

ŠOLSKI CENTER CELJE



**SREDNJA ŠOLA ZA STROJNIŠTVO, MEHATRONIKO IN
MEDIJE**

RAZISKOVALNA NALOGA

NAPRAVA ZA IZDELAVO 3D POLNILA

Izdelala:

Lenart MAROVT, M-4. c

inž.

Tilen RAK, M-4. c

Mentorja:

mag. Andro GLAMNIK, univ. dipl.

mag. Matej VEBER, univ. dipl. inž.

Celje, marec 2020

ZAHVALA

Zahvaljujema se Srednji šoli za strojništvo, mehatroniko in medije, za vso podporo in, da nama je nudila prostor, kjer sva lahko raziskovala. Hvala mentorjema mag. Mateju Vebru in mag. Andro Glamniku za idejo in motivacijo ter vodenje. Hvala gospodu Milanu Starcu in njegovim dijakom za pomoč pri realizaciji strojnih elementov, ki so funkcijsko dopolnili raziskovalno nalogo. Hvala Jaši Samcu in njegovi ekipi za nudenje pomoči, ko sva jo najbolj potrebovala. In nenazadnje hvala prof. Brigiti Renner za lektoracijo pisnega dela naloge.

POVZETEK

Na porastu so 3D tiskalniki, ki pa s svojo visoko produktivnostjo in prilagodljivostjo lahko za sabo puščajo veliko plastičnih odpadkov. Ker je skrb za okolje čedalje večja in stremimo k čim bolj samozadostnim virom, nastajajo najrazličnejše rešitve za novonastale probleme. Raziskovalna naloga govori o izdelavi naprave za učinkovito proizvodnjo in reciklažo polnila za 3D tiskalnike. Opisuje načrt izdelave in postopke razvijanja idej za izdelavo različnih plastičnih filamentov. Predstavlja hipoteze, ki jih potrjuje ali ovrača in prikaže uspeh naprave ter zadanih ciljev. Mednje sodijo: kako lahko napravo cenovno upravičujemo, preprostost izdelave takšne naprave, kakovost izdelane plastike, ki je primerljiva s kupljeno in ekonomična upravičenost za posameznika.

KAZALO

1 UVOD	7
1.1 OPIS PROBLEMA	8
1.1.1 Plastična onesnaženost	9
1.2 HIPOTEZE	15
1.3 RAZISKOVALNE METODE	16
2 3D TISKANJE	18
2.1 POSTOPKI TISKANJA	18
2.1.1 Modeliranje	18
2.1.2 Tiskanje	20
2.1.3 Končna obdelava	21
2.2 VRSTE 3D TISKA	22
2.2.1 Materiali za 3D tisk	25
2.3 APLIKACIJE	26
2.4 OKOLJEVARSTVO	27
3 NAČRT IZDELAVE	28
3.1 OPIS NALOGE	28
3.1.1 Osnovni princip delovanja	28
3.1.2 Idejna skica	29
3.1.4 Električno vezje	30
3.1.5 Koncept modela	32
3.2 OPIS DELA	38
3.2.1 Težave pri izdelavi	42
3.3 ANALIZA NALOGE	44
3.3.1 Cenovna upravičenost	45
3.3.2 Delovanje naprave	48
3.3.3 Učinkovitost naprave in primerjava plastike	50
3.4 POTRDITEV HIPOTEZ	51
3.5 MOŽNOSTI IZBOLJŠAV	52

4 ZAKLJUČEK	54
5 VIRI IN LITERATURA	55
SPLETNI VIRI	55

KAZALO SLIK

- Slika 1: Odpadni 3D material
- Slika 2: CAD model
- Slika 3: Plastno tiskanje s polimeri
- Slika 4: FDM tiskanje
- Slika 5: DLP tiskanje
- Slika 6: Primerjava različnih tipov polnil
- Slika 7: 3D tiskana pljuča
- Slika 8: Osnovna ideja
- Slika 9: Električno vezje
- Slika 10: Izometrični pogled naprave
- Slika 11: Naris naprave
- Slika 12: Naprava zadaj
- Slika 13: Nastavek za povezavo motorja s svedrom
- Slika 14: Povezava osi
- Slika 15: Nastavek za motor
- Slika 16: Nov motor
- Slika 17: Šoba
- Slika 18: Osnovna konstrukcija
- Slika 19: Aksialni ležaj za preobremenitev
- Slika 20: Groba organizacija sestavnih delov v ohišju
- Slika 21: Pritrditev grelcev
- Slika 22: Približnja konfiguracija naprave
- Slika 23: Končna konfiguracija naprave
- Slika 24: Uspešen test naprave

Slika 25: Neuporabna plastika

Slika 27: Uspešno delovanje naprave

Slika 28: Predelana plastika

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Letna svetovna proizvodnja plastike

Graf 2: Skupna svetovna proizvedena plastika

Graf 3: Kaj se zgodi s proizvedeno plastiko?

Graf 4: Kaj se zgodi z odpadno plastiko?

Graf 5: Plastika v oceanih

Graf 6: Kje se plastika akumulira?

Graf 7: Tortni prikaz rezultatov anketnega vprašanja

1 UVOD

Z vedno hitrejšim razvojem gospodarstva in posledično tudi družbe, človek vedno išče načine, da bi si olajšal in izboljšal življenje. Tako je bilo tudi leta 1869 [4], ko je John Wesley Hyatt iznašel prvi delno sintetičen polimer, ki je služil kot nadomestni material za slonovino, to pa je leta 1907 nadgradil Leo Baekeland, ki je naredil prvi popolnoma sintetičen polimer, bakelit. Zaradi 2. svetovne vojne in pomanjkanja naravnih materialov med njo pa se je plastika razvijala še hitreje kot prej, saj je bila cenejša in lažje dostopna opcija. Proizvodnja ni upadla niti po koncu vojne, kmalu pa se je človek začel zavedati, da ima ta sintetičen material tudi slabe lastnosti.

Z razvojem industrije se je povečevala tudi masa proizvedene in posledično tudi količina odpadne plastike. Ker material ni naraven se, ko ga odvržemo ne razgradi oziroma se razgraja zelo dolgo. To so ugotovili že v 60. letih 19. stoletja, ko so prvič opazili delce odpadne plastike v oceanih. S časom sta se masa odpadne plastike in njen vpliv na okolje večala, ljudi pa je začelo skrbeti, zato smo pričeli odpadno plastiko reciklirati. Problem pa je, da tudi s pomočjo reciklaže ne moremo popolnoma izničiti odpadnega materiala, ki ga odvržemo v okolje.

V najboljšem interesu vseh nas je, da poskušamo zmanjšati količino nerazgradljivega materiala, ki ga odvržemo in tako pripomoremo k čistejšemu okolju. To sva imela v mislih tudi midva, med realizacijo svoje raziskovalne naloge.

1.1 OPIS PROBLEMA

V svetu kjer je vse večja ozaveščenost o okoljskih spremembah in kako ljudje vplivamo na planet se vsakič pojavi vprašanje kako lahko izboljšamo obnovljivost virov, ki jih potrebujemo za razvoj, proizvodnjo in preprosto življenje. Tehnologija napreduje iz dneva v dan in ta napredek se kaže največ na področju razvoja inovativnih tehnologij ter izboljšanju kvalitete proizvodenj. Nekoč je bilo potrebno vse ideje razviti v delujoče prototipe na licu mesta, danes pa lahko mnogo stvari simuliramo z računalniškimi programi in takšne ideje razvijemo v prototipe z različnimi oblikami 3D modeliranja. Najpreprostejše metode so s 3D tiskom. Gre za stiskanje plastičnih polimerov skozi ogrevane šobe, ki nam lahko nudijo velike natančnosti. Oblikujemo in izdelujemo lahko do meja, ki nam jih postavlja naša domišljija. Vendar pa se s tem pojavi tudi okoljevarstveni problem. Ko model iz računalniškega sveta prenesemo v resničnega preko 3D tiskanja, s tem ustvarimo veliko nezaželenih odpadkov. Plastičnih odpadkov. V času, ko želimo čim več plastike zamenjati za druge bolj obnovljive in robustne, okolju prijazne materiale, se pri razvoju 3D tehnologij pojavi moralno nasprotovanje. Res, da lahko oblikujemo vse kar si lahko zaželim, ampak s tem pripomoremo k dodatnemu madežu plastičnega onesnaženja.

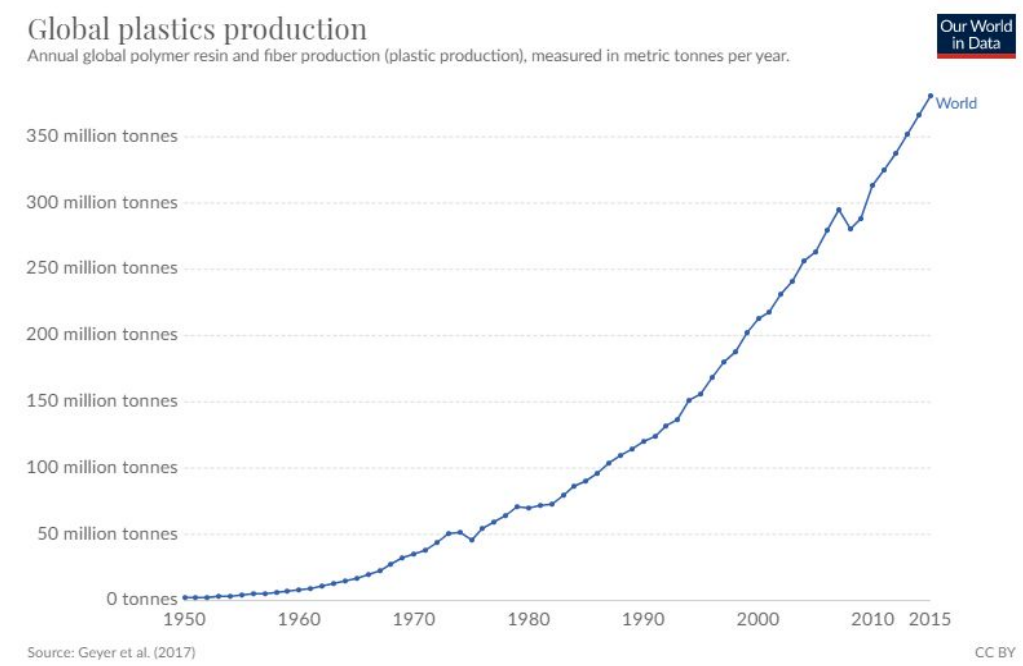
Plastično onesnaževanje se vsako leto procentualno povečuje v neverjetnih številkah. Lahko si oči pred tem zatiskamo in upravičujemo naš plastični odtis s tem, da “razvijamo nove tehnologije”, ampak to lahko dela vsak. Če bi imel celotni svet takšno miselnost, se nič ne bi spremenilo. Zato je potrebno izkoristiti vsako priložnost, ki jo imamo, s katero lahko pripomoremo k varovanju našega planeta. Četudi je to samo, da pravilno delamo z odpadki, ki jih proizvedemo z razvojem 3D tehnologij.

1.1.1 Plastična onesnaženost

Kot smo že ugotovili, je glavni problem proizvodnje sintetičnih polimerov njihova nerazgradljivost, ki pripomore k masivnemu onesnaževanju okolja. Plastična onesnaženost okolja pa je odvisna od večih faktorjev:

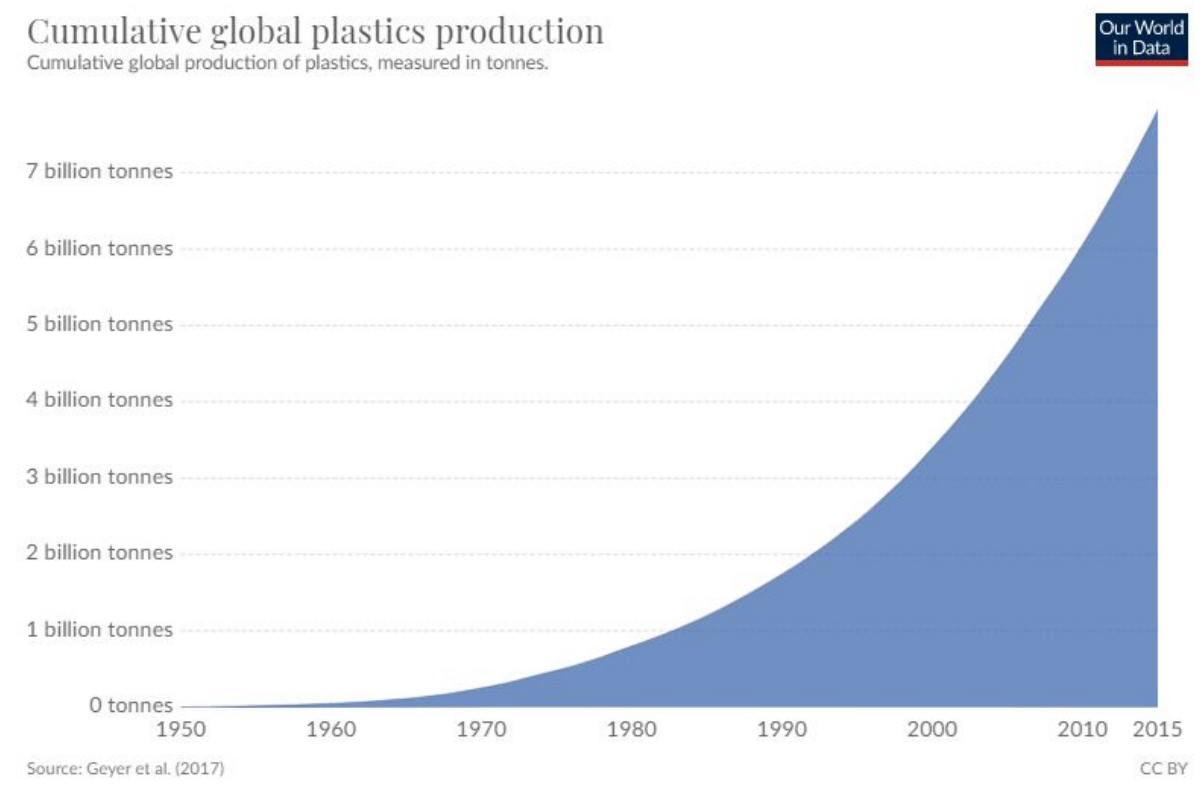
- količine proizvedene plastike
- količine odpadne plastike
- kaj naredimo z odpadno plastiko

V zadnjem stoletju se je z razvojem industrije proizvodnja plastike drastično povečala. To je pripomoglo k velikemu napredku pri izboljšavi človeškega življenja, prav tako pa k masivnemu onesnaževanju okolja. Kot je razvidno iz grafa se količina proizvedene plastike iz leta v leto povečuje.



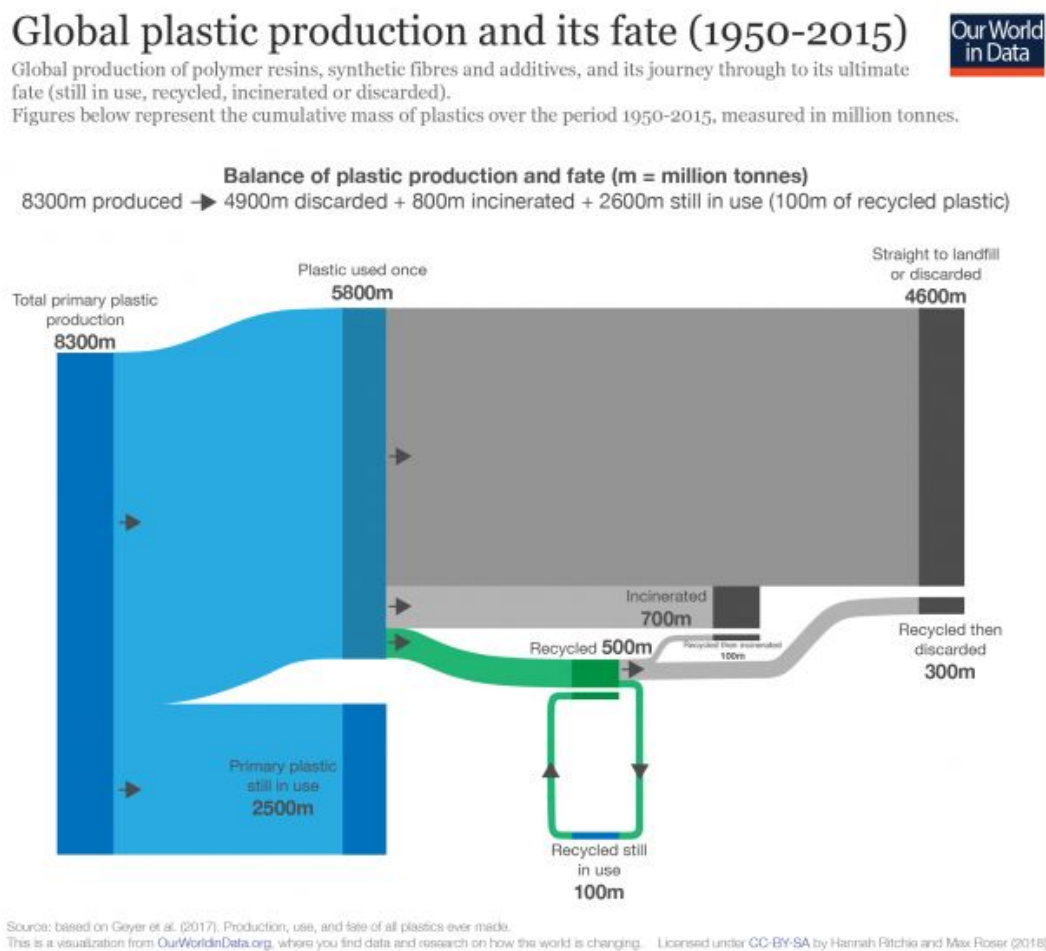
Graf 1: Letna svetovna proizvodnja plastike
(Vir: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution#how-do-we-dispose-of-our-plastic>)

Na tem grafu pa vidimo, koliko plastike je človek že proizvedel od njene iznajdbe. Za vsakega človeka na planetu obstaja skoraj 1 tona plastike.



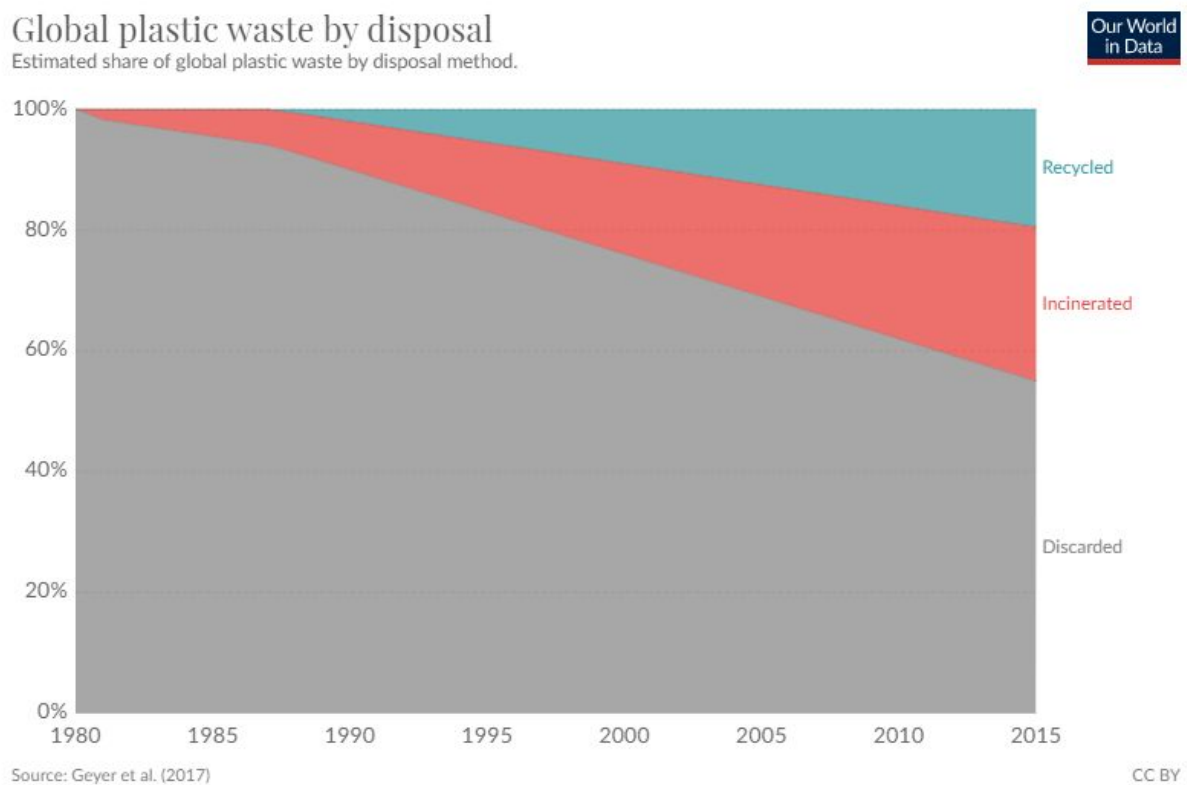
Graf 2: Skupna svetovna proizvedena plastika
(Vir: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution#how-do-we-dispose-of-our-plastic>)

Glavni problem pa ni, koliko plastike je na našem planetu, ampak koliko je odvržemo. Plastika, ki je nenadzorovano odvržena v okolje ima možnost, da škoduje okolju in njegovim prebivalcem. Kot vidimo na spodnji sliki, skoraj polovico proizvedene plastike po enkratni uporabi odvržemo, kar povzroči okoljski problem.



Graf 3: Kaj se zgodi s proizvedeno plastiko?
 (Vir: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution#how-do-we-dispose-of-our-plastic>)

Ko je plastika zavržena ima 3 možne usode: reciklažo, sežig ali odstranitev. Od začetka smo se odločali le za odstranitev, tako da smo odpadke zbirali na organiziranih smetiščih. Zaradi neorganiziranosti in malomarnosti pa je prišlo do onesnaževanja okolja. Z napredkom osveščenosti z okoljskimi problemi pa smo pričeli tudi z reciklažo, ki danes predstavlja usodo kar 20 % odpadne plastike. Prav tako pa se odpadna plastika sežiga, kar pa ni dobro za naše ozračje, zato rabimo boljšo rešitev.

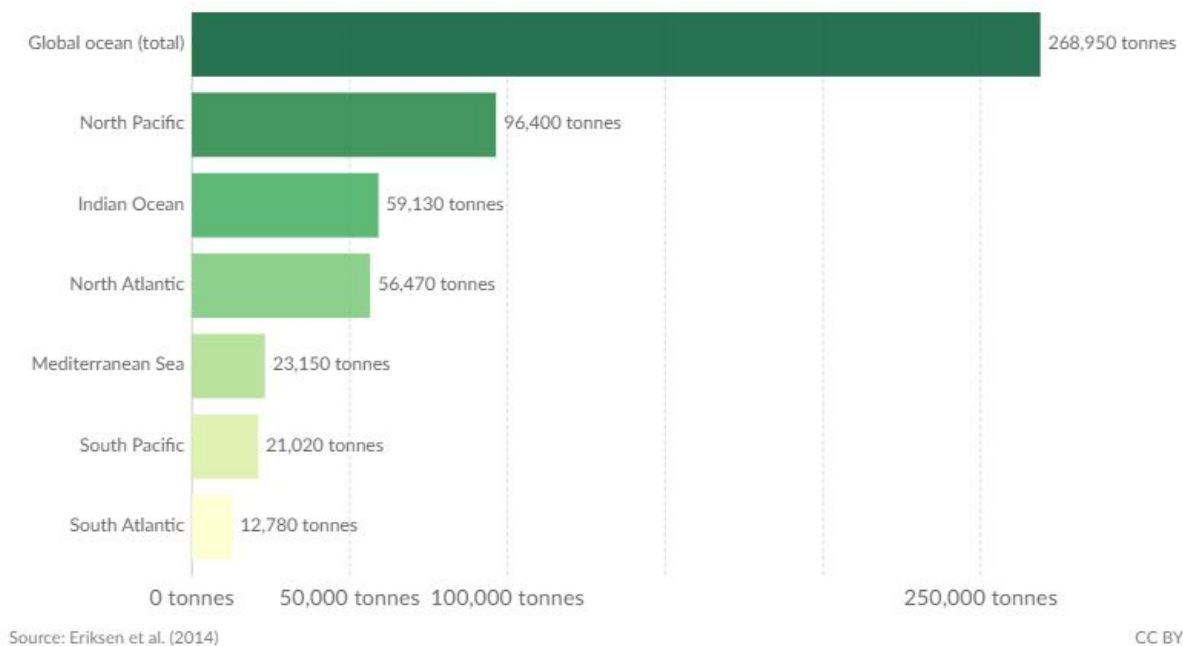


Graf 4: Kaj se zgodi z odpadno plastiko?
(Vir: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution#how-do-we-dispose-of-our-plastic>)

Čeprav je plastika nerazgradljiva, še ne pomeni, da mora škodovati okolju. Glavni razlog, da je naše okolje polno plastike, je človeška malomarnost. V okolju pristane le plastika, ki je neorganizirano odvržena, več kot očitno pa je takšne plastike na pretek. Spodnji graf prikazuje, koliko odpadkov je zgolj na površju naših oceanov, pod površjem pa se skrivajo še večji problemi. Tujki v naravnem habitatu divjih živali škodujejo njihovem zdravju, živali lahko odpadki fizično onesposobijo ali pa jih celo zastropijo.

Surface plastic mass by ocean basin, 2013

Quantity of plastic waste floating at the ocean surface within each of the world's ocean or marine basins. This is measured in terms of the mass of particles ranging from small microplastics to macroplastics. It includes only plastics within surface waters (and not at depth or on the seafloor).



Graf 5: Plastika v oceanih

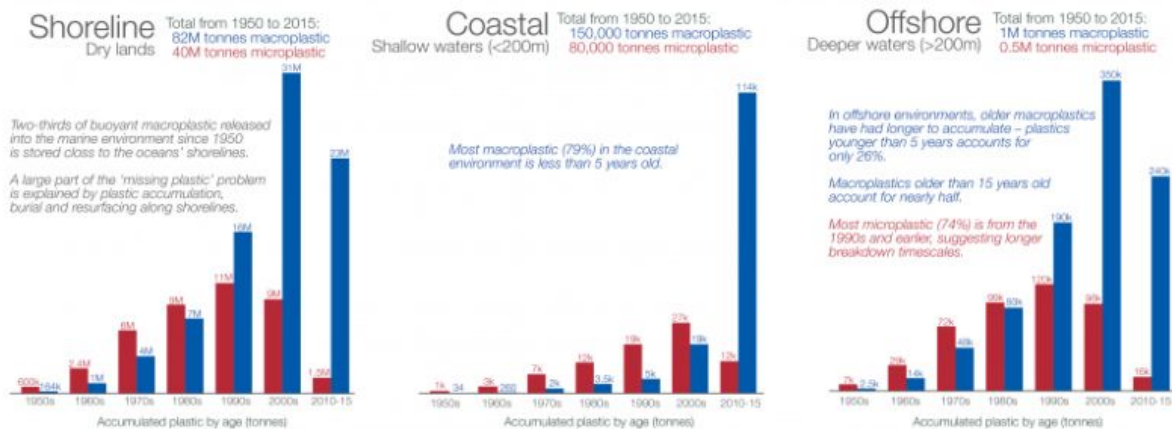
(Vir: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution#how-do-we-dispose-of-our-plastic>)

Kot vidimo na spodnjem grafu se največ plastike nabira ob obalah, torej v bližini človeškega življenjskega prostora. Z onesnaževanjem okolja ne škodujemo le okolju in njegovim prebivalcem ampak tudi sebi. V vodi je velika količina mikroskopskih delcev plastike, ki jo naša hrana, preden jo ulovimo, zaužije. S pomočjo onesnaževanja okolja človek ne uničuje le svojega doma ampak zastruja tudi samega sebe.

Where does plastic accumulate in the ocean?

Macroplastics are greater than 0.5cm in diameter
Microplastics are smaller than 0.5cm

Our World
in Data



Data source: Lebreton et al. (2019), A global mass budget for positively buoyant macroplastic debris in the ocean. This is a visualization from OurWorldInData.org, where you find data and research on the world's largest problems.

Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie.

Graf 6: Kje se plastika akumulira?

(Vir: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution#how-do-we-dispose-of-our-plastic>)

1.2 HIPOTEZE

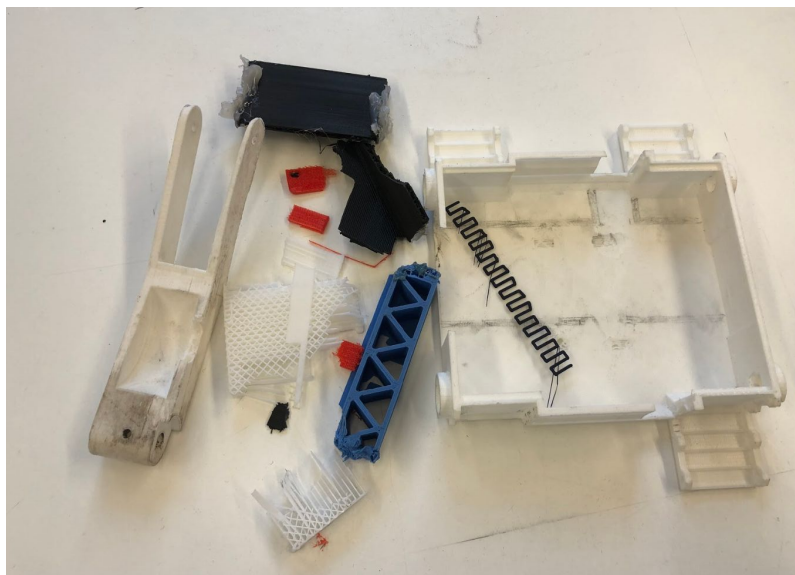
Z raziskovalno nalogo želiva izdelati cenovno ugodno in preprosto napravo za reciklažo in izdelavo 3D polnila, ki bo lahko topila pelete in plastične odpadke.

Zastavila sva hipoteze, ki nama bodo pomagale pri ugotavljanju učinkovitosti, prilagodljivosti in cenovni upravičenosti naprave.

- H1 - Naprava bo omogočala reciklažo ostankov materiala pri 3D tisku.
- H2 - Reciklirano plastično polnilo (izdelano z napravo) bo konkurenčno kupljenemu (novemu).
- H3 - Naprava bo cenejša kot druge na tržišču.
- H4 - Z napravo si lahko v roku enega leta povrnemo stroške za material z reciklažo odpadnega polnila.

1.3 RAZISKOVALNE METODE

Opazila sva, da se ljudje vse več ukvarjajo s 3D tiskom vsepovsod, kjer je to moč uporabiti. Tudi na šoli imamo več 3D tiskalnikov, ki so skoraj vedno v uporabi. S pojavom 3D tiska je možnost za oblikovanje in izdelavo, tako preprostih kot tudi izjemno zahtevnih oblik, postala nadvse vsakdanja. Kar pa sva opazila je, da se ljudje, ki se ukvarjajo s 3D modeliranjem, ne zavedajo koliko odpadnega materiala proizvede tisk. Želela sva ugotoviti ali je možno te odpadke na čim cenejši način reciklirati. Začela sva brskati po spletu in odkrila, da obstaja mnogo sofisticiranih naprav, namenjenih prav za tovrstno težavo. S pridevnikom sofisticarne je prišla tudi ogromna cena. Zaradi tega sva začela raziskovati druge možnosti, torej kako čim ceneje narediti napravo, ki jo bo mogoče sestaviti kjer koli in jo bo lahko sestavil kakršen koli uporabnik.



Slika 1: Odpadni 3D material (Vir: Osebni)

Vedela sva, da je potrebno plastiko sprva segreti in, da zagotovimo konstanten premer polnila je potrebna konstantna sila. Razmišljala sva o pnevmatski napravi potem sva pa pred

začetkom konstrukcije ugotovila, da so pnevmatske komponente relativno drage in precej kompleksne za uporabo na takšni napravi. Poleg cene in montažne zahtevnosti je bil problem še dovod zraka, ki bi zahteval od uporabnika, da ima v svoji sobi zračno črpalko in akumulator. To idejo sva zaradi tega zavrgla.

Spet sva začela brskati po spletu in odkrila, da ljudje takšne naprave izdelujejo sami in se držijo principa, kjer konstanten pritisk obvladujejo z vijakom v cevi. Raziskala sva možnosti in se odločila, da bova napravo izdelala kot nekakšno "ogrevano mesoreznico".

Preden sva se spustila v izdelavo, sva si zastavila cilj, da bo naprava sploh cenovno upravičljiva za povprečnega uporabnika. Ustvarila sva anketo, ki je bila objavljena na forumih s preko 400 000 člani in na podlagi statističnih rezultatov opravila izračune. Raziskala sva še trg in zastavila cilj, da je naprava cenejša od povprečne cene za tak izdelek. Poleg cene sva želela, da bi bila (iz odpadkov) izdelana plastika primerljiva s kupljeno in bi jo lahko ponovno uporabil. Za ta del so nama sošolci zbirali odpadno plastiko, ki sva jo zmlela in jo nato primerjala s kupljeno. Preverjala sva odstopanje v premeru, trdnost in žilavost tako, da sva različne vzorce plastike lomila in merila rezultate.

2 3D TISKANJE

Aditivna proizvodnja ali preprosteje 3D tiskanje je relativno nova metoda tridimenzionalnega modeliranja kakršnih koli oblik iz CAD (computer aided design) modelov. Deluje na principu dodajanja materiala, plast za plastjo, od tod tudi ime aditivna proizvodnja. V nasprotju s klasičnimi metodami, kot so strojna obdelava, litje in kovanje, kjer gre za odvzem materiala iz surovca.

Termin 3D tiskanje pokriva mnogo različic procesov, pri katerih se material združuje ali strjuje na podlagi računalniške pomoči v tridimenzionalne oblike. Pri tem gre za dodajanje materiala, kot so tekoče molekule ali prašni drobcji, ki se lepijo skupaj. Sprva je šlo z razvojem zgolj za rapidno proizvodnjo, pri kateri so se ustvarjali estetični in funkcionalni prototipi. V današnjem času se je tehnologija razvila do takšne mere, da so natančnost, popravljivost in možni materiali dvignili nivo tiskanja tako visoko, da se lahko šteje pod uporabne vrste industrijske proizvodnje. Prednosti 3D tiskanja vključujejo možnost izdelave kompleksnih oblik in geometrij. Predpogoj za tisk pa še vedno ostaja digitalni 3D model ali CAD datoteka.

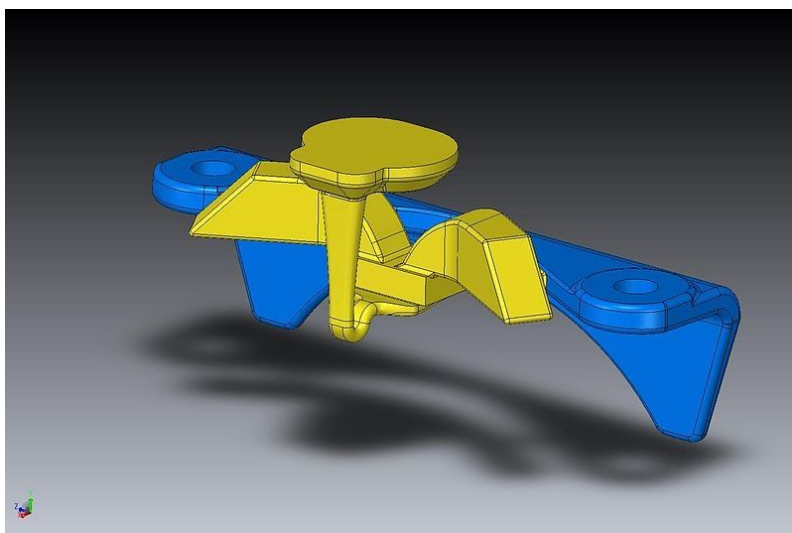
2.1 POSTOPKI TISKANJA

Preden se odločimo za proizvodnjo 3D izdelkov moramo biti seznanjeni s postopki, ki jih zahteva takšna oblika proizvodnje. Razdeljena je na več sklopov, ki jih moramo upoštevati, če želimo izdelati konkurenčen in konkreten izdelek, primeren za uporabo. Med te postopke sodijo naslednji, podrobneje opisani procesi.

2.1.1 Modeliranje

3D modeli se lahko razvijajo s CAD paketi, s skeniranjem objektov ali preprosto z digitalno kamero in ustrezno programsko opremo. Modeli ustvarjeni s CAD modeliranjem predstavljajo najmanj možnih napak, ki jih lahko pred tiskanjem odpravimo ali izboljšamo. S tem si

omogočimo predhodno potrditev za pravilno obliko izdelkov, preden se sploh realizirajo. Ročno modeliranje je precej podobno kiparjenju, s katerim izdelek od ideje prenesemo v simuliran izdelek na računalniški ekran. Pri 3D skeniranju gre za obraten proces. Pri skeniranju uporabljamo skenerje, ki iz resničnega življenja zajamejo podatke in jih preko računalnika prevedejo v digitalne podatke. Te lahko uporabimo za izdelavo digitalnega modela.



Slika 2: CAD model (Vir: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:84530877_FillingSys_\(9415669149\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:84530877_FillingSys_(9415669149).jpg))

CAD modeli se shranjujejo v stereolitografskem formatu (STL). Takšna oblika shranjuje podatke na podlagi triangulacije površin modelov. STL format sicer ni uporaben za aditivno proizvodnjo, ker ustvarja datoteke z veliko obsežnostjo podatkov. To težavo so rešili z uvedbo Aditivnega proizvodnega podatkovnega formata (AMF), ki lahko shranjuje podatke v obliki ukrivljenih triangulacij.

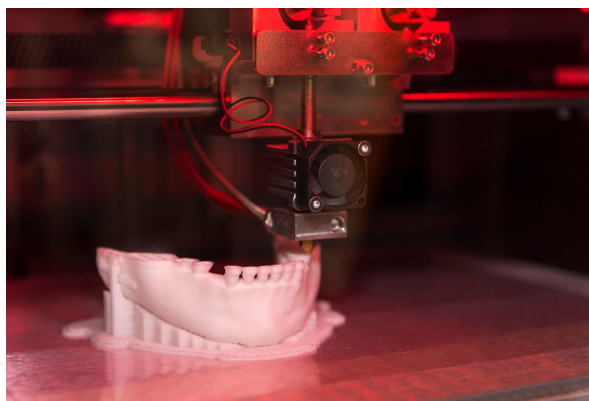
2.1.2 Tiskanje

Preden se model lahko natisne, je potrebno CAD model pregledati za vse možne napake.

Večino modelov v STL obliki ustvari napake, med katere sodijo:

- Izvrtine
- Ploskve
- Sečišča ravnin
- Nasičenost lupin
- Nepravilna stičišča

Korak v generiranju STL datotek popravi te napake originalnega modela. Če izdelujemo STL model s skeniranjem fizičnih objektov, je teh napak ponavadi več, ker gre pri skeniranju za točkovno pridobivanje podatkov. Zaradi tega imajo skenirani STL modeli običajno več nepravilnosti, ki jih je potrebno odpraviti.



Slika 3: Plastno tiskanje s polimeri (Vir:

<https://www.docwirenews.com/weekly-roundup/what-can-3d-printing-bring-to-the-healthcare-industry-in-2020/>)

Potem ko se odpravljanje napak zaključi, mora STL program skozi programsko opremo, ki razdeli model na plasti in zanje spiše G-kodo. G-koda je specifično prilagojena od enega printerja do drugega. Preko takšne oblike kode, tiskalnik lahko začne tiskati.

Poleg modela je pomembna tudi ločljivost tiskalnika, ki se meri v debelini plasti in X-Y resoluciji tiskalne plošče. Tipična debelina plasti je 100 μm (250 DPI), čeprav lahko nekateri tiskalniki tiskajo tudi do 16 μm (1600 DPI). Od te resolucije je odvisna kakovost končnega izdelka. Torej višjo ločljivost kot omogoča tiskalnik, višji nivo kakovosti bo dosegel končni izdelek.

Tiskanje lahko traja od nekaj ur do nekaj dni, odvisno od velikosti izdelka, hitrostni zmogljivosti tiskalnika, uporabljenih metod in zahtevnosti izdelka. Aditivna proizvodnja še vedno zmanjša čas izdelovanja, je pa to odvisno od uporabljenih sistemov, števila strojev in velikosti ter števila izdelkov, ki se sočasno izdelujejo. V primerjavi z brizganjem plastike, ki je sorazmerno cenejše, omogoča 3D tiskanje večjo fleksibilnost, hitrejše čase izdelave in lažje prilagajanje različnim zahtevam modelov.

2.1.3 Končna obdelava

Po zaključenem tiskanju, ki že v osnovi ustvari visoko kvalitetni izdelek, lahko tega še izboljšamo. To dosežemo tako, da natisnemo malo večji izdelek v standardni resoluciji in pozneje odstranimo material s postopkom, ki omogoča odstranjevanje materiala v višji ločljivosti.

Večplastna izdelava modelov lahko pripelje do nateznih obremenitev pri poševnih in zakrivljenih strukturah na izdelkih. Te obremenitve so odvisne predvsem od postavitve izdelka in lege kritičnih ravnin, zato je izjemno pomembno, da je izdelek pred tiskanjem pravilno postavljen.

Različne tipe plastičnih polnil, kot so na primer ABS lahko zgladimo s kemičnimi hlapci (acetone). Pri tem se izdelek rahlo stopi in celotna površina se zgladi.

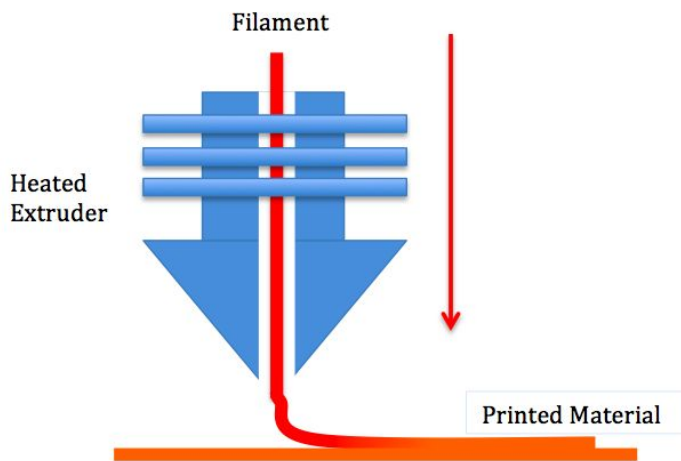
Pri določenih vrstah aditivne proizvodnje je pri izdelkih z visečimi deli, nujno potrebno natiskati podpore. Nanje lahko tiskalnik nanaša plasti, ki jih zahteva model, saj ne moremo

dodajati materiala po zraku. Te podpore je po končanem tiskanju potrebno odstraniti, saj niso del modela, ampak samo pomoč, da se lahko proces pravilno izvrši.

2.2 VRSTE 3D TISKA

Poznamo več vrst 3D tiskanja, delimo pa jih glede na postopek, s katerim pridemo do končnega izdelka.

Najpogostejša vrsta tiskanja je FDM (fused deposition modeling), ki deluje na principu ekstrudiranja izdelka v posameznih plasteh. Ekstrudirna glava tiskalnika se pomika po programiranih koordinatah izdelka in ga postopoma, po plasteh dokonča. Ta način tiska je najbolj razširjen, ker so takšni tiskalniki in material za tiskanje najbolj cenovno ugodni.

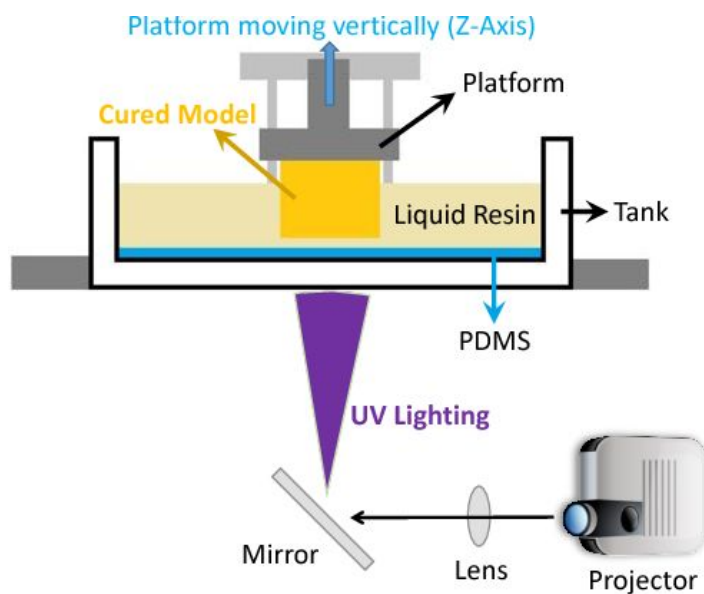


Slika 4: FDM tiskanje

(Vir: <https://ucilnice.arnes.si/mod/page/view.php?id=514197>)

SLA (stereolithography) je najstarejši način 3D tiska in deluje s pomočjo laseja, ki strjuje smolo, glede na programirano obliko izdelka. Tisk poteka tako, da se laser usmerja v ogledali, ki ga preusmerjata na določeno točko na x in y osi . Laser smolo strjuje po plasteh.

DLP (digital light processing) je podoben SLA-ju, razlika je v tem, da se pri DLP-ju namesto laserja uporablja projektor, zato tisk poteka veliko hitreje. Tiskalnik je zmožen natisniti celotno plast naenkrat, pri SLA-ju pa se vsaka plast strjuje počasi s pomočjo laserja.



Slika 5: DLP tiskanje (Vir:

<https://www.semanticscholar.org/paper/Delta-DLP-3D-printing-with-large-size-Wu-Yi/474494ebee101406df339c04d1721c92efd1c58f>)

SLS (selective laser sintering) deluje s pomočjo termoplastičnega prahu, ki je segret malo pod talilno temperaturo. Nato se laser, ki je preusmerjen s pomočjo ogledal, kot pri SLA-ju pomika po programirani obliki in po plasteh konča izdelek.

MJ (material jetting) deluje na podobnem principu kot navaden tiskalnik. Laser se pomika čez smolo in glede na programirano obliko, nato se premakne na novo plast smole in postopek se ponavlja dokler izdelek ni končan.

DOD (drop on demand) deluje na konceptu ekstrudiranja smole, ima dve ekstrudirni glavi, eno za material izdelka in eno za material, ki služi podpori. Tiskalnik konča posamezno plast izdelka in se pomika navzgor dokler ta ni končan.

SBJ (sand binder jetting) deluje na principu povezovanja peska v izdelek in sicer tako, da se glava tiskalnika pomika po koordinatah izdelka in po obliki pušča lepilo, ki zlepi pesek na posamezni plasti.

MBJ (metal binder jetting) je podobno kot SBJ, ampak se pri MBJ-u uporablja kovinski prah.

DMLS (direct metal laser sintering) in SLM (selective laser melting) delujeta na podoben način kot SLS. Kovinski prah je s pomočjo laserja po obliki izdelka segret, da se strdi, proces poteka po plasteh. Pri DMLS se prah segreje do takšne mere, da se spoji na molekularnem levelu, pri SLM pa se prah stopi in se strdi v homogeno obliko.

EBM (electron beam melting) je podoben kot DMLS in SLM, vendar se namesto laserja uporablja snop elektronov za indukcijo fuzije med delci kovine v prahu. Snop se pomika po obliki izdelka in ga izdelava po plasteh.

2.2.1 Materiali za 3D tisk

Primarno se za 3D tiskanje uporabljajo različni polimeri:

- ABS (najpopularnejši material za tisk, cenovno ugoden, lahek in trden, dokaj vpogljiv)
- PLA (cenovno ugoden, lahek in trden, manj temperaturno obstojen kot ABS, razgradljiv)
- Najlon (cenovno ugoden, lahek in zelo trden, dokaj vpogljiv, kemično odporen)
- PEEK (drag, zelo trden, dokaj vpogljiv, kemično odporen in odporen na radiacijo ter toploto)
- PET (cenovno ugoden, lahek in trden, dokaj vpogljiv)
- PETG (dokaj cenovno ugoden, lahek in trden, dokaj vpogljiv, vodoodporen)
- ULTEM (drag, zelo trden, dokaj vpogljiv, kemično in temperaturno odporen)
- HIPS (cenovno ugoden, lahek in zelo trden, dokaj vpogljiv, topen v kemikaliji limonen)
- PVA (cenovno ugoden, topen v vodi)



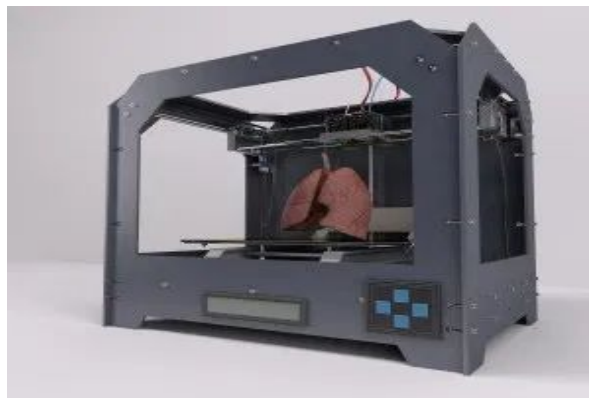
Slika 6: Primerjava različnih tipov polnil

(Vir: <https://3dprint.com/133406/3d-printing-materials-market/>)

Z razvojem področja 3D tiska in zmogljivosti tiskalnikov pa so se pojavili še drugi materiali. Razvili so se filamenti, ki so kombinacija polimerov in kovin, natisnjenem izdelku dajo kovinski izgled, brez da ima ta kakršnokoli karakteristiko kovine (razen izgled). Obstaja tudi filament, ki je kombinacija polimera in lesa, material je precej krhek, sicer pa ima karakteristike plastike. V uporabi so tudi kovinska 3D polnila, s tiskalnikom lahko tiskamo izdelke iz aluminija, kobaltovega kroma, bakra, brona, inkonela, niklja, zlata, srebra, platine, nerjavečega jekla in titana. Možno pa je tiskati tudi s keramiko, voskom, papirjem, peščenjakom in smolo.

2.3 APLIKACIJE

Izdelki narejeni s pomočjo 3D tiskanja se uporabljajo na veliko področjih. Primarna uporaba je v industriji, kjer s pomočjo 3D tiska izdelujejo prototipe in s tem skrajšajo čas, ki je potreben za razvoj izdelka. Tiskanje pa se uporablja tudi na področju medicine, s pomočjo 3D tiskalnikov je možno natisniti razne proteze in instrumente za oskrbo bolnikov, uspelo jim je natisniti tudi delujoče umetne organe. Pričeli so tudi že s tiskom hrane, tiskalnik lahko vsebuje več sestavin za pripravo različnih jedi.



Slika 7: 3D tiskana pljuča

(Vir <https://thejournalofmhealth.com/exciting-new-advances-in-3d-printing-could-help-solve-cut-organ-transplant-waiting-lists/>)

2.4 OKOLJEVARSTVO

V primerjavi z odvzemalnimi metodami proizvodnje, kjer se material odvzema obdelovancu, je aditivna proizvodnja toliko boljša, ker dodaja samo nujno potreben material in se odpadki občutno zmanjšajo. Pri tem se zmanjša tudi poraba potrebne energije. Z izdelavo najosnovnejših delov izdelkov lahko aditivna proizvodnja veliko prispeva k zmanjševanju potrebnega materiala, znižanju porabe energije in zmanjševanju emisij toplogrednih plinov, ki jih ustvarjajo prevozna sredstva in druge oblike transporta. V študiji, ki je raziskovala izdelavo komponente za letalo z aditivno proizvodnjo, je bilo ugotovljeno, da je izdelek privarčeval 63 % energije in emisij ogljikovega dioksida skozi svojo življenjsko dobo. V nadaljevanju je bilo ugotovljeno, da bi na dolgi rok aditivne tehnologije lahko dodatno zmanjšale toplogredne emisije, saj gre za lokaliziran tip proizvodnje, pri kateri izdelek nastane na licu mesta uporabe in ga ni potrebno dodatno prenašati s transportnimi sredstvi, da bi dosegli svoj končni cilj.[5]

V nasprotju z varčevanjem z energijo in zmanjševanjem odpadkov do 90 % (v primerjavi z odvzemalno proizvodnjo), aditivna proizvodnja predstavlja drug okoljevarstveni problem, saj z izdelovanjem nastanejo odpadki, ki jih ni mogoče reciklirati. Mednje sodijo prašni polimeri in druge oblike prašnih delcev. Ta oblika bi morala v teoriji doseči 97 % izkoristek materiala, ki ga do sedaj še ni, se pa takšnemu izkoristku vsekakor z nenehnim razvojem vsakodnevno približujemo. Z okoljevarstvom v mislih sva se tudi sama lotila najinega projekta.

3 NAČRT IZDELAVE

3.1 OPIS NALOGE

Glavni cilj naloge je izdelati napravo, ki bo omogočala izdelavo novega, uporabnega 3D polnila ali filamenta iz že prej uporabljene (pretopljene za izdelek) plastike ali peletov za topljenje in novo izdelavo plastičnih izdelkov. S tem se zmanjšajo odpadki, ki jih proizvede 3D tiskanje.

3.1.1 Osnovni princip delovanja

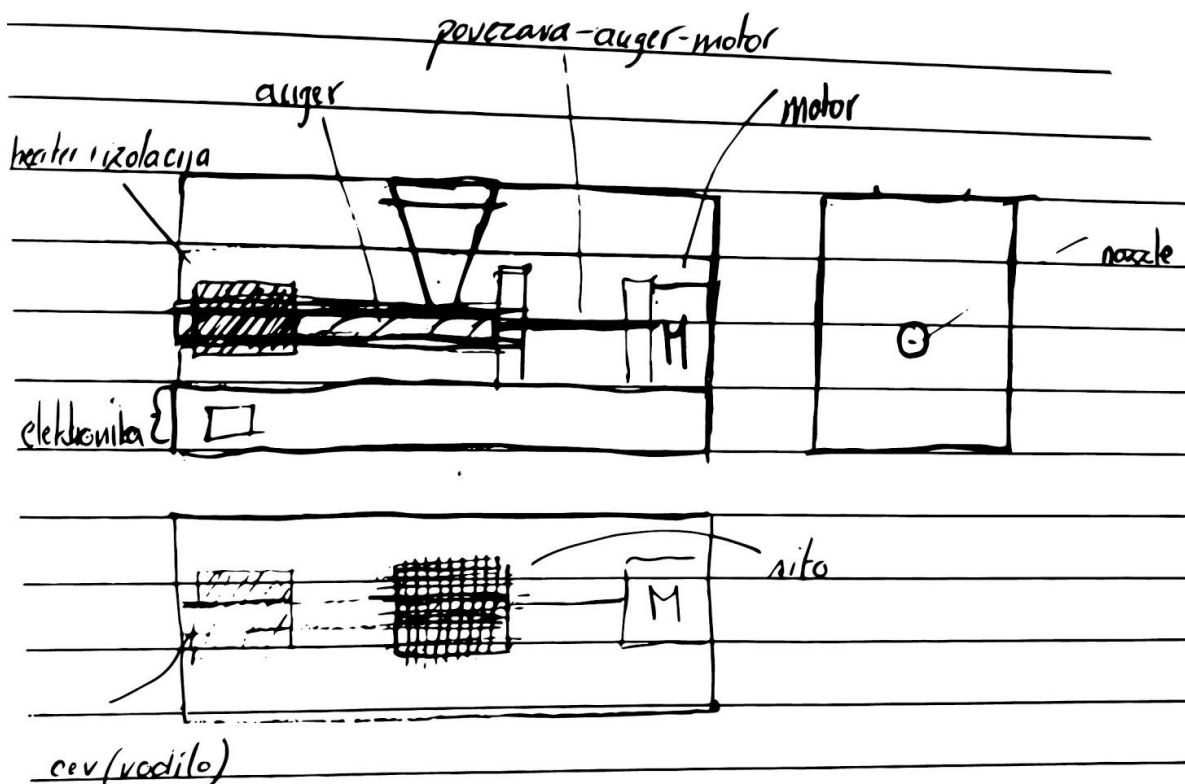
Temelji na enakomernem ekstrudiranju vnaprej pretopljene plastike skozi ogrevano cev s pomočjo motorja in svedra.

Sveder, gnan z 12V motorjem, je vstavljen v cev z izrezo, skozi katero nasipamo/dodajamo zmelete koščke plastike. Sveder potisne dele do konca cevi, ki je segreta z obročnim grelcem. Grelčevo temperaturo uravnavamo s sondo pod grelcem, ki temperaturne odčitke pošilja v PID regulator in rele. Ta dva elementa prilagajata vhodno napetost na grelcu, da je zagotovljena konstantna temperatura. Na koncu, pri grelcu, je v pokrovu cevi majhna izvrtina, skozi katero se nato porine stopljena plastika.

Hitrost motorja lahko preko potenciometra nastavljamo, da dobimo čim bolj natančen filament. Prav tako lahko s temperaturnim regulatorjem nadzorujemo višino temperatura. Obe dve spremenljivki, ki ju bomo morali ugotoviti s končnim izdelkom.

3.1.2 Idejna skica

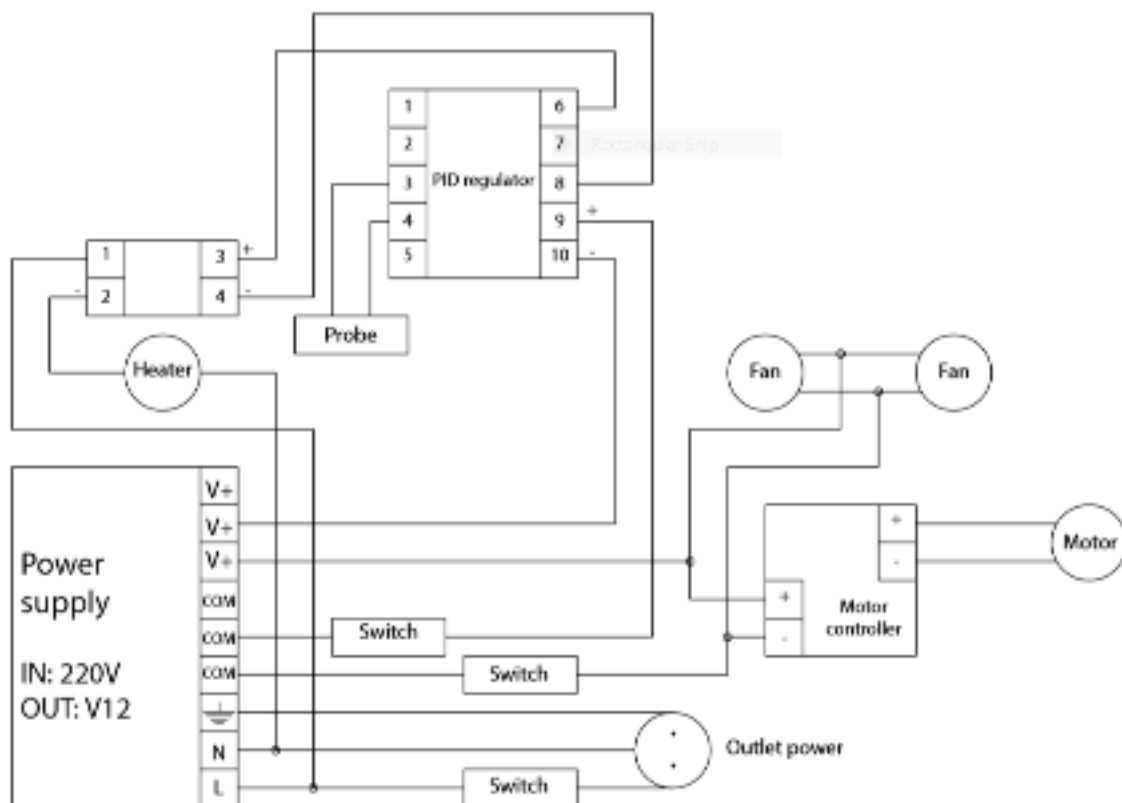
Osnovna ideja za napravo je bila preprosto ogrevana cev, v kateri je sveder gnan z motorjem, ki bi na pricipu mesoreznice tiščal plastiko do ogrevanega dela cevi. Na koncu je luknja, skozi katero pride pretopljena plastika.



Slika 8: Osnovna ideja
(Vir: Osebni)

S pomočjo te skice sva oblikovala 3D CAD model v programu SolidWorks in idejo razvila do takšne mere, da sva jo lahko spremenila v izvedljiv model.

3.1.4 Električno vezje



Slika 9: Električno vezje (Vir: Osebni)

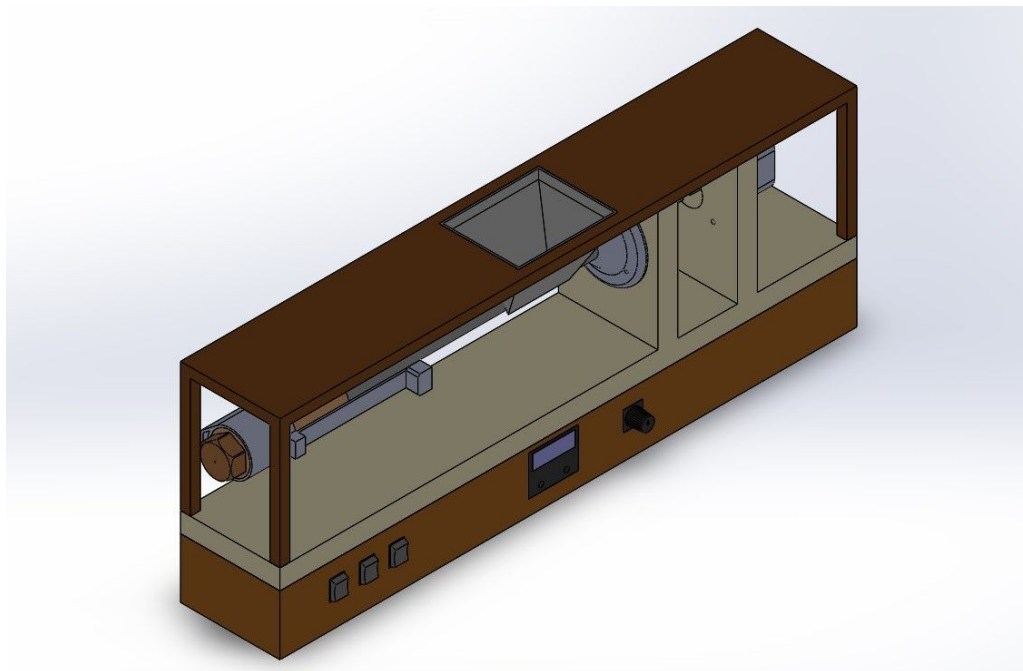
Posamezne komponente sva izbrala na podlagi ustreznosti za opravljanje naloge in na podlagi cene. Vedela sva, da potrebujema temperaturno tipalo in po krajšem brskanju po spletu sva našla PID regulator, ki (prav tako) omogoča preprosto dvopoložajno regulacijo, torej za stanje “je” ali “ni”. To je tudi dovolj natančna oblika regulacije, ki sva jo potrebovala za takšen sistem. Za ogrevanje sva poleg regulatorja seveda potrebovala grelce. Najprimernejši za obliko naprave so bili obročni, ki se pritrdijo na okrogel del kot obroč. S tem je zagotovljeno ogrevanje okoli in okoli cevi prav tako pa znotraj grelca, kjer je cev in plastika. Grelci drugih oblik so izpadli iz izbora, ker ne bi mogli greti celotnega obsega cevi hkrati. Želela sva imeti

dovolj močne grelce, zato sva se odločila za dva z močjo 300 W, ki nikakor ne bi mogla biti prešibka za topljenje polnila. Preko releja, ki je bil v kompletu z regulatorjem, sva jih povezala na priključno napetost (230 V). Rele je preklapljal regulator, ko je bilo potrebno povečati ali zmanjšati temperaturo v cevi. Na ekranu regulatorja sva nastavila želeno temperaturo in grelca sta se vklapljala oziroma izklapljala na podlagi dejanske temperature. S temi komponentami sva imela zagotovljen sklop, katerega naloga je bila topljenje.

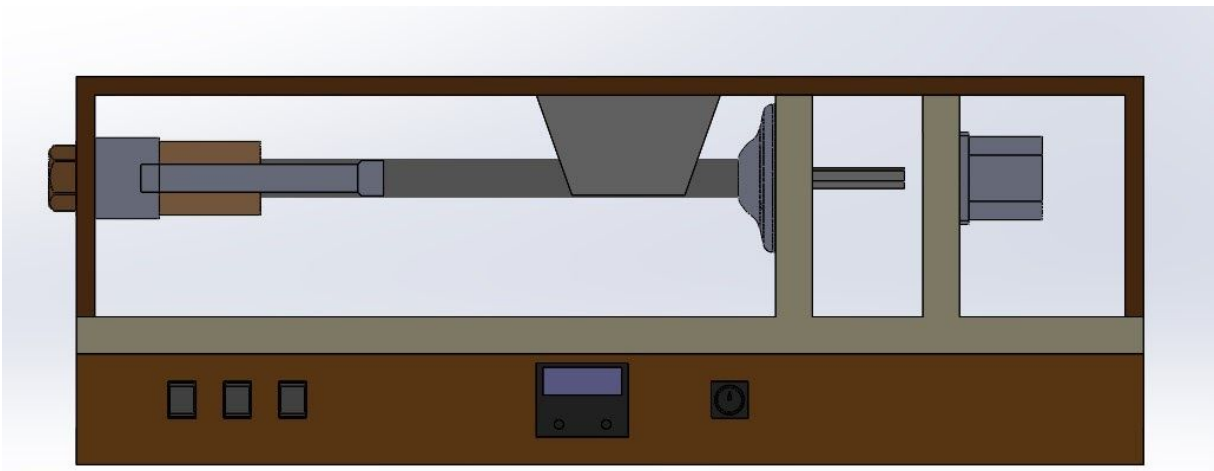
Preden sva izbrala napajalnik, sva imela motor, ki je bil 12 V, zato sva izbrala 12 V napajalnik, ki iz priključne napetosti (230V) ustvari 12 V napetost. Poleg motorja, so ventilatorji, ki sva jih ponovno uporabila iz starih računalnikov, delovali na 12 V enosmerni napetosti. Za motor sva potrebovala krmilnik, da ne bi prišlo do prevelikih izgub v moči in, da se motor ne bi pretirano pregreval. Našla sva PWM krmilnik, ki pretvarja digitalni vhod v analognega, torej pretvarja napetost iz napajalnika, ki je digitalna v analogno. Zaradi tega lahko brezstopenjsko nastavljamo hitrost vrtenja motorja preko potenciometra. Ta je bil že nameščen na krmilniku in tako sva preprosto rešila krmiljenje motorja. Vse potrebne komponente sva priključila kot jih je potrebno in pred posamezne sklope še tri preklopna stikala, da lahko vsak sklop posebej vklopimo.

3.1.5 Koncept modela

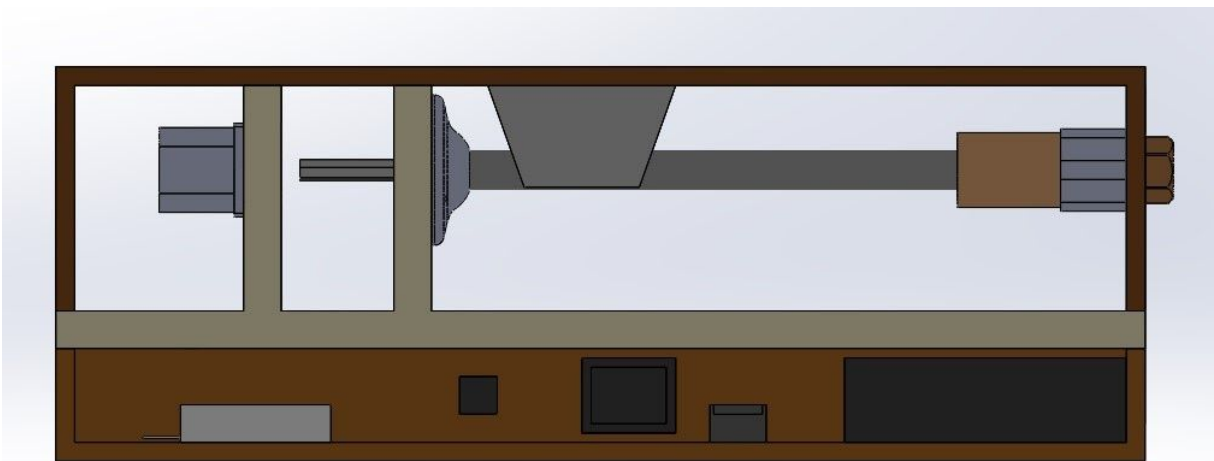
Skica naprave, ki sva jo realizirala v programu. Za prenos materiala sva izbrala cev, v katero se vstavi sveder. To je najlažji način za transport delcev s konstantno hitrostjo. Cev mora biti čvrsto pritrjena in zato sva izbrala železno prirobnico, ki se pritrdi na leseno osnovno ploskev. Ta je lesena, ker je les izjemno lahko obdeljiv. Za prirobnico na isti osni višini je motor, prav tako pritrjen na osnovno ohišje. Za podajanje delcev sva načrtovala preprost lijak, po katerem lahko zmleti kosci prosto padajo v izvrtino v cevi. Za elektronski del, sva izdelala poseben prostor, saj se mehanski del segreva do zelo velikih temperatur in mora biti pred tem varen. Tako sva pod ohišjem naredila še en prostor, kamor se pritrdijo vsi elektronski deli naprave. Tako so zaščiteni pred temperaturo, poleg tega pa takšna postavitve posameznih sklopov, omogoča preprosto servisiranje specifičnih sestavnih delov.



Slika 10: Izometrični pogled naprave (Vir: Osebni)

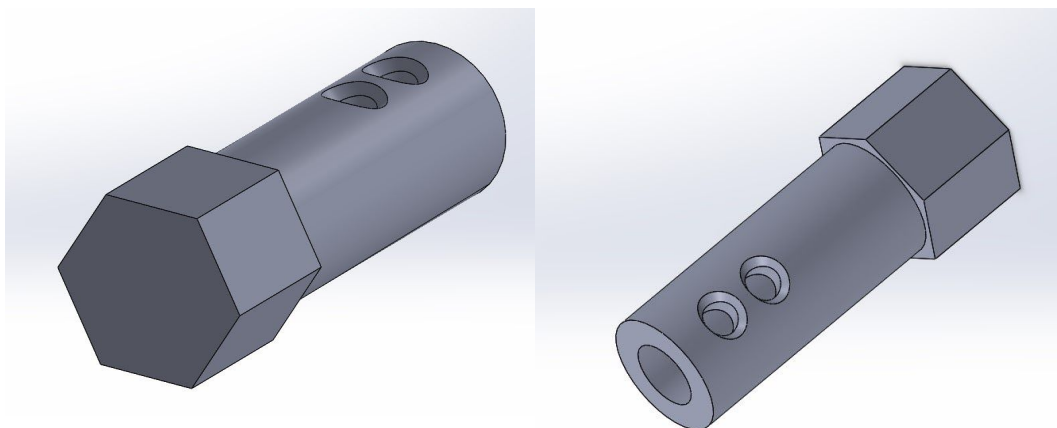


Slika 11: Naris naprave (Vir: Osebni)



Slika 12: Naprava zadaj (Vir: Osebni)

Kot je iz CAD modela razvidno, motor in sveder nista povezana. Pojavil se je problem, ker je bila os motorja okrogla z ravnim delom, sveder pa ima šestkotni nastavek. Poiskala sva rešitev in zmodelirala nastavek, ki povezuje okrogle osi s šestkotnimi nastavki za nasadni ključ.



Slika 13: Nastavek za povezavo motorja s svedrom (Vir: Osebni)

Nastavek se natakne na os in privije z dvema M3 vijakoma v ravno ploskev osi. Na strani, kjer je os, je okrogel, zato da ga najlažje vstavimo v okroglo izvrtino konstrukcije. Na drugem koncu je šestkotne oblike z višino 12, ki je standardna za nasadne ključe. Torej nastavek privijamo na os motorja, na drugo stran vstavimo nasadni ključ velikosti 12 in na drugi strani ključa ostane kvadratna odprtina.



Slika 14: Povezava osi (Vir: Osebni)

Na sveder namestimo nasadni ključ velikosti 11, ki ima prav tako prosto kvadratno odprtino. Med oba nasadna ključa vstavimo kvadratno os in motor ter sveder sta mehansko povezana.



Slika 15: Nastavek za motor (Vir: Osebni)

Za zavarovanje nastavka sva izdelala dve M3 luknji, v katere se privijačita vijaka in os zavarujeta pred nezaželenimi obrati.

Na končni napravi tega dela nisva uporabila, ker se je izkazalo, da je motor prešibek in sva ga zamenjala. Tudi za nov motor sva morala ugotoviti na kakšen način se bo gibanje z gonilne osi prenašalo dovolj zanesljivo na gnano. Os novega motorja ima navoj, na katerega se navije matica. Nanjo lahko damo nastavek za nasadni ključ. Težava je samo v tem, da se matica na osi odvija v enako smer kot motor žene sveder. To sva rešila tako, da sva matico maksimalno privijačila in v os ter matico pod kotom naredila dve izvrtini. Vanje sva vstaila zatiče, da se matica ne more sama odvrtni v obratovalnem teku. Nov motor je večji in okornejši in zaradi tega sva morala prilagajati celotno konstrukcijo. V primerjavi s starim pa je veliko močnejši in hitrejši.



Slika 16: Nov motor (Vir: Osebni)

Za preizkus sva uporabila kos 3D izdelka in ga namenoma zataknila med izrezo v cevi in sveder. Manjše delce (1 mm x 1 mm) sta oba motorja brez težav zmlela. Pri debelini okrog 2 mm pa se je stari, manjši, zataknil in naprava se je ustavila. Z novejšim te težave ni bilo. Brez kakršnih koli težav je razrezal vse velikosti plastičnih delcev. Sklenila sva, da je tveganje za napako preveliko in, da bi preprečila zastoj naprave, sva star motor dokončno zamenjala.

Šobo za ekstudiranje plastike sva naredila iz nastavka za cev in na stružnici vanj izvrtala luknjo s svedrom 1,7 mm. Zaradi odstopanj pri vrtanju je nastala luknja s premerom okoli 1,75 mm. Šobo sva privijačila v grlo in to grlo na cev.



Slika 17: Šoba (Vir: Osebni)

3.2 OPIS DELA

Na osnovno ploščo/podlago pritrdimo pod kotom 90 stopinj, z dvema kotnikoma, držalo za motor in z majhnim odmikom še eno držalo za cev, prav tako s kotniki. Na prvo pritrdimo skozi prej izvrtano luknjo motor. Na drugi v isti višini naredimo še eno luknjo. Na to luknjo pritrdimo z vijaki navojno prirobnico, kamor privijačimo cev (notranji premer 16 mm). V to cev prej, s kotnim brusilnikom naredimo odprtino približno 5 cm dolgo in 1 cm široko (skozi bodo padali delci plastike). V cev namestimo sveder, ki mora pasati skozi luknjo v drugi pravokotni plošči.



Slika 18: Osnovna konstrukcija (Vir: Osebni)

Os motorja in os svedra lahko povežemo s prej izdelanim adapterjem, nasadnimi ključi in pravokotno osjo.

Med sveder in priključke pa moramo namestiti še aksialni ležaj, ki varuje pred morebitnim sunkovitim obremenitvam svedra in tako zaščiti motor pred preobremenitvijo ali poškodbami.



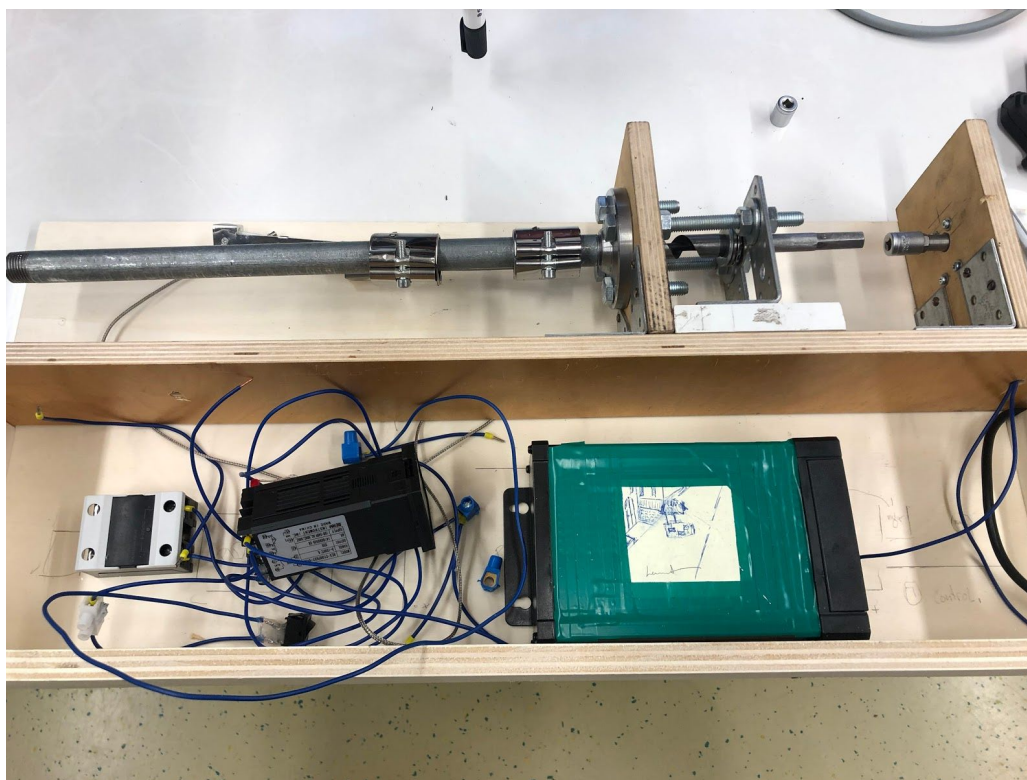
Slika 19: Aksialni ležaj za preobremenitev (Vir: Osebni)

V primeru, da se pod obratovalnimi pogoji nabere preveč plastike na koncu cevi in bi sveder plastika ustavila, nam ležaj deluje kot blažilo za udarce. Tako sveder zaradi udarca prej poškoduje ležaj, ki je kot nekakšna vzmet in s tem prepreči, da se sile prenesejo na motor.

Na konec cevi s svedrom, kjer je navoj, namestimo čep, v katerega smo prej izvrtali majhno izvrtino (premer željene debeline plastike). Na konec cevi prej namestimo pušo, ki se mora tesno prilegati glavni cevi. Puša mora biti debeline notranjega premera grelca in trdno jo zavarujemo na 16 mm cev tako, da jo z grelcem pritrdimo na cev. Na pušo damo obročni

grelec in ga pritrdimo s privijanjem pravokotnega vijaka. V cev izvrtamo luknjo, dovolj veliko, da lahko noter vstavimo temperaturno sondo.

Motor povežemo na potenciometer, temperaturno sondo v temperaturni regulator, poleg sonde vežemo še grelec preko releja na priključno napetost 230 V. Vse elektronske komponente priključimo na napajalnik in pred vsak regulator namestimo preklopno stikalo. S tem lahko vključujemo vsak elektronski del posamezno. Vse elektronske povezave, ki so povezane na priključno napetost 230 V izoliramo, da ne pride do nevarnosti, kjer bi se lahko dotaknili žive žice med obratovanjem naprave.



Slika 20: Groba organizacija sestavnih delov v ohišju (Vir: Osebni)

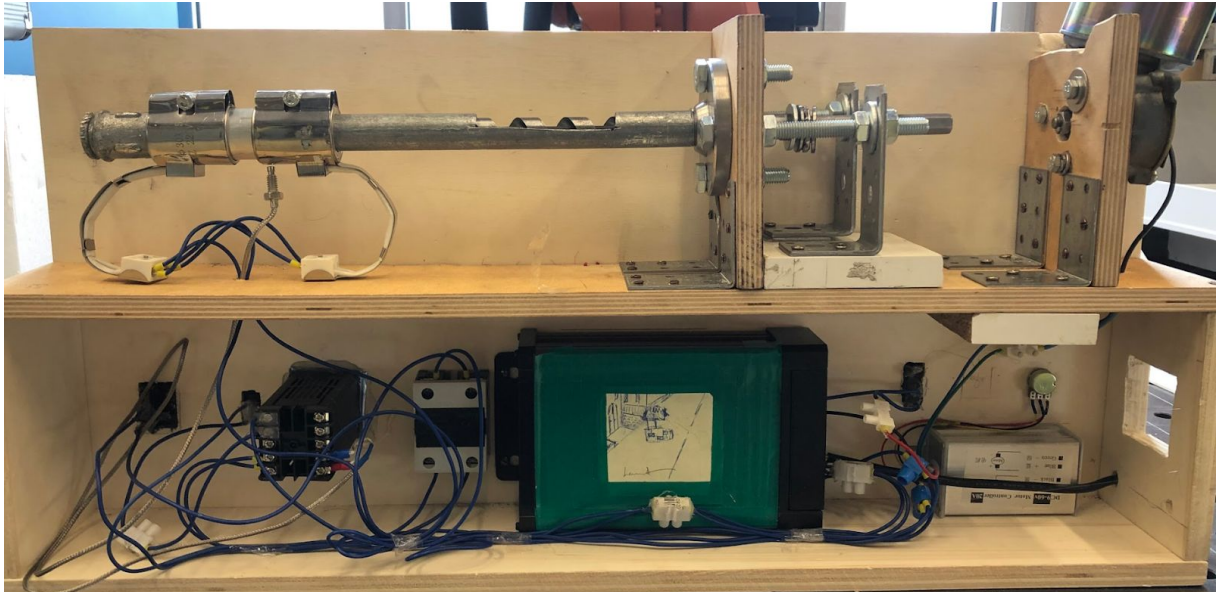
Po potrebi višje temperature, na cev namestimo še en obročni grelec, prav tako priključen na rele. PID regulator preko sonde odčitava trenutno temperaturo v cevi. Na podlagi pogreška

(do zelene vrednosti) potem preklaplja z dvopoložajno regulacijo rele. Rele tako vklopi ali izklopi grelec, ko je dejanska temperatura enaka želeni. Ko končamo s preverjanjem regulacije in vse deluje, kot mora, grelce oblečemo v izolacijo, da preprečimo opekline in zavarujemo konstrukcijo pred vžigom. Na pravokotno izvrtino v cevi namestimo lijak. Vse elektronske komponente namestimo pod osnovno ploščo, da imajo svoj prostor, stran od mehanskega dela.



Slika 21: Pritrditev grelcev (Vir: Osebni)

Za motor in napajalnik namestimo dva ventilatorja, ki bosta iz ohišja odpihovala topel zrak in visoko temperaturo odvajala od najboljčutljivejših komponent ter skrbela za boljšo zračno pretočnost. S tema dvema ventilatorjema preprečimo preobremenitev napajalnika in motorja in tako dodatno povečamo varnost in zagotovimo, dolgotrajnost življenjske dobe elementov. Zadnji ventilator namestimo na konec cevi tako, da piha v smer cevi, kjer se topi plastika, da se čim hitreje ohladi iztisnjeno plastiko. Celotno napravo lahko vstavimo v leseno ohišje, ki ima na tečajih pokrov, da lahko kontroliramo vse mehanske elemente in posredujemo v primeru nesreče.



Slika 22: Približna konfiguracija naprave (Vir: Osebni)

3.2.1 Težave pri izdelavi

Glavni problem, ki se je pojavil je bil, da sva precenila težavnost izdelave in se nisva posvetila dovolj predhodnemu načrtovanju. Tako sva iz osnovne ideje, skicirane na list papirja, mehanski del načrtovala sprti z izgradnjo. Če bi imela načrt, kosovnico in pripravljene skice, bi bila izdelava zelo preprosta. Ker pa sva morala idejo iz glav prenesti v resnično življenje, je to predstavilo manjšo oviro. Nastalo je več manjših preprek, ki sva jih hitro odpravila.

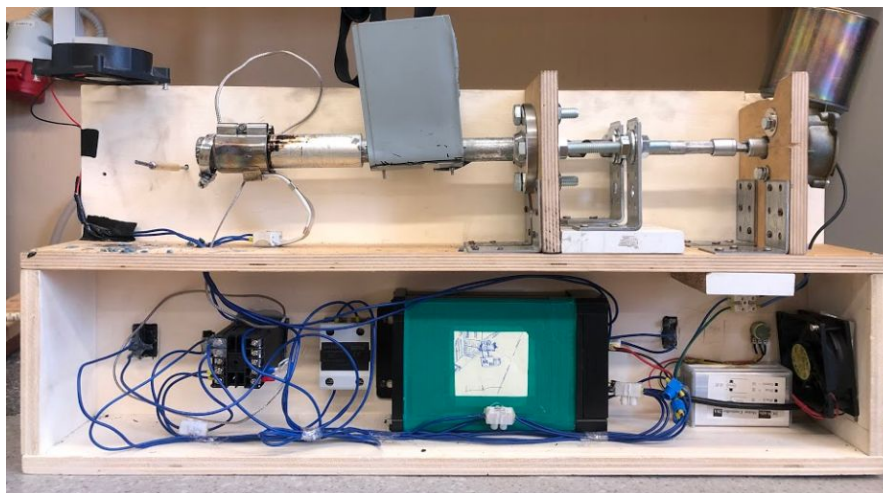
Prva se je pojavila pri sestavljanju osnovne plošče in naravnavanju osi motorja ter svedra. Pomično merilo, s katerim sva merila višino izvrtine, je imelo za 2 mm odstopanja in osi niso bile koncentrične. To težavo sva rešila s tem, da sva izvrtine za pritrditev s pilo povečala in zamaknila nosilno ploščo cevi s svedrom.

Največja odstopanja so bila pri vseh izvrtinah, za katere sva pogosto ugibala, kje naj bi bile na osnovni plošči. Prav tako pozicioniranje elementov na nosilcih. Ko sva začela vse skupaj

sestavljati, sva dobila malo boljšo predstavo in sva brez večjih odstopanj sestavila končni izdelek. Pri realizaciji je sicer pomagal CAD model, ampak to ni bil končni načrt, zato sva morala finalno obliko prilagajati. Veliko je bilo odvisno od materiala, ki sva ga dobila v šoli in trgovinah. CAD model je precej “utopičen”, ko pa začnemo kupovati material, slej ko prej ugotovimo, da so elementi večinoma standardizirani. Zaradi tega razloga sva morala napravo ves čas prilagajati materialu, ki sva ga imela.

Ko sva celoto napravo sestavila in preverjala delovanje motorja, sva ugotovila, da je motor prešibek. Če se je kos plastike zataknil med izrezo v cevi in sveder, se je celotna naprava ustavila. Takšni kosci so nepredvidljivi v uporabi in delovnem teku, zato sva morala napako sanirati. Zamenjala sva motor za močnejšega in prilagodila konstrukcijo. Po drugem testnem teku, je nov motor zmlél vso plastiko z lahkoto in težava je bila odpravljena. Nastali pa so novi problemi glede konstrukcije, ki sva jih odpravila z naknadnim načrtovanjem in izdelavo novega nosilca za motor.

Pojavila se je še težava, ker je bila cev predolga in se plastika za svedrom ni stopila pravilno in se je v praznem prostoru nabirala ter sproti ohlajala. Cev sva odrezala in grelca pritrdila bolj skupaj. S tem sva zmanjšala ogrevani prostor in možnost, da bi se plastika vmes ohladila.



Slika 23: Končna konfiguracija naprave (Vir: Osebni)

Za elektronski del ni bilo takšnih težav, ker gre za preprosto vezje, ki ne potrebuje niti krmilnika. Potrebovala sva le vezati komponente na pravilne vhode in izhode napajalnika. Težavam sva se izognila s tem, da sva kupila že sestavljen PID regulator za temperaturo in sva zahtevnost elektronike zmanjšala na začetniški nivo.

Za pravilno delovanje je bilo potrebno še ugotoviti na kakšno višino je potrebno nastaviti PID regulator. S prvim poskusnim zgonom sonda ni bila vstavljena v cev in je bila temperatura plastike previsoka. Ta se je znotraj cevi začela žgati in namesto polnila je iz šobe prihajal samo dim.

3.3 ANALIZA NALOGE

Napravo sva uspešno oblikovala in sestavila ter z njo začela izdelovati novo plastiko. Vsako električno komponento sva posamezno priključila na napetost in preverila njeno delovanje. S tem sva pred prvim zagonom preverila vse možne napake na elektronskem delu. Poleg elektronike, sva prav tako preverila še mehanske dele. Sveder je prostovrteč in motor ga žene tudi, če se pojavijo obremenitve v cevi.



Slika 24: Uspešen test naprave (Vir: Osebni)

Naprava sprva ni delovala čisto po načrtih, saj je bilo treba parametre (temperatura in hitrost potiskanja) prilagajati in so prvi delci plastike bili neuporabni. Po ustreznem parametriranju, je naprava delovala, kot bi morala v teoriji.

3.3.1 Cenovna upravičenost

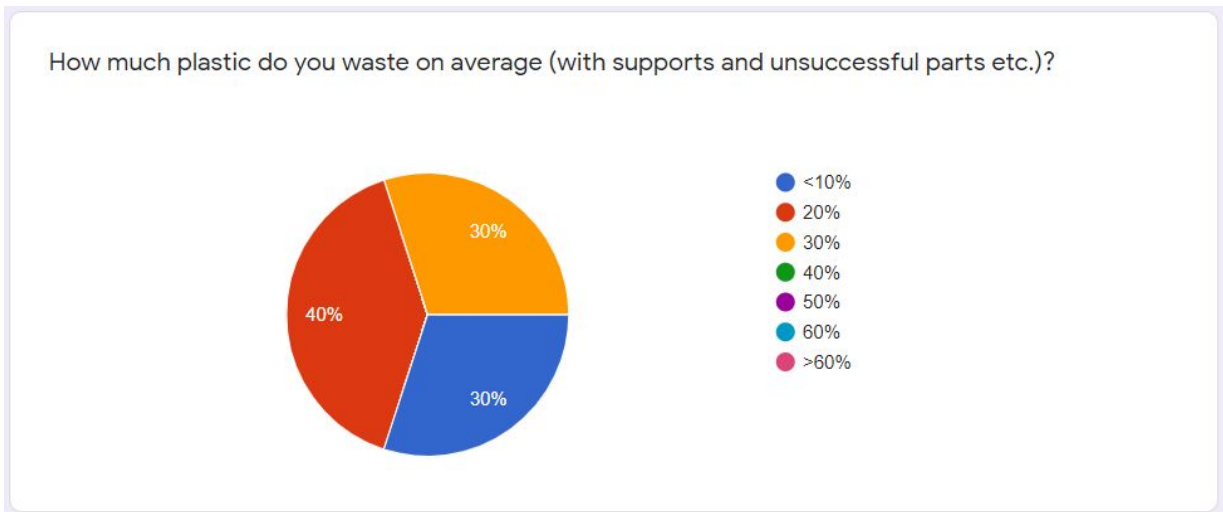
Zanimalo naju je, če je naprava cenovno upravičena. Torej, če se napravo splača zgraditi povprečnemu človeku, ki ima doma 3D tiskalnik in posledično ustvarja odpadke s tiskanjem. Želela sva tudi ustvariti napravo, ki je cenejša kot ostale na trgu. Najin osnovni cilj je bil, da naprava deluje in je čim cenejša

Zato, da sva dobila čim širšo sliko, sva naredila spletno anketo in jo objavila na razpravne forume po internetu.

Zanimal naju je povprečen čas tiskanja na mesec, koliko polnila oziroma filamenta uporabniki porabijo, kolikšen odstotek filamenta zavržejo v procesu tiskanja in koliko v povprečju zapravijo za polnilo.

Dobila sva 87 odgovorov in iz rezultatov izračunala povprečje. Tako sva ugotovila, da:

- tiskajo 101,3 ure na mesec
- porabijo približno 373,9 metrov polnila na mesec (cca. 1 kg)
- zavržejo 20 %
- zapravijo okoli 25 EUR na mesec



Graf 7: Tortni prikaz rezultatov anketnega vprašanja (Vir: Osebni)

Iz rezultatov sva izračunala, da tako na mesec povprečni uporabnik vrže stran po 5 EUR zaradi odpadkov, ki nastanejo s 3D tiskom. To so podpore, neuspeli tiski idr. Tako lahko izračunamo, da bi se povprečnemu uporabniku stroški za napravo, za katero je predpostavljeno zapravljen približno 100 EUR, povrnili v 20 mesecih. S tem je hipoteza 5, za povprečnega uporabnika ovržena.

Če za primer vzamemo anketirance, ki tiskajo nadpovprečno veliko in upoštevamo, da na mesec zapravijo 50 EUR in zavržejo 25 % materiala, lahko ugotovimo, da imajo 12,5 EUR vrednih, uporabnih odpadkov. S takimi mesečnimi stroški za odpadni material, ki se lahko reciklira, bi si denar potreben za izdelavo naprave povrnili v 8 mesecih. Na tak način je lahko hipoteza 5 potrjena.

Na podlagi večinskih odgovorov in splošnega povprečja ovračava hipotezo 4, ne glede na to, da si lahko stroške povrnemo že veliko prej kot v enem letu, če se s 3D tiskom veliko ukvarjamo. Poleg računov je treba seveda upoštevati še finančno stanje uporabnikov, njihovo zeleno mentaliteto, motivacijo za izgradnjo in upravičenost za napravo. Predpostavimo, da

nekdo, ki tiska po 50 ur na mesec ne bo ustvaril tako velikega števila odpadkov in mu reciklirna naprava ne bo koristila, sploh pa ne bo upravičena njena izgradnja. Na drugi strani, kjer pa imamo ljudi, ki tiskajo po 150 ur na mesec in lahko zavržejo tudi po 15 EUR vrednih odpadkov, se jim gradnja reciklirne naprave bolj splača in je tudi bolj upravičena.

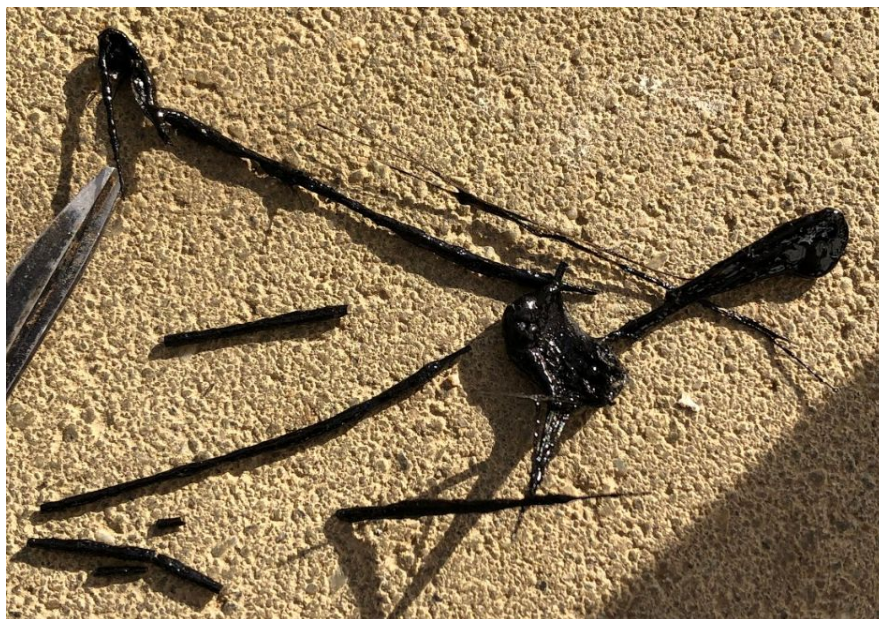
Na podlagi spletnih raziskav sva naredila seznam najboljših tovrstnih naprav in njihovih cen ter jih med seboj primerjala. Tržišče je precej razširjeno, kar ni presenetljivo glede na to, kako popularno je postalo 3D tiskanje. Očitno je tudi dejstvo, da je odpadne plastike veliko in, da uporabniki, ki se s 3D tiskom veliko ukvarjajo, potrebujejo nenehno nov material. Precej podjetij se ukvarja s proizvodnjo naprav za izdelavo polnila in poleg teh prodajajo še pelete oziroma granulato za novo polnilo. Med ta podjetja sodijo Filabot, ReDeTec, Felfil, 3devo ipd. Njihov cilj je primarno to, da si lahko druga podjetja in ljudje, ki se primarno ukvarjajo s 3D tiskom, sami izdelujejo svoje polnilo in niso odvisni od naročil. Temu je primerna tudi kvaliteta naprav in njihove cene, ki segajo od 10000 EUR in do okoli 500 EUR. V primerjavi s temi cenami je najina naprava tudi do stokrat cenejša, res pa je, da ne dosega enake kvalitete in jo je treba še pred zagonom zgraditi. Sicer pa vse naprave delujejo na enakem principu, kjer vijak potiska v vročo cev plastiko in jo stopljeno porine skozi šobo. Odstopanja v cenah se pojavijo pri kvaliteti in podjetju, ki napravo prodaja.

Če za vzor vzamemo povprečnega človeka, ki se ne ukvarja profitabilno s 3D tiskom, se mu vsekakor splača, da si napravo za izdelovanje polnila zgradi sam. Sprva svoje naprave ne bi prodala samo za ceno materiala, ker sva se ukvarjala z izgradnjo tri mesece in jo spotoma izpopolnjevala. Zato ne moreva reči, da je cenejša kot najcenejša na tržišču. Če pa si jo človek doma naredi sam in si sam kupi material ter upošteva, da se mu stroški povrnejo najkasneje v 20 mesecih, je takšna naprava cenovno dobro upravičena. Kar se tiče čistega stroška za

material, lahko hipotezo 3 potrdiva. Najcenejša naprava stane približno 500 EUR, najdržja pa do 10000 EUR in naju je material stal okoli 100 EUR. Tako je trdno potrjena 4. hipoteza.

3.3.2 Delovanje naprave

Po prvem testnem zagonu je naprava uspešno začela delovati. V izrezo cevi sva podajala zmlete kosce plastike in prilagajala hitrost motorja ter višino temperature. Optimalna temperatura je bila okoli 100 stopinj celzija. To ni višina temperature, pri kateri se PLA stopi, ampak temperaturno tipalo ne meri dejanske stopljene plastike. Meri temperaturo v koncu cevi, zato mora biti nižja. S tem se prepreči, da se plastika pregreje in bi lahko začela premehka teči iz luknje. To sva ugotovila tako, da sva nivo nastavila previsoko in zgodilo se je ravno predvideno.



Slika 25: Neuporabna plastika (Vir: Osebni)

Če je bila temperatura previsoka, se je plastika v koncu cevi, kjer se nabira in topi, segrela do takšne temperature, da je začela brbotati. Ko se je izstisnila skozi šobo, je bil zraven zrak in dobila sva zažgano in “prepečeno” plastiko. Bila je zelo krhka in nepravilne oblike. Torej ni bila v nikakršnem primeru uporabna, niti za ponovno predelavo, saj se je zaradi toplote povečala trdnost in postala je izredno krhka.

Potem ko sva pravilno nastavila vse parametre, je plastika dokaj enakomerno tekla v obliki vrvi. Bila je tudi bolj prožna in na občutek primerno trpežna. Ni bila sicer konstantno enako debela in to je problem za polnilo, ki mora imeti tesne tolerance. Ne glede na to je hipoteza 1 potrjena, saj je z napravo možno reciklirati odpadno plastiko. Pri prvi hipotezi se nisva osredotočala na tolerance in kvaliteto plastike, ki jo naprava izdelava, ampak samo na to, da bo sploh mogoče odpadke reciklirati. Kar nama je uspelo, sicer pa takšna plastika niti približno ni primerna za novo predelavo.



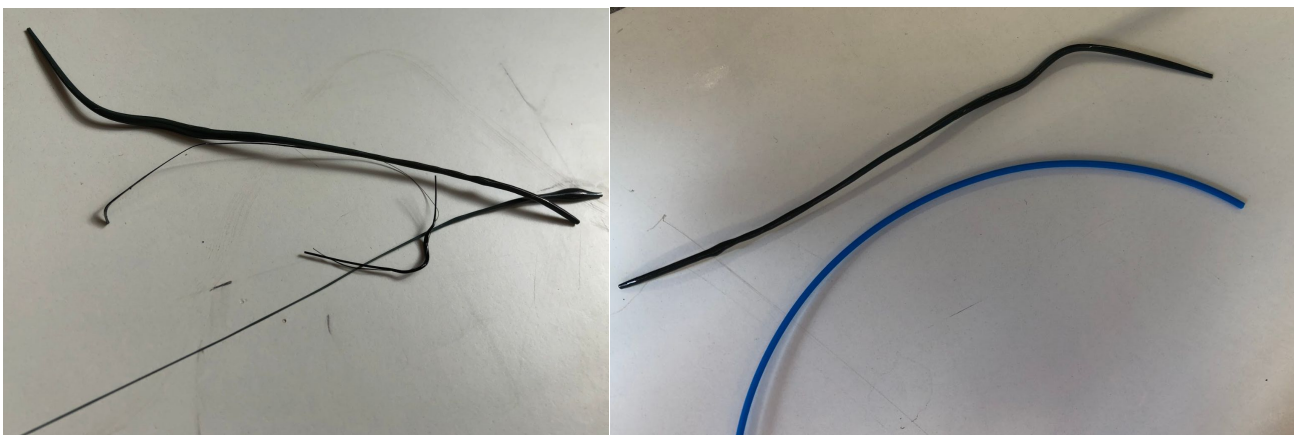
Slika 27: Uspešno delovanje naprave (Vir: Osebni)

Ko sva dodala na konec naprave ventilator, ki je pomagal ohladiti izstisnjeno plastiko, se kakovost ni spremenila. Naprava je še vedno podajala nekonstantno plastiko in ta se je lepila

na šobo, kar je dodalo k neprimernim oblikam nastale plastike. Naprava sicer vseeno deluje po načrtih, le odstopanja so prevelika. Hipotezo 1 lahko delno potrdiva, saj lahko recikliramo odpadke, ki nastanejo s 3D tiskom. Kvaliteta recikliranega polnila pa ni primerljiva, zato je ta hipoteza samo delno potrjena.

3.3.3 Učinkovitost naprave in primerjava plastike

Da naprava lahko začne delovati, se more sprva segreti, kar lahko traja par minut. Šele, ko je cev dovolj ogreta lahko vključimo motor in začnemo s podajanjem plastike. Plastika, ki se reciklira in toplotno preobdela nima pravilne oblike in ni nikakor primerna za ponovno obdelavo. Res je, da se plastika reciklira in sprotno nastajajo svaljki, ti niso že na videz primerni za ponovno uporabo. Najdaljši, ki je nastal, je bil dolg okoli enega metra, ampak je njegov premer variiral od 0,5 mm do 2 mm. Poleg nestalnega premera je bil prekrhek. Zlomil se je ob dotiku.







Slika 28: Predelana plastika (Vir: Osebni)

Takšne plastike nisva želela niti testirati na 3D tiskalniku, ker bi ga verjetno zamašila, umazala ali pa samo uničila. V primerjavi s kupljeno plastiko (modre barve) je najina (sivo-rjava) nepravilno ukrivljena, kar je posledica neenakomernega podajanja plastike v cevi.

Ta se je nabrala za svedrom in se je včasih ustavila. Tudi, če je v cevi bila nova, nestopljena plastika, se skozi šobo ni hotela premikati. S povečanjem hitrosti motorja je v večini primerov prišla skozi odprtino, ampak je spreminjajoča hitrost vplivala na premer. Premer se je krčil in širil, odvisno od tega koliko plastike se je nabrala za šobo. Če je pretopljena plastika ostala v dovolj dolgem svaljku, je počila, ko je bila predolga in je lezla navpično preko podajala. Če ni počila sama od sebe, se je to zgodilo, ko sva jo prijela v roke, da bi jo lahko bolje preučila. S takšnim polnilom si ne moremo v praktičnem svetu nič pomagati.

3.4 POTRDITEV HIPOTEZ

Glede na rezultate najine raziskovalne naloge, se lahko opredeliva na hipoteze in jih potrdiva oziroma ovrževa.

H1 - Naprava bo omogočala reciklažo ostankov materiala pri 3D tisku.	
H2 - Reciklirano plastično polnilo (izdelano z napravo) bo konkurenčno kupljenemu (novemu).	
H3 - Naprava bo cenejša kot druge na tržišču.	
H4 - Z napravo si lahko v roku enega leta povrnemo stroške za material z reciklažo odpadnega polnila.	

H1 - Naprava bo omogočala reciklažo ostankov materiala pri 3D tisku. Po izdelavi sva neuporabno plastiko lahko ponovno pretopila in jo reciklirala, zato je hipoteza 1 potrjena.

H2 - Reciklirano plastično polnilo (izdelano z napravo) bo konkurenčno kupljenemu (novemu). Plastično polnilo, ki ga je izdelala naprava ni konkurenčno novemu, saj je prekrhko in ima prevelika odstopanja. Zaradi tega hipotezo 2 ovrčava.

H3 - Naprava bo cenejša kot druge na tržišču. Na podlagi raziskav je cena za material nižja tudi do 1000 % v primerjavi z najkvalitetnejšo napravo na trgu. Tako je hipoteza 3 potrjena.

H4 - Z napravo si lahko v roku enega leta povrnemo stroške za material z reciklažo odpadnega polnila. Po izračunih za povprečnega uporabnika (podatki iz ankete) si lahko stroške povrnemo v 20 mesecih zaradi tega je hipoteza 4 ovržena.

3.5 MOŽNOSTI IZBOLJŠAV

Za boljše delovanje naprave bi bilo potrebno v napravo vključiti mikrokrmilnik, ki bi preko regulacij lahko uravnovešal samodejno hitrost podajanja in temperaturo, glede na vnesene zelene vrednosti. Tako bi bilo potrebno na konec cevi namestiti merilni člen, ki bi konstantno meril premer plastike. Informacije bi preko zaprtizančnega sistema pošiljal do krmilnika in ta bi določal hitrost motorja ter posledično tudi višino temperature, ki jo oddata grelca. Najpreprostejša različica takšne posodobitve bi vključevala samo Arduino mikrokrmilnik in nekaj dodatnega vezanja, ki ga nisva sprva želela zaradi preprostosti naprave. Težava se pojavi pri tem, da je potrebno parametre "ugibati" in gre za ročno prilagajanje. Je pa takšen način krmiljenja precej lahek za razumevanje in ne zahteva nikakršnega predznanja o mikrokrmilnikih. Prav zato sva se odločila za to verzijo, ki sva jo sama sestavila.

Glede mehanskih komponent, je skoraj nujno potrebno, ko gre za reciklažo, da ima naprava svoj mlinček za rezanje plastike. Sama sva odpadke plastike rezala na roke in jih razbijala s kladivom, kar je strašno zamudno. Na lijak, skozi katerega padajo odpadki v cev, bi namestila preprost mlinček, ki deluje na principu rezalnika papirja. Skozenj bi lahko potiskali plastiko v lijak, ki bi tako služil kot zalogovnik. Tako odpadkov ne bi bilo potrebno rezati na roke in bi delovanje naprave bilo veliko bolj samostojno. Za to nadgradnjo se nisva odločila, ker je izdelava mlinčka precej zahtevnejša, kot se sliši in bi porabila veliko dodatnega časa, ki ga preprosto nisva imela. Izbrala sva “krutejšo” pot in plastiko lomila na roke.

Delovanje bi se veliko izboljšalo tudi, če bi naprava delovala pod kotom. S tem bi plastika tekla navzdol in bi bil premer hipotetično bolj enakomeren, saj bi bilo ekstrudiranje odvisno od gravitacijskega pospeška, ki je konstanten. Podobno bi lahko izboljšala toleranco premera tako, da bi se ekstrudirana plastika sproti navijala na kolut in bi kolut imel svoj motor, ki bi pomagal z enakomerno hitrostjo vleči plastike iz šobe. Velik problem pri spreminjanju premera je bil prav, da ni bilo zagotovljeno enakomerno potiskanje skozi šobo. Motor se je vrtel enakomerno, v delu, kjer se plastika greje pa se je ta samo nabirala.

Obstaja mnogo rešitev in izboljšav, ki bi jih lahko namestila na napravo in jih nisva, saj sva želela, da je to preprosta stvar. Pozneje pa sva ugotovila, da ni možno, takšne zahtevne stvari, kot je 3D polnilo, izdelati s preprosto napravo. Gre za natančne tolerance in določene trdnosti, ki jih z napravo v takšnem kakovostnem rangu preprosto ni mogoče doseči.

Pri tem se porodi tudi vprašanje, če je naprava cenovno upravičena, da sploh ne deluje, kot bi morala. Odvisno je od izvedbe, ki je lahko različna od posameznika do posameznika.

4 ZAKLJUČEK

Naprava, s katero sva si zadala cilj, da bi zmanjšala plastično onesnaženost pri razvoju 3D modeliranja, ni delovala po načrtih in ni omogočila predelave odpadkov v ponovno uporabne materiale. Pri izdelavi sva se naučila veliko o aditivni proizvodnji in bonitetah takšne oblike razvijanja industrije. Bolje sva se spoznala s kreiranjem idej in ustvarjanjem dejanskih izdelkov. Na podlagi skic in pozneje CAD modela, sva uspešno razvila funkcionalen izdelek oziroma vsaj delno funkcionalen. Prav tako sva bila izpostavljena delavniškem okolju in teoretično znanje sva lahko prenesla v resnični svet. Postavljena sva bila tudi v okolje s takšnimi pogoji, ki bi se lahko zgodili na delovnem mestu in bi zahtevali razvoj izdelka. Omejenost s časom in pritisk sta dodala k izkušnji, ki je bila dobra pripravnica na resnični svet izven šolskega udobja. Ne glede na to, da izdelek ni deloval po željah, sva od raziskovalne naloge odnesla mnogo izkušenj, ki so predvsem življenjskega pomena v tem delovnem področju.

5 VIRI IN LITERATURA

SPLETNI VIRI

- [1] *Plastic pollution - facts and figures*. (online). 2020. (citirano 25. 2. 2020) Dostopno na naslovu:
<https://www.sas.org.uk/our-work/plastic-pollution/plastic-pollution-facts-figures/>
- [2] RITCHIE, H. in ROSER, M. *Plastic pollution*. (online). 2018. (citirano 25. 2. 2020) Dostopno na naslovu: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>
- [3] *Navodila za projektno nalogo*. (online). 2018. (citirano 25. 2. 2020). Dostopno na naslovu: <http://smm.sc-celje.si/navodila-za-projektno-nalogo>
- [4] *History and future of plastics*. (online). 2020. (citirano 25. 2. 2020). Dostopno na naslovu: <https://www.sciencehistory.org/the-history-and-future-of-plastics>
- [5] *3D printing*. (online). 2020, (citirano 2. 3. 2020) Dostopno na naslovu:
https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing
- [6] VON ÜBEL, M. *3D printing materials guide*. (online). 2019, (citirano 2. 3. 2020) Dostopno na naslovu:
<https://all3dp.com/1/3d-printing-materials-guide-3d-printer-material/>
- [7] *What are the different types of 3D printing technologies and 3D printers*. (online). 2020, (citirano 2. 3. 2020) Dostopno na naslovu:
<https://www.makerbot.com/stories/design/types-of-3d-printing-technologies/>

Seznam materiala (priloga 1)

1. 460 mm sveder za les
2. 12 V DC motor
3. 400 W 12 V napajalnik
4. 2 150 W obročna grelca
5. Potenciometer z regulatorjem (12 V)
6. Regulator temperature (tipalo, rele, regulator z ekranom)
7. 3 ventilatorji (12 V)
8. Cev (notranji premer 16 mm)
9. Prirobnica
10. Adapter (os motorja na šestkotni ključ)
11. Pokrov z navojem za cev
12. Puša
13. Štirikotna os (prenos momenta z motorja na sveder)
14. Vijaki, matice
15. Lijak
16. 3 preklopna stikala
17. Žice
18. Aksialni ležaj
19. Kotniki
20. Material za nosilno ploščo
21. Orodje (kotni brusilnik, vrtalni stroj, lepilna pištola ...)

Cena posameznih sestavnih delov (priloga 2)

1. Regulator temperature - 24,10 EUR
2. 460 mm sveder - 6,76 EUR
3. Obročni grelec - 4,66 EUR
4. Potenciometer z regulatorjem za motor - 5,57 EUR
5. Napajalnik - 18,69 EUR
6. Motor - 17,66 EUR
7. Ostali materiali (cev, kabli, les, ventilatorji, filter, izolacija ...) ~ 25 EUR
8. Aksialni ležaj - 2,00 EUR