



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Strojništvo
Modul: Orodjarstvo

MAKETA MEHANSKEGA BATNEGA MOTORJA (3D-TISK)

Mentor: mag. Slavko Božič, univ. dipl. inž. str.
Lektor: Špela Komac, dipl. slov.

Kandidat: Elvin Šakanović

Ljubljana, januar 2025

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Slavku Božiču za pomoč pri pisanju diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Špeli Komac, ki je moje diplomsko delo jezikovno in slovnično pregledala.

Zahvala gre tudi staršem in prijateljem, ki so me spodbujali pri nastanku diplomskega dela.

IZJAVA

Študent Elvin Šakanović izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Slavka Božiča, univ. dipl. inž. str.

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

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

V diplomskem delu sem se osredotočil na razvoj in kakovost končnega izdelka. Dodal sem tudi nekaj informacij o 3D-tiskalnikih in o tem, kaj vse lahko izdelujemo z njimi. Izdelal sem dve popolnoma enaki maketi, vendar z določenimi spremembami pri konfiguriranju 3D-tiskanja. Pri 3D-tiskanju so namreč zelo pomembni parametri, ki jih nastavimo pred začetkom tiskanja. Pri tiskanju maket sem spremenil nekatere parametre, ki vplivajo na kakovost izdelka. Maketi sem natisnil iz enakih materialov, vendar v različni barvi (črni in beli). V zaključku sem maketi primerjal in ugotavljal, kako spremembe parametrov vplivajo na kakovost končnega izdelka.

KLJUČNE BESEDE

- 3D-tiskanje
- PLA
- SLA
- 3D-modeliranje
- 3D-tiskalnik
- maketa

ABSTRACT

In my thesis, I focused on the development and quality of the final product. I also added some information about 3D printers and what can be produced with them. I created two identical models, but with specific changes in the 3D printing configuration. The parameters set before starting the printing process are very important in 3D printing. During the printing of the models, I modified certain parameters that affect the quality of the product. I printed the models using the same materials but in different colors (black and white). In the conclusion, I compared the models and analyzed how the changes in parameters affect the quality of the final product.

KEYWORDS

- 3D printing
- PLA
- SLA
- 3D modeling
- 3D printer
- Model

KAZALO

1. UVOD	1
1.1 Predstavitev problema	1
1.2 Cilji diplomskega dela	1
1.3 Predstavitev okolja	1
1.4 Predpostavke in omejitve	2
1.5 Metode dela	2
2. TEORETIČNE OSNOVE	4
2.1 3D-tiskalnik in material	4
2.1.1 Prednosti in slabosti 3D-tiskanja	8
2.2 Vrste 3D-tiskalnikov	10
2.3 Tiskalnik Creality Ender 3	10
2.2.1 Fdm.....	12
2.3 Modeliranje	13
2.3.1 Datoteka stl	14
2.3.2 G-koda	14
2.4 Program slicer	15
2.5 Priprava 3D-tiskalnika in materiala	16
2.5.1 Nivelacija.....	16
2.5.2 Priprava tiskalne površine.....	17
2.5.3 Nastavitve tiskalne temperature	17
2.5.4 Testni tisk	17
3. PRAKTIČNI DEL	19
3.1 Prva različica 3D-batnega motorja	19
3.1.1 Modeliranje in vizualizacija	19
3.1.2 Priprava na 3D-tisk.....	22
3.1.3 Tiskanje prve različice batnega motorja.....	27
3.2 druga različica 3D-batnega motorja	30
3.2.1 Tiskanje druge različice batnega motorja.....	30
4. ZAKLJUČEK	34
5. LITERATURA IN VIRI	36

KAZALO SLIK

Slika 1: Postopek tiskanja s tehnologijo FDM.....	5
Slika 2: Sestavni elementi 3D-tiskalnika.....	11
Slika 3: Creality Ender Pro.....	12
Slika 4: 3D-model v programu SolidWorks.....	14
Slika 5: Program Creality Slicer, s katerim sem delal.....	16
Slika 6: Nivelacija grelne plošče.....	17
Slika 7: 3D-maketa batnega motorja.....	21
Slika 8: Prikaz elementov 3D-modela batnega motorja.....	22
Slika 9: Material PLA.....	23
Slika 10: Podpora ročke.....	25
Slika 11: Nastavitve v programski opremi.....	26
Slika 12: Ohišje – prva različica.....	29
Slika 13: Bati in ročka.....	30
Slika 14: Ohišje – druga različica.....	32
Slika 15: Bati in ročka – druga različica.....	33

KRATICE IN AKRONIMI

FDM	modeliranje taljenih usedlin (angl. <i>fused deposition modeling</i>)
SLA	stereolitografija (angl. <i>stereolithography</i>)
SLS	selektivno lasersko sintranje (angl. <i>selective laser sintering</i>)
PLA	polilaktid
DLP	digitalna obdelava svetlobe (angl. <i>digital light processing</i>)
ABS	akrilonitril butadien stiren
PETG	glikol-modificiran polietilen tereftalat

1. UVOD

1.1 Predstavitev problema

Odpravljanje težav je ključni del 3D-tiskanja za vsakokratno doseganje visokokakovostnih odtisov, saj se pri 3D-tiskanju lahko pojavi vrsta težav. Pomembno je, da smo pozorni na določene stvari in pripravljeni hitro odpraviti težave, ki morebiti nastanejo. Ena najpogostejših težav pri domači uporabi 3D-tiskalnikov je slab previs. Težava s slabimi previsi se pojavi, ko tiskalnik ne uspe natisniti poševnih ali vodoravnih površin, ki se raztezajo iz telesa modela. Vzroki so neustrezne podporne strukture, slaba oprijemljivost in visoka hitrost tiskanja, kar vodi v poves in uklanjanje. Med pogostejše težave pri 3D-tiskanju spada tudi zamašitev šobe. Pogosto jo povzročajo ostanki filamentov iz prejšnjega tiskanja, ki zamašijo šobo in prekinejo pretok stopljenega filameta. Ena glavnih težav, zaradi katere lahko pride do porušitve 3D-modela (lahko se zgodi tudi v pozni fazi tiskanja 3D-modela oz. pred koncem), je pravilen oprijem prve plasti. Za zagotovitev stabilne osnove tiska je ključno, da se prva plast pravilno oprijema, saj se tako zmanjšajo možnosti za neuspeh tiska, razslojevanje plasti in upogibanje.

1.2 Cilji diplomskega dela

Cilji tega diplomskega dela zajemajo celovito razumevanje in reševanje problematike 3D-tiskanja in postopka pridobivanja 3D-modela. S tem delom bom pridobil tudi nekaj novega znanja o 3D-modeliranju in tiskanju. Cilj je maketo kar se da približati popolnosti. Želim preskusiti zmožnosti tiskalnika in svoje znanje. Pri tem delu ne bo pomemben samo končni izdelek, temveč tudi način nastanka izdelka (skiciranje, modeliranje, tiskanje, sestavljanje). S primerjanjem izdelanih maket bomo tudi prišli do zaključka, kakšen vpliv imajo določeni parametri na kakovost izdelka.

1.3 Predstavitev okolja

Diplomsko delo oz. maketo batnega motorja sem izdelal sam, in sicer doma s hišnim 3D-tiskalnikom. Proizvajalec uporabljenega tiskalnika je leta 2014 ustanovljeno podjetje Shenzhen Crealiti 3D Technology Co., Ltd., ki se osredotoča na načrtovanje, raziskave ter proizvodnjo 3D-tiskalnikov in izdelkov, povezanih s 3D-tiskanjem. Skupina za raziskave in razvoj, ki jo sestavljajo poklicni raziskovalci in usposobljeni inženirji, si nenehno prizadeva za ustvarjalno delovanje in odlično uporabniško izkušnjo. Naložbe podjetja v raziskave in razvoj 3D-tiskanja zajemajo 3D-tiskalnike FDM/s smolo, 3D-skenerje, filamente, smolo ter 3D-natisnjene drone in robote, ki podpirajo izobraževanje STEAM. Tovarna ima certifikata BSCI in ISO, obratuje na površini velikosti 50.000 kvadratnih metrov in dosega letno proizvodno zmogljivost več kot 1.000.000 enot. Vsi izdelki so certificirani po standardih CE, FCC in ROHS, izvažajo jih v več kot 192 držav, vključno s Francijo, Združenimi državami Amerike,

Avstralijo, Rusijo, Združenim kraljestvom, Nemčijo, Singapurjem in Egiptom. Indija prinaša tehnološke inovacije na vsa področja življenja.

(Vir: <https://www.creality.com/fr/pages/about-us>)

Leta 2014 so proizvedli svoj prvi 3D-tiskalnik. Že v enem letu so imeli približno 20 zaposlenih in odposlali okoli 1500 tiskalnikov. Leta 2016 so veliko rast dosegli s prodajo tiskalnikov CR-10. Prodali so jih več kot 17.000, v tem obdobju je bilo v podjetju zaposlenih že več kot 90 ljudi. Leta 2017 so izdali novo serijo 3D-tiskalnikov ENDER (z enim od njih sem tudi izdelal maketi). Danes ima to zelo uspešno podjetje zaposlenih več kot 1700 delavcev.

1.4 Predpostavke in omejitve

Diplomsko delo se osredotoča na natančnost in kakovost končnega izdelka. Glavni izziv na poti do želenega končnega izdelka je v nastavitvah parametrov. Težave se lahko pojavijo tudi pri 3D-modeliranju. Raziskava se bo ukvarjala s primerjanjem maket, ki bosta izdelani iz enakih materialov, vendar z različnimi parametri. To bo pripeljalo do določenih razlik, kot so denimo povesi, zrak med plastmi, slaba topljivost materiala, trdnost materiala ipd. Predpostavljam, da se bo material rahlo povесil in zato maketa ne bo vizualno popolna.

Glavna predpostavka je ta, da bo maketa, izdelana po predpisanih standardih za material PLA, znatno bolj kakovostna. Če želim dobiti popoln izdelek, bom moral upoštevati temperature, ki so predpisane za tiskanje z materialom PLA.

Upoštevati je treba tudi delovni prostor in dimenzije 3D-tiskalnika. Velikost njegove grelne plošče (delovne površine) je 220 x 220 x 250 mm, kar pomeni, da maketa ne sme presežati teh dimenzij. Če jih že, pa mora biti sestavljena iz več delov.

1.5 Metode dela

Uporabil bom različne metode, ki bodo prispevale k uspešnemu in kakovostnemu razvoju 3D-makete batnega motorja.

Sintetična metoda

S sintetično metodo združujemo pojme v višjo celoto. Tako bom pri izdelavi diplomskega dela združil nekaj znanj z različnih področij, in sicer 3D-modeliranja, razumevanja in znanja uporabe 3D-tiskalnika ter uporabe programa Creality Slicer, ki je ključen za pridobivanje 3D-modela.

Opisna metoda

Opisna metoda bo služila kot teoretično izhodišče za razumevanje osnov 3D-modeliranja in 3D-tiskanja ter uporabo 3D-tiskalnika. S podobno opredelitvijo in

razlago ključnih pojmov bo zagotovljena trdna teoretična podlaga za razvoj določenih rešitev.

3D-modeliranje

Pri pridobivanju končnega izdelka je pomembno, da izdelek najprej ustvarimo v programu za modeliranje. Z računalniško opremo SolidWorks bom oblikoval tridimenzionalna modela, ki ju bom nato primerjal. Modela bosta sestavljena iz popolnoma enakih delov.

Sestavljanje

Maketo sestavlja več različnih kosov. Natisnil sem vsakega posebej ali pa nekaj njih hkrati. Ko so bili natisnjeni vsi elementi, jih je bilo treba združiti v celoto tako, da se bati premikajo. Na koncu je nastala maketa batnega motorja.

2. TEORETIČNE OSNOVE

2.1 3D-TISKALNIK IN MATERIAL

3D-tiskalnik je naprava za izdelavo tridimenzionalnih objektov s postopkom, imenovanim 3D-tiskanje. Ta tehnologija omogoča ustvarjanje kompleksnih geometrijskih oblik, ki jih je težko ali nemogoče izdelati z drugimi proizvodnimi metodami. Obstaja več vrst 3D-tiskalnikov, med najbolj priljubljenimi so FDM (angl. *fused deposition modeling*), SLA (stereolitografija) in SLS (selektivno lasersko sintranje).

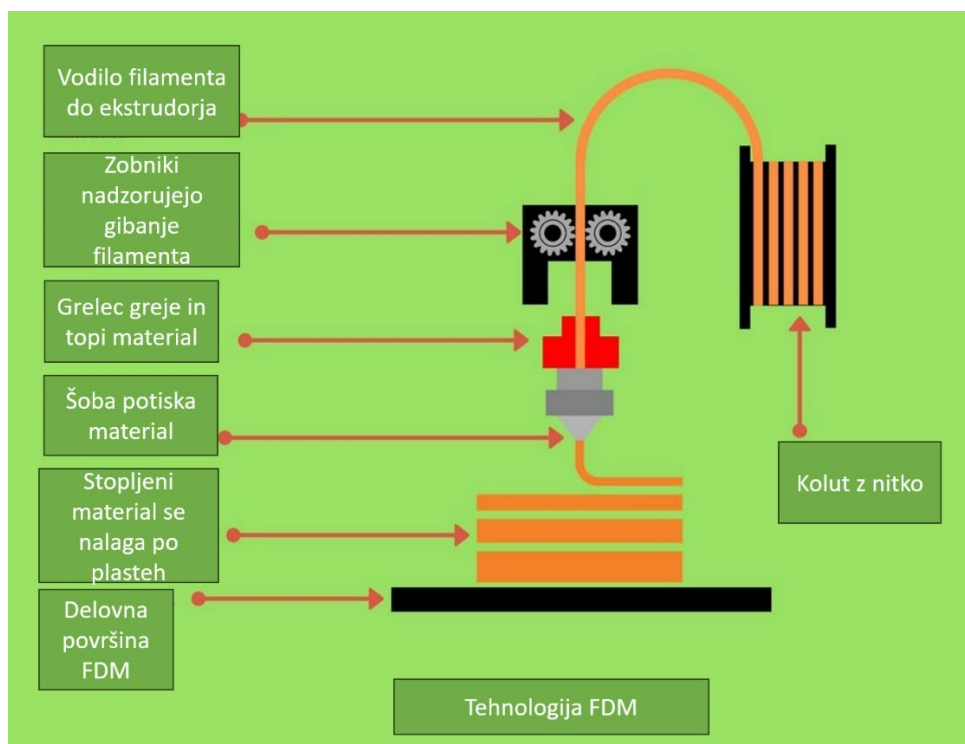
Maketo sem izdelal s 3D-tiskalnikom Creality Ender 3 Pro. Tiskalnik deluje s postopkom, imenovanim *fused deposition modeling* (FDM).

Deluje na naslednji način:

Filament: Tiskarski material je na voljo v tuljavah tankega plastičnega filamenta, podobnega debeli vrvici.

Segrevanje in ekstrudiranje: Tiskalnik segreva filament, dokler se ta ne stopi. Staljeno plastiko nato iztisnemo skozi šobo.

Plast za plastjo: Šoba se natančno premika, plast za plastjo odlaga na gradbeno platformo in počasi gradi 3D-predmet.



Slika 1: Postopek tiskanja s tehnologijo FDM

(Vir: Manufactur 3D, 2018)

Materiali za 3D-tiskanje se pridobivajo iz različnih virov, odvisno od vrste materiala. Nekateri najpogostejši viri so naslednji:

Termoplastični polimeri: Termoplastični polimeri, kot so PLA (polilaktid), ABS (akrilonitril butadien stiren), PETG (glikol-modificiran polietilen tereftalat) in druge vrste plastike, se običajno pridobivajo iz naravnih virov, kot so koruza, sladkorni trs, krompir ali nafta, odvisno od osnovne sestavine materiala.

Smole: Smole, ki se uporabljajo pri tehnologijah, kot sta SLA (stereolitografija) in DLP (angl. *digital light processing*), so sintetično ustvarjeni materiali, ki se lahko izdelujejo kemično.

Pravi kovinski prah: Pri tehnologijah, kot je SLS (selektivno lasersko sintranje), se uporablja pravi kovinski prah, kot so aluminij, jeklo, titan in druge kovine. Ta prah se običajno pridobiva s postopki, kot so mletje, drobljenje ali atomizacija kovin.

Fotopolimeri: Fotopolimeri, ki se uporabljajo pri tehnologijah, kot je PolyJet Printing (PJP), se običajno sintetizirajo iz različnih kemičnih spojin, ki se strdijo pod vplivom UV-svetlobe.

Biološki materiali: V zadnjem času se materiali za 3D-tiskanje razvijajo tudi iz bioloških virov, kot so biološko razgradljivi polimeri, hidrogeli in celo tkiva, ki se lahko uporabljajo v medicinskih aplikacijah, kot sta biotiskanje in tkivno inženirstvo.

V večini primerov se ti materiali pridobivajo s sintezo ali predelavo naravnih ali sintetičnih surovin v obliko, primerno za uporabo v 3D-tiskanj

Material PLA:

Polimlečna kislina, znana tudi kot poli(mlečna kislina) ali polilaktid (PLA), je plastični material.

PLA je postal priljubljen material, ker je ekonomično proizveden iz obnovljivih virov in odpira možnost uporabe za izdelke, ki jih je mogoče kompostirati. Leta 2022 je imel PLA največji obseg porabe med vsemi bioplastikami na svetu, in sicer približno 26 % celotnega povpraševanja po bioplastiki. Čeprav njegova proizvodnja narašča, še vedno ni tako pomemben kot tradicionalni surovinski polimeri, kot sta PET ali PVC. Njegovo široko uporabo ovirajo številne fizične pomanjkljivosti in pomanjkljivosti pri obdelavi. PLA je najbolj razširjen material iz plastičnih filamentov v 3D-tiskanju FDM zaradi nizkega tališča, visoke trdnosti, nizke toplotne ekspanzije in dobrega oprijema plasti, čeprav ima slabo toplotno odpornost, razen če je žarjen.

Čeprav se ime polimlečna kislina pogosto uporablja, ni v skladu s standardno nomenklaturo IUPAC, ki je poli(mlečna kislina). Ime polimlečna kislina je potencialno dvoumno in lahko povzroči zmedo, saj PLA ni polikislina (polielektrolit), temveč poliester.

Neposredna kondenzacija monomerov mlečne kisline se lahko uporablja tudi za proizvodnjo PLA. Ta postopek je treba izvesti pri temperaturi manj kot 200 °C; nad to temperaturo nastane entropično priljubljen laktidni monomer. Ta reakcija ustvari en ekvivalent vode za vsak korak kondenzacije (esterifikacije). Kondenzacijska reakcija je reverzibilna in podvržena ravnovesju, zato je za ustvarjanje visoko molekulske masnih vrst treba odstraniti vodo. Odstranjevanje vode z vakuumom ali azeotropno destilacijo je potrebno za usmeritev reakcije v smeri polikondenzacije. Na ta način lahko dobimo molekulske mase 130 kDa. Še višje molekulske mase je mogoče doseči s skrbno kristalizacijo surovega polimera iz taline. Končne skupine karboksilne kisline in alkohola so tako koncentrirane v amorfni regiji trdnega polimera in tako lahko reagirajo. Tako je mogoče dobiti molekulske mase 128–152 kDa.

Polimeri PLA segajo od amorfnega steklenega polimera do polkristalnega in visoko kristalnega polimera s steklenim prehodom 60–65 °C, tališčem 130–180 °C in Youngovim modulom 2,7–16 GPa. Toplotno odporen PLA lahko prenese temperature 110 °C. Osnovne mehanske lastnosti PLA so med tistimi pri polistirenu in PIT. Tališče PLLA se lahko poveča za 40–50 °C, temperatura toplotnega upogibanja pa se lahko poveča s približno 60 °C na do 190 °C s fizikalnim mešanjem polimera s PDLA (poli-D-laktid). PDLA in PLLA tvorita zelo pravičen stereokompleks s povečano kristalnostjo. Temperaturna stabilnost je največja, če se uporablja razmerje 1 : 1, vendar je tudi pri nižjih koncentracijah 3–10 % PDLA še vedno znatno izboljššan. V slednjem primeru PDLA deluje kot nukleacijsko sredstvo, s čimer se poveča hitrost

kristalizacije. Biorazgradnja PDLA je počasnejša kot pri PLA zaradi višje kristalnosti PDLA. Modul upogiba PLA je višji od polistirena in PLA ima dobro toplotno tesnilo.

Čeprav PLA deluje mehansko podobno kot PET, ko govorimo o lastnostih natezne trdnosti in modula elastičnosti, je material zelo krhek, posledica pa je manj kot 10-odstotni raztezek pri prelomu. Poleg tega to omejuje uporabo PLA v aplikacijah, ki zahtevajo določeno stopnjo plastične deformacije pri visokih stopnjah napetosti. V teku so prizadevanja za povečanje raztezka ob prelomu za PLA, zlasti za okrepitev prisotnosti PLA kot blagovne plastike in izboljšanje pokrajine bioplastike. Na primer, biokompoziti PLLA so bili zanimivi za izboljšanje teh mehanskih lastnosti. Z mešanjem PLLA s poli (3-hidroksi butirat) (PHB), celuloznim nanokristalom (CNC) in mehčalcem (TBC) so pokazali drastično izboljšanje mehanskih lastnosti. Z uporabo polarizirane optične mikroskopije (POM) so imeli biokompoziti PLLA manjše sferulite v primerjavi s čistim PLLA, kar kaže na izboljšano gostoto nukleacije in prispeva tudi k povečanju raztezka pri prelomu s 6 % v čisti PLLA na 140–190 % v biokompozitih. Takšni biokompoziti so zelo zanimivi za embalažo za živila zaradi svoje izboljšane trdnosti in biorazgradljivosti.

Uporaba materiala PLA:

Predmete PLA lahko izdelamo s 3D-tiskanjem, litjem, brizganjem, ekstrudiranjem, strojno obdelavo in varjenjem s topilom.

Filament PLA za uporabo v 3D-tiskanju

PLA se uporablja kot surovina pri izdelavi namiznih filamentov s 3D-tiskalniki, kot so tiskalniki RepRap.

PLA se lahko vari s topilom z diklorometanom. Aceton tudi mehča površino PLA, zaradi česar je lepljiva, ne da bi jo raztopil, za varjenje na drugo površino PLA.

Koruzna oblika, 3D-natisnjena z uporabo koruznega derivata PLA (polimlečna kislina) PLA-natisnjene trdne snovi se lahko zadajo v mavčne materiale za oblikovanje, nato pa izgorijo v peči, tako da se nastala praznina lahko napolni s staljeno kovino. To je znano kot »izgubljeno litje PLA«, vrsta investicijskega litja.

PLA se uporablja zlasti za kratkotrajno embalažo in embalažo za enkratno uporabo. Leta 2022 je bilo približno 35 % celotne proizvodnje PLA porabljenih za fleksibilno embalažo (npr. folije, vrečke, etikete) in 30 % za trdno embalažo (npr. steklenice, kozarci, posode).

PLA se uporablja v številnih potrošniških izdelkih, kot so namizni pribor za enkratno uporabo, jedilni pribor, ohišja za kuhinjske aparate in elektroniko, kot so prenosni računalniki in ročni pripomočki, ter pladnji za mikrovalovno pečico. (Vendar PLA ni

primeren za posode za mikrovalovno pečico zaradi nizke temperature steklenega prehoda.) Uporablja se za kompostne vrečke, embalažo za živila in embalažni material za razsuto polnjenje, ki je lit, brizgan ali preden. V obliki filma se pri segrevanju skrči, kar omogoča uporabo v skrčljivih tunelih. V obliki vlaken se uporablja za monofilamentno ribiško vrvico in mrežo. V obliki netkanih tkanin se uporablja za oblazinjenje, oblačila za enkratno uporabo, tende, ženske higienske izdelke in plenice.

PLA ima aplikacije v inženirski plastiki, kjer je stereokompleks zmešan z gumijastim polimerom, kot je ABS. Takšne mešanice imajo dobro oblikovno stabilnost in vizualno preglednost, zaradi česar so uporabne v aplikacijah nizkocenovne embalaže.

PLA se uporablja za avtomobilske dele, kot so talne preproge, plošče in prevleke. Njegovi toplotna odpornost in trajnost sta slabši kot pri široko uporabljenem polipropilenu (PP), vendar se njegove lastnosti izboljšajo s sredstvi, kot je zamašitev končnih skupin za zmanjšanje hidrolize.

2.1.1 Prednosti in slabosti 3D-tiskanja

Prednosti 3D-tiskanja

- Hitra izdelava prototipov

3D-tiskanje omogoča hitro in cenovno učinkovito izdelavo prototipov, kar pospeši razvoj izdelkov in omogoča hitrejše prilagajanje na trgu.

- Prilagodljivost in popolnost dizajna

Tehnologija omogoča izdelavo kompleksnih in prilagojenih oblik, ki jih je s tradicionalnimi metodami težko ali nemogoče izdelati.

- Zmanjšanje odpada materiala

Proces tiskanja dodaja material le po potrebi, kar zmanjšuje količino odpadkov v primerjavi z odrezovalnimi metodami proizvodnje.

- Nižji stroški pri majhnih serijah

Za majhne serije ali posamezne izdelke je 3D-tiskanje pogosto cenejše kot tradicionalne metode, ki zahtevajo orodja in kalupe.

- Personalizacija izdelkov

Omogoča preprosto prilagajanje izdelkov potrebam posameznih strank, kar je uporabno v medicini, modi, avtomobilizmu in drugih panogah.

- Uporaba v medicini

Omogoča izdelavo prilagojenih medicinskih pripomočkov, vsadkov, protetike in celotivnih struktur, kar je revolucionarno v zdravstvu.

Slabosti 3D-tiskanja

- Omejitev v materialih

Trenutno so na voljo omejeni materiali za 3D-tiskanje, zlasti za napredne industrijske aplikacije. Večina 3D-tiskalnikov uporablja plastiko, medtem ko je tiskanje s kovinami in kompoziti dražje in tehnološko zahtevnejše.

- Čas tiskanja

Proces tiskanja je lahko počasen, še zlasti za velike ali kompleksne modele, kar omejuje proizvodnjo na veliko.

- Kakovost in trdnost izdelkov

Natisnjeni izdelki pogosto niso tako trdni ali kakovostni kot tisti, izdelani s tradicionalnimi metodami, kar omejuje njihovo uporabo v zahtevnejših aplikacijah.

- Visoki začetni stroški

Nakup in vzdrževanje naprednih 3D-tiskalnikov ter stroškovna uporaba materialov lahko zahtevajo visoko začetno naložbo.

- Potrebno znanje

Učinkovita uporaba 3D-tiskanja zahteva posebno znanje in spretnosti pri pripravi modelov in upravljanju tiskalnikov.

- Težave z intelektualno lastnino

3D-tiskanje lahko povzroči težave z zaščito intelektualne lastnine, saj je ponavljanje dizajnov lažje in težje nadzorovano.

2.2 Vrste 3D-tiskalnikov

Poznamo veliko različnih vrst 3D-tiskalnikov. Izbira tiskalnika je odvisna od potrebe in proračuna. V nadaljevanju je prikazanih nekaj najpogostejših, ki se uporabljajo.

1. FDM:

- Deluje tako, da segreje plastično nitko (filament) in jo nanese plast za plastjo skozi šobo.
- Prednosti: cenovno ugoden, preprost za uporabo, široka paleta materialov.
- Slabosti: omejena ločljivost, vidne plasti, zahteva lahko podporne strukture.

2. SLA:

- Uporablja UV-laser za strjevanje tekoče smole.
- Prednosti: visoka ločljivost, gladka površina.
- Slabosti: dražji, omejena izbira materialov, smola je lahko strupena.

3. SLS:

- Uporablja laser za sintranje (zlivanje) praškastih materialov.
- Prednosti: močni in trpežni izdelki, široka paleta materialov (vključno s kovino).
- Slabosti: zelo drag, zahteva lahko dodatno obdelavo.

4. DLP:

- Podoben SLA, vendar uporablja projektor za strjevanje smole.
- Prednosti: hitrejši od SLA, visoka ločljivost.
- Slabosti: podobne slabosti kot SLA.

5. Inkjet 3D Printing:

- Deluje podobno kot brizgalni tiskalnik, vendar materiale nanaša v plasteh.
- Prednosti: tiska lahko z različnimi materiali, vključno z barvnimi.
- Slabosti: omejena ločljivost, zahteva lahko posebne materiale.

2.3 Tiskalnik Creality Ender 3

Pri izdelavi diplomskega dela sem uporabljal 3D-tiskalnik znamke Creality Ender. Omenjeni tiskalnik je primeren za začetnike, ki še spoznavajo postopek 3D-tiskanja. To je moj prvi 3D-tiskalnik, in čeprav ga je zelo preprosto nastaviti in začeti s tiskanjem, zahteva nekaj časa in raziskovanja, da ga uporabnik usvoji. Večina natisov je trajala od 1 do 5 ur ali celo več, odvisno od velikosti in stopnje podrobnosti kakovosti.

Osnovne specifikacije tiskalnika:

Tehnologija modeliranja: modeliranje taljenega nanosa (angl. *fused deposition modeling*)

Velikost tiska: 220 x 220 x 250 mm

Hitrost tiskanja: 100 mm/s

Filament: 1,75-mm PLA, TPU, ABS

Način dela: na spletu ali SD brez povezave

Format datoteke: STL, OBJ, G-koda

Neto teža: 6,7 kg

Napajanje: 110–230 V

Debelina sloja: 0,1–0,4 mm

Premer šobe: 0,4 mm

Natančnost tiskanja: $\pm 0,1$ mm

Temperatura šobe: 255 °C

Temperatura grelnika: 110 °C

Naslednja slika prikazuje vse elemente tega 3D-tiskalnika.



*Slika 2: Sestavni elementi 3D-tiskalnika
(Vir: Creality, 2019)*

Pri spoznavanju 3D-tiskalnika sem si zelo veliko pomagal z YouTubom, kjer sem našel veliko strokovnih ljudi, ki se ukvarjajo s 3D-tiskanjem in znajo stvari tudi zelo

razumljivo razložiti, kar mi je kot začetniku zelo pomagalo. Naslednja slika prikazuje dejanski videz sestavljenega tiskalnika.



*Slika 3: Creality Ender Pro
(Vir: Creality, 2019)*

2.2.1 Fdm

Tiskalnik, s katerim sem izdelal maketo, deluje s postopkom FDM. V nadaljevanju sledi podroben opis postopka.

3D-tiskalnik FDM deluje tako, da staljeni filamentni material plast za plastjo nanese na gradbeno ploščad, dokler ne nastane želeni izdelek. FDM uporablja datoteke digitalnega oblikovanja, ki se naložijo v stroj, in jih prevede v fizične dimenzije.

Materiali za FDM vključujejo polimere, kot so ABS, PLA, PETG in PEI, ki jih stroj dovaja kot niti skozi ogrevano šobo.

Za upravljanje stroja FDM je treba v tiskalnik najprej naložiti kolut tega termoplastičnega filameta. Ko šoba doseže nastavljeno temperaturo, tiskalnik poda filament skozi ekstruzijsko glavo in šobo.

Ta ekstruzijska glava je pritrjena na triosni sistem, ki ji omogoča premikanje po oseh X, Y in Z. Tiskalnik ekstrudira staljeni material v tankih pramenih in jih plast za plastjo odlaga po poti, določeni z zasnovo. Po nanosu se material ohladi in strdi. V nekaterih primerih lahko na ekstruzijsko glavo pritrdimo ventilatorje, da pospešimo hlajenje.

Za zapolnitev območja je potrebnih več prehodov, podobno kot pri barvanju oblike z markerjem. Ko tiskalnik zaključi plast, se gradbena ploščad spusti in stroj začne delati na naslednji plasti. Pri nekaterih nastavitvah stroja se ekstruzijska glava premakne navzgor. Ta postopek se ponavlja, dokler element ni končan.

Večina sistemov FDM omogoča prilagajanje več procesnih parametrov. Ti vključujejo temperature šob in delovne ploščadi, hitrost gradnje, višino plasti in hitrost hladilnega ventilatorja. Oblikovalcem običajno ni treba skrbeti za te prilagoditve, saj operater AM to verjetno že ima.

2.3 Modeliranje

3D-modeliranje je proces ustvarjanja matematične predstavitve katere koli tridimenzionalne površine predmeta, ne glede na to, ali gre za preprosto obliko ali zapleten znak, s specializirano programsko opremo. To digitalno predstavitev, imenovano 3D-model, si je mogoče ogledati z vseh zornih kotov ter jo manipulirati in uporabljati za različne namene. Programi, s katerimi modeliramo, berejo datoteke STL.

Pomembnost 3D-modeliranja:

Vizualizacija: Omogoča vizualizacijo predmetov in konceptov, ki morda še ne obstajajo v resničnem svetu, od futurističnih zgradb do mikroskopskih organizmov.

Oblikovanje izdelkov: Od avtomobilov in letal do pametnih telefonov in igrač, skoraj vsak izdelek, ki ga uporabljamo danes, se začne kot 3D-model.

Animacija in vizualni učinki: 3D-modeli so temelj za ustvarjanje realističnih likov, okolij in posebnih učinkov v filmih, videoigrah in animacijah.

Arhitektura in gradbeništvo: Arhitekti uporabljajo 3D-modele za ustvarjanje virtualnih sprehodov po gradnji.

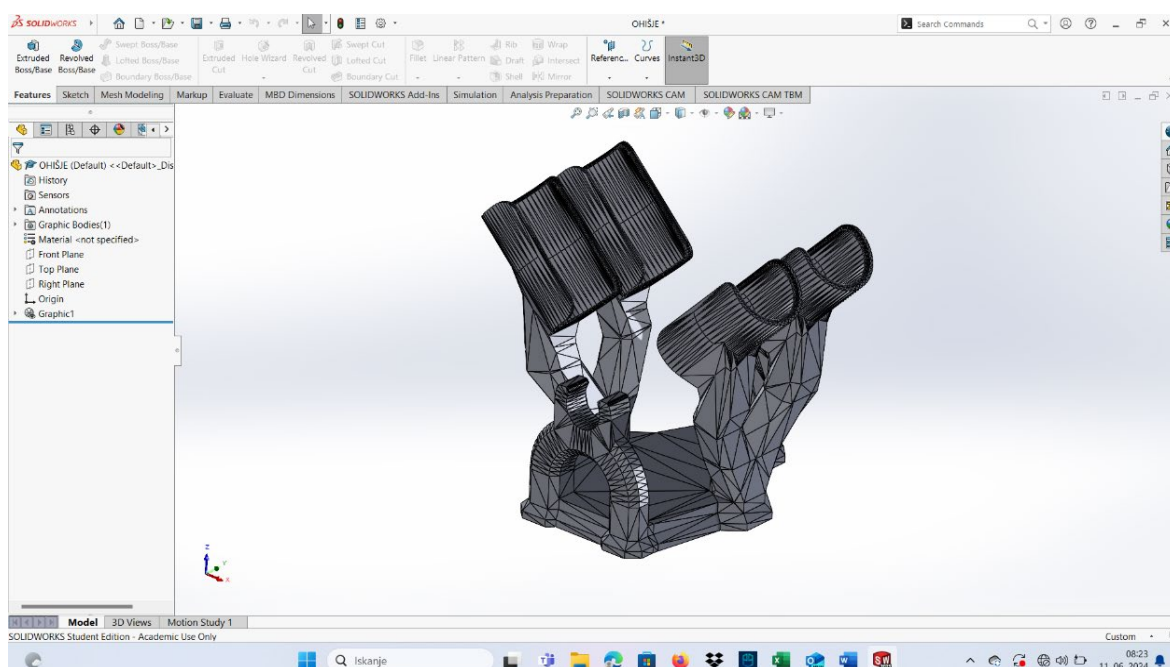
2.3.1 Datoteka stl

STL (kar je kratica za *standard tessellation language* ali včasih *StereoLithography*) je datotečni format, ki se uporablja za predstavitev 3D-modelov v obliki, ki jo razumejo 3D-tiskalniki.

Predstavljati si jo je mogoče kot digitalni načrt za 3D-predmet.

Datoteka STL ne vsebuje informacij o barvi, teksturi ali drugih atributih, ampak samo o geometriji površine 3D-modela. To naredi tako, da površino objekta opiše ob pomoči množice trikotnikov (poligonov). Več kot je trikotnikov, bolj natančna je predstavitev površine, vendar je večja tudi datoteka.

Skoraj vsi 3D-tiskalniki uporabljajo datoteke STL kot vhodne podatke. Ko želimo natisniti 3D-model, ga je treba najprej izvoziti ali pretvoriti v format STL.



Slika 4: 3D-model v programu SolidWorks
(Lastni vir)

2.3.2 G-koda

G-koda je programski jezik, ki ga razumejo 3D-tiskalniki. Lahko si jo predstavljamo kot niz navodil, ki tiskalniku povedo, kam naj premakne šobo, kako hitro naj se premika, kdaj naj iztisne filament, ter druge parametre tiskanja. G-koda je sestavljena iz vrstic kode, ki se imenujejo bloki. Vsak blok se začne s črko G in številko, ki predstavlja ukaz.

PRIMER:

G1 X10 Y20 Z5 F1000

Ta blok kode pove tiskalniku, naj se premakne na koordinato X = 10, Y = 20, Z = 5 s hitrostjo 1000 mm/min.

G-kodo običajno ustvari program za rezanje (slicer), ki ga uporabljamo za pripravo 3D-modela za tiskanje. Slicer vzame 3D-model (običajno v formatu STL) in ga »nareže« na tanke plasti. Nato za vsako plast ustvari G-kodo, ki jo tiskalnik lahko razume. Večina uporabnikov 3D-tiskalnikov nikoli ne napiše niti ene vrstice G-kode. Slicerji opravijo vse delo namesto nas.

2.4 Program slicer

Rezalnik ali slicer je programska oprema za generiranje poti orodja, ki se uporablja pri 3D-tiskanju. Omogoča pretvorbo 3D-modela predmeta v posebna navodila za tiskalnik. Rezalnik pretvori model v formatu STL (stereolitografija) v ukaze tiskalnika v formatu G-kode. To je še posebno uporabno pri izdelavi taljenih filamentov in drugih sorodnih postopkih 3D-tiskanja.

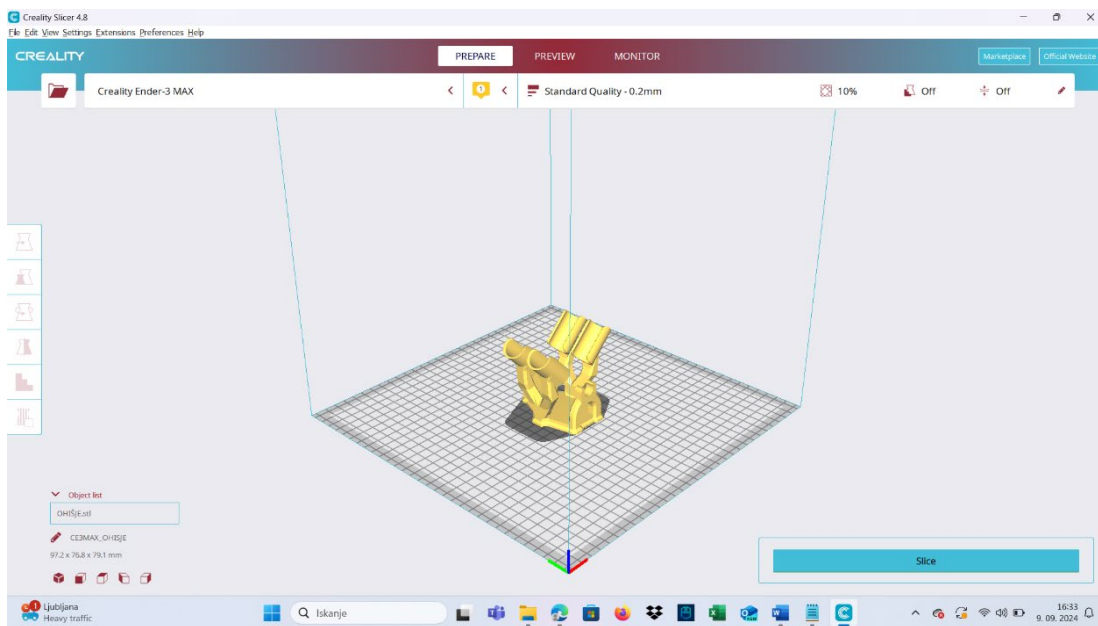
Rezalnik je ključni del procesa tiskanja in je del programske opreme za računalnik PC ali Mac, ki lahko datoteko 3D-modela (običajno s pripono datoteke .stl, .3mf ali .obj) pretvori v datoteko, ki jo lahko uporablja vaš 3D-tiskalnik. Tiskalnik je v bistvu sofisticiran risalni stroj, ki se premakne na določene koordinate, ki mu jih pove rezalnik v programskem jeziku G-kode. Zato je programska oprema za rezanje tako pomembna.

Rezalnik naredi točno to, kar lahko razberemo iz besede. 3D-model razreže na majhne »narezane« plasti, ki se natisnejo posamezno, vendar so zložene ena na drugo. Rezalnik je odgovoren tudi za naslednje:

- Kakšna mora biti temperatura tiskalnika?
- Kako hitro naj deluje tiskalnik?
- Kam na model postaviti nosilce?
- Koliko polnila je treba uporabiti za model?
- Kje bi morala biti tiskalna glava v dani sekundi?
 - Koliko materiala iztisniti v vsako plast?
 - In še veliko drugih nastavitev, ki jih je mogoče prilagoditi.

V bistvu mu vse, za kar je tiskalnik uporaben, pove rezalnik, zato je to najpomembnejši del programske opreme.

Najprimernejši rezalnik se določi glede na to vrsto 3D-tiskalnika vrsto uporabe.



Slika 5: Program Creality Slicer, s katerim sem delal
(Lastni vir)

2.5 Priprava 3D-tiskalnika in materiala

2.5.1 Nivelacija

Če želimo dobiti kakovosten 3D-tisk, moramo biti pred začetkom tiskanja pozorni na kar nekaj stvari. Ena najpomembnejših je nivelacija grelne plošče, saj je to ključnega pomena za dobro oprijemljivost prve plasti in s tem uspeh celotnega tiskanja. Nivelacijo lahko testiramo s čisto preprostim postopkom, in sicer z navadnim papirjem. Tiskalnik najprej ogrejemo na delovno temperaturo za tiskanje (običajno okoli 200 °C za šobo in 60 °C za ploščo). To bo preprečilo vpliv hladnega filameta na natančnost nastavitve. Na tiskalniku poiščemo meni za nivelacijo ali nastavitev osi Z. Običajno se nahaja pod možnostjo »Settings« ali »Calibration«. S pomočjo menijev premaknemo tiskalno glavo v prvi kot grelne plošče. Vzamemo list papirja ter ga vstavimo med šobo in ploščo. Papir se mora premikati z rahlim uporom. Z vrtenjem nastavitvenih vijakov na plošči prilagodimo višino, dokler ne dosežemo pravilnega upora. Postopek ponovimo za vse štiri kote plošče in nato še za sredino. Po končani osnovni nivelaciji natisnemo testno plast ali model in opazujemo oprijemljivost.



*Slika 6: Nivelacija grelne plošče
(Vir: MatterHackers, 2021)*

2.5.2 Priprava tiskalne površine

Pred začetkom tiskanja je pomembno, da je tiskalna površina (gradbena plošča) čista in ravna. S plošče in šobe odstranimo prah, ostanke filameta in druge nečistoče. Priporočljivo je uporabiti primerno prevleko, kot je kapton trak ali lepilni sprej, da zagotovimo dober oprijem med tiskalno površino in materialom.

2.5.3 Nastavitve tiskalne temperature

Različni materiali zahtevajo različne temperature tiskanja. Pred začetkom tiskanja moramo preveriti priporočene temperature za izbrani material. Ti podatki so po navadi zapisani tudi na škatli filameta. Upoštevati moramo temperaturo tiskalne glave in temperaturo tiskalne postelje, saj obe pomembno vplivata na adhezijo in kakovost tiskanja.

2.5.4 Testni tisk

Pred tiskanjem končnega izdelka je priporočljivo opraviti testne tiske, da preverimo, ali so nastavitve pravilne in ali je tiskalnik pravilno kalibriran.

Testni tiski lahko pomagajo preprečiti težave, kot so zamašene šobe, slaba adhezija ali deformacije med tiskanjem. Z ustrezno pripravo 3D-tiskalnika in materiala lahko dosežemo boljše rezultate tiskanja in ustvarimo visokokakovostne tridimenzionalne izdelke.

3. PRAKTIČNI DEL

Pri tej točki bomo podrobno preučili celoten postopek razvoja 3D-makete batnega motorja. Razvoj makete je potekal v več različnih fazah. Naredil sem dve maketi. Na osnovi rezultatov pri prvi sem poskušal izboljšati rezultate pri drugi maketi.

Postopek razvoja je vključeval naslednje korake:

Modeliranje in vizualizacija:

V prvi fazi sem v programu SolidWorks ustvaril 3D-model batnega motorja, ki je sestavljen iz več različnih delov. Nato sem dele združil v celoto. Pri tem sem upošteval osnovna pravila 3D-modeliranja s programom SolidWorks.

Uporaba programa Creality Slicer:

V tej fazi je treba datoteko STL spremeniti v G-kodo. To naredimo zato, da za 3D-tiskalnik ustvarimo ukaze, po katerih se ravna, da bi na koncu dobili 3D-izdelek. Pri tem moramo upoštevati vse nastavitve, ki jih nastavimo v programu pred začetkom tiskanja. V te nastavitve spadajo temperatura delovne površine, temperatura ekstrudorja, začetni položaj ekstrudorja, hitrost tiskanja ipd.

Priprava na tiskanje in tisk makete:

Pred začetkom tiskanja je zelo pomembno, da pregledamo tiskalnik in ga nastavimo tako, da bo lahko brezhibno izdelal maketo. Pomembno je, da je tiskalnik niveliran in ogret. Ko sem vse to preveril, sem začel s tiskanjem makete. Pomembno je tudi, da smo pri tiskanju navzoči, saj vedno obstaja možnost napake. Tako se lahko hitro odzovemo in preprečimo nezgodo.

Pregled izdelka:

Po končanem tiskanju prve makete sem jo temeljito pregledal in poiskal napake, ki bi jih lahko popravil pri drugi. Po končanem tiskanju druge makete sem primerjal maketi in zapisal razlike.

3.1 Prva različica 3D-batnega motorja

3.1.1 Modeliranje in vizualizacija

Razvoj naprave se je začel z modeliranjem posameznih komponent v programu SolidWorks. Osredotočil sem se na natančnost in funkcionalnost vsake komponente. Vse te komponente sem združil v celoto in tako dobil 3D-maketo batnega motorja. V programu SolidWorks je veliko različnih funkcij, ki uporabniku pomagajo pri izdelavi 3D-modela. Uporabil sem jih kar nekaj, in sicer so to naslednje funkcije (»Features«):

Extrude: S tem orodjem ustvarimo tridimenzionalna telesa iz 2D-skic. To funkcijo sem uporabil denimo pri izdelavi batne glave. Tako je iz navadne 2D-skice krožnice nastalo tridimenzionalno telo – valj, ki sem ga nato še z dodatnimi funkcijami razvil do končnega videza batne glave.

Revolve: Ustvari geometrijo z rotacijo skice okoli osi.

Sweep: Ustvari geometrijo z vlečenjem skice po določeni poti.

Loft: Omogoča ustvarjanje kompleksnih teles ob uporabi več skic na različnih ravninah.

Cut: Omogoča izrezovanje materiala iz telesa.

Fillet in Chamfer: Za zaobljene in poševne robove, ki se uporabljajo za izboljšanje funkcionalnosti in estetike. To funkcijo sem uporabil pri večini robov. Tako so nastali lepi, zaobljeni in gladki robovi.

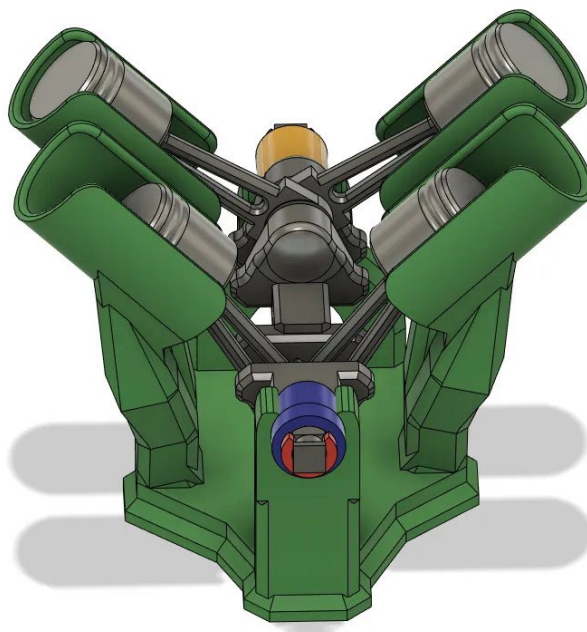
Po končanem modeliranju vseh elementov je bilo treba vse te elemente združiti še v celoto. To sem prav tako naredil v programu SolidWorks, in sicer v zavihku Assembly (sestavljanje). Najpogostejše funkcije, ki se uporabljajo pri sestavljanju, so naslednje:

Mate: Orodje za določanje geometrijskih odnosov med različnimi deli sestava, kot so premiki, rotacije in zaznavanje pravih poravnjav. S to funkcijo za vsak element posebej določimo, kje mora stati in kaj je njegova naloga. Več elementov lahko združimo na različne načine.

Insert Components: Omogoča dodajanje komponent v sestav.

Component Pattern: Ustvari ponovitve komponent (npr. za ustvarjanje več kopij istega dela v sestavu). To funkcijo sem uporabil pri elementih, ki so se ponavljali, denimo pri batih in batnicah.

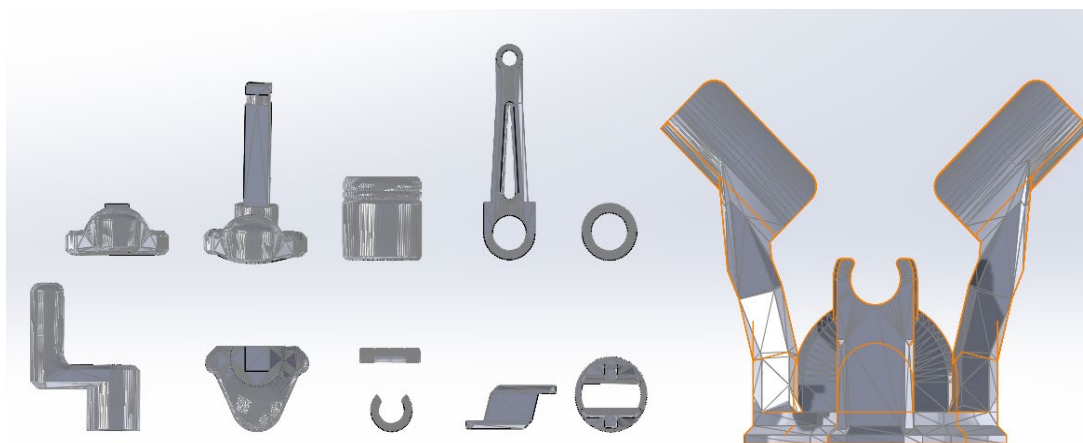
Assembly Visualization: Orodje za analizo sestave glede na lastnosti komponent, kot sta teža ali material.



*Slika 7: 3D-maketa batnega motorja
(Lastni vir)*

Na sliki 7 je prikazana celotna 3D-maketa batnega motorja, ki jasno prikazuje sestavo motorja, sestavljenega iz različnih komponent. Iz prikaza je razvidno, da je maketa razdeljena na več ključnih delov, ki skupaj tvorijo celoten sistem batnega motorja. Za lažje razumevanje sestave in strukture makete sem v naslednji sliki (slika 8) podrobneje prikazal posamezne elemente, iz katerih je sestavljen ta model.

Pri nekaterih komponentah je bilo treba natisniti več primerkov, npr. pri batih in batnicah, ki so ključni elementi batnega motorja. Pomembno je omeniti, da je maketa – tako prva kot druga – v osnovi enaka, saj gre za enako osnovno zasnovo. Do sprememb in prilagoditev pride šele v programu Creality Slicer, kjer nastavimo parametre za 3D-tiskanje. V tem programu prilagodimo različne nastavitve, kot so gostota tiskanja, debelina slojev, temperature in hitrost tiskanja, ki vplivajo na končni rezultat in kakovost tiskanja. Te nastavitve omogočajo optimizacijo in prilagoditve, potrebne za doseganje želene kakovosti makete, hkrati pa ob tem upoštevamo še omejitve 3D-tiskalnika. S temi tehnikami lahko natančno prilagodimo vsak detajl makete in ustvarimo model, ki je kar se da skladen z realnim delovanjem batnega motorja.



*Slika 8: Prikaz elementov 3D-modela batnega motorja
(Lastni vir)*

Ustvarjanje 3D-modela je ključnega pomena, saj nam omogoča celotno vizualizacijo, preučevanje funkcionalnosti in oblikovanje estetskega videza končnega modela. S 3D-modeliranjem lahko že v začetnih fazah načrtovanja dobimo jasen vpogled v to, kako bodo posamezni elementi povezani in kako bodo funkcionirali v končni sestavi. Tako lahko na zelo preprost način ocenimo celotno strukturo ter preverimo, ali se elementi ustrezno usklajujejo v smislu njihovega delovanja in prostorske postavitve. Poleg tega lahko s 3D-modeliranjem v zgodnji fazi razvoja odkrijemo morebitne napake ali težave, ki bi se lahko pojavile pri izdelavi ali delovanju končnega izdelka (hitro lahko denimo opazimo, če so posamezni deli preveliki ali premajhni, če niso ustrezno poravnani ali če ne omogočajo potrebnega gibanja). Ta zgodnja prepoznavnost napak nam omogoča, da prilagodimo obliko, velikost ali postavitev komponent, še preden se začne dejanski proces izdelave. S tem lahko preprečimo napake ter povečamo učinkovitost in natančnost projekta. Poleg funkcionalnosti 3D-model omogoča tudi oblikovanje estetskega videza izdelka. Z različnimi programskimi orodji lahko natančno prilagodimo obliko, teksture in površinske detajle, da dosežemo željeno vizualno podobo.

3.1.2 Priprava na 3D-tisk

Po modeliranju in vizualizaciji 3D-modela sem se lotil priprave modela na tiskanje. Priprava na 3D-tisk je ključni korak v procesu izdelave 3D-predmeta, saj vključuje številne naloge, ki zagotavljajo, da bo končni izdelek uspešno natisnjen ter da bo izpolnjeval vse zelene funkcionalne in estetske zahteve. Ta pripravljalna faza vključuje več korakov, ki so potrebni za optimizacijo 3D-modela za tiskanje in za prilagoditev nastavitve tiskalnika, da dosežemo najvišjo kakovost izdelka.

Priprava 3D-modela:

Prvi korak v pripravi na 3D-tisk je 3D-model primerne oblike, ki jo lahko naložimo v programsko opremo za 3D-tiskanje. Večina 3D-tiskalnikov sprejema datoteke v

formatu STL (stereolitografska datoteka), vendar lahko podpirajo tudi druge formate, kot sta OBJ ali AMF. Model mora biti popoln in brez napak, saj lahko že najmanjša nepravilnost v geometriji (npr. luknje v modelu ali nepravilno zaprtje površin) povzroči težave pri tisku.

Če model vsebuje napake, je priporočljivo, da uporabimo program za popravilo modelov, kot sta Meshmixer ali Netfabb, ki omogočata iskanje in odpravljanje težav v geometriji modela.

Izbira materiala:

Pred začetkom tiskanja je pomembno izbrati primeren material za tiskanje, saj različni materiali ponujajo različne lastnosti. Na voljo so številni materiali. Odločil sem se za PLA (polilaktično kislino), saj je preprost za tiskanje, ekološki in primeren za začetnike. Pomembno je izbrati tudi debelino in tip filamentskega materiala (npr. 1,75 mm ali 2,85 mm), ki sta združljiva s tiskalnikom. V mojem primeru je bil to material debeline 1,75 mm.



*Slika 9: Material PLA
(Lastni vir)*

Uporaba programske opreme za rezanje (angl. *Slicing software*):

Ko je 3D-model pripravljen, ga je treba »razrezati« na posamezne sloje, da ga tiskalnik lahko natisne. To se izvede s programsko opremo slicer. Za program slicer sem uporabljal Creality Slicer. V tem koraku nastavimo več parametrov, ki vplivajo na kakovost izdelka.

Debelina sloja:

To določa, kako natančno bo tiskalnik naložil plast na plast. Manjša debelina sloja pomeni večjo natančnost, vendar tudi daljši čas tiskanja.

Izpolnitev (Infill):

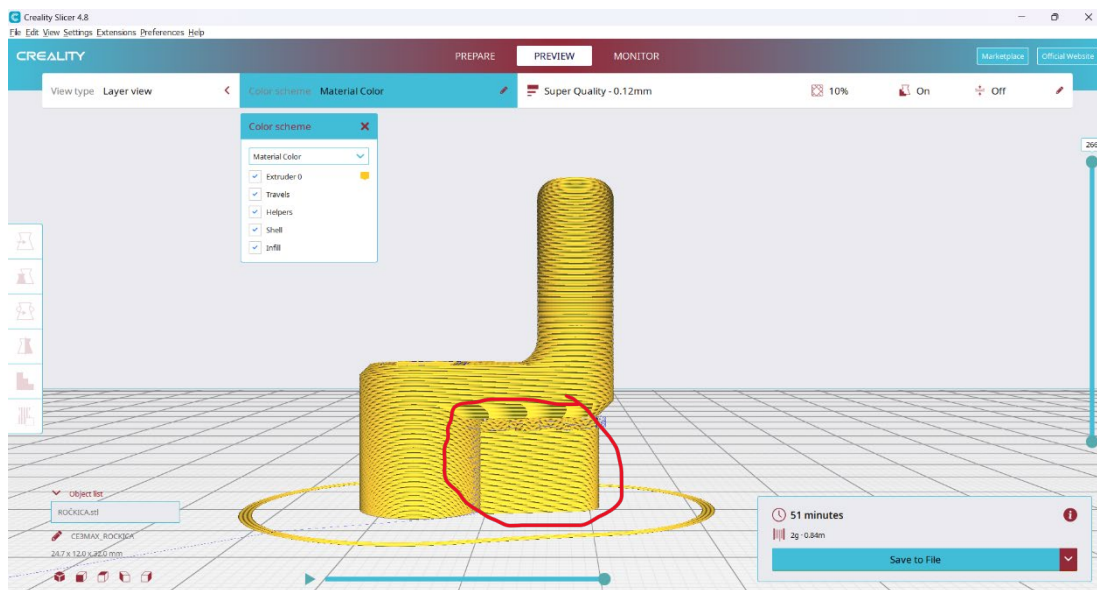
To določa gostoto notranjosti modela. Višja izpolnitev pomeni trši in težji predmet, medtem ko manjša izpolnitev zmanjša uporabo materiala in čas tiskanja, vendar lahko zmanjša trdnost izdelka.

Hitrost tiskanja:

To določa hitrost premikanja tiskalne glave. Višja hitrost pomeni krajši čas tiskanja, vendar lahko vpliva na kakovost. Pri prvem modelu sem povečal hitrost in je bila kakovost slabša. Pri drugem modelu sem hitrost zmanjšal in kakovost je bila boljša, vendar je bil čas tiskanja daljši.

Podpora:

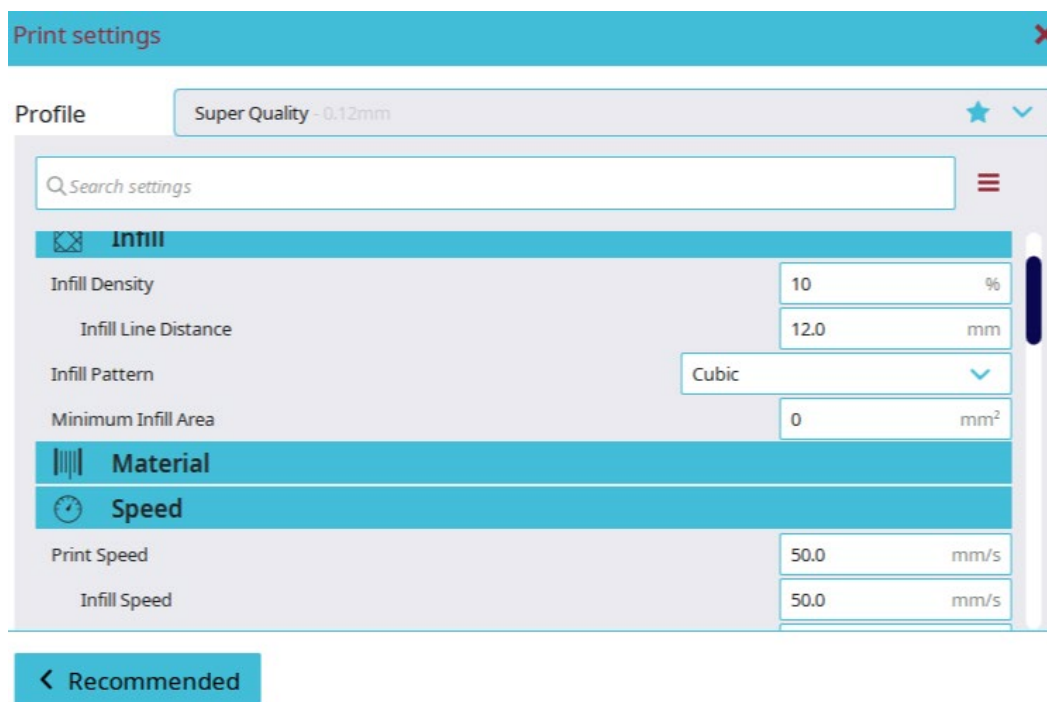
Če model vsebuje previsne dele, potrebujemo podporo, ki omogoči, da se ti deli natisnejo brez nagiba ali padca. Podporni deli so običajno zasnovani tako, da jih je po končanem tisku mogoče preprosto odstraniti. Pri izdelavi makete sem podporo uporabil samo pri izdelavi ročke. Na naslednji sliki je prikazana podpora v programu.



Slika 10: Podpora ročke
(Lastni vir)

Temperatura tiskanja:

Za vsak material so priporočene različne temperature tiskanja. PLA se običajno tiska pri temperaturi 180–220 °C. Prvi model sem natisnil z najmanjšo priporočljivo temperaturo (180 °C), drugega z največjo priporočljivo temperaturo (220 °C).



Slika 11: Nastavitve v programski opremi
(Lastni vir)

Nastavitve tiskalnika:

Pred tiskanjem je treba prilagoditi tudi nastavitve 3D-tiskalnika:

Ogrevanje podlage:

Za materiale, kot je PLA, je priporočljivo tiskalno podlago ogreti na primerno temperaturo, običajno okoli 60 °C, da se prepreči luščenje ali deformacija med tiskanjem.

Prilagoditev višine prve plasti:

Višina prve plasti je ključna za dober oprijem materiala na podlago.

Če je višina prevelika, bo prvi sloj slabo pritrjen, če pa je premajhna, lahko povzroči zagozdenje šobe.

Kalibracija ali nivelacija tiskalnika:

Pred vsakim tiskanjem je priporočljivo preveriti in po potrebi kalibrirati tiskalnik, da se zagotovi, da so vsi premiki in nastavitve natančni.

Testni tisk:

Pred začetkom tiskanja je priporočljivo opraviti testni tisk, da pravočasno opazimo morebitne težave, kot so zamašitev, premiki modela ali slabo nalaganje slojev.

Tiskanje:

Po optimizaciji vseh nastavitvev je bil model pripravljen na tiskanje. Priporočljivo je, da redno spremljamo tiskanje, da lahko pravočasno opazimo morebitne težave.

Zaključek po tiskanju:

Po tiskanju vsakega elementa sem počakal, da se model ohladi. Nato sem vsak izdelek posebej očistil in na koncu vse skupaj sestavil.

Priprava na 3D-tisk je ključni korak, ki zahteva natančnost, pozornost pri podrobnostih ter razumevanje lastnosti materialov in tiskalnika, da bi zagotovili kakovost in uspešnost tiska.

3.1.3 Tiskanje prve različice batnega motorja

Pri tiskanju prvega modela sem se osredotočil zlasti na raziskovanje tega, kako različne nastavitve tiskalnika vplivajo na kakovost makete, zato sem se odločil, da bom pri tem postopku nekoliko zanemaril podrobnosti. Moj glavni cilj je bil preveriti razlike v kakovosti tiskanih modelov ob uporabi različnih parametrov, kot so temperatura, hitrost tiskanja in druge nastavitve.

Uporabljene nastavitve tiskanja:

Višina sloja:

Pri prvem modelu sem višino sloja nastavljal na 0,2 mm, kar je srednja vrednost med najpogosteje uporabljenimi nastavitvami. Ta debelina omogoča dobro ravnovesje med hitrostjo tiskanja in kakovostjo detajlov. Želel sem preveriti, kako ta nastavev vpliva na hitrost tiskanja in končno kakovost.

Temperatura tiskalne šobe:

Za tiskanje sem uporabil najmanjšo priporočeno temperaturo za material PLA, ki je 180 °C. Ta temperatura je bila nekoliko nižja od priporočene vrhovne meje, zato sem lahko preskusil, kako se material obnaša pri nizkih temperaturah, vendar pa sem bil pripravljen tudi na morebitne težave pri adheziji materiala ali kakovosti slojev.

Temperatura tiskalne podlage:

Temperaturo delovne površine sem nastavljal na 60 °C, kar je običajno priporočljivo za materiale, kot je PLA, saj pomaga pri večji oprijemljivosti prve plasti na podlago, ki preprečuje krčenje in dviganje robov med tiskanjem.

Hitrost tiskanja:

Hitrost tiskanja sem nekoliko povečal, saj sem želel preveriti vpliv višje hitrosti na kakovost in čas tiskanja. Hitrost tiskanja sem nastavljal na 60 mm/s, kar je nekoliko nad običajnimi nastavitvami, vendar še vedno v okviru priporočljivih vrednosti za PLA. Ta

hitrost omogoča razmeroma hitro tiskanje, vendar sem bil pripravljen na nenatančnost, še zlasti pri bolj kompleksnih detajlih.

Hitrost izpolnitve (Infill):

Za izpolnitev notranjosti sem nastavil hitrost 50 mm/s. Ta nastavitev je bila še vedno dovolj visoka, da ni povzročila občutnega povečanja časa tiskanja.

Hitrost tiskanja zunanjih sten:

Hitrost tiskanja zunanjih sten sem nekoliko zmanjšal, da bi izboljšal estetski videz končnega modela. Nastavil sem jo na 30 mm/s, saj so zunanje stene najbolj izpostavljene in pomembne za videz celotnega izdelka.

Hitrost premikanja ekstrudorja:

Hitrost premikanja ekstrudorja sem nastavil na 130 mm/s, kar je precej hitro. Ta nastavitev je pomagala pri hitrejšem premikanju tiskalne glave, vendar je imela negativen vpliv na natančnost in kakovost tiskanja. Kljub temu sem bil pripravljen na nekoliko nižjo kakovost tiskanja, saj sem želel preveriti, kako hitro premikanje vpliva na končni izdelek.

Odzivni čas:

Za odzivni čas sem nastavil vrednost 70 mm/s. To je hitrost, s katero se ekstrudor odzove na spremembe v G-kodi. Ta nastavitev omogoča hitro prilagajanje iztiskanja materiala, vendar lahko povzroči rahle napake v detajlih, zlasti pri hitri spremembi smeri.



*Slika 12: Ohišje – prva različica
(Lastni vir)*



*Slika 13: Bati in ročka
(Lastni vir)*

3.2 Druga različica 3D-batnega motorja

3.2.1 Tiskanje druge različice batnega motorja

Višina sloja:

Pri tiskanju drugega modela sem višino nastavljal na 0,12 mm, kar spada med bolj kakovostne nastavitve za tiskanje. Ta višina sloja omogoča večjo natančnost in detajlnost pri tiskanju, saj so posamezni sloji tanjši in omogočajo bolj gladke površine. Zaradi manjše debeline sloja tiskalnik natančneje reproducira geometrijo modela, kar pripomore k boljši kakovosti pri kompleksnih geometrijah ali manjših podrobnostih. Seveda to podaljša čas tiskanja, saj je potrebnih več slojev za izgradnjo končnega modela. Z izbiro te nastavitve sem želel doseči čim bolj podrobno in estetsko dovršeno končno maketo.

Temperatura tiskalne šobe:

Za tiskanje sem uporabil najvišjo priporočeno temperaturo za material PLA, in sicer 220 °C. Ta temperatura omogoča optimalno taljenje materiala, saj je najvišja meja, ki še zagotavlja dobro adhezijo in preprečuje težave, kot sta zamašitev šobe in neenakomerno ekstrudiranje materiala. Pri tej temperaturi sem pričakoval boljše oprijemanje plasti med sabo ter večjo trdnost in gladkost tiskalnih površin. Kljub temu sem bil pozoren, da temperatura ne preseže vrednosti, saj bi to lahko povzročilo prekomerno pregrevanje materiala in s tem morebitno popačenje modela ali težave pri stabilnosti.

Temperatura tiskalne podlage:

Temperatura podlage ostaja enaka kot pri prejšnjem modelu, 60 °C. Ta temperatura je priporočena za materiale, kot je PLA, zaradi dobrega oprijema prve plasti. Stabilnost prve plasti je ključnega pomena za uspešen zaključek tiskanja, saj nepravilnosti v začetnih slojih lahko povzročijo težave skozi celoten proces.

Hitrost tiskanja:

Za ta model sem hitrost tiskanja zmanjšal na 50 mm/s, kar je nekoliko nižje od hitrosti, ki sem jo uporabil pri prejšnjem modelu. To odločitev sem sprejel, da bi izboljšal estetski videz modela, saj nižja hitrost omogoča večjo natančnost pri nanašanju slojev, kar pripomore k bolj gladkim in enotnim površinam. Zmanjšanje hitrosti je sicer podaljšalo čas tiskanja, vendar sem pričakoval, da bo kakovost končnega izdelka precej boljša, saj se s počasnejšim tiskanjem zmanjšajo napake, kot so neravne površine, prekomerno prekrivanje slojev ali nepravilnosti na robovih.

Hitrost izpolnitve (Infill):

Hitrosti izpolnitve nisem spreminjal, torej je ostala 50 mm/s. Ta hitrost je bila izbrana kot kompromis med hitrostjo tiskanja notranjih plasti in kakovostjo strukture.

Hitrost tiskanja zunanjih sten:

Za tiskanje zunanjih sten sem hitrost zmanjšal na 25 mm/s, saj sem predvideval, da bo to izboljšalo kakovost zunanjih površin in povečalo gladkost robov. Zmanjšanje hitrosti pri zunanjih stenah omogoča, da tiskalnik natančneje postavi plast za plastjo in izboljša kakovost površinskih slojev, saj omogoči boljše sledenje natančnim krivuljam in oblikam. Zunanji sloji so ključni za estetski videz modela, saj se vidijo in občutijo, ko je model končan. S tem sem želel zmanjšati tveganje za napake, kot so neenakomerno položeni sloji ali vidni prehodi med plastmi.

Hitrost premikanja ekstrudorja:

Hitrost premikanja ekstrudorja sem znatno zmanjšal na 100 mm/s, saj sem predvideval, da bo to izboljšalo kakovost modela. Hitrejše premikanje ekstrudorja pri tisku lahko povzroči manjše napake, še zlasti pri majhnih detajlih. Zmanjšanje hitrosti je v tem primeru omogočilo bolj natančen nanos materiala, saj ekstrudor ni več

prehitro prehajal prek modela, kar je pripomoglo k večji natančnosti in boljšemu oprijemanju slojev.

Odzivni čas:

Za odzivni čas sem vrednost zmanjšal na 60 mm/s, da bi povečal natančnost pri nanašanju materiala, zlasti pri hitrih premikih tiskalne glave.



*Slika 14: Ohišje – druga različica
(Lastni vir)*



*Slika 15: Bati in ročka – druga različica
(Lastni vir)*

4. ZAKLJUČEK

V diplomskem delu sem se osredotočil na razvoj in izboljšanje makete batnega motorja. Glavni cilj projekta je bil ustvariti delujočo in vizualno privlačno maketo, ki bi bila tehnično funkcionalna, ob tem pa bi izpolnjevala tudi visoke estetske standarde. Ta naloga ni le tehnična, temveč vključuje tudi ustvarjalen pristop, saj je treba v enem končnem izdelku uskladiti funkcionalnost, natančnost in vizualno estetiko. To nalogo sem uspešno izvedel z naprednimi tehnikami 3D-modeliranja in natančnim konfiguriranjem parametrov v rezalnem programu, ki je omogočil optimalno pripravo modela za 3D-tiskanje.

V uvodu sem navedel, da bom najverjetneje naletel na težave, ki se pogosto pojavijo pri 3D-tiskanju, kot so previsi in zamašitve šob tiskalnika. Te težave sem predvidel že v fazi načrtovanja in postavil tudi strategijo za njihovo obvladovanje. Sčasoma sem se soočil s temi izzivi. Ker sem jih pravočasno opazil, sem lahko hitro ukrepal in jih učinkovito odpravil. Težave z zamašitvijo šobe sem denimo uspel rešiti z izbiro ustreznih parametrov za hitro in natančno tiskanje, medtem ko so previsi na določenih delih modela zahtevali natančno prilagoditev nastavitve podpornih struktur v rezalnem programu.

Ko sem naletel na težave, sem moral prilagoditi različne nastavitve v programski opremi za 3D-tiskanje, da bi zagotovil, da model med tiskom ostane stabilen in da se preprečijo napake, kot so deformacije ali lomljenje materiala. Z naprednim rezalnim programom sem lahko natančno nastavljal hitrost tiskanja, višino slojev in druge parametre, ki so vplivali na kakovost tiskanja. Kljub začetnim težavam, ko sem se še učil obvladovati te nastavitve, je bil rezultat izjemen. Z vsako odpravljenno težavo sem izboljšal znanje o tiskalnikih in njihovih nastavitvah, zato sem lahko model v drugem poskusu znatno izboljšal, tako funkcionalno kot vizualno.

V drugem modelu sem uspešno izvedel vse potrebne izboljšave, pri čemer sem skrbno spremljal vpliv sprememb na tiskanje. Parametri, kot so hitrost tiskanja, gostota in usmerjenost modela, so imeli pomemben vpliv na kakovost končnega izdelka. S prilagajanjem teh parametrov sem dosegel večjo stabilnost pri tisku in izboljšal končno kakovost izdelka, saj so bile vse podrobnosti bolj natančne in brez napak, ki so se pojavljale pri prejšnjem modelu. Poleg tega sem se pri tiskanju zavedal pomena kakovosti uporabljenega materiala, saj različni materiali, kot so PLA, ABS in PETG, različno vplivajo na različne vidike tiskanja, kot so trdnost, fleksibilnost in končni videz izdelka.

Za boljše rezultate sem se osredotočil tudi na testiranje modela po vsakem tisku. Z različnimi testiranjmi sem preveril, kako so delovali vsi premikajoči se deli makete in ali so vse komponente tesno usklajene. S tem sem pridobil dragoceno povratno informacijo, ki mi je pomagala pri nadaljnjih prilagoditvah modela in optimizaciji

postopka tiska. Proces testiranja in optimizacije modela mi je omogočil, da sem lahko še dodatno izboljšal delovanje motorja in zagotovil, da vse premikajoče se komponente delujejo brez težav.

Za zaključek lahko rečem, da sem dosegel vse zastavljene cilje. Model sem izboljšal na vseh področjih, tako funkcionalnih kot estetskih. Pri tem sem uspel učinkovito obvladati tehnične izzive, ki so se pojavili med procesom tiska, ter bil sposoben hitro ukrepati in prilagoditi parametre tiskanja, da bi zagotovil visokokakovosten rezultat. Poleg tega sem se med postopkom naučil veliko novega o 3D-modeliranju, 3D-tiskanju in reševanju težav, ki se neizogibno pojavijo pri izdelavi 3D-modelov. To diplomsko delo mi je dalo koristen uvid v tehnične vidike 3D-tiskanja, saj sem se naučil prilagoditi nastavitve tiskalnika za najboljše rezultate.

Poleg tehničnega znanja, ki sem ga pridobil med delom pri tem projektu, zdaj med procesom načrtovanja in izdelave modelov bolje kritično razmišljam in analiziram. Razumevanje, kako različni dejavniki vplivajo na končni rezultat, mi bo v prihodnje v veliko pomoč pri drugih podobnih projektih tako v študijskem kot tudi profesionalnem okolju. Usmerjanje tega znanja v izboljšanje izdelkov in procesov me je še dodatno motiviralo za raziskovanje novih tehnologij in metod v svetu 3D-tiskanja in inženiringa. Na koncu sem lahko na doseženo ponosen, saj sem uspel ustvariti funkcionalen in estetsko dovršen model batnega motorja, ki je rezultat mojega truda in pridobljenega znanja.

5. LITERATURA IN VIRI

Alain Le-Bail, 2020 SciencDirect. Pridobljeno 18.6.2024 z naslova <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214799320300096?via%3Dihub>

Wiley Analytical Science, 2021 Wiley Analytical Science. Pridobljeno 3.7.2024 z naslova <https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/elsc.202100081>

Manufactur3D. (n.d.). *Working of FDM 3D Printing Technology*. Pridobljeno 13.7.2024 z naslova <https://manufactur3dmag.com/working-fdm-3d-printing-technology/>

MatterHackers. (n.d.). *3D Printing Essentials: Bed Leveling*. Pridobljeno 29.8.2024 z naslova <https://www.matterhackers.com/articles/3d-printing-essentials-bed-leveling>

3D Sourced, 2023 The 10 Main Types of 3D Printer Explained. 3D Sourced. Pridobljeno 12.9.2024 z naslova <https://www.3dsourced.com/3d-printer-types/>

PTJ 3D Printing, 2024 PTJ 3D Printing. Pridobljeno 21.10.2024 z naslova <https://3d-printing-china.com/service/>

CNET, 2023 The Best 3D Printing Slicer Software. CNET. Pridobljeno 4.11.2024 z naslova https://www.cnet.com/tech/computing/the-best-3d-printing-slicer/#google_vignette

CREALITY, 2014 O nas. CREALITY. Pridobljeno 9.11.2024 z naslova <https://www.crealty.com/fr/pages/about-us>

Wikipedija, 2024 Polimlečna kislina – Wikipedija, prosta enciklopedija. Wikipedija. Pridobljeno 26.11.2024 z naslova https://sl.wikipedia.org/wiki/Polimlečna_kislina

SolidWorks. (n.d.). *SolidWorks*. Pridobljeno 19.11.2024 z naslova <https://www.solidworks.com/>