



Osnovna šola Antona Ingoliča Spodnja Polskava

Spodnja Polskava 240, 2331 Pragersko



IZDELAVA STROJA ZA IZDELAVO FILAMENTA Z UPORABO RECIKLIRANJA

Raziskovalno področje: Tehnika ali tehnologija

Raziskovalna naloga

Avtor: Jan Golob

Mentor: Dušan Videčnik

Spodnja Polskava, marec 2025

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, Dušanu Videčniku. Namenil mi je veliko časa in s tem poglobil moje znanje ter me navdušil za raziskovanje. Zahvaljujem se staršema, ki sta me ves čas podpirala. Zahvaljujem se tudi gospe Romani Vek, za lektoriranje.

Vsebina

UVOD	6
2. TEORETIČNI DEL.....	7
2.1. OPREDELITEV.....	7
2.2. ZGODOVINA RAZISKOVANJA	7
2.2.1 RAZISKAVE IN RAZVOJ V SVETU.....	7
2.2.2. RAZISKAVE IN RAZVOJ V SLOVENIJI	9
2.3. PLASTIKA.....	11
2.3.1. RECIKLAŽA PLASTIKE.....	12
2.3.2. SKRIB ZA OKOLJE	13
2.4. UPORABA FILAMENTOV	14
3. RAZISKOVALNI DEL	15
3.1. METODE DELA	15
3.2. UPORABLJENI PRIPOMOČKI IN OPREMA.....	15
3.3. RAZISKOVALNA VPRAŠANJA	16
4. REZULTATI.....	17
4.1. ZGRADBA IN DELOVANJE STROJA.....	17
4.1.1 IZDELAVA IZ NAČRTOVANIH, NABAVLJENIH KOMPONENT.....	18
4.1.2. IZDELAVA STROJA IZ STAREGA 3D TISKALNIKA	22
5. ANALIZA RAZISKOVALNIH VPRAŠANJ	25
6. ZAKLJUČEK	26
7. VIRI IN LITERATURA	27

Kazalo slik

Slika 1: Filament.	7
Slika 2: 3D tiskalnik Prusa I3.	8
Slika 3: Eden prvih SLA 3D tiskalnikov.	10
Slika 4: Velika onesnaženost s plastiko.	12
Slika 5: Možna prihodnost 3D tiskanja.	14
Slika 6: Razrez plastenke z motorjem – faza 1.	17

Slika 7: Preoblikovanje traku v filament – faza 2.	18
Slika 8: Pripravljen del stroja za razrez plastenke.	20
Slika 9: Grelec in šoba.	20
Slika 10: Komponente za krmiljenje, povezane z žicami.	20
Slika 11: Del programske kode za krmiljenje PID sistema v C++.	21
Slika 12: 3D tiskalnik Longer LK4 Pro.	22
Slika 13: Del kode za delovanje stroja.	24
Slika 14: Ohišje za zaslon.	24
Slika 15: Končane elektronske komponente.	25

Kazalo tabel

Tabela 1: Prvotni seznam komponent	19
Tabela 2: Končni seznam komponent	23

POVZETEK

V raziskovalni nalogi sem raziskal, opisal in izdelal napravo, stroj, ki naredi filament (material za 3D tiskanje) iz odpadne plastike (plastenke). K nastanku te naloge me je spodbudilo zanimanje za tehnologijo 3D tiskanja.

V raziskovalnem delu sem predstavil delovanje stroja ter probleme, s katerimi sem se srečeval pri izdelavi le tega. V teoretičnem delu sem predstavil razvoj 3D tiskanja, sestavo plastike in probleme onesnaževanja s plastiko.

Z reciklažo plastenke bom prispeval k zmanjšanju onesnaženosti s plastiko in privarčeval denar. Ekološki vidik (ločevanje odpadkov in reciklaža) je zelo pomemben, zato sem vključil izdelavo ter uporabo izdelkov iz reciklirane plastike, narejenih s 3D tiskalnikom. Opisal sem tehnologijo 3D tiskanja in njen razvoj.

Preizkusil sem tudi različna orodja umetne inteligence.

Ključne besede: filament, reciklaža, 3D tiskanje

ABSTRACT

In the research the production I researched, described and built a device that makes filament (3D printing material) from waste plastic (plastic bottles). My interest in 3D printing technology is what motivated me to write this thesis.

In the research part, I presented the operation of the machine and the problems I encountered while making it. In the theoretical part, I presented the development of 3D printing, the composition of plastics and the problems of plastic pollution.

By recycling plastic bottles, I will contribute to reducing plastic pollution and save money. The ecological aspect (waste separation and recycling) is very important, so I have included the production and use of recycled plastic products made with a 3D printer. I have described 3D printing technology and its development.

I have also tested various artificial intelligence tools.

Keywords: filament, recycling, 3D printing

UVOD

V raziskovalni nalogi bom raziskal, opisal in izdelal napravo (stroj), ki naredi filament (material za 3D tiskanje) iz odpadne plastike (plastenke). Za to raziskovalno nalogo sem se odločil zaradi zanimanja za 3D tiskanje in ker je industrijski filament drag, bom poizkusil tudi prihraniti denar. Z reciklažo plastenk bom prispeval k zmanjšanju onesnaženosti s plastiko.

V teoretičnem delu bom na kratko predstavil tehnologijo 3D tiskanja ter njen razvoj. Nadaljeval bom s potrebo recikliranja plastike in sestavo plastike, končal pa bom z vrsto plastike v tehnologiji 3D tiskanja ter združljivost plastike iz plastenke z 3D tiskalnikom. V raziskovalnem delu bom predstavil možnosti izdelave ter probleme, s katerimi sem se srečeval pri izdelavi stroja. Razložil bom delovanje stroja. Za programiranje bom uporabil mikrokontroler Arduino in razvojno okolje Arduino IDE. Preizkusil bom različna orodja umetne inteligence.

2. TEORETIČNI DEL

2.1. OPREDELITEV

»Filament je material za 3D tiskalnik v obliki tanke niti. Med tiskanjem se filament segreva in iztisne skozi šobo, kar omogoča izdelavo predmeta plast za plastjo. Filamenti so na voljo v različnih vrstah materialov, kot so PLA, ABS, PETG, vsak s posebnimi lastnostmi za določene uporabe v 3D tiskanju« (Radio Odeon, 2024).



Slika 1: Filament. (Slikovni viri: Slika 1).

2.2. ZGODOVINA RAZISKOVANJA

2.2.1 RAZISKAVE IN RAZVOJ V SVETU

Tehnologija 3D tiska ni nova tehnologija, saj izvira že iz poznih 70. let prejšnjega stoletja, v zadnjih letih pa razvoj tehnologij in materialov za 3D-tisk eksponentno narašča in je tako postal sestavni del najrazličnejših področij našega življenja (Stratasys, 2025)

Leta 1983 je Charles Hull izumil stereolitografijo (SLA), prvo metodo 3D tiskanja, vendar ta tehnologija ne uporablja filamentov. Fused Deposition Modeling (FDM), proces, ki uporablja filamente, je bil razvit konec 80-ih let prejšnjega stoletja. Scott Crump, soustanovitelj podjetja Stratasys, je leta 1989 patentiral FDM tehnologijo, kar je postavilo temelje za uporabo filamentov v 3D tiskanju (Drupa, b.d.).

Okoli leta 2003 je pojav cenejših 3D tiskalnikov, kot so tisti iz RepRap projekta, omogočil širšo dostopnost FDM tehnologije. V tem obdobju se je začel širiti tudi polilaktični kislinski filament (PLA), ki je biološko razgradljiv in enostaven za uporabo, kar je prispevalo k popularizaciji 3D tiskanja med hobi uporabniki. Vse do leta 2009 je bil 3D-tisk omejen na industrijsko rabo, ko pa je potekel patent za najbolj razširjeno tehnologijo modeliranja s spajanjem slojev (krajše FDM; angl. fused deposition modeling), pri kateri navadno uporabljamo termopastični material, ki ga ekstrudiramo skozi šobo tiskalne glave, je 3D tisk doživel razcvet z rojstvom prvega namiznega 3D-tiskalnika RepRap (eDPRINTING.COM, b.d.).

Leta 2015, ko je izumitelj Josef Prusa predstavil model I3 (zdaj eden najbolj popularnih 3D tiskalnikov), se je pričel razcvet potrošniških 3D tiskalnikov (Prusa Research, 2024).



Slika 2: 3D tiskalnik Prusa I3. (Slikovni viri: Slika 2).

Od leta 2015 dalje smo postali precej bolj ekološki. Začenja se razvoj recikliranja in selekcioniranja materialov za filamente. Povečana skrb za okolje je spodbudila razvoj filamentov iz reciklirane plastike, vključno z recikliranimi PET plastenkami. Razvili so se tudi specializirani filamenti za industrijske izdelke, kot so ognjeodporni, antistatični in UV-odporni materiali. V letu 2020 Priporočila v letu 2020 in zakonska določila EU spodbujajo inovacije in trajnost tudi na tem področju. Osredotočenost na trajnostni razvoj je spodbudil uporabo biorazgradljivih in recikliranih filamentov. Pojavila se je tudi širša paleta filamentov z naprednimi lastnostmi, kot so električna prevodnost, fleksibilnost in biokompatibilnost za medicinske aplikacije. (Pasič, 2020).

Danes filamenti za 3D tiskanje pokrivajo širok spekter materialov in izdelkov, pri čemer tehnologija še naprej hitro napreduje, zlasti v smeri trajnosti in recikliranja.

Plastika, katero najpogosteje uporabljamo za 3D tisk: PLA, PETG, ABS (akrilonitril butadien stiren), ASA (akrilonitril stiren akrilat), CARBON. (Smoković, 2021).

2.2.2. RAZISKAVE IN RAZVOJ V SLOVENIJI

V Sloveniji smo svetovnim trendom dokaj hitro sledili. Zanimanje za 3D tiskanje se je začelo pojavljati v 90-ih letih, predvsem v akademskih krogih in industrijskih podjetjih, ki so uporabljali tehnologije, kot sta SLA (stereolitografija) in SLS (selektivno lasersko sintranje). V tem obdobju filamenti še niso bili v ospredju, saj je bila uporaba FDM tiskalnikov omejena (Glažar, 2015).



Slika 3: Eden prvih SLA 3D tiskalnikov. (Slikovni viri: Slika 3).

S pojavom odprtokodnega RepRap projekta v zgodnjih 2000-ih so se začeli pojavljati prvi doma narejeni FDM tiskalniki tudi v Sloveniji. Z njimi je prišlo tudi zanimanje za filamente, predvsem PLA in ABS, ki sta bila takrat najbolj razširjena. Od leta 2010 dalje se je pričelo tudi pri nas širjenje uporabe filamentov (Računalniške novice, 2018).

Leta 2015 se začne obdobje izdelave, prodaje in uporabo 3D natisnjenih izdelkov. V tem obdobju so se v Sloveniji pojavila prva podjetja, ki so se začela ukvarjati z izdelavo filamentov. Eno izmed pionirskih podjetij na tem področju je bilo Filament PM, ki je začelo proizvajati različne vrste filamentov za domačo in mednarodno tržišče. Pojavila se je tudi večja raznolikost filamentov, vključno s kompozitnimi in specializiranimi materiali (Filament PM, 2024).

V Sloveniji so se začele raziskave na področju recikliranja plastike za uporabo v 3D tiskanju že v letu 2018. Fakulteta za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu je izvajala projekte, usmerjene v razvoj filamentov iz recikliranih materialov, kot so PET plastenke. Povečalo se je zanimanje za trajnostne prakse v tehnologiji 3D tiskanja, kar je spodbudilo lokalne projekte, ki so vključevali uporabo recikliranih filamentov (Fakulteta za tehnologijo polimerov, 2018).

Podjetja in raziskovalne institucije so se osredotočale na izboljšanje lastnosti filamentov in prilagoditev materialov za specifične industrijske potrebe, kot so avtomobilska industrija, medicinske aplikacije in oblikovanje (Pasič, 2020).

V naši državi se področje recikliranja plastike in izdelave filamentov za 3D tiskanje razvija, vendar je število avtorjev, ki se specifično ukvarjajo z izdelavo strojev za pretvorbo odpadnih plasten v filament zelo malo. Kljub temu obstajajo posamezniki in organizacije, ki raziskujejo to področje.

Eden izmed njih je Miha Brojan, raziskovalec na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani, ki se ukvarja z razvojem tehnologij za recikliranje plastike in uporabo recikliranih materialov v 3D tiskanju. (Google učenjak, 2025)

Poleg tega se Inštitut za celulozo in papir v Ljubljani posveča raziskavam na področju recikliranja polimernih materialov in njihove ponovne uporabe, kar vključuje tudi potencialno izdelavo filamentov iz recikliranih plasten (Inštitut za celulozo in papir, 2025).

2.3. PLASTIKA

Plastika je umetni material, ki je v osnovi sestavljen iz polimerov.

Polimeri so molekule, ki so sestavljene iz monomerov. Nastanejo s polimerizacijo, ki je proces povezovanja monomerov v polimer. Delimo jih po (Vrtačnik idr., b.d.)

a) izvoru:

-naravni polimeri so tisti, ki jih najdemo v živih organizmih (npr. celuloza, beljakovine, DNK).

-sintetični polimeri so tisti, ki jih je izdelal človek (npr. plastika, najlon, sintetična vlakna).

b) načinu polimerizacije:

-adicijski polimeri nastanejo brez stranskega produkta.

-kondenzacijski polimeri nastanejo z stranskim produktom (npr. voda).

c) možnosti ponovnega oblikovanja:

-**termoplastični polimeri** so polimeri, ki so mehki, ko se segrejejo, in trdi, ko se ohladijo (npr. polietilen (PE) in polipropilen (PP)).

-**duroplastični polimeri** se ob segrevanju strdijo in ne morejo več spremeniti oblike (npr. epoksi smole in bakelit) (Rayve, 2012) .

V primeru mojega raziskovanja uporabljam sintetični in termoplastični polimer PET (polietilen tereftalat).

2.3.1. RECIKLAŽA PLASTIKE

Ker je zelo uporabna, se s plastiko srečujemo povsod: doma (npr. blago, pohištvo), v avtomobilih (npr. sedež, armaturna plošča) in na žalost tudi v naravi, predvsem v oceanih.



Slika 4: Velika onesnaženost s plastiko. (Slikovni viri: Slika 4).

Po nekaterih podatkih bi naj bilo do leta 2050 v oceanih celo več plastike kot rib. Če ribe pojedjo plastiko, pogosto ne morejo več jesti normalne hrane, zato umrejo. Ljudje v svoje telo vnašamo plastiko preko prehranske verige. Ne vemo še, kako to vpliva na naše zdravje. Najpogostejši plastični proizvodi, najdeni na plaži so plastenke in pokrovčki, za njimi pa so predmeti za enkratno uporabo (npr. palčke za ušesa, slamice

itd.). Zaradi tega je Evropska unija popolno prepovedala plastične izdelke za enkratno uporabo, za katere so možne alternative iz drugih materialov. V Sloveniji smo v letu 2021 zavržli približno 66.596 ton odpadne plastike. To plastiko bi lahko reciklirali v uporabne izdelke, npr. igrače, oblačila, pohištvo in v zadnjem času celo asfalt in beton. S tem bi lahko prihranili znatno količino denarja in zmanjšali okoljski vpliv (Pajk, 2023).

2.3.2. SKRB ZA OKOLJE

S svojo raziskovalno nalogo želim poudariti tudi, zakaj je smotrno in smiselno ločevati plastično embalažo od ostalih odpadkov.

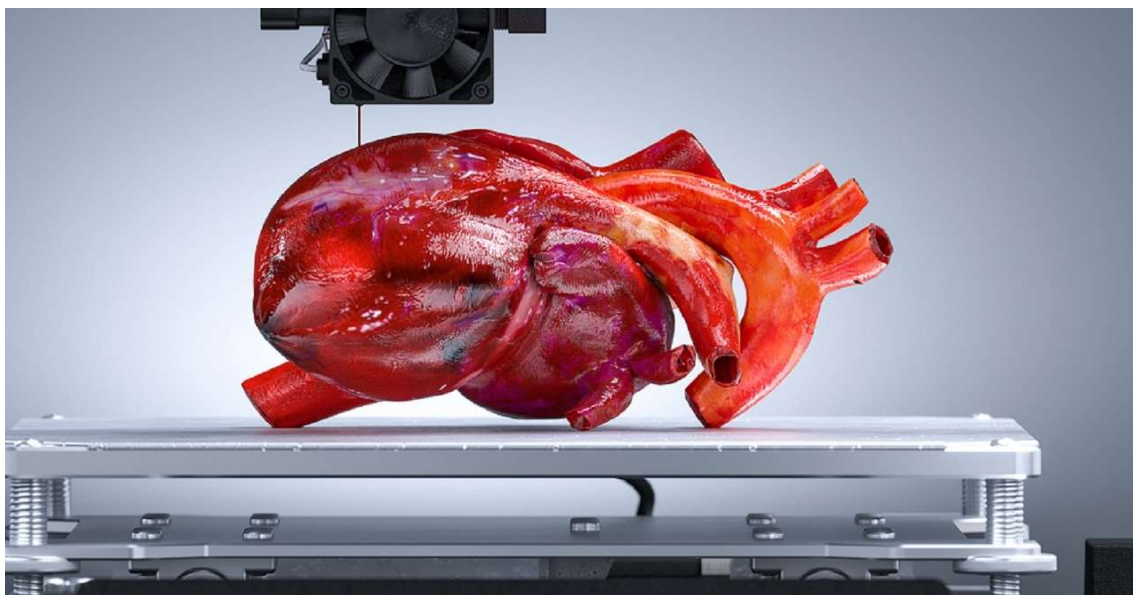
Ločevanje omogoča učinkovito recikliranje plastične embalaže, kar pomeni, da se lahko plastika predela in ponovno uporabi v novih izdelkih, namesto da bi končala na odlagališčih. Plastika je zelo obstojen material, ki se razgrajuje več sto let. Ločeno zbiranje zmanjšuje količino plastike na odlagališčih, kar prispeva k manjšemu onesnaževanju okolja. Z recikliranjem plastične embalaže zmanjšujemo potrebo po pridobivanju novih surovin, kot so nafta in zemeljski plin, ki so potrebni za izdelavo nove plastike. Recikliranje plastike porabi tudi manj energije kot proizvodnja nove plastike iz surovin, kar prispeva k zmanjšanju ogljičnega odtisa, za kar se zavzema svetovna politika (Hotko, 2020).

Ločevanje odpadkov omogoča krožno gospodarstvo, kjer materiali krožijo v sistemu dlje časa, kar zmanjšuje količino odpadkov in povečuje trajnostno uporabo virov. Prav tako ločeno zbiranje plastične embalaže podpira industrijo recikliranja, kar ustvarja nova delovna mesta in gospodarske priložnosti (Evropski parlament, 2023).

Ločeno zbiranje plastične embalaže pomaga preprečiti onesnaževanje voda, zemlje in zraka, saj se zmanjša možnost, da plastika nenadzorovano zaide v okolje. Praksa ločevanja spodbuja ozaveščenost o pomenu odgovornega ravnanja z odpadki in varovanja okolja, kar vodi k bolj trajnostnemu obnašanju v družbi. Ločevanje plastike od ostalih odpadkov lahko zmanjša stroške ravnanja z odpadki, saj je recikliranje plastičnih materialov pogosto cenejše od odstranjevanja mešanih odpadkov. Ugotavljamo, da je ločevanje plastične embalaže torej ključno za trajnostno upravljanje odpadkov in varovanje okolja. (Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo. 2025)

2.4. UPORABA FILAMENTOV

Uporaba filamentov kot vmesnega produkta, je lahko uporabna za mnogo razvojnih možnosti. Nekatere so že razvite, druge so v fazi razvoja oz. preizkušanja. Lahko jih uporabimo za hitro izdelavo prototipov v različnih industrijah, kot so avtomobilska, letalska in potrošniška elektronika. 3D tiskanje končnih izdelkov, kot so orodja, pripomočki, igrače, gospodinjski predmeti in okrasni izdelki so že kar vsakdanjost.



Slika 5: Možna prihodnost 3D tiskanja. (Slikovni viri: Slika 5).

Spremljanje razvoja materialov in tehnologij oblikovanja omogoča nenehno optimiziranje proizvodnih procesov in končnih lastnosti proizvodov. Nadaljnji razvoj je usmerjen tudi v iskanje možnosti za večjo uporabo in recikliranje sekundarnih surovin. Pri tem morajo ostati kakovost, trajnostna doba in uporabne lastnosti proizvodov na ravni, ki se danes pričakuje za tovrstne materiale, ob upoštevanju predpisov s področja varovanja okolja (Vidovič, 2004).

Tudi v izobraževalnih ustanovah, kot so fakultete, je uporaba filamentov za učenje uporabe tehnologij 3D tiskanja in razvoj inovacijskih projektov že dobro uveljavljena. V prihodnosti pričakujemo (v nekaterih državah to že počnejo) tudi tiskanje medicinskih pripomočkov, modelov organov za kirurško načrtovanje in celo prilagojenih protez. Prav gotovo so v različnih primerih dobrodošle makete raznih arhitekturnih projektov, katere s 3D tiskalnikom z lahkoto ustvarimo. Prav tako lahko izdelamo unikatna umetniška dela, kipe, reliefe (Vidovič, 2004).

Filamente lahko uporabimo tudi za tiskanje embalaže po meri, prilagojene obliki izdelka, ohišja za elektronske naprave in prilagodljiva držala za senzorje in kamere. Ustvarjanje prilagojenih modnih dodatkov, kot so nakit, gumbi, očala in celo oblačila je dostikrat še kako dobrodošlo tudi iz vidika izdelovanja daril, za katere včasih zapravimo ogromno denarja. Sami lahko izdelamo igrače, modele vlakov, avtomobilov in figur za namizne igre. Filamenti ponujajo širok spekter uporabe, zaradi česar so nepogrešljiv material v številnih panogah in kreativnih projektih (Nemivšek, 2017).

PLA je zagotovo najbolj priljubljen material med hobi ustvarjalci, saj je cenovno dostopen, enostaven za tisk in ponuja največ različnih barvnih možnosti. Ta material za 3D tisk je narejen iz obnovljivih virov, kot sta sladkorni trs ali koruzni škrob (TWI Ltd, b.d.).

3. RAZISKOVALNI DEL

3.1. METODE DELA

Uporabljal sem naslednje metode raziskovalnega dela:

- metodo dela z literaturo in viri,
- metodo obdelave podatkov in interpretacije le-teh,
- metodo opazovanja in ugotavljanja ter dokumentiranja,
- metodo preizkušanja in eksperimentiranja.

3.2. UPORABLJENI PRIPOMOČKI IN OPREMA

Za izdelavo stroja sem potreboval različne materiale, komponente in orodja. Tukaj je seznam ključnih potrebščin.

1. Materiali

- Odpadne plastenke (PET plastika): Osnovni material za recikliranje in izdelavo filamenta.
- Grelnik: Za taljenje plastike.
- Šoba: Za oblikovanje filamenta.

- Motor: Za navijanje filamenta na kolut.

2. Elektronske komponente

- Senzor temperature: Za razbiranje temperature grelca.
- Matična plošča: Za krmiljenje stroja in avtomatizacijo procesov.
- Motorni gonilnik: Za nadzor motorja.
- Zaslon na dotik: Za uporabniški vmesnik.

3. Orodja

- 3D tiskalnik: Za tiskanje določenih delov stroja (zobniški sistem, stojala).
- Kladio, izvijači, klešče: Za sestavljanje stroja.
- Spajkalnik: Za povezovanje električnih komponent.
- Multimeter: Za preverjanje električnih povezav in napetosti.

4. Konstrukcijski elementi

- Odpadna iverna plošča: Za pritrditev vseh komponent stroja na mestu.
- Kotniki in vijaki: Za pritrditev različnih komponent stroja.

3.3. RAZISKOVALNA VPRAŠANJA

Pri raziskovanju sem si zadal naslednja raziskovalna vprašanja, ki predstavljajo implicitne hipoteze:

RV 1: Ali je mogoče z mikrokrmilnikom Arduino izdelati stroj za izdelavo filamenta iz PET platenke?

RV2: Ali so orodja umetne inteligence že dovolj zmogljiva, da samostojno napišejo delujočo kodo v C++ za delovanje stroja za izdelavo filamenta?

RV3: Ali je z napravo mogoče izdelati uporaben filament?

RV4: Ali je napravo mogoče narediti v šolski delavnici?

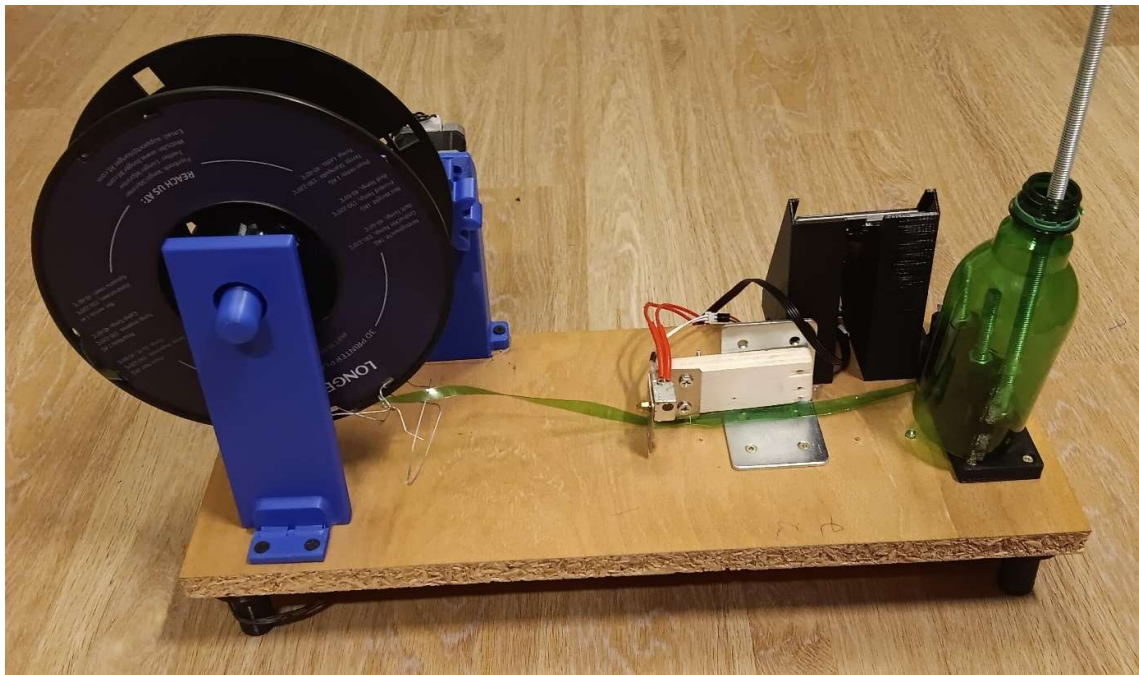
4. REZULTATI

4.1. ZGRADBA IN DELOVANJE STROJA

Pri izdelavi stroja sem si največ pomagal s posnetki podobnih strojev, ki so dostopni na spletni platformi YouTube. Obstaja več možnosti reciklaže odpadne plastike v filament. Nekaj strojev neuspešno tiske zmelje v majhne delčke, ki jih stisne v filament, večina pa filament naredi iz plastenek. Jaz sem se odločil za zadnjo možnost, saj se mi zdi bolj uporabna in tudi ekonomična.

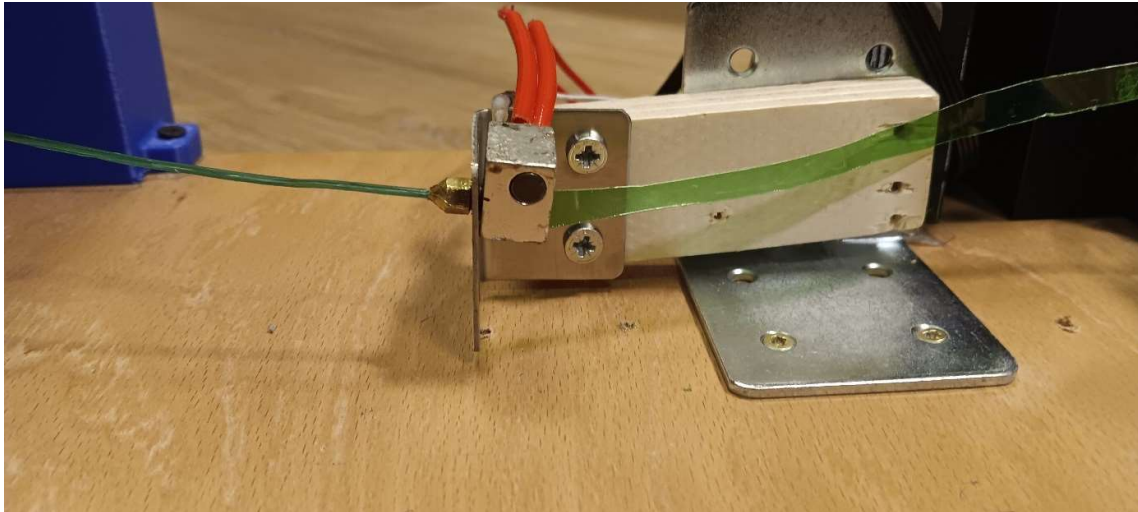
Nekaj strojev je narejenih iz nič, torej moraš kupiti vse sestavne dele (mikrokrmilnik, motor...), nekaj pa je sestavljenih iz komponent, ki so vzete iz zastarelega 3D tiskalnika. Oba načina pa delujeta na podoben način.

Najprej se plastenka razreže v trak na posebnem orodju. Teh orodij je veliko in so različne vrste, jaz sem se odločil za uporabo orodja, ki za razrez plastenke uporablja rezilo tapetniškega noža. Pri tem orodju sem želel narediti izboljšavo, ki je nisem zasledil pri nobenem podobnem stroju na spletu. Želel sem, da se plastenka razreže z motorjem in ne ročno, kot to počnejo ostali. V nadaljevanju prikazujem domišljene rešitve, ki sem jih pripravil.



Slika 6: Razrez plastenke z motorjem – faza 1. (Slikovni viri: Slika 6).

Ko se plastenka razreže (Slika 6), gre trak v grelec, ki je enak, kot pri 3D tiskalniku in ta stali plastiko. Ker ima grelec na koncu šobo, pride skozi trak, ki je na drugi strani okrogel (Slika 7). Filament se nato navija na kolut, ki ga vrti motor.



Slika 7: Preoblikovanje traku v filament – faza 2. (Slikovni viri: Slika 7).

4.1.1 IZDELAVA IZ NAČRTOVANIH, NABAVLJENIH KOMPONENT

Razmišljal sem, na kateri način naj naredim stroj. Iz vidika skrbi za okolje, bi bilo boljše narediti stroj iz zastarelega 3D tiskalnika. Ker je tehnologija 3D tiskanja v zadnjih letih zelo napredovala, so stari 3D tiskalniki povsem neuporabni in namesto, da bi ga prodal za zelo majhno ceno, bi lahko naredil ta stroj. Vendar pri taki izbiri ne bi bilo mogoče ničesar nadgrajevati (npr. drugačen motor), zato sem se odločil narediti stroj iz nič.

Vse potrebne komponente sem kupil v spletni trgovini Aliexpress, zato sem tudi dodal povezave in cene, ki so prikazani v spodnji tabeli.

Tabela 1: Prvotni seznam komponent

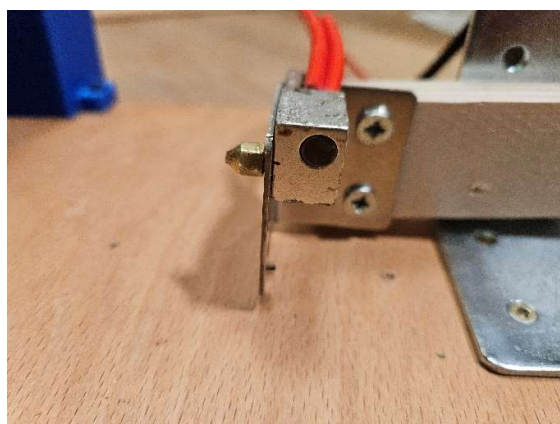
Komponente	Povezava	Cena	Poštnina	Skupaj cena
Grelec (for I3 Mega, 1x)	Hotend - Aliexpress	13,24	2,82	16,06
Šobe (7x)	Šobe - Aliexpress	1,73	0	1,73
Napajalnik (24v, 5a, 1x)	Power supply - Aliexpress	15,96	0	15,96
24v to 9v pretvornik (2a, 1x)	24v to 9v converter - Aliexpress	5,62	0	5,62
Koračni motor (1x)	Stepper motor - Aliexpress	12,72	0	12,72
Vhod za kabl z stikalom (modri, 1x)	Vhod za kabl z stikalom - Aliexpress	1,44	0	1,44
Kabl IEC (1x)	Kabl IEC - Aliexpress	3,98	0	3,98
Žice (10x, 15cm)	Žice - Aliexpress	1,06	0	1,06
MOSFET (1x)	MOSFET - Aliexpress	0,1	0	0,1
	-			
Ventilatorja (2x)	Ventilatorja - Aliexpress	0,82	1,59	2,41
Svedri (1.6, 1.7, 1.8, 1.9, vsak po en)	Svedri - Aliexpress	0,92	2,84	3,76
Svedri (1.65, 1.75, 1.85, vsak po en)	Svedri - Aliexpress	8,7	0	8,7
Arduino nano (1x)	Arduino nano - Aliexpress	2,57	0,41	2,98
Gonilnik za motor	Motor driver - Aliexpress	2,87	1,58	4,45
Touch screen (1x)	Touch screen - Aliexpress	6,52	1,93	8,45
Kotnika (2x)	Kotnika - Aliexpress	4,05	0,97	5,02
Magneti (4x)	Magneti - Aliexpress	2,4	0	2,4
Zaslona na dotik	Touch screen - Aliexpress	5,34	0	5,34
Skupaj	-	90,04	12,14	102,18

Opomba: vse cene so v evrih.

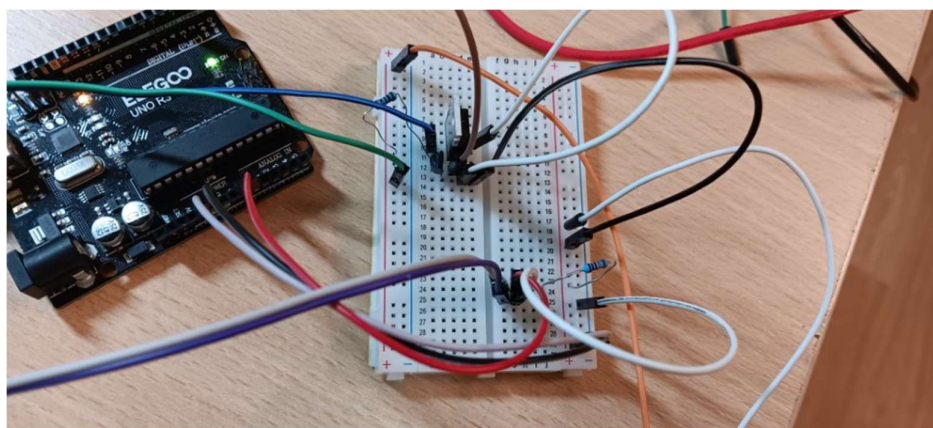
Sestavljanje komponent za nastali stroj prikazuje slike od 8 do 10.



Slika 8: Pripravljen del stroja za razrez plastenke. (Slikovni viri: Slika 8).



Slika 9: Grelec in šoba. (Slikovni viri: Slika 9).

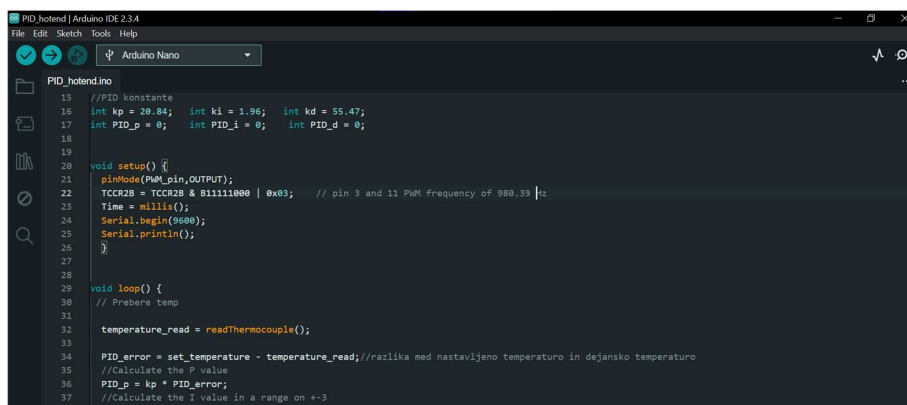


Slika 10: Komponente za krmiljenje, povezane z žicami. (Slikovni viri: Slika 10).

Motor sem hotel krmiliti z mikrokrmilnikom Arduino, ki sem ga programiral v razvojnem okolju Arduino IDE, kar mi je tudi uspelo. Nato sem se lotil grelca. Nastavil sem temperaturo, in ko je senzor to temperaturo na grelcu zaznal, je nehal greti. Vse bi bilo

pod nadzorom, vendar je temperatura preveč nihala (npr. 20% nastavljene vrednosti), da bi lahko uspešno in natančno talil trak razrezane PET plastenke.

3D tiskalnik v ta namen uporablja PID sistem, ki uporablja različne konstante, da poreže vrhove temperaturnih nihanj in na podlagi teh izračuna, kdaj mora nehati segrevati. Delovanje tega PID sistema in nastavitve konstant sem izvajal preko programske kode v programskem jeziku C++.



```
15 //PID konstante
16 int kp = 20.84; int ki = 1.96; int kd = 55.47;
17 int PID_p = 0; int PID_i = 0; int PID_d = 0;
18
19
20 void setup() {
21   pinMode(PWM_pin,OUTPUT);
22   TCCR2B = TCCR2B & B11110000 | 0x03; // pin 3 and 11 PWM frequency of 988.39 Hz
23   Time = millis();
24   Serial.begin(9600);
25   Serial.println();
26 }
27
28
29 void loop() {
30   // Prebere temp
31
32   temperature_read = readThermocouple();
33
34   PID_error = set_temperature - temperature_read;//razlika med nastavljeno temperaturo in dejansko temperaturo
35   //Calculate the P value
36   PID_p = kp * PID_error;
37   //Calculate the I value in a range on +-3
38   PID_i = PID_i + PID_error * dt;
```

Slika 11: Del programske kode za krmiljenje PID sistema v C++. (Slikovni viri: Slika 11).

Ker nastavljanje konstant ni bilo uspešno, sem poiskal informacije na spletu (<https://www.youtube.com/watch?v=LXhTFBGgskI>).

Za rešitev problema z nastavljanjem konstant sem se obrnil tudi na orodja umetne inteligence (ChatGPT, Microsoft Copilot, Gemini, Deepseek). Pričakoval sem, da bom dobil programsko rešitev, če bom vnesel informacije o zaznani temperaturi in pripadajoči izhodni moči, ki sem ju preko programa zahteval od mikrokrmilnika in sta se izpisovali na zaslonu vsako sekundo. Kljub tem informacijam od umetne inteligence nisem dobil uporabne rešitve, saj je bil podan predlog o ponovnem »ročnem« poskušanju, kar sem izvedel že pred tem.

Ugotovil sem, da če bi hotel pravilno določiti vrednosti konstant, bi potreboval profesionalno znanje iz elektrotehnike in strojništva, ki ga še nimam. Zato sem se odločil preizkusiti še drugo možnost, in sicer narediti stroj iz zastarelega 3D tiskalnika.

4.1.2. IZDELAVA STROJA IZ STAREGA 3D TISKALNIKA

3D tiskalnik Longer LK4 Pro sem razstavil in tako dobil večino komponent, ki sem jih potreboval za delovanje stroja. V spodnji tabeli sem navedel potrebne komponente glede na vir.



Slika 12: 3D tiskalnik Longer LK4 Pro. (Slikovni viri: Slika 12).

Za to možnost sem porabil precej manj denarja, saj sem imel star 3D tiskalnik Longer LK4 Pro doma. Tako je izdelava stroja še bolj smiselna in ekonomična. Težavo s konstantami v PID sistemu sem rešil, saj so bile že nastavljene v matični plošči iz 3D tiskalnika, ki sem jo uporabil.

Tabela 2: Končni seznam komponent

Komponente	Vir	Cena	Poštnina	Skupaj cena
Grelec	3D tiskalnik	0	0	0
Šobe (7x)	Šobe - Aliexpress	1,73	0	1,73
Power supply	3D tiskalnik	0	0	0
Koračni motor	3D tiskalnik	0	0	0
Vhod za kabl z stikalom	3D tiskalnik	0	0	0
Kabl IEC	3D tiskalnik	0	0	0
Ventilator	3D tiskalnik	0	0	0
Svedri (1.6, 1.7, 1.8, 1.9, vsak po en)	Svedri - Aliexpress	0,92	2,84	3,76
Svedri (1.65, 1.75, 1.85, vsak po en)	Svedri - Aliexpress	8,7	0	8,7
Matična plošča	3D tiskalnik	0	0	0
Touch screen	3D tiskalnik	0	0	0
Kotnik	3D tiskalnik	0	0	0
Magneti (4x)	Magneti - Aliexpress	2,4	0	2,4
Skupaj	-	13,75	2,84	16,59

Opomba: vse cene so v evrih.

3D tiskalnik deluje po kodi, imenovani GCODE. Zato sem moral napisati kodo, ki mu pove, da naj grelec segreje do nastavljene vrednosti in nato vrtil motor. Uporabil sem kodo, ki sem jo našel na spletu (<https://www.printables.com/model/179820-recreator-3d-mk5kit-ender3-pultrusion-unit/files>) in jo nekoliko spremenil (smer vrtenja, čas vrtenja, temperatura segrevanja), da je stroj deloval, kot sem načrtoval. Del kode prikazuje slika 13.

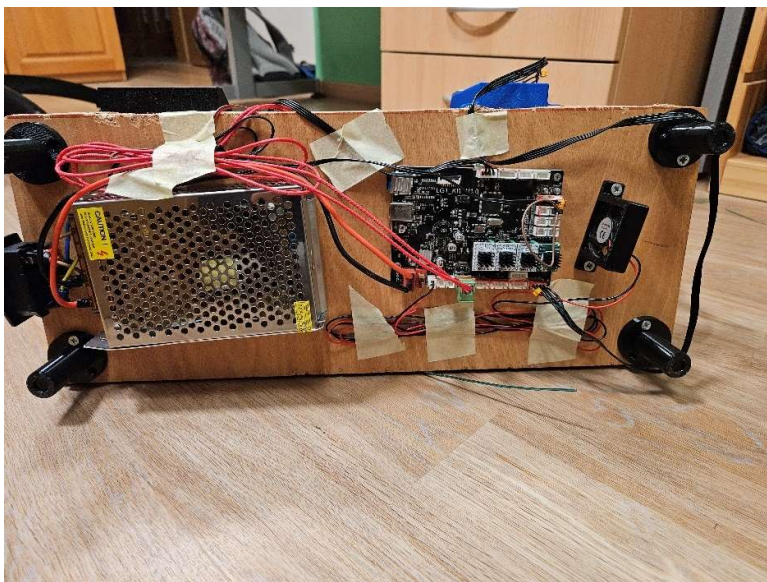
```
M104 S210  
M109 S210  
G92 E0 ; reset the E Axis location  
G0 E-100 F300 ; Move E without Extrusion  
G92 E0  
G0 E-100 F300  
G92 E0  
G0 E-100 F300  
G92 E0  
G0 E-100 F300  
G92 E0  
G0 E-100 F300  
G92 E0  
G0 E-100 F300  
G92 E0  
G0 E-100 F300  
G92 E0  
G0 E-100 F300
```

Slika 13: Del kode za delovanje stroja. (Slikovni viri: Slika 13).

Sestavljanje komponent za nastali stroj prikazujeta sliki 14 in 15. Vključeni so samo prikazi, ki so različni od prvotno načrtovanega stroja iz nabavljenih komponent.



Slika 14: Ohišje za zaslon. (Slikovni viri: Slika 14).



Slika 15: Končane elektronske komponente. (Slikovni viri: Slika 15)

Pri končnem delovanju stroja sem se srečeval z mnogimi tehničnimi zapleti. Težavo je predstavljala moč motorja, zato faze razreza plastenke in taljenja s preoblikovanjem nisem izvedel hkrati ampak ločeno. Težavo predstavlja tudi uspešen začetek navijanja filameta na kolut, kar sprti rešujem.

5. ANALIZA RAZISKOVALNIH VPRAŠANJ

RV1: Ali je mogoče z mikrokrmilnikom Arduino izdelati stroj za izdelavo filameta iz PET plastenke?

Poizkusil sem, vendar mi ni uspelo. Uspel sem nadzorovati koračni motor z gonilnikom in če bi imel na razpolago več časa in znanja, bi morda našel rešitev za težavo s PID sistemom. Čeprav imam nekoliko več znanja programiranja v programskem jeziku C++ kot povprečen osnovnošolski uporabnik, mi ni uspelo. Čeravno je odgovor na moje prvo raziskovalno vprašanje negativen, obstaja odlična alternativa, ki sem jo tudi realiziral. Uspešno sem uporabil komponente še delujočega, vendar zastarelega 3D tiskalnika. Iz teh komponent sem sestavil delujoči stroj za izdelavo filameta in tako prispeval k ponovni uporabi plastike iz plastenke ter delov starega 3D tiskalnika, kar zmanjša ogljični odtis izdelane naprave.

RV2: Ali so orodja umetne inteligence že dovolj zmogljiva, da samostojno napišejo delujočo kodo v C++ za delovanje stroja za izdelavo filameta?

Ker sam nisem znal rešiti problema s nastavljanjem konstant v PID sistemu, sem poskusil uporabiti orodja umetne inteligence, vendar povratne informacije niso bile uporabne. Večkrat sem poskusil z različnimi ukazi dobiti uporabno kodo, ampak mi ni uspelo. Za povprečnega uporabnika, kot sem jaz, orodja umetne inteligence še niso dovolj enostavne za uporabo, da bi s preprostimi ukazi samostojno napisale delujočo kodo, ki bi rešila problem konstant, česar sam nisem znal.

RV3: Ali je z napravo mogoče izdelati uporaben filament?

Stroj sem preizkusil in naredil sem uporaben filament, s katerim je mogoče natisniti uporabne izdelke. Narejen filament pa ima sicer neidealno lastnost – njegov premer ni ves čas isti. Na to lahko vpliva kar nekaj dejavnikov, npr. neenakomerno vlečenje, neenakomerna širina narezanega traku, manjše nepravilnosti v obliki šobe.

RV4: Ali je napravo mogoče narediti v šolski delavnici?

Stroj sem večinoma delal doma, vendar sem z izjemo akumulatorskega vijačnika uporabljal le orodja in pripomočke, ki so tudi v šolski delavnici (npr. multimeter, spajkalnik,...). Torej bi lahko, če bi namesto akumulatorskega vijačnika uporabljal izvijač, stroj naredil v šolski delavnici. V primeru, da bi/bo šola imela zastareli 3D tiskalnik, ki ga ne bi več uporabljala, bi prav tako lahko uporabil šolskega. V nasprotnem primeru bi za nizko ceno kupil rabljenega.

6. ZAKLJUČEK

Raziskovalna naloga je temeljila na dejstvu, da izdelam stroj, ki bo uporaben in ekonomičen. Že pri snovanju izdelka sem imel v mislih cenovne omejitve. Celotni izdelek sem naredil brez večjih napak. Ker nisem bil pozoren, sem nekajkrat kupil napačne komponente, zato je bila končna cena nekoliko višja.

Za celoten izdelek sem potreboval ogromno časa. Predvidevam, da je bilo za izdelavo izdelka. Od prve faze – ideje do končnega izdelka, porabljenih 60 ur.

Stroj je vsekakor zelo uporaben, vendar opažam kar nekaj možnosti za izboljšanje oz. posodobitve izdelka. Pri izdelavi stroja mi estetika ni bila pomembna, zato izdelek ni preveč privlačen. Ugotavljam, da stroju manjka pomembna funkcija, ki bi prekinila vrtenje motorja in da bi lahko med delovanjem spreminjal hitrost motorja, kar pa zaradi uporabe matične plošče iz 3D tiskalnika ni enostavno narediti.

Pri pripravi te raziskovalne naloge sem se ogromno naučil in stroj bom še naprej uporabljal.

7. VIRI IN LITERATURA

3DPRINTING.COM (b.d.) What is 3D Printing? <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>

Brojan Miha. Google učenjak (2025)

https://scholar.google.si/citations?hl=en&user=X_p2B8gAAAAJ&view_op=list_works&sortby=pubdate

Drupa (b.d.) Pioneers of Printing: Chuck Hull and the Beginning of 3D Printing.

https://www.drupa.com/en/Media_News/drupa_blog/Print_Technologies/Pioneers_and_History_of_Printing/Pioneers_of_Printing_Chuck_Hull_and_the_Beginning_of_3D_Printing

Evropski parlament (2023). Krožno gospodarstvo: definicija, pomen in prednosti.

<https://www.europarl.europa.eu/topics/sl/article/20151201STO05603/krožno-gospodarstvo-definicija-pomen-in-prednosti>

Filament PM (2024). About us. <https://www.filament-pm.com/article/about-us-48>

Fakulteta za tehnologijo polimerov (2018). Projekti 2018.

<https://www.ftpo.eu/Raziskovalna-dejavnost/Raziskovalni-projekti/Zaklju%C4%8Deni-projekti/pager/2018>

- Glažar, J (2015). ANALIZA TRGA PROFESIONALNIH 3D TISKALNIKOV KOT IZHODIŠČE ZA TRŽENJSKO STRATEGIJO, Univerza v Ljubljani.
<http://www.cek.ef.uni-lj.si/magister/glazar1616-B.pdf>
- Hotko I. (2020). Ločevanje in recikliranje plastike.
<https://knof.si/blog/2020/08/06/locevanje-in-recikliranje-plastike/>
- Inštitut za celulozo in papir (2025). Prejšnji projekti. <https://icp-lj.si/storitve/raziskave-in-razvoj/prejsnji-projekti/>
- Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo (2025). Ravnanje z odpadki.
<https://www.gov.si teme/ravnanje-z-odpadki/>
- Nemivšek S. (2017), Izdelava uporabnih izdelkov z biokompozitnimi filamenti. Diplomsko naloga, Univerza v Ljubljani.
<https://core.ac.uk/download/pdf/132828768.pdf>
- Pajk J. (2023). Količina odpadne plastike se v Sloveniji iz leta v leto zmanjšuje.
<https://svet24.si/novice/gospodarstvo/kolicina-odpadne-plastike-se-v-sloveniji-iz-leta-v-letu-zmanjsuje-1064385>
- Prusa Research (2024). Our story. https://www.prusa3d.com/page/about-us_77/
- Računalniške novice (2018). Tiskalniki in tiskanje nove dobe. <https://racunalniske-novice.com/tiskalniki-in-tiskanje-nove-dobe/>
- Pasič, Š. (2020), Oblikovanje in izdelava ekološke embalaže za rokovnik Vir, Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani. <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=119268>
- Radio Odeon (2024). Različni filamenti za 3D tisk. <https://www.radio-odeon.com/novice/razlicni-filamenti-za-3d-tisk/>
- Ravve, A. (2012). Principles of Polymer Chemistry. Springer New York.
<https://plus.cobiss.net/cobiss/si/sl/bib/267000000231426>
- Stratasys (2025) Explore Industrial 3D Printing Solutions.
<https://www.stratasys.com/en/>
- TWI Ltd (b.d.). What is PLA? <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-pla>

Vidovič K. (2004). Vlaknocement - lastnosti materiala in tehnologija proizvodnje.

<http://mit.imt.si/izvodi/mit0434/vidovic.pdf>

Vrtačnik M., Zmazek B. in Boh B. (b.d.). Kemija 3.

<https://eucbeniki.sio.si/kemija3/index.html>

Slikovni viri

Slika 1: Filament. Dostop:

<https://www.ankermake.com/eu-en/blogs/printing-guides/how-to-dry-filament>

Slika 2: 3D printer Prusa I3. Dostop:

<https://www.printables.com/model/88239-i3-plus-mk1-175mm-printable-parts>

Slika 3: Eden prvih SLA 3D tiskalnikov. Dostop:

<https://www.machinedesign.com/3d-printing-cad/article/21835865/3d-printing-the-machine-that-started-it-all>

Slika 4: Velika onesnaženost s plastiko. Dostop:

<https://old.slovenskenovice.si/novice/svet/zemlja-se-dusi-pod-milijardami-ton-plastike>

Slika 5: Možna prihodnost 3D tiskanja. Dostop:

<https://www.designnews.com/3d-printing/researchers-devise-rapid-3d-printing-method-for-human-organs>

Slika 16: Razrez plastenke z motorjem – faza 1. (lasten vir)

Slika 17: Preoblikovanje traku v filament – faza 2. (lasten vir)

Slika 18: Pripravljen del stroja za razrez plastenke. (lasten vir)

Slika 19: Grelec in šoba. (lasten vir)

Slika 20: Komponente za krmiljenje, povezane z žicami. (lasten vir)

Slika 21: Del programske kode za krmiljenje PID sistema v C++. (lasten vir)

Slika 22: 3D tiskalnik Longer LK4 Pro. Dostop:

<https://www.longer3d.com/products/lk4-pro-fdm-3d-printer>

Slika 23: Del kode za delovanje stroja. (lasten vir)

Slika 24: Ohišje za zaslon. (lasten vir)

Slika 25: Končane elektronske komponente. (lasten vir)

Tehnološki list za izdelavo stroja iz nabavljenih komponent

Učenec: Jan Golob **Ime izdelka: Stroj za izdelavo filamenta**

Zap. št.	Delovne operacije	Orodja, stroji, naprave	Gradivo	Varstvo pri delu	Predviden čas
1.	Zbiranje podatkov	Računalnik, splet	/	/	180 min
2.	Skiciranje ideje	Svinčnik	Pisarniški papir A4	/	40 min
3.	3D modeliranje delov stroja	Računalnik, Autodesk Fusion	/	/	180 min
4.	3D tiskanje	3D tiskalnik	Filament	/	420 min
5.	Sestavljanje komponent in spajkanje	Spajkalnik, spajkalna žica, klešče	Kabli, mikrokrmilnik	/	20 min
6.	Programiranje	Računalnik, Arduino IDE / Računalnik, Arduino	/	/	540 min
7.	Testiranje in analiziranje	IDE, multimeter	/	/	60 min
8.	Vijačenje	Vijaki, akumulatorski vijačnik	Odpadna iverna plošča	/	10 min

Tehnološki list za izdelavo stroja iz zastarelega 3D tiskalnika

Učenec: Jan Golob **Ime izdelka: Stroj za izdelavo filamenta**

Ime izdelka:
Stroj za izdelavo filamenta
Učenec: Jan Golob

Zap. št.	Delovne operacije	Orodja, stroji, naprave	Gradivo	Varstvo pri delu	Predviden čas
1.	Zbiranje podatkov	Računalnik, splet	/	/	180 min
2.	Skiciranje ideje	Svinčnik	Pisarniški papir A4	/	40 min
3.	3D modeliranje delov stroja	Računalnik, Autodesk Fusion	/	/	180 min
4.	3D tiskanje	3D tiskalnik	Filament	/	420 min
5.	Razstavljanje 3D tiskalnika	Klešče, imbus ključi, izvijač	3D tiskalnik	/	20 min
6.	Prilagajanje GCODE	Računalnik, Beležnica	/	/	15 min
7.	Testiranje in analiziranje	Multimeter	/	/	60 min
8.	Vijačenje	Vijaki, akumulatorski vijačnik	Odpadna iverna plošča	/	10 min