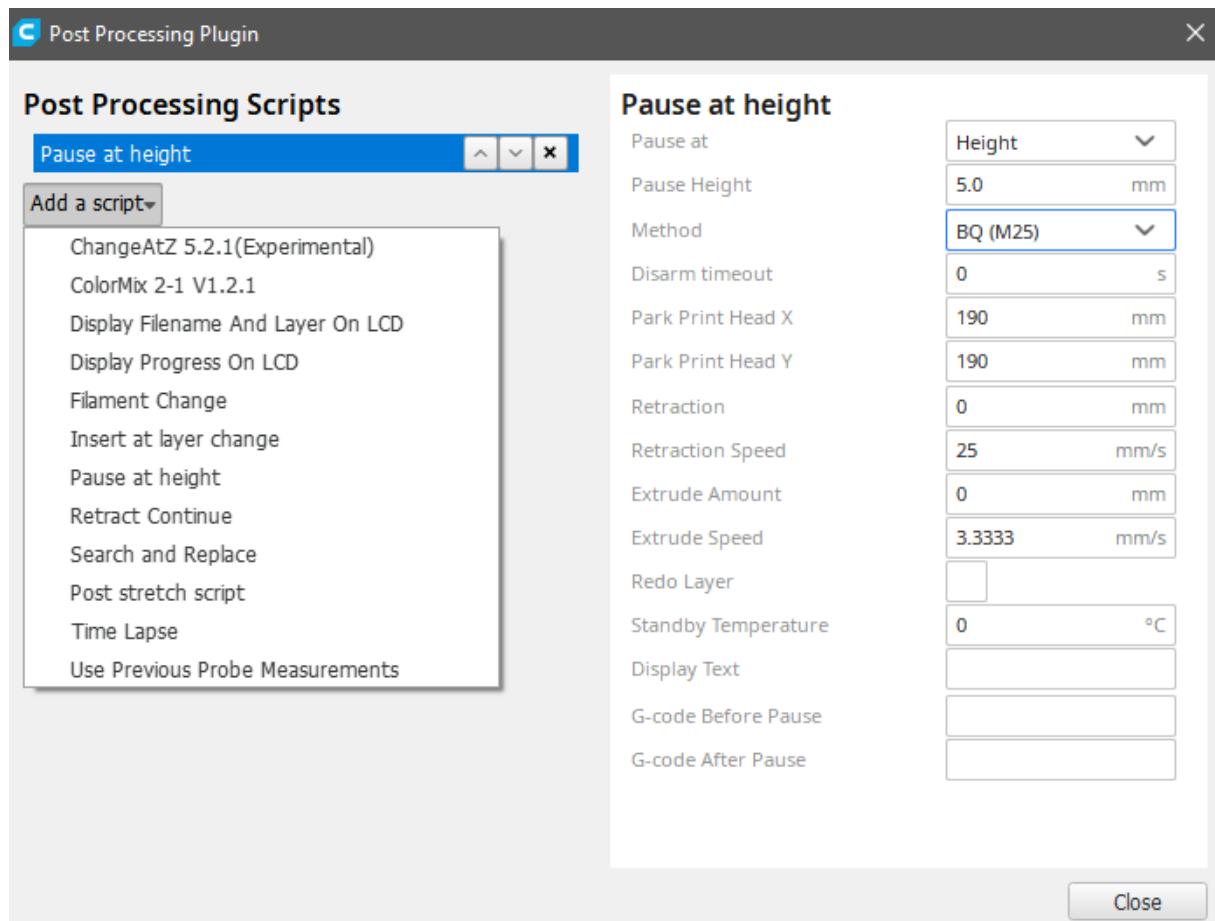
3MF je naslednik formata STL, ki ga je razvil Microsoft za svoje namene, vendar je skozi leta prodrl tudi v industrijo 3D-modeliranja in tiskanja. 3MF deluje na principu datotečnega formata STL, vendar je preprostejši za branje, bolj kompakten in ima zmogljivost, da vsebuje več informacij glede različnih modelov. Format se je izkazal za učinkovitega in zagotavlja tiskanje brez izgubljenih poligonov ali prekinjenih slojev (AllThat3D, The History of 3D Printing, b.d.).

3.5.3.3 OBJ

OBJ je odprtakodni format, ki podpira kodiranje v sistemu ASCII in binarnem sistemu. Poleg informacij o geometrijskem 3D-modelu vsebuje tudi informacije o teksturi in filamentu. Ponuja podobne sposobnosti kot STL, vendar omogoča uporabo krivulj in površino prostih oblik. OBJ-format lahko shranjuje omenjene krivuljne geometrije, ne da bi izgubil ali zamešal kakršnokoli informacijo. V primerjavi s STL-datotečnem formatu je manjša velikost datoteke (AllThat3D, The History of 3D Printing, b.d.).

3.5.3.4 G-KODA

V bolj profesionalnih in sofisticiranih primerih se velikokrat uporablja datotečni format, imenovan G-koda, ki je prav tako jezik, s katerim človek po programskeh ukazih računalniško nakazuje vodeno ravnanje in pot tiskanja. Kjer STL-format vsebuje samo informacije o geometriji 3D-modela, vsebuje G-koda navodila, kot so temperatura, ekstrudirna hitrost, hitrost premikanja šobe po koordinatnem sistemu itd. Vsaka nastavitev, ki je nastavljena v STL-formatu, se s spremembami parametrov, kot so začetna višina tiskanja, temperatura šobe/delovne plošče, hitrosti, spremeni v novo unikatno G-kodo (AllThat3D, The History of 3D Printing, b.d.).



Slika 14: Modificiranje G-kode v programu Ultimaker Cura

Vir: (Lastni vir)

4 ANYCUBIC I3 MEGA

V nadaljevanju diplomskega dela sledi opis 3D-tiskalnika.

Gre za model, imenovan i3 Mega od podjetja Anycubic, svetovno priznanega podjetja v proizvodnji 3D-tiskalnikov FFM-tehnologije (bolj znano FDM) in SLA-tehnologije.

Anycubic i3 Mega je FFM-tiskalnik s solidno kovinsko konstrukcijo, ki je zmožen tiskati izdelke resolucije do 0,05 mm. Ima dva limit stikala na Z-osi, ki pripomore k večji natančnosti višine šobe na delovno ploščo. Prav tako vsebuje zaslon na dotik, kjer se lahko upravlja s tiskalnikom in spreminja nastavitev. Ima zelo priročno vgrajeno vezje proti izpadu elektrike, ki si zapolni zadnji položaj. Kadar se elektrika vrne, se tiskalnik samo prižge in naprej normalno nadaljuje. Podpira različne materiale, kot so PLA, ABS, HIPS in leseni filamenti. I3 Mega tudi ponuja možnost nadgradnje na raven I3 Mega S, ki lahko z zamenjavo boljšega ekstruderja tiska TPU-filament.



Slika 15: Osnovni Anycubic I3 Mega

Vir: (Lastni vir)

Tehnične specifikacije

Tabela 1: Specifikacije 3D-tiskalnika Anycubic i3 Mega

Tehnologija:	FFM oz. FDM (Fused Deposition Modeling), ena šoba
Resolucija tiska:	0,05–0,3 mm
Natančnost položaja:	X/Y 0,0125 mm – Z 0,002 mm
Materiali za tiskanje:	PLA, ABS, HIPS, leseni filamenti
Dimenzijske šobe:	0,4 mm/1,75 mm
Delovna temperatura ekstruderja:	maksimalno 260° C
Delovna temperatura delovne plošče:	maksimalno 110° C
Volumenski prostor delovne plošče:	210 mm x 210 mm x 205 mm
Dimenzijske 3D-tiskalnika:	405 mm x 410 mm x 453 mm
Podprtji datotečni formati modelov:	.STL, .OBJ, .DAE, .AMF, G-koda
Povezanost:	SD-kartica, USB na računalnik
Masa tiskalnika:	16,5 kg
Hitrost tiskanja:	20–100 mm/s (priporočena hitrost 60 %)
Možnost segrevanja delovne plošče:	Da
Vhodna voltag in frekvenca:	110 V/220 V AC, 50/60 Hz
Delovna voltag:	12 V DC
Število motorjev:	2 koračna motorja (ANY-KEL001)
Šoba:	Medenina E3D V6 – 1,75 mm
Delovna plošča:	Ultrabase ogrevalna plošča (ANY-ZH045)
Hotend:	ANY-ZHM031
Glavna elektronska plošča:	ANY-3D777
Napajalnik:	ANY-MEL042

Vir: (<https://all3dp.com/1/anycubic-i3-mega-3d-printer-review/>)

5 IZHODIŠČNI MODEL – 3DBENCHY

Izhodiščni model, meritni model oz. po angleško velikokrat poimenovan »benchmark«, je model ladjice, ki je v 3D-tiskalni skupnosti po svetu postala izhodiščna točka za vizualno in kalibracijsko določanje morebitnih težav pri testiranju tiskanja, kot so pravilna uravnava vseh dimenzijskih osi, dinamično pravilno premikanje brizgalne enote in premikanje delovne plošče. Dizajn ladjice je v licenčni lasti podjetja Creative Tools, ki pa vzpodbuja tisk tega modela, saj je zelo priročen za prostočasno kot tudi industrijsko kalibriranje 3D-tiskalnikov.

Model ladjice je oblikovan s skalo 1 : 1 brez podpornih struktur, volumen pa znaša $15,55 \text{ cm}^3$. Ladjica je v formatu .STL in je sestavljena iz 225.154,00 trikotnikov. Zaradi topologije je model 100 % vodotesen in ne vsebuje mrežnih napak. Simetrični model ladjice prav tako pripomore k opažanju morebitnih popačenih ali ukrivljenih lastnosti tiskanja. Ladijski trup je velika pod naklonom ukrivljena gladka površina, ki je pravi izviv za uspešni tisk. Na zadnjem delu trupa se nahaja napis »#3DBenchy«, kjer lahko ob tiskanju opazimo, kako natančno je kalibriran 3D-tiskalnik. Na vrhu strehe je cilindrični dimnik, ki testira tisk cilindričnih oblik. V notranjosti kabine so previsi in okna za testiranje hlajenja in stabilnost tiskanja z odstopom izven temelja (3DBenchy, 3DBenchy Dimensions, b.d.).



Slika 16: 3DBenchy

Vir: (<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7f/3DBenchy.png>)

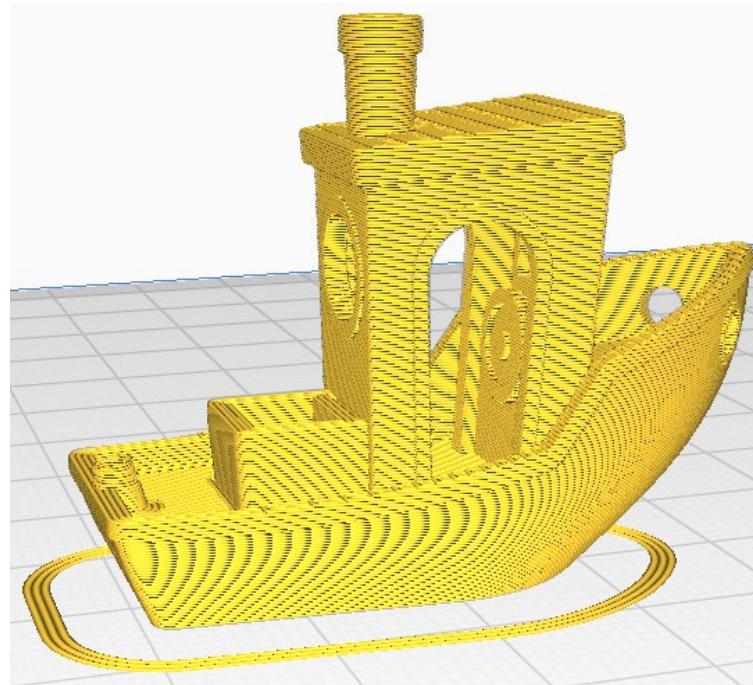
5.1 Tisk modela 3DBenchy z osnovnim Anycubic I3 Mega

Tisk 3DBenchy ladjice se v večini primerov natisne v skladu s splošnimi nastavitevami, ki so dodeljene 3D-tiskalniku, da se ovrednoti splošno in specifično delovanje tiskanja.

Tabela 2: Nastavitev tiskanja modela 3DBenchy

Višina sloja:	0,2 mm
Polnitev modela:	10 %
Velikost:	75 % od prvotne
Podpora modela:	Ne
Poraba materiala:	6 gramov oz. 1,98 metov
Čas tiskanja:	41 min

Vir: (<https://all3dp.com/1/anycubic-i3-mega-3d-printer-review/>)



Slika 17: Predogled modela 3DBenchy v programu Ultimaker Cura

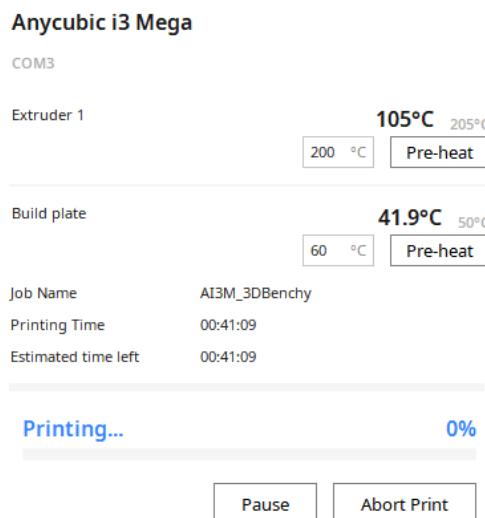
Vir: (Lastni vir)

Priprava na tiskanje

3D-tiskalnik mora biti na fiksniem temelju kot na primer kakšna nočna omarica za minimalno nihanje med tiskanjem. Prostor, v katerem se tiska, mora biti brez vetrni in brez nihanja temperature ter vlage.

Ker Anycubic I3 Mega ni 3D-tiskalnik zaprtega tipa, mora biti okolje v čim bolj kontroliranem prostoru. Vsak 3D-tiskalnik mora za uspešno tiskanje imeti pravilno poravnano delovno ploščo, ki pa se mora pri tovrstnem tiskalniku nastaviti ročno. Nastavljanje višine delovne plošče je pomembno, da ne pride do deformacij modela.

Obstajajo tudi dražji in boljši tiskalniki, ki pridejo z dodatno elektroniko in senzorji in pred vsakim tiskanjem avtomatsko izmerijo in poravnajo delovno ploščo. Kadar so vsi pregledi uspešno opravljeni in delovna plošča poravnana, se lahko 3D-tiskalnik segreje na delovno temperaturo. Kadar se segreje na delovno temperaturo, se začne izris območja modela in tiskanje samega 3D-modela. Za tiskanje sem uporabil filament ecoPLA črne barve od podjetja 3DJAKE, ki je idealen pri uporabi delovne plošče pri temperaturi 50° C in šobe oz. ekstruderja glave pri temperaturi 205° C.



Slika 18: Segrevanje ekstruderja in delovne plošče, spremljanje preko USB-kabla v programu Ultimaker Cura

Vir: (Lastni vir)



Slika 19: Filament ecoPLA črne barve od podjetja 3DJAKE

Vir: (Lastni vir)

Opazovanje 3D-modela med tiskom

Eden izmed pomembnejših aspektov 3D-tiskanja je spremjanje tiska, če se bi pojavili morebitne težave ali napake. Generalno gledano je zelo priporočljivo opazovati vsaj prvih par slojev nanosa filamenta, saj nam že prvi sloji lahko povedo, ali smo pravilno nastavili parametre, kot so hitrost filamenta, tiskanja, šobe, delovne plošče in temperaturna regulacija delovne plošče in šobe. Kadar tisk doseže 20 % procesa, je verjetnost uspešnosti tiska čedalje večja.

Tisk modela 3DBenchy sem poskusil 3-krat, vendar sem vedno naletel na deformacijo, zato sem nadaljeval s tiskanjem, saj preverjam primerjavo osnovnega in predelanega 3D-tiskalnika z dodeljenimi nastavitevami.



Slika 20: 3DBenchy pri 69 % opravljenosti

Vir: (Lastni vir)



Slika 21: Končni model 3DBenchy, narejen z Anycubic I3 Mega

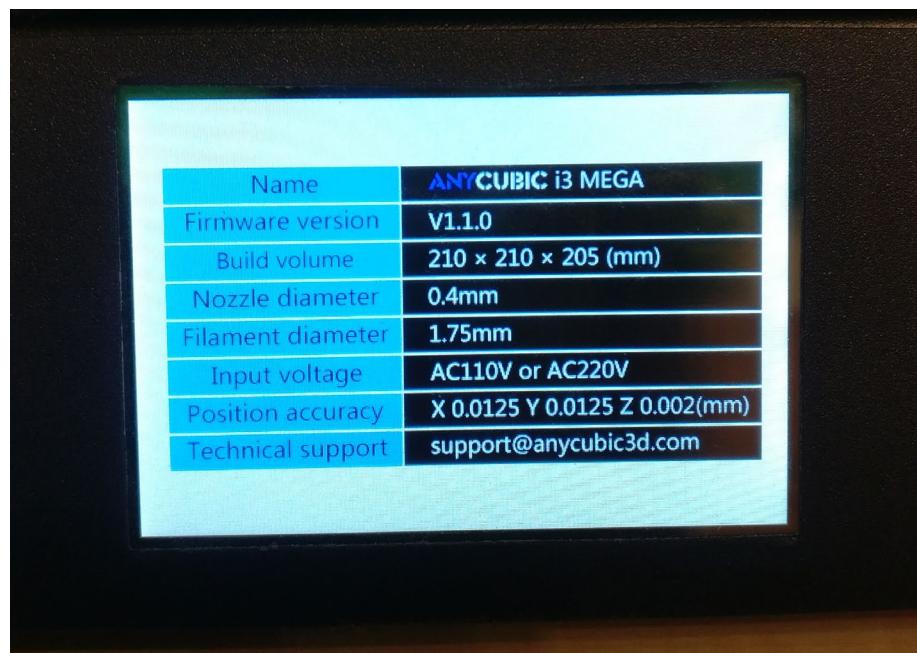
Vir: (Lastni vir)

6 TISKANJE DODATKOV ZA ANYCUBIC I3 MEGA

V svoji raziskavi preko spleta sem se podal v iskanje praktičnih in učinkovitih modifikacij za doprinos dejanskih pozitivnih rezultatov. Do dostopa teh dodatkov mi je pomagala skupina prijaznih in predanih entuziastov 3D-sveta, vključenih v skupine na Facebook-u in s spletnih strani, kot so Thingiverse in yeggi, ki ponujajo raznorazne modele za prenos.

Ker je cilj diplomskega dela izboljšati standardne 3D-tiskalnika z dodajanjem samo 3D-tiskanih modelov, se možnosti, kot so nakup in vgradnja raznoraznih boljših motorjev, šob, ventilatorjev in elektronskih vezij, ne upoštevajo.

Prav tako se ne upošteva nadgradnja programa za strojno opremo (most med komuniciranjem programske opreme in strojne opreme 3D-tiskalnika). Trenutno uporabljam verzijo 1.1.0, obstaja pa že 1.1.3. Obstajajo tudi alternativne nadgradnje programa za strojno opremo, ki niso od uradnega podjetja, temveč od skupnosti ljudi, ki se ukvarjajo z 3D-tiskalniki (na primer firmware Merlin V1.1.9). Pri procesu nadgradnje programa za strojno opremo je vseeno prisotna odstotna možnost, da se mi programska oprema 3D-tiskalnika nepravilno posodobi, oziroma da se proces ustavi/prekine, zato je tudi s tega vidika bolje, da bom opravljal tiske na trenutni stabilni verziji.

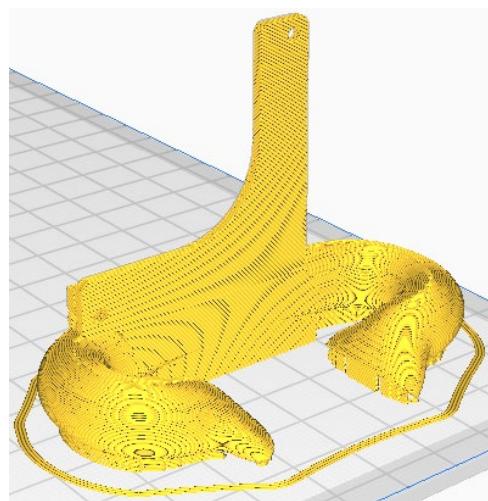


Slika 22: Informacije o I3 Mega, program za strojno opremo – verzija 1.1.0

Vir: (Lastni vir)

6.1 Dvostranski dovod zraka za ohlajevanje šobe in izdelka

Na spletni strani Thingiverse sem zasledil model, imenovan »Anycubic i3 Mega fan duct 2-sided«, ki ob tiskanju 3D-predmeta dovaja zrak iz stranskih smeri ekstruderja. Osnovni 3D-tiskalniki so znani po enostranskem sprotinem ohlajanju izdelka iz nadstropne strani proti delovni plošči, ta dodatek pa spremeni in deli dovod zraka na dva stranska kanala, ki sta tudi mnogo bolj učinkovita. Čas tiska je trajal približno 1 uro in 7 minut, porabilo se je 12 gramov oziroma 3,98 metrov filamenta.



Slika 23: 3D-model dvostranskega dovoda za zrak v programu Ultimaker Cura

Vir: (Lastni vir)

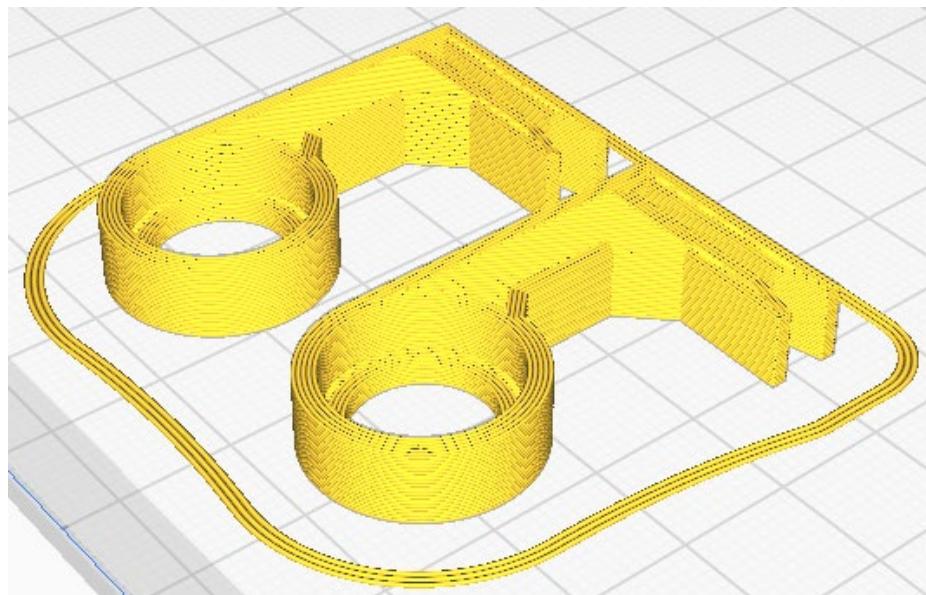


Slika 24: 3D-tiskan model dvostranskega dovoda za zrak

Vir: (Lastni vir)

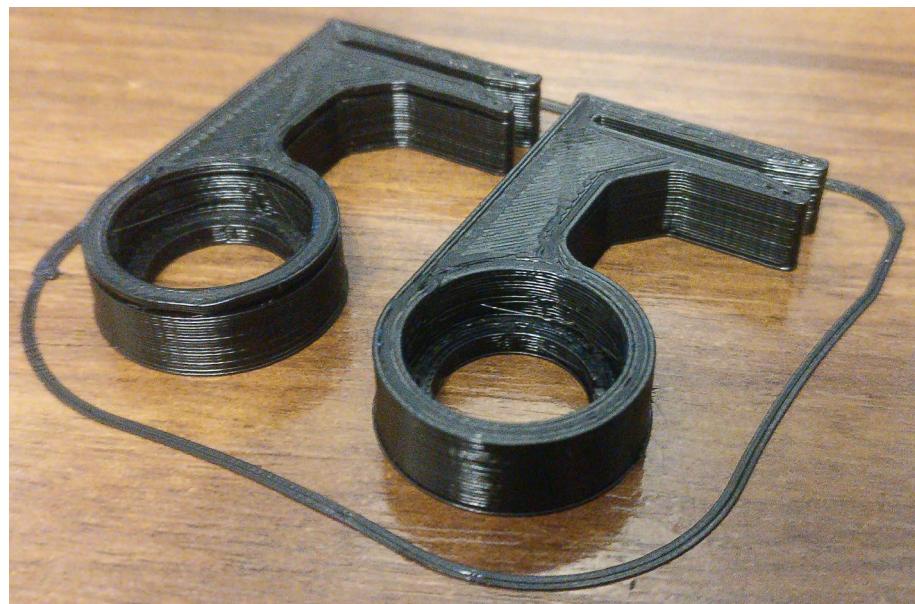
6.2 Stabilizacijska podpora za drog na Z osi

Ta model je namenjen za stabilizacijo dveh drogov na Z osi, ki preprečuje zibanje Z osi med tiskanjem. Čas tiska je trajal približno 21 minut, porabilo se je 6 gramov oziroma 2,12 metra filamenta. Model sem našel na Thingiverse.



Slika 25: 3D-model stabilizacijske podpore droga na Z osi v programu Ultimaker Cura

Vir: (Lastni vir)



Slika 26: 3D-tiskan model stabilizacijske podpore za drog na Z osi

Vir: (Lastni vir)



Slika 27: Desni drog po Z osi

Vir: (Lastni vir)



Slika 28: Dodana stabilizacijska podpora desnega droga

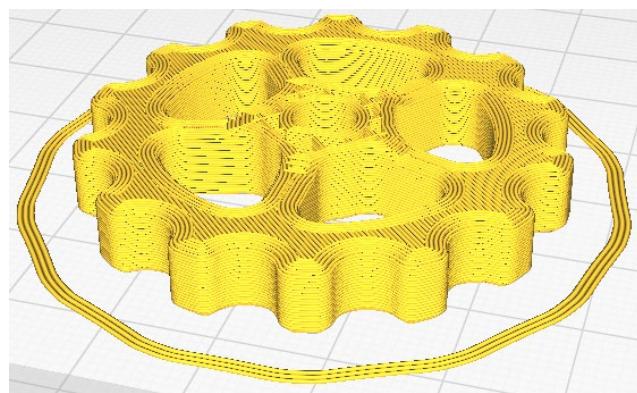
Vir: (Lastni vir)

6.3 Ventil za ročno dovajanje filamenta

Manual Filament Feeder Extruder Gear Knob Mod for CR-10 and other Bowden 3D Printers.

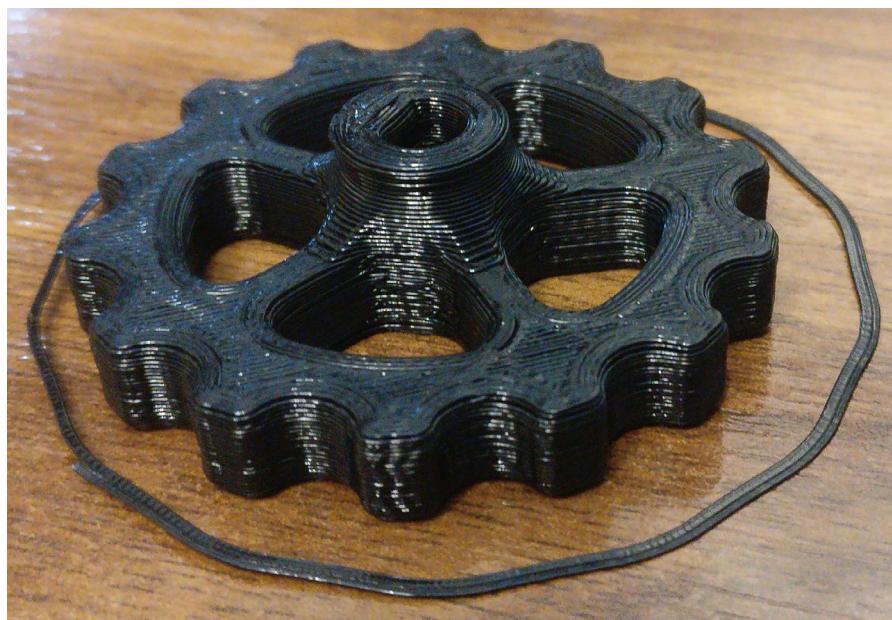
Ta dodatek je zelo priročen, saj je na I3 Mega edina možnost za dovajanje filamenta preko programskega vtičnika na zaslonu na dotik. Čeprav so prvotne mere usklajene za tiskalnik CR-10, sem naredil par mer in model v Cura-programu spremenil velikost na 120 %.

Model ventila sem poiskal na Thingiverse. Čas tiska je trajal približno 34 minut, porabilo se je 7,6 gramov oziroma 2,62 metra filamenta.



Slika 29: 3D-model ventila za ročno dovajanje filamenta v programu Ultimaker Cura

Vir: (Lastni vir)

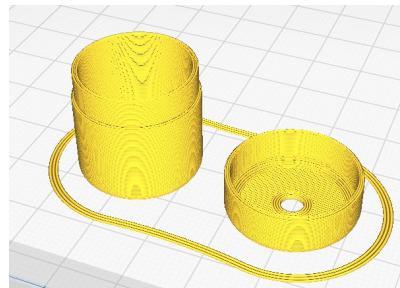


Slika 30: 3D-tiskan model ventila za ročno dovajanje filamenta

Vir: (Lastni vir)

6.4 Prašni filter za filament

Pri FFM-tehnologiji je velikokrat prah težava pri dovajjanju filamenta, saj pride do zamašitve dovajanja filimenta. Ta prašni filter je odlična minimalistična rešitev za tovrstno težavo. Čas tiska je trajal približno 19 minut, porabili so se 4 grami oziroma 1,3 metra filimenta.



Slika 31: 3D-model prašnega filtra za filament v programu Ultimaker Cura

Vir: (Lastni vir)



Slika 32: 3D-tiskan model prašnega filtra za filament

Vir: (Lastni vir)



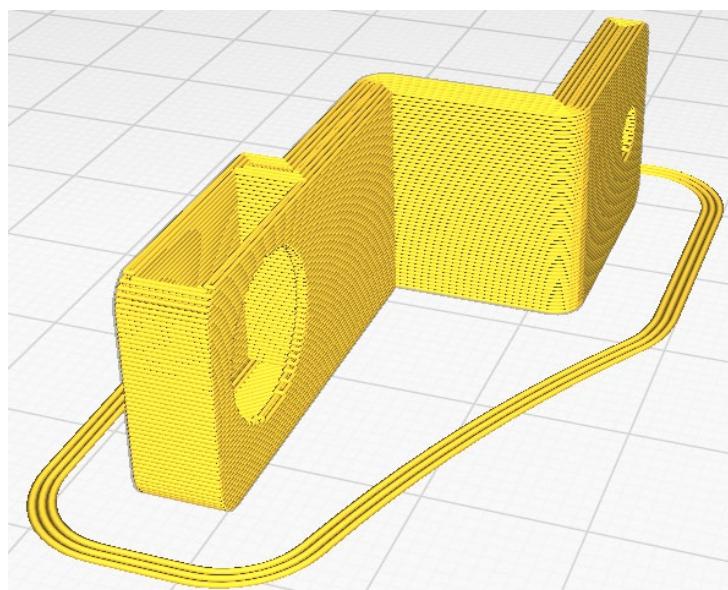
Slika 33: Prikaz delovanja prašnega filtra za filament

Vir: (Lastni vir)

6.5 Pozicijska plošča za filamentni senzor

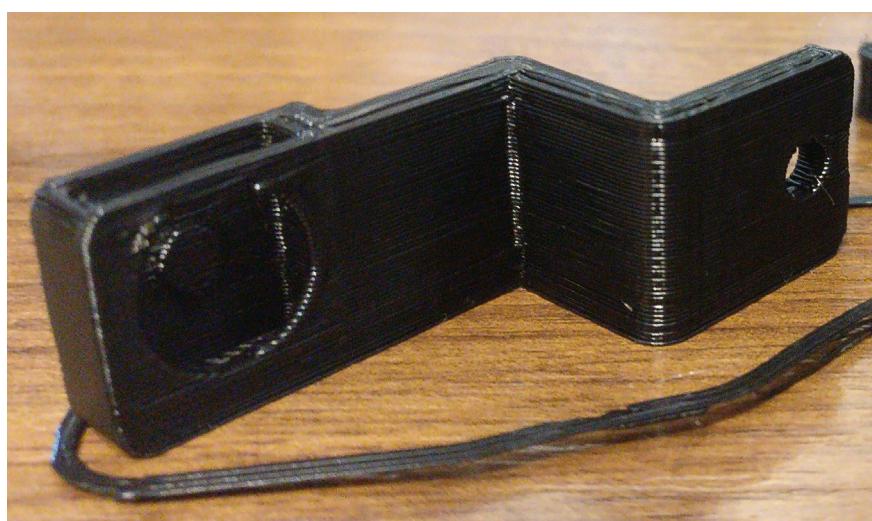
Replacement filament sensor magnet housing – Anycubic i3 mega ultrabase

V tovarniški izvedbi je priložen magnetni nastavek, ki pod preveč ostrim kotom naslanja senzor za filament na dovajalno gonilo. Seveda obstajajo tudi druge pozicije za rolo filimenta in filamentni senzor, vendar se je ta cenovno (poraba filimenta) in časovno najbolj obrestovala. Čas tiska je trajal približno 14 minut, porabilo se je 3,8 gramov oziroma 1,03 metra filimenta.



Slika 34: 3D-model pozicijske plošče za filamentni senzor v programu Ultimaker Cura

Vir: (Lastni vir)

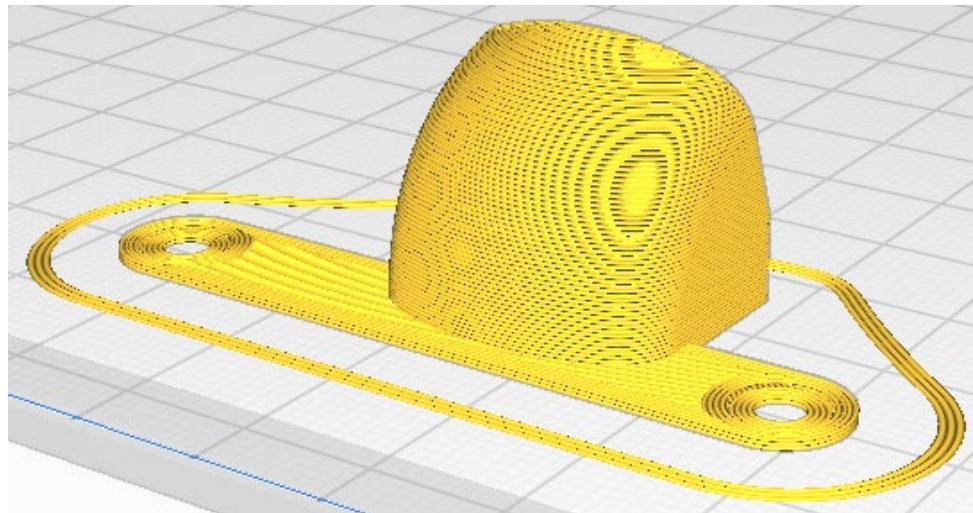


Slika 35: 3D-tiskan model pozicijske plošče za filamentni senzor

Vir: (Lastni vir)

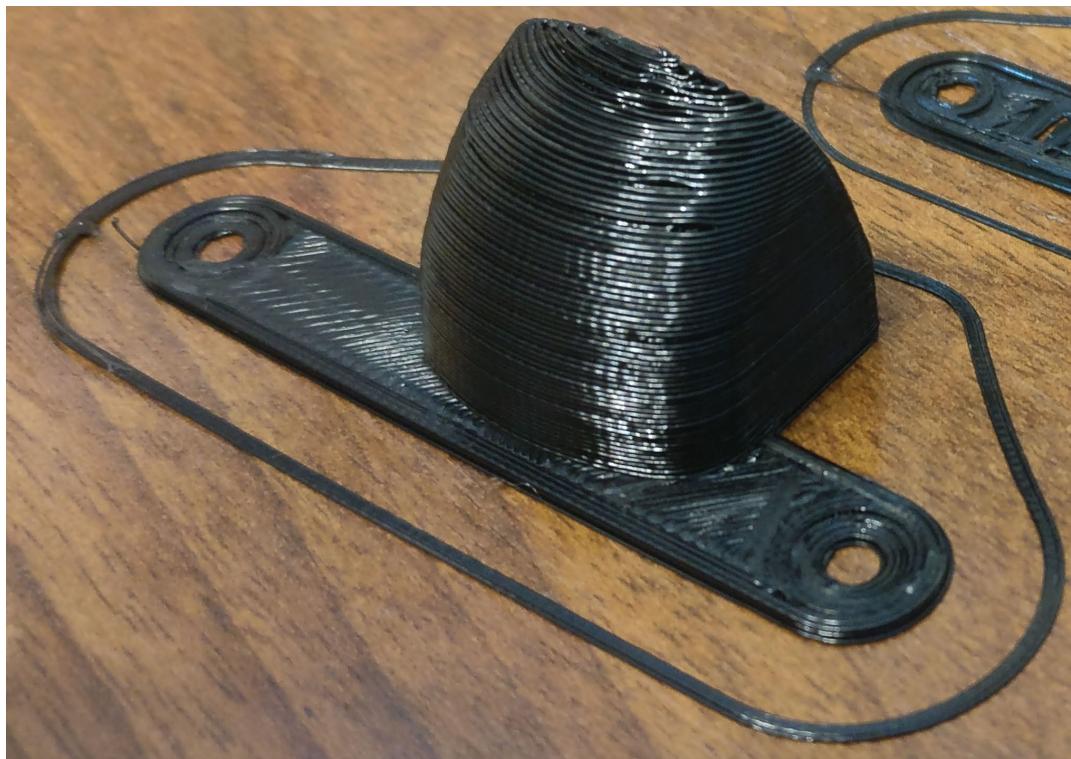
6.6 Zaščita in pokrivalo za kable na ekstruderju

Gre za preprost, vendar efektiven model, ki ščiti izpostavljene kable na vrhu ekstruderja. Najdeno na Thingiverse. Čas tiska je trajal približno 15 minut, porabilo se je 2,6 gramov oziroma 0,75 metra filamenta.



Slika 36: 3D-model zaščite oz. pokrivala za kable na ekstruderju v programu Ultimaker Cura

Vir: (Lastni vir)

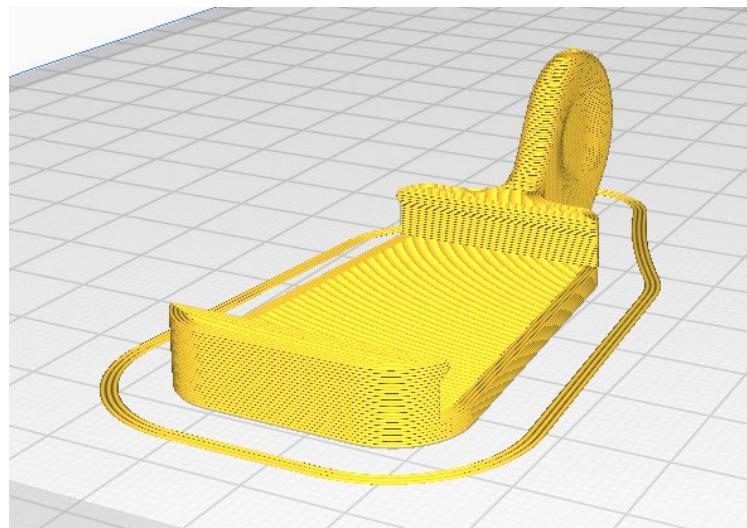


Slika 37: 3D-tiskan model zaščite oz. pokrivala za kable na ekstruderju

Vir: (Lastni vir)

6.7 Prstna ročka za premikanje delovne plošče

Zelo priročen dodatek pri tiskanju, kadar pride do zapletov. Kadar 3D-tiskalnik tiska, se lahko zgodi, da pride do zgoščevanja filamenta v ekstruderju in se šoba preveč zapolni. Ta nastavek je priročen, saj objema delovno ploščo s spodnje strani in nam pomaga premikati omenjeno ploščo brez da se bi opekli. Model sem našel na Thingiverse. Čas tiska je trajal približno 32 minut, porabilo se je 6 gramov oziroma 1,94 metra filamenta.



Slika 38: 3D-model prstne ročke za premikanje delovne plošče v programu Ultimaker Cura

Vir: (Lastni vir)

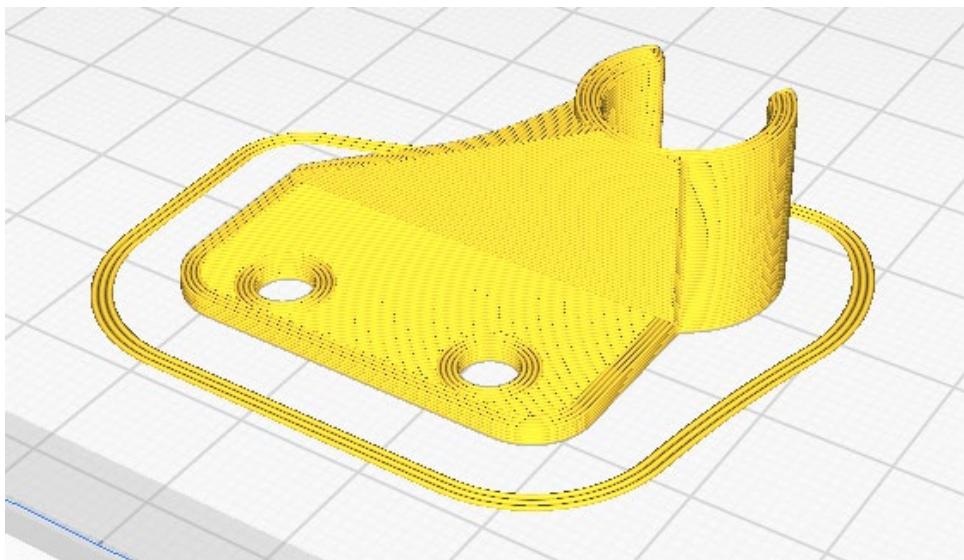


Slika 39: 3D-tiskan model prstne ročke za premikanje delovne plošče

Vir: (Lastni vir)

6.8 Naklonski dovod kablov na ekstruder

Ta model nam ponuja rešitev pri kablih za ekstrudirno enoto, ki pod manjšim naklonom oz. kotom povezuje »hotend« in glavno elektronsko ploščo (Mainboard). Tovarniško so kabli zavezani z zip-vezico in se poredkoma prekine tokokrog med ekstruderjem in glavno elektronsko ploščo, nakar 3D-tiskalnik neha delovati. Model sem našel na Thingiverse, čas tiska je trajal približno 17 minut, porabilo se je 3 grame oziroma 1,02 metra filimenta.



Slika 40: 3D-model naklonskega dovoda kablov na ekstuder v programu Ultimaker Cura

Vir: (Lastni vir)



Slika 41: 3D-tiskan model naklonskega dovoda kablov na ekstuder

Vir: (Lastni vir)

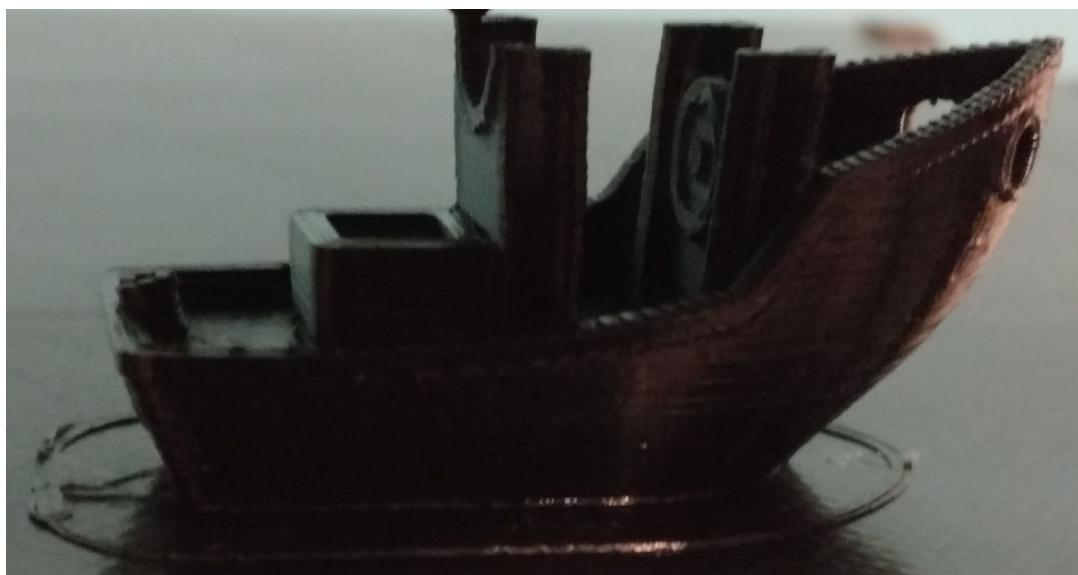
6.9 Tisk modela 3DBenchy z modificiranim Anycubic I3 Mega

3D-tiskalnik je tokrat potekal dosti bolj umirjeno po Z osi. Prav tako je model dvostranski dovod zraka presenetljivo dobro in učinkovito hladil, kar se pozna tudi na samem tisku. Filament se mi tokrat ni zatikal, predvidevam, da je za to odgovoren prašni filter.



Slika 42: tiskanje ladvice 3DBenchy s predelanim Anycubic I3 Mega

Vir: (Lastni vir)



Slika 43: Model 3DBenchy pri 86 % opravljenosti na predelanim Anycubic I3 Mega

Vir: (Lastni vir)

7 PRIMERJAVA OSNOVNEGA IN PREDELANEGA ANYCUBIC I3 MEGA

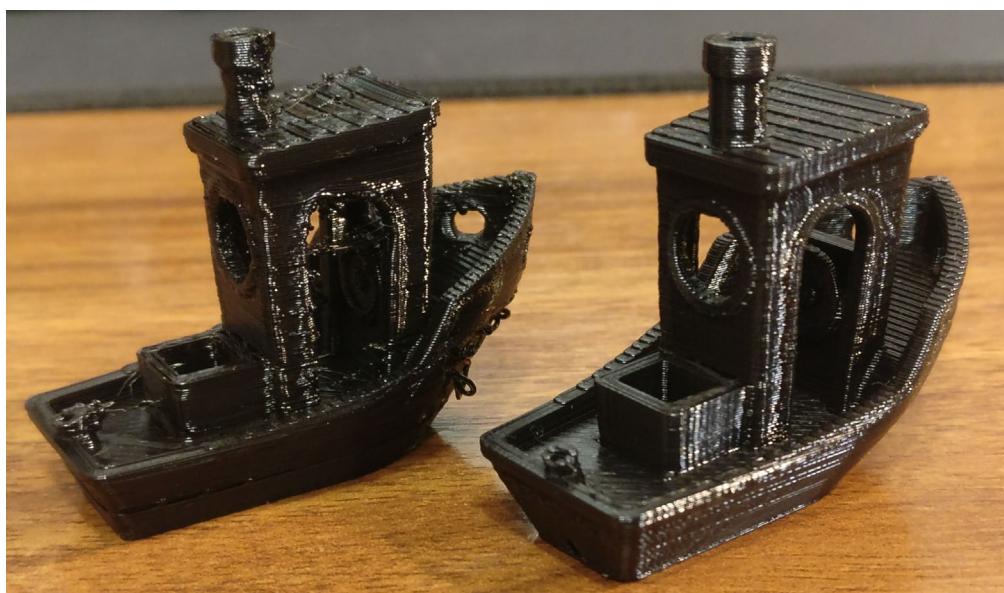
Vsi 3D-tiskani izdelki so bili tiskani z enakim filamentom ecoPLA v brezvetrnem prostoru pri 23–25,3 stopinjah Celzija in z 46 % vlažnostjo.

Tisk ladvice 3DBenchy je bil z enakimi nastavtvami pri predelanem I3 Mega presenetljivo boljši v primerjavi s tovarniškim. Osnovni 3DBenchy ima opazne napake in deformacije, ponekod je kriv prevelik naklon, ponekod pa stabilizacija Z-osi.

Čeprav se pri modelu v osnovni izvedbi tiskalnika vidi, da ima dokaj dobro stabilizacijo in dovajalni ritem filimenta, se zaradi premočnega ohlajevanja filament razprši oz. deformira.

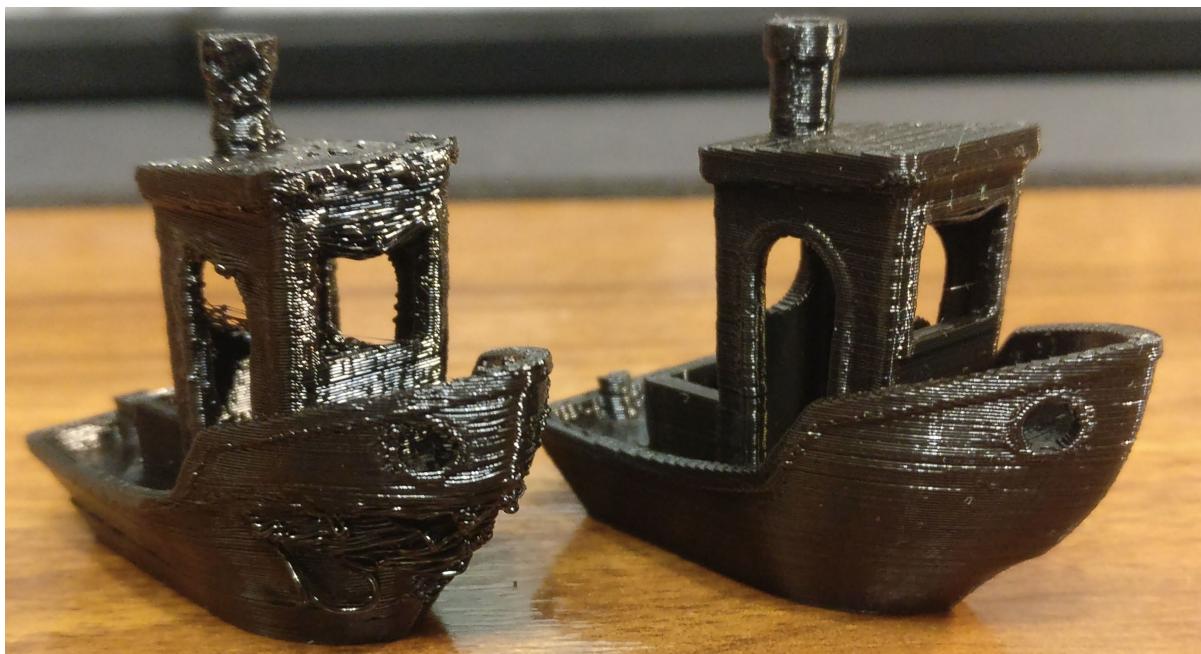
Velik del uspeha na modelu v predelani izvedbi gre dvostranski dovajalni enoti zraka, ki pravilno in enakomerno ohlaja sprotni tisk.

Časovno gledano je bila razlika v dokončanem tisku par minut, kar v resničnem svetu industrijskega 3D-tiskanja ne igra tako velike vloge. Veliko bolje pa je bil izdelan končen tisk ladvice 3DBenchy. Tudi s tovarniškim 3D-tiskalnikom se zmore natisniti v 3D-obliku odlično ladlico 3DBenchy, vendar sem se ravnal po splošnih načelih oz. nastavtvah, ki so dodeljene na spletni strani 3DBenchy.



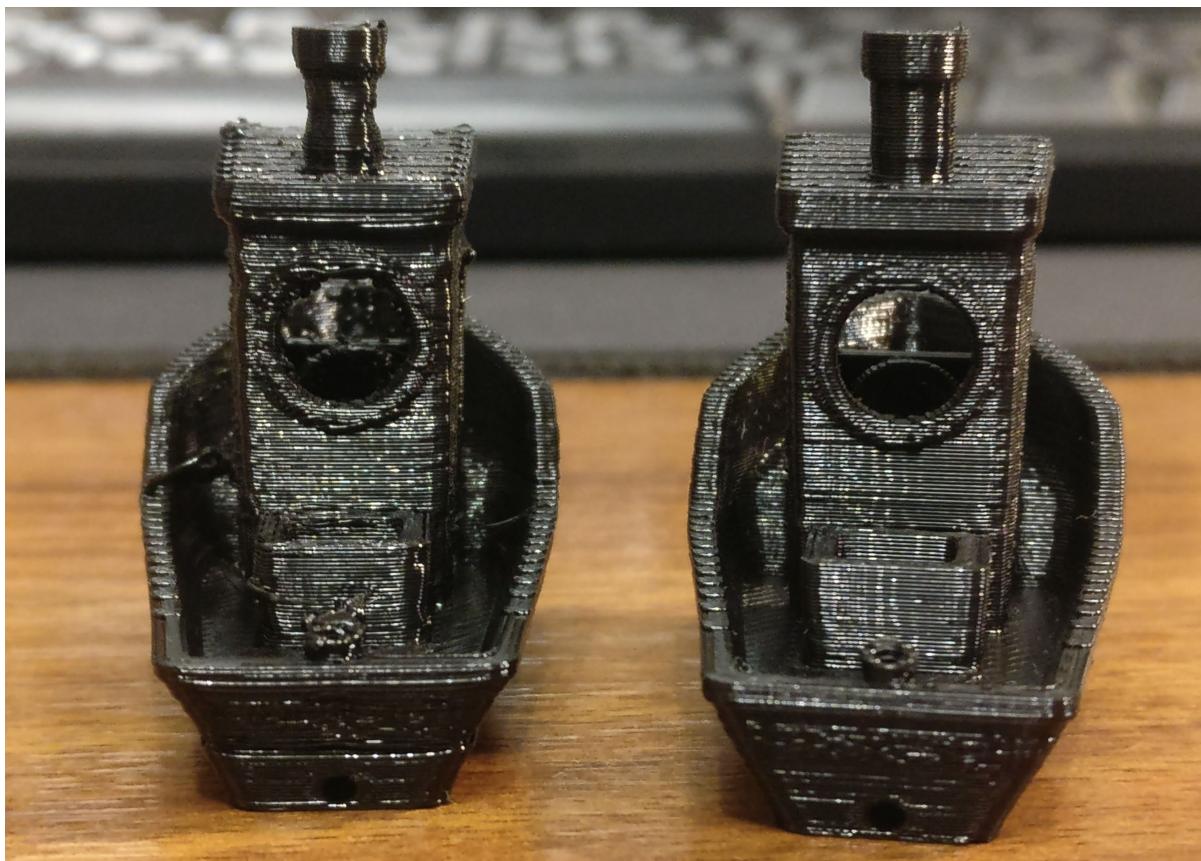
Slika 44: Levo osnovni, desno predelani 3D-tiskalnik (diagonalni pogled)

Vir: (Lastni vir)



Slika 45: Levo osnovni, desno predelani 3D-tiskalnik (sprednji pogled)

Vir: (Lastni vir)



Slika 46: Levo osnovni, desno predelani 3D-tiskalnik (zadnji pogled)

Vir: (Lastni vir)

8 EKONOMSKI VIDIK 3D-TISKANJA

Pri raziskovanju sem odkril vrsto številnih aplikacij na telefonu in spletnih strani, ki na podlagi osnovnih (cena elektrike, tiskalnika, materiala/filamenta, kilovatne ure itd.) ali poljubno dodanih faktorjev (urna postavka, cena z upoštevanjem življenske dobe sestavnih delov 3D-tiskalnika) doprinesejo k dobičkonosnosti 3D-tiskanja.

Za vizualno demonstracijo osnutka sem si pomagal z androidno aplikacijo, imenovano »Price My Print«, avtor aplikacije je Rafael Mendes P. Bachiega.

Za primer demonstracije sem si izbral ventil za ročno dovajanje filamenta. V končni ceni sem upošteval naslednje parametre: cena 3D-tiskalnika, energijska poraba v vatih, cena električne energije za gospodinjstva v Sloveniji v 1. četrletju 2021, odstotna možnost za popravljanje 3D-tiskalnika, urna postavka, odstotna možnost neuspešnega tiska, povprečna dnevna uporabe v urah, življenska doba 3D-tiskalnika in odstotno določen delež dobička.

Cena električne energije za gospodinjstva v Sloveniji v 1. četrletju 2021 znaša 0,15 EUR/kWh. Čeprav je v aplikaciji simbol za valuto ameriški dolar, so dejanske vrednosti mišljene v evrih. 0,15 \$/kWh v aplikaciji je dejansko v tem primeru 0,15 €/kWh.

Prav tako sem pri postavitvi cene dodal pomembne parametre, kot so dolžina porabljenega filamenta oz. mase v gramih, čas tiskanja, kvantiteta kosov, gostote filamenta, premer filamenta in cena na kilogram filamenta.

Aplikacija mi je ob vseh vnesenih parametrih izračunala ceno končnega izdelka, ki znaša 9,37 €. Po mojem mnenju in izkušnjah je cena čisto pravična, saj stranka ne plačuje samo za filament in čas tiskanja, ampak še za mnogo več dejavnikov, ki zelo vplivajo na končno ceno.

New Setting

Setting Name	Part Name
NORMAL	valve
Printer Price [\$]	<input type="radio"/> Length (mm) <input type="radio"/> Weight (g)
360	Length (mm)
Energy Consumption [W]	2620
250	Weight (g)
Tariff per KWh [\$]	Print Time: 0 <input type="text"/> H 34 <input type="text"/> Min
0.15	Quantity: <input type="button" value="-"/> <input type="text" value="1"/> <input type="button" value="+"/>
Repairs: 5%	Filament :
Hour of Work [\$]	ecoPLA
10	<input type="button" value="NEW"/>
Failures: 20%	Setting :
Average Use [h]	Anycubic i3 Mega
4.0 h	<input type="button" value="NEW"/>
Lifespan [years]	<input type="button" value="CANCEL"/> <input type="button" value="CONFIRM"/>
3.0 years	
Selling Profit: 25%	

Create New Material

Material Name	valve
ecoPLA	Quantity: 1 0h 34min
Density	NORMAL ecoPLA
1.75	\$9.37
Diameter	
1.75	
Price per Kg	
15	

Slika 47: Podatki za določanje cene – ventil za ročno obračanje filamenta

Vir: (Lastni vir)

9 SKLEP

V diplomskem delu sem hotel pokazati in potrditi, da je možno 3D-tiskalnik izboljšati že samo z vidika dodajanja 3D-tiskanih modelov. Pri tem sem si postavil tri glavne hipoteze.

Prva hipoteza je bila, da s povečano hitrostjo tiskalnika ne vplivamo na kakovost izdelka. Hipotezo sem delno potrdil, saj je zelo odvisno, do katere mere oz. v tem primeru mejne razlike nastavimo hitrost. Anycubic I3 Mega ponuja v programskem vtičniku na zaslonu možnost povečanje hitrosti tiskanja na 200 %. Iz svojih poizkusov tiskanj sem zasledil, da čeprav je osnovna hitrost nastavljena na 100 %, se kakovost končnega izdelka ohrani do hitrosti 122 % tiskanja. Pri hitrosti, višji od 122 %, so se začele zaradi prehitre hitrosti in prepočasnega ohlajevalnega časa pojavljati deformacije na predelih kosa.

Druga hipoteza je bila, da če povečamo hitrost tiskanja, bomo lahko hitreje in ceneje dali izdelek na trg. To hipotezo sem potrdil, saj se je konkurenčni trg za 3D-tiskanje v zadnjem času, še posebej v času Covida-19, posledično sklepam da zaradi »lockdownov«, konkretno povečal. Vsak prodajalec si poljubno nastavlja določene dejavnike za nastavljanje cene, vendar se v primerih, kadar se nek tisk dela z višjo hitrostjo od normalne ali pa se dela večserijsko tiskanje, ta izdelek lahko ponudi hitreje in ceneje na trg.

In tretja hipoteza – 3D-tiskalnik se lahko izboljša, ne da bi tovarniške nastavitve in komponente zamenjali, temveč samo dodali dodatne dele. To hipotezo sem hkrati potrdil in zaradi enega kosa tudi zavrnil, kajti tisk izhodiščnega modela ladjice je bil presenetljivo boljši pri dodelani verziji 3D-tiskalnika, pri čemer je bil za to vsaj v polovičnem deležu odgovoren dvostranski dovod zraka za ohlajevanje. Prav tako sta pomagala kosa za stabilizacijo Z osi in prašni filter, ki je na filamentu zaustavil prah. Ročni ventil za dovajanje filamenta je prav tako bil priročen, saj se ob redkem scenariju, kadar se filament zatakne, lahko preprosto in hitro odpravi težavo. Kosi, kot so prstna ročka za premikanje delovne plošče, naklonski dovod kablov in zaščitno pokrivalo za kable do ekstruderja, niso toliko osredotočeni na boljšo kakovost izdelka, temveč na kakovost in dolgotrajnost življenske dobe 3D-tiskalnika.

Z vidika zavrnitve hipoteze je pa stvar sledeča. Zamenjal sem tovarniško nameščeno ploščo za filamentni senzor, saj mi je zaradi ponesrečenega dizajna s strani Anycubic povzročal težave. Ta tovarniško nameščena plošča je znana težava te generacije I3 Mega, ki pri preveč ostrem kotu sledi filamentu in se filament prepogiba ter včasih tudi zatakne v dovajalni cevi. Zato pa obstajajo 3D-tiskane vrstne rešitve, ki odpravijo to težavo. Tiskana plošča služi enakemu namenu kot tovarniška, samo za par centimetrov ima globje postavljen senzor, da lahko zobnik brezuporno dovaja filament v dovajalno cev.

Tiskalnik je kljub dodelani različici modela bil precej boljši na področju obremenitvenih delov 3D-tiskalnika. Slušno sem opazil manj hrupa pri enakih postopkih tiskanja ladjice. Včasih ne gre samo za končni izdelek temveč tudi za to, kako se izdelek tiska in kako zelo so sestavni deli 3D-tiskalnika pod obremenitvijo. Sam proces tiskanja z modifikacijami je bil tišji in precej bolj umirjen proti tovarniški različici. Na podlagi tega tudi sklepam, da je obremenitev določenih sestavnih delov 3D-tiskalnika (gonila, zobniki) bila pod manjšim naporom.

V veselje mi je bilo pisati to diplomsko delo, saj sem odkril veliko presenetljivo dobrih razlogov za nadgrajevanje 3D-tiskalnika ter odkril številne spletne strani, ki jih bom uporabljaj v svojem prostem času. Prav tako sem se naučil o zanimivih različnih tehnologijah 3D-tiskalnikov, ki so me navdušili, da preizkusim tudi katero drugo tehnologijo s pomočjo nakupa prav te in predelavo ali pa celo s kompletно izdelavo 3D-tiskalnika.

10 VIRI

3Dalia. (2020). *Anycubic I3 Mega/Mega S Z-rod support*. Pridobljeno iz Thingiverse: <https://www.thingiverse.com/thing:4144042>

3DBenchy. (b.d.). *3DBenchy Dimensions*. Pridobljeno iz 3DBenchy: <http://www.3dbenchy.com/dimensions/>

3DBenchy. (b.d.). *3DBenchy Features*. Pridobljeno iz 3DBenchy: <http://www.3dbenchy.com/features/>

A., B. V. (b.d.). *Introduction to metal 3D printing*. Pridobljeno iz Hubs: <https://www.hubs.com/knowledge-base/introduction-metal-3d-printing/>

adlughmin. (2015). *You Can Now See the First Ever 3D Printer - Invented by Chuck Hull - In the National Inventors Hall of Fame*. Pridobljeno iz 3Dprint: <https://3dprint.com/72171/first-3d-printer-chuck-hull/>

AllThat3D. (b.d.). *Nylon Filament - Features, Properties, and Techniques on Printing Nylon*. Pridobljeno iz AllThat3D: <https://www.allthat3d.com/nylon-filament/>

AllThat3D. (b.d.). *The History of 3D Printing*. Pridobljeno iz AllThat3D: <https://www.allthat3d.com/3d-printing-history/>

AllThat3D. (b.d.). *TPU Filament 3D Printing Material - The Complete Guide*. Pridobljeno iz AllThat3D: <https://www.allthat3d.com/tpu-filament/>

ANYCUBIC. (b.d.). *ANYCUBIC i3 Mega*. Pridobljeno iz Anycubic: <https://www.anycubic.com/collections/anycubic-mega-3d-printers/products/anycubic-i3-mega>

Carli, L. (2016). *OSNOVNI PRINCIPI 3D MODELIRANJA*. Pridobljeno iz Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani: http://matrika.fmf.uni-lj.si/letnik-3/stevilka-2/Osnovni_principi_3D_modeliranja.pdf

CreativeTools. (2015). *#3DBenchy - The jolly 3D printing torture-test by CreativeTools.se*. Pridobljeno iz Thingiverse: <https://www.thingiverse.com/thing:763622>

D., M. (2017). *Manual Filament Feeder Extruder Gear Knob Mod for CR-10 and other Bowden 3D Printers*. Pridobljeno iz MyMiniFactory:

- https://www.myminifactory.com/object/3d-print-manual-filament-feeder-knob-mod-for-cr-10-and-other-bowden-3d-printers-52492
- derLowy-. (2017). *Anycubic i3 Mega cable guid.* Pridobljeno iz Thingiverse: <https://www.thingiverse.com/thing:2318068>
- G., J. (2021). *Direct Metal Sintering (DMLS) - Simply Explained.* Pridobljeno iz ALL3DP: <https://all3dp.com/2/direct-metal-laser-sintering-dmls-simply-explained/>
- H_Run. (2018). *Anycubic i3 Mega fan duct 2-sided.* Pridobljeno iz Thingiverse: <https://www.thingiverse.com/thing:2850837>
- i3mega. (2018). *Replacement filament sensor magnet housing - Anycubic i3 mega ultrabase.* Pridobljeno iz Thingiverse: <https://www.thingiverse.com/thing:2777631>
- J., M. (2019). *Selective Laser Melting (SLM) - 3D Printing Simply Explained.* Pridobljeno iz All3DP: <https://all3dp.com/2/selective-laser-melting-slm-3d-printing-simply-explained/>
- K., O. (2020). *Types of 3D Modeling: What Is Best for Your Needs?* Pridobljeno iz All3DP: <https://all3dp.com/2/types-of-3d-modeling/>
- L., G. (2018). *What Is a DLP 3D Printer? - Simply Explained.* Pridobljeno iz All3DP: <https://all3dp.com/2/what-is-a-dlp-3d-printer-3d-printing-simply-explained/>
- L., G. (2019). *Electron Beam Melting (EBM) - 3D Printing Simply Explained.* Pridobljeno iz All3DP: <https://all3dp.com/2/electron-beam-melting-ebm-3d-printing-simply-explained/>
- L., G. (2019). *What is Binder Jetting? - 3D Simply Explained.* Pridobljeno iz All3DP: <https://all3dp.com/2/what-is-binder-jetting-3d-printing-simply-explained/>
- L., G. (2019). *What is Material Jetting? - 3D Printing Simply Explained.* Pridobljeno iz All3DP: <https://all3dp.com/2/what-is-material-jetting-3d-printing-simply-explained/>
- Lucas_F. (2018). *ANYCUBIC i3 MEGA (2018) cable shroud.* Pridobljeno iz Thingiverse: <https://www.thingiverse.com/thing:2886955>
- nice_3d. (2018). *Universal Filament filter or dust filter (for 1.75mm).* Pridobljeno iz Thingiverse: <https://www.thingiverse.com/thing:3033662>
- Ortiz, L. (2020). *The Types of 3D Modeling - Simply Explained.* Pridobljeno iz All3DP: <https://all3dp.com/2/types-of-3d-modeling/>

- P., C. (b.d.). *Supports in 3D Printing: A technology overview*. Pridobljeno iz Hubs: <https://www.hubs.com/knowledge-base/supports-3d-printing-technology-overview/>
- R., M. B. (2017). *Price My Print*. Pridobljeno iz Google Playstore: <https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.cozinheirodelivery.pricemyprint>
- Tadeja Muck, I. K. (2015). *3D-TISK*. Ljubljana: Pasadena.
- TheKre8Group. (2018). *Bed Handle V2 for AnyCubic I3 Mega (2018) by Metac*. Pridobljeno iz Thingiverse: <https://www.thingiverse.com/thing:3208389>
- twi-global. (b.d.). *WHAT ARE THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF 3D PRINTING?* Pridobljeno iz Twi-Global: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-3d-printing/pros-and-cons>