

Odvajanje metala u procesu recikliranja plastike

Puhalović, Anastazia

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:858633>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-19**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Anastazia Puhalović

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Željko Šitum

Studentica:

Anastazia Puhalović

Zagreb, 2024.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Prije svega, od srca se zahvaljujem svom mentoru prof. dr. sc. Željku Šitumu na iznimnoj susretljivosti i pomoći tijekom izrade ovog rada, te mogućnosti njegove realizacije.

Iskreno zahvaljujem svojoj obitelji, a posebno roditeljima i braći, na njihovoj bezuvjetnoj ljubavi, podršci i razumijevanju koje su mi pružali tijekom studija.

Na kraju, veliko hvala prijateljima i kolegama, koji su svojim društvom i podrškom uljepšali moje dosadašnje studentske dane i učinili ovo razdoblje nezaboravnim.

Anastazia Puhalović



Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 24 – 06 / 1	
Ur.broj: 15 – 24 –	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Anastazia Puhalović** JMBAG: **0035234397**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Odvajanje metala u procesu recikliranja plastike**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Separation of metals in the plastic recycling process**

Opis zadatka:

Recikliranje plastike ključni je aspekt gospodarenja otpadom s ciljem smanjenja onečišćenja okoliša i očuvanja resursa. Međutim, prisutnost metala u plastičnom otpadu predstavlja značajan izazov za proces recikliranja. Metali mogu kontaminirati reciklirane plastične materijale, utječući na njihovu kvalitetu i upotrebljivost. Stoga je odvajanje metala od plastike ključno za učinkovito recikliranje čime se smanjuje utjecaj onečišćenja plastikom na okoliš. Ugradnjom potrebnih senzora za detekciju metalnih predmeta i ostvarenjem upravljanja pogonom moguće je dobiti automatizirane jedinice za izvršenje zadataka sortiranja metalnih i nemetalnih predmeta. Izrada edukacijske makete s ugrađenim sustavom za transport radnih predmeta može korisno poslužiti u nastavi iz područja automatike, mehatronike, senzorike i dr.

U radu je potrebno:

- projektirati i izraditi sustav za sortiranje metalnih i nemetalnih predmeta
- konstruirati i izraditi transportni sustav za dopremanje i otpremanje radnih predmeta
- dati tehnički opis korištenih komponenti pogonskog, upravljačkog i mjernog dijela sustava
- izraditi upravljački program i ispitati rad sustava provedbom eksperimenta.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

24. 4. 2024.

Datum predaje rada:

2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.
3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

Predviđeni datumi obrane:

2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.
3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:

prof. dr. sc. Željko Šitum

Predsjednik Povjerenstva:

izv. prof. dr. sc. Petar Čurković

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA	V
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	VI
POPIS OZNAKA	VII
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY	IX
1. UVOD.....	1
1.1. Recikliranje plastike.....	1
1.2. Izazovi pri recikliranju plastike.....	2
2. PROJEKTIRANJE I IZRADA MODELA	3
2.1. Modeliranje i dizajn	3
2.1.1. Prototip modela	4
2.1.2. Iteracija modela.....	5
2.1.3. Konačan dizajn modela.....	6
3. ODABIR KOMPONENTI.....	8
3.1. Servo motori.....	8
3.2. Ultrazvučni senzor HC-SR04.....	10
3.3. Induktivni senzor.....	12
3.3.1. Radni princip induktivnog senzora	13
3.4. Mikrokontroler Dasduino.....	15
3.4.1. Dasduino CORE (ATmega328)	15
3.4.2. Dasduino LITE (ATTiny1604)	16
3.5. Napajanje.....	18
3.6. Pretvarač napona step up.....	18
3.7. Ostale komponente.....	19
4. IZRADA UREĐAJA	20

4.1. 3D printanje.....	20
4.1.1. 3D printer Ender-5 S1	22
4.1.2. Printanje dijelova uređaja.....	23
4.2. Spajanje 3D printanih komponenti.....	26
4.3. Konačan izgled i princip rada uređaja.....	27
4.3.1. Princip rada	28
5. ZAKLJUČAK.....	32
LITERATURA	33
PRILOZI.....	36

POPIS SLIKA

Slika 1.	Separatori vrtložnih struja tvrtke Magnapower [4]	2
Slika 2.	Izgled korisničkog sučelja SolidWorks-a.....	3
Slika 3.	Prototip modela.....	4
Slika 4.	Iteracija modela	5
Slika 5.	Konačan izgled uređaja	6
Slika 6.	Presjek položaja senzora u kutijici i tijelu uređaja	7
Slika 7.	Pwm radni ciklus i frekvencija [6]	8
Slika 8.	Servo motor TowerPro MG995 [7]	9
Slika 9.	Ultrazvučni senzor HC-SR04 [9]	10
Slika 10.	Princip rada ultrazvučnog senzora [11].....	10
Slika 11.	Induktivni senzor SIED-M12B-ZS-K-L [13].....	12
Slika 12.	Raspon osjetila detekcije induktivnog senzora [14].....	13
Slika 13.	Princip rada induktivnog senzora [16].....	14
Slika 14.	Dasduino CORE (ATmega328) [18].....	15
Slika 15.	Dasduino CORE pinout [18]	16
Slika 16.	Dasduino LITE (ATTiny1604) [19]	17
Slika 17.	Dasduino LITE pinout [19]	17
Slika 18.	Adapter i USB-C kabel [20]	18
Slika 19.	Pretvarač napona Joy-IT SBC-XL6019 [21]	18
Slika 20.	Set žica i eksperimentalna pločica [22]	19
Slika 21.	Princip FDM tehnologije [25]	21
Slika 22.	3D printer Ender-5 S1 [27].....	22
Slika 23.	3D model i print držača spremnika.....	24
Slika 24.	3D model i print kutijice za senzore.....	24
Slika 25.	3D model i print poklopca.....	25
Slika 26.	3D model i print lijevka za ubacivanje predmeta.....	25
Slika 27.	Rješenje držača lijevka za ubacivanje predmeta	26
Slika 28.	Princip spajanja držača posuda i poklopca s tijelom uređaja	26
Slika 29.	Sklopljeni uređaj.....	27
Slika 30.	Servo motor 1	28

Slika 31.	Induktivni i ultrazvučni senzor	28
Slika 32.	Servo motor 2	29
Slika 33.	Umetanje plastičnog predmeta, rotiranje bijele posude, neutralni položaj.....	29
Slika 34.	Umetanje metalnog predmeta, rotiranje crne posude, neutralni položaj	30
Slika 35.	Primjer 2. Umetanje kovanice	30

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tehničke specifikacije servo motora TowerPro MG995 [8]	9
Tablica 2. Tehničke specifikacije ultrazvučnog senzora HC-SR04 [12].....	11
Tablica 3. Faktori redukcije induktivnog senzora SIED-M12B-ZS-K-L [13]	12
Tablica 4. Tehničke specifikacije induktivnog senzora FESTO SIED-M12B-ZS-K-L [13] .	14
Tablica 5. Tehničke specifikacije Dasduino CORE mikrokontrolera [18]	16
Tablica 6. Tehničke specifikacije Arduino LITE mikrokontrolera [19]	17
Tablica 7. Tehničke specifikacije pretvarača napona XL6019 [21].....	19
Tablica 8. Specifikacije 3D printera Ender-5 S1 [27]	23

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

- 100 – 1 Trup uređaja
- 100 – 2 Kutijica za senzore
- 100 – 3 Držać lijevka 1
- 100 – 4 Držać lijevka 2
- 100 – 5 Lijevak
- 100 – 6 Držać servo motora
- 100 – 7 Poklopac lijevka
- 100 – 8 Posuda
- 100 – 9 Držać posuda
- 100 – 10 Poklopac

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
D	[cm]	Udaljenost
c	[cm/ms]	Brzina zvuka
V	[ms]	Vrijeme potrebno zvučnim valovima da se vrate nakon udarca u predmet

SAŽETAK

U okviru ovog završnog rada prikazan je proces izrade uređaja za sortiranje metalnih od nemetalnih predmeta. Cilj rada bio je izrada uređaja koji će uspješno odvajati metal od plastike koristeći senzore kao glavne komponente, kako bi se olakšao i poboljšao proces recikliranja. Rad može poslužiti u edukacijske svrhe, a s ciljem implementacije izrađenog sustava u realnom okruženju poput domaćinstva. Kroz poglavlja, rad prati tijek razvoja proizvoda, od početne ideje i izgleda, odabira potrebnih komponenti, 3D printanja dijelova, do njegove konačne realizacije. Predočene slike, tehnička dokumentacija, kao i Arduino kod omogućuju lakšu vizualizaciju konstrukcije uređaja te olakšavaju razumijevanje složenih tehničkih detalja. Naposljetku, navedena su moguća poboljšanja uređaja i predloženi načini za njihovu implementaciju u budućnosti.

Ključne riječi: odvajanje, senzor, polimeri, razvoj proizvoda, mehatronički sustav

SUMMARY

The process of making a device for sorting metallic from non-metallic objects is presented in this final thesis. The goal of the thesis was to create a device that will successfully separate metal from plastic using sensors as the main components, in order to facilitate and improve the recycling process. The device can be used for educational purposes, with the aim of implementation in a real environment such as a household. Through the chapters, the thesis follows the course of product development, from the initial idea and appearance, selection of necessary components, 3D printing of parts, to its final realization. Attached images, technical documentation, as well as the Arduino code allow easier visualization of the device's construction and facilitate the understanding of complex technical details. Finally, possible improvements to the device and suggested ways to implement them in the future are listed.

Keywords: separation, sensor, polymers, product development, mechatronic system

1. UVOD

1.1. Recikliranje plastike

Recikliranje plastike ima ključnu ulogu u očuvanju okoliša i smanjenju otpada te ekološkog otiska koji ona ostavlja na naš planet. S obzirom na njenu raširenost i prisutnost u svakodnevnom životu, danas je život bez plastike gotovo nezamisliv. Niska cijena, izdržljivost, žilavost i fleksibilnost, samo su neki od svojstava zbog kojih se plastika koristi u gotovo svim sferama života. Od odjeće i obuće koju nosimo, ambalaže, dijelova prijevoznih sredstava, namještaja, do elektroničkih i medicinskih uređaja, avio industrije i brojnih drugih područja.[1] Budući da plastika nije biorazgradiva, a vrijeme potrebno za njenu razgradnju može biti i do 1000 godina, plastika koja završi u prirodi utječe na životinjski i biljni svijet, zagađuje tlo i podzemne vode te na taj način direktno ili indirektno utječe i na čovjeka. Upravo je iz tih razloga recikliranje plastike jedan od prioriteta u očuvanju okoliša.

Kako navodi UNEP (Program Ujedinjenih naroda za okoliš), procjenjuje se da se trenutno proizvodi više od 350 milijuna tona plastičnog otpada godišnje te se predviđa da će se ta brojka utrostručiti do 2060., na nevjerojatnih milijardu tona. Također, poražavajuća činjenica je da se trenutno reciklira manje od 10 posto plastičnog otpada.

Nekoliko je načina na koje recikliranje plastike pomaže pri očuvanju okoliša, a neki od njih navedeni su u nastavku:

- Ušteda energije
- Smanjenje potražnje za sirovinama
- Smanjenje potrošnje fosilnih goriva
- Smanjenje emisije CO₂
- Smanjenje upotrebe odlagališta
- Promicanje održivog načina života [2]

1.2. Izazovi pri recikliranju plastike

Proces recikliranja plastike nije jednostavan jer je plastika vrlo često kontaminirana drugim materijalima poput metala, papira ili stakla. Kako bi se postigla bolja svojstva poput čvrstoće, tvrdoće ili funkcionalnosti, u mnogim se proizvodima plastika i metal kombiniraju. Neka plastična pakiranja sadrže metalne dijelove kao što su čepovi, opruge, naljepnice i poklopci. To predstavlja svojevrsan izazov jer je prilikom recikliranja nužno odvajanje metala od plastike. Metal je uobičajena nečistoća u procesu recikliranja plastike, pa njegova prisutnost u plastičnom otpadu može utjecati na kvalitetu recikliranog materijala. Također, metal se odvaja i uklanja jer oštećuje strojeve za recikliranje i uzrokuje probleme u kvaliteti konačnog proizvoda. Upravo su to neki od razloga za razvoj uređaja koji je tema ovog rada.

Pet je primarnih tehnologija koje se koriste za uklanjanje metala kroz proces recikliranja: magnetizam, vrtložna struja, detekcija metala, „plutajući sudoper“ i ručno razvrstavanje. Ove se tehnologije mogu koristiti u kombinaciji i više puta tijekom procesa recikliranja kako bi se postigao željeni rezultat.[3] Za potrebe ovog završnog rada korištena je tehnologija vrtložne struje u vidu induktivnog senzora o čijem će principu rada i primjene u ovom uređaju biti riječ u kasnijem poglavlju.

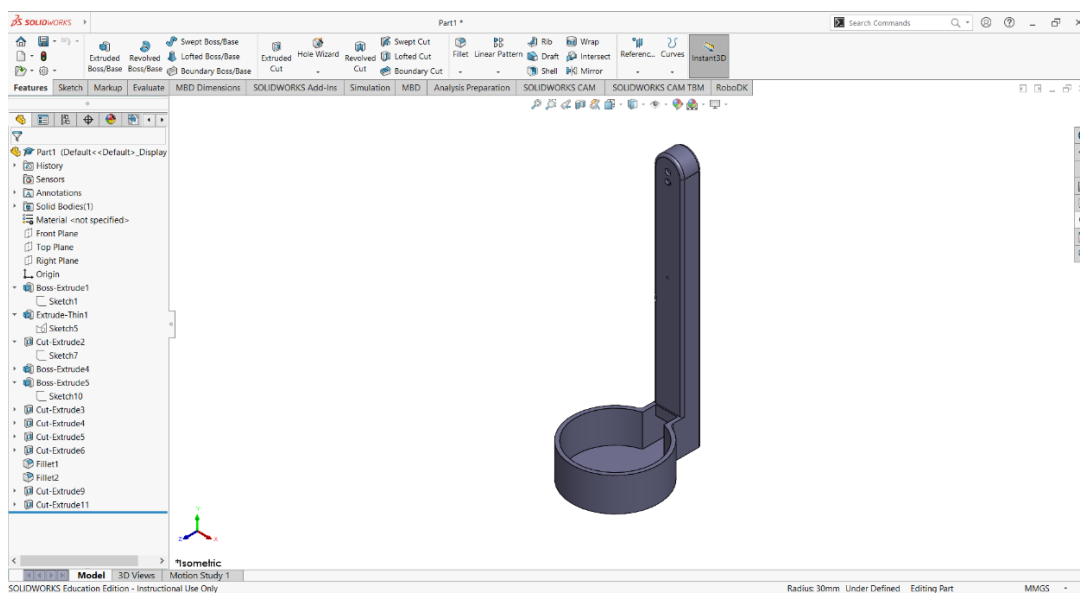


Slika 1. Separatori vrtložnih struja tvrtke Magnapower [4]

2. PROJEKTIRANJE I IZRADA MODELA

2.1. Modeliranje i dizajn

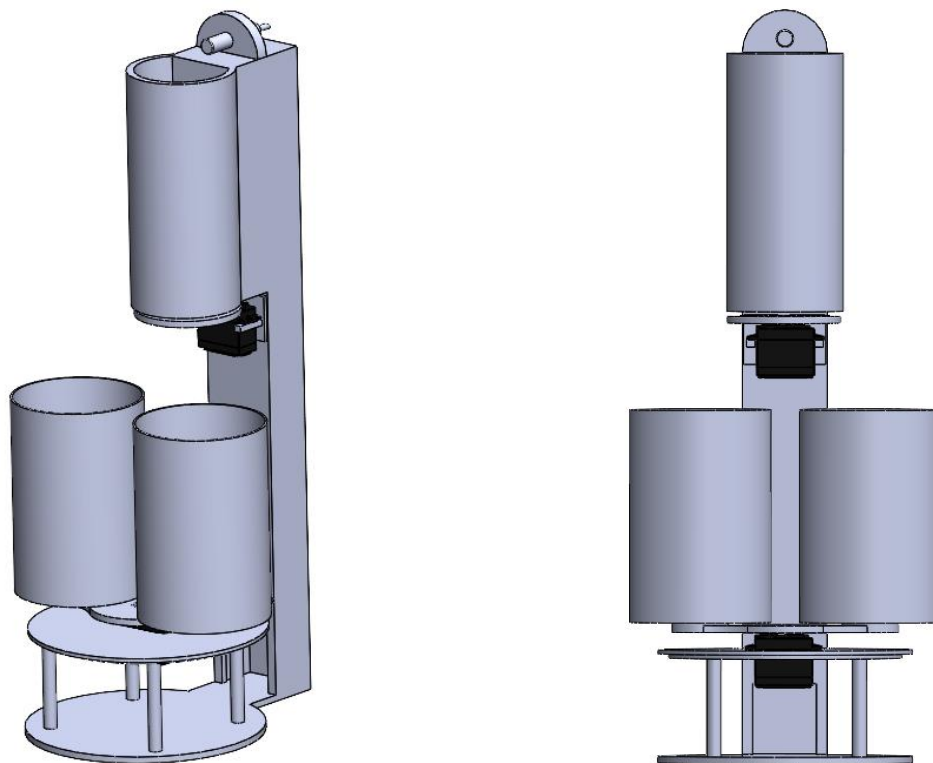
U sklopu ovog završnog rada, konačan izgled trodimenzionalnog modela, kao i sve njegove prethodne iteracije, dizajniran je korištenjem CAD i CAE računalnog programa SolidWorks. Razvijen od strane tvrtke Dassault Systèmes, jedan je od najpopularnijih softvera za dizajn i modeliranje na svijetu. Poznat je po nizu karakteristika i visokoj funkcionalnosti te se koristi u više struka i industrija diljem svijeta, od automobilske i zrakoplovne industrije do elektronike i proizvodnje. SolidWorks nudi brojne mogućnosti, kao što su: 3D modeliranje i dizajn, sastavljanje komponenti u sklopove, simulacije i analize, generiranje tehničkih crteža, prototipiranje i proizvodnja te korisnička prilagodba i automatizacija.[5]



Slika 2. Izgled korisničkog sučelja SolidWorks-a

2.1.1. Prototip modela

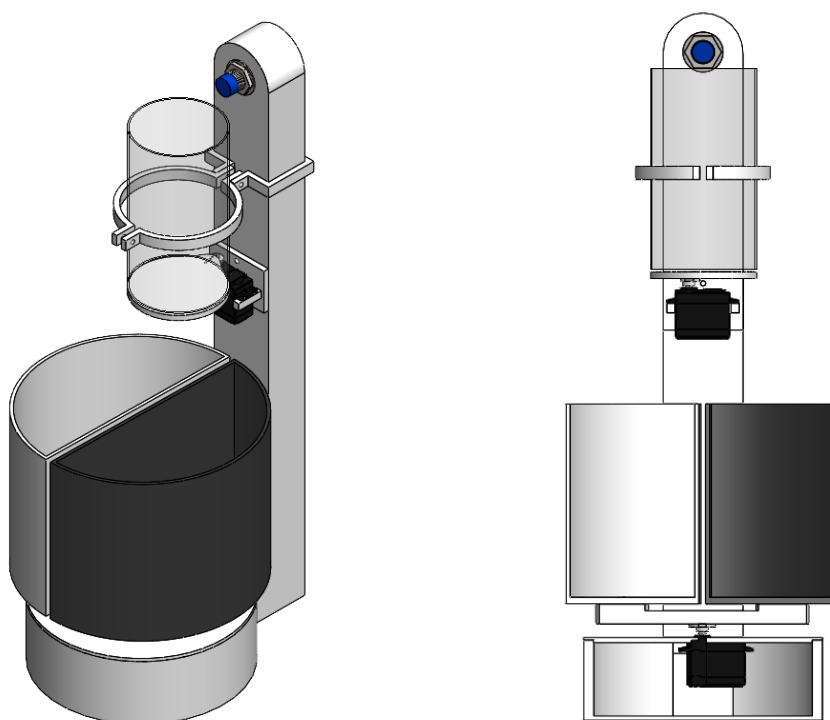
Prva verzija proizvoda ili sustava koji se proizvodi naziva se prototip. Prototip ujedno predstavlja prvi korak za izvođenje potrebnih modifikacija te omogućuje testiranje osnovnog koncepta i funkcionalnosti uređaja. Prilikom izrade prototipa uređaja za razvrstavanje metalnih od nemetalnih predmeta ustanovljeni su propusti i nedostaci koji će se kasnije otkloniti. Također, prototip pruža mogućnost ponavljanja dok se ne postigne željeni rezultat te pomaže pri vizualizaciji dizajna i funkcionalnosti. U nastavku je prikazan prototip zamišljenog uređaja i njegov prvobitni dizajn i ideja. [Slika 3]



Slika 3. Prototip modela

2.1.2. Iteracija modela

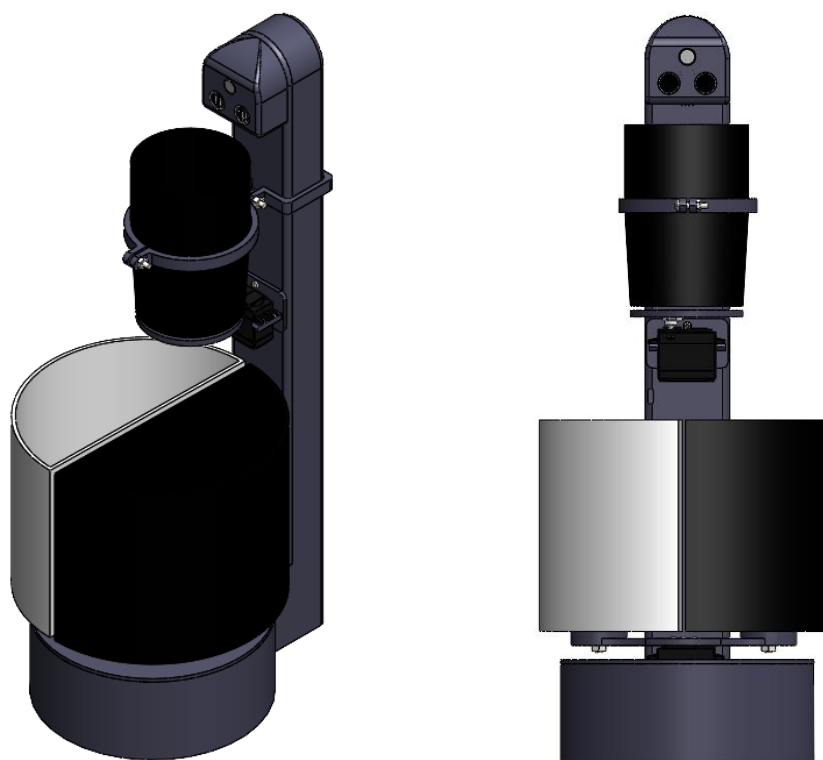
Iteriranje označava proces ponavljanja i ponovnog prolaska kroz faze razvoja proizvoda s nakanom približavanja željenom cilju, odnosno rezultatu. Iteriranje nudi mogućnost poboljšanja dizajna i efikasnosti, kao i postupnog usavršavanja uzimajući u obzir povratne informacije, testiranja i analize. U ovoj iteraciji izmijenjen je dizajn posuda za metal i plastiku, kao i dizajn spremnika za ubacivanje predmeta. Također, donesena je odluka da se sve elektroničke komponente smjeste u donji dio trupa uređaja kako bi sam uređaj izgledao urednije i estetski privlačnije. Uz te promjene, izmijenjen je način ugradnje induktivnog senzora.



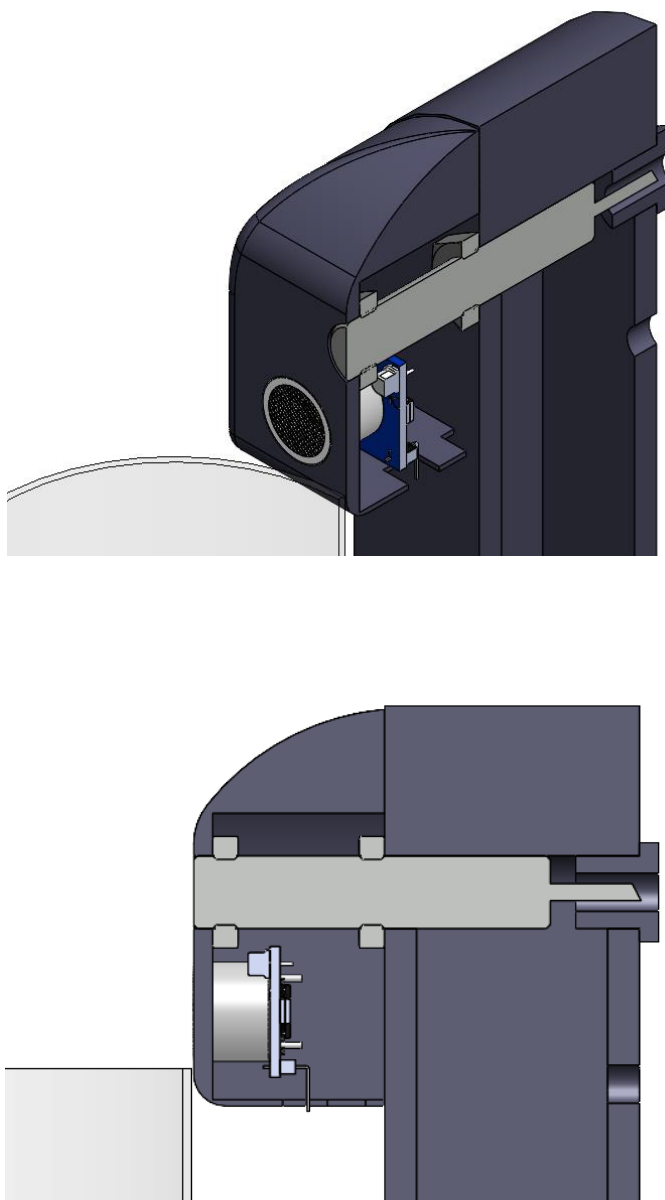
Slika 4. Iteracija modela

2.1.3. Konačan dizajn modela

Za konačan izgled uređaja odabrana je posljednja iteracija uz manje izmjene u dizajnu i estetici. Najvažnija promjena odnosi se na senzore, tj. na njihov položaj u sustavu. Naime, konstruirana je kutijica predviđena za ugradnju oba senzora, što u prethodnim varijantama nije bio slučaj. Dizajnirana je tako da njen rub bude u ravni s rubom spremnika za ubacivanje predmeta radi bolje efikasnosti induktivnog senzora i lakše detekcije metala. Radi preglednosti priložena je slika koja prikazuje položaj senzora unutar kutijice. [Slika 6]



Slika 5. Konačan izgled uređaja



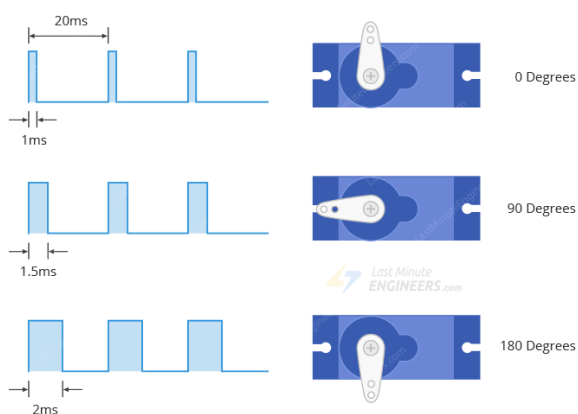
Slika 6. Presjek položaja senzora u kutijici i tijelu uređaja

3. ODABIR KOMPONENTI

Nakon modeliranja i printanja dijelova, idući korak u procesu razvoja je odabir odgovarajućih komponenti. Pažljivo odabrane komponente osiguravaju efikasnost, pouzdanost i funkcionalnost uređaja. Budući da su komponente birane u ranom razvoju uređaja i da se izvedba istog mijenjala, neke od njih nisu najbolji izbor za ovaj uređaj, no više će riječi o tome biti u zaključnom paragrafu. U nastavku teksta opisane su odabrane komponente, kao i njihove specifikacije.

3.1. Servo motori

Servo motori su motori koji omogućuju preciznu kontrolu kretanja jer se pomiču u odgovarajući položaj umjesto da se neprekidno okreću. Upravo su iz tog razloga izabrani za ovaj projekt. Servo motori sadrže mali istosmjerni motor (DC motor) spojen na izlaznu osovinu preko zupčanika. Izlazna osovina pokreće servo ruku i također je povezana s potencijometrom. Potencijometar šalje povratnu informaciju o položaju pojačalu greške u upravljačkoj jedinici, koja uspoređuje trenutni položaj motora s ciljnim položajem. Kao odgovor na pogrešku, upravljačka jedinica prilagođava trenutni položaj motora tako da odgovara željenom položaju. Upravo ta povratna informacija o položaju, koja drugim motorima (npr. koračnim) nedostaje, posebna je značajka servo motora. Ovaj je mehanizam poznat kao servomehanizam ili skraćeno servo. To je sustav upravljanja u zatvorenoj petlji koji koristi negativnu povratnu vezu za prilagodbu brzine i smjera motora te postizanje željenog rezultata. Servo motorom se može upravljati slanjem niza impulsa, a duljina impulsa određuje položaj servo motora.[6]



Slika 7. Pwm radni ciklus i frekvencija [6]

S obzirom na izvedbu uređaja za sortiranje, potrebna su dva servo motora. Jedan koji će otvarati poklopac lijevka za ubacivanje predmeta i drugi koji će pozicionirati odgovarajuću posudu ovisno o kojem je materijalu riječ, metalnom ili plastičnom. Odabran je model TowerPro MG995. Ovaj model omogućuje pozicioniranje vratila za otklon od 0° do 180°. Tehničke specifikacije odabranog servo motora priložene su u tablici 1.



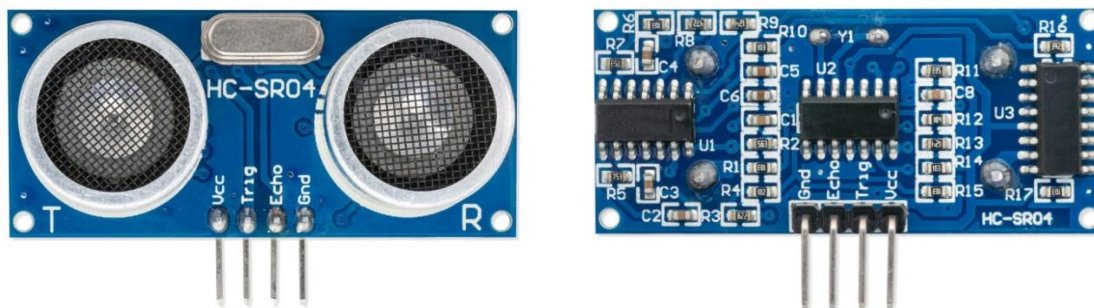
Slika 8. Servo motor TowerPro MG995 [7]

Tablica 1. Tehničke specifikacije servo motora TowerPro MG995 [8]

Brzina okreta	0.20 s/60° (4.8V), 0.16 s/60° (6V)
Napon	4.8 V - 6.6 V
Dimenzije	40 mm x 20 mm x 43 mm
Kut	180°
Moment	9.4 kg/cm (4.8V) – 11 kg/cm (6V)
Masa	55 g
Raspon radne temperature	0 °C – 55 °C
Maksimalna struja	1.2 A
Mrtvo vrijeme	1 μs

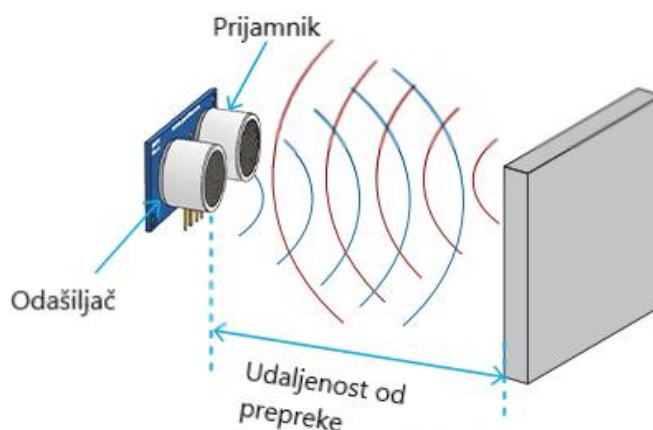
3.2. Ultrazvučni senzor HC-SR04

Ultrazvučni senzor HC-SR04 je uređaj koji mjeri udaljenost do predmeta emitiranjem ultrazvučnih valova i pretvaranjem reflektiranog zvuka u električni signal. Koristi pretvornik za emitiranje i prijem ultrazvučnih impulsa koji šalju povratne informacije o udaljenosti predmeta. [Slika 9]



Slika 9. Ultrazvučni senzor HC-SR04 [9]

Ultrazvučni senzori šalju zvučne valove na frekvenciji iznad raspona ljudskog sluha. Sastoje se od dvije glavne komponente: odašiljač (koji emitira zvuk pomoću piezoelektričnih kristala) i prijemnik (koji nailazi na zvuk nakon što je doputovao do cilja i od njega).[10] Ovaj senzor ima jednostavan princip rada. On emitira ultrazvučni impuls koji putuje zrakom, a kada naiđe na prepreku i/ili objekt, impuls će se odbiti natrag prema senzoru. [Slika 10]



Slika 10. Princip rada ultrazvučnog senzora [11]

Udaljenost do objekta senzor određuje mjereći vremenski razmak između emitiranja i prijema ultrazvučnog impulsa, a ona se može odrediti korištenjem iduće formule:

$$D = \frac{c \cdot T}{2}, \quad (1)$$

gdje su:

D – udaljenost [cm]

c – brzina zvuka: 340 m/s = 34 [cm/ms]

T – vrijeme potrebno zvučnim valovima da se vrate nakon udara u predmet [ms]

U ovoj formuli udaljenost D izražena je u cm, stoga je potrebno i ostale veličine pretvoriti u odgovarajuće mjerne jedinice, brzinu zvuka u cm/ms te vrijeme T u ms.

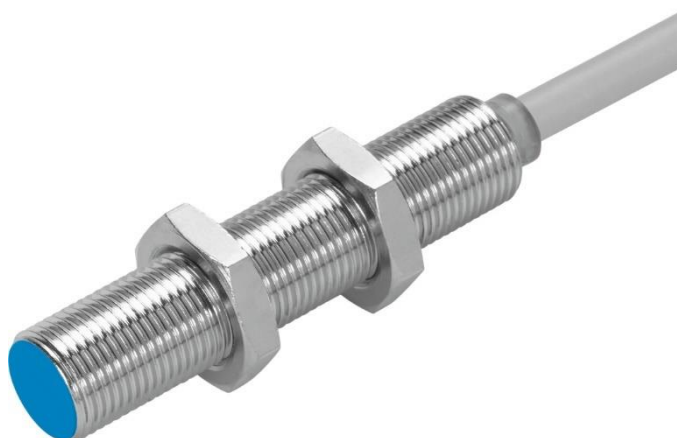
Ultrazvučni senzori detektiraju predmete neovisno o boji, površini ili materijalu (osim mekih materijala, poput vune, koji bi apsorbirali zvuk). Također, za detekciju prozirnih i drugih predmeta gdje optičke tehnologije mogu zakazati, ultrazvučni senzori su pouzdan izbor. Budući da se u ovom radu ultrazvučni senzor koristi za detekciju prisutnosti metalnih i plastičnih predmeta koji mogu biti različitih tekstura, u raznim bojama, ali i prozirni ovaj senzor predstavlja vrlo dobro rješenje za potrebe ovog uređaja. Detaljnije specifikacije priložene su u tablici 2.

Tablica 2. Tehničke specifikacije ultrazvučnog senzora HC-SR04 [12]

Domet	2 cm – 400 cm
Preciznost	1 cm
Kut mjerenja	15 stupnjeva
Ulazni napon	5 V
Struja	< 2 mA
Radna temperatura	-15°C do 70°C
Ultrazvučna frekvencija	40 kHz

3.3. Induktivni senzor

Induktivni senzor je elektronički uređaj koji detektira metalne predmete bez fizičkog kontakta. U ovom je radu korišten FESTO senzor, model SIED-M12B-ZS-K-L.



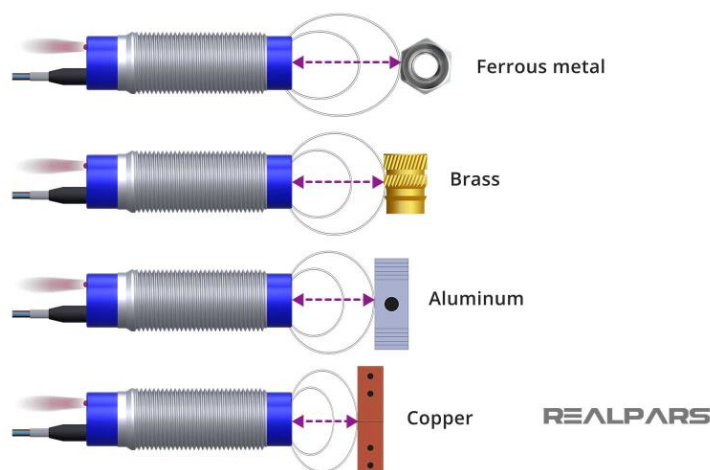
Slika 11. Induktivni senzor SIED-M12B-ZS-K-L [13]

Ovi senzori također će detektirati predmete od obojenih metala, ali detekcija ovih metala smanjuje raspon osjetila induktivnog senzora. Raspon osjetila induktivnog senzora predstavlja udaljenost od prednje strane senzora do najveće udaljenosti na kojoj senzor može otkriti metalni predmet. Udaljenost osjeta može se pronaći na podatkovnoj tablici senzora koja također sadrži neke faktore korekcije za detekciju obojenih metala. Obojeni metali su metali koji ne sadrže značajnu količinu željeza u sebi, poput mjedi, aluminija i bakra. Ako je predmet od obojenog metala, u obzir treba uzeti faktor korekcije pri definiranju udaljenosti osjeta senzora. [Tablica 3]

Tablica 3. Faktori redukcije induktivnog senzora SIED-M12B-ZS-K-L [13]

Plemeniti čelik St 18/8	0,9
Aluminij	0,5
Mesing	0,6
Bakar	0,4
Čelik St 37	1,0

Za odabrani model senzora podatkovna tablica prikazuje udaljenost osjeta od 2 mm. [Tablica 4] To je udaljenost pri kojoj senzor detektira predmete od čelika koji ima značajnu količinu željeza u sebi. Na primjer, prema podacima iz tablice 4, ako je predmet izrađen od aluminija, jednostavno treba pomnožiti normalnu udaljenost senzora s 0,5. Dakle, ako pomnožimo 2 mm s 0,5, dobit ćemo 1 mm kao udaljenost osjetila za predmet od aluminija. To znači da ako želimo detektirati predmet koji je napravljen od aluminija, udaljenost između senzora i objekta ne smije biti veća od 1 mm. Isto vrijedi i za ostale obojene metale. Na primjer, ako imamo predmet koji je izrađen od bakra, udaljenost osjeta za ovaj induktivni senzor je 2 mm pomnoženo s 0,4. To nam daje udaljenost osjeta od 0,8 mm. [Tablica 3

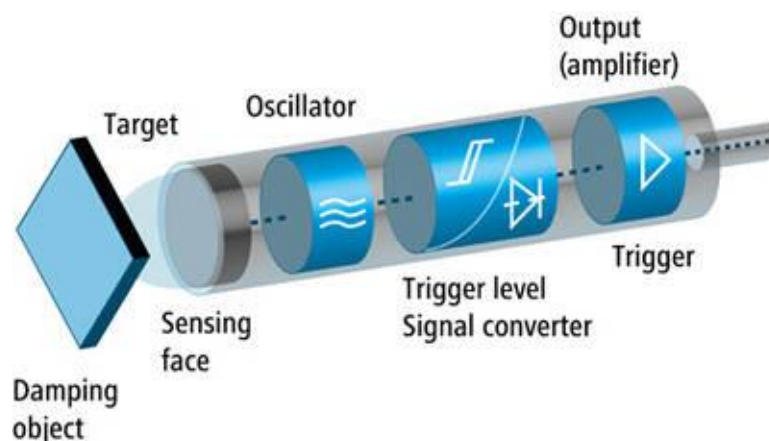


Slika 12. Raspon osjetila detekcije induktivnog senzora [14]

3.3.1. Radni princip induktivnog senzora

Oscilator u osjetilu (zavojnici) stvara simetrično, oscilirajuće elektromagnetsko polje koje zrači iz feritne jezgre i niza zavojnica na osjetnoj površini. Kada metalni predmet uđe u ovo magnetsko polje, male vrtložne struje induciraju se na površini metala. Vrtložne struje stvorene u metalnom predmetu stvaraju vlastito magnetsko polje koje se suprotstavlja elektromagnetskom polju senzora. Ovo protivljenje smanjuje snagu oscilacija. Stvaraju se toplinski gubici (plus gubici zbog petlje histereze u feromagnetima) koji prigušuju oscilacije. Kada se oscilacija smanji iznad određenog praga, senzor prepoznaje prisutnost metalnog predmeta. Demodulator (diodni detektor) detektira pad amplitude oscilacija i dolazi do promjene logičkog stanja okidnog sklopa koje se preslikava na izlazni stupanj (izlazne

kontakte) senzora. Približavanje metalnog objekta uzrokuje promjenu logičkog stanja izlaznih kontakata (NO i/ili NC). [15]



Slika 13. Princip rada induktivnog senzora [16]

Tablica 4. Tehničke specifikacije induktivnog senzora FESTO SIED-M12B-ZS-K-L [13]

Izvedbena veličina	M12
Princip mjerenja	induktivni
Nazivna uklopna udaljenost	2 mm
Temperatura okoline	- 25 °C ... 85 °C
Točnost ponavljanja	0.1 mm
Pad napona	≤ 8 V
Funkcija sklopnog elementa	Normalno otvoren
Minimalna struja opterećenja	5 mA
Područje pogonskog napona AC	20 V ... 265 V
Frekvencija mreže	50 Hz
Zaštita od obrnutog polariteta	za sve električne priključke
Električni priključak	2-žični kabel
Odabir dodatnih informacija senzora	za istosmjerni i izmjenični napon
Klasa otpornosti na koroziju CRC	1 - mala izloženost koroziji
Klasa zaštite	IP67

3.4. Mikrokontroler Dasduino

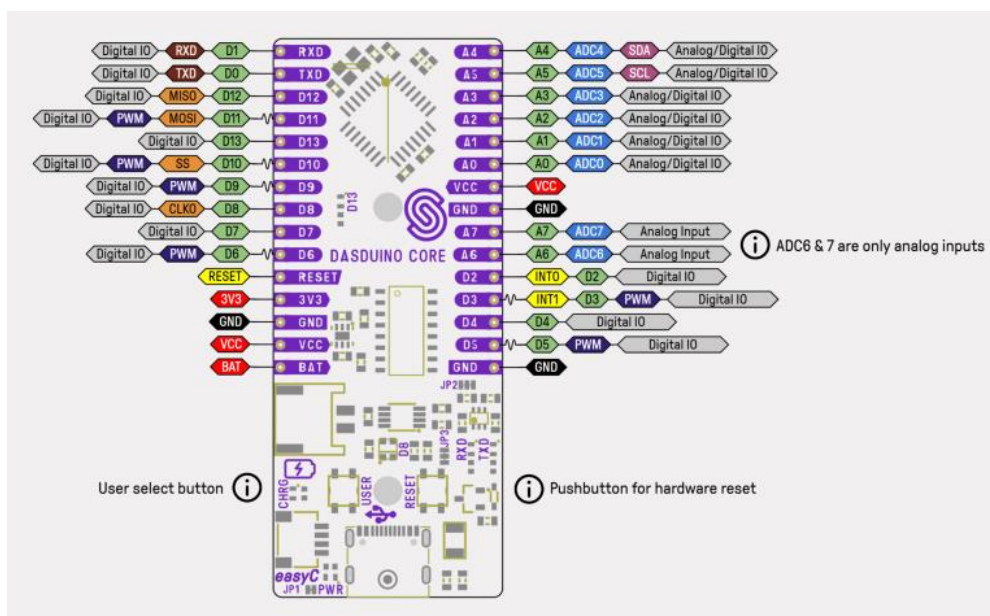
Dasduino je hrvatska verzija Arduina, odnosno prva hrvatska pločica kompatibilna s Arduinom. To znači da se Dasduino može koristiti za sve namjene za koje se koristi Arduino. Arduino je platforma dizajnirana za izradu elektroničkih projekata. Sastoji se od dva dijela; hardware-a, poznatog kao mikrokontroler, i software-a pod nazivom IDE (Integrated Development Environment). IDE se pokreće putem računala i koristi se za programiranje i upravljanje pločicom. Za ovaj su projekt izabrana dva modela Dasduino pločica, Dasduino CORE (ATmega328) i Dasduino LITE (ATTiny1604). [17]

3.4.1. Dasduino CORE (ATmega328)

Pločica Dasduino CORE koristi jednočipni 8-bitni ATmega328P mikrokontroler s 16 MHz radnom brzinom i s 32 KB flash memorije. Ima 14 digitalnih i 8 analognih pinova. Dolazi s USB-C konekcijom i u potpunosti je kompatibilan s IDE software-om i Arduino pločicama. Ovaj se mikrokontroler koristi kao glavna upravljačka jedinica ovog uređaja.



Slika 14. Dasduino CORE (ATmega328) [18]



Slika 15. Dasduino CORE pinout [18]

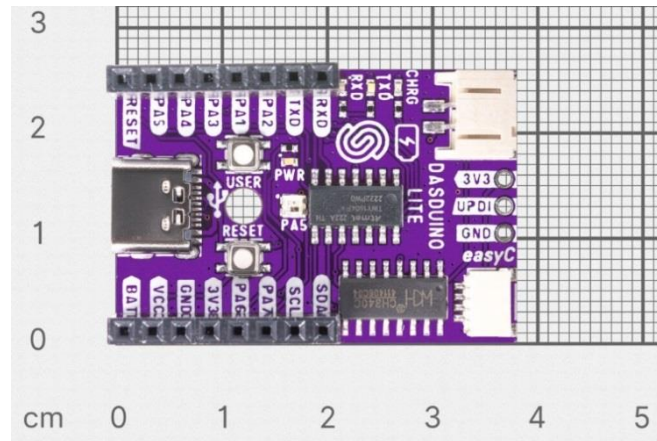
Tablica 5. Tehničke specifikacije Dasduino CORE mikrokontrolera [18]

Mikroupravljač	Atmel Atmega328
Radni napon	5 V
Dimenzije	63 mm x 22 mm
Konektori	easyC, konektor za Litij-ionsku bateriju, USB Type-C,
Komunikacija	SPI, UART, I2C
Pinovi	ukupno 22 (14 digitalnih, 8 analognih; A6, A7 isključivo analogni)

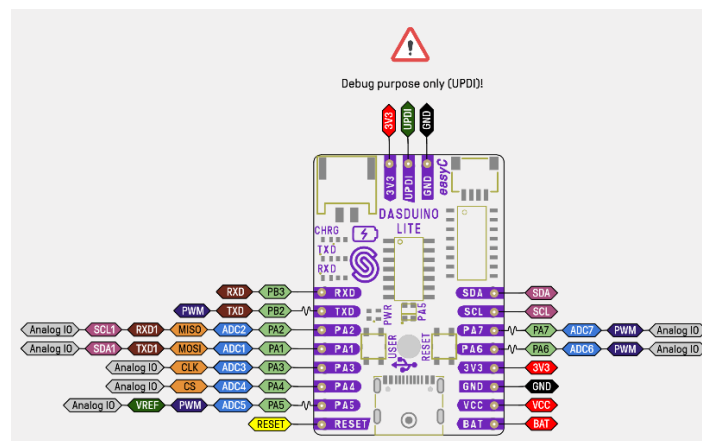
3.4.2. Dasduino LITE (ATTiny1604)

Dasduino Lite je odabran zbog ograničenog prostora kojim se raspolaže, budući da se sve elektroničke komponente uređaja nalaze skrivene u donjem dijelu trupa uređaja. Širine samo 38mm i visine 26mm, Dasduino Lite sadrži 12 GPIO pinova. Od toga, 9 pinova se može programirati kao analogni. Dasduino LITE na sebi ima ATTiny1604 mikrokontroler za koji je potrebno preuzeti Arduino biblioteku.

Pored svojih malih dimenzija koje su glavna karakteristika ovog Dasduina, tu su još i RGB LED dioda, punjač za litijsku bateriju te easyC konektor. [19]



Slika 16. Dasduino LITE (ATTiny1604) [19]



Slika 17. Dasduino LITE pinout [19]

Tablica 6. Tehničke specifikacije Arduino LITE mikrokontrolera [19]

Mikrokontroler	ATtiny1604
Radni napon	5 V
Napon logike	3.3 V
Pinovi	ukupno 12 GPIO (9 analognih)
Konektori	easyC, USB Type-C, konektor za Litij-ionsku bateriju

3.5. Napajanje

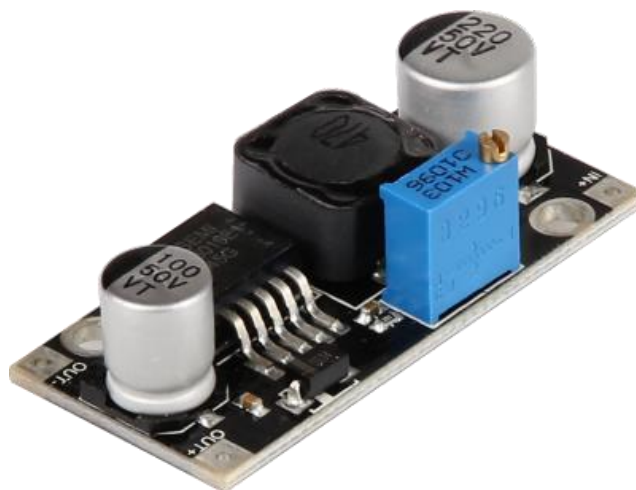
Budući da nije važna mobilnost uređaja jer je predviđeno da ostaje na fiksnom mjestu, Dasduino CORE se napaja putem USB-C kabela priključenog na adapter iz utičnice. Ovaj način napajanja pruža stabilan izvor napona od 5V i dovoljno struje za rad uređaja, čineći ga jednostavnim rješenjem za stacionarne aplikacije.



Slika 18. Adapter i USB-C kabel [20]

3.6. Pretvarač napona step up

Kako bismo mogli napajati komponente moramo povećati napon jer iz utičnice dobivamo značajno manji iznos napona u odnosu na one iznose koje naše komponente zahtijevaju. Stoga koristimo pretvarač napona Joy-IT SBC-XL6019. Pomoću malog trimera na pločici namještamo vrijednosti napona tako da izlazni napon bude veći od ulaznog.



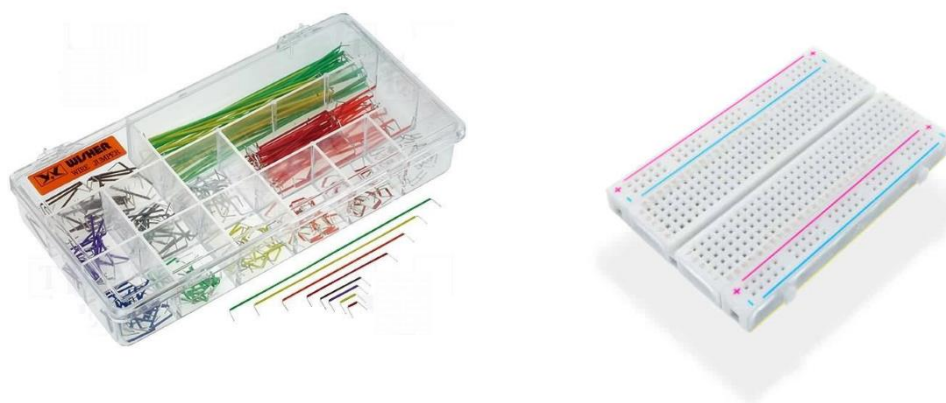
Slika 19. Pretvarač napona Joy-IT SBC-XL6019 [21]

Tablica 7. Tehničke specifikacije pretvarača napona XL6019 [21]

Ulazni napon	5 - 40 V
Izlazni napon	5 – 40 V (podesivo potencijetrom)
Ulazna struja	max. 5 A
Izlazna struja	max. 1.5 A
Snaga	max. 20 W
Posebne značajke	Visoka učinkovitost (do 94%)

3.7. Ostale komponente

Od ostalih komponenti potrebnih za spajanje svih dijelova bili su nam potrebni različiti vijci i matice, dvije eksperimentalne pločice, LED dioda, fotootpornik, kondenzator, žice za eksperimentalnu pločicu te set kablčića muško-ženski i žensko-ženski.



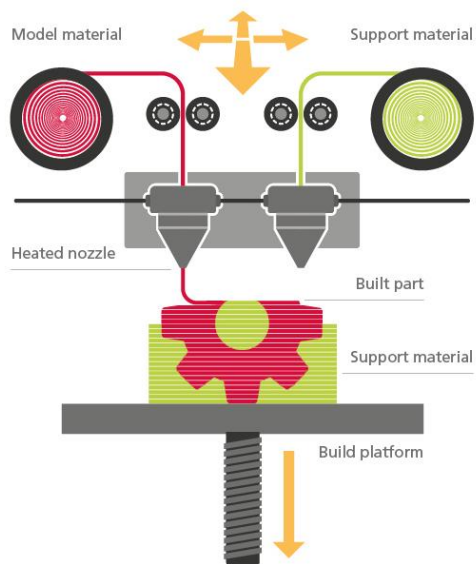
Slika 20. Set žica i eksperimentalna pločica [22]

4. IZRADA UREĐAJA

4.1. 3D printanje

3D printanje, poznato i pod nazivom aditivna proizvodnja, tehnologija je izrade trodimenzionalnih fizičkih objekata iz digitalnih CAD modela uzastopnim dodavanjem materijala. Za razliku od klasičnih postupaka obrade materijala (poput bušenja ili rezanja), ovom se tehnologijom dodaje sloj po sloj materijala kako bi se stvorio željeni oblik proizvoda. Danas se tehnologija 3D printanja koristi u širokom spektru industrija, uključujući zrakoplovnu i automobilsku industriju, prehrambenu industriju, zdravstvo i medicinsku industriju, arhitekturu i građevinarstvo, industriju tkanina i mode, električnu i elektroničku industriju. Materijali koji se trenutno mogu koristiti kod tehnologije 3D printanja su: termoplastika, keramika, materijali na bazi grafena i metali te posebni materijali poput hrane i tekstila. Ova tehnologija povećava brzinu proizvodnje, smanjuje troškove i omogućuje prilagodbu dizajna, što je čini vrlo povoljnom za brojne projekte. Nekoliko je metoda 3D printanja, a neke od njih uključuju: Direct Metal Laser Sintering (DMLS), PolyJet, Selective Laser Sintering (SLS), Stereolithography (SLA) i Fused Deposition Modeling (FDM). Svaka metoda koristi različite materijale i tehnike kako bi kreirala slojeve koji se postepeno povezuju u konačni proizvod.[23]

FDM je najpopularnija tehnologija 3D printanja, gdje se materijali istiskuju kroz mlaznicu printera i spajaju kako bi se formirali trodimenzionalni predmeti. Kao sirovine za ovu tehnologiju koriste se termoplasti koji obično dolaze u obliku filamenata ili peleta. FDM 3D printer uzima filament na bazi polimera i potiskuje ga kroz zagrijanu mlaznicu, koja na taj način topi materijal i nanosi ga sloj po sloj na platformu. Budući da su slojevi još topli, stapaju se jedan s drugim te se na taj način formiraju u trodimenzionalne dijelove.[24] Velika prednost FDM-a je fleksibilnost materijala i njegova dostupnost na tržištu. Najčešće korišteni filamenti su PLA (polilaktična kiselina), PETG (glikolom ojačani polietilen tereftalat) i ABS (akrilonitril butadien stiren). Svaki materijal ima različita svojstva koja će dobro funkcionirati za neke primjene, a loše za druge. Princip FDM tehnologije prikazan je na slici 21.



Slika 21. Princip FDM tehnologije [25]

Polilaktična kiselina, poznatija kao PLA, jedan je od poznatijih filamenata koji se koriste u aditivnoj proizvodnji. Nudi brojne prednosti u 3D ispisu, što ga čini popularnim izborom i za početnike i za profesionalce. Jednostavnost upotrebe, svestranost, ekološka svojstva, niska točka taljenja, minimalno savijanje i izvrsno prianjanje slojeva, samo su neke od prednosti PLA-a. Od brze izrade prototipova do stvaranja zamršenih umjetničkih dizajna, PLA nudi izvrsnu kvalitetu ispisa i točnost dimenzija.[26]

4.1.1. 3D printer Ender-5 S1

3D printer korišten pri izradi dijelova konstrukcije u okviru završnog rada je model Ender-5 S1, proizvođača Creality. [Slika 22.]



Slika 22. 3D printer Ender-5 S1 [27]

Ovaj printer zbog svojih izvanrednih svojstava i karakteristika može izraditi složene modele u željenoj kvaliteti i u najkraćem mogućem vremenu. Neke od odlika koje ga krasi uključuju ispis velike brzine, preciznost, izvanrednu stabilnost konstrukcije, ventilator za brzo hlađenje modela, italic nadogradnje za bolju otpornost na temperaturu, korištenje normalnih i visokotemperaturnih filamenata, automatsko niveliranje i brojne druge. Detaljnije specifikacije ovog modela navedene su u tablici 8.

Tablica 8. Specifikacije 3D printera Ender-5 S1 [27]

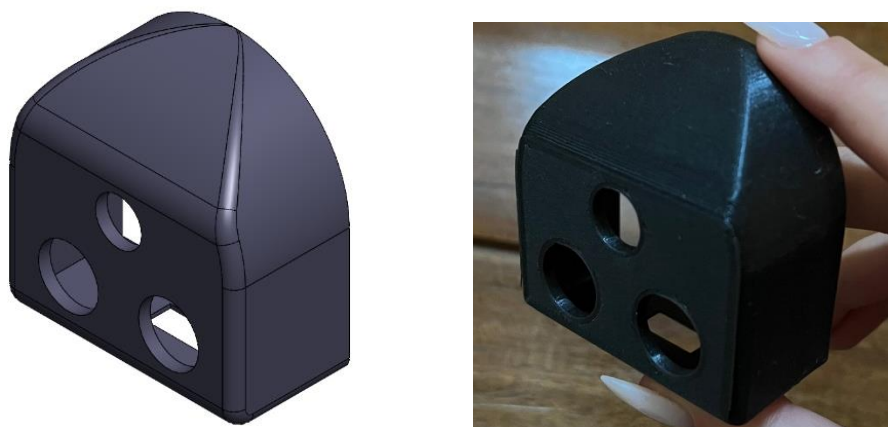
Tehnologija printanja	FDM
Volumen	220 x 220 x 280 mm
Vrsta ekstrudera	"Sprite" ekstruder s izravnim pogonom s dva zupčanika
Način niveliranja	CR Touch automatsko niveliranje
Promjer žarne niti	1,75 mm
Visina sloja	0,05 - 0,35 mm
Točnost ispisa	± 0,1 mm
Temperatura mlaznice	≤ 300°C
Temperatura grijaćeg sloja	≤ 110°C
Nazivni napon	200 – 240 V~, 100 – 120 V~, 50/60 Hz
Nazivna snaga	350 W
Prijenos datoteka	memorijska kartica, USB Type-C kabel
Formati datoteka	OBJ, STL, AMF
Podržani filamenti	PLA, ABS, PETG, ASA, TPU, PC, HIPS
Softver za rezanje	Simplify3D, Creality Print, Cura, Repetier-Host, Creality Slicer

4.1.2. *Printanje dijelova uređaja*

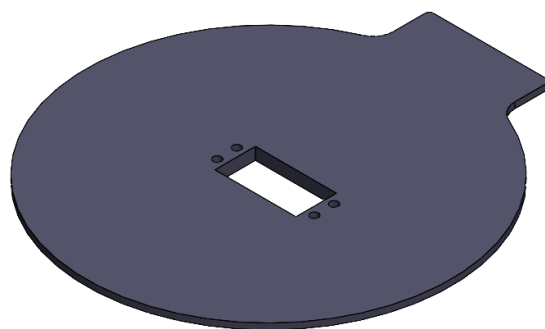
Kompletna konstrukcija uređaja za razvrstavanje metalnih i nemetalnih predmeta napravljena je korištenjem ranije spomenutog PLA materijala koji pruža zadovoljavajuća svojstva za izradu ovog projekta. Kao što je ranije navedeno, svi dijelovi modelirani su u računalnom programu SolidWorks te su isprintani korištenjem 3D printera i različitih boja PLA filameta. U nastavku je priložen usporedni prikaz 3D modela i printa nekih od dijelova.



Slika 23. 3D model i print držača spremnika



Slika 24. 3D model i print kutijice za senzore



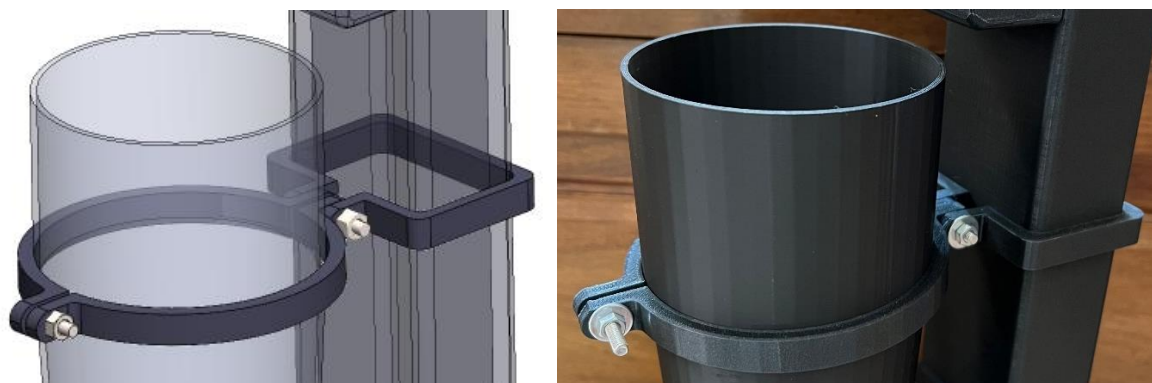
Slika 25. 3D model i print poklopca



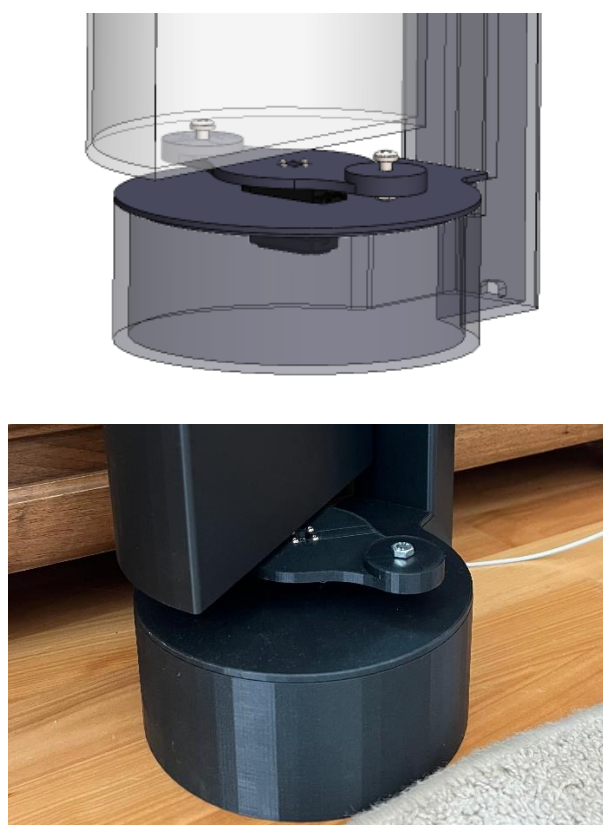
Slika 26. 3D model i print lijevka za ubacivanje predmeta

4.2. Spajanje 3D printanih komponenti

Nakon modeliranja i 3D printanja svih komponenti uređaja, slijedi proces njihove montaže, pri čemu je važno pažljivo spajanje svih dijelova pomoću odabranih matica i vijaka. Na slikama 27. i 28. prikazana su rješenja spajanja pojedinih dijelova.



Slika 27. Rješenje držača lijevka za ubacivanje predmeta



Slika 28. Princip spajanja držača posuda i poklopca s tijelom uređaja

4.3. Konačan izgled i princip rada uređaja

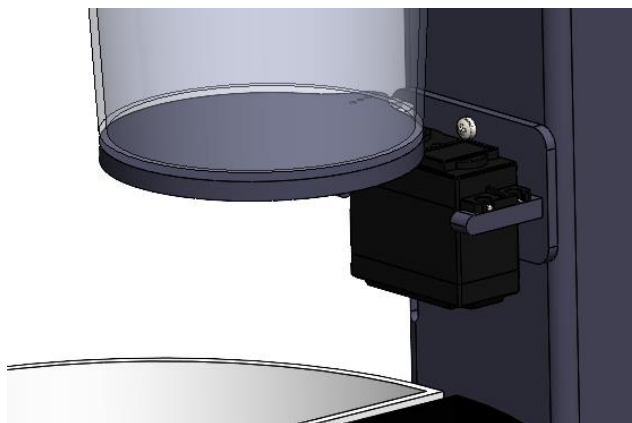
Nakon spajanja svih elektroničkih komponenti i montaže 3D printanih dijelova, uređaj poprima svoj završni oblik. U ovoj je fazi uređaj spreman za testiranje i praktičnu primjenu. Na slici 29. prikazan je konačan izgled uređaja, s jasno vidljivim rasporedom svih dijelova, uključujući senzore, pogonske mehanizme i druge ključne komponente. Ovaj završni dizajn prikazuje optimalan raspored dijelova kako bi uređaj bio funkcionalan, stabilan i efikasan u radu.



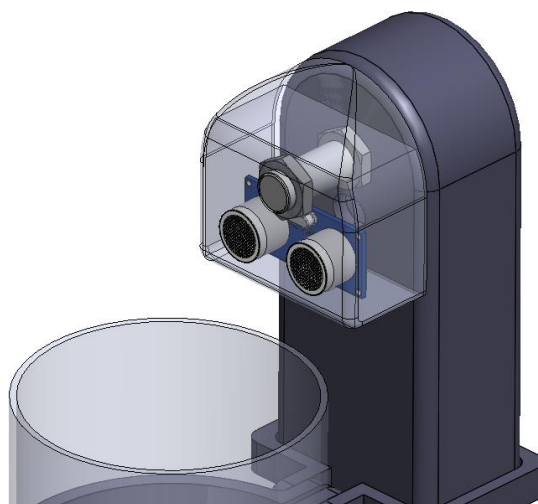
Slika 29. Sklopljeni uređaj

4.3.1. Princip rada

Princip rada uređaja je sljedeći: korisnik uzima predmet i stavlja ga u lijevak, koji je s donje strane zatvoren poklopcem upravljanim putem servo motora 1.[Slika 30] Prilikom postavljanja predmeta u lijevak aktivira se ultrazvučni senzor koji detektira prisutnost predmeta.[Slika 31]



Slika 30. Servo motor 1



Slika 31. Induktivni i ultrazvučni senzor

U slučaju da je ubačeni predmet plastičan, induktivni senzor neće reagirati, pa će servo motor 2 [Slika 32] okrenuti posudu namijenjenu za plastiku (bijela posuda), dok će servo motor 1 otvoriti poklopac i tako omogućiti da predmet padne u odgovarajuću posudu te se nakon toga posude vraćaju u neutralni položaj.[Slika 33]



Slika 32. Servo motor 2



Slika 33. Umetanje plastičnog predmeta, rotiranje bijele posude, neutralni položaj

Međutim, ako je predmet metalni, induktivni senzor će se aktivirati.[Slika 31] U tom slučaju, servo motor 2 će okrenuti posudu za metal (crna posuda), dok će servo motor 1 ponovno otvoriti poklopac, dopuštajući da metalni predmet padne u odgovarajuću posudu.[Slika 34] Ovim postupkom uređaj efikasno razvrstava metalne i nemetalne predmete.



Slika 34. Umetanje metalnog predmeta, rotiranje crne posude, neutralni položaj



Slika 35. Primjer 2. Umetanje kovanice

Radni ciklus uređaja se ponavlja svaki put kada korisnik ubaci novi predmet. Nakon završetka svakog ciklusa, bez obzira na to je li predmet bio metalni ili plastični, uređaj automatski vraća sve komponente u njihov početni, neutralni položaj. To podrazumijeva da se servo motori, koji kontroliraju poklopac i posude, vraćaju u osnovnu poziciju kako bi bili spremni za sljedeći ciklus.

5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad predstavlja primjenu različitih mehatroničkih principa objedinjenih u razvoju uređaja za automatsko razdvajanje metalnih i nemetalnih predmeta. Upravo su interdisciplinarnost i širina područja koje smjer Mehatronika i robotika pokriva, te vještine i znanja stečena tijekom studiranja, omogućili realizaciju i izradu ovog projekta. Integracijom različitih komponenti, poput induktivnog i ultrazvučnog senzora, servo motora i Dasduino pločica, ovaj projekt pobliže opisuje jedan mehatronički proces te pruža mogućnost razumijevanja složenijih tehničkih detalja, posebice onima koji se prvi put susreću s načelima strojarstva i mehatronike.

Premda uređaj u principu radi kako je zamišljeno, tijekom izrade uočeni su određeni nedostaci koji imaju negativan učinak na samu funkcionalnost. Zamjena postojećeg induktivnog senzora drugim, s većim dometom, unaprijedila bi pouzdanost i preciznost detekcije metalnih predmeta čime bi se dodatno optimizirala učinkovitost sortiranja. Nadalje, umjesto ultrazvučnog senzora mogao bi se koristiti kapacitivni čime bi se osiguralo da uz metal i plastiku slučajno ne naiđe neka druga vrsta materijala. Također, uređaj bi se mogao dodatno automatizirati dodavanjem pokretne trake i drukčijim razmještajem senzora, te bi se na taj način mogao implementirati i u industrijskom okruženju.

Ovaj projekt, uz sve svoje nesavršenosti i izazove prilikom izrade, pruža vrlo dobru podlogu za daljnju nadogradnju i poboljšanja. Zaključno riječima Alberta Einsteina: „*Onaj tko nikada nije pogriješio, nikada nije probao ništa novo*“.

LITERATURA

- [1] „Plastics Applications“, British Plastics Federation, dostupno na: <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/applications/Default.aspx>, pristup 13.08.2024.
- [2] „How Does Plastic Recycling Help the Environment“, BUXTON, dostupno na: <https://www.buxtonwater.co.uk/articles/community-and-environment/plastic-recycling>, pristup 13.08.2024.
- [3] „Metal Sorting in the Plastics Recycling Process“, The Association of Plastic Recyclers, dostupno na: <https://plasticsrecycling.org/images/Design-Guidance-Tests/APR-RES-SORT-1-metal-sorting-resource.pdf>, pristup 13.08.2024.
- [4] „Eddy Current Separators from Magnapower are the world leading non-ferrous metal separator“, MAGNAPOWER, dostupno na: <https://www.magnapower.com/eddy-current-separators/>, pristup 13.08.2024.
- [5] „Why Choose SOLIDWORKS“, SolidWorks, dostupno na: <https://www.solidworks.com/solution/why-choose-solidworks>, pristup 14.08.2024.
- [6] „How Servo Motor Works & Interface It With Arduino“, Last Minute Engineers, dostupno na: <https://lastminuteengineers.com/servo-motor-arduino-tutorial/>, pristup 15.08.2024.
- [7] „Tower Pro Mg995 Metal Gear Servo Motor, For Angle Rotation“, INDIAMART, dostupno na: <https://www.indiamart.com/proddetail/tower-pro-mg995-metal-gear-servo-motor-22904833291.html>, pristup 15.08.2024.
- [8] „Servo motor TowerPro MG995, 180 stupnjeva“, SOLDERED, dostupno na: <https://soldered.com/hr/proizvod/servo-motor-towerpro-mg995-180-stupnjeva/>, pristup 15.08.2024.
- [9] „Ultrazvučni modul HC-SR04“, SOLDERED, dostupno na: <https://soldered.com/product/ultrasonic-module-hc-sr04/>, pristup 16.08.2024.
- [10] Jost, D.: „What is an Ultrasonic Sensor?“, FIERCE Electronics, dostupno na: <https://www.fierceelectronics.com/sensors/what-ultrasonic-sensor>, pristup 16.08.2024.
- [11] „Ultrazvučni senzor“, Izradi!, dostupno na: <https://izradi.croatianmakers.hr/lessons/ultrazvucni-senzor-2/>, pristup 16.08.2024.
- [12] „Ultrasonic Distance Sensor (HC-SR04)“, PiBorg, dostupno na: <https://www.piborg.org/sensors-1136/hc-sr04>, pristup 16.08.2024.

- [13] Katalog tvrtke FESTO, dostupno na: <https://www.festo.com/hr/hr/a/538272/?q=%7E%3AsortByCoreRangeAndSp2020>, pristup 18.08.2024.
- [14] Stykemain, A.: „Inductive Sensor Explained | Different Types and Applications“, Realpars, dostupno na: <https://www.realpars.com/blog/inductive-sensor>, pristup 18.08.2024.
- [15] Pavković, D.: Senzori i prihvata signala, podloge s predavanja iz kolegija „Mikroprocesorsko upravljanje“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2023.
- [16] Budimir, M.: „What are inductive proximity sensors?“, dostupno na: <https://www.motioncontroltips.com/what-are-inductive-proximity-sensors/>, pristup 18.08.2024.
- [17] „ŠTO JE ARDUINO, A ŠTO DASDUINO?“, Soldered, dostupno na: <https://soldered.com/hr/learn/sto-je-arduino-a-sto-croduino/>, pristup 19.08.2024.
- [18] Katalog tvrtke Soldered, „Dasduino CORE (ATmega328)“, dostupno na: <https://soldered.com/hr/proizvod/dasduino-core/>, pristup 19.08.2024.
- [19] Katalog tvrtke Soldered, „Dasduino LITE (ATTiny1604)“, dostupno na: https://soldered.com/hr/proizvod/dasduino-lite/?attribute_pa_headers=zenski-headeri, pristup 19.08.2024.
- [20] Katalog tvrtke Soldered, „Napajanje s USB izlazom“, dostupno na: <https://soldered.com/hr/proizvod/kvalitetno-napajanje-s-usb-izlazom/>, pristup 20.08.2024.
- [21] Katalog tvrtke Joy-IT, „XL60192, dostupno na: <https://joy-it.net/en/products/SBC-XL6019>, pristup 20.08.2024.
- [22] Katalog tvrtke Soldered, „Eksperimentalna pločica (breadboard)“, „Set kablčića za eksperimentalnu pločicu, nesavjetljivi“, dostupno na: <https://soldered.com/hr/proizvod/set-kablčića-za-eksperimentalnu-plocicu-nesavjetljivi-140-komada/>, pristup 20.08.2024.
- [23] Shahrubudin, N., Lee, T. C., Ramlan, R.: „An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications“, ScienceDirect, dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919308169>, pristup 21.08.2024.

- [24] Carolo, L.: „What Is FDM 3D Printing? – Simply Explained“, ALL3DP, dostupno na: <https://all3dp.com/2/fused-deposition-modeling-fdm-3d-printing-simply-explained/>, pristup 21.08.2024.
- [25] „Fused Deposition Modelling“, RICOH, dostupno na: <https://rapidfab.ricoh-europe.com/technologies/fused-deposition-modelling/>, pristup 21.08.2024.
- [26] Carlota, V.: „All You Need to Know About PLA for 3D Printing“, 3Dnatives, dostupno na: <https://www.3dnatives.com/en/pla-3d-printing-guide-190820194/>, pristup 21.08.2024.
- [27] Katalog tvrtke Creality Store, „Ender-5 S1 3D Printer“, dostupno na: https://store.creality.com/uk/products/ender-5-s1-3d-printer?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw8--2BhCHARIsAF_w1gwTjNBzmaoilwS15FtHZyhEht7wNT-buZssjYOtC_iMQqSxsgaCkb4aAqxqEALw_wcB, pristup 23.08.2024.

PRILOZI

- I. Arduino kod
- II. Tehnička dokumentacija

Glavni kod:

```
#include <Servo.h>

Servo servo1;
Servo servo2;

//Varijable
unsigned long currentMillis;
unsigned long previousMillis;

#define motor1 9
#define motor2 10

#define reset_pin 11
#define ulaz 12
#define senz A5

int vrijednost_senz;

int Flag;
int flag=0;
void setup() {
  Serial.begin(115200);

  servo1.attach(motor1);
  servo2.attach(motor2);

  servo1.write(90);
  servo2.write(90);

  pinMode(senz, INPUT);
  pinMode(ulaz, INPUT);
  pinMode(reset_pin, OUTPUT);

  //Postavljanje početnih vrijednosti
  Flag = 0; //nema detektiranih predmeta
  digitalWrite(reset_pin, LOW);
  previousMillis = 0;
}

void loop() {
  currentMillis=millis();

  if(currentMillis-previousMillis>10){
    previousMillis = currentMillis;

    //Provjera metala
    vrijednost_senz = analogRead(senz);
    Serial.println(Flag);
    if(vrijednost_senz>500 && Flag==0){
      Flag=1;//ima metala
    }

    if(digitalRead(ulaz)==HIGH){
      flag=1;
    }
  }
}
```


Kod ultrazvučnog senzora:

```
const int trigPin = PA7;
const int echoPin = PA6;

const int reset_pin = PA1;
const int izlaz = PA2;

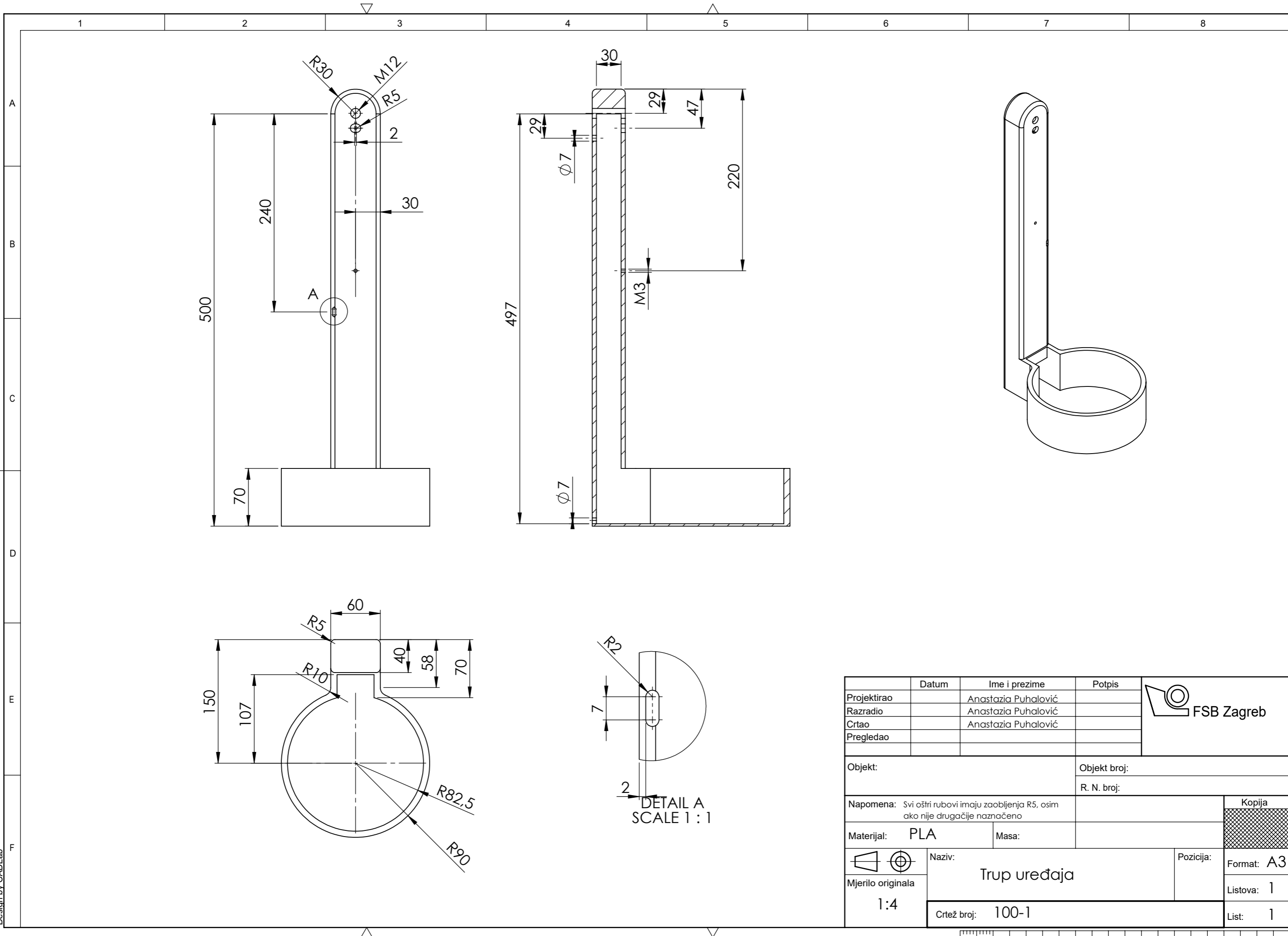
int FLAG=0;
//definiranje varijable
long duration;
int distance;
void setup() {
  pinMode(trigPin, OUTPUT); //Postavljanje trigPin kao izlaz
  pinMode(echoPin, INPUT); //Postavljanje echoPin kao ulaz

  pinMode(reset_pin, INPUT);
  pinMode(izlaz, OUTPUT);

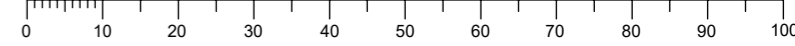
  Serial.begin(115200); //Pokretanje serijske komunikacije
}
void loop() {
  while(digitalRead(reset_pin)==HIGH){

    FLAG=0;
    Serial.println(digitalRead(reset_pin));
    digitalWrite(izlaz,LOW);
    delay(10);
  }

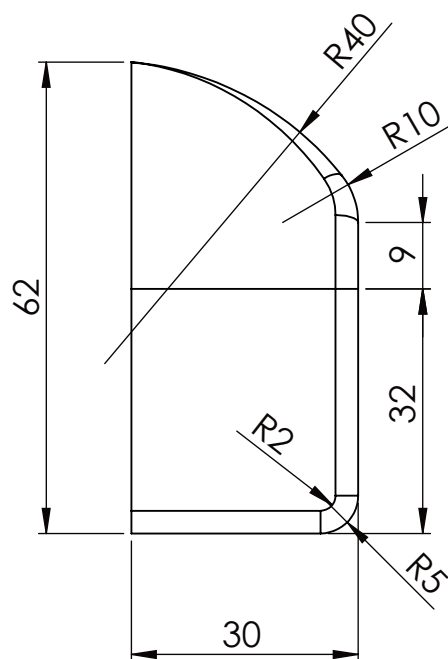
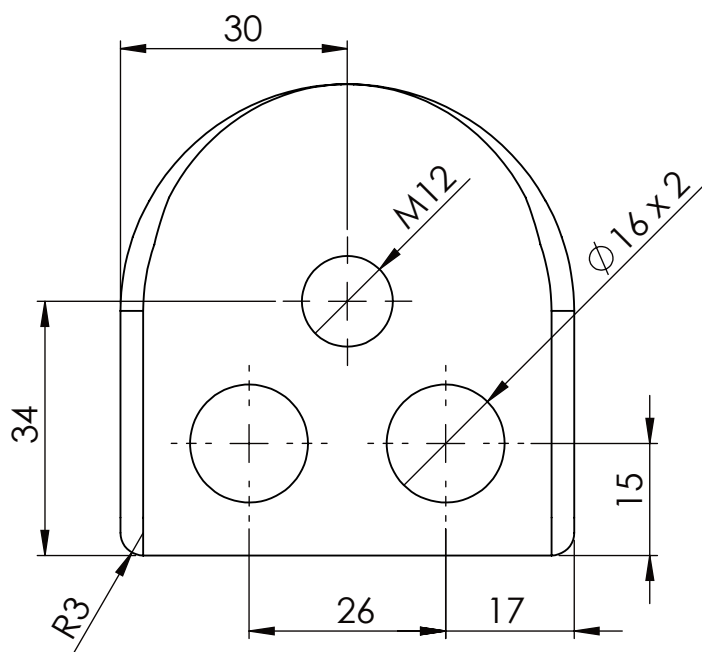
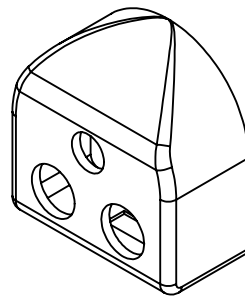
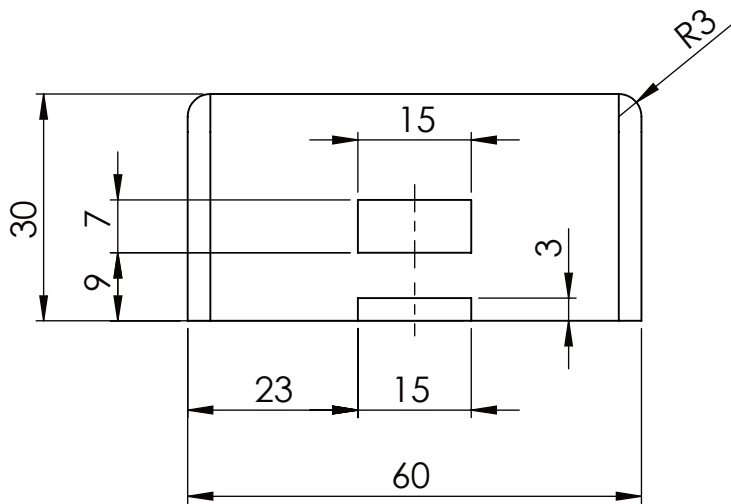
  if (FLAG==0){
    //Brisanje trigPin
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    //Postavljanje trigPin na HIGH stanje na 10 mikro sekundi
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    //Čitanje echoPin, vraćanje vremena putovanja zvučnog vala u
mikrosekundama
    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
    //Izračunavanje udaljenosti
    distance = duration * 0.034 / 2;
    //Ispisivanje udaljenosti
    Serial.print("Distance: ");
    Serial.println(distance);
    if(distance<7){
      FLAG=1;
      digitalWrite(izlaz,HIGH);
      delay(10);
      //Serial.println("PREDMET DETEKTIRAN");
      //Serial.println(FLAG);
    }
    delay(10);
  }
}
```

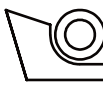
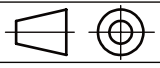


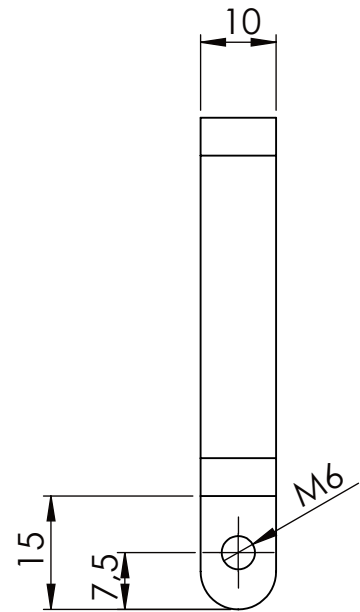
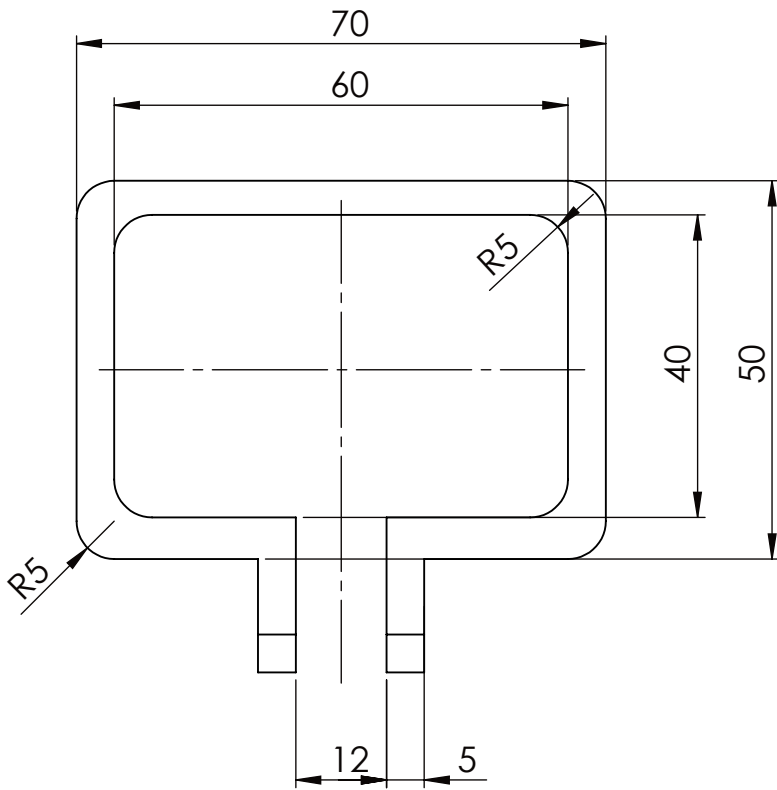
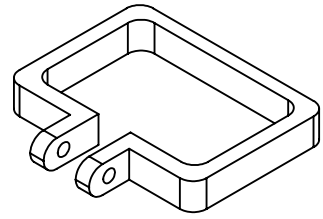
	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		Anastazia Puhalović		
Razradio		Anastazia Puhalović		
Crtao		Anastazia Puhalović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena: Svi oštri rubovi imaju zaobljenja R5, osim ako nije drugačije naznačeno				Kopija
Materijal:	PLA	Masa:		
	Naziv:		Pozicija:	Format: A3
Mjerilo originala	Trup uređaja			Listova: 1
1:4	Crtež broj: 100-1			List: 1



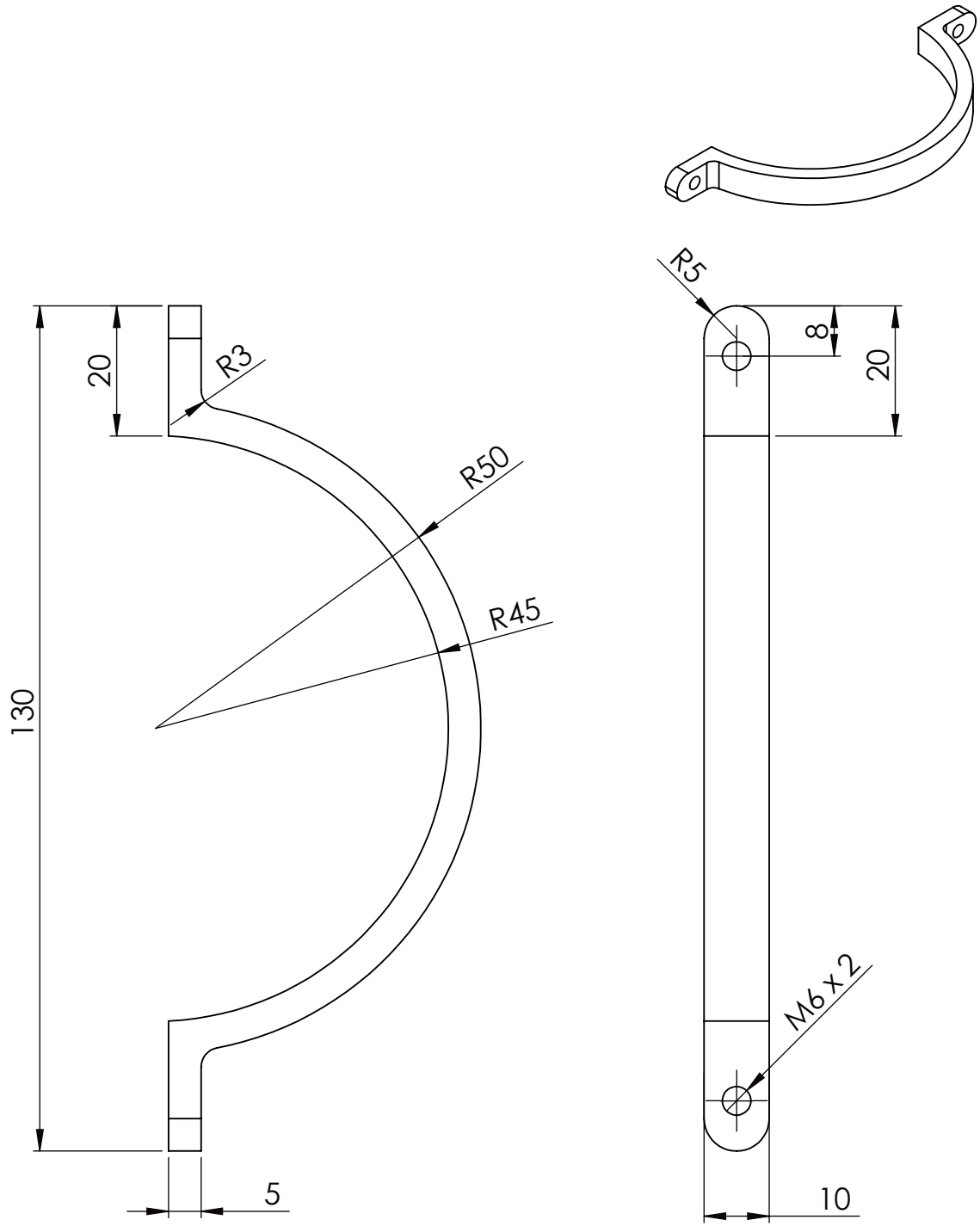
Design by CADLab



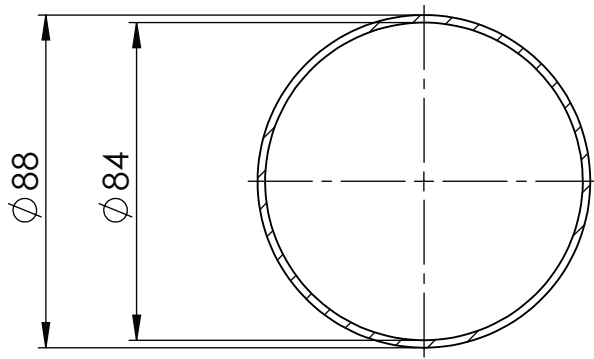
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Anastazia Puhalović		
Razradio		Anastazia Puhalović		
Crtao		Anastazia Puhalović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				
Materijal: PLA		Masa:		
 Mjerilo originala 1:1	Naziv:		Pozicija:	
	Kutijica za senzore		Format: A4	
Crtež broj: 100 - 2			Listova: 1	
			List: 1	



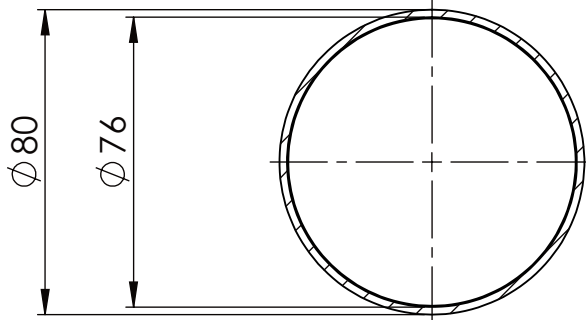
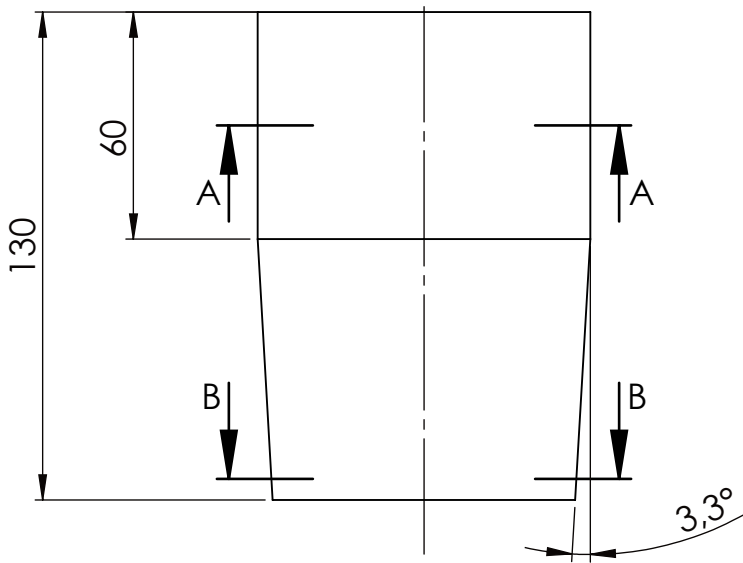
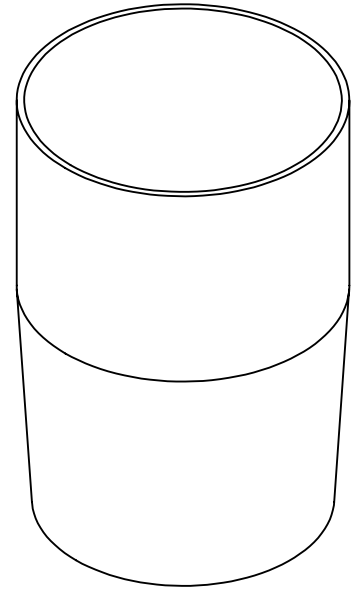
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Anastazia Puhalović		
Razradio		Anastazia Puhalović		
Crtao		Anastazia Puhalović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				
Materijal: PLA		Masa:		
	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
	Mjerilo originala		Držać lijevka 1	
1:1		Crtež broj: 100 - 3		Listova: 1
				List: 1




	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Anastazia Puhalović		
Razradio		Anastazia Puhalović		
Crtao		Anastazia Puhalović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				
Materijal: PLA		Masa:		
		Naziv: Držać ljevka 2		Pozicija:
Mjerilo originala				Format: A4
1:1				Listova: 1
		Crtež broj: 100 - 4		List: 1

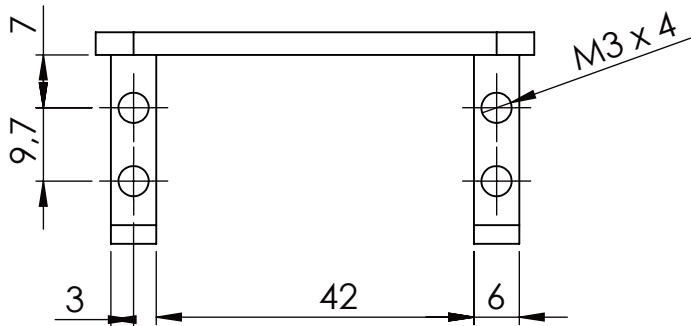
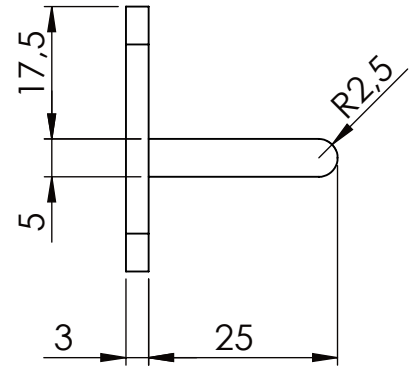
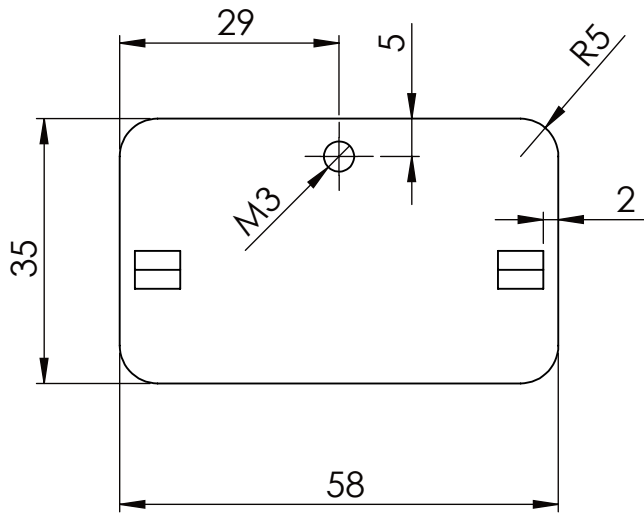
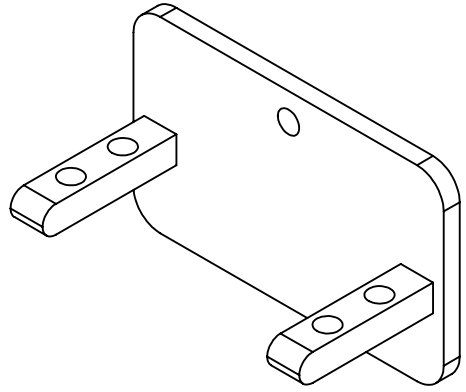


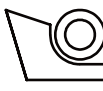
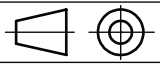
SECTION A-A



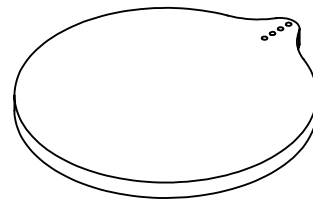
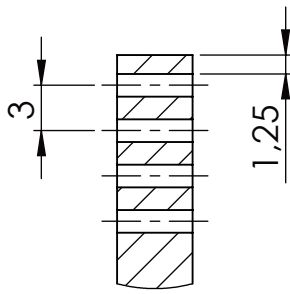
SECTION B-B

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Anastazia Puhalović		
Razradio		Anastazia Puhalović		
Crtao		Anastazia Puhalović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal: PLA		Masa:		
 Mjerilo originala 1:2	Naziv: Lijevak		Pozicija:	
	Crtež broj: 100 - 5		Format: A4	
				Listova: 1
				List: 1

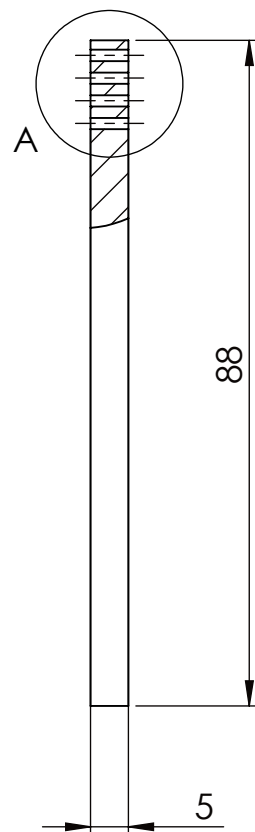
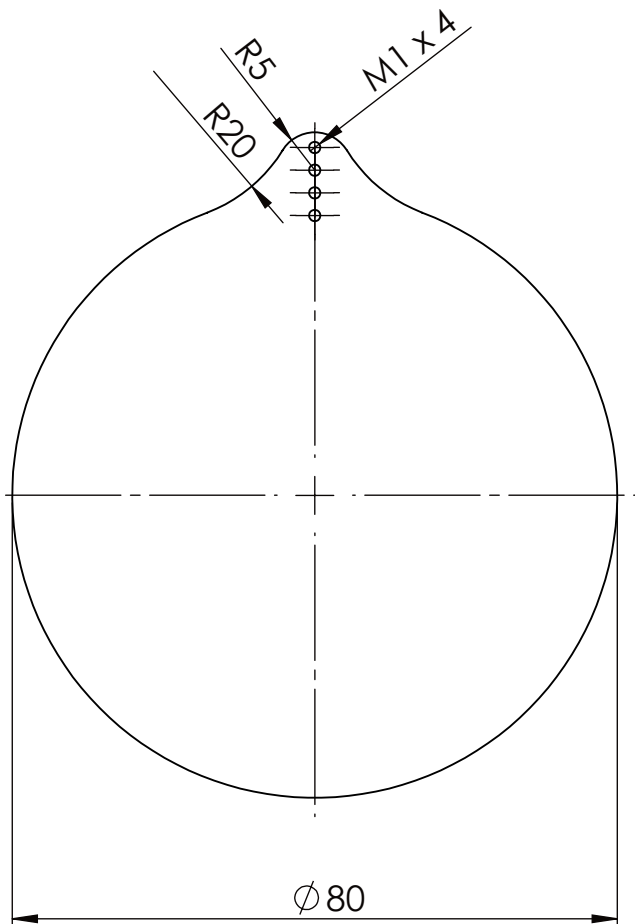


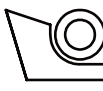
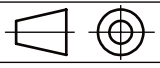
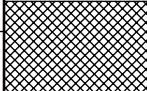
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Anastazia Puhalović		
Razradio		Anastazia Puhalović		
Crtao		Anastazia Puhalović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal: PLA				Masa:
 Naziv: Držać servo motora			Pozicija:	Format: A4
Mjerilo originala: 1:1				Listova: 1
Crtež broj: 100 - 6				List: 1

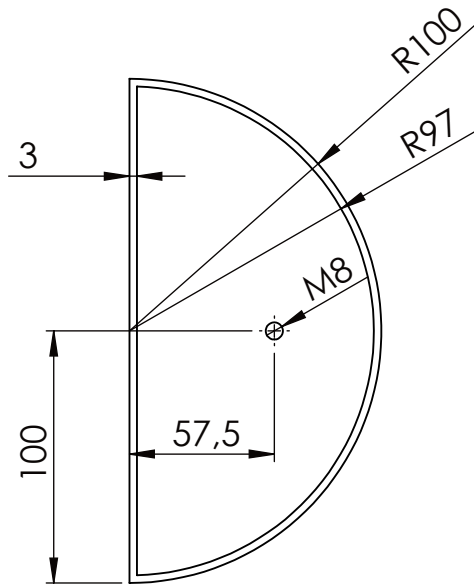
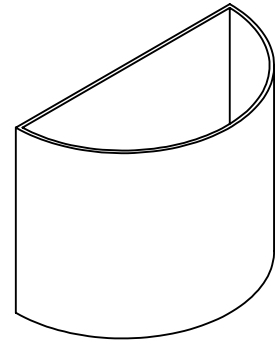
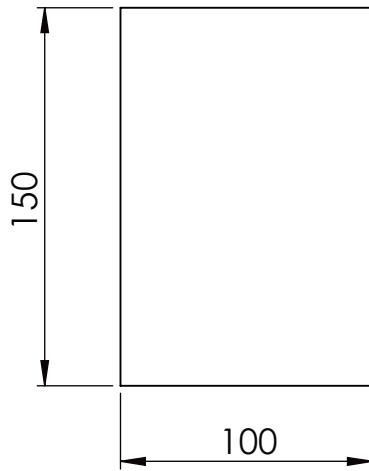
Design by CADLab

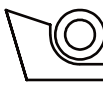
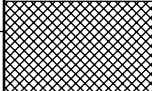
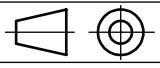


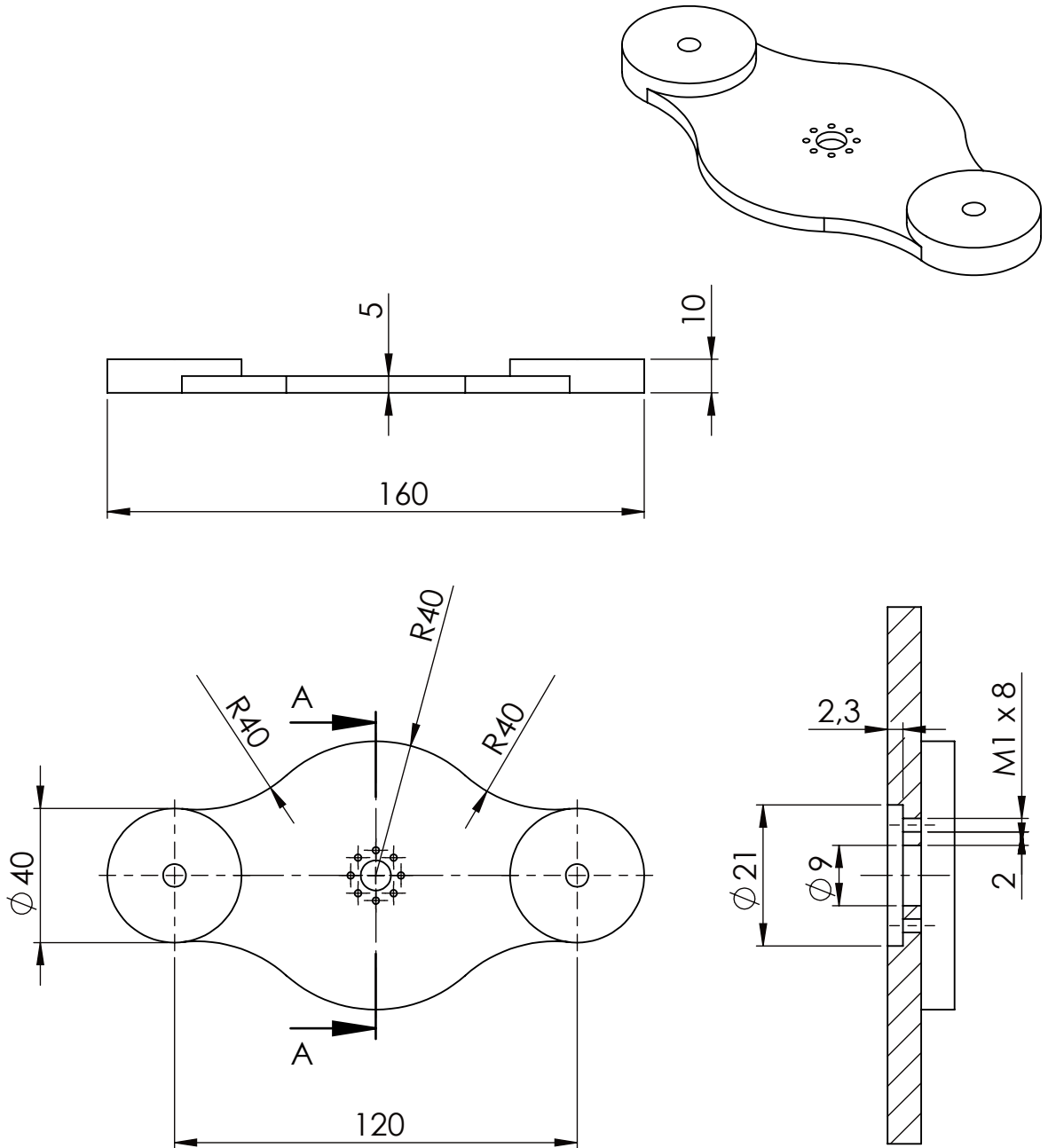
DETAIL A
SCALE 2 : 1



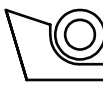
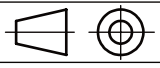
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Anastazia Puhalović		
Razradio		Anastazia Puhalović		
Crtao		Anastazia Puhalović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				
Materijal:	PLA	Masa:		
	Naziv:		Pozicija:	Kopija 
Mjerilo originala	Poklopac lijevka		Format: A4	
1:1	Crtež broj: 100 - 7		Listova: 1	List: 1

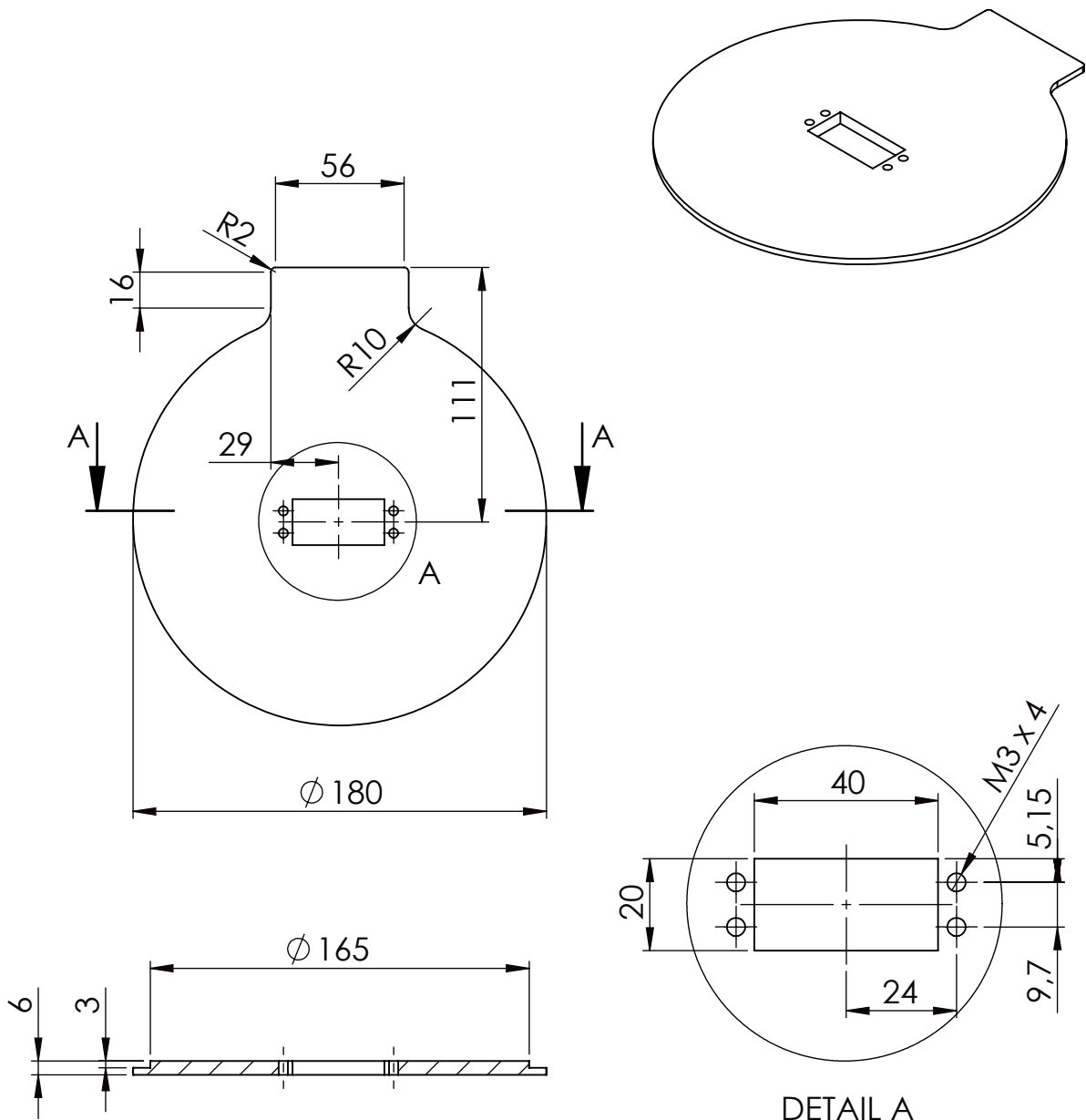


	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Anastazia Puhalović		
Razradio		Anastazia Puhalović		
Crtao		Anastazia Puhalović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal: PLA			Masa:	
			Naziv: Posuda	
Mjerilo originala			Pozicija:	
1:3			Format: A4	
Crtež broj: 100 - 8			Listova: 1	
			List: 1	



SECTION A-A
SCALE 1 : 1

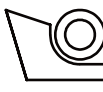
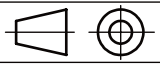
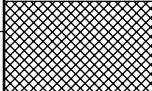
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Anastazia Puhalović		
Razradio		Anastazia Puhalović		
Crtao		Anastazia Puhalović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				
Materijal: PLA		Masa:		
 Mjerilo originala 1:2	Naziv: Držać posuda		Pozicija:	Format: A4
	Crtež broj: 100 - 9			
				List: 1



SECTION A-A
SCALE 1 : 3

DETAIL A
SCALE 2 : 3

Design by CADLab

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao		Anastazia Puhalović		
Razradio		Anastazia Puhalović		
Crtao		Anastazia Puhalović		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				
Materijal: PLA		Masa:		
 Mjerilo originala 1:3	Naziv:		Pozicija:	Kopija  Format: A4 Listova: 1 List: 1
	Poklopac			
Crtež broj: 100 - 10				