

Srednja šola tehniških strok Šiška

Litostrojska cesta 51, Ljubljana

RAZISKOVALNA NALOGA

**IZDELAVA FILAMENTA ZA 3D TISKANJE IZ  
ODPADNIH PLASTENK**

**Dijaki:**

Maj Andjelić

Jan Šerjak

Žan Tortič

**Mentor:**

Oliver Milinčič, prof. (dipl. inž.)

Ljubljana, marec 2025

# KAZALO

## 1 UVOD

## 2 IDEJA

## 3 PLASTENKE

### 3.1 KEMIČNA SESTAVA PLASTENK

### 3.2 IZDELAVA PLASTENK

### 3.3 RECIKLAŽA

## 4 STROJ

### 4.1 MATERIALI IN KOMPONENTI

#### 4.1.1 ELEKTRONIKA

#### 4.1.2 GRELNI ELEMENT

### 4.2 SESTAVA STROJA

#### 4.2.1 SESTAVA NAVIJALNEGA KOLUTA

#### 4.2.2 SESTAVA GRELNEGA ELEMENTA

#### 4.2.3 SESTAVA OHIŠJA STROJA

### 4.3 STOPNJE STROJA

## 5 PROCES IZDELAVE

### 5.1 REZANJE PLASTENK

### 5.2 NASTAVLJANJE PARAMETROV

### 5.3 EKSTRUDIRANJE IN NAVIJANJE IZDELANEGA FILAMENTA

### 5.4 SPAJANJE FILAMENTA

### 5.5 UPORABA FILAMENTA

## 6 UGOTOVITVE

### 6.1 DEBELINA IN ŠIRINA TRAKOV

### 6.2 POVRŠINA IN OBLIKA GLEDE NA PARAMETRE

### 6.3 BARVANJE FILAMENTA

## 7 STROŠKI

### 7.1 STROŠKI ZA SESTAVO ORODJA

### 7.2 STROŠKI ZA IZDELAVO FILAMENTA

### 7.3 POVRNITEV STROŠKOV S FILAMENTOM

## 8 ZAKLJUČEK

## 9 ZAHVALA

## 10 VIRI

# KAZALO SLIK

Slika 1: Stroj za izdelavo plastenk.....	7	
Slika 2: Matična plošča 3D tiskalnika Creality Ender-3.....	9	
Slika 3: 350 W napajalnik za 3D tiskalnik.....	9	
Slika 4: LCD zaslon za 3D tiskalnik.....	10	
Slika 5: Koračni motor Nema 17.....	10	
Slika 6: Kabel za LCD in koračne motorje.....	10	
Slika 7: 24v ventilator.....	11	
Slika 8: Grelni blok brez dodanih elementov.....	12	
Slika 9: Grelec in senzor (termistor).....	12	
Slika 10: Hladilna rebra.....	13	
Slika 11: Različne velikosti grelnih šob.....	13	
Slika 12: Delovna risba držala 1.....	14	
Slika 13: Delovna risba držala 2.....	15	
Slika 14: Delovna risba malega zobnika in koluta z zobnikom.....	15	
Slika 15: Sestava, uprizorjena v programu Onshape.....	16	
Slika 16: Sestava v pravem življenju med delom.....	16	
Slika 17: Sestava grelnega elementa med delom.....	17	
Slika 18: Razstavljeno ohišje.....	17	
Slika 19: Sestavljeno ohišje.....	18	
Slika 20: Testiranje funkcionalnost izhoda za 24 V grelec na matični plošči.....	19	
Slika 21: Testiranje funkcionalnosti zaslona in matične plošče.....	19	
Slika 22: Izdelava filamenta v drugi stopnji stroja.....	20	
Slika 23: Končan stroj.....	21	
Slika 24: Rezalnik za plastenke.....	22	
Slika 25: Primer G-kode.....	23	
Slika 26: Meritve med izdelavo.....	23	
Slika 27: SUNLU spajalnik filamenta.....	24	
Slika 28: Primerjava našega in kupljenega filamenta.....	24	
Slika 29: Primer obarvane plastenke.....	26	
Slika 30: Uporabljeni flomastri.....	26	
Slika 31: Pobarvan filament	Slika 32: Čolniček iz obarvanega filamenta.....	26
Slika 33: Tiskanje čolnička iz obarvanega filamenta.....	27	

# POVZETEK

V tej raziskovalni nalogi smo preučevali, kako bi lahko odpadne plastenke ponovno uporabili in jih predelali v filament za 3D tiskanje. Ker plastični odpadki predstavljajo velik okoljski problem, smo želeli najti trajnostno rešitev, ki bi zmanjšala količino odpadkov in omogočila njihovo reciklažo. Sestavili smo stroj, s katerim smo plastenke razrezali na trakove, jih stalili in oblikovali v uporaben filament. Testirali smo različne debeline in širine trakov ter ugotovili, kateri parametri omogočajo najboljšo kakovost končnega izdelka. Prav tako smo preizkusili metode barvanja filameta in ga nato uporabili za 3D tiskanje, kjer se je izkazal za enakovrednega komercialnim materialom. Celoten postopek je stroškovno učinkovit, saj temelji na recikliranih materialih in nizki porabi energije. Poleg okoljskih koristi pa predstavlja tudi poslovno priložnost, saj bi izdelava in prodaja recikliranega filameta lahko omogočila zaslužek, ker povpraševanje po trajnostnih rešitvah v 3D tisku narašča. Naš projekt dokazuje, da je mogoče odpadne plastenke pretvoriti v uporaben izdelek in tako prispevati k bolj trajnostnemu ravnanju z viri.

Ključne besede: 3D tiskanje, filament, plastenke, reciklaža, ponovna uporaba.

# 1 UVOD

V tej raziskovalni nalogi bomo podrobneje preučili postopek predelave PET plastenek v filament za 3D tiskanje. Ker nas je zanimalo, koliko plastenek povprečen človek zavrže letno (120–150 plastenek na leto), smo ugotovili, da so plastični odpadki ena največjih okoljskih težav sodobne družbe. Količina teh odpadkov se iz leta v leto povečuje, kljub razvitemu sistemu reciklaže pa še vedno velik del teh odpadkov konča na odlagališčih ali celo v naravi, kjer se razgrajujejo več desetletij in onesnažujejo ekosisteme. Problem plastičnih odpadkov tako zahteva inovativne pristope za ponovno uporabo in predelavo materialov, ki bi lahko zmanjšali njihov negativni vpliv na okolje. Posledično smo prišli na idejo, da bi začeli predelovati platenke v uporabni filament, ki bi bil namenjen 3D tiskanju, saj ta proces omogoča ponovno uporabo odpadne plastike na način, ki ne le zmanjšuje količino odpadkov, temveč tudi spodbuja krožno gospodarstvo. 3D tiskanje je v zadnjih letih postalo vse bolj priljubljeno zaradi svoje vsestranskosti in dostopnosti, kar odpira nove možnosti za ustvarjanje trajnostnih materialov iz reciklirane plastike.

## 2 IDEJA

Med malico smo opazili, da se veliko plastenek za sladke pijače in plastenek za olje vsak dan odvrže. Ker poznamo in se tudi veliko ukvarjamo s 3D tiskalniki, smo razmislili, da je plastika, iz katere so ustvarjene platenke (PET), kemično enaka filamentu za 3D tiskalnik (PETG). Zanimalo nas je, ali bi lahko tiskali iz plastenek. Vprašali smo zaposlene v kuhinji, če bi nam lahko ob koncu pouka dali njihove odpadne 5-litrške platenke za olje in če bi lahko zbrali vse odvržene platenke v smeteh. Nato smo morali razmisliti o postopku pretvorbe plastenek v filament. Spomnili smo se na postopek 3D tiskanja, kjer se skozi majhno šobo brizga ali ekstrudira tekočo plastiko na delovno podlago. Če bi lahko povečali standardno šobo na velikost standardnega filameta (1,75 mm), bi lahko pod isto temperaturo ekstruirali tudi platenke.

## 3 CILJI

Za izdelavo filameta smo si zadali 5 ciljev, ki smo jih morali doseči do konca raziskovalne naloge.

1. Filament mora tiskati enako kot kupljen filament.
2. Filament mora biti v tolerančnem območju kupljenega (1,75 mm,  $\pm 0,03$  mm).
3. Izdelava naprave za ustvarjanje filameta naj bo čim bolj cenovno dostopna.
4. Naprava naj bo izdelana iz čim več recikliranih/odpadnih izdelkov.
5. Investirane stroške lahko povrnemo z izdelavo filameta.

## 4 PLASTENKE

Plastenke so običajno izdelane iz plastike visoke ali nizke gostote. Za izdelavo se uporabljajo različne vrste plastike za različne namene.

Polietilen visoke gostote (HDPE) je najbolj razširjena smola za plastenke. Ta material je odporen na udarce, kisline in zagotavlja dobro zaščito pred vlago. Uporablja se za embalažo čistil, mila, antifrizna.

Polietilen nizke gostote (LDPE) je skoraj enak HDPE, vendar je manj odporen na udarce in kisline, hkrati pa je bolj prozoren. Uporaba je podobna kot pri HDPE.

Polikarbonat (PC) je prozorna plastika, ki se uporablja za izdelavo steklenic za mleko in vodo.

Polietilen tereftalat (PET, PETE) se običajno uporablja za gazirane pijače, steklenice za vodo in embalažo za hrano. PET zagotavlja zelo dobre zaščitne lastnosti za alkohol in eterična olja. To je tudi naša izbrana vrsta plastike za izdelavo filamenta, saj je dovolj mehka, da se prepogiba in utekočini pri temperaturah, ki jih lahko dosežemo s 3D tiskalnikom. Vse druge vrste plastike potrebujejo višje temperature in čeprav te plastike lahko pretvorimo v filament, z njimi ni mogoče tiskati. HDPE, LDPE in PC potrebujejo temperaturo okoli 400–450 °C, medtem ko 3D tiskalniki ne morejo doseči teh temperatur (maksimalno 300 °C).

### 4.1 KEMIČNA SESTAVA PLASTENK

Vse zgoraj omenjene plastike spadajo med termoplaste, kar pomeni, da ob segrevanju preidejo iz trdnega v tekoče stanje, medtem ko trdoplasti pri segrevanju zagorijo. Ta lastnost omogoča manipulacijo s plastiko v želeno obliko s pomočjo posebnih strojev. Na tej lastnosti temelji tudi 3D tiskanje, kjer se tekoča plastika brizga na podlago, da se oblikuje želeni izdelek.

### 4.2 IZDELAVA PLASTENK

Plastenka začne kot granulati, ki je najprej obarvan (po potrebi), očiščen in nato segret na okoli 200–400 °C (odvisno od vrste plastike). Tekočo plastiko nato brizgajo v kalup v obliki plastenke. Na koncu je plastenka odstranjena iz stroja, kjer se ohladi in obdrži svojo novo obliko.

Proces je zelo hiter, zato se vsak dan izdelata:

54,9 milijonov plastenk na uro,

1,3 bilijona plastenk na dan,

40 bilijonov plastenk vsak mesec,

481,6 bilijonov plastenk na leto.

S povprečno težo plastenke (10–15 g) se vsak dan porabi 715.000.000 g ali 715.000 kg plastike za izdelavo samo plastenk. To je približno enako težo 458 vozil Volkswagen Passat 2.0 TDI. S ceno izdelave ene plastenke z zamaškom okoli 1,5 \$ ali 1,43 € se na dan porabi 78,507.000 €.



*Slika 1: Stroj za izdelavo plastenk.*

Proizvajalci plastenk in plastičnih izdelkov v Sloveniji so:

- Plastenka, d. o. o.,
- Stramex PET,
- Hipoplast, d. o. o.,
- Plastenke Pajnič.

Vsa ta podjetja tudi reciklirajo plastenke, tako da jih pretopijo in ponovno brizgajo v kalupe ali pa prodajo drugim podjetjem za kakšno drugo uporabo.

## **4.3 RECIKLAŽA**

Po končani uporabi plastenke jo povprečna oseba zmečka in odvrže v smetnjak ali na tla. Plastenke, zavržene v smetnjak, so nato zbrane in odpeljane na smetišče, kjer so zakopane ali reciklirane, tiste na tleh pa se znajdejo v naravi, kjer se začnejo počasi razgrajevati, ampak ker mikrobakterije ne morajo absorbirati plastike, ta proces traja približno 450 let. Vsako leto se odvrže okoli 500 bilijonov plastenk, od katerih jih je le 12 % recikliranih, 88 % pa zakopanih v tla.

Na Hrvaškem so uvedli pravilo, da se plastenk ne mečka, saj se jih tako lahko brez dodatne obdelave ali porabljene energije še enkrat uporabi. Odvržene plastenke se najprej opere in sterilizira, nato pa napolni z zeleno tekočino. To pravilo bi lahko uvedli tudi v Sloveniji.

Z raziskovalno nalogo želimo tudi prispevati k recikliranju, tako da med izdelavo naprave uporabimo čim več plastenk. Tudi tiste, ki smo jih mi uporabljali za pijačo, smo na koncu spremenili v filament. Vse najdene in zbrane pokrovčke smo zbrali v vrečo.

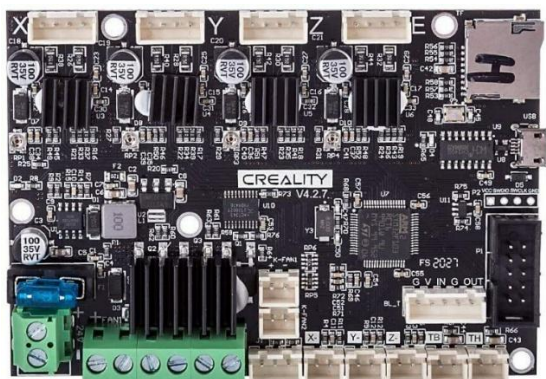
## **4 STROJ**

### **4.1 MATERIALI IN KOMPONENTI**

Za izdelavo smo želeli uporabiti čim več odvrženih komponent in materialov, zato smo za notranjo elektroniko uporabili kose odvrženega in razstavljenega 3D tiskalnika Ender 3, podjetja Creality. S časom se tehnologija za 3D tiskanje boljša, kar pomeni, da starejši 3D tiskalniki postanejo prepočasni, nenatančni, premajhni in preglasni v primerjavi z današnjimi tiskalniki. Te tiskalnice bi lahko pretvorili v stroje za izdelavo filamenta, saj je hitrost, glasnost ali natančnost tiskanja nepomembna, vse, kar je potrebno, je, da se šoba segreje in da lahko poganja koračni motor.

#### **4.1.1 ELEKTRONIKA**

Kot že prej omenjeno, smo uporabili komponente odvrženega 3D tiskalnika Ender 3. Elementi in ogrodje je bilo najdeno razstavljeno v škatli, tiskalnik pa izvira iz leta 2016.



Slika 2: Matična plošča 3D tiskalnika Creality Ender-3.

Kot možgane našega stroja smo uporabili matično ploščo 3D tiskalnika znamke Creality, ki jo najdemo v modelih Ender 3/3 Pro/3 V2 Neo/3 Max Neo/Ender-5 Pro. V matični plošči se izvajajo različni procesi, kot so regulacija temperature, nastavljanje temperature, regulacija hitrosti vrtenja gredi na koračnem motorju itd. Na trgu stane nova matična plošča okoli 50 €.



Slika 3: 350 W napajalnik za 3D tiskalnik.

Napajalnik je iz istega 3D tiskalnika. Ta element pretvarja 230 V izmenične napetosti v 24 V, 15 A enosmerne napetosti z močjo 350 W in dovaja matični plošči. Cena je okoli 20 € za novega.



Slika 4: LCD zaslon za 3D tiskalnik.

LCD prikazovalnik oz. zaslon nam pomaga pri tem, da lahko z njegovo pomočjo opazujemo, koliko stopinj ima šoba, saj je od tega odvisna tudi debelina samega filameta. Pomaga nam tudi pri tem, da če se karkoli pokvari s strojem, npr. temperatura začne nihati za 10 oz. 20 stopinj, lahko to hitro popravimo, saj nam omogoča vpogled v same nastavitve matične plošče. Nov stane okoli 50 €.



Slika 5: Koračni motor Nema 17.

24 V, 11,5 W koračni motor Nema 17, ki vrti kolut in navija proizveden filament. 3D tiskalniki imajo običajno 3 koračne motorje za vse 3 osi (X, Y, Z). Posamezni motor stane okoli 15 €.



Slika 6: Kabel za LCD in koračne motorje.

Kabli za povezavo vseh elementov skupaj. Zgornja dva sta za povezavo koračnih motorjev za X, Y in Z os, medtem ko spodnja dva sta pa za povezavo LCD zaslona. Komplet vseh kablov za priklop je okoli 9€



Slika 7: 24v ventilator

In 24v, 51mA, 0.6W ventilator za reguliranje temperature grelne šobe. Na trgu je okoli 8€.

Če bi se odločili, da bi vse te dele kupili, bi morali plačati približno 152 €, poleg vsega drugega materiala, ki smo ga uporabili. Ampak, ker smo se odločili, da bomo uporabili elemente starega 3D tiskalnika, smo ne le dobili kose brezplačno, ampak tudi rezervne motorje in ventilatorje, če bi se med raziskovanjem kaj okvarilo.

Razmišljali smo, da bi uporabili tudi ogrodje tiskalnika, a je bilo pretežko in preveliko za našo uporabo, zato smo ga pospravili za kakšen drug projekt.

Cene vseh komponent so preverjene na spletnih straneh AzureFilms in Amazon, na katerih se najdejo vsi potrebni elementi za izdelavo stroja za predelavo plastenk v 3D filament. Vključene so tudi vse specifikacije, kot so cena in tehnična dokumentacija.

## 4.1.2 GRELNI ELEMENT

Grelni element ali »hot end« je majhna sestava na koncu glave 3D tiskalnika, ki segreva in brizga tekočo plastiko. Na tem delu ponavadi opažamo največ obrabe, saj konstantno gretje in hlajenje niža trdnost elementov, kar pomeni, da se kos lažje zvije, zamaši ali pa popolnoma zlomi med tiskanjem. V 3D tiskalniku se »hot end« konstantno premika, tako da lahko brizga plastiko in zato se tudi obrabi, a pri našem stroju je vedno na istem mestu, kar pomeni manjšo obrabo.

Za razliko od elektronike 3D tiskalnika smo te kose morali kupiti, saj niso bili na tiskalniku, kar pomeni, da se skupen znesek vseh elementov sešteje v skupno ceno celega stroja.

## Sestava »hot enda«



Slika 8: Grelni blok brez dodanih elementov.

Grelni blok je glavni del sestave, saj se nanj pritrdi vse druge elemente, kot so senzor temperature, grelec, šoba in hladilna rebra. Cena je okoli 10 €.



Slika 9: Grellec in senzor (termistor).

Grelec 24 V, 43 W (levi) in senzor za temperaturo ali termistor (desni). Grelec se segreva, medtem ko senzor bere temperaturo in regulira ter poroča, če je potrebno naprej greti ali hladiti. Pri nakupovanju grelca in termistorja smo naredili napako, ponesreči smo kupili grelce za 12 V sistem, potrebovali pa smo 24 V. Med testiranjem matične plošče smo poskusili 12 V grelec na 24 V sistemu, rezultat tega je bil, da se je grelec tako hitro in na tako visoko temperaturo segrel, da se je stopil. V kompletu sta dva elementa (trije kosi vsakega) stala 24 €. Vrnili smo se v trgovino AzureFilms in kupili pravilne grelce (trije v kompletu), ki so delovali kot pričakovano. 12 V grelce smo dali profesorjem za njihov starejši tiskalnik. Za komplet samo treh grelcev smo plačali 12 €.



Slika 10: Hladilna rebra.

Hladilna rebra odvajajo toploto in hladijo grelni blok. Pri sestavi stroja nismo potrebovali hladilnih reber. Ta element pride v kompletu z grelnim blokom.



Slika 11: Različne velikosti grelnih šob.

Medeninaste grelni šobe brizgajo tekočo plastiko na podlago. Za 3D tiskanje obstaja veliko velikosti šob (1.0, 0.8, 0.6, 0.5, 0.4, 0.2) za različne uporabe, kot npr: različno površino izdelka, trdota izdelka, preciznost, velikost ... A za naše potrebe smo potrebovali nadstandardno šobo velikosti 1,75 mm za filament premera 1,75 mm, ki je standarden. Ker se te velikosti na trgu redko kje dobi, smo jo naredili sami. S svedrom 1,75 mm smo v šoli s CNC strojem povečali luknjo 0,4 mm šobe na 1,75 mm. Stare in poškodovane šobe smo pa že imeli (cena 10 novih šob je okoli 8 €).

Cene vseh kosov so bile preverjene na spletnih straneh Amazon in AzureFilms.

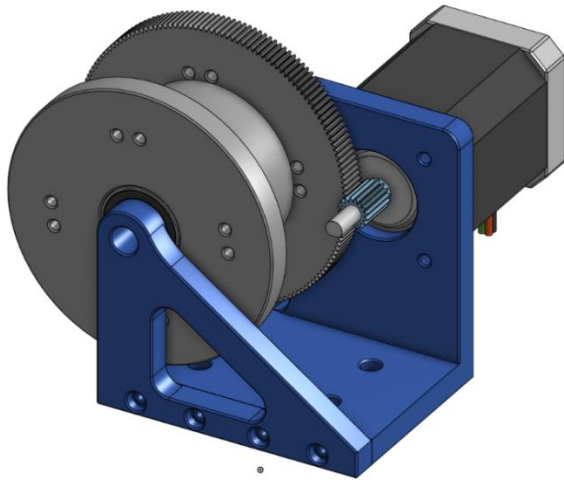
Skupen znesek za vse grelni elemente je bil 46 €. Dodali smo jih pod stroške za izdelavo.

## 4.2 SESTAVA STROJA

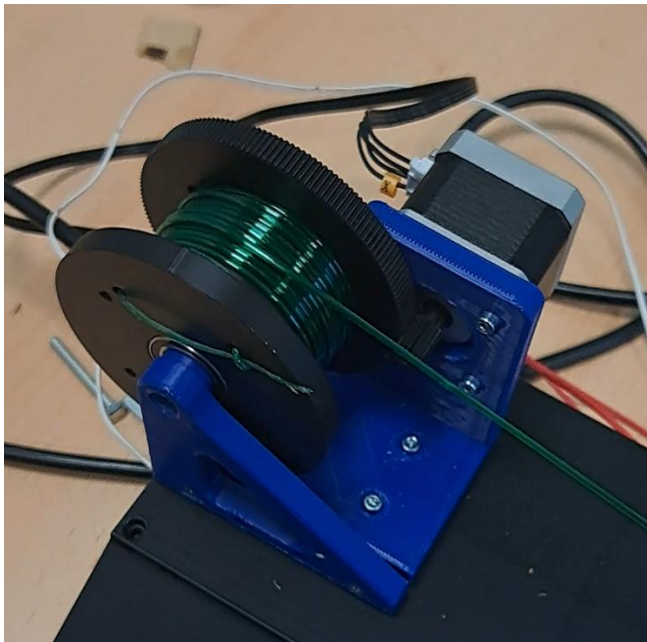
Stroj, ki smo ga sestavili sami, je bil sestavljen iz zgoraj navedenih komponent, ki se jih je le dalo kupiti, ogrodje stroja pa nam je omogočal brezplačen program OnShape, na katerem smo naredili 3D model in ga kasneje tudi 3D natisnili na podlagi PLA filmenta.







*Slika 15: Sestava uprizorjena v programu Onshape.*



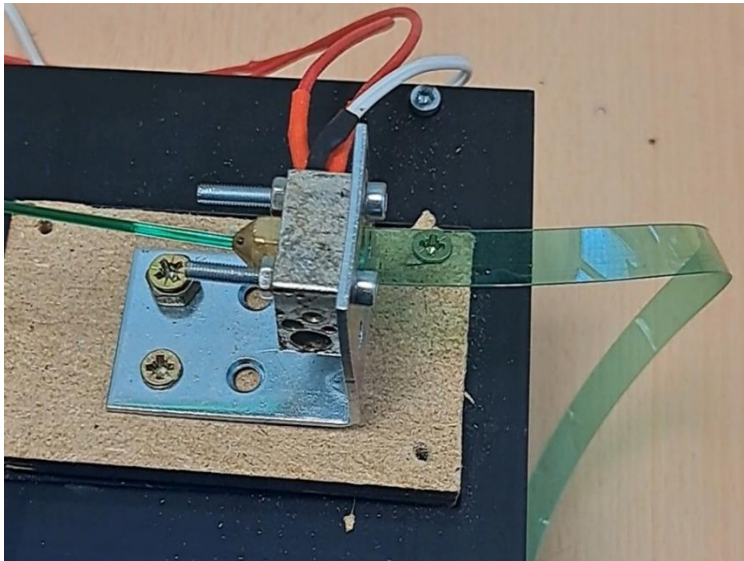
*Slika 16: Sestava v pravem življenju med delom.*

Sliki prikazujeta uprizorjeno in realno sestavo navijalnega koluta. Sestavo smo uprizorili v programu Onshape, kjer smo tudi lahko simulirali in delali spremembe, preden smo tiskali, tako da nam ne bi bilopotrebno metati materialov v smeti, če bi bila kakšna napaka. Ko pa smo natiskali, se je sestava obnašala kot v programu. Preverili smo tudi vse mere in potrdili, da je vse, kot je v načrtih.

## **4.2.2 SESTAVA GRELNEGA ELEMENTA**

Sestava grelnega elementa ni potrebovala 3D tiskanja, temveč samo kose, ki smo jih kupili. Sestava se prične z grelnim blokom, na katerega smo privijačili našo predelano grelno šobo, pritrdili grelec in senzor za temperaturo ter ju zatisnili in nato celo sestavo pritrdili na aluminijasto držalo.

Ker se grelni element segreva do 250 °C, smo morali najti podlago, saj bi drugače stopilo plastično ohišje stroja. Odločili smo se za plastiko DuraTherm, ki prenese več kot 500 °C, na srečo so jo imeli v šoli.

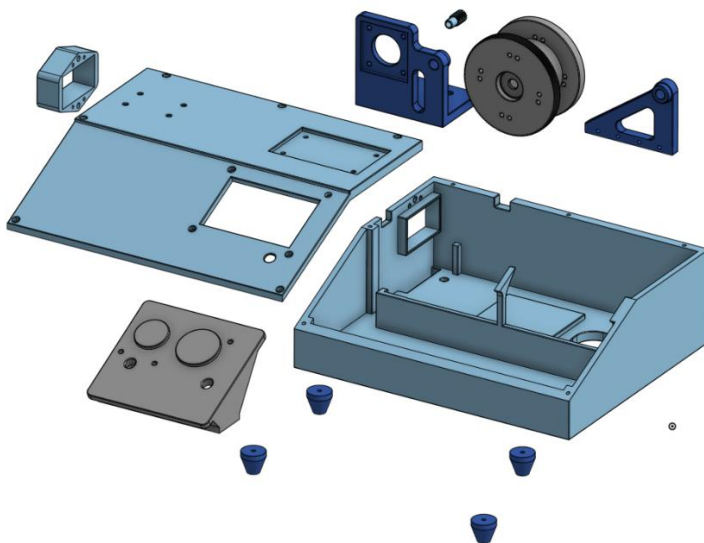


Slika 17: Sestava grelnega elementa med delom.

### 4.2.3 SESTAVA OHIŠJA STROJA

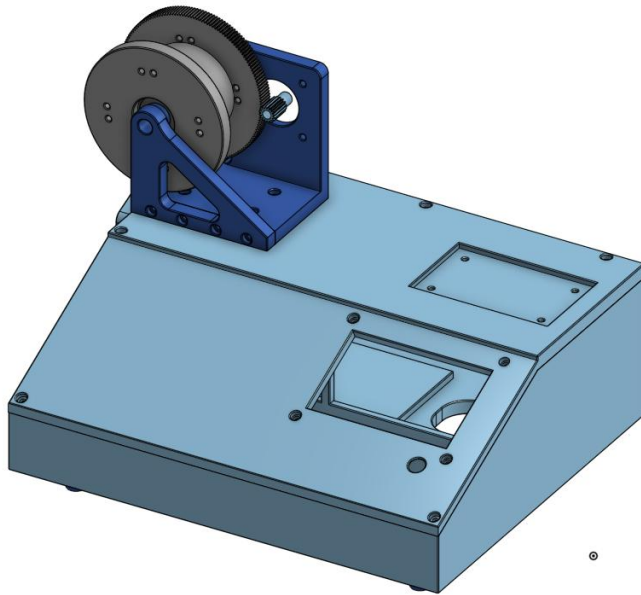
Ohišje je sestavljeno iz osmih 3D tiskanih delov: ogrodje, pokrov, držalo matične plošče, držalo stikala za vklop in 4 nogice. Vse elemente smo tiskali z materialom PLA, razen nog, ki so iz TPU.

Ohišje je bilo ustvarjeno, da drži in skriva vse elektronske elemente in da služi kot delovna miza, kjer se sam proces odvija.



Slika 18: Razstavljeno ohišje.

Slika prikazuje 3D model stroja v eksplodirani projekciji v programu Onshape. Tako smo si predstavljali izgled in sestavo.



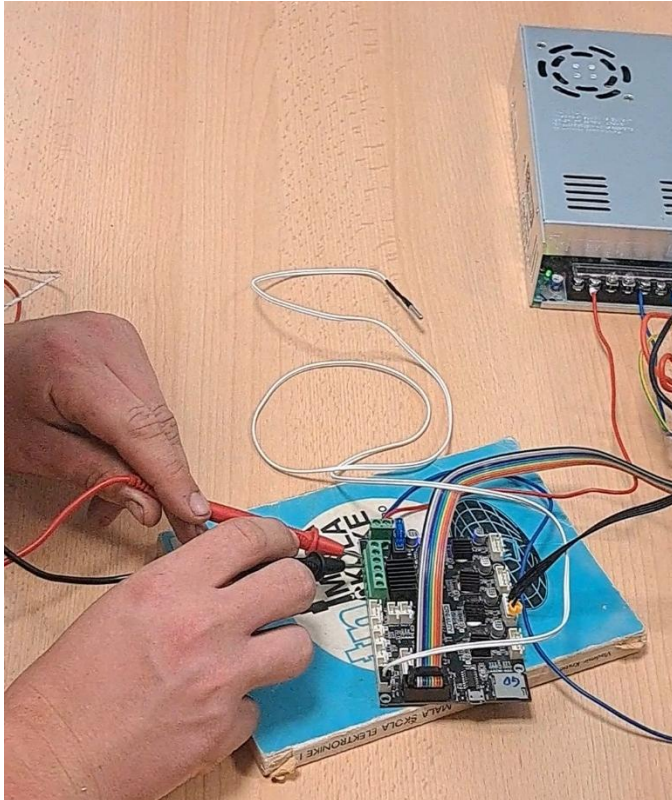
*Slika 19: Sestavljeno ohišje.*

Skupna sestava vseh 3D tiskanih kosov je znašala okoli 250 g filameta in okoli 24 h tiskanja na šolskem in domačem 3D tiskalniku. Po končanem tiskanju smo vselili vse elemente, napeljali vse kable in dodali vse zunanje kose. Vse skupaj tehta okoli 2,6 kg.

## 4.3 STOPNJE STROJA

Med ustvarjanjem in iskanjem končne oblike stroja smo imeli veliko stopenj.

Na začetku so bili stroj le goli povezani elementi na mizi, grelni element smo z enoročno spono (»cvingo«) pritrdili na manjši kos aluminija, tako da ne bi vnetili lesene mize. V tej stopnji smo testirali, če komponente funkcionirajo, kot bi morali. Med testiranjem »hot enda« smo filament ekstrudirali na roke, uporabljali smo kombinirane klešče, tako da smo samo opazovali pojave in spremembe v temperaturi šobe in v obliki filameta. Ugotovili smo, da nismo mogli obdržati konstantne temperature, saj nam je nihala (10-15 °C razlike). V tej stopnji je bil filament pregrob in oglat, da bi lahko z njim tiskali.



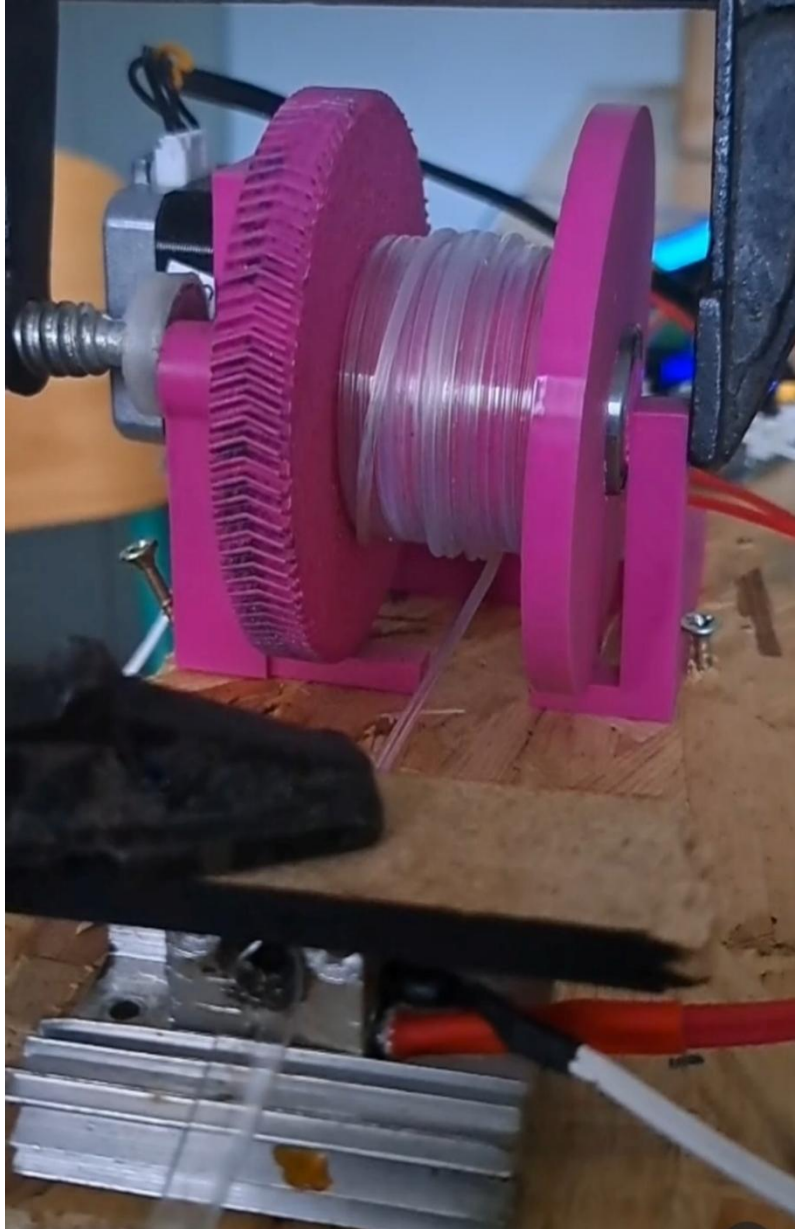
Slika 20: Testiranje funkcionalnost izhoda za 24 V grelec na matični plošči.



Slika 21: Testiranje funkcionalnosti zaslona in matične plošče.

V drugi stopnji smo začeli z operacijo stroja. Najprej smo narisali in natisnili sestavo navijalnega koluta, saj je to glavna enota operacij na stroju. Na začetku smo za izdelavo filamenta kolut in grelec pritrdili na leseno desko in ju oba zatisnili na mizo z enoročno spono. V tej stopnji smo tudi ugotovili rešitev za nihanje temperature. Ker smo upeli grelni element

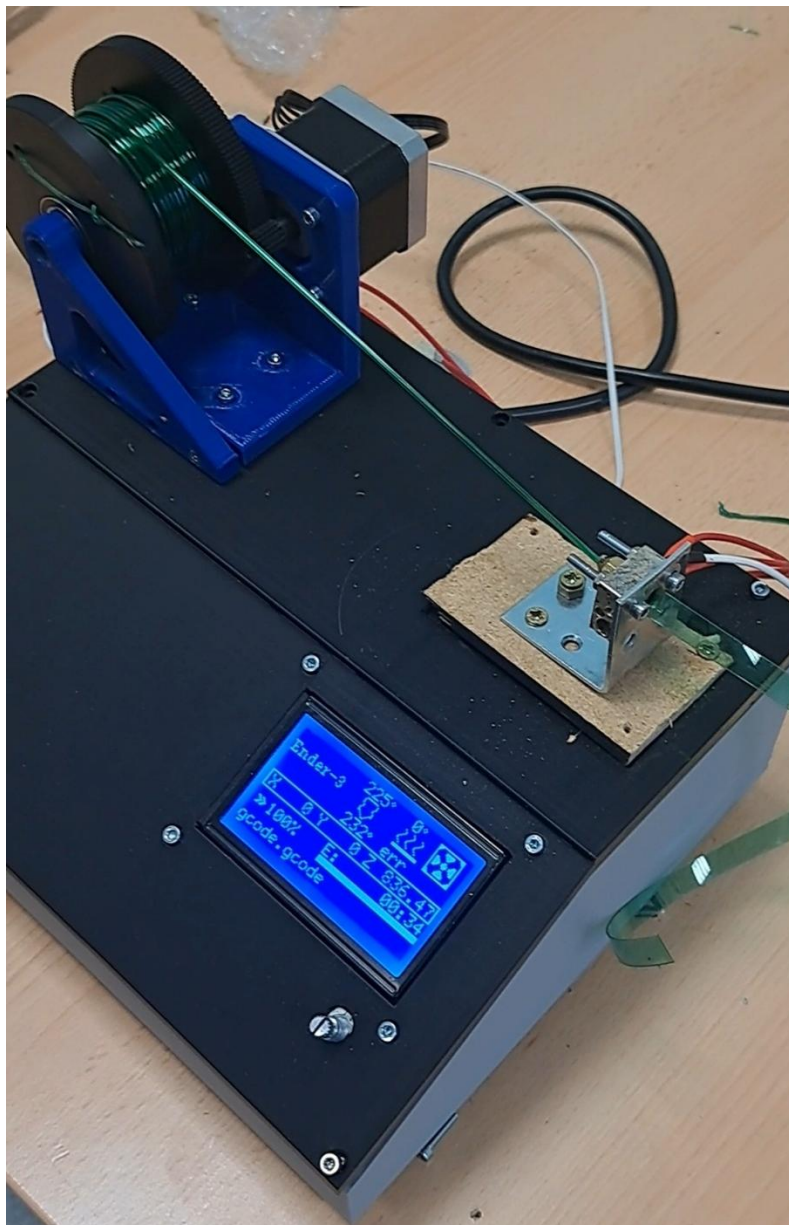
na aluminijasto podporo, se je vsa temperatura prevajala na podporo, ki nam je odvajala temperaturo od bloka. Aluminijasto podporo smo zamenjali za kos temperaturno odpornega lesa za lasersko rezanje. Izdelan filament je bil boljše kvalitete in je bil primeren za 3D tiskanje.



*Slika 22: Izdelava filameta v drugi stopnji stroja.*

V tretji stopnji smo ugotavljali idealne temperature in hitrost vrtenja koračnega motorja, kar pomeni, koliko hitro gre filament ven skozi šobo. To smo dosegli tako, da smo poskušali veliko prestavnih razmerij. Obdržali smo velikost držala in koluta, menjali pa smo velikost in število zob na majhnem zobniku, kar nam je pa spremenilo prestavno razmerje in hitrost ustvarjanja filameta.

Po ugotovitvi idealnega prestavnega razmerja (10) in temperature šobe (225 °C) smo stopili na zadnjo stopnjo. Tukaj smo najprej napisali posebno kodo ali G-kodo, ki bi nam omogočila, da stroj dela brez človeškega vpliva, saj smo pred tem morali ročno dajati navodila stroju. Na tej stopnji smo tudi narisali in natisnili ohišje stroja in nato sestavili ter pritrdili vse komponente.

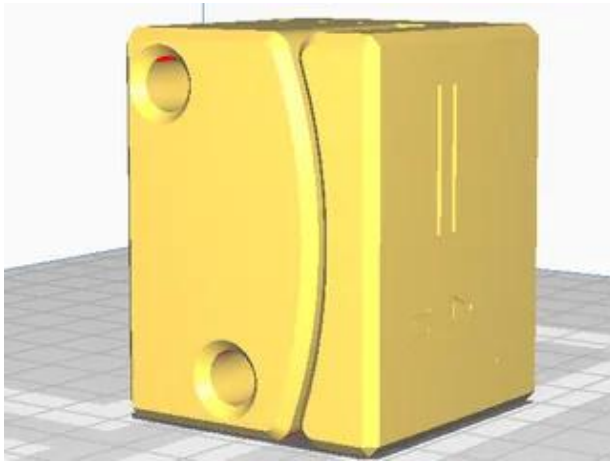


Slika 23: Končan stroj.

## 5 PROCES IZDELAVE FILAMENTA

### 5.1 REZANJE PLASTENK

Proces se začne pri katerikoli prazni platenki katera je oprana in brez nalepk. Po potrebi lahko platenko zravnamo s fenom za vroč zrak tako da bo površina gladka. Nato nastopi rezanje plastenke, prvo odstranimo spodnji del plastenke in nato z 3D tiskanim rezalnikom narežemo platenko na 8mm trakove katere bomo rabili za naslednji korak. Za eno 1.5l platenko smo dobili okoli 2.5m traka, a za 5l platenko pa okoli 7m.



*Slika 24: Rezalnik za platenke*

Debelina plastenke tudi vpliva na rezanje in na končen rezultat, debelejšje platenke se bodo počasneje rezale, medtem ko tanjše pa hitreje

### 5.2 NASTAVLJANJE PARAMETROV

Če smo želeli, da stroj deluje sam, smo mu morali nastaviti parametre. Najprej smo določili temperaturo šobe, to je med 220 in 230 °C. Nato smo napisali posebno G-kodo, ki pove stroju vse druge parametre, kot so: hitrost motorja, pot motorja, temperatura delovne podlage in čas delovanja. V kodi smo tudi povišali maksimalno temperaturo delovne podlage do 250 °C (prej 175 °C). Če bi potrebovali, bi lahko povezali še en sistem in tako imeli dvakratno produkcijo na isti matični plošči. Nato smo kodo shranili na mikro SD kartico, vklopili program in počakali, da se šoba segreje.

```

Fan speed setting      ;Layer count: 25
                       ;LAYER:0
Nozzle travel speed   M107
(without extrusion)  GO F9000 X52.235 Y55.800 Z0.300
Nozzle printing speed G1 F2340 X56.093 Y55.800 E0.18815
(with extrusion)     G1 X56.346 Y55.605 E0.20373
                       G1 X57.299 Y55.078 E0.25684
X, Y Coordinates     G1 X58.540 Y54.758 E0.31934
                       G1 X59.404 Y54.719 E0.36152
                       G1 X60.320 Y53.688 E0.42878

```

Diagram annotations:

- Fan speed setting: points to M107
- Nozzle travel speed (without extrusion): points to GO F9000
- Nozzle printing speed (with extrusion): points to G1 F2340
- X, Y Coordinates: points to X56.346 Y55.605
- Layer height: points to Z0.300
- Extrusion length: points to E0.18815

Slika 25: Primer G-kode.

## 5.3 EKSTRUDIRANJE IN NAVIJANJE IZDELANEGA FILAMENTA

Obdelane trakove smo na koncu traka odrezali poševno s škarjami tako, da ima na koncu špico. Program smo začeli in poslali trak skozi grelni element kjer se plastika NAJPREJ uokrivi in nato spoji (Slika 17), tako da dobimo gladek filament premera 1,75 mm, nato izdelan filament vpnemo v kolut (Slika 16) in počakamo, da plastike zmanjka. Sam proces je dokaj hiter, saj proizvede 15 mm na sekundo, kar je 900 mm ali 65 g filamenta na eno uro. Med delom tudi pregledamo, če je filament v tolerančnem območju ( $1,75 \text{ mm} \pm 0.03$ ).



Slika 26: Meritve med izdelavo.

## 5.4 SPAJANJE FILAMENTA

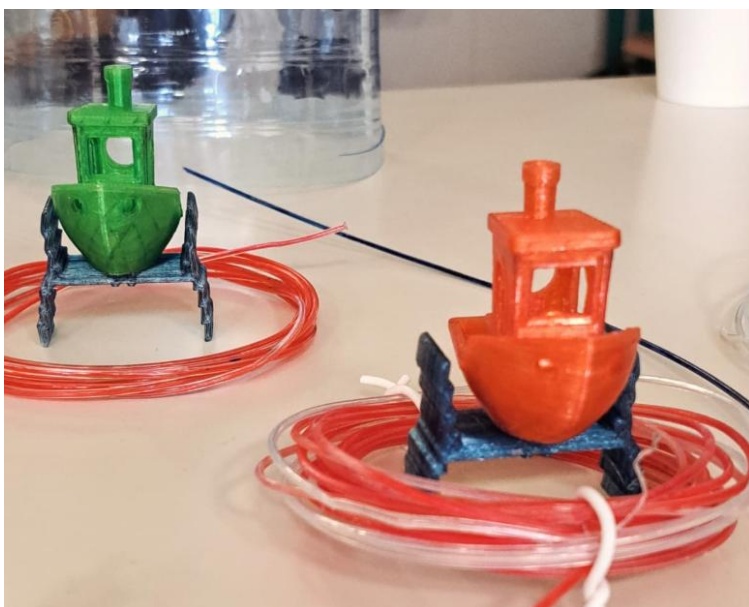
S pomočjo majhnega stroja firme SUNLU nato filament še spnemo skupaj, tako da ga lahko navijemo na kolut 1000 g (standarden kolut). Stroj najprej zaokroži 2 konca filamenta in ju nato segreje, vroča konca nato združi tako, da se zlepita skupaj in se spoj ohladi. Ta naprava nam omogoča tudi uporabo manjših plastenek, iz katerih pridelamo manjše kose filamenta, ki se nam jih prej ni splačalo izdelovati, ker bi z njimi lahko samo malo tiskali. Sedaj lahko tudi te dodamo v kolut (1000 g).



Slika 27: SUNLU spajalnik filamenta.

## 5.5 UPORABA FILAMENTA

Izdelan filament ima enake lastnosti kot kupljen (tiska na enaki temperaturi in hitrosti) in natisnana izdelka sta identična drug drugemu. Z njim smo tudi natisnili nekaj elementov stroja.



Slika 28: Primerjava našega in kupljenega filamenta.

Slika prikazuje dva čolnička (benchy), ki smo ju tiskali na šolskem tiskalniku. Ta model smo si izbrali, saj z njim lahko testiramo, če naš filament tiska enako kot kupljen in ker ne potrebuje podpor med tiskanjem. Levi čoln je tiskan iz kupljenega filameta PETG, desni pa iz našega filameta.

Na sliki je tudi prikazana razlika med kvaliteto našega filameta med stopnjami izdelave stroja. Pod oranžnim čolnom je zelo zgodnja oblika filameta, ko nismo še predelali vseh napak in parametrov za stroj, pod zelenim čolnom pa je naš filament po odpravi napak in po ugotovljenih parametrih. Velika razlika je v obliki in površini filameta. Starejši ima zaradi prehitrega ekstrudiranja in napačne temperature hrapavo površino in ovalno obliko, medtem ko je novejši gladek in okrogel, torej enak kupljenemu.

## **6 UGOTOVITVE**

### **6.1 DEBELINA IN ŠIRINA TRAKOV**

Med raziskovanjem smo imeli problem, kaj je bolj idealno, debela ali tanka plastika. Debela plastika se težje reže in počasneje topi, ampak nastane več filameta, tanka pa se hitro in bolj gladko reže ter hitreje topi, ampak ne dobimo toliko filameta. V naši situaciji je debela platenka bila 5 l od olja in tanka 1,5 l Donat®. Poskušali smo tudi več širin traku, na začetku smo poskusili 10 mm trak, ta je bil preširok in se je zelo počasi ekstrudiral, včasih nam je tudi zamašil šobo. Nato smo poskusili 8 mm. Ta je bil brez težav, hitro se je topil in nam ni zamaševal šobe. Čeprav smo bili zadovoljni z 8 mm, smo vseeno poskusili tudi 6 mm, ki pa je bil preveč ozek in med procesom prepogibanja se ni spel, zato je bila na filamentu grda razpoka po dolžini. Po vseh poskusih smo se nato odločili, da je najbolj idealen trak iz tanke plastike širine 8 mm.

### **6.2 POVRŠINA IN OBLIKA GLEDE NA PARAMETRE**

Pri iskanju idealne temperature šobe in hitrosti koluta smo ugotovili, da imata ta parametra velik vpliv na kvaliteto filameta. Če je temperatura previsoka in hitrost idealna, bo filament prišel ven zažgan. Imel je temnejšo in bolj hrapavo površino kot plastičen trak. Če je pa hitrost previsoka in temperatura idealna, pride filament ven pretanek in poln lukenj, saj šoba nima dovolj časa, da bi lahko popolnoma segrela plastiko. Posledica tega je, da se filament ne spne skupaj dovolj hitro in zato nastane hrapav rob, kjer bi se konci plastičnega traku stikali. Če sta oba parametra idealna, je rezultat gladek in okrogel filament, ki je enak kupljenemu iz trgovine.

## 6.3 BARVANJE FILAMENTA

Pri izdelavi barvnega filameta je edina možnost že obarvana plastenka, zato smo hoteli barvati prozorno, nepobarvano platenko.



Slika 29: Primer obarvane plastenke.

Razmišljali smo o uporabi industrijskega plastičnega barvila, s katerim barvajo plastični granulati pred obdelavo, a se tega ne da dobiti na prostem trgu. Razmišljali smo tudi o tem, da bi uporabili vodoodporen flomaster, ampak ker smo imeli le črno barvo, smo mentorja vprašali za flomastre, ki se jih uporablja za pisanje po tabli. Ti so tudi delovali in imeli smo še modro, rdečo, zeleno in oranžno barvo.



Slika 30: Uporabljeni flomastri.

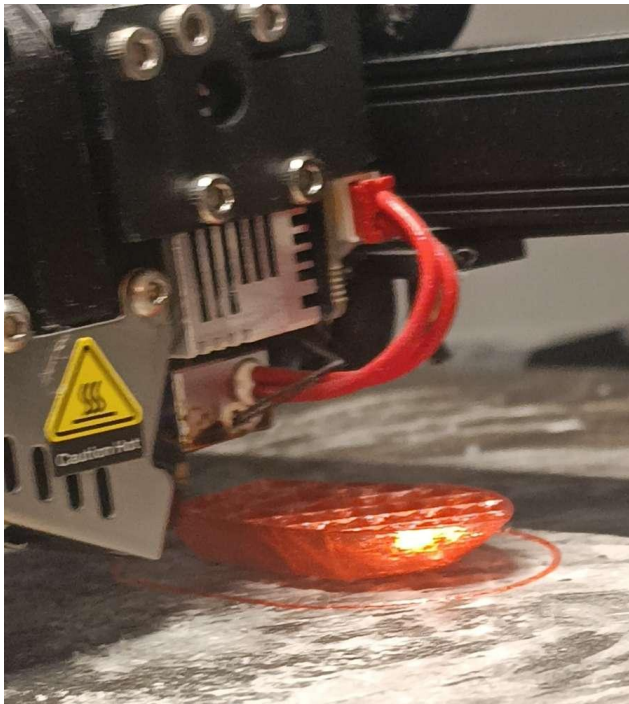
Med barvanjem traku smo lahko barvo zbrisali, a ko je trak šel skozi šobo, se je barva stopila v filament in ni je bilo mogoče odstraniti. Obarvan filament je med tiskanjem obdržal barvo na vseh poskusih.



Slika 31: Pobarvan filament.



Slika 32: Čolniček iz obarvanega filameta.



Slika 33: Tiskanje čolnička iz obarvanega filameta.

## 7 STROŠKI

### 7.1 STROŠKI ZA SESTAVO STROJA

Cena stroja je dokaj nizka, saj so njegovi elementi iz starega neuporabnega 3D tiskalnika, ki se ga da na trgu dobiti že za slabih 50-70 €, če pa gledamo ceno novih kosov, stanejo okoli 150 €. Mi smo plačali 46 € za grelni element in 6 € za PETG filament. Če seštejemo tudi koliko elektrike smo porabili za izdelavo stroja, torej če smo tiskali 24 ur na tiskalniku, ki porabi okoli 250 W in če upoštevamo trenutno ceno enotne tarife (ET) kar je 0,12990€ na kWh, pomeni, da smo za cel stroj porabili 52 € in 78 centov. Če se ne bi zmotili pri nabavi grelcev, bi cena padla za 12 €.

### 7.2 STROŠKI ZA IZDELAVO FILAMENTA

Material za izdelavo filameta so odvržene plastenke, kar pomeni, da je cena materiala za izdelavo načeloma brezplačna. S šolsko kuhinjo smo se dogovorili, da nam po končani uporabi predajo prazne 5 l plastenke olja, zmenili smo se tudi z podjetjem Vopex, d.o.o., ki so nam dali prazne 5 l plastenke od rumove arome, le da imajo te rahlo modro barvo. Plastenke so lahko najdene tudi na tleh ali zbrane doma. Največji strošek je porabljen elektriki med izdelavo. Skupna moč vseh elementov stroja je okoli 70 W, če naredimo v 1 h 65 g ter če spet uporabimo ceno enotne tarife, potrebujemo 1,05 kWh ali 0,34€ za 1000 g ali 1 poln kolut filameta.

## 7.3 POVRNITEV STROŠKOV Z FILAMENTOM

Za povrnitev stroškov izdelave stroja in porabe elektrike med izdelavo filamenta lahko uporabimo filament. 1 kolut (1000 g) PETG je na AzureFilms 23 €, kar pomeni: če bi prodali izdelan filament za 20 € in odštejemo ceno za porabo elektrike 0,34 € (19,66 € profita), in če se 1000 g izdeluje 15,5 h, bi lahko povrnili stroške (52,78 €) v 41,6 h konstantnega dela. Lahko bi pa tudi filament uporabljali doma, kar pomeni, da ne bi bilo več potrebe po nakupovanju filamenta.

## 8 ZAKLJUČEK

Raziskovalna naloga o izdelavi filamenta iz odpadnih plastenk je bila z uspešnim tiskanjem izvedena. Dokumentirali smo vsa opažanja med izdelavo stroja in filamenta ter dokazali, da ni le mogoča, ampak tudi ugodna investicija.

Na začetku raziskovalne naloge smo si zastavili 5 ciljev.

1. Filament mora tiskati enako kot kupljen filament.
2. Filament mora biti v tolerančnem območju kupljenega (1,75 mm,  $\pm 0,03$  mm).
3. Izdelava naprave za ustvarjanje filamenta naj bo čim bolj cenovno dostopna.
4. Naprava naj bo izdelana iz čim več recikliranih/odpadnih izdelkov.
5. Investirane stroške lahko povrnemo z izdelavo filamenta.

Z več poskusi, testiranjem in spreminjanjem raznih nastavitev in elementov nam je uspelo ustvariti filament, ki je skoraj identičen kupljenem. To pomeni, da je v tolerančnem območju  $1,75 \pm 0,03$  in da je površina enako gladka kot pri kupljenemu. Z njim pa lahko tiskamo, kar želimo.

Pri ustvarjanju naprave se nam je posrečilo, da smo imeli star 3D tiskalnik, ki smo ga lahko uporabili za delovanje stroja in ki nam je omogočil, da smo stroj ustvarili in sestavili za dokaj nizko ceno. Če bi imeli vse kose, bi bila lahko cena še nižja.

Ugotovili smo tudi, da lahko z ustvarjanjem filamenta povrnemo stroške in mogoče s prodajo tudi ustvarimo dobiček.

Če bomo imeli kaj dobička s filamentom, bomo najverjetneje stroju dodali razne funkcije, nadgradili motorje ali pa ustvarili več strojev za večjo pridelavo.

Čeprav samo mi s strojem ne naredimo velike razlike pri recikliranju plastenk, bi se razlika poznala, če bi vsak, ki se ukvarja s 3D tiskanjem ustvarjal sam svoj filament. Tako bi lahko opazili neko razliko v številu odvrženih plastenk, ki pristanejo v naravi.

## 9. ZAHVALA

Rad bi se zahvalil sošolcema, s katerimi sem sodeloval pri ustvarjanju raziskovalne naloge. Jan Šerjak je 3D modeliral in tiskal večino kosov stroja, imel je tudi star 3D tiskalnik. Žan Tortič je tudi veliko tiskal in napisal je G-kodo za stroj. Medtem pa sem Maj Andjelić fotografiral in dokumentiral dogajanje in preizkuse. Rad bi se zahvalil tudi profesorju Oliverju Milinčiču, ker nas je vodil in spodbujal med raziskovanjem ter nam omogočil uporabo šolskega 3D tiskalnika in CNC stroja.

# 10 VIRI

## PODATKI

Plastenke: [https://en.wikipedia.org/wiki/Plastic\\_bottle](https://en.wikipedia.org/wiki/Plastic_bottle)

Odpad plastenk: <https://bioplasticsnews.com/2019/09/08/plastic-bottles-sold-per-hour-day-month-and-last-ten-years/>

Azure film: <https://azurefilm.com/sl/izdelek/petg-original-filament-black/>

Amazon:

[https://www.amazon.com/s?k=3d+printer+components&crid=3UTJWU1KNB7JJ&srefix=3d+printer+compon%2Caps%2C182&ref=nb\\_sb\\_ss\\_ts-doa-p\\_2\\_17](https://www.amazon.com/s?k=3d+printer+components&crid=3UTJWU1KNB7JJ&srefix=3d+printer+compon%2Caps%2C182&ref=nb_sb_ss_ts-doa-p_2_17)