

ŠOLSKI CENTER VELENJE
ELEKTRO IN RAČUNALNIŠKA ŠOLA
Trg mladosti 3, 3320 Velenje
MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ SAŠA REGIJE

RAZISKOVALNA NALOGA
Primerjava kakovosti izdelkov med FDM in SLA 3D-tiskom

Tematsko področje: MEHATRONIKA

Avtorja:

Ajman Mulavdić 4.TM,
An Avdić 4.TM

Mentor:

Klemen Zaponšek, mag. inž. meh.

Velenje, 2026

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Šolskem centru Velenje, Elektro in računalniški šoli.

Mentor: Klemen Zaponšek, mag. inž. meh.

Datum predstavitve: marec 2026

KJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	ŠC Velenje – Elektro in računalniška šola, šolsko leto 2025/2026
KG	3D-tiskanje/FDM tehnologija/SLA tehnologija/Kakovost izdelkov/Dimenzijska natančnost/Aditivna proizvodnja
AV	MULAVDIĆ Ajman/AVDIĆ An
SA	ZAPONŠEK, Klemen
KZ	3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3
ZA	Šolski center Velenje
LI	2026
IN	PRIMERJAVA KAKOVOSTI IZDELKOV MED FDM IN SLA 3D-TISKOM
TD	Raziskovalna naloga
OP	V, 25 str., 4 pregl., 0 graf., 15 sl., 0 pril., 6 vir.
IJ	SL
JI	sl/ en
AI	Raziskovalna naloga obravnava primerjavo kakovosti izdelkov, izdelanih s pomočjo dveh razširjenih tehnologij 3D-tiskanja, in sicer FDM (Fused Deposition Modeling) in SLA (Stereolithography). Namen raziskave je ugotoviti ključne razlike med tehnologijama glede kakovosti površine, dimenzijske natančnosti, mehanskih lastnosti, časa izdelave in stroškov. V teoretičnem delu so predstavljene osnovne značilnosti obeh tehnologij, v eksperimentalnem delu pa so bili natisnjeni primerljivi testni modeli z obema postopkoma. Rezultati so pokazali, da SLA tehnologija omogoča višjo natančnost in boljšo kakovost površine, medtem ko FDM tehnologija izstopa po mehanski trdnosti in nižjih stroških izdelave. Ugotovitve raziskave prispevajo k boljšemu razumevanju prednosti in omejitev posamezne tehnologije ter predstavljajo osnovo za izbiro ustreznega postopka 3D-tiska glede na namen uporabe izdelka.

KEYWORD DOCUMENTATION

ID ŠC Velenje – Electrical and Computer School, school year 2025/2026

KG 3D printing / FDM technology / SLA technology / Product quality / Dimensional accuracy / Additive manufacturing

AU MULAVDIĆ Ajman / AVDIĆ An

AD ZAPONŠEK, Klemen

PL 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3

PU School Center Velenje

PY 2026

TI **COMPARISON OF PRODUCT QUALITY BETWEEN FDM AND SLA 3D PRINTING**

DT Research work

NO V, 25 p., 4 tab., 0 graf., 15 fig., 0 ann., 6 ref.

LA SL

ML sl / en

AB This research paper presents a comparison of product quality achieved using two widely adopted 3D printing technologies, namely FDM (Fused Deposition Modeling) and SLA (Stereolithography). The aim of the study is to identify the key differences between the two technologies in terms of surface quality, dimensional accuracy, mechanical properties, production time, and costs. The theoretical section outlines the fundamental characteristics of both technologies, while the experimental part involves printing comparable test models using both methods. The results indicate that SLA technology provides higher precision and superior surface quality, whereas FDM technology stands out due to its mechanical strength and lower production costs. The findings contribute to a better understanding of the advantages and limitations of each technology and provide a basis for selecting the appropriate 3D printing process according to the intended application of the product.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 PREGLED STANJA TEHNIKE	2
2.1 Kaj je 3D tisk	2
2.2 FDM tehnologija	2
2.2.1 Splošen opis tiskalnikov	2
2.2.2 Tehnologija tiskanja (FDM)	3
2.2.3 Tehnične lastnosti	4
2.2.4 Cena tiskalnikov	5
2.2.5 Področja uporabe FDM tiskanja	6
2.2.6 Prednosti in slabosti	6
2.3 SLA tehnologija	5
2.3.1 Splošen opis tiskalnika	5
2.3.2 Tehnologija tiskanja (SLA / LCD)	5
2.3.3 Tehnične lastnosti	5
2.3.4 Cena tiskalnika	6
2.3.5 Področja uporabe SLA tiskanja	6
2.3.6 Prednosti in slabosti	6
3 MATERIAL IN METODE DE LA	7
3.1 Zbiranje informacij in priprava raziskave	7
3.2 Uporabljeni materiali	8
3.3 Uporabljena oprema in programska oprema ...	8
3.4 Eksperimentalni postopek	9
3.5 Število ponovitev in čas raziskave	13
3.6 Metode ocenjevanja in analize	13
4 REZULTATI	14
4.1 Kakovost površine	14
4.2 Dimenzijska natančnost	16
4.3 Mehanske lastnosti	17
4.4 Čas tiskanja in učinkovitost	17
4.5 Poraba materiala in stroški	18
4.6 Pregledna primerjava rezultatov	18
5 DISKUSIJA (RAZPRAVA)	18
6 ZAKLJUČEK	22
7 POVZETEK	23
8 SUMMARY	24

9 VIRI IN LITERATURA 26

10 ZAHVALA 27

KAZALO TABEL

Tabela 1: Bambu Lab A1 mini – prednosti in slabosti 4
Tabela 2: Anycubic Mega S – prednosti in slabosti 5
Tabela 3: Photocentric Liquid Crystal HR – prednosti in slabosti6
Tabela 4: Primerjava rezultatov med SLA in FDM 3D-tiskanjem18

KAZALO SLIK

Slika 1: PLA material 8
Slika 2: Resin smola (bela) 8
Slika 3: Resin smola (črna)8
Slika 4: Bambu Lab A1 mini 9
Slika 5: Anycubic Mega S 9
Slika 6: Liquid Crystal HR 9
Slika 7: Bambu Lab Studio – program za rezanje 10
Slika 8: Photocentric Studio – programsko okolje 11
Slika 9: Photocentric Studio z modelom 12
Slika 10: Model natisnjen s SLA tehnologijo 15
Slika 11: Model natisnjen z Bambu Lab A1 mini 15
Slika 12: Model natisnjen z Bambu Lab A1 mini (drugi primer) 16
Slika 13: Model natisnjen z Anycubic Mega S 16
Slika 14: Čas tiskanja – Anycubic Mega S 17
Slika 15: Čas tiskanja – Liquid Crystal HR 17

1. UVOD

V zadnjih letih smo priča hitremu razvoju tehnologij aditivne proizvodnje, ki vse bolj vplivajo na različna področja industrije, izobraževanja in vsakdanje uporabe. Med najpomembnejše dosežke sodobne proizvodnje sodi 3D-tiskanje, ki omogoča hitro, prilagodljivo in stroškovno učinkovito izdelavo prototipov ter končnih izdelkov. Zaradi široke dostopnosti 3D-tiskalnikov se ta tehnologija vse pogosteje uporablja tako v profesionalnem okolju kot tudi v domači rabi.

Z razvojem 3D-tiskanja so se uveljavile različne tehnologije, med katerimi sta najpogosteje uporabljeni FDM (Fused Deposition Modeling) in SLA (Stereolithography). Obe tehnologiji imata svoje značilnosti, prednosti in omejitve, ki vplivajo na kakovost končnih izdelkov. Razlike se kažejo predvsem v kakovosti površine, dimenzijski natančnosti, mehanskih lastnostih, času izdelave ter stroških materiala in opreme. Zaradi tega je izbira ustrezne tehnologije ključnega pomena glede na namen uporabe izdelka.

3D-tiskanje prinaša številne prednosti, vendar odpira tudi vprašanja glede optimalne uporabe posamezne tehnologije. Medtem ko FDM tehnologija omogoča cenovno dostopno izdelavo mehansko odpornih izdelkov, SLA tehnologija izstopa po visoki natančnosti in izjemno gladki površini. Pomembno je razumeti, v katerih primerih je posamezna tehnologija primernejša ter kakšne so dejanske razlike v kakovosti izdelkov, izdelanih z obema postopkoma.

Namen te raziskovalne naloge je celovito primerjati kakovost izdelkov, izdelanih s pomočjo FDM in SLA 3D-tiska, s poudarkom na več ključnih vidikih.

Prvič, analizirati kakovost površine in natančnost izdelkov, saj ti lastnosti pomembno vplivata na estetsko in funkcionalno vrednost izdelka.

Drugič, oceniti mehanske lastnosti in uporabnost izdelkov v praksi ter ugotoviti, kako tehnologija tiskanja vpliva na njihovo trdnost in obstojnost.

Tretjič, raziskati ekonomske vidike obeh tehnologij, vključno s stroški materiala, časa tiskanja in dodatne obdelave po tiskanju. Poleg tega je pomembno upoštevati tudi

uporabniške vidike, kot so enostavnost uporabe, dostopnost tehnologije in primernost za različna področja uporabe.

S to raziskovalno nalogo želimo preučiti razlike med FDM in SLA tehnologijo ter ugotoviti, katera je primernejša za posamezne namene. Raziskava temelji na teoretičnem pregledu in eksperimentalnem delu, rezultati pa prispevajo k boljšemu razumevanju prednosti in slabosti obeh tehnologij ter pomagajo pri izbiri ustreznega postopka 3D-tiska.

2. PREGLED STANJA TEHNIKE

2.1 Kaj je 3D tisk

3D tisk je postopek aditivne proizvodnje, pri katerem se izdelek gradi plast za plastjo na osnovi digitalnega 3D modela. Postopek se začne z modeliranjem v CAD programu, sledi priprava modela v programu za rezanje (slicer), nato pa sledi sam proces tiskanja.

2.2 FDM tehnologija

V raziskavi so bili uporabljeni FDM tiskalniki Bambu Lab in AnyCubic, ki omogočajo visoko hitrost tiskanja in dobro ponovljivost.

2.2.1 Splošen opis tiskalnikov

Bambu Lab A1 mini je sodoben namizni 3D tiskalnik, ki deluje na osnovi FDM tehnologije (Fused Deposition Modeling). Razvilo ga je podjetje Bambu Lab, ki je znano po naprednih, hitrih in uporabniku prijaznih 3D tiskalnikih. Model A1 mini je namenjen predvsem izobraževanju, domači uporabi, prototipiranju in manjšim funkcionalnim izdelkom.

Anycubic Mega S je prav tako namizni FDM 3D tiskalnik, ki ga proizvaja podjetje Anycubic. Gre za cenovno dostopen in zanesljiv model, primeren za začetnike, šole ter domače uporabnike. Je nadgrajena različica modela i3 Mega in omogoča tudi tisk fleksibilnih materialov.

2.2.2 Tehnologija tiskanja (FDM)

Oba tiskalnika uporabljata FDM tehnologijo, ki temelji na taljenju termoplastičnega filameta (na primer PLA). Material se segreje v grelni šobi in se plast za plastjo nanaša na ogrevano tiskalno površino, kjer se po ohlajanju strdi.

Bambu Lab A1 mini uporablja napreden in zelo natančen ekstruder ter učinkovito aktivno hlajenje, kar omogoča zelo kakovosten tisk tudi pri višjih hitrostih. Anycubic Mega S ima direktni ekstruder (direct drive), ki omogoča boljši nadzor nad podajanjem filameta, še posebej pri mehkih materialih, kot je TPU, vendar tiska počasneje.

2.2.3 Tehnične lastnosti

Bambu Lab A1 mini:

- Območje tiskanja: 180 × 180 × 180 mm
- Debelina plasti: 0,08–0,28 mm
- Največja hitrost tiskanja: do 500 mm/s
- Premer šobe: 0,4 mm
- Podprti materiali: PLA, PETG, TPU
- Ogrevana tiskalna miza: da
- Povezljivost: Wi-Fi, USB
- Teža: približno 5,5 kg

Anycubic Mega S:

- Območje tiskanja: približno 210 × 210 × 205 mm
- Debelina plasti: 0,1–0,4 mm
- Hitrost tiskanja: približno 100 mm/s
- Premer šobe: 0,4 mm
- Podprti materiali: PLA, ABS, PETG, TPU
- Ogrevana tiskalna miza: da

- Povezljivost: SD kartica
- Teža: približno 11 kg

2.2.4 Cena tiskalnikov

Cena Bambu Lab A1 mini se giblje približno med 200 in 350 evri, odvisno od trgovca in dodatne opreme. Anycubic Mega S je nekoliko cenejši, njegova cena pa se običajno giblje med 200 in 250 evri.

Mega S je zato primernejši za uporabnike z omejenim proračunom, medtem ko A1 mini ponuja več naprednih funkcij in višjo hitrost tiskanja.

2.2.5 Področja uporabe FDM tiskanja

Oba tiskalnika se uporabljata predvsem v izobraževanju, domači uporabi in pri hobijih. Primerna sta za izdelavo funkcionalnih prototipov, mehansko obremenjenih delov, držal, ohišij in različnih tehničnih komponent.

Bambu Lab A1 mini je bolj primeren za uporabnike, ki želijo hitrejšo tiskanje in višjo natančnost, medtem ko je Anycubic Mega S dobra izbira za začetnike, ki iščejo cenovno dostopno in zanesljivo rešitev.

2.2.6 Prednosti in slabosti

Prednosti	Slabosti
zelo visoka hitrost tiskanja	višja cena
napredne avtomatske funkcije	manjše tiskalno območje
enostavna uporaba	dražja popravila
visoka natančnost in kakovost površine	manj odprt za modifikacije

Prednosti	Slabosti
nižja cena	počasnejše tiskanje
večje tiskalno območje	manj naprednih funkcij
zanesljivo delovanje	ročna kalibracija tiskalne mize
primeren za fleksibilne materiale (TPU)	glasnejše delovanje

2.3 SLA tehnologija

SLA tehnologija uporablja tekočo fotopolimerno smolo, ki se s pomočjo UV svetlobe strjuje. Vsaka plast se utrdi posebej, kar omogoča izjemno visoko natančnost in zelo gladko površino.

Uporabljen je bil SLA tiskalnik Liquid Crystal HR, ki omogoča visoko ločljivost tiskanja.

2.3.1 Splošen opis tiskalnika

Photocentric Liquid Crystal HR (High Resolution) je profesionalni namizni 3D tiskalnik, ki deluje na osnovi SLA tehnologije oziroma LCD-fotopolimernega tiskanja. Razvilo ga je britansko podjetje Photocentric, ki je specializirano za fotopolimerne materiale in natančne 3D tiskarske sisteme. Tiskalnik je namenjen izdelavi zelo natančnih, detajlnih in vizualno kakovostnih izdelkov.

2.3.2 Tehnologija tiskanja (SLA / LCD)

Tiskalnik uporablja tehnologijo SLA (Stereolitografija), natančneje različico, imenovano LCD ali DPP (Daylight Polymer Printing). Namesto laserja uporablja LCD zaslon visoke ločljivosti, ki prepušča svetlobo v obliki posamezne plasti modela. Svetloba povzroči strjevanje tekoče fotopolimerne smole.

2.3.3 Tehnične lastnosti

- Tehnologija tiskanja: SLA / LCD (DPP)
- Območje tiskanja: približno $196 \times 147 \times 250$ mm
- Ločljivost v osi XY: $97 \mu\text{m}$
- Debelina plasti: 25–100 μm
- LCD zaslon: 9,7-palčni, ločljivost 2048×1536
- Povezljivost: USB / omrežje
- Teža naprave: približno 15 kg

2.3.4 Cena tiskalnika

Cena Photocentric Liquid Crystal HR 3D tiskalnika se giblje okoli 1.900 do 2.200 evrov, odvisno od dobavitelja, davkov in dodatne opreme. Poleg samega tiskalnika je potrebno upoštevati še strošek smole in UV enote.

2.3.5 Področja uporabe SLA tiskanja

SLA tiskanje se uporablja tam, kjer so potrebni visoka natančnost, gladka površina in zelo fini detajli. Najpogostejša področja uporabe so:

- medicina in dentalna tehnika
- industrijsko in funkcionalno prototipiranje
- arhitektura in oblikovanje
- izdelava nakita in modelov
- izobraževanje in raziskave

2.3.6 Prednosti in slabosti

Tabela 3: Photocentric Liquid Crystal HR (Prednosti in slabosti)	
Prednosti	Slabosti
zelo gladka površina izdelkov	višja cena materiala
visoka dimenzijska natančnost	dodatna obdelava po tiskanju
možnost tiskanja zelo majhnih detajlov	večja krhkost izdelkov v primerjavi s FDM

3. MATERIAL IN METODE DE LA

V tem poglavju je podrobno predstavljen način zbiranja podatkov, uporabljeni materiali in oprema ter potek eksperimentalnega dela, s katerim smo primerjali kakovost izdelkov, izdelanih s tehnologijama FDM in SLA 3D-tiska. Natančen opis uporabljenih metod je ključnega pomena za ponovljivost raziskave in objektivno primerjavo rezultatov.

3.1 Zbiranje informacij in priprava raziskave

Raziskava je bila zasnovana kot kombinacija teoretičnega pregleda in praktičnega eksperimentalnega dela. V teoretičnem delu je bila uporabljena pomoč s strani mentorja in uporabo YouTube videjev. Poseben poudarek je bil namenjen razumevanju osnovnih principov delovanja FDM in SLA tehnologije ter dejavnikov, ki vplivajo na kakovost končnih izdelkov.

Na podlagi zbranih informacij je bil pripravljen načrt eksperimenta, ki je omogočil primerljivo in objektivno vrednotenje obeh tehnologij. Določeni so bili kriteriji primerjave, kot so kakovost površine, dimenzijska natančnost, mehanske lastnosti, čas izdelave in stroški materiala.

3.2 Uporabljeni materiali

Pri izvedbi eksperimentalnega dela so bili uporabljeni materiali, ki so pogosto uporabljeni v praksi in primerni za primerjalno analizo:

- **PLA filament** za FDM 3D-tiskanje, izbran zaradi dobre tiskljivosti, nizkih stroškov (cca. 20€ en kolot) in razširjene uporabe v izobraževalnem okolju;
- **fotopolimerna smola** za SLA 3D-tiskanje, ki omogoča visoko natančnost in gladko površino izdelkov; (cena cca. 20€ - 30€)



Slika 1: PLA material



Slika 2: Resin Smola



Slika 3: Resin smola

Uporaba enakih ali primerljivih materialov in enakega modela je omogočila objektivno primerjavo rezultatov.

3.3 Uporabljena oprema in programska oprema

Za izvedbo raziskave je bila uporabljena naslednja oprema:

- **FDM 3D-tiskalnik Bambu Lab A1 mini**, ki omogoča visoke hitrosti tiskanja in dobro ponovljivost rezultatov;
- **FDM 3D-tiskalnik Anycubic Mega S**, ki predstavlja klasičen in široko razširjen FDM tiskalnik, primeren za zanesljivo tiskanje z različnimi materiali ter omogoča primerjavo kakovosti tiska med različnimi FDM napravami;
- **SLA 3D-tiskalnik Photocentric Liquid Crystal HR**, namenjen tiskanju zelo natančnih in podrobnih izdelkov;
- **Računalnik** z nameščeno programsko opremo za pripravo 3D-modelov – Bambu Lab Studio, ki se je uporabljal pri FDM tiskalnikih in Photocentric studio, ki je služil za tiskanje pri SLA 3D tiskalniku Liquid Crystal HR
- **Spletna platforma Thingiverse**, uporabljena za iskanje in prenos brezplačnih 3D-modelov v formatu STL;

- **Spletna platforma MakerWorld**, uporabljena za iskanje in prenos 3D-modelov, optimiziranih za FDM 3D-tiskanje;
- **UV-utrjevalna enota** za dodatno strjevanje SLA izdelkov po tiskanju.

Programsko orodje je bilo uporabljeno za nastavitve parametrov tiskanja, ustvarjanje podpornih struktur ter pripravo datotek za tiskanje



Slika 4: Bambu lab mini



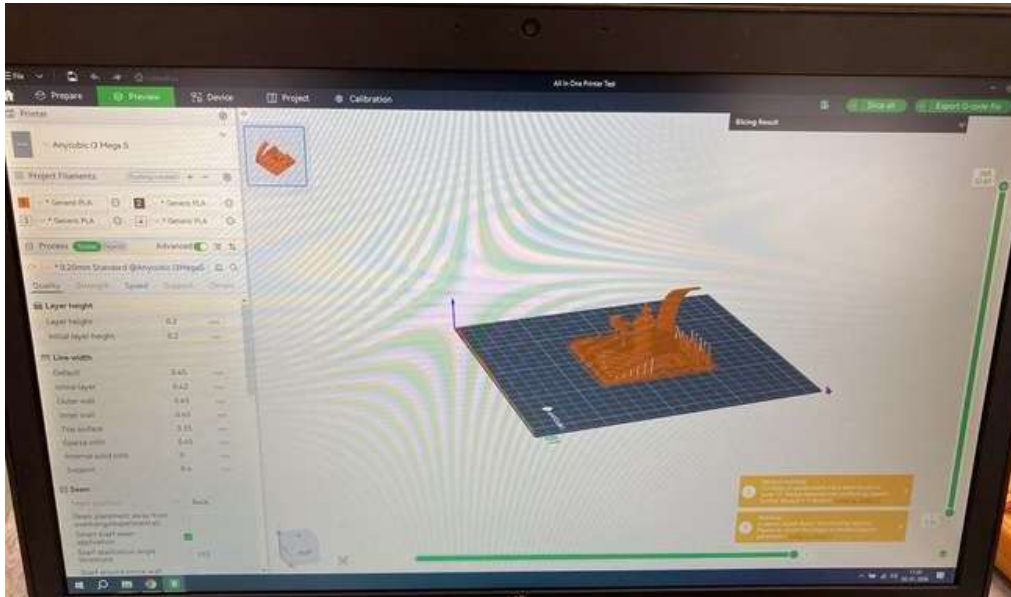
Slika 5: AnyCubic Mega



Slika 6: Liquid Crystal

3.4 Eksperimentalni postopek

- Eksperimentalni postopek se je začel s pripravo testnega 3D-modela, ki je bil izbran na spletnih straneh (Thingiverse in Makerworld) tako, da omogoča oceno različnih vidikov kakovosti izdelkov. Model je bil nato uvožen v programsko opremo Bambu Lab za rezanje (slice), kjer so bili nastavljeni parametri tiskanja, kot so debelina plasti, orientacija modela, hitrost tiskanja, uporaba podpor, kakovost materiala itd. 3D-Printer Bambu Lab A1 mini omogoča prenos 3D modelov na printer preko aplikacije na računalniku in telefonu – potrebna je samo prijava preko E-poštnega naslova. Mogoča je tudi opcija prenosa s SD-kartico, ki jo podpira tudi drugi 3D-tiskalnik – AnyCubic Mega S.



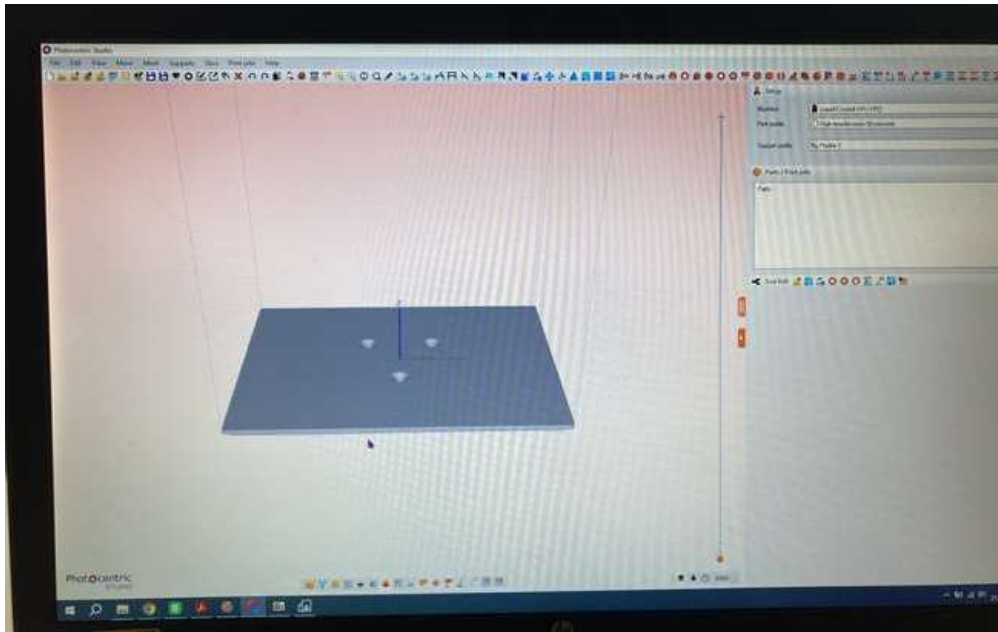
Slika 7: Bambu Lab slicing program

- Za vsak 3D-model so bili izbrani optimalni parametri, priporočeni s strani programske opreme Bambu Lab Studio, da bi zagotovili najboljše možne rezultate. Tiskanje je potekalo v nadzorovanem okolju, kar je zmanjšalo vpliv zunanjih dejavnikov na kakovost izdelkov. V primeru, da je bil izdelek slabše natisnjen, so bile nastavitve v programu ustrezno prilagojene.

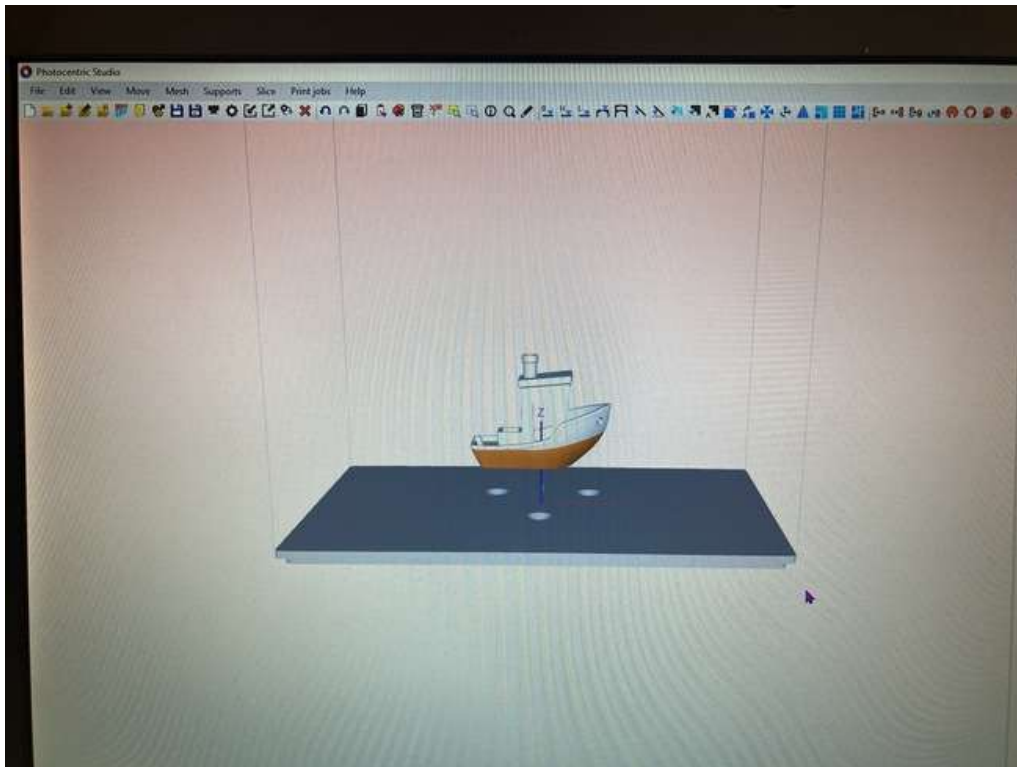
Prilagoditve parametrov so bile izvedene glede na vrsto zaznanih napak. Če so bile na površini izdelka vidne izrazite plasti ali nepravilnosti, je bila zmanjšana debelina plasti oziroma prilagojena hitrost tiskanja. V primeru slabšega oprijema na tiskalno mizo je bila spremenjena temperatura mize ali uporabljena dodatna pomoč za oprijem. Če je prišlo do nepopolnega iztiskanja materiala ali napak v strukturi izdelka, so bile prilagojene temperatura šobe, hitrost podajanja materiala ali nastavitve hlajenja.

- Eksperimentalni postopek pri SLA 3D-tiskanju se je začel s pripravo enakega testnega 3D-modela, ki je bil uporabljen pri FDM tiskanju, kar je omogočilo neposredno primerjavo kakovosti izdelkov med obema tehnologijama. Model je bil

uvožen v programsko opremo **Photocentric**, namenjeno pripravi datotek za SLA 3D-tiskanje s tiskalnikom **Liquid Crystal HR 3D**. V programu so bili nastavljeni ključni parametri tiskanja, kot so debelina plasti, orientacija modela, podporne strukture ter čas osvetlitve posameznih plasti.



Slika 8: Photocentric studio program



Slika 9: Photocentric studio program z modelom

Pri tiskanju je bila uporabljena **fotopolimerna smola AnyCubic – Standard Resin (Black) in (White)**, izbrana zaradi dobre kakovosti površine in primernosti za natančno tiskanje. Parametri tiskanja so bili sprva nastavljeni v skladu s priporočili programa Photocentric in smole, da bi zagotovili optimalne pogoje strjevanja materiala in visoko kakovost izdelkov.

- Datoteke za tiskanje so bile na tiskalnik prenesene preko povezave z računalnikom. Tiskanje je potekalo v nadzorovanem okolju, brez večjih nihanj temperature in osvetlitve, kar je pripomoglo k stabilnemu procesu strjevanja smole. Po končanem tiskanju so bili izdelki odstranjeni s tiskalne plošče ter sprani v izopropilnem alkoholu, da so se odstranili ostanki nestrjene smole. Nato so bili izdelki dodatno

utrjeni z UV-svetlobo (možno je tudi izdelek izpostaviti soncu), s čimer so dosegli končno mehansko trdnost.

V primeru zaznanih napak so bile nastavitve tiskanja ustrezno prilagojene. Če je bila kakovost površine slabša ali so bili prisotni nepopolno strjeni deli, je bil spremenjen čas osvetlitve posameznih plasti. Pri težavah z deformacijami ali slabim oprijemom modela na tiskalno ploščo so bile prilagojene orientacija modela in podporne strukture. Vse spremembe so bile izvajane postopno, z namenom doseganja optimalne kakovosti izdelkov in ponovljivosti rezultatov.

- Po končanem tiskanju so bili FDM izdelki mehansko očiščeni podpornih struktur, SLA izdelki pa so bili dodatno obdelani s pranjem v izopropilnem alkoholu ter naknadno utrjeni z UV-svetlobo.
- Poleg iskanja že pripravljenih 3D modelov na spletnih platformah je mogoče modele tudi ročno narisati oziroma oblikovati v programih za 3D modeliranje, kot je SolidWorks...

3.5 Število ponovitev in čas raziskave

Vsak testni model je bil natisnjen **trikrat z vsako tehnologijo**, kar je omogočilo oceno ponovljivosti tiskanja in zmanjšalo vpliv naključnih napak. Skupno je bilo izdelanih več vzorcev, ki so bili nato analizirani in medsebojno primerjani.

Raziskava je potekala v obdobju več tednov in je vključevala fazo načrtovanja, eksperimentalno izvedbo, meritve ter analizo rezultatov.

3.6 Metode ocenjevanja in analize

Kakovost natisnjenih izdelkov je bila ocenjena z uporabo več metod:

- **vizualna analiza** kakovosti površine in vidnosti plasti,

- **meritve dimenzij** za določanje dimenzijske natančnosti,
- **primerjalna ocena mehanske trdnosti** na podlagi praktičnih obremenitev,
- **analiza časa tiskanja in porabe materiala** za oceno učinkovitosti posamezne tehnologije

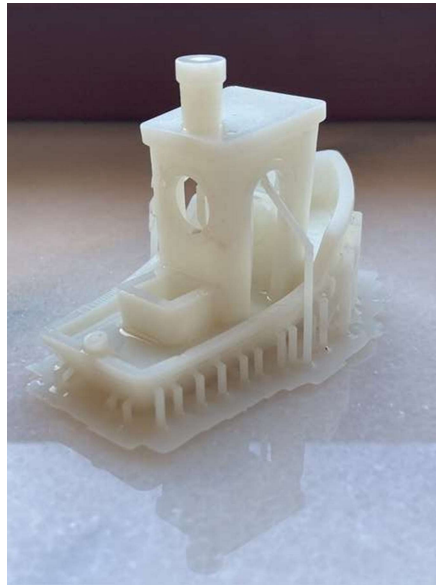
4. REZULTATI

Rezultati predstavljajo osrednji del raziskovalne naloge, saj temeljijo na izvedenem eksperimentalnem delu in omogočajo objektivno primerjavo kakovosti izdelkov, natisnjenih s tehnologijama FDM in SLA. Poleg primerjave med tehnologijama je bila znotraj FDM postopka izvedena tudi primerjava med dvema različnima FDM 3D-tiskalnikoma, in sicer **Bambu Lab A1 mini** in **AnyCubic Mega S**.

Rezultati so predstavljeni v strnjeni in pregledni obliki, dodatno pa so podprti s slikami in primerjavami, ki omogočajo lažje razumevanje razlik med obema tehnologijama..

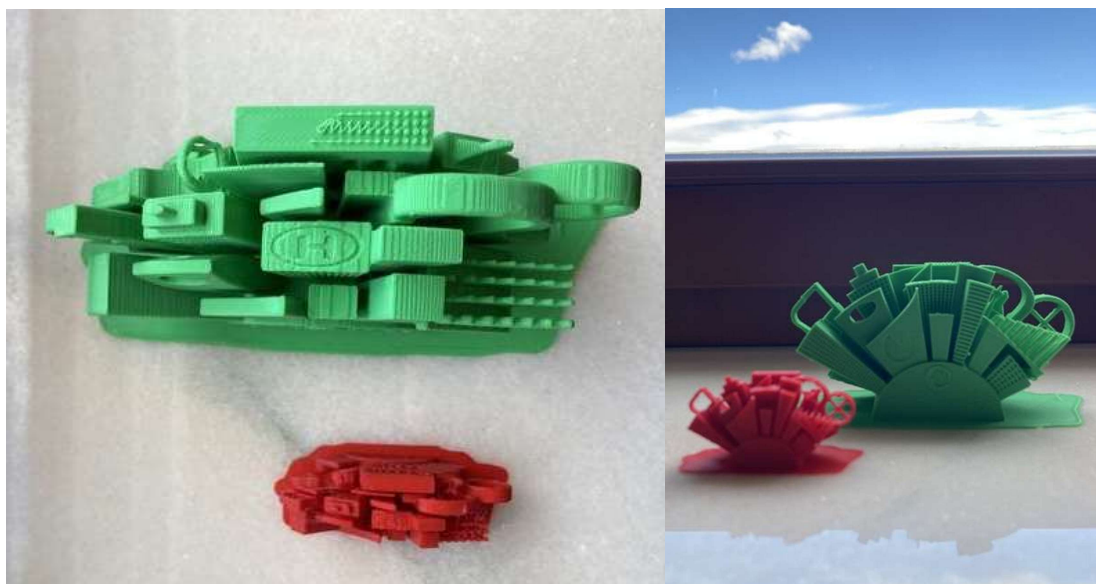
4.1 Kakovost površine

Izdelki, natisnjeni s SLA tehnologijo, so imeli najboljšo kakovost površine, saj so bili gladki in brez vidnih plasti. Površina je bila enakomerna in primerna za vizualno zahtevne izdelke.



Slika 10: Natisnjen model z SLA tehnologijo na 3D printerju Liquid Crystal HR

Pri FDM tehnologiji so bile opazne razlike tudi med posameznimi tiskalniki. Izdelki, natisnjeni z **Bambu Lab A1 mini**, so imeli bolj enakomerno površino in manj izrazite plasti v primerjavi z izdelki, natisnjenimi z **AnyCubic Mega S**. Razlika je bila predvsem opazna na ukrivljenih površinah in pri finih detajlih, kjer je Bambu Lab tiskalnik dosegal boljše rezultate zaradi boljše kontrole gibanja in naprednejšega hlajenja.

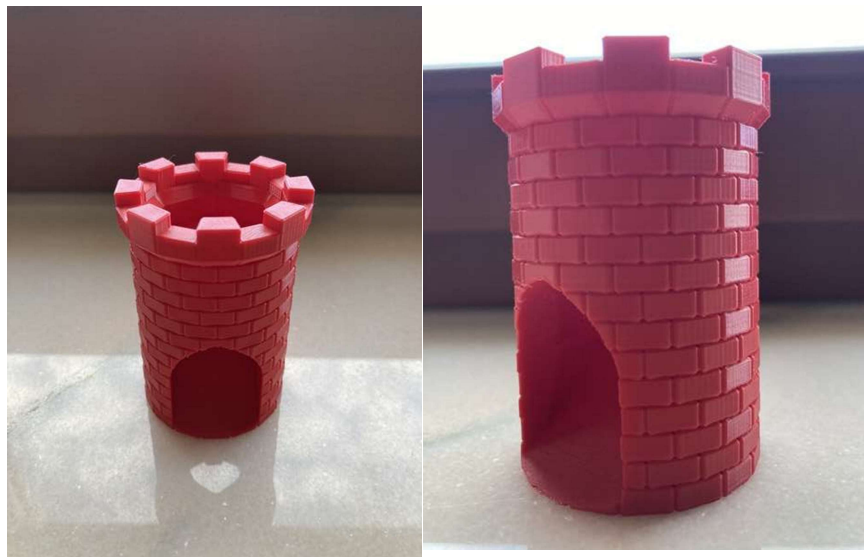


Slika 11: Natisnjena modela z FDM tehnologijo na 3D printerju Bambu Lab A1 mini

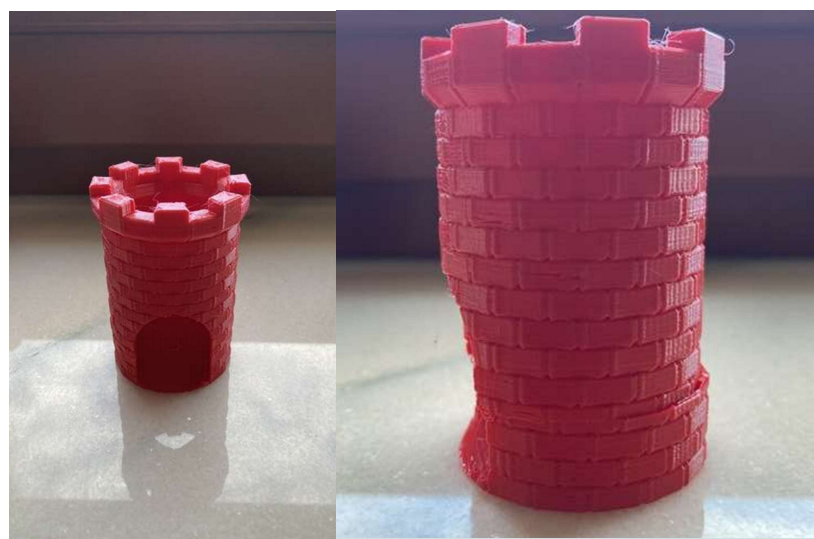
4.2 Dimenzijska natančnost

Meritve dimenzijske natančnosti so pokazale, da je SLA tehnologija dosegla najmanjša odstopanja od načrtovanih dimenzij.

Znotraj FDM tehnologije je bil **Bambu Lab A1 mini** natančnejši od **AnyCubic Mega S**. Odstopanja pri Bambu Lab tiskalniku so bila manjša in bolj konsistentna, medtem ko so bila pri AnyCubic Mega S večja, zlasti pri manjših dimenzijah in tanjših stenah. Razlike je mogoče pripisati starejši zasnovi tiskalnika in manj naprednemu sistemu kalibracije.



Slika 12: Natisnjen model z FDM tehnologijo na 3D printerju



Slika 13: Natisnjen model z FDM tehnologijo na 3D printerju AnyCubic Mega S

4.3 Mehanske lastnosti

Pri mehanskih lastnostih so vsi FDM izdelki izkazali večjo odpornost proti mehanskim obremenitvam v primerjavi s SLA izdelki, ne glede na uporabljen tiskalnik.

Med obema FDM tiskalnikoma večjih razlik v mehanski trdnosti ni bilo zaznati, saj je bil uporabljen enak material (PLA) in primerljive nastavitve tiskanja. Vendar so bili izdelki, natisnjeni z Bambu Lab A1 mini, nekoliko bolj konsistentni, brez vidnih napak v strukturi, kar lahko vpliva na dolgoročno trdnost.

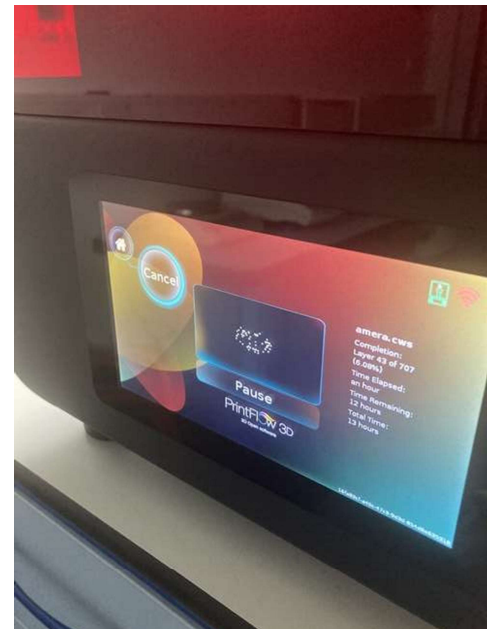
4.4 Čas tiskanja in učinkovitost

Analiza časa tiskanja je pokazala, da je bil **Bambu Lab A1 mini** bistveno hitrejši v primerjavi z **AnyCubic Mega S**, predvsem zaradi višjih hitrosti tiskanja in boljše optimizacije poti gibanja.

AnyCubic Mega S je zahteval daljši čas tiskanja za enak model, vendar je kljub temu zagotavljal zadovoljivo kakovost izdelkov. SLA tiskanje je bilo časovno najzahtevnejše, predvsem zaradi dodatnih postopkov po tiskanju.



Slika 14: Čas printanja na 3D printerju AnyCubic Mega S



Slika 15: Čas printanja na 3D printerju Liquid

4.5 Poraba materiala in stroški

Pri porabi materiala večjih razlik med obema FDM tiskalnikoma ni bilo, saj sta uporabljala enak filament in podobne nastavitve polnila. Razlika se je pokazala predvsem v učinkovitosti tiskanja, kjer je Bambu Lab A1 mini zanesljiveje tiskal brez ponovitev. SLA tiskanje je imelo najvišje stroške materiala in dodatne stroške zaradi potrebe po pranju in UV-utrjevanju izdelkov.

4.6 Pregledna primerjava rezultatov

Tabela 4: Primerjava rezultatov med SLA in FDM 3D-tiskanjem			
Kriterij primerjave	SLA – Liquid Crystal HR	FDM – Bambu Lab A1 mini	FDM – AnyCubic Mega S
Kakovost površine	Zelo gladka, brez vidnih plasti	Dobra, manj vidne plasti	Srednja, plasti bolj vidne
Dimenzijska natančnost	Zelo visoka	Visoka	Srednja
Natančnost detajlov	Odlična	Dobra	Slabša
Mehanska trdnost	Nižja, bolj krhki izdelki	Dobra	Dobra
Čas tiskanja	Daljši	Kratek	Daljši kot Bambu
Potrebna dodatna obdelava	Da (pranje, UV-utrjevanje)	Ne (le odstranitev podpor)	Ne (le odstranitev podpor)
Stroški materiala	Visoki	Nizki	Nizki
Enostavnost uporabe	Srednja	Zelo dobra	Dobra
Primernost za funkcionalne dele	Manj primerna	Zelo primerna	Primerna
Primernost za vizualne modele	Zelo primerna	Primerna	Manj primerna

5. DISKUSIJA (RAZPRAVA)

Diskusija predstavlja enega najpomembnejših delov raziskovalne naloge, saj omogoča poglobljeno razlago pridobljenih rezultatov in njihovo umestitev v širši tehnični in praktični kontekst. V tem poglavju niso predstavljena zgolj dejstva, temveč tudi razmislek o pomenu ugotovitev, razlogih za opažene razlike ter omejitvah raziskave. Na ta način raziskava pridobi dodatno vrednost in prispeva k boljšemu razumevanju primerjave med FDM in SLA 3D-tiskanjem.

5.1 Pomen ugotovitev in splošna primerjava tehnologij

Rezultati eksperimentalnega dela jasno kažejo, da med FDM in SLA tehnologijo obstajajo pomembne razlike, ki so neposredno povezane z osnovnim principom delovanja obeh postopkov. SLA tehnologija, ki temelji na strjevanju tekoče fotopolimerne smole, omogoča bistveno boljšo ločljivost in natančnost, kar se odraža v zelo gladki površini in visoki kakovosti detajlov. To potrjuje teoretične ugotovitve iz literature, kjer je SLA pogosto navedena kot ena najnatančnejših tehnologij 3D-tiskanja.

Po drugi strani FDM tehnologija temelji na nanašanju staljenega filamenta plast za plastjo, kar povzroča vidnost plasti in omejitve pri zelo finih detajlih. Kljub temu rezultati kažejo, da FDM tiskanje ostaja zelo uporabno, zlasti za funkcionalne izdelke, kjer videz ni ključnega pomena, temveč mehanska trdnost in stroškovna učinkovitost.

5.2 Razlike znotraj FDM tehnologije

Posebej zanimiv del raziskave je primerjava med dvema FDM tiskalnikoma – Bambu Lab A1 mini in AnyCubic Mega S. Rezultati kažejo, da tehnologija sama po sebi ni edini dejavnik, ki vpliva na kakovost izdelkov, temveč ima velik pomen tudi raven tehnološke razvitosti tiskalnika.

Bambu Lab A1 mini se je izkazal za bistveno natančnejšega, hitrejšega in bolj ponovljivega. To je mogoče pripisati naprednejši programske opreme, samodejni kalibraciji, boljšemu nadzoru gibanja ter učinkovitejšemu hlajenju. AnyCubic Mega S, ki predstavlja starejšo generacijo FDM tiskalnikov, je kljub temu zagotavljal zadovoljive rezultate, vendar z večjo potrebo po ročnih prilagoditvah in daljšim časom tiskanja.

Ta primerjava potrjuje, da sodobni FDM tiskalniki bistveno zmanjšujejo razlike v kakovosti v primerjavi s SLA tehnologijo, kar kaže na hiter razvoj 3D-tiskarske opreme.

5.3 Primerjava rezultatov s hipotezami

Postavljene hipoteze so bile v veliki meri potrjene. Predvidevali smo, da bo SLA tehnologija zagotavljala boljšo kakovost površine in večjo dimenzijsko natančnost, kar se je v eksperimentalnem delu tudi potrdilo. Prav tako se je potrdila hipoteza, da bodo FDM izdelki mehansko odpornejši in primernejši za praktično uporabo.

Delno odstopanje od pričakovanj se je pokazalo pri kakovosti FDM izdelkov, natisnjenih z Bambu Lab A1 mini, ki so bili po videzu bližje SLA izdelkom, kot je bilo sprva pričakovano. To kaže, da se meje med tehnologijami s tehnološkim napredkom postopoma brišejo.

5.4 Primerjava z drugimi raziskavami in prakso

Rezultati te raziskave so skladni z ugotovitvami številnih drugih raziskav, ki poudarjajo prednosti SLA tehnologije pri izdelavi natančnih in vizualno dovršenih izdelkov. Prav tako literatura navaja, da je FDM tehnologija zaradi nižjih stroškov in enostavnosti uporabe še vedno najbolj razširjena oblika 3D-tiskanja.

V praksi se pogosto uporablja kombinacija obeh tehnologij, kar potrjuje tudi ta raziskava. SLA se uporablja za prototipe, modele in vizualne izdelke, FDM pa za funkcionalne dele, ohišja in mehansko obremenjene komponente. Primerjava dveh FDM tiskalnikov dodatno potrjuje ugotovitve drugih študij, da ima izbira tiskalnika velik vpliv na končne rezultate.

5.5 Omejitve raziskave in možni viri napak

Kljub skrbni izvedbi ima raziskava določene omejitve. Uporabljen je bil omejen nabor materialov, kar pomeni, da rezultati ne predstavljajo celotnega spektra možnosti 3D-tiskanja. Prav tako mehanske lastnosti niso bile izmerjene z laboratorijskimi testi, temveč ocenjene na podlagi praktične uporabe, kar lahko vpliva na natančnost.

Možen vir napak predstavlja tudi subjektivna ocena kakovosti površine, kljub temu da je bila ta podprta z več ponovitvami tiskanja. Poleg tega lahko na rezultate vplivajo tudi okoljski pogoji, kot so temperatura prostora in vlažnost, ki jih ni bilo mogoče popolnoma nadzorovati.

5.6 Predlogi za izboljšave in nadaljnje raziskave

Na podlagi ugotovitev raziskave bi bilo smiselno v prihodnje vključiti več različnih materialov, predvsem tehnične filamente in specializirane smole. Prav tako bi bilo koristno izvesti laboratorijske teste mehanskih lastnosti ter razširiti primerjavo na več različnih tiskalnikov.

Dodatno vrednost bi prinesla tudi analiza okoljskega vpliva obeh tehnologij ter primerjava energetske učinkovitosti. V diskusijo bi bilo mogoče vključiti več slik, tabel in primerjalnih grafov, ki bi še dodatno poudarili razlike med tehnologijami.

6. ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi je bila izvedena primerjava dveh tehnologij 3D tiskanja, in sicer FDM in SLA, z namenom ugotavljanja razlik v kakovosti izdelkov. Primerjava je bila izvedena na podlagi enakega testnega modela, natisnjenega z uporabo dveh FDM tiskalnikov, **Bambu Lab A1 mini in Anycubic Mega S**, ter SLA tiskalnika **Photocentric Liquid Crystal HR**.

Rezultati raziskave so pokazali, da tehnologija SLA omogoča bistveno boljšo kakovost površine in večjo dimenzijsko natančnost. Izdelki, natisnjeni s SLA postopkom, so imeli gladkejšo površino in natančneje izdelane detajle, kar je posebej pomembno pri vizualno zahtevnih in preciznih izdelkih. Slabosti SLA tehnologije so višji stroški materiala, zahtevnejša obdelava po tiskanju ter manjša mehanska trdnost izdelkov.

Primerjava obeh FDM tiskalnikov je pokazala, da imata Bambu Lab A1 mini in Anycubic Mega S podobne lastnosti glede mehanske trdnosti izdelkov, vendar se razlikujeta v hitrosti, natančnosti in enostavnosti uporabe. Bambu Lab A1 mini se je izkazal z višjo natančnostjo, hitrejšim tiskanjem in bolj stabilnimi rezultati, medtem ko Anycubic Mega S omogoča zanesljivo tiskanje, vendar zahteva več ročnih nastavitvev in prilagajanja.

Na splošno FDM tehnologija omogoča izdelavo mehansko trdnih in cenovno dostopnih izdelkov, vendar z nekoliko slabšo kakovostjo površine v primerjavi s SLA tiskom. Kljub temu je FDM tisk zaradi nižjih stroškov in enostavnejše uporabe primernejši za funkcionalne dele, prototipiranje in učno okolje.

Glavne ugotovitve raziskave lahko povzamemo v naslednjih točkah:

- SLA tisk zagotavlja najvišjo kakovost površine in natančnost.
- FDM tisk omogoča večjo mehansko trdnost in nižje stroške izdelave.
- Bambu Lab A1 mini dosega bolj ponovljive in natančne rezultate kot Anycubic Mega S.

- Anycubic Mega S zahteva več ročnih nastavitvev, vendar še vedno omogoča kakovostne izdelke.
- Izbira tiskalne tehnologije in naprave je odvisna od namena uporabe in zahtev uporabnika.

Raziskovalna naloga odpira tudi nova vprašanja in možnosti za nadaljnje raziskave. Smiselno bi bilo raziskati vpliv različnih materialov znotraj FDM tehnologije, primerjati obrabo in dolgoročno obstojnost izdelkov ter analizirati vpliv nastavitvev tiskanja na kakovost končnih izdelkov. Prav tako bi bilo zanimivo vključiti še druge tehnologije 3D tiskanja in razširiti primerjavo na širši nabor tiskalnikov.

7. POVZETEK

V raziskovalni nalogi je obravnavana primerjava kakovosti izdelkov, izdelanih z uporabo dveh različnih tehnologij 3D tiskanja, in sicer FDM (Fused Deposition Modeling) in SLA (Stereolitografija). Namen naloge je bil ugotoviti, kakšne so razlike med obema tehnologijama glede kakovosti površine, dimenzijske natančnosti, mehanske trdnosti, časa izdelave ter stroškov tiskanja. Zaradi vse večje uporabe 3D tiskanja v industriji, izobraževanju in domačem okolju je poznavanje prednosti in slabosti posameznih tehnologij ključnega pomena pri izbiri ustreznega postopka izdelave.

V teoretičnem delu raziskovalne naloge je najprej predstavljen pojem 3D tiskanja in osnovni princip aditivne proizvodnje. Opisani so glavni postopki 3D tiska, s poudarkom na FDM in SLA tehnologiji. Posebej so razloženi delovni principi obeh postopkov, njune glavne komponente ter področja uporabe. V nadaljevanju so podrobneje opisani uporabljeni 3D tiskalniki, in sicer FDM tiskalnika **Bambu Lab A1 mini** in **Anycubic Mega S** ter SLA tiskalnik **Photocentric Liquid Crystal HR**. Opis vključuje tehnične lastnosti, način delovanja, uporabljene materiale ter značilnosti posamezne naprave.

V eksperimentalnem delu je bil za vse tiskalnike uporabljen enak testni 3D model, kar je omogočilo objektivno primerjavo rezultatov. Modeli so bili pripravljene v ustreznem

programskem okolju, nato pa natisnjeni z enakimi ali primerljivimi nastavitvami, kolikor je to dopuščala posamezna tehnologija. Po končanem tisku so bili izdelki vizualno pregledani in analizirani glede kakovosti površine, natančnosti dimenzij ter mehanske trdnosti. Posebna pozornost je bila namenjena tudi času tiskanja, zahtevnosti obdelave po tiskanju ter stroškom materiala.

Rezultati raziskave so pokazali, da ima SLA tehnologija izrazito prednost pri kakovosti površine in natančnosti izdelkov. Izdelki, natisnjeni s SLA tiskalnikom Photocentric Liquid Crystal HR, so imeli gladko površino in zelo natančno izdelane detajle, kar je pomembno pri vizualno in dimenzijsko zahtevnih izdelkih. Slabosti SLA tehnologije se kažejo predvsem v višjih stroških materiala, daljšem času priprave ter zahtevnejši obdelavi po tiskanju.

Pri FDM tehnologiji so se kot glavne prednosti izkazali nižji stroški, večja mehanska trdnost in enostavnejša uporaba. Primerjava FDM tiskalnikov je pokazala, da Bambu Lab A1 mini omogoča bolj ponovljive in natančnejše rezultate ter hitrejše tiskanje v primerjavi z Anycubic Mega S. Anycubic Mega S sicer omogoča kakovostne izdelke, vendar zahteva več ročnih nastavitvev in prilagajanja. Površina izdelkov, natisnjenih s FDM tehnologijo, je manj gladka kot pri SLA, vendar je povsem ustrezna za funkcionalne dele in prototipe.

Na podlagi izvedene raziskave je bilo ugotovljeno, da nobena izmed tehnologij ni univerzalno boljša, temveč je izbira odvisna od namena uporabe. SLA tisk je primernejši za natančne, estetsko dovršene in vizualno zahtevne izdelke, medtem ko je FDM tisk primernejši za mehansko obremenjene, funkcionalne dele ter cenovno ugodno prototipiranje. Raziskovalna naloga odpira tudi možnosti za nadaljnje raziskave, kot so primerjava različnih materialov, vpliv nastavitvev tiskanja ter vključitev dodatnih tehnologij 3D tiskanja.

8. SUMMARY

This research paper presents a comparison of the quality of products manufactured using two different 3D printing technologies: FDM (Fused Deposition Modeling) and SLA (Stereolithography). The aim of the research was to identify the differences between these

technologies in terms of surface quality, dimensional accuracy, mechanical strength, production time, and material costs. Due to the increasing use of 3D printing in industry, education, and home environments, understanding the advantages and limitations of each technology is essential for selecting the most appropriate manufacturing method.

The theoretical part of the research introduces the concept of 3D printing and the basic principles of additive manufacturing. It describes the main 3D printing technologies, with a focus on FDM and SLA processes. The working principles, key components, and typical application areas of both technologies are explained. Furthermore, the paper provides a detailed description of the 3D printers used in the experimental part of the research: the FDM printers **Bambu Lab A1 mini** and **Anycubic Mega S**, as well as the SLA printer **Photocentric Liquid Crystal HR**. The description includes technical characteristics, operating principles, materials used, and specific features of each device.

In the experimental part, the same test 3D model was used for all printers, ensuring an objective comparison of the results. The models were prepared using appropriate slicing software and printed with comparable settings, as far as allowed by each technology. After printing, the products were visually inspected and evaluated based on surface quality, dimensional accuracy, and mechanical strength. Additional attention was given to printing time, post-processing requirements, and material costs.

The results of the research showed that SLA technology offers a significant advantage in terms of surface quality and dimensional accuracy. Products printed with the Photocentric Liquid Crystal HR printer exhibited smooth surfaces and highly detailed features, making SLA particularly suitable for visually demanding and precision-oriented applications. However, the disadvantages of SLA include higher material costs, longer preparation times, and more complex post-processing procedures.

FDM technology demonstrated advantages in terms of lower costs, greater mechanical strength, and ease of use. A comparison between the two FDM printers revealed that the Bambu Lab A1 mini provides more consistent and accurate results, as well as faster printing,

compared to the Anycubic Mega S. While the Anycubic Mega S is capable of producing reliable and functional parts, it requires more manual calibration and adjustments. The surface finish of FDM-printed parts is generally rougher than that of SLA prints, but it is sufficient for functional components and prototyping.

Based on the conducted research, it can be concluded that neither technology is universally superior. The choice of 3D printing technology depends on the intended application. SLA printing is more suitable for precise, aesthetically refined, and visually demanding products, whereas FDM printing is better suited for mechanically stressed functional parts and cost-effective prototyping. The research also opens opportunities for further studies, such as comparing different materials within the same technology, analyzing the influence of printing parameters on product quality, and including additional 3D printing technologies in future comparisons.

9. VIRI IN LITERATURA

Zaponšek, K. Prednosti/Slabosti, 21.01.2026

<https://makerworld.com/en>

<https://www.thingiverse.com/>

<https://bambulab.com/en-eu/download/studio>

<https://photocentricgroup.com/3d-printing-software/>

<https://photocentricgroup.com/wp-content/uploads/2021/01/Photocentric-Studio-User-Manual-V1.0.3.4.pdf>

10. ZAHVALA

Najprej se želiva iskreno zahvaliti najinemu mentorju za strokovno podporo, dragocene nasvete in usmeritve, ki so nama omogočile uspešno izvedbo raziskave.

Hkrati se zahvaljujema najinim bližnjim in družini za nenehno spodbudo, razumevanje in podporo skozi celoten proces raziskovalnega dela. Njihova pomoč in motivacija sta nama veliko pomenili.