

ŠOLA ZA STROJNIŠTVO, GEOTEHNIKO IN OKOLJE
Trg mladosti 3, 3320 Velenje

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA

**IZDELAVA PROTOTIPA NAPRAVE ZA IZDELAVO FILAMENTA ZA 3D-TISK IZ
PARAFINSKEGA VOSKA**

Tematsko področje: Tehnika ali tehnologija

Avtor:

Matic Bajsić, 4. letnik

Mentorja:

Viljem Osojnik, univ. dipl. inž. str.

Klemen Hleb, dipl. inž. elektrotehnike (UN)

Velenje, 2021

M. Bajsić: Izdelava prototipa naprave za izdelavo filamenta za 3D-tisk iz parafinskega voska
Raziskovalna naloga, ŠC Velenje, Šola za strojništvo, geotehniko in okolje, 2021

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Šoli za strojništvo, geotehniko in okolje Velenje.

Mentorja: Viljem Osojnik, univ. dipl. inž. str.

Klemen Hleb, dipl. inž. elektrotehnike (UN)

Datum predstavitve: april 2021

M. Bajsić: Izdelava prototipa naprave za izdelavo filameta za 3D-tisk iz parafinskega voska
Raziskovalna naloga, ŠC Velenje, Šola za strojništvo, geotehniko in okolje, 2021

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Srednja šola za strojništvo, geotehniko in okolje, 2020/2021

KG prototip / naprava / filament / 3D-tisk / parafinski vosek

AV BAJSIĆ, Matic

SA OSOJNIK, Viljem

KZ 3320, Velenje, SLO, Velenje

ZA Srednja šola za strojništvo, geotehniko in okolje

LI 2021

IN Izdelava prototipa naprave za izdelavo filameta za 3D-tisk iz parafinskega voska

TD Raziskovalna naloga

OP V, 48 strani, 2 preglednici, 38 slik, 10 virov

IJ sl

JI sl / en

AI

3D-tiskanje je postalo v zadnjih letih vse bolj dostopno in popularno. Uporablja se za domačo uporabo kot tudi za uporabo v industriji, predvsem za prototipizacijo. V zadnjem času se uporablja tudi v tehnologiji izdelave kalupov, kjer je za material negativa zaradi nizkega tališča najidealnejši vosek. Zanimalo me je, če je mogoče skonstruirati in izdelati prototip naprave za izdelavo filameta iz voska, ki ga lahko kasneje uporabimo kot polnilni material za 3D-tisk po tehnologiji FDM.

M. Bajsić: Izdelava prototipa naprave za izdelavo filamenta za 3D-tisk iz parafinskega voska
Raziskovalna naloga, ŠC Velenje, Šola za strojništvo, geotehniko in okolje, 2021

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Srednja šola za strojništvo, geotehniko in okolje, 2020/2021

CX prototip / naprava / filament / 3D tisk / parafinski vosek

AU BAJSIĆ, Matic

AA OSOJNIK, Viljem

PP 3320, Velenje, SLO, Velenje

PB High-school for engineering, geotechnical engineering and environment

PY 2021

TI Izdelava prototipa naprave za izdelavo filamenta za 3D tisk iz parafinskega voska

DT Research work

NO V, 48 pages, 2 tabels, 38 pictures, 10 references

LA sl

AL sl / en

AB

In the past few years 3D-printing became more and more accesible and popular. It is used both in household aplications and industrial ones, mainly for prototipization. Lately it is also used in mouldmaking. Wax is the most ideal material for use in moulding negatives, mainly because its low melting point. I wondered if it is possible to design and make a prototype on a device for manufacturing wax filament, that can later be used as a filament for 3D-printing using FDM technology.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
1.1	Pobuda za raziskovalno nalogo.....	1
1.2	Cilj naloge.....	1
1.3	Hipoteze.....	2
2	PREGLED OBJAV.....	3
2.1	Ekstruder za 3D-tisk voska.....	3
2.2	Parafinski vosek.....	5
2.3	Filament za 3D-tisk.....	6
2.4	Filament iz voska.....	7
2.5	Ekstruzijska naprava za izdelavo sveč.....	9
2.6	Kalupiranje z negativni iz voska.....	10
3	MATERIALI IN METODE.....	11
3.1	Mehanski deli.....	11
3.1.1	Osnovna plošča in nosilci.....	11
3.1.2	Cilinder in bat.....	11
3.1.3	Nosilci, narejeni s 3D-tiskom.....	12
3.1.4	Kalup za brizganje voska.....	13
3.1.5	Ogrodje in ostali deli.....	13
3.2	Elektronski del.....	14
3.2.1	Arduino.....	14
3.2.2	Motor.....	15
3.2.3	Napajalnik.....	16
3.2.4	Rele.....	17
3.2.5	Grelnik cilindra.....	17
3.2.6	Gonilnik koračnega servomotorja.....	18
3.2.7	Mehanska končna stikala.....	19
3.2.8	Ostale elektro komponente.....	19
3.3	Opis dela.....	20

3.3.1	Pridobitev ideje	20
3.4	Konstruiranje in sestava naprave.....	20
3.4.1	Izdelava posameznih delov	20
3.4.2	Sestava prototipa.....	21
3.4.3	Končna sestava mehanskega dela naprave	22
3.4.4	Zasnova elektro komponent naprave	23
3.4.5	Končna sestava elektro komponent naprave.....	25
3.5	Programiranje in prvi zagon.....	25
3.6	Opis delovanja naprave	26
4	REZULTATI	28
4.1	Stroškovna analiza.....	28
4.2	Uporabljeno orodje in stroji	30
4.2.1	Orodje	30
4.2.2	Stroji.....	30
5	RAZPRAVA.....	31
5.1	Hipoteze	31
5.2	Možne izboljšave prototipa	36
5.3	Vpliv na okolje.....	36
6	ZAKLJUČEK	37
7	POVZETEK.....	37
8	ZAHVALA	38
9	VIRI IN LITERATURA.....	39
9.1	Viri	39
10	PRILOGA	40
10.1	3D-model mehanskega dela naprave.....	40
10.2	Kosovnica ekstruderja.....	41

KAZALO TABEL

Tabela 1: Stroškovna tabela materiala in komponent	29
Tabela 2: Prikaz rezultatov testnih brizgov	31

KAZALO SLIK

Slika 1: Primerjava med navadnim ekstruderjem in ekstruderjem za vosek	4
Slika 2: Vzorci natisnjeni s tovrstnim ekstruderjem za vosek	4
Slika 3: Parafinski vosek.....	5
Slika 4: Klasični tipi filamentov	6
Slika 5: Filament z voskom v obliki žice.....	7
Slika 6: Filament z voskom v obliki palic	8
Slika 7: Ekstruzijska naprava za izdelavo sveč.....	9
Slika 1: Kalupiranje z negativni iz voska.....	10
Slika 9: Osnovna plošča in nosilci.....	11
Slika 10: Priprava na vrtnje luknje v cilinder.....	12
Slika 11: Vrtnje luknje v cilinder	12
Slika 12: 3D-natisnjeni nosilci.....	12
Slika 13: 3D-natisnjena prirobnica	12
Slika 14: Kalup	13
Slika 15: Izdelava kalupa na rezkalnem stroju	13
Slika 16: Arduino nano	15
Slika 17: Koračni motor stepnema 23HS45.....	15
Slika 18: Napajalnik za ostale porabnike.....	16
Slika 19: Napajalnik za koračni motor.....	16
Slika 20: Rele.....	17
Slika 21: Grelec.....	18

Slika 22: Gonilnik koračnega servomotorja	18
Slika 23: Zadnje končno stikalo.....	19
Slika 24: Prednje končno stikalo.....	19
Slika 25: Ostale elektro komponente	19
Slika 26: Priprava na laserski razrez.....	21
Slika 27: Laserski razrez testne osnovne plošče iz lepljene plošče	21
Slika 28: Dokončno sestavljen mehanski del naprave.....	22
Slika 29: Elektro shema	24
Slika 30: Sestavljen prvi del elektronike	25
Slika 31: Sestavljen drugi del elektronike	25
Slika 32: Posnetek zaslona iz SolidWorksa - ogrodje in nosilci.....	26
Slika 33: Posnetek zaslona iz SolidWorksa – Zadnji del naprave	27
Slika 34: Posnetek zaslona iz SolidWorksa – osrednji del naprave.....	27
Slika 35: Posnetek zaslona iz SolidWorksa – sprednji del naprave.....	28
Slika 36: Slaba zapolnjenost palice.....	32
Slika 37: Slaba kvaliteta površine palice	32
Slika 38: Votla sredina palice	33
Slika 39: Palica izbrizgana pri optimalnih parametrih.....	33
Slika 2: Posnetek zaslona iz SolidWorksa - Ekstruder spredaj.....	35
Slika 41: Posnetek zaslona iz SolidWorksa - Ekstruder zadaj.....	35
Slika 42: Posnetek zaslona iz SolidWorksa - Ekstruder brez pokrova spredaj.....	35
Slika 43: Posnetek zaslona iz SolidWorksa - Ekstruder brez pokrova zadaj.....	35

SEZNAM OKRAJŠAV

3D – tridimenzionalen

RPT – računalniško podprta tehnologija

FDM – fused deposition modelling

PLA – Polylactic Acid

ABS – Acrylonitrile butadiene styrene

ASA – Acrylic Styrene Acrylonitrile

CNC – computer numerical control

CAD – computer aided design

CAM – computer aided manufacturing

LCD – liquid crystal display

1 UVOD

Tehnologija 3D-tiska v današnjem času skokovito narašča v vseh vejah proizvodnje in v domači uporabi. 3D-tisk je način aditivne proizvodnje, kjer postopoma po plasteh dodajamo material, da dobimo končno obliko izdelka. Ta material so najpogosteje različne vrste plastike v obliki žice. S 3D-tiskom sem se srečal v šoli, natančneje pri krožku RPT (računalniško podprte tehnologije), kjer sem se začel spraševati, ali je mogoče izdelati prototip naprave za izdelavo filamenta še iz kakšnega drugega materiala, kot je na primer odpadni parafinski vosek iz sveč. Ta ima fizikalne lastnosti (predvsem nizko tališče), ki bi lahko bile uporabne pri prototipizaciji, modelarstvu, zlatarstvu ... Raziskal sem, ali je mogoče s pomočjo prototipa naprave, ki sem ga skonstruiral in izdelal, izdelati filament iz parafinskega voska v obliki voščenenih palic.

1.1 Pobuda za raziskovalno nalogo

V zadnjih dveh letnikih srednje šole sem se začel vse več srečevati s 3D-tiskom. Poznal sem tehnologijo 3D-tiska po tehnologiji FDM z materiali, kot so PLA, ABS, ASA in filamenti, ki vsebujejo nekaj voska, vendar me je zanimalo, če je to izvedljivo s filamentom iz čistega voska, ki ga nisem zasledil še nikjer, prav tako nisem še nikjer zasledil naprave, s katero je mogoče izdelovati tovrsten filament iz voska. Odločil sem se izdelati prototip takšne naprave.

1.2 Cilj naloge

Cilj naloge je bil izdelati varen in za uporabnika prijazen prototip naprave za izdelavo filamenta iz parafinskega voska ter raziskati njegovo zanesljivost ter uporabnost.

1.3 Hipoteze

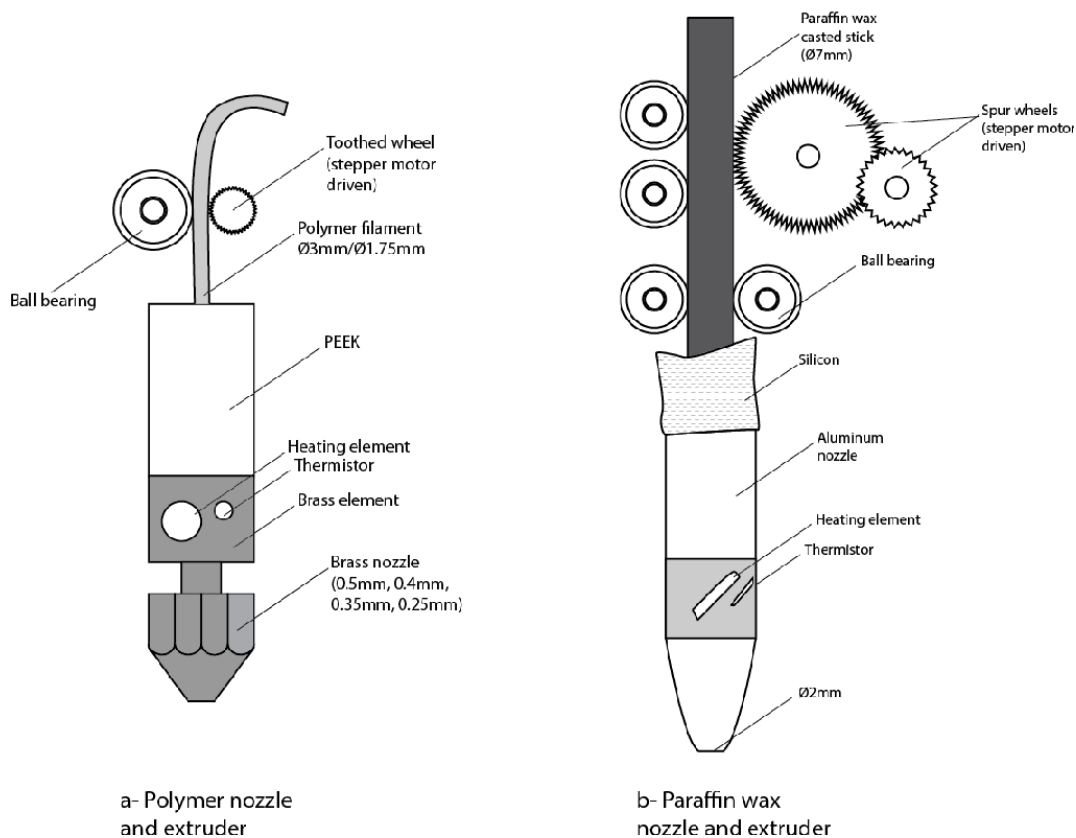
1. Mogoče je izdelati prototip naprave za izdelavo filamenta iz parafinskega voska za 3D-tisk.
2. Prototip naprave omogoča maloserijsko izdelavo tovrstnega filamenta.
3. Izdelan filament ima dovolj dobre trdnostne lastnosti, da lahko z njim 3D-tiskamo.

2 PREGLED OBJAV

2.1 Ekstruder za 3D-tisk voska

Podobno kot za 3D-tiskanje s plastiko je tudi za 3D-tisk z voskom potreben ekstruder. Problem pri filamentu iz čistega voska je, da je dosti šibkejši in občutljivejši na vplive zunanjih sil kot filament iz plastične mase. Hitreje se deformira in zlomi. Zaradi te lastnosti z voskom ni mogoče tiskati s klasičnim 3D-tiskalnikom po tehnologiji FDM, potrebna je uporaba ekstruderja posebnega tipa. Navaden ekstruder filament v šobo vleče ali potiska. Nanj deluje precej visoka strižna sila, ki bi filament iz voska nemudoma zlomila. Pri konvencionalnem ekstruderju se po navadi za dovod žice uporablja majhen zobnik, ki bi vosek ob vrtenju poškodoval. Uporabiti je potrebno ekstruder, katerega koncept je bil objavljen v raziskavi, ki je navedena pod virom št. 2; ta ima namreč več koles eno nad drugim v dveh vrstah in gnani zobnik, ki potiska filament v šobo. Shema takšnega ekstruderja lahko vidimo tudi na sliki 1, slika 2 pa prikazuje testne izbrizge s tem ekstruderjem. Pomembno je, da je dosti večji kot pri klasičnem ekstruderju, kolesa pa morajo biti nameščena tako, da vlečejo filament naravnost navzdol in ne pod kotom. S tem izločimo strižno silo in bistveno zmanjšamo možnost, da se filament zlomi ali kako drugače deformira. To pomeni, da na filament deluje le vlečna sila, na katero je filament iz voska bistveno bolj odporen. Na sliki 2 je prikazana primerjava med tradicionalnim ekstruderjem (na levi) in tistim za vosek (na desni). [3]

M. Bajsić: Izdelava prototipa naprave za izdelavo filameta za 3D-tisk iz parafinskega voska
Raziskovalna naloga, ŠC Velenje, Šola za strojništvo, geotehniko in okolje, 2021



Slika 3: Primerjava med navadnim ekstruderjem in ekstruderjem za vosek

(Vir: <https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/e75ee2cbfc7cbfe28a00a954718f72817eba19d4/8->

Figure3-1.png)



Slika 4: Vzorci, natisnjeni s tovrstnim ekstruderjem za vosek

(Vir:

<https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/e75ee2cbfc7cbfe28a00a954718f72817eba19d4/250px/10->

Figure4-1.png)

2.2 Parafinski vosek

Parafinski vosek je najbolj razširjena oblika voska po svetu. Je derivat, ki se pridobiva na nekaj različnih načinov. Najpogosteje je iz petroleja ali pa iz rjavega premoga. Pri sobni temperaturi je v trdnem agregatnem stanju, vendar je kljub temu zelo mehek. Taliti se prične že pri 37 °C, popolnoma utekočini pa se pri temperaturi od 60 do 70 °C. To pomeni, da ima zelo nizko tališče. Kljub temu pa ima dokaj visoko vrelišče (pri 370 °C). Zaradi teh fizikalnih lastnosti je idealen za uporabo v svečarski industriji. [1]



Slika 5: Parafinski vosek

(Vir:

https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTWIFcdBZ0e_qAZtet0Hchg1ucvVwKiLgZlSg&usqp=CAU)

V kaluparstvu se uporablja, ker po njegovem sežigu ni nobenih ostankov. Je skoraj brez barve, vonja in okusa ali pa je njegova barva rahlo motna (slika 3). Njegova struktura je mehka in voskasta. Pojavil se je leta 1830, odkril ga je nemški kemik Karl von Reichenbach, ko je želel ustvariti postopek za ločitev in rafiniranje voskastih substanc. Komercialno se pojavi šele leta 1867. Sprva je problem predstavljalo njegovo nizko tališče, nato pa so to popravili z dodajanjem raznih aditivov, ki so izboljšali njegovo gorljivost in točko tališča. Umeten parafinski vosek se je začel izdelovati po drugi svetovni vojni.

Danes se večinoma uporablja za izdelavo sveč, povoskanega papirja in drugih voščenenih proizvodov ali kot baza različnih maziv in drugih produktov kozmetične industrije.

Je tudi dober lubrikant in učinkovito preprečuje rjo. Poleg vsega tega se uporablja za izdelavo negativov za kalupiranje, na čemer temelji moja raziskava. [2]

2.3 Filament za 3D-tisk

Filament je material, s katerim 3D-tiskalnik izdeluje 3D-modele. Tridimenzionalno tiskanje je postopek aditivne proizvodnje, saj tiskalnik s pomočjo G-kode, ki jo generira računalnik, v plasteh dodaja material, dokler ne dobimo želenega modela. Filament je v veliki večini narejen iz umetne mase oziroma plastike. Najbolj znana sta materiala PLA in ABS, saj je z njima tisk najlažji, pa tudi tiskalniki so najcenejši.

Drugi tip filamentov so hibridi, katerih material je kombinacija plastike in primesi. Primesi vplivajo na določene trdnostne in fizikalne lastnosti končnega izdelka. Primer takega filameta je žica iz plastike, ki ji je dodana guma za dodatno prožnost. Sem spada tudi filament iz zmesi plastike in voska. Vsi ti filamenti so naviti na kolute (slika 4).[4]



Slika 6: Klasični tipi filamentov

(Vir: https://cdn.shopify.com/s/files/1/1298/7149/products/3d-printing-filaments-nylon-pet-pva-hips_grande.jpg?v=1527632581)

2.4 Filament iz voska

Za kalupiranje se uporabljajo filament na bazi voska, saj na ta način pri ulivanju materiala v kalup ne ostane nič filameta, kar je v nasprotju z uporabo klasičnih negativov, natisnjenih iz plastike PLA, kjer v kalupu ostane zažgana plastika. Prav zaradi tega je kakovost odlitka slabša. Filamenti so v svetu 3D-tiska neprimerljivo manj prisotni kot običajni filament, z njihovo proizvodnjo pa se ukvarja zelo malo ljudi. Ker jih ne proizvajajo tako masovno kot druge vrste filameta, je strošek proizvodnje večji in posledično so tudi za potrošnika bistveno dražji. Nekateri voščeni filament so tudi do desetkrat dražji od filamentov PLA. Obstajata dve obliki filameta, kjer je prisoten vosek.

Prvi je v obliki žice, ki je narejena iz voska z dodano plastiko in drugimi primesmi, ki dodatno regulirajo njegovo tališče, trdnost ter druge fizikalne in trdnostne lastnosti. Te so odvisne od proizvajalca. Vsem tovrstnim filamentom je skupno, da večinski del snovi, iz katerih so narejeni, predstavljata neka vrsta voska in plastike. Plastika pripomore pri prožnosti, vendar pa prav zaradi tega ta filament še vedno pusti nekoliko ostankov v kalupu. S tem filamentom je mogoče tiskati s tradicionalnim 3D-tiskalnikom, s katerim je mogoče 3D-tiskati s filamentom pri določeni temperaturi in hitrosti podajanja. Te parametre priporoči proizvajalec filameta po opravljenih testiranjih pred prodajo.



Slika 7: Filament z voskom v obliki žice

(Vir: <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/31Qj1J49wjL.jpg>)

Drugi tip filameta je iz čistega voska in je v obliki kratkih in debelih palic, podobnih voščenkam (slika 6). Za tiskanje s tem filamentom potrebujemo posebne 3D-tiskalnike, ki so zasnovani tako, da vosek dovajajo na posteljo v obliki majhnih kapljic, ki se takoj strdijo. Za tovrstno tiskanje sta potrebna izjemna natančnost tiskalnika in dobro izbrani parametri. Dobra stran tega filameta je, da se vosek pri kalupiranju ob stiku z vročo kovino nemudoma upari in ne pušča nobenih ostankov. To omogoča boljšo kakovost odlitka in čistejši kalup po njegovi odstranitvi. Za takšen filament oziroma takšne tiskalnike se odločajo predvsem posamezniki in podjetja, ki se s kaluparstvom ukvarjajo profesionalno in imajo potrebo po najboljši kakovosti končnih izdelkov. [5]



Slika 8: Filament z voskom v obliki palic

(Vir: https://1b8sr42k958n325cgk296qbd-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2018/04/solidscape_midax_3D_printer_wax@350px.png)

2.5 Ekstruzijska naprava za izdelavo sveč

Naprava, ki sem jo izdelal, je po delovanju najbolj podobna ekstruzijski napravi za izdelovanje sveč (slika 7). To je naprava, ki deluje na principu toplega stiskanja voska. V cilindru se vosek segreje na primerno temperaturo, tako da je njegova gostota podobna testu. Pri parafinskem vosku je to od 2 do 10 °C nad začetkom prehoda iz trdnega v tekoče stanje oziroma okoli 40 °C. Bat nato skozi konično šobo potisne vosek skupaj s stenjem in oblikuje svečo, ki se ob stiku z zunanjim zrakom ohladi. Zatem jo na primerni dolžini nož odreže.

Te naprave so v svečarski industriji med dražjimi, vendar se precej uporabljajo, ker ponujajo visoko raven avtomatizacije in omogočajo masovno proizvodnjo. Privlačne so, ker omogočajo tudi izdelavo visokih sveč velikih premerov. Največji ekstruderji, ki jih te naprave premorejo, lahko iztisnejo svečo premera 100 mm, vendar so zelo vsestranski, saj lahko enak ekstruder iztisne tudi bistveno manjše sveče do premera 20 mm. [6]

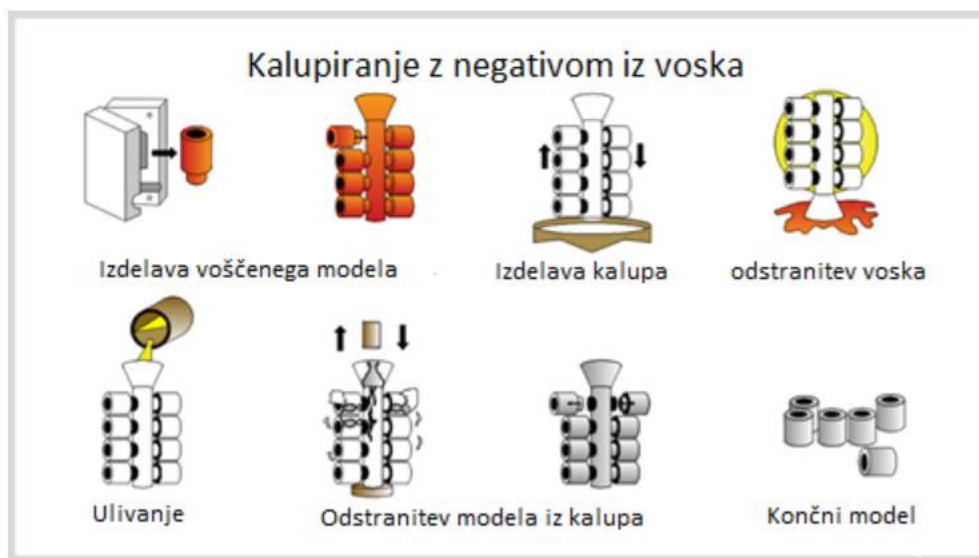


Slika 9: Ekstruzijska naprava za izdelavo sveč

(Vir: https://www.herrhammer.de/wp-content/uploads/2018/01/2_1_2_big-1-400x339.jpg)

2.6 Kalupiranje z negativni iz voska

Ker je glavni namen prototipa naprave za izdelavo filameta za 3D-tisk iz parafinskega voska tiskanje negativov za kalupiranje, je v nadaljevanju navedenih nekaj teoretičnih osnov s tega področja. Začetki tovrstnega kalupiranja segajo daleč nazaj, natančneje kar 6000 let pred našim štetjem. Postopek se je dolgo razvijal in izboljševal. Sestavljen je iz nekaj različnih korakov (slika 8). Najprej je potrebno izdelati voščeni model oziroma negativ, ta pa mora biti identičen odlitku, ki ga želimo dobiti na koncu postopka. Prav tu je 3D-tiskanje z voskom izredno primerno. Zatem se okoli negativa izdelava kalup, ki se običajno naredi iz peska ali mavca. Pri tem koraku je potrebno izdelati tudi kanale za dovod staljene kovine in kanale za odzračevanje. Kalup je zatem potrebno segreti do tolikšne temperature, da vosek, ki je v kalupu v celoti izgori oziroma se izpari. Prednost uporabe voska je, da pri tem v primerjavi s plastiko za sabo ne pusti nobenih saj. Ko vosek izgine, lahko pričnemo z ulivanjem. Staljeno kovino vlijemo v kanal za dovod kovine, ki smo ga izdelali predhodno do te mere, da napolni kalup. Ko se kalup ohladi, lahko nato odstranimo odlitek iz kalupa in ga očistimo. S tem je postopek kalupiranja z negativom iz voska končan. [13]



Slika 10: Kalupiranje z negativni iz voska

(Vir: <https://www.iqsdirectory.com/articles/investment-casting/lost-wax-casting/investment-casting-process.png>)

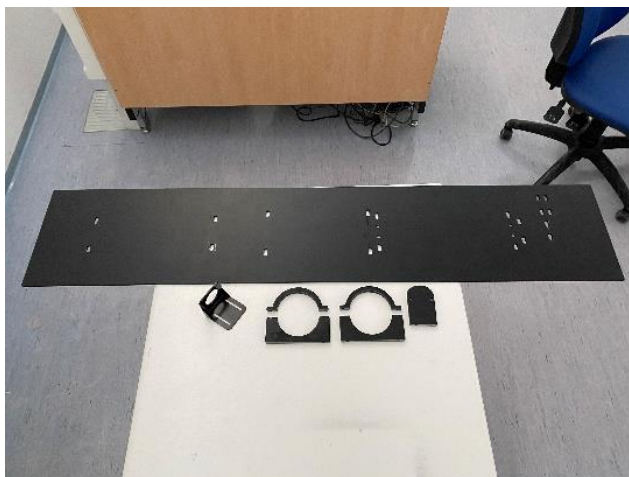
3 MATERIALI IN METODE

3.1 Mehanski deli

3.1.1 Osnovna plošča in nosilci

Osnovno ploščo in nosilce, ki prenašajo težje obremenitve, sem naredil tako, da sem iz Solidworksa uvozil skice v program RD-Works, ki je generator G-kode za CNC-rezalnike, v obliki .dxf datoteke.

Nosilna plošča in nosilci iz jekla so bili izrezani na CNC-plazemskem rezalniku. Dokončane nosilce in osnovno ploščo sem prebarval z barvo v spreju.



Slika 9: Osnovna plošča in nosilci
(Vir: lasten)

3.1.2 Cilinder in bat

Cilinder in bat sta narejena iz aluminija. Bat je bil izdelan na klasični stružnici. Cilinder je iz cevi (odpadni pnevmatski cilinder), na katero sem na začetku privaril čelno ploščo in vanjo izvrtal luknjo premera 3 mm, kamor sem kasneje namestil šobo (okvarjena šoba iz laserskega rezalnika). V cilinder sem izvrtal še luknjo za doziranje voska in odzračitev.



Slika 10: Priprava na vrtanje luknje v cilinder cilinder

(Vir: lasten)

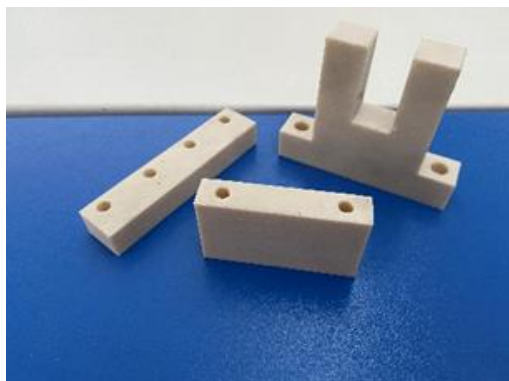


Slika 11: Vrtanje luknje v

(Vir: lasten)

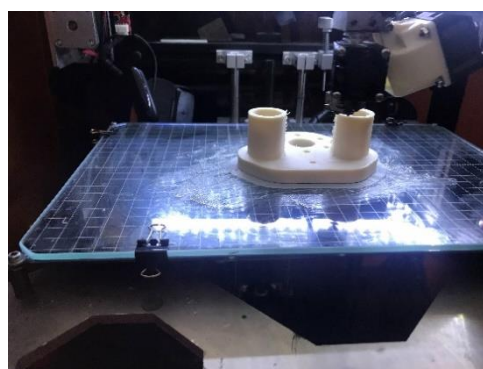
3.1.3 Nosilci, narejeni s 3D-tiskom

Določenih nosilcev (nosilce kalupa, vodil in srednjega ležaja) ni bilo potrebno izdelati iz kovine, ker prenašajo manjše obremenitve. Odločil sem se za 3D-tisk, ker je izdelava nosilcev na takšen način hitra, poceni in enostavna, omogoča pa tudi izdelavo zapletenejših oblik nosilcev. Za filament sem izbral plastiko ASA zaradi dobrih fizikalnih in trdnostnih lastnosti.



Slika 11: 3D-natisnjeni nosilci

(Vir: lasten)



Slika 13: 3D-natisnjena prirobnica

(Vir: lasten)

3.1.4 Kalup za brizganje voska

Kalup, v katerega naprava iztisne vosek, sem izdelal iz kvadratnih aluminijastih profilov izmer 20 x 20 mm z okroglim utorom premera 7 mm. Izdelan filament je prav tako premera 7 mm zaradi boljših trdnostnih lastnosti končnega produkta, njegov premer pa je tudi skladen z raziskavo, ki je navedena v viru št. 9. Najprej sem profile s tračno žago odrezal na mero, nato pa s krogelnim frezalom premera 7 mm porezkal utor po celotni dolžini profila. Za lažje brizganje in boljše tesnjenje sem profila na mestu, kjer prideta v stik s šobo, pogrezil. Dolžina kalupa je 500 mm. Tako znaša končni volumen iztisljene palice $38,48 \text{ cm}^3$.



Slika 12: Kalup
(Vir: lasten)



Slika 15: Izdelava kalupa na rezkalnem stroju
(Vir: lasten)

3.1.5 Ogrodje in ostali deli

Ogrodje je sestavljeno iz standardnih aluminijastih profilov dimenzij 45 x 45 mm različnih dolžin. Seznam ostalih delov:

- vodilne palice premera 5 mm
- nosilci vodilnih palic
- mala jermenica

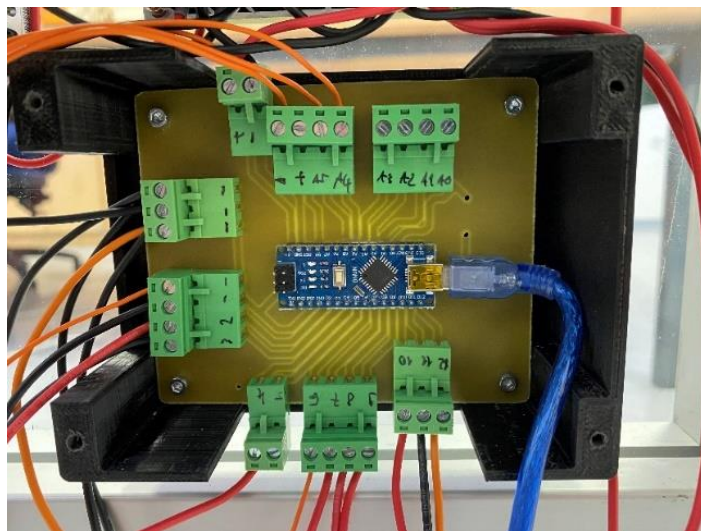
- velika jermenica
- jermen
- ležaj tipa P000
- ležaj tipa F000
- šoba s premerom luknje 3 mm
- navojna palica s trapeznim navojem 12 mm
- navojna matica s trapeznim navojem 12 mm
- drsni ležaji
- vijaki M6, M5, M4, M3
- podložke M6, M5, M4, M3
- matice M6, M5, M4, M3

3.2 Elektronski del

3.2.1 Arduino

Za krmiljenje naprave sem zaradi nizke cene, fleksibilnosti uporabe ter enostavnega programiranja izbral mikrokrmilnik arduino uno.

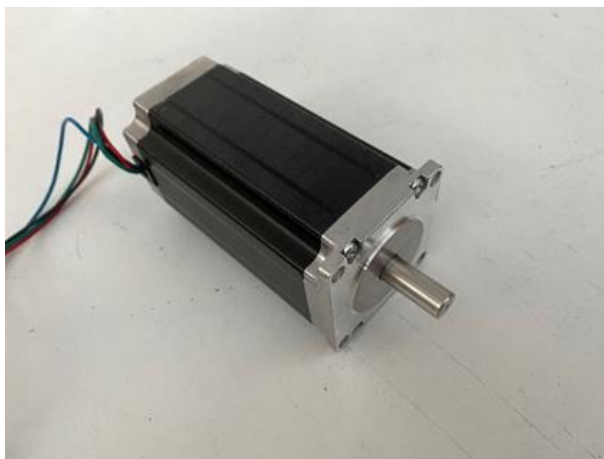
Arduino je mikrokrmilnik, ki je opremljen z analognimi in digitalnimi vhodi in izhodi, kar mu omogoča komuniciranje z različnimi drugimi vezji na komponentah, ki jih želimo krmiliti. Napajamo ga lahko preko USB tipa B ali pa eksterno z 9-voltno baterijo, čeprav lahko obratuje v razponu od 7 do 20 voltov. Arduino uno je pritrjen na vezno ploščo, vse skupaj pa je zatem vstavljeno v 3D-natisnjeno ohišje (slika 16) [7].



Slika 16: Arduino nano
(Vir: lasten)

3.2.2 Motor

Za motor sem izbral koračni motor step nema 23 HS45, ki doseže navor do 2 Nm, kar je več kot dovolj za tovrsten namen. Hitrost in navor sem še dodatno reguliral z izbranim prestavnim razmerjem (s številom zob male in velike jermenice). [8]



Slika 17: Koračni motor step nema 23HS45
(Vir: lasten)

Koračni motorji imajo celoten krog rotacije razdeljen v več korakov, zato se zavrti do določene pozicije brez uporabe posebnih senzorjev pozicije. Tovrstni motorji se precej uporabljajo pri ročno izdelanih CNC-laserskih rezalnikih, 3D-tiskalnikih in drugih računalniško krmiljenih napravah.

3.2.3 Napajalnik

Napajalnik je naprava, ki oskrbuje elektronski del naprave oz. porabnike z električno energijo. Večina napajalnikov ima možnost, da jim nastavimo na napetost 110/115 V, ki je prisotna v Ameriki in še ponekod drugod po svetu, ali pa na napetost 220/240 V. To napetost uporabljamo tudi v Sloveniji. Nekateri napajalniki te možnosti nimajo, zato je že ob nakupu potrebno izbrati pravi. Napajalnik nato to velikost napetosti pretvori v velikost napetosti, ki jo naprava potrebuje za obratovanje. Nekateri napajalniki lahko poleg napetosti pretvarjajo tudi tok iz enosmernega v izmeničnega in obratno. Tisti z višjo izhodno močjo morajo biti tudi ozemljeni. To prepoznamo po debelejši izvedbi priključka, ki se priključi v vtičnico.

Naprava, ki sem jo izdelal, potrebuje za delovanje dva različna napajalnika. Prvi oskrbuje z energijo koračni motor, drugi pa vse preostale porabnike.



Slika 18: Napajalnik za ostale porabnike
(Vir: lasten)



Slika 19: Napajalnik za koračni motor
(Vir: lasten)

3.2.4 Rele

Rele je po definiciji elektromagnetno stikalo, ki odpira in zapira povezavo med kontakti ter krmili pri nizki porabi energije. Najpomembnejši del pri releju je zmožnost komuniciranja z drugimi komponentami. Koristno je tudi, da lahko zazna nepravilnosti oziroma nezaželeno stanja v vezavi in sam odvzame napetost ter tako zaščiti napravo pred materialno škodo. [10]



Slika 20: Rele
(Vir: lasten)

3.2.5 Grelnik cilindra

Za segrevanje voska v cilindru je bilo potrebno namestiti grelec, torej napravo, ki električno energijo pretvarja v toploto.

Po krajšem iskanju sem ugotovil, da bi bil za mojo napravo še najbolj primeren silikonski grelec, ki se primarno uporablja za ogrevane postelje pri 3D-tiskalniku. Tovrsten grelec sem izbral, ker so se njegove dimenzije ujemale z dimenzijami cilindra, poleg tega pa njegova silikonska izvedba omogoča ovitje okoli cilindra.

Potrebno je omeniti tudi to, da ima vgrajen senzor temperature, preko katerega lahko natančno odčitavamo in določamo temperaturo cilindra.



Slika 21: Grelec
(Vir: lasten)

3.2.6 Gonilnik koračnega servomotorja

Gonilnik ali angleško driver, kot ga velikokrat poimenujemo, je naprava, ki krmili neko drugo komponento. Za krmiljenje koračnega motorja step nema tipa 23HS45 sem izbral gonilnik tipa DM542T. [9]

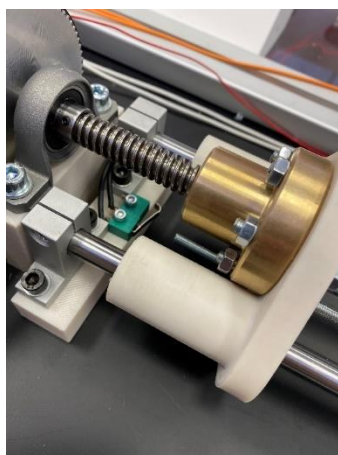


Slika 22: Gonilnik koračnega servomotorja
(Vir: lasten)

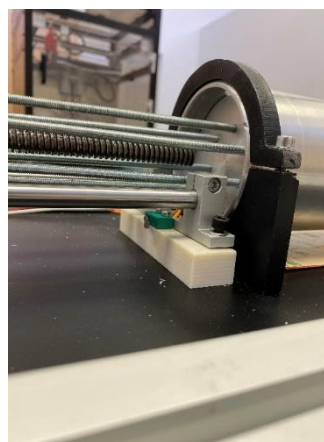
3.2.7 Mehanska končna stikala

Mehanska končna stikala omogočajo nastavitve dolžine giba določenim komponentam naprave v skrajnih legah. S tem preprečimo kolizije. Tovrstna stikala so najcenejša, so enostavna za vgradnjo in so v celoti zadostna za krmiljenje lege v naši napravi (sliki 23 in 24).

Uporabili bi lahko tudi brezkontaktna senzorja.



Slika 23: Zadnje končno stikalo
(Vir: lasten)



Slika 13: Prednje končno stikalo
(Vir: lasten)

3.2.8 Ostale elektro komponente

Seznam ostalih elektro komponent:

- stikalo za varnostni izklop
- tipka
- stikalo za spremembo smeri
- končna mejna stikala
- krmilna palica
- potenciometer
- LCD-zaslon



Slika 14: Ostale elektro komponente
(Vir: lasten)

3.3 Opis dela

3.3.1 Pridobitev ideje

Idejo za izdelavo raziskovalne naloge sem dobil, ko sem se začel več ukvarjati s 3D-tiskom. Odločil sem se raziskati, ali na trgu obstaja filament iz parafinskega voska in kako ga izdelujejo? Po pregledu objav sem prišel do ugotovitve, da filamenta, ki je iz čistega parafinskega voska, in omogoča tisk z običajnim 3D-tiskalnikom, na trgu še ni. Zato sem se odločil, da sam izdelam prototip naprave, ki omogoča izdelavo filamenta iz čistega parafinskega voska v obliki palic, in v okviru raziskave preverim, ali je s to napravo takšen filament sploh mogoče izdelati ali je tak filament primeren za 3D-tisk?

3.4 Konstruiranje in sestava naprave

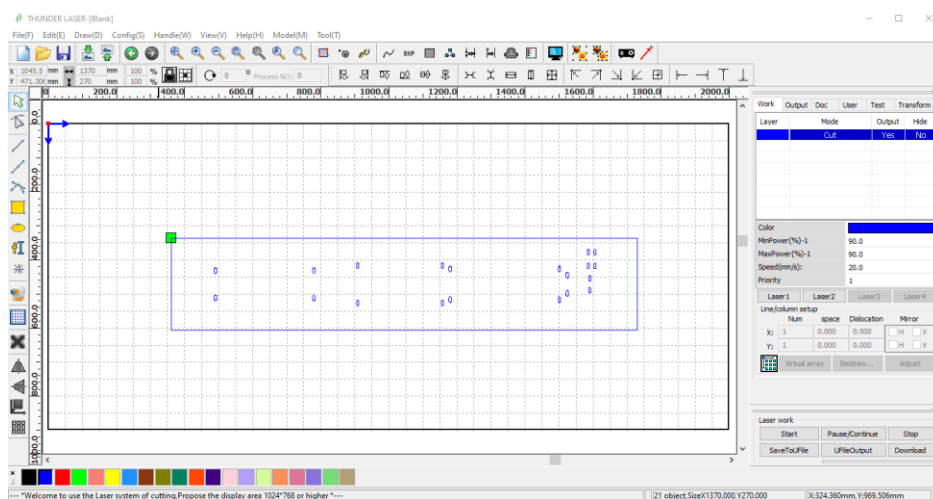
Ko sem k mentorju pristopil z idejo o raziskavi, sva se strinjala, da je napravo najprej potrebno idejno zasnovati v obliki skice, da sem lahko natančno predvidel dimenzije posameznih sestavnih delov. Skico sem s pomočjo programske opreme Solidworks pretvoril v 3D-obliko. To mi je kasneje omogočalo tudi lažjo sestavo komponent in lažje implementiranje popravkov.

3.4.1 Izdelava posameznih delov

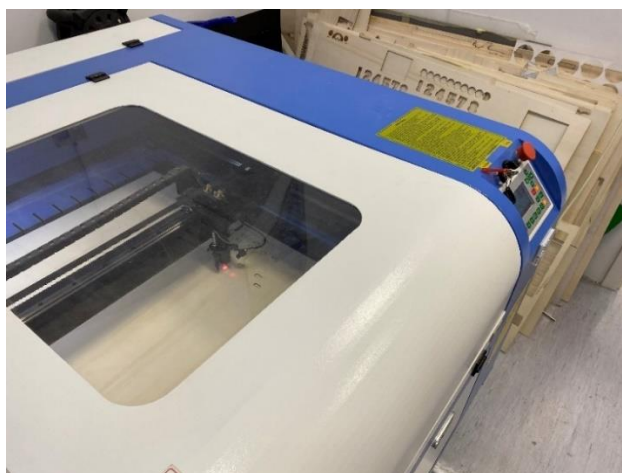
Ko je bil 3D-model naprave končan, sem pričel z izdelavo komponent naprave. Te sem izdelal z znanjem in izkušnjami s področja strojništva in mehatronike, ki sem jih pridobil v zadnjih štirih letih šolanja. Uporabljal sem strojne postopke obdelave (CNC-plazemski razrez, struženje in rezkanje) in ročne postopke obdelave (piljenje, žaganje z ročno žago ter brušenje).

3.4.2 Sestava prototipa

Preden sem odrezal osnovno ploščo iz jekla, sem jo s CNC-laserskim rezalnikom izrezal iz lesene vezane plošče s pomočjo programa RD Works (slika 26). Nanjo sem pritrdil vse komponente, da sem se prepričal, če je sestava naprave takšna kot v računalniški simulaciji. Pri tem sem ugotovil, da je nekaj pozicionirnih mest utorov potrebno popraviti. Po določenih popravkih, sem ploščo izrezal še iz jeklene plošče in nato nanjo pritrdil komponente.



Slika 15: Priprava na laserski razrez
 (Vir: lasten)



Slika 16: Laserski razrez testne osnovne plošče iz lepljene plošče
 (Vir: lasten)

3.4.3 Končna sestava mehanskega dela naprave

Najprej sem nosilce pritrtil do te mere, da se je njihov položaj lahko še popravil. Na zadnja dva nosilca sem pritrtil ležaje, nato sem namestil sklop z navojno palico (jermenice, navojno matico ter bat, ki sem ga kasneje namestil v cilinder). Preden sem ta sklop vstavil v zadnji ležaj, sem na jermenico namestil še zobati jermen. Nazadnje sem namestil še kalup. Ko sem bil zadovoljen s pozicijo vseh delov, sem nosilce dokončno privil. Za tem je bilo potrebno osnovno ploščo pritrčiti v profile. To sem naredil s pomočjo majhnih adapterjev debeline plošče, ki sem jih naredil s pomočjo 3D-tiska. Na to ogrodje sem nato pritrtil še profile, ki služijo kot noge in okvirji za elektroniko. Za lažjo predstavbo naprave je spodaj tudi slika.

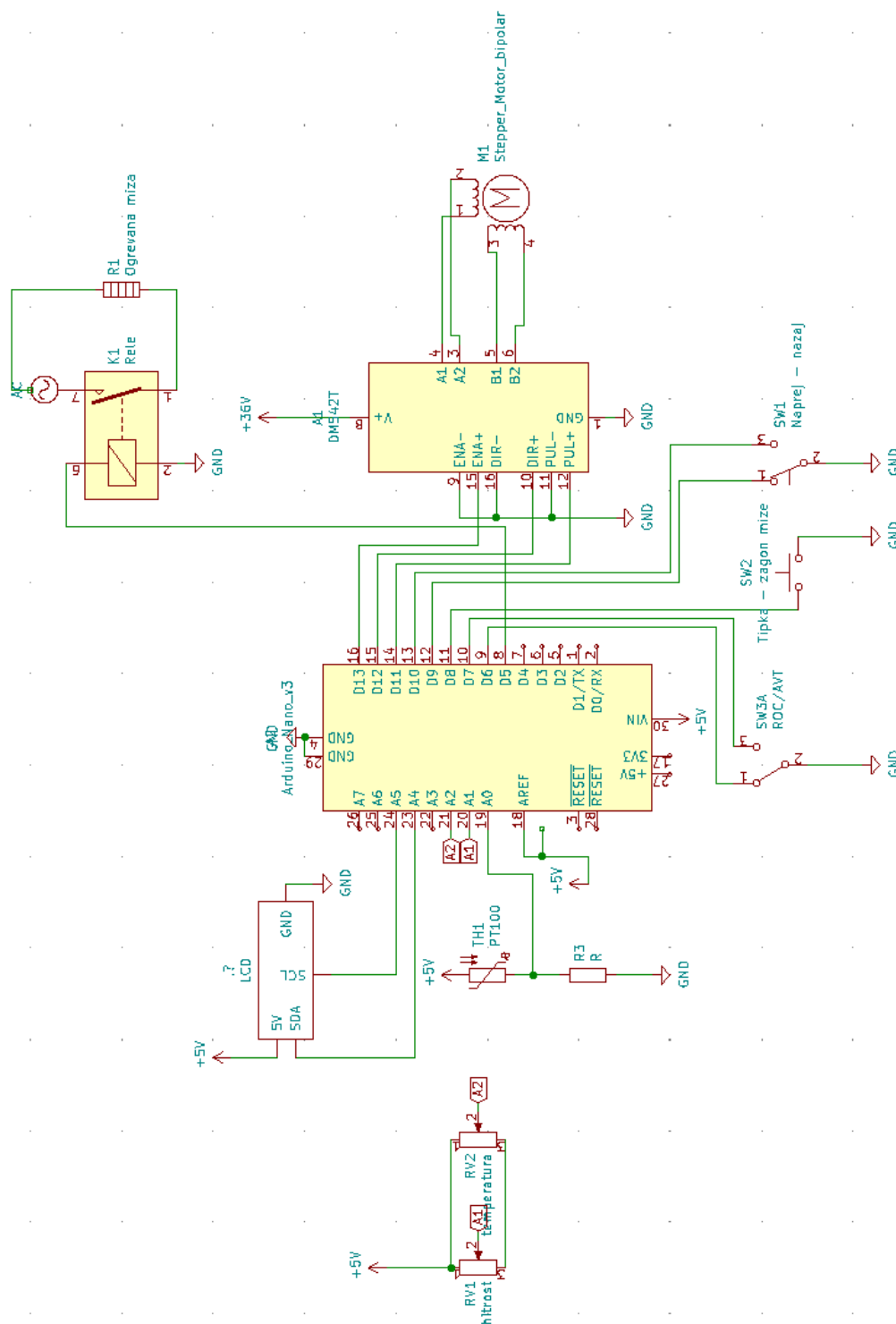


Slika 17: Dokončno sestavljen mehanski del naprave
(Vir: lasten)

3.4.4 Zasnova elektro komponent naprave

Za pomik bata sem izbral koračni motor step nema 23HS45, ki se pogosto uporablja pri raznih CNC-implementacijah. Pri tem sem upošteval tudi potreben navor. Nato sem izbral napajalnika za napajanje elektro komponent. Za pravilno delovanje motorja sem moral dodati še driver tipa DM542T, ki komunicira z mikrokontrolnikom in motorjem. Za potrebe krmiljenja sem uporabil arduino nano, nato pa sem dodal še dva releja – enega večjega in enega manjšega. Izbral sem še grelec in vsa končna stikala za pomik in ostala stikala (ročni in avtomatski pomik bata, zagon naprave ...). Za varnost delovanja skrbi tudi dodatna tipka (gobica za zasilni izklop naprave). Dodal sem tudi LCD-zaslon za izpis ključnih informacij. Ko sem izbral vse dele, sem ocenil še potrebno dolžino žic za vezavo elektronike.

M. Bajsić: Izdelava prototipa naprave za izdelavo filameta za 3D-tisk iz parafinskega voska
 Raziskovalna naloga, ŠC Velenje, Šola za strojništvo, geotehniko in okolje, 2021



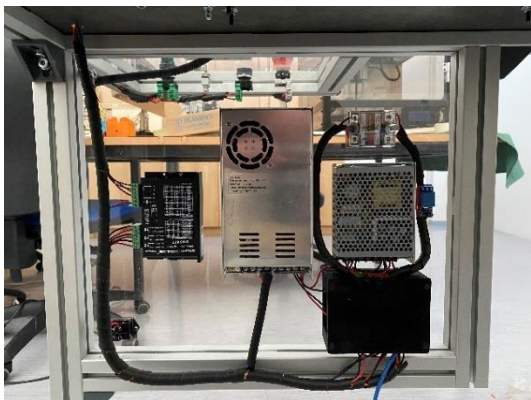
Slika 18: Elektro shema
 (Vir: lasten)

3.4.5 Končna sestava elektro komponent naprave

Odločil sem se, da bom elektronske komponente pritrdil na okvir na nogah okvirja. Stikala in LCD-zaslon, ki so potrebni za krmiljenje, sem pritrdil na okvir, ki je pritrjen na stranico mehanskega dela.

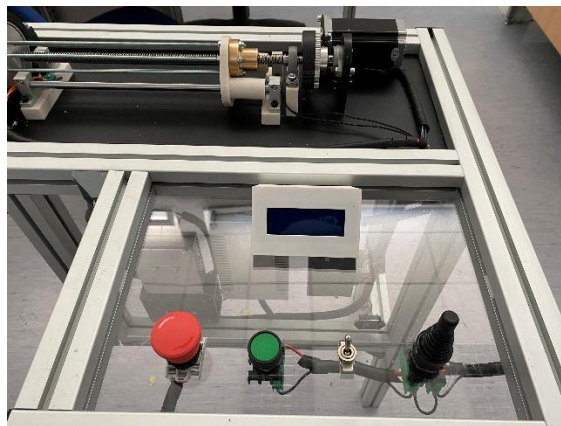
Plošča (slika 30), na katero sem pritrdil elektroniko, je iz pleksistekla zaradi enostavnega izreza na laserskem rezalniku. Nanjo sem pritrdil oba napajalnika, driver za motor, rele, arduino ter stikalo z vhodom za napajalni kabel. Na drugo vodoravno ploščo (slika 31), sem pritrdil LCD-zaslon, stikalo za varnostni izklop, stikalo za zagon, stikalo za spremembo smeri ter krmilno palico. Nato sem namestil še grelno posteljo, ki sem jo ovil okoli cilindra ter končna mejna stikala za izklop motorja.

Vse komponente sem nato povezal z žicami, kot je tudi prikazano v shemi elektronskega dela naprave.



Slika 19: Sestavljen prvi del elektronike

(Vir: lasten)



Slika 31: Sestavljen drugi del

(Vir: lasten)

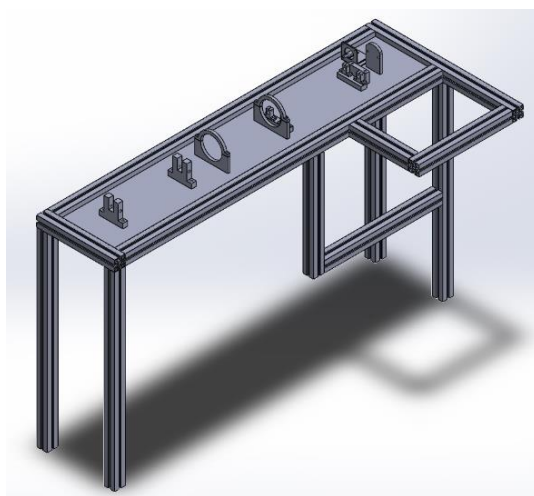
3.5 Programiranje in prvi zagon

Po sestavi komponent naprave je bilo potrebno izdelati program za mikrokrmilnik v programu za arduino. Definiral sem pozicijo vseh stikal in drugih elementov na vhodnih in izhodnih pinih mikrokrmilnika ter najprej usposobil motor. Za tem sem v program dodal še kodo za delovanje

grelne postelje in končnih mejnih stikal. Na tej točki je že bilo mogoče ročno upravljanje naprave. Program sem dopolnil, da bi bilo omogočeno tudi avtomatsko krmiljenje naprave.

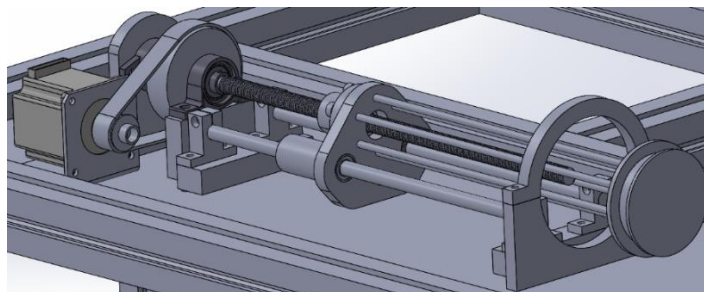
3.6 Opis delovanja naprave

Naprava deluje na principu toplega ekstrudiranja materiala. Sestavljena je iz ohišja, ki je narejeno iz profilov. Na ohišje je pritrjena osnovna plošča, kamor so pritrjeni nosilci iz istega materiala kot osnovna plošča.



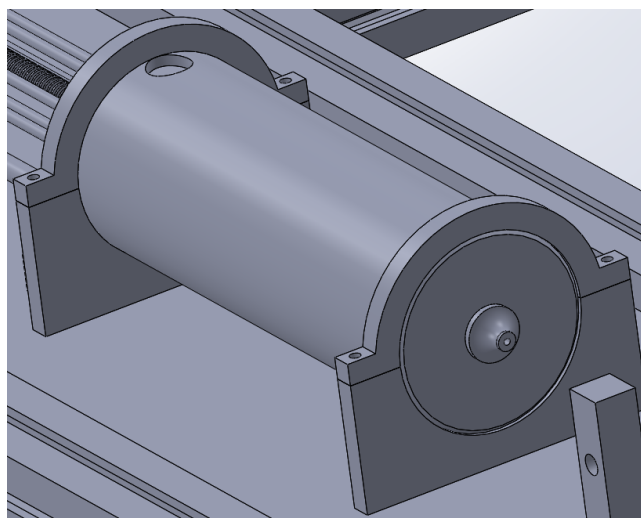
Slika 20: Posnetek zaslona iz SolidWorksa – ogrodje in nosilci
(Vir: lasten)

Na zadnji strani je pritrjen pogon, ki je sestavljen iz motorja, jermenic in zobatega jermena, ki prenaša vrtilno gibanje iz motorja na navojno palico. Ta je z dvema ležajema pritrjena na nosilce. Na navojni palici je navojna matica, ki vrtilno gibanje pretvarja v linearno. Da matica ne rotira, je s pomočjo 3D-natisnjene prirobnice pritrjena na vodila. Na matico je s pomočjo navojnih palic pritrjen bat s tesnilom.



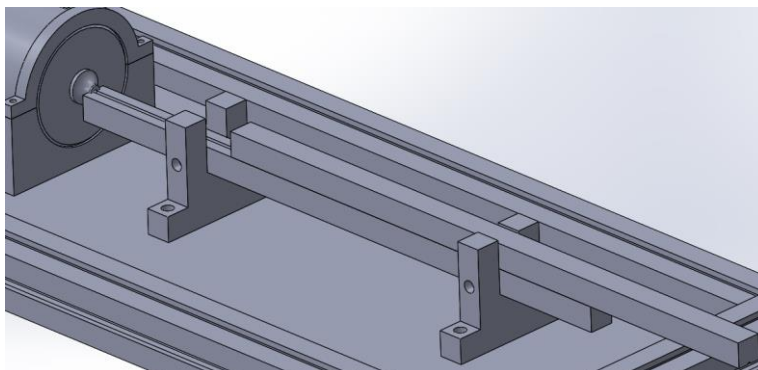
Slika 21: Posnetek zaslona iz SolidWorksa – zadnji del naprave
(Vir: *lasten*)

Vodila so sestavljena iz jeklenih palic ter drsnih ležajev. V osrednjem delu se nahaja cilindar. Ta je na osnovno ploščo pritrjen z jeklenimi nosilci.



Slika 22: Posnetek zaslona iz SolidWorksa – osrednji del naprave
(Vir: *lasten*)

Na sprednjem delu se nahaja kalup iz dveh delov (spodnji del je fiksni, zgornji pa je snemljiv). Pritrjen je z nosilci, izdelanimi s 3D-tiskom.



Slika 23: Posnetek zaslona iz SolidWorksa – sprednji del naprave
 (Vir: lasten)

Pred zagonom naprave kalup fiksiramo s sponami in bat pomaknemo v skrajni odprt položaj, ki ga definira končno stikalo, nameščeno na nosilcu vodil prirobnice. Nato skozi odprtino na batu doziramo vosek in ga najprej hladno stisnemo. Sledi vklop grelca, ki utekočini vosek. Cilinder odzračimo s pomočjo ventila za odzračevanje na sprednjem gornjem delu bata. Sledi ekstruzija voska. Motor dobi signal od krmilnega dela naprave in se zavrti. Vrtilno gibanje se prenese z jermenskega pogona na navojno palico, ki nato pomakne navojno matico, na kateri je pritrjen bat. Hod bata je odvisen od števila obratov. Ko je iztisnjena dovolj velika količina voska, da se kalup napolni, se motor ustavi. Operater lahko nato odstrani voščeno palico filameta iz kalupa, zapre kalup in ponovi postopek. Končno stikalo na sprednjem nosilcu prirobnice izklopi motor in tako prepreči batu, da bi se zaletel v čelno steno cilindra, ko je prazen.

4 REZULTATI

4.1 Stroškovna analiza

Pri izbiri vseh sestavnih komponent sem bil poleg njihove kompatibilnosti pozoren tudi na strošek celotne naprave in kakovost. Velik poudarek je bil tudi na izbiri komponent, ki so bile namenjene za reciklažo (cilinder, aluminijasti profili).

M. Bajsić: Izdelava prototipa naprave za izdelavo filameta za 3D-tisk iz parafinskega voska
 Raziskovalna naloga, ŠC Velenje, Šola za strojništvo, geotehniko in okolje, 2021

Tabela 1: Stroškovna tabela materiala in komponent

DEL	KOL.	CENA
Razrez in material jeklene nosilne plošče z	1	20 €
Cilinder	1	0 € (odpadni material)
Bat	1	10
Filament ASA	1 kg	20 €
Kalup (Al profil 20 x 20 mm)	2	15€
Ogrodje (Al profil 45 x 45)	9 m	0 € (odpadni material)
Vodila palice premera 5 mm	2	10 €
Nosilci vodilnih palic	4	10 €
Jermenica mala HTD-3M-15, Z=72	1	3 €
Jermenica velika HTD-3M-15, Z=24	1	8€
Jermen HTD-312-3M-15	1	8 €
Ležaj P000	1	8 €
Ležaj F000	1	8€
Šoba 3mm	1	0 € (odpadni material)
Navojna palica z trapeznim navojem 12 mm	1	0 € (odpadni material)
Navojna matica s trapeznim navojem 12 mm	1	27 €
Navojna palica M5	1	3 €
Drnsni ležaji 2	2	6€
Vijaki in matice		30 €
Arduino uno	1	10€
Napajalnik 1 (36 V, 400 W)	1	40 €
Napajalnik 2 (12 V, 250 W)	1	36 €
Driver s koračnim motorjem	1	74 €
Rele	1	11 €
Grelec	1	28 €
Stikalo za varnostni izklop	1	7 €
Tipka	1	5 €
Stikalo za spremembo smeri	1	5 €
Krmilna palica	1	14 €
Potenciometer	2	4 €
LCD zaslon	1	8 €
Končna stikala	2	4 €
Žice	30 m	4 €
SKUPAJ		436 €

V stroških niso zajeti stroški delovne sile, energije in strojev.

4.2 Uporabljeno orodje in stroji

4.2.1 Orodje

Določene operacije sem izvedel z ročnim orodjem predvsem tam, kjer delo s strojem ni bilo mogoče ali potrebno. Največ sem uporabljal razne pile, ročno žago in navojne svedre za ročno vrezovanje navojev.

Pomagal sem si z merilnimi napravami, kot so kotniki, merilne ure ter pomična merila.

4.2.2 Stroji

Za izdelavo naprave sem potreboval kar nekaj znanja s področja orodij in obratovanja s stroji. To sem večinoma pridobil pri praktičnem pouku. Uporabljal sem stroje za klasično (univerzalna stružnica, stebni vrtalni stroj ...) in CNC-obdelavo (laserski plazemski rezalnik in laserski stroj za rezanje in graviranje) ter 3D-tiskalnik.

5 RAZPRAVA

5.1 Hipoteze

Pri izdelavi raziskovalne naloge sem si zadal naslednje hipoteze.

1. Mogoče je izdelati prototip naprave za izdelavo filameta iz parafinskega voska za 3D-tisk.
2. Prototip naprave omogoča maloserijsko proizvodnjo izdelave tovrstnega filameta.
3. Izdelan filament je dovolj kakovosten, da lahko z njim 3D-tiskamo.

Prvo hipotezo sem v celoti potrdil, kajti uspelo mi je skonstruirati ter izdelati funkcionalen prototip naprave za izdelavo filameta iz parafinskega voska. Po optimizaciji določenih parametrov (hitrost pomika bata, temperatura cilindra) je na tej napravi mogoče brez težav izdelati filament v obliki palice iz parafinskega voska. Pri testnih brizgih sem kontroliral kakovost iztisnjene palice (enakomerno zapolnjena struktura, oblika in hrapavost površine). Ugotovil sem, da je idealna temperatura voska za brizganje 60 °C, kar je tudi njegovo tališče in hitrosti pomika bata 3 mm/s. Opravil sem teste pri temperaturi 60 °C in hitrostih pomika bata od 2 do 5 mm/s. Rezultati testov so prikazani v spodnji tabeli.

Tabela 2: Prikaz rezultatov testnih brizgov

	Hitrost pomika bata			
Temperatura	2 mm/s	3 mm/s	4 mm/s	5 mm/s
60 °C	Zapolnjenost je rahlo slabša.	Optimalni pogoji za brizg.	Zapolnjenost je rahlo slabša.	Zapolnjenost in kakovost površine sta občutno slabši.

Pri testiranju sem opazil nekaj napak v iztisnjenih palicah (slike 36, 37 in 38). Te sem odpravil s spreminjanjem zgoraj navedenih parametrov.

Te napake so:

- slaba zapolnjenost iztisnjene palice



Slika 24: Slaba zapolnjenost palice
(Vir: *lasten*)

- slaba kakovost površine



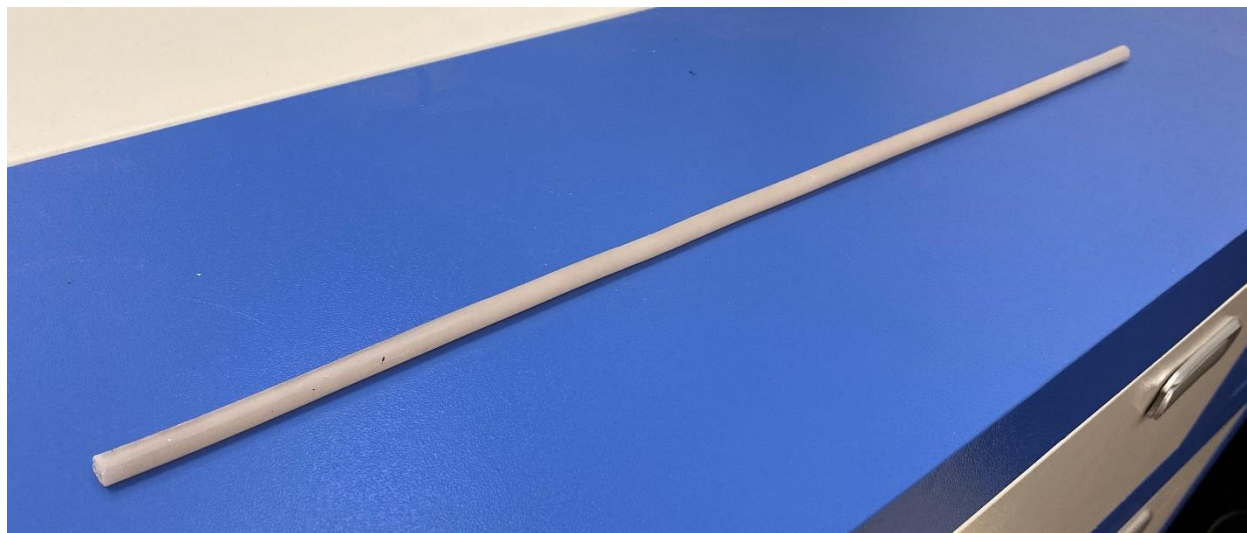
Slika 25: Slaba kakovost površine palice
(Vir: *lasten*)

- votlost skozi sredino palice



Slika 26: Votla sredina palice
(Vir: lasten)

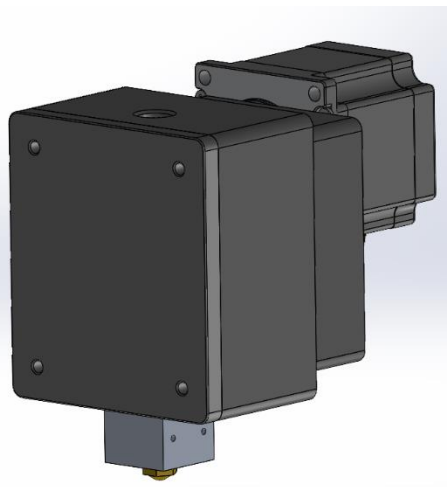
Kot je že bilo omenjeno in je razvidno iz tabele, je bil brizg najuspešnejši pri temperaturi 60 °C in pomiku 3 mm/s.



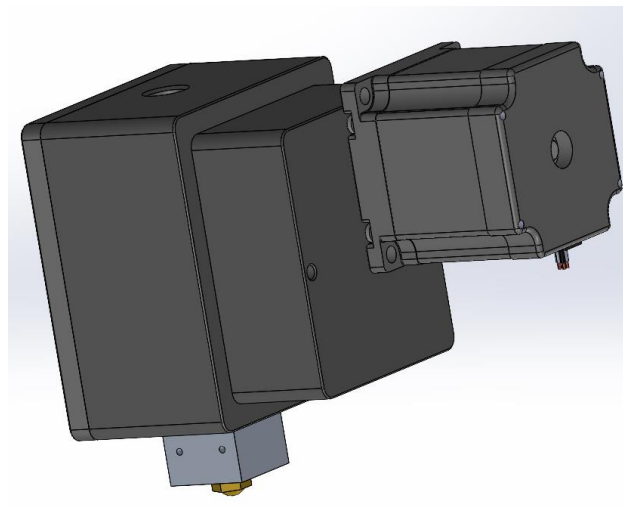
Slika 27: Palica, izbrizgana pri optimalnih parametrih
(Vir: lasten)

Tudi drugo hipotezo lahko potrdim, saj je volumen cilindra (1272 cm^3) veliko večji, kot je volumen utora v kalupu ($38,48 \text{ cm}^3$). Že majhen pomik bata zadostuje za zapolnitev kalupa oz. izdelavo filameta v obliki palice. Če upoštevamo določene izgube pri polnitvi, lahko z eno polnitvijo izdelamo okoli 30 palic. Tak rezultat dobimo pri pogoju, da pri odstranitvi palic iz kalupa ni izmeta. Pri trenutno izdelani napravi pa je to mogoče le v primeru, da je delavec, ki upravlja z napravo, precej več in da je temperatura kalupa pod $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Upoštevati moramo tudi, da je drugo polnjenje ob že zagretem cilindru hitrejša in učinkovitejša, torej je hitrejši tudi celoten proces, saj pri nadaljnjih polnjenjih ne porabimo toliko pripravljalnega časa kot pri prvi. Zato bi bila proizvodnja, kjer bi izdelovali eno serijo za drugo, brez da bi se cilindri ohladili, najbolj idealna. Ob tovrstni proizvodnji pa je potrebno kalup dodatno hladiti, saj se toplota prenaša nanj med procesom preko šobe.

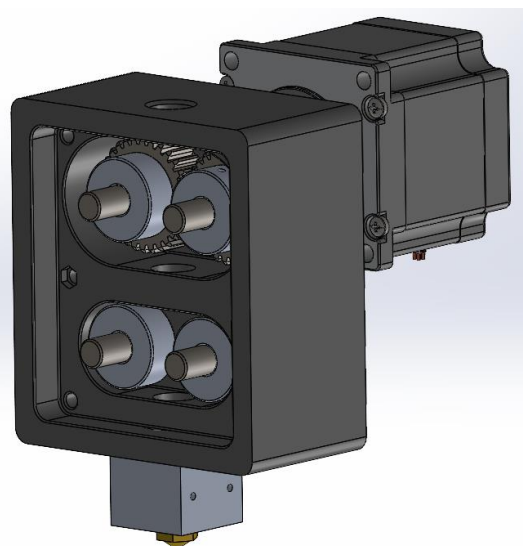
Tretjo hipotezo lahko potrdim le pogojno, saj ima filament, ki sem ga izdelal, določene trdnostne lastnosti (upošteval sem nateg, tlak in strig), ki ne ustrezajo 3D-tisku po tehnologiji FDM z ekstruderji, ki so trenutno dobavljivi na tržišču, tisk pa bi bil mogoč z modelom ekstruderja, ki sem ga opisal v prvi točki pregleda objav. Tovrsten ekstruder je predmet raziskave, ki je navedena pod virom št. 2. Tovrstnemu ekstrudiranju ustreza tudi dimenzijsko, kajti voščena palica ima premer 7 mm, njena dolžina pa je 500 mm. V času raziskave sem izdelal tudi 3D-model ekstruderja za tiskanje tovrstnega filameta. Zasnovan je tako, da filament vleče naravnost v ekstruder in ga ne izpostavlja strižnim silam. Nanj delujejo predvsem tlačne in natezne sile, na katere pa je dokaj dobro odporen. Kombinacija zobniškega prenosa in dveh jermenskih prenosov nam omogoča, da lahko ekstruder poganja le en motor in se jermenice vrtijo v pravilni smeri. Zaradi uporabe le enega motorja je ekstruder tudi veliko kompaktnější, lažji in cenejši (slike 40, 41, 42 in 43).



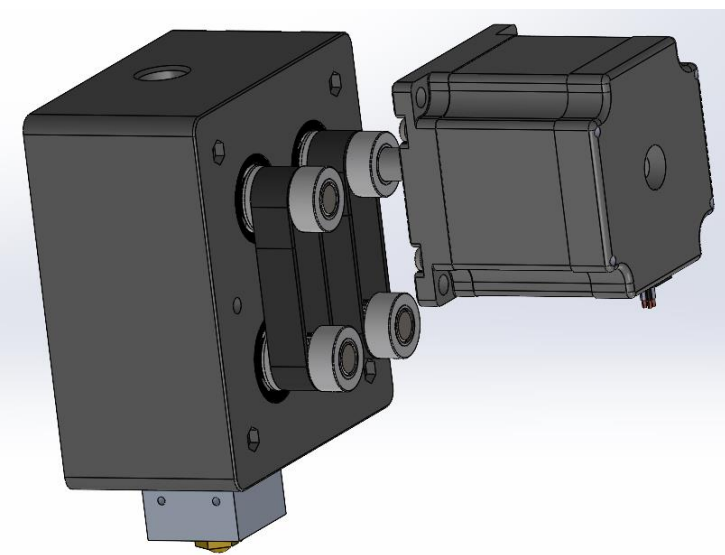
Slika 28: Posnetek zaslona iz SolidWorksa
 Ekstruder spredaj
 (Vir: lasten)



Slika 41: Posnetek zaslona iz SolidWorksa
 Ekstruder zadaj
 (Vir: lasten)



Slika 42: Posnetek zaslona iz SolidWorksa
 Ekstruder brez pokrova spredaj
 (Vir: lasten)



Slika 43: Posnetek zaslona iz SolidWorksa
 Ekstruder brez pokrova zadaj
 (Vir: lasten)

Ekstruder poganja koračni motor step nema 23, ki je na kosovnici v prilogi označen s številko 13. Ta nato s pomočjo zobniškega pogona (št. 3) in dveh jermenskih pogonov, ki jih sestavljajo,

prenaša vrtilno gibanje na štiri jermenice (št. 5). Vsak par jermenic je zasnovan tako, da se jermenice vrtijo druga proti drugi, kar omogoča vlečenje filameta v grelna telo iz aluminija (št. 9) in nato naprej v šobo (št. 10). Vsi deli so sestavljeni v ohišju (št. 1), ki je pokrito s pokrovom 1 (št. 6) in pokrovom 2 (št. 8).

5.2 Možne izboljšave prototipa

Prototip naprave je ob dodatnem finančnem vložku mogoče še nekoliko izboljšati (večja avtomatizacija postopka ekstrudiranja in upravljanja naprave z vgrajenim nožem na čelni stran kalupa). Ta bi lahko po ekstruziji voska iz kalupa palice odrezal na ustrezno mero, palice pa bi se nato nabirale v posebnem zaboju. To bi pomenilo, da operaterju ne bi bilo potrebno vsake palice individualno odstraniti iz kalupa. Mogoča je tudi nadgradnja sistema za doziranje voska v cilinder, ki je sedaj dokaj zamuden, saj je utor na vrhu cilindra dokaj majhen. Poskrbeli bi lahko tudi za manjše toplotne izgube z namestitvijo komore na zgornjem delu naprave.

5.3 Vpliv na okolje

Parafinski vosek prištevamo v skupino naftnih derivatov, torej tako kot drugi naftni derivati (bencin, kerozin) ni na voljo v neomejenih količinah, njegova proizvodnja pa je dokaj zapletena. Prav zaradi tega je zelo pomembna reciklaža voska. V največjih količinah se pojavlja pri nagrobnih svečah, ki so v zadnjih letih postale prava ekološka katastrofa. Pri izdelavi naprave sem se osredotočil na reciklažo prav teh sveč (nizko tališče parafinskega voska). Vosek lahko iz sveče neposredno doziramo v napravo brez kakršnekoli predhodne predelave in ga tako recikliramo oz. pretvorimo v filament za 3D-tisk. Parafinski vosek ni povsem brez škodljivega vpliva na okolje in človeka. Najbolj sporna kemikalija, ki jo oddaja pri izogrevanju, je benzen, ki je povezan s povzročanjem bolezni na dihalih. Kljub temu pa je količina škodljivih kemikalij, ki jih oddaja pri izogrevanju, zanemarljiva v primerjavi z ostalimi naftnimi derivati. [11] [12]

6 ZAKLJUČEK

Pri izdelavi raziskovalne naloge sem se naučil veliko novega o 3D-tisku, filamentih in parafinskem vosku. Pridobil sem veliko praktičnega znanja ter znanj s področja konstruiranja elektrotehnike, elektronike in mehatronike, ki mi bodo zelo koristila v času študija in pri kasnejši zaposlitvi.

7 POVZETEK

Pred začetkom sem o temi, ki sem si jo izbral za izdelavo raziskave, opravil pregled objav. Pregledal sem objave o najbolj uporabljenih tipih filamentov za 3D-tisk, nato pa še nekaj o filamentih, kjer je prisoten vosek (velik poudarek je bil na parafinskem vosku). Preveril sem tudi, kaj je zapisano o napravah za ekstruzijo sveč, ki so po delovanju precej podobne mojemu prototipu naprave za ekstrudiranje voščenih palic. Sledila je idejna zasnova izdelave naprave in izdelava 3D-modela s pomočjo računalniškega programa SolidWorks. Potem sem pričel z izdelavo in nabavo mehanskih komponent, ki sem jih sestavil v celoto. Naslednji koraki so bili nabava elektrokomponent, vezava elektronike ter programiranje. To mi je vzelo kar nekaj časa, kajti to ni moja stroka. Pomoč in nasvete, ki sem jih potreboval, sem dobil pri somentorju in na spletu. Ob sestavljanju mehanskega električnega dela naprave sem opazil kar nekaj nepravilnosti, ki sem jih moral odpraviti, vendar pa je sestava potekala brez prevelikih zapletov. To pripisujem predvsem izdelavi 3D-modela naprave, kjer sem lahko preko računalniške simulacije preveril, če se vse ujema. Ko je bila naprava v celoti dokončana, je prišel na vrsto prvi zagon. Pri njem sem ugotovil, da je potrebna še rahla kalibracija naprave. S poizkušanjem različnih kombinacij je bilo potrebno poiskati pravilno hitrost podajanja bata ter temperaturo ogrevanega cilindra. Z malo truda mi je uspelo najti ustrezne parametre. Tako sem lahko zanesljivo izdeloval voščen filament, ki se je brez večjih težav ločil od aluminijastega kalupa. Ko sem izdelal prvi filament, sem ugotovil, da ima dokaj dobro tlačno in natezno trdnost, njegova slabost pa je slaba odpornost na strig, torej ga ne moremo uporabljati v kombinaciji s tradicionalnim ekstruderjem.

8 ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Viljemu Osojniku, ki mi je pomagal, svetoval in stal ob stani skozi izdelavo celotne naloge, ter somentorju Klemnu Hlebu, ki mi je pomagal pri izdelavi in vezavi elektronskega dela naprave ter njenem zagoni. Zahvaljujem se tudi profesorjem praktičnega pouka Marku Rutniku, Mitji Pustatičniku, Vladu Seitlu in Rajku Brodeju ter Šoli za strojništvo, geotehniko in okolje, ki mi je nudila finančno podporo ter omogočila uporabo delovnih prostorov in opreme, ki sem jih potreboval pri izdelavi.

9 VIRI IN LITERATURA

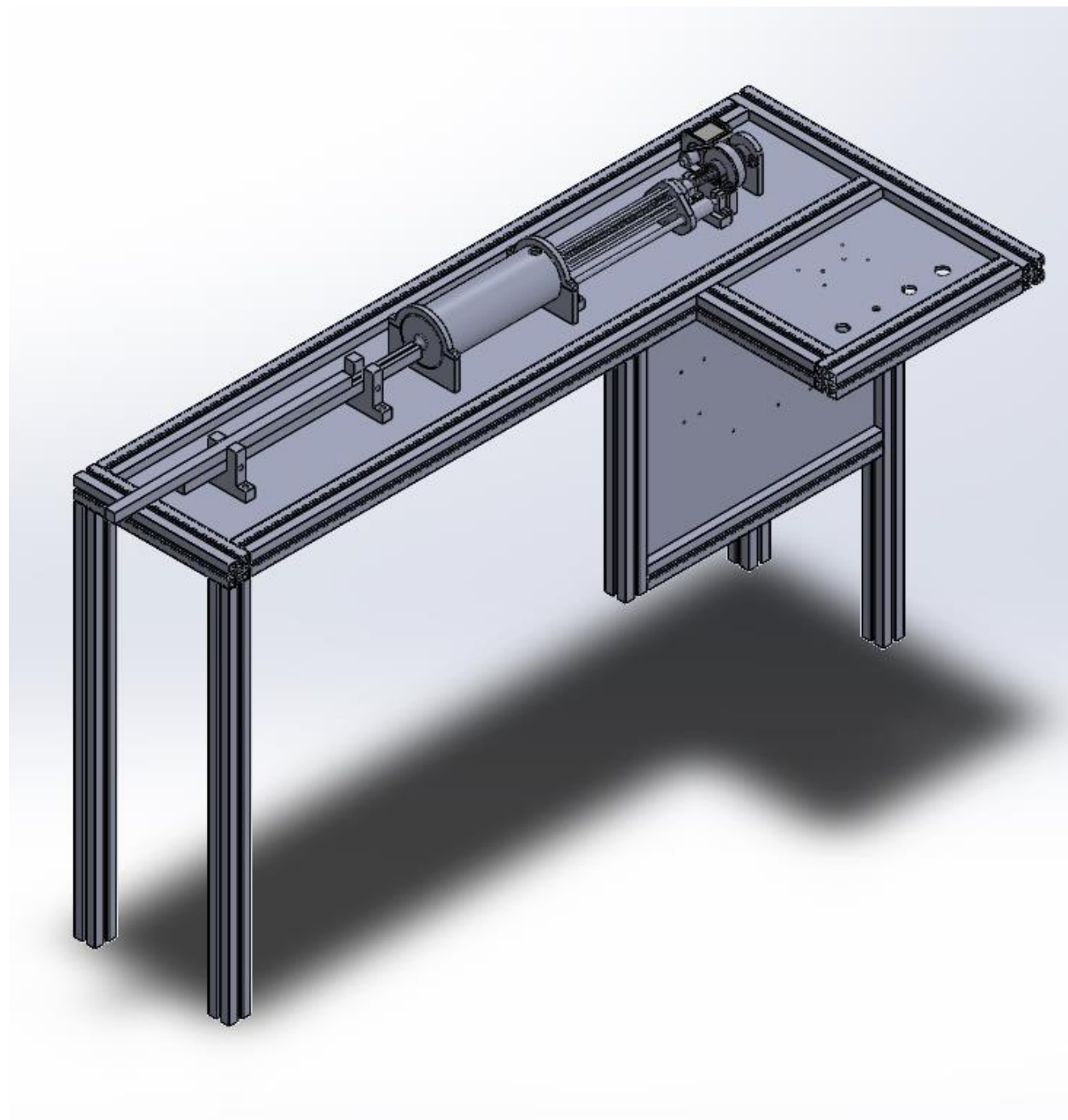
9.1 Viri

- [1] <http://www.inchem.org/documents/icsc/icsc/eics1457.htm> [12. 1. 2021].
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Paraffin_wax [12. 1. 2021].
- [3] https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/105850339/01_Development_of_a_Paraffin_Wax_deposition_unit_for_FDM_1_.pdf [15. 1. 2021].
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing_filament [16. 1. 2021].
- [5] <https://www.solidscape.com/3d-printing-materials/wax/> [18. 1. 2021].
- [6] <https://www.herrhammer.de/en/products/extruder-pressing/> [22. 1. 2021].
- [7] <https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino/all> [15. 2. 2021].
- [8] <https://si.farnell.com/motor-control-stepper-motor-drivers-technology> [15. 2. 2021].
- [9] <https://www.omc-stepperonline.com/stepper-motor-driver/> [15. 2. 2021].
- [10] <https://circuitdigest.com/article/relay-working-types-operation-applications> [15. 2. 2021].
- [11] <https://www.healthline.com/health/paraffin-wax> [20. 2. 2021].
- [12] <https://essentials.banyantree.com/blogs/blog/no-love-for-paraffin-wax> [20. 2. 2021].
- [13] Lost-wax Casting: Old, New, and Inexpensive Methods [10. 5. 2021].

Avtor: Fred R. Sias, Jr., PhD

10 PRILOGA

10.1 3D-model mehanskega dela naprave



10.2 Kosovnica ekstruderja

