

Modularno postolje za glavu afektivnog robota

Buhin, Matej

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:235:670890>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-18**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Matej Buhin

Zagreb, godina 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Izv. prof. dr. sc. Tomislav Stipančić, dipl. ing.

Student:

Matej Buhin

Zagreb, godina 2023.

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

Zahvaljujem se prije svega roditeljima, djevojci i kolegama radi moralne podrške tijekom ovog studija, a posebno zahvaljujem kolegi Leonu Korenu i mentoru Tomislavu Stipančiću koji su mi pomogli pri izradi ovog rada.

Matej Buhin



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 23 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Matej Buhin** JMBAG: **0035218641**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Modularno postolje za glavu afektivnog robota**

Naslov rada na engleskom jeziku: **A modular housing for the head of an affective robot**

Opis zadatka:

U radu je potrebno osmisliti konstrukcijsko rješenje modularne izvedbe te izraditi novo postolje za glavu afektivnog komunikacijskog robota. Afektivni robot razmjenjuje komunikacijske znakove s osobom u interakciji koristeći tehnike vizualizacije informacija uz pomoć svjetlosnog (Pico) projektora smještenog u vrat robota. Projektor projicira svjetlosne zrake na prednju polupropusnu površinu lica robota. U sklopu konstrukcijskog rješenja je potrebno:

- osmisliti robusni dizajn postolja robota koje sadrži tri modula tako da je moguće izuzeti neki od modula bez utjecaja na rad robota koji u tome slučaju koristi funkcionalnosti preostalih modula,
- modelirati prvi modul postolja koje će omogućiti prihvat mikroročunala, alternativnog izvora napajanja te dodatne elektronike,
- modelirati i izraditi drugi modul postolja za prihvat LyratD-MSc mikroročunala s mikrofonom koje omogućuje detekciju prostorne lokacije izvora zvuka (unutarnji dio kućišta modula mora biti obložen spužvom koja upija reflektirani zvuk),
- modelirati i izraditi treći modul koji sadrži sklop za zakretanje glave robota, nosač projektora te ostalu prateću elektroniku.

Postolje treba biti osmišljeno tako da omogućuje prirodno i aktivno zračno hlađenje sustava pomoću ventilatora. Modeliranje postolja koristeći CAD programsku podršku treba biti provedeno vodeći računa o kompatibilnosti 3D modela s metodom 3D ispisa.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Tomislav Stipančić

Datum predaje rada:

1. rok: 20. 2. 2023.
2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.
3. rok: 18. 9. 2023.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.
2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	III
SAŽETAK	IV
SUMMARY	V
1. UVOD	1
1.1. Afektivni robot <i>PLEA</i>	1
1.2. Tehnologija aditivne proizvodnje i FDM metoda	3
2. KONSTRUKCIJSKA RAZRADA	8
2.1. Prvi i glavni modul (Donje kućište).....	9
2.1.1. Raspberry Pi 4.....	9
2.1.2. Ventilator.....	11
2.1.3. Shield.....	12
2.1.4. Prihvat ostalih modula ili vrata robota	13
2.1.5. Sklop donjeg modula	13
2.2. Drugi modul (Nosac Lyre)	14
2.2.1. ESP32-LyraTD-MSD.....	14
2.2.2. Konstrukcijsko rješenje prijehata mikroracunalna LyraTD-MSD	16
2.3. Treći modul (Okretni mehanizam)	23
2.3.1. Uležištenje šupljeg vratila remenice	23
2.3.1.1. Ležajevi okretnog mehanizma	23
2.3.1.2. Ležajna mjesta u stolu okretnog mehanizma	23
2.3.1.3. Konstrukcijsko rješenje šupljeg vratila remenice	24
2.3.2. Prihvat elektromotora.....	26
2.3.3. Adapter za okretni mehanizam	27
2.3.4. Prikaz sklopa okretnog mehanizma	28
3. MODULARNOST POSTOLJA	30
3.1. Konfiguracija sa svim modulima.....	30
3.2. Konfiguracija bez okretnog mehanizma	31
3.3. Konfiguracija bez nosača Lyre	32
3.4. Konfiguracija postolja samo s glavnim modulom	33
4. ZAKLJUČAK.....	34
LITERATURA.....	35
PRILOZI	36

POPIS SLIKA

Slika 1.	Princip prikaza lica robota [14].....	2
Slika 2.	Razvoj površine projiciranja lica [14].....	2
Slika 3.	Shema <i>FDM</i> metode [9].....	3
Slika 4.	Prikaz različitih gustoća ispune dijelova [2].....	4
Slika 5.	Ručno skidanje potpornog materijala [13].....	5
Slika 6.	<i>PVA</i> potporni materijal otopljen vodom [1].....	5
Slika 7.	Ender-3 Creality <i>FDM</i> pisač [4].....	6
Slika 8.	Shema Raspberry Pi 4 model B [12].....	9
Slika 9.	Utori za matice za prihvat Raspberry Pi-a.....	10
Slika 10.	Prihvat Raspberry Pi-a.....	10
Slika 11.	Ventilator CG4010L05S1-U [3].....	11
Slika 12.	Specifikacije ventilatora [3].....	11
Slika 13.	Prihvat ventilatora.....	12
Slika 14.	Prihvat shielda.....	12
Slika 15.	Prihvat za ostale module.....	13
Slika 16.	Sklop donjeg modula.....	13
Slika 17.	Blok dijagram ESP32-LyraTD- <i>MSC</i> [6].....	14
Slika 18.	Donja ploča komponente LyraTD- <i>MSC</i> [7].....	15
Slika 19.	Gornja ploča komponente LyraTD- <i>MSC</i> [7].....	16
Slika 20.	Donje kućište Lyre.....	17
Slika 21.	Presjek donjeg kućišta Lyre.....	17
Slika 22.	Dimenzije rupe za prolazak zvuka.....	18
Slika 23.	Posuda nosača Lyre.....	18
Slika 24.	Gornji nosač Lyre.....	19
Slika 25.	Presjek gornjeg nosača Lyre.....	19
Slika 26.	Izolacija donjeg dijela kućišta Lyre.....	19
Slika 27.	Izolacija gornjeg dijela kućišta Lyre.....	20
Slika 28.	Sklop nosača Lyre.....	20
Slika 29.	Sklop nosača Lyre iz nacrtu.....	21
Slika 30.	Presjek sklopa nosača Lyre.....	21
Slika 31.	Razmak između posude Lyre i Raspberry-a.....	21
Slika 32.	Udaljenost mikrofona od gornje izolacije.....	22
Slika 33.	Udaljenost mikrofona od donje izolacije.....	22
Slika 34.	Ležajna mjesta na stolu okretnog mehanizma.....	24
Slika 35.	Konstruktivsko rješenje šupljeg vratila.....	25
Slika 36.	Prikaz rezerviranog mjesta remenice.....	25
Slika 37.	Koračni elektromotor Nema 17 Slimline MT-1701HSM140AE [6].....	26
Slika 38.	Prihvat elektromotora integriran u stol okretnog mehanizma.....	27
Slika 39.	Adapter okretnog mehanizma.....	27
Slika 40.	Prikaz sklopa okretnog mehanizma.....	28
Slika 41.	Prikaz donje strane okretnog mehanizma.....	28
Slika 42.	Presjek okretnog mehanizma u nacrtu.....	29
Slika 43.	Presjek okretnog mehanizma u izometriji.....	29
Slika 44.	Konfiguracija postolja sa svim modulima.....	30
Slika 46.	Presjek konfiguracije sa svim modulima u nacrtu.....	31
Slika 47.	Konfiguracija postolja bez okretnog mehanizma.....	32
Slika 48.	Konfiguracija bez nosača Lyre.....	32
Slika 49.	Konfiguracija samo s glavnim modulom.....	33

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

00-01-100-2023	Modularno postolje afektivnog robota
00-01-101-2023	Donje kućište
00-01-102-2023	Shield
00-01-103-2023	Donje kućište Lyre
00-01-104-2023	Posuda Lyre
00-01-105-2023	Gornji nosač Lyre
00-01-106-2023	Donja zvučna izolacija
00-01-107-2023	Gornja zvučna izolacija
00-01-108-2023	Stol okretnog mehanizma
00-01-109-2023	Vratilo remenice
00-01-110-2023	Adapter okretnog mehanizma

SAŽETAK

Tema ovog rada je konstruiranje postolja afektivnog robota *PLEA* u obliku tri modula, svaki od kojih ima posebnu funkciju. Predviđena tehnologija izrade postolja je aditivna proizvodnja odnosno *FDM (Fused Deposition Modeling)* metoda. U ovom radu posebna pažnja prilikom konstruiranja svakog dijela dodjeljuje se pravilnom oblikovanju dijelova kako bi iskorištena količina potpornog materijala prilikom proizvodnje bila minimalna. Za svaki modul navedene su standardne komponente za koje je potrebno konstruirati odgovarajući prihvati u modulima. Za svaku od standardnih komponenata navedene su tehničke specifikacije. Moduli su konstruirani tako da su međusobno izmjenjivi tj. da je moguće izvaditi jedan ili više modula koji nije glavni modul, a da robot i dalje obavlja glavnu funkciju, a to je prepoznavanje ljudskih emocija pomoću kamere i emitiranje istih na lice robota pomoću projektora. Na kraju rada prikazuju se sve moguće konfiguracije postolja robota prilikom izmjenjivanja modula.

Ključne riječi: *PLEA*, *FDM*, postolje, konstruiranje

SUMMARY

The subject of this paper is the design of the base of the affective robot *PLEA* in the form of three modules, each of which has a special function. The planned technology for making the robot's base is additive manufacturing, more precisely, the *FDM* (Fused Deposition Modeling) method. Special attention during designing of each part is given to achieving the proper shape of the parts so that the amount of support material during production is minimal. For each module, standard components are listed and for each of them a suitable holder in the modules is designed. Technical specifications are listed for each of the standard components. The modules are designed so that they are interchangeable, i.e. it is possible to remove one or more modules that are not the main module, and the robot still performs its main function. The robot's main function is recognizing human emotions using a camera and then broadcast them to the robot's face using a projector. At the end of the paper, all possible configurations of the robot's base are displayed.

Key words: *PLEA*, *FDM*, robot's base, design

1. UVOD

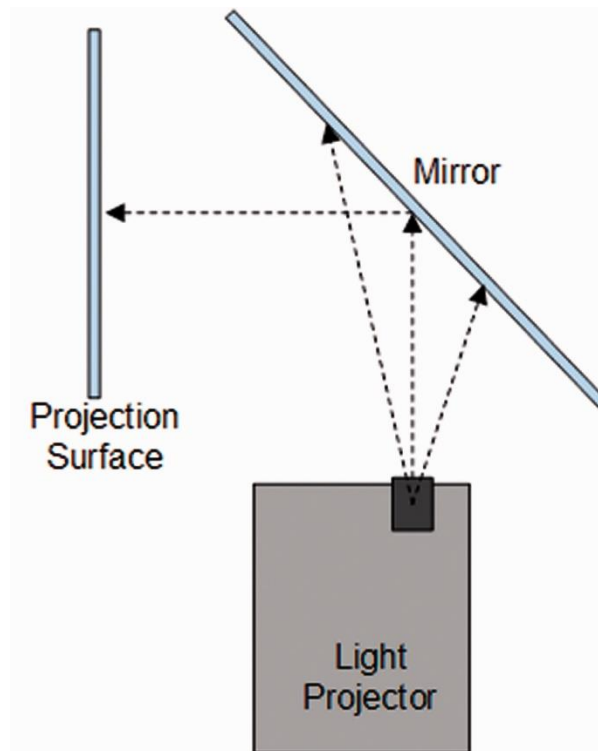
U današnje vrijeme sve je veća potreba za robotima koji prepoznaju i reproduciraju ljudske emocije te se zbog toga sve više razvija područje afektivne robotike. Afektivna robotika je područje robotike i umjetne inteligencije koje se bavi razvojem robota za prepoznavanje i reproduciranje ljudskih emocija kako bi se omogućila prirodija komunikacija čovjeka i robota.

Afektivna robotika ujedinjuje područja psihologije, sociologije i računalnih znanosti kako bi na što realniji i točniji način roboti mogli prepoznati ljudske emocije i odgovoriti čovjeku reproducirajući odgovarajuću emociju. Kako bi robot mogao prepoznati emociju potrebni su mu vizualni i zvučni senzori čije informacije obrađuje i donosi zaključak o kojoj ljudskoj emociji se radi. Osim senzora za prihvatanje informacija, robotu je također potreban prikaz za odgovore na te emocije koje je procesirao, a to može biti ekran, projektor ili neki kompliciraniji sustav za prikaz informacija npr. mehaničko lice robota koje se pomiče i na taj način oponaša ljudske emocije. [16]

Kako bi robot izgledao što sličnije čovjeku i obavljao što kvalitetniju komunikaciju s čovjekom, potreban mu je i fizički oblik kako ne bi bio samo slika na ekranu, stoga je potrebno osmisliti zadovoljavajući raspored komponenata koje sačinjavaju robota. Ovaj rad bavi se upravo tom fizičkom manifestacijom robota *PLEA* u obliku postolja koje sadrži potrebne komponente koje obavljaju funkcije robota. Postolje robota treba biti što kompaktnije i konstruirano tako da se neki od modula mogu izvaditi, a da robot i dalje funkcionira.

1.1. Afektivni robot *PLEA*

Afektivni robot *PLEA* prima informacije iz kamere postavljene ispod glave robota i komponente *ESP32-LyraTD-MSC* koja sadrži mikrofone raspoređene po obodu komponente te na taj način prepoznaje iz kojeg smjera dolazi zvuk. *PLEA* na temelju strojnog učenja donosi zaključke o svojem okruženju, ljudskom ponašanju oko sebe i emocijama ljudi koji gledaju u smjeru kamere. Koristeći prikupljene vizualne i zvučne informacije oko sebe, *PLEA* zaključuje koju emociju iskazuje čovjek s kojim komunicira te mu odgovara istom tom emocijom. *PLEA* reproducira emocije pomoću projektor koji projicira sliku lica na glavi robota te se time ostvaruje efekt neverbalne komunikacije. Robot sadržava računalo *Raspberry Pi 4* koje se spaja na mrežu i preuzima podatke o prikazu iz laboratorija, zatim te podatke šalje projektoru koji prikazuje sliku na glavi robota.



Slika 1. Princip prikaza lica robota [14]

Površina na kojoj se slika prikazuje oblika je ljudskog lica kako bi se robotu dao što sličniji izgled čovjeku i na taj način ostvarila prirodniija komunikacija. Nadalje, projiciranjem slike lica na ravnoj podlozi dolazi do takozvanog efekta Mona Lise. Efekt Mona Lise prilikom kretanja kroz prostoriju u kojoj je projekcija ostavlja dojam kao da oči projekcije slijede kretanje što daje pomalo jeziv utisak na čovjeka. Zbog kompleksnosti oblika ljudskog lica bira se tehnologija aditivne proizvodnje, točnije, tehnologija 3D ispisa za proizvodnju robotskih dijelova. [14]

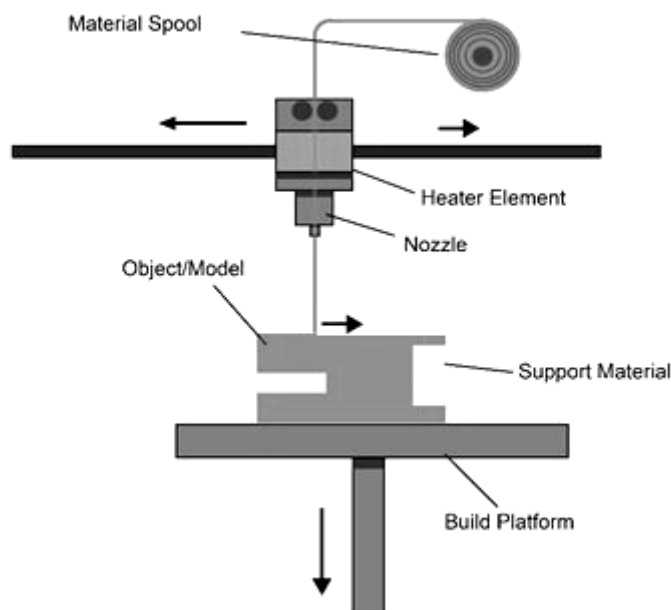


Slika 2. Razvoj površine projiciranja lica [14]

PLEA također sadrži okretni mehanizam koji zakreće glavu robota u smjeru zvučnog podražaja kako bi se ostvarila što realnija komunikacija s čovjekom. Okretni moment prenosi se preko zupčastog remena *GT2* koji osigurava točno pozicioniranje glave bez ikakvog proklizavanja remena.

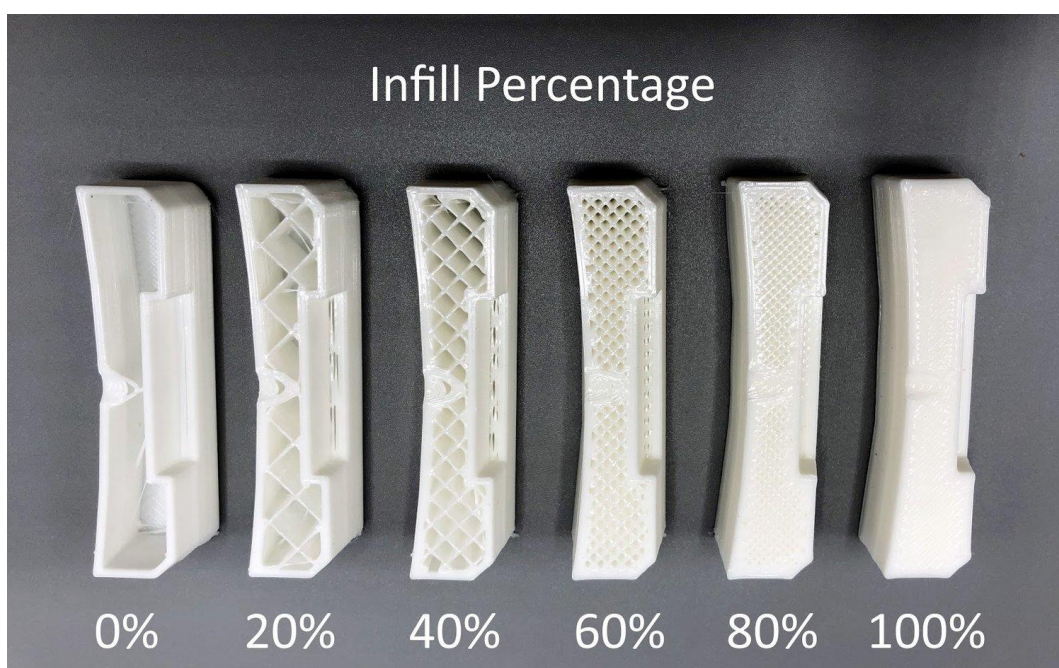
1.2. Tehnologija aditivne proizvodnje i FDM metoda

Tehnologija izrade komponenata robota *PLEA* je aditivna proizvodnja. Zbog malog broja serija proizvodnje i kompleksnosti nekih od dijelova, aditivna proizvodnja idealna je tehnologija za ovakav tip proizvoda. Aditivna proizvodnja proces je proizvodnje dijelova u kojemu mlaznica nanosi sloj po sloj materijala kako bi se kreirao trodimenzionalni objekt. Jedna od najčešćih metoda aditivne proizvodnje jest 3D ispis i *FDM (Fused Deposition Modeling)* metoda. *FDM* metoda omogućuje izradu dijelova visoke kompleksnosti direktno iz *CAD* modela, ali je metoda ograničena uporabom materijala (ako je potrebno ispisivati metalne dijelove potrebni su skupi printeri koje nije lako nabaviti) i vremenski je dugotrajna u usporedbi s drugim tehnologijama pa nije dobro rješenje pri masivnoj proizvodnji. Najčešći materijali koji se koriste u *FDM* metodi jesu polimeri zbog svog niskog tališta i viskoznosti što im omogućuje lak prolazak kroz mlaznicu. Tipični *FDM* pisac koristi polimerni materijal u obliku žarne niti namotane na špulu, zatim pisac tu žicu gura kroz zagrijanu mlaznicu koja ju tali i nanosi na plohu ispisa. [9]



Slika 3. Shema *FDM* metode [9]

Najbitniji parametri *FDM* metode su odabrani materijal, debljina sloja koji se nanosi, gustoća ispune dijelova, kut i oblik ispune, temperatura mlaznice, brzina ispisa i promjer mlaznice. U ovom radu većina parametara predodređena je postojećim pisačem iz laboratorija, a najbitniji parametri na koje se može utjecati su gustoća ispune dijelova i odabir materijala. Gustoća ispune je vrlo rijetko 100% zbog uštede materijala i vremena. [2]



Slika 4. Prikaz različitih gustoća ispune dijelova [2]

Prilikom ispisa potrebno je voditi računa o orijentaciji dijelova na ispisnoj plohi pisača radi dodatnog potpornog materijala kojeg je ponekad moguće potpuno ukloniti pravilnom orijentacijom dijelova prilikom ispisa. Ako je oblik objekta takav da se događa prijelaz s veće na manju dimenziju s kutom manjim od 45° , potreban je dodatni potporni materijal. Kasnije se dodatni potporni materijal odstranjuje te je taj materijal škart. Potrebno je konstruirati dijelove vodeći računa o što manjoj uporabi dodatnog materijala i lakom skidanju istog. Prilikom ručnog skidanja dodatnog materijala može doći do oštećenja na ispisanim dijelovima što se izbjegava korištenjem potpornog materijala koji se otapa u nekoj tekućini (npr. *PVA* u vodi).



Slika 5. Ručno skidanje potpornog materijala [13]



Slika 6. PVA potporni materijal otopljen vodom [1]

Nadalje, potrebno je obratiti pažnju i na lakoću skidanja predmeta s plohe ispisa. Ukoliko se ne napravi radijus na plohi koja naliježe na plohu ispisa, uvelike je otežano skidanje predmeta s plohe ispisa. Dakle, poželjno je napraviti radijus na plohi koja naliježe na plohu ispisa na svim dijelovima koje je potrebno ispisati.

Pisač koji se koristi za izradu dijelova nosi naziv *Ender-3* proizvođača *Creality*. Pisač *Ender-3* koristi *FDM* metodu za ispis dijelova. Materijal za ispis je *PLA* koji je jedan od kompatibilnih materijala s ovim pisačem. Pisač zagrijava i stol na kojemu ispisuje kako bi se olakšalo skidanje ispisanog dijela. Mlaznica pisača giba se u dva smjera i montirana je na nosač koji se giba u vertikalnom smjeru, a stol se giba u dva suprotna smjera u odnosu na mlaznicu te je na taj način pokrivena svaka točka ispisne plohe. [4]



Slika 7. Ender-3 Creality FDM pisač [4]

Specifikacije *Ender-3* pisača glase [4]:

- Veličina ispisa $220 \times 220 \times 250$ mm,
- Brzina ispisa ≤ 180 mm/s,
- Preciznost $\pm 0,1$ mm,
- Promjer standardne mlaznice 0,4 mm (moguće 0,3 i 0,2 mm),
- Temperatura stola $\leq 100^\circ\text{C}$,
- Prijenos podataka: preko mreže ili *SD* karticom,
- Podržani formati: *STL*, *OBJ*, *AMF*,
- *Slicing* softver: *Cura*, *Repetier-Host*, *simplify 3D*,
- Napajanje: ulaz – *AC* 115 V / 230 V, izlaz - *DC* 24 V 270 W,
- Materijali žarne niti: *PLA*, *ABS*, *TPU*, drvo, bakar, itd.,
- Neto masa: 6,62 kg,
- Bruto masa: 8,1 kg,
- Gabaritne mjere pisača: $440 \times 440 \times 465$ mm.

2. KONSTRUKCIJSKA RAZRADA

Postolje robota *PLEA* sastoji se od 3 modula od kojih svaki ima svoju posebnu funkciju. Jedan od glavnih zahtjeva ovog zadatka jest da se drugi i treći modul mogu izvaditi, a da robot i dalje ostvaruje svoju glavnu funkciju prepoznavanja i oponašanja emocija samo s glavnim, prvim modulom. Na postolje se montira vrat glave s projektorom i kamerom. Vrat se može montirati direktno na prvi ili drugi modul ili se preko dodatne rotirajuće komponente montira na treći modul (modul okretnog mehanizma). No, rotirajuća komponenta kao i sam vrat s nosačem projektora ne će biti dio ovog rada.

Prvi i glavni modul bez kojeg robot ne može funkcionirati sadrži računalo *Raspberry Pi 4* zajedno s ventilatorom za hlađenje. Za prvi modul potrebno je osmisliti adekvatan način hlađenja i zadovoljavajući raspored i prihvat standardnih komponenata. Uz već navedene zahtjeve, poželjno je da modul bude što manje visine.

Drugi modul sadrži standardnu komponentu *LyraTD-MSK* koja prepoznaje s koje strane dolazi zvučna informacija. Na drugom modulu potrebno je osigurati pravilan prihvat *Lyre* koji će omogućiti da zvuk uz što manje prepreka dolazi do mikrofona. Mikrofon mora biti pozicioniran na sredini modula radi što kvalitetnijeg prijehva zvučne informacije. Kako bi se spriječilo odbijanje zvuka od stijenki modula, nužno je konstruirati zvučnu izolaciju koja će obložiti navedene stijenke i na taj način spriječiti odbijanje zvuka po unutrašnjosti modula, kako ne bi došlo do krive interpretacije zvučnoga signala.

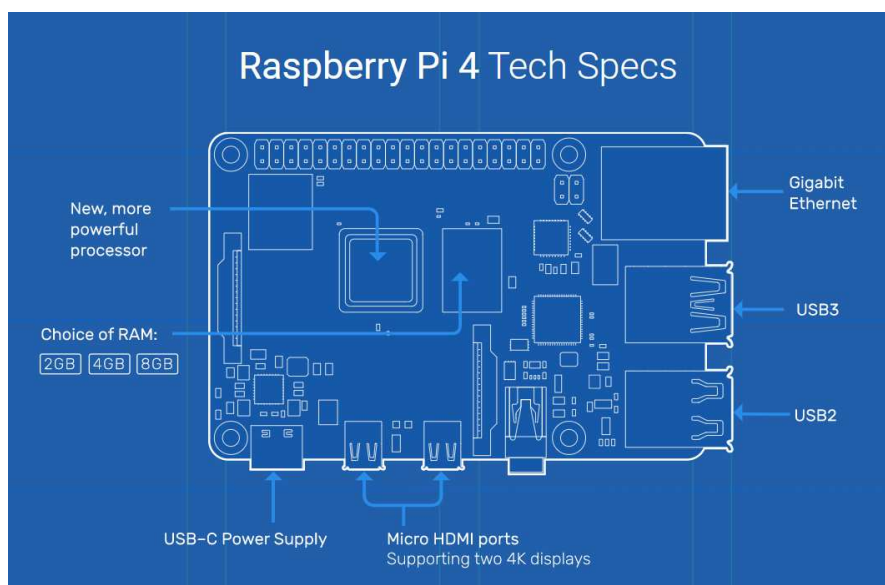
Treći modul sadrži komponente za rotaciju glave robota. Potrebno je konstruirati nosač ležajeva unutar kojih se ugrađuje vratilo koje se okreće preko remenice pokrenute stepper motorom *Nema-17 Slimline*. Potrebno je osmisliti orijentaciju motora kako bi sklop modula bio što kompaktniji. Pri odabiru ležajeva osim njihove dostupnosti važan faktor je i cijena odnosno poželjno je da su što jeftiniji. S obzirom da su opterećenja na ležajevima vrlo niska (sile uslijed težine i zatezanja remena), kao i broj okretaja i brzina vrtnje, nema potrebe za skupim ležajevima visoke nosivosti.

2.1. Prvi i glavni modul (Donje kućište)

Prvi modul sadrži dvije standardne komponente koje su *Raspberry Pi 4 model B* i ventilator za koje je potrebno konstruirati odgovarajuće prihvate na način da se osigura hlađenje računala *Raspberry Pi*. Prvi modul također sadrži shield s omogućenim prolaskom napajanja i prekidačem za paljenje i gašenje koji će se naknadno dodavati. Odabran promjer donjeg kućišta je najveći mogući prema mogućnostima dostupnog FDM pisača, a to jest promjer od 220 mm.

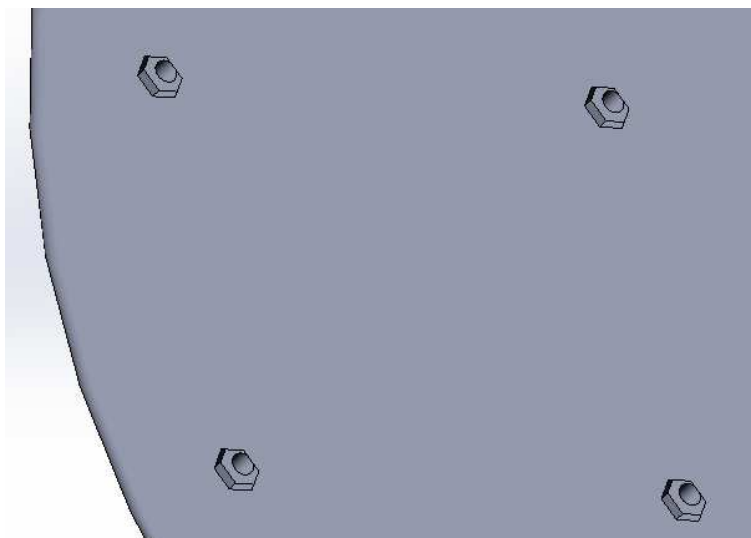
2.1.1. *Raspberry Pi 4*

Raspberry Pi 4 je računalo koje robotu služi za povezivanje na mrežu i prikazivanje slike na licu robota. *Raspberry Pi* nudi tri opcije za operativni sustav, a to su: *Windows*, *macOS* i *Ubuntu*. *PLEA* koristi *Raspberry* s *Ubuntu* operativnim sustavom. Sadrži procesor sa četiri jezgre, dva *USB 2* porta i dva *USB 3* porta, dva *micro-HDMI* porta, *MIPI DSI* display port, *MIPI CSI* kamera port te pruža *Gigabit Ethernet wireless* konekciju. *Raspberry* nema nikakav ugrađen sustav hlađenja pa je potrebno osigurati računalo od pregrijavanja. *Raspberry* nudi razne opcije za količinu *RAM* memorije od 1 GB, 2GB, 4GB i 8 GB ovisno o potrebama sustava. [12]



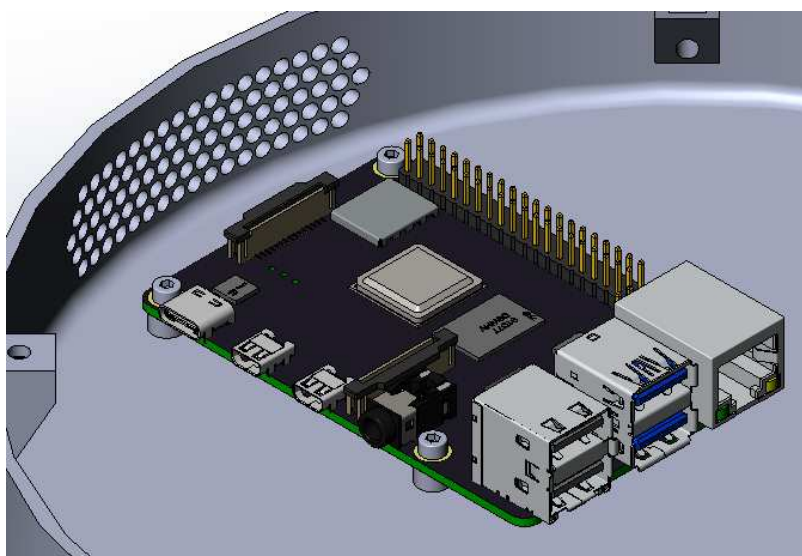
Slika 8. Shema *Raspberry Pi 4 model B* [12]

Raspberry ima provrte koji odgovaraju vijcima M2,5, pa je potrebno konstruirati prihvat na odgovarajući način. Kako bi se olakšalo montiranje *Raspberry Pi*-a s donje strane kućišta ostavljaju se utori koji su oblika matice M2,5 te je tako olakšano zatezanje vijaka jer ti utori daju kontra moment potreban za zatezanje. Oblik matice poprilično je zahtjevan za izradu korištenjem tehnologije odvajanja čestica, ali kod tehnologije aditivne proizvodnje ne predstavlja nikakav problem pa je ovakvo rješenje prihvatljivo.



Slika 9. Utori za matice za prihvat Raspberry Pi-a

Raspberry je potrebno podići iznad donje unutarnje plohe kućišta kako bi stlačeni zrak hladio iznad i ispod računala i time se osigurava ravnomjernije hlađenje komponente. Radi ostvarivanja protoka zraka potrebno je izraditi izlazne rupe za zrak koje će biti jedino mjesto gdje zrak može izlaziti iz kućišta. *Raspberry Pi* postavljen je što bliže rupama za zrak kako bi većina protoka zraka prolazila preko i ispod njega. Time se osigurava prihvatljiva razina prijenosa topline s računala na strujeći zrak.



Slika 10. Prihvat Raspberry Pi-a

2.1.2. Ventilator

Odabrani ventilator za hlađenje donjeg kućišta je model *CG4010L05S1-U* proizvođača *Coolerguys*. Ventilator sadrži kabel sa *USB* priključkom kojeg je moguće direktno spojiti na *Raspberry Pi* pa je tako omogućeno jednostavno spajanje. [3]

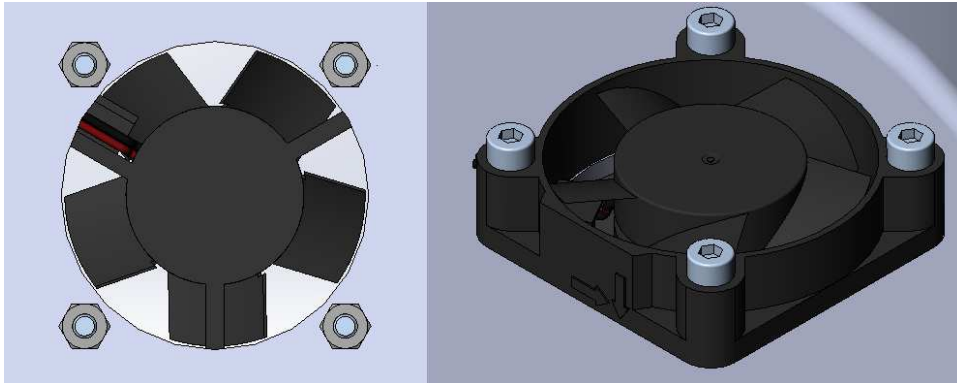


Slika 11. Ventilator CG4010L05S1-U [3]

Dimensions:	40x40x10mm
Bearing System:	Sleeve Bearing
Wire Option:	2 Wire; Length - 203mm (8in)
Connector Option:	USB Type-A
Rated Voltage:	5 VDC
Operating Voltage:	3.4 VDC - 6.9 VDC
Rated Operating Current:	0.1 Amp Running
Rated Speed:	5000 ±10% RPM
Air Flow:	4 CFM
Static Air Pressure:	2.7 mmH2O
Noise Level:	21 dBA
Motor Protection Type:	By Impedance With Polarity Protection
Environmental Protection:	None
Life Expectance:	40,000 Hours at 25°C
Operation Temperature:	-10°C to +65°C
Net Weight:	7.2g
Options:	Closed Corners

Slika 12. Specifikacije ventilatora [3]

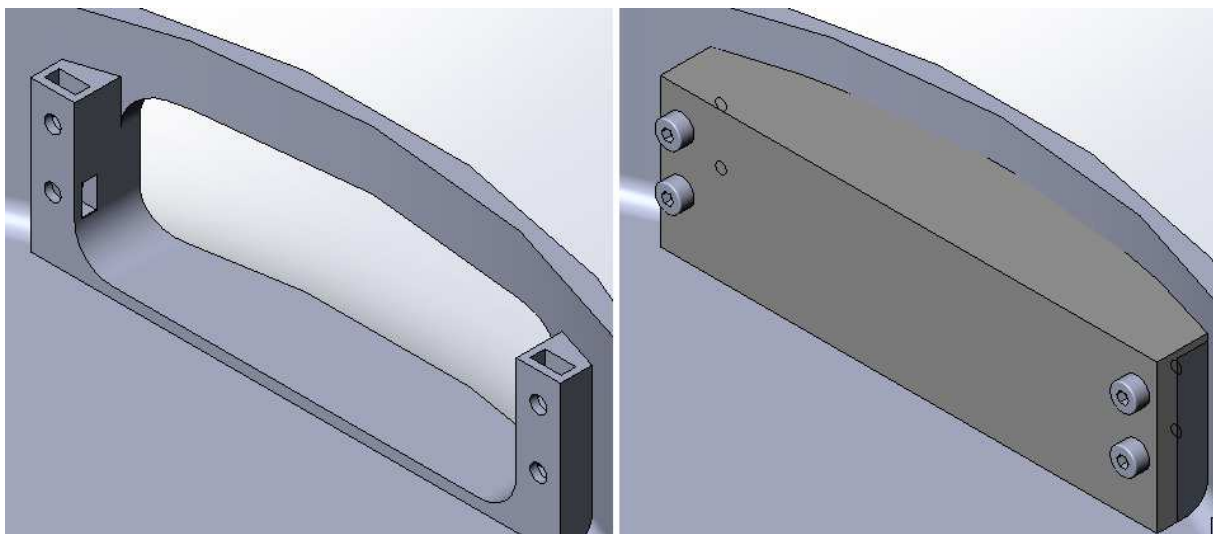
Slično kao i prihvat za *Raspberry Pi*, prihvat za ventilator napravljen je u obliku utora za matice s donje strane kućišta zbog jednostavnijeg sklapanja. Dodan je i otvor za usis zraka unutar kućišta sličnog promjera kao i promjer otvora na kućištu ventilatora.



Slika 13. Prihvat ventilatora

2.1.3. Shield

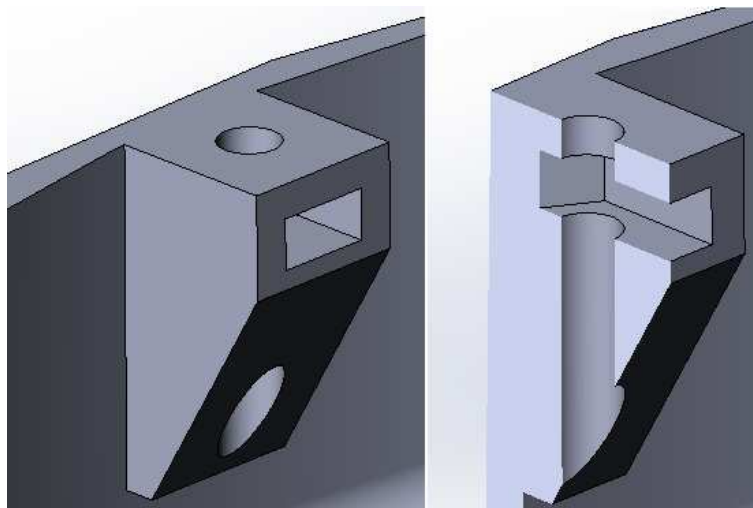
Potrebno je napraviti komponentu na koju će se montirati priključci za napajanje i prekidač za paljenje i gašenje cijelog robota. Prihvat za tu komponentu napravljen je na suprotnoj strani od rupa za izlaz zraka. Prihvat je osmišljen tako da se na tom dijelu kućišta napravi deblji sloj materijala unutar kojeg će biti utori za matice. Utori osiguravaju kontra moment pri zatezanju vijaka na sličan način kao i kod prihvata *Raspberry Pi*-a. Matice za gornje vijke shiolda umeću s gornje strane, a matice za donje vijke umeću se sa strane.



Slika 14. Prihvat shiolda

2.1.4. Prihvat ostalih modula ili vrata robota

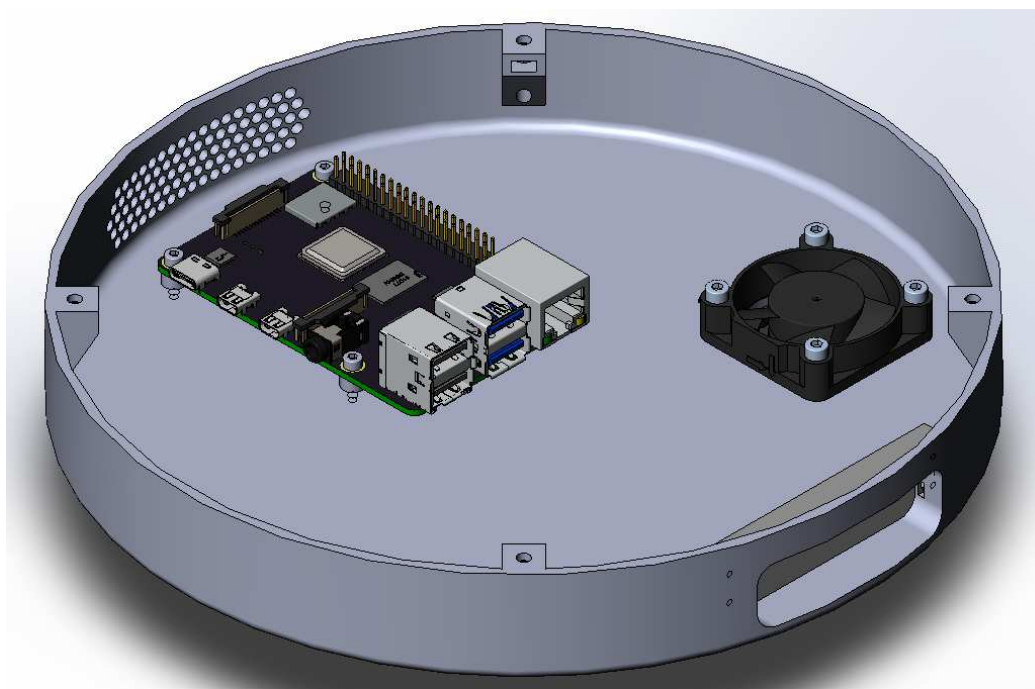
Prihvat ostalih modula na glavni, prvi modul ostvaren je sa četiri nosača s utorima za matice i provrtima za prolaz vijaka M3. Odabrani promjer, na kojemu se nalaze rupe za vijke na komponenti donjeg kućišta, biti će isti i na ostalim modulima kako bi se ostvarila zamjenjivost modula. Odabrani promjer na kojemu se nalaze vijci jest $\phi 206$ mm.



Slika 15. Prihvat za ostale module

2.1.5. Sklop donjeg modula

Sklop donjeg modula sa svim montiranim komponentama prikazan je na slici 16.



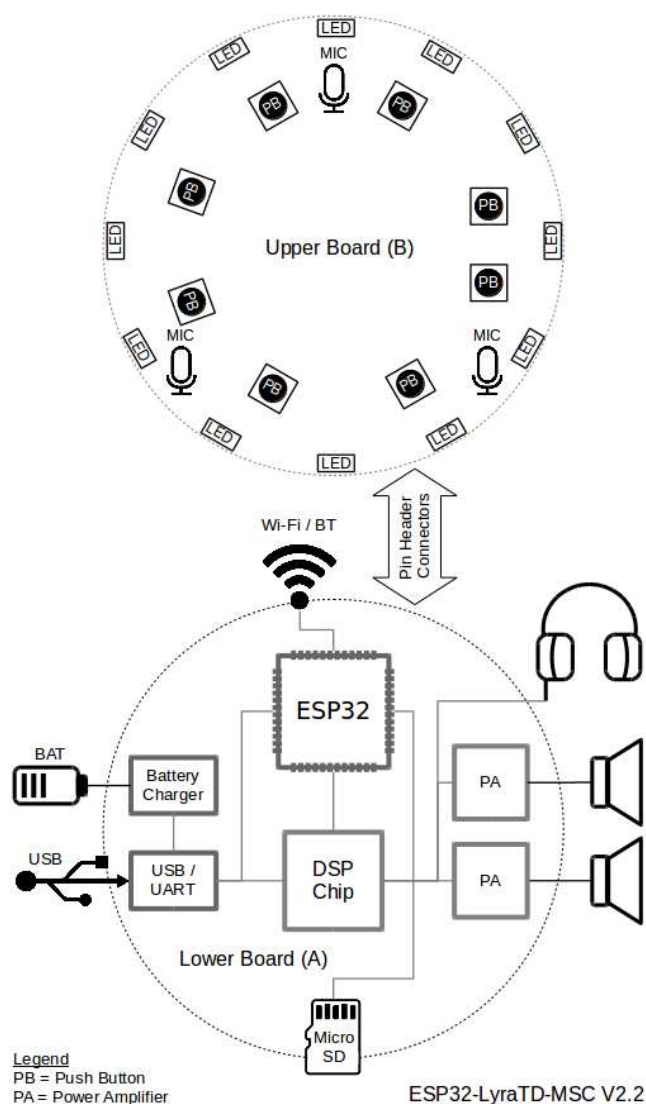
Slika 16. Sklop donjeg modula

2.2. Drugi modul (Nosач Lyre)

Funkcija drugog modula je ostvariti pravilan prihvat komponente *ESP32-LyraTD-MS* na način da zvuk uz što manje prepreka dolazi do mikrofona komponente. Kako bi se osiguralo što točnije očitavanje zvučnog signala potrebno je konstruirati zvučnu izolaciju koja će obložiti unutarnji dio kućišta. Potrebno je izraditi kućište *Lyre* tako da se mikrofoni nalaze na sredini modula. Nadalje, potrebno je odrediti na kojem mjestu će prolaziti žice za projektor i ostale komponente koje se nalaze na trećem modulu.

2.2.1. *ESP32-LyraTD-MS*

Komponentu *LyraTD-MS* proizvodi tvrtka *Espressif* te je ona namijenjena za uporabu u pametnim zvučnicima i za primjenu kod umjetne inteligencije. Komponenta se sastoji od gornje i donje ploče promjera 90 mm i ukupne visine od otprilike 22,5 mm. [7]



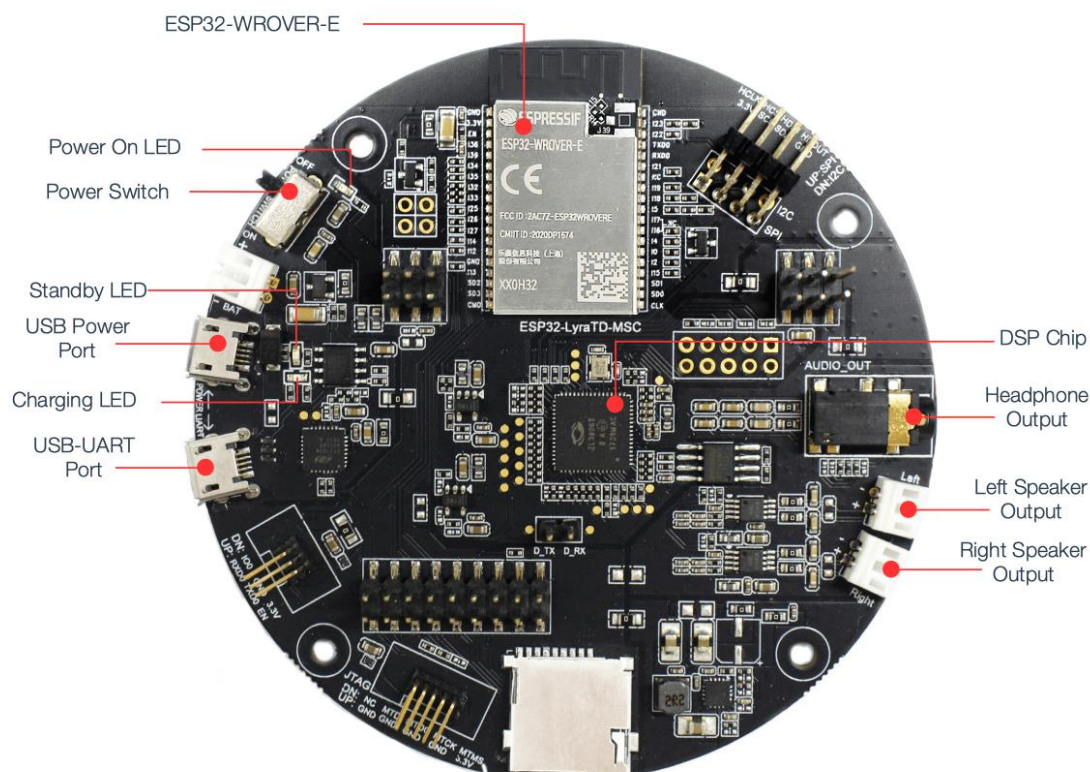
Slika 17. Blok dijagram *ESP32-LyraTD-MS* [6]

Mikroračunalo sadrži hardver za obradu digitalnih signala tj. tri mikrofona raspoređena po obodu, *ESP32* čip i dodatnu *RAM* memoriju. Na gornjoj ploči nalaze se mikrofoni, gumbi za razne funkcije i *LED* svjetla koja daju signal o trenutnom načinu rada računala. Donja ploča sadrži *ESP32-WROVER-E* čip te *DSP* (Digital Signal Processing) čip zajedno s modulom za upravljanje energijom. [7]

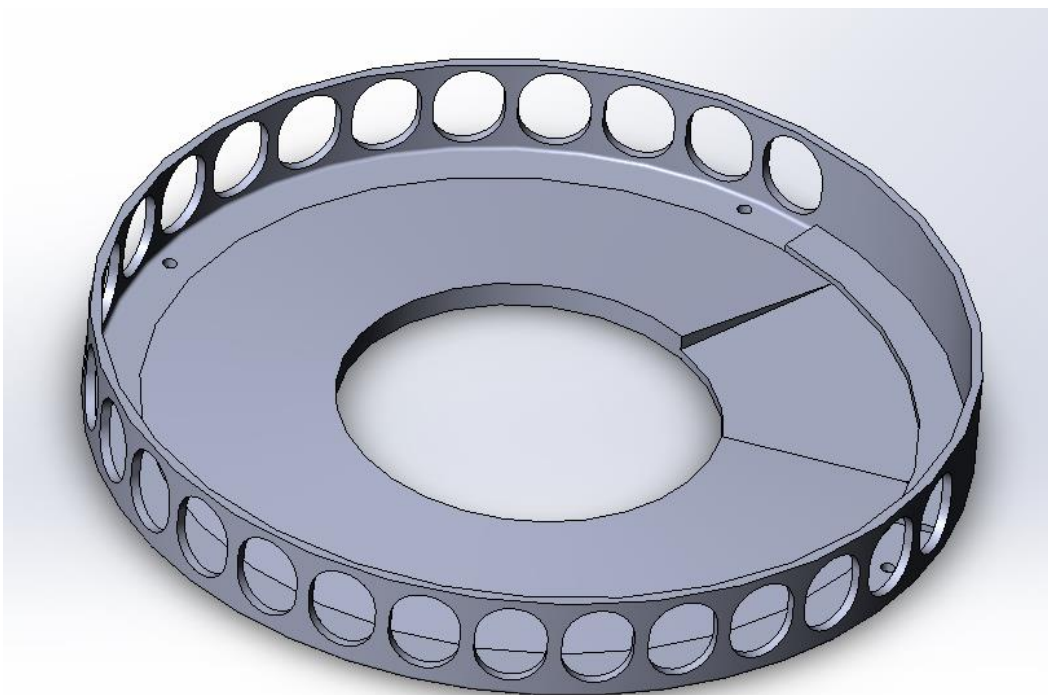
ESP32-WROVER-E modul sadrži *ESP32* čip koji omogućava *Wi-Fi* i *Bluetooth* konekciju. Navedeni modul također sadrži 4 MB *SPI Flash* memorije koja služi za prijenos podataka zajedno s dodatnih 8 MB *PSRAM* memorije. [7]

DSP čip koristi se za *ASR* (Automatic Speech Recognition ili Automatsko prepoznavanje govora) tako da procesira zvučne informacije dobivene iz mikrofona, zatim ih provodi kroz svoj *DAC* (Digital to Analog Converter ili pretvarač iz digitalnog u analogni signal) port. [7]

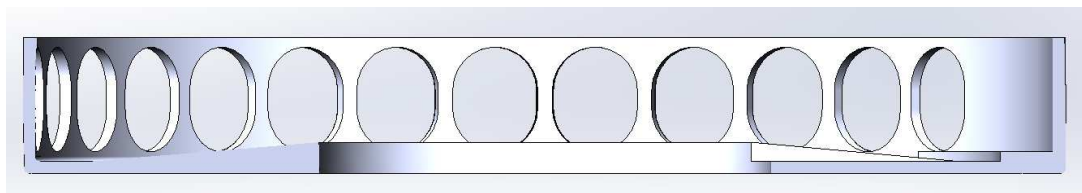
Donja ploča Lyre također sadrži *USB* port za prihvat električne energije, *USB-UART* port, prekidač za paljenje i gašenje te izlazne priključke za slušalice, lijevi i desni zvučnik. [7]



Slika 18. Donja ploča komponente LyraTD-MSC [7]



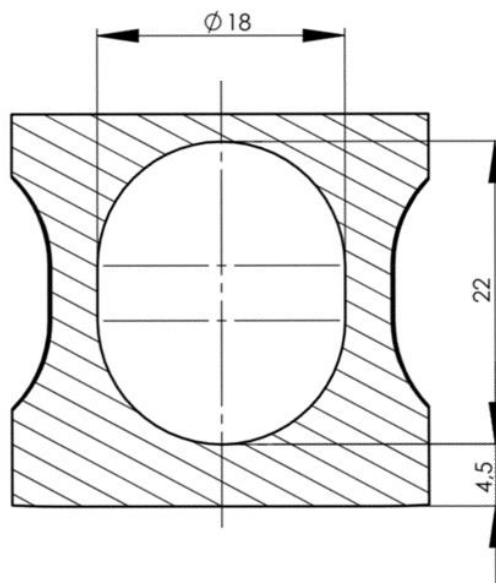
Slika 20. Donje kućište Lyre



Slika 21. Presjek donjeg kućišta Lyre

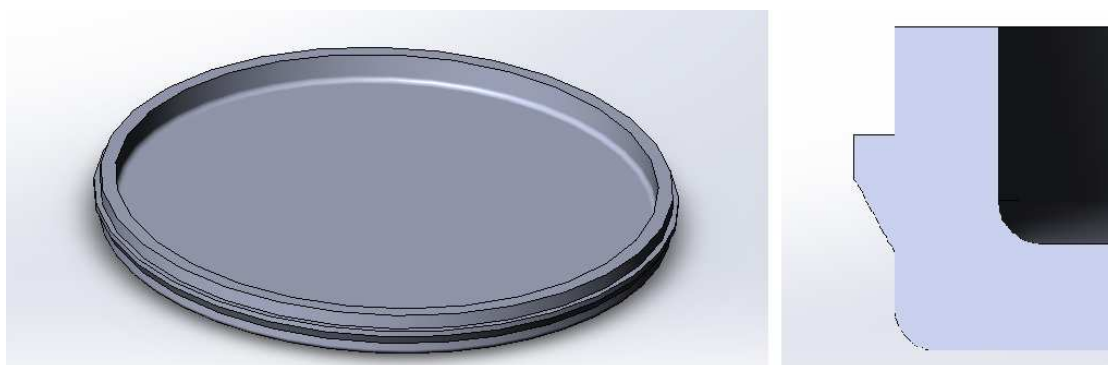
Po obodu donjeg kućišta Lyre izrađeni su ovalni utori za prolaz zvuka po uzoru na rad [15]. Prolazne rupe za vijke postavljene su točno na mjestima 'stupova' između rupa za prolaz zvuka kako bi se estetski uljepšao sklop. Sa stražnje strane sklopa nema rupa za prolaz zvuka budući da je predviđeno da se cijeli robot nalazi uza zid pa na toj strani nema potrebe za otvore za zvuk. Na stražnjoj strani postolja, gdje nema rupa za prolaz zvuka, izvodi se rezervirano mjesto za prolazak žica kako bi se žice sakrile. Uz rezervirano mjesto za žice izrađen je i utor za žicu napajanja Lyre jer se inače ta žica ne bi mogla priključiti na Lyru zbog skošenja.

Na slici 22 prikazane su dimenzije ovalne rupe za prolaz zvuka do mikrofona mikroračunala *LyraTD-MS*.



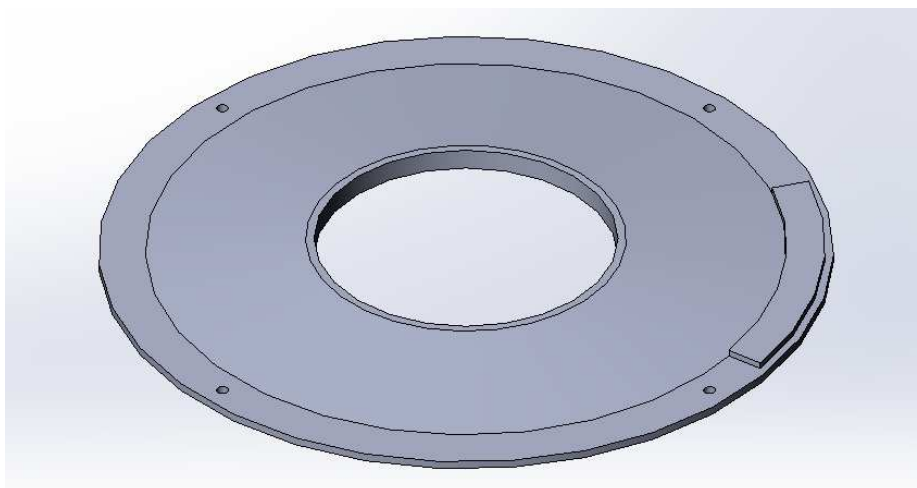
Slika 22. Dimenzije rupe za prolazak zvuka

Sljedeća komponenta koja se konstruira jest posuda za umetanje mikroračunala. Posuda za prihvat Lyre izrađena je tako da sjeda u utor na donjem kućištu svojim vanjskim promjerom, a unutarnji promjer posude izrađen je malo veći od samog mikroračunala. Visina posude zajedno s visinom donjeg kućišta Lyre određene su tako da gornja ploča mikroračunala na kojoj su mikrofoni bude na sredini sklopa.



Slika 23. Posuda nosača Lyre

Gornji nosač Lyre izveden je slično kao i donje kućište Lyre, samo bez vertikalnih stijenki s rupama za prolaz zvuka. Kao i donje kućište Lyre gornji nosač ima identično pozicionirane prolazne rupe za vijke M3. Gornji nosač također sadrži rezervirana mjesta za žice, samo što zauzimaju manje prostora, nego na donjem kućištu Lyre jer se jedan kabel odvaja za napajanje Lyre pa ne prolazi kroz gornji nosač.

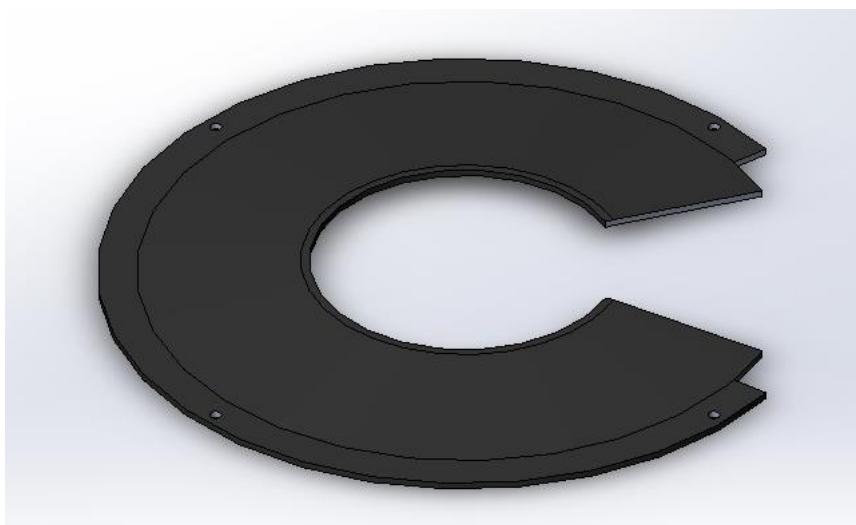


Slika 24. Gornji nosač Lyre

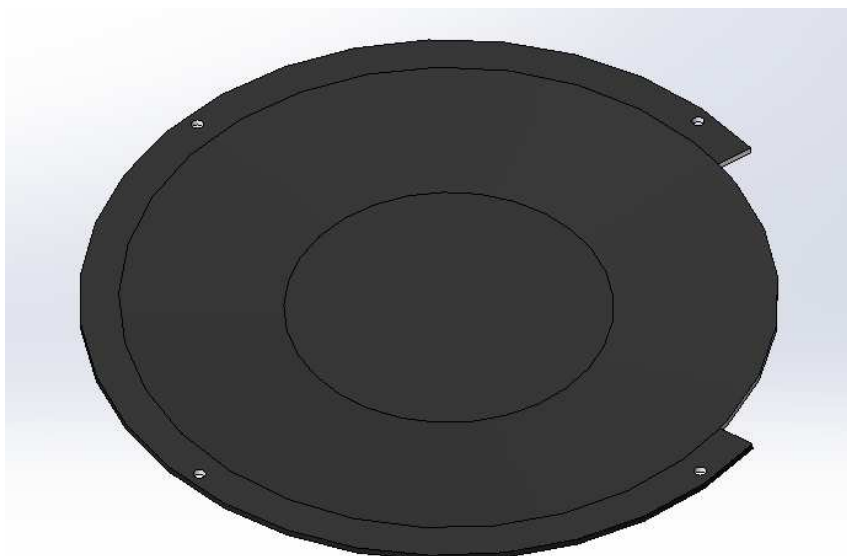


Slika 25. Presjek gornjeg nosača Lyre

Zvučna izolacija izvedena je tako da dimenzijama točno naliježe na odgovarajuće dijelove. Izolacija je napravljena od polietilena zbog dobrih zvučno izolacijskih svojstava tog materijala. Izolacija se izrađuje od polietilenskih spužvastih panela koji su savitljivi pa se lako mogu oblikovati prema obliku nosača za mikroročunalo. Valja napomenuto da na izolaciji treba predvidjeti mjesto za prolaz žica kao i mjesto za žicu napajanja mikroročunala kod donje izolacije.

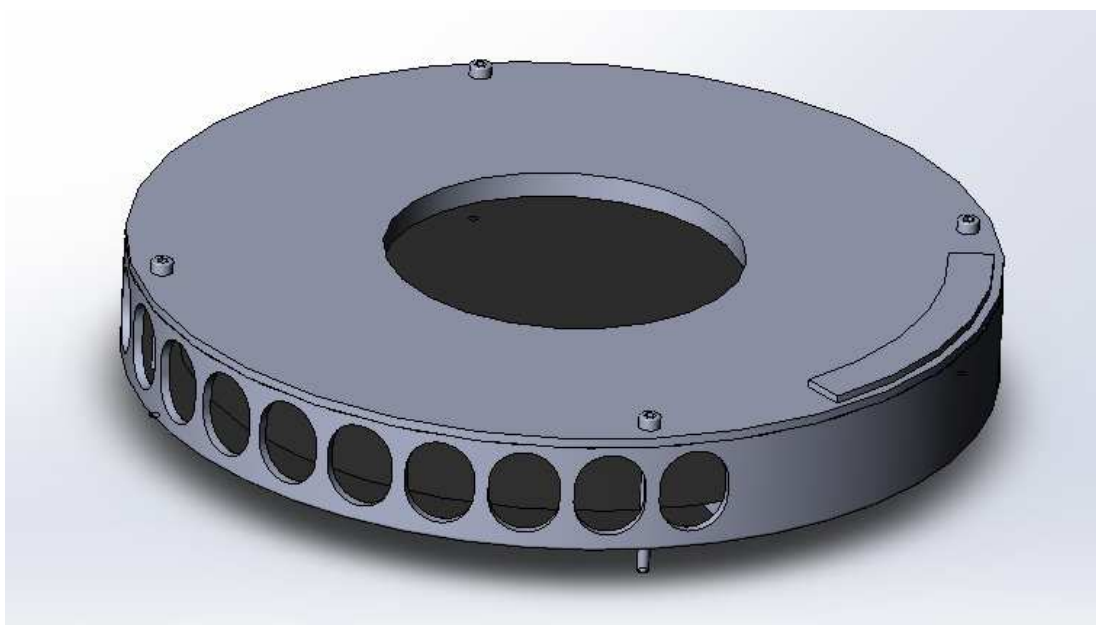


Slika 26. Izolacija donjeg dijela kućišta Lyre

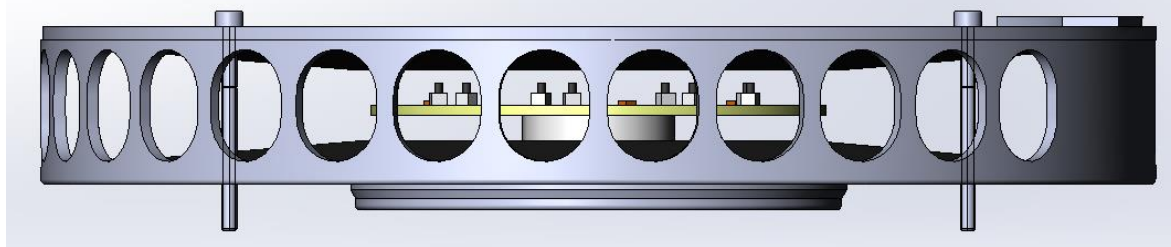


Slika 27. Izolacija gornjeg dijela kućišta Lyre

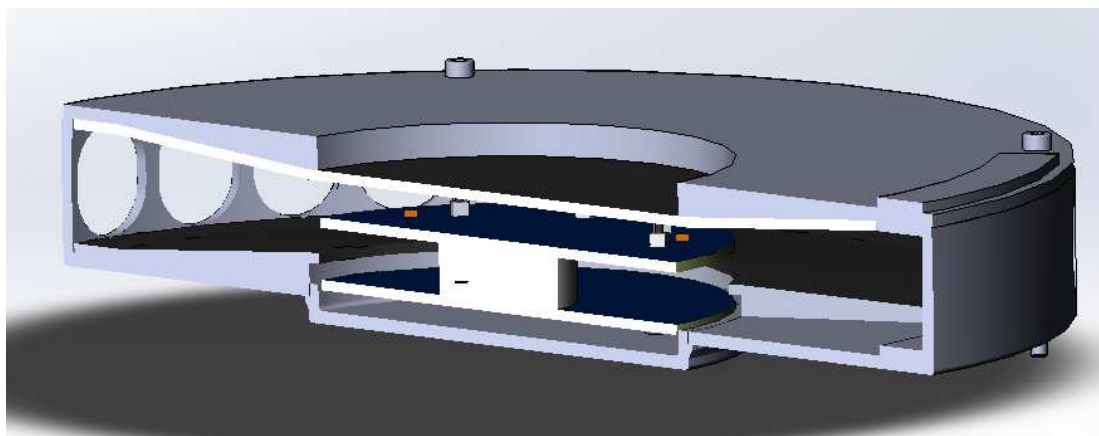
Sklop nosača Lyre montira se na prvi modul tako da četiri vijka M3, duljine 40 mm, po obodu prolaze kroz cijeli sklop nosača Lyre. Navedeni vijci zatežu cijeli sklop od nosača matice sa slike 15 do vrata robota koji se postavlja na gornji nosač Lyre. Sklop za prihvat mikroročunala Lyre prikazan je na slici 28.



Slika 28. Sklop nosača Lyre

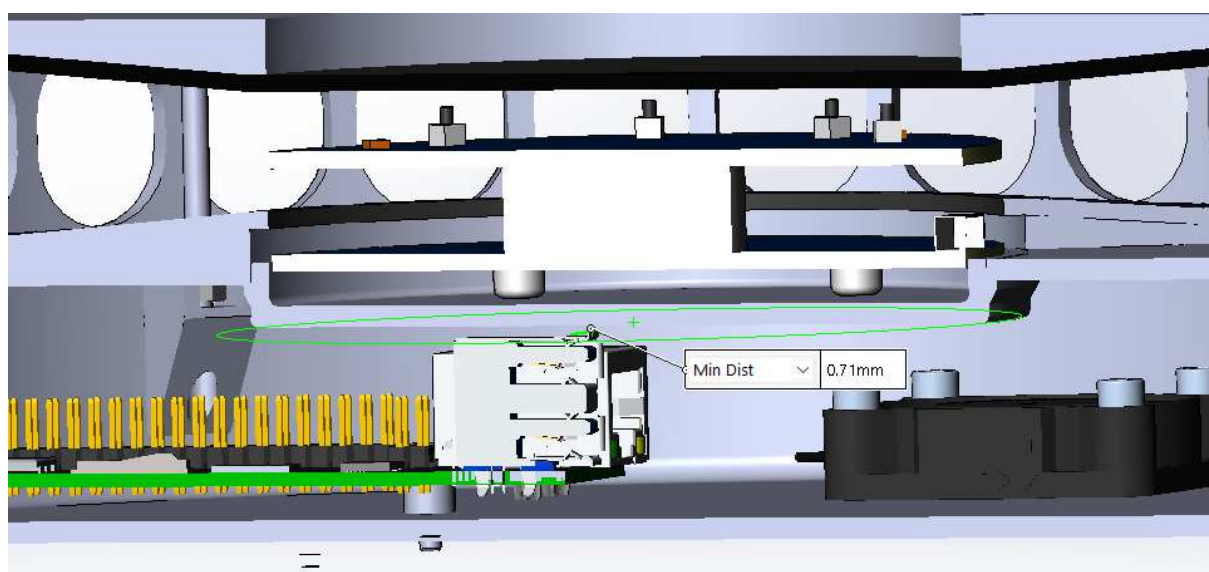


Slika 29. Sklop nosača Lyre iz nacрта



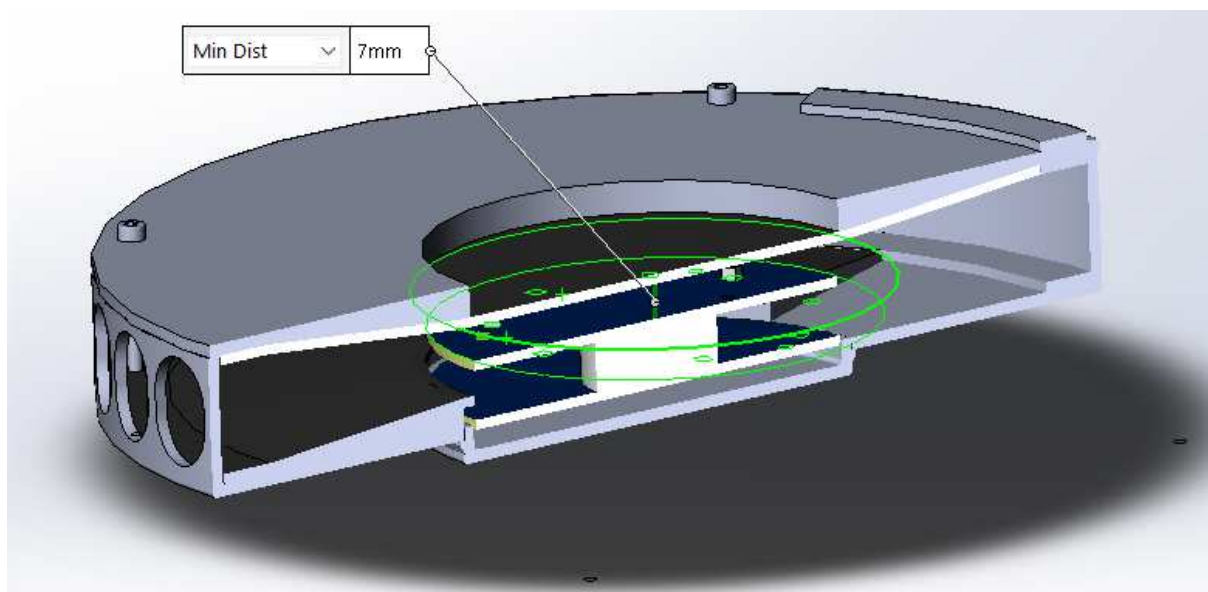
Slika 30. Presjek sklopa nosača Lyre

Posuda u koju se umeće Lyra zbog svojeg oblika ulazi u donji modul na koji se montira. Stoga je potrebno osigurati da postoji dovoljno prostora između posude i Raspberry-a unutar donjeg modula pošto se komponente nalaze jedna iznad druge.

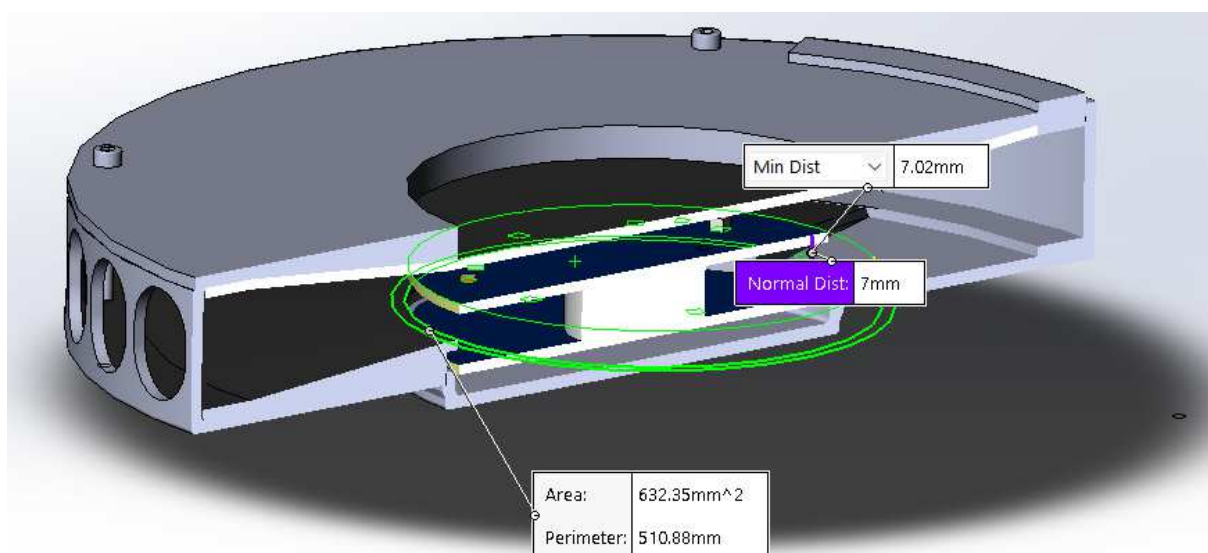


Slika 31. Razmak između posude Lyre i Raspberry-a

Kao što je navedeno prije, potrebno je konstruirati sklop tako da se gornja ploča mikroracunala *LyraTD-MS*C koja sadrži mikrofone nalazi na sredini sklopa nosača kako bi se osigurao optimalan prihvat zvučnog signala. Provjera udaljenosti gornje ploče s mikrofonom mikroracunala prikazana je na slikama 32 i 33.



Slika 32. Udaljenost mikrofona od gornje izolacije



Slika 33. Udaljenost mikrofona od donje izolacije

2.3. Treći modul (Okretni mehanizam)

Glavna funkcija trećeg modula je osigurati prihvat elektromotora i omogućiti rotaciju vratila remenice kako bi sklop bio što kompaktniji. Vratilo remenice mora biti šuplje kako bi *HDMI* kabel mogao proći kroz nju do vrata robota gdje se nalazi projektor.

2.3.1. Uležištenje šupljeg vratila remenice

Uležištenje šupljeg vratila remenice izvodi se s dva jednoredna kuglična ležaja uprešana u stol okretnog mehanizma. Ležajevi se uprešavaju u utor na sredini stola gdje je utor za prvi ležaj manji od utora za drugi ležaj zbog montaže sklopa. Dimenzije ležajeva određene su preko širine *HDMI* priključka za projektor unutar vrata robota. Širina *HDMI* priključka za projektor je 20 mm pa odabrani unutarnji promjer šupljeg vratila remenice iznosi 22 mm. Odabrani unutarnji promjer manjeg ležaja iznosi 30 mm te se tako osigurava dovoljna minimalna debljina stijenke vratila koja iznosi 4 mm. Za unutarnji promjer većeg ležaja odabire se prvi veći standardni promjer vratila koji iznosi 35 mm. Kada su odabrani unutarnji promjeri ležajeva potrebno je odabrati ležajeve po njihovim oznakama.

2.3.1.1. Ležajevi okretnog mehanizma

Za manji ležaj bira se ležaj oznake *61806-2RS1* čije dimenzije glase:

- unutarnji promjer – 30 mm,
- vanjski promjer – 42 mm,
- širina ležaja – 7 mm.

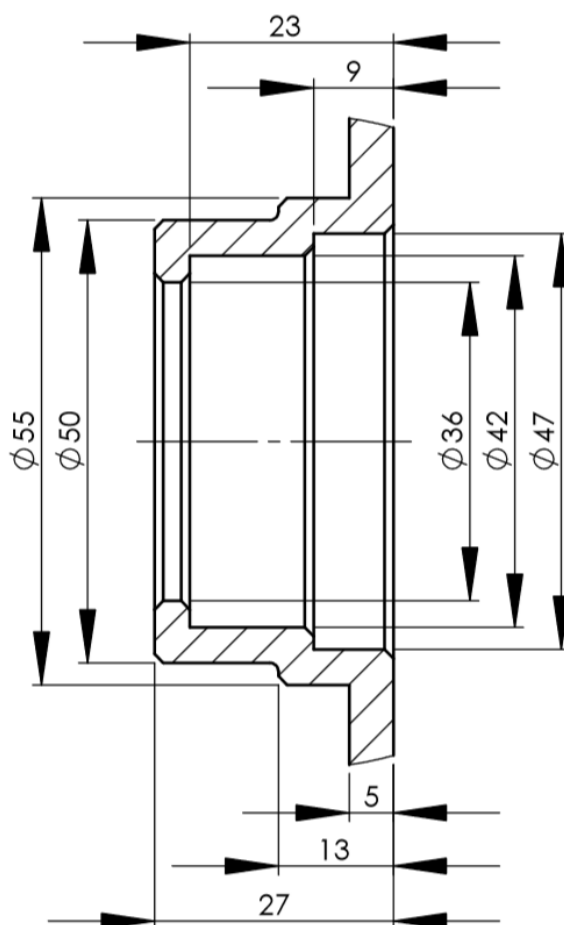
Za veći ležaj bira se ležaj oznake *61807-2RS1* čije dimenzije glase:

- unutarnji promjer – 35 mm,
- vanjski promjer – 47 mm,
- širina ležaja – 7 mm.

Na kraju oznake je podoznaka *2RS1* koja označava da se radi o ležaju sa zaštitnim brtvama. Proizvođač ležajeva je trvтка *Torpol*. Valja napomenuti da odabrani ležajevi nisu visoke kvalitete zbog toga što na njih nema gotovo nikakvog opterećenja, a brzine vrtnje su relativno niske te će robotska glava imati relativno nizak broj ciklusa okretanja.

2.3.1.2. Ležajna mjesta u stolu okretnog mehanizma

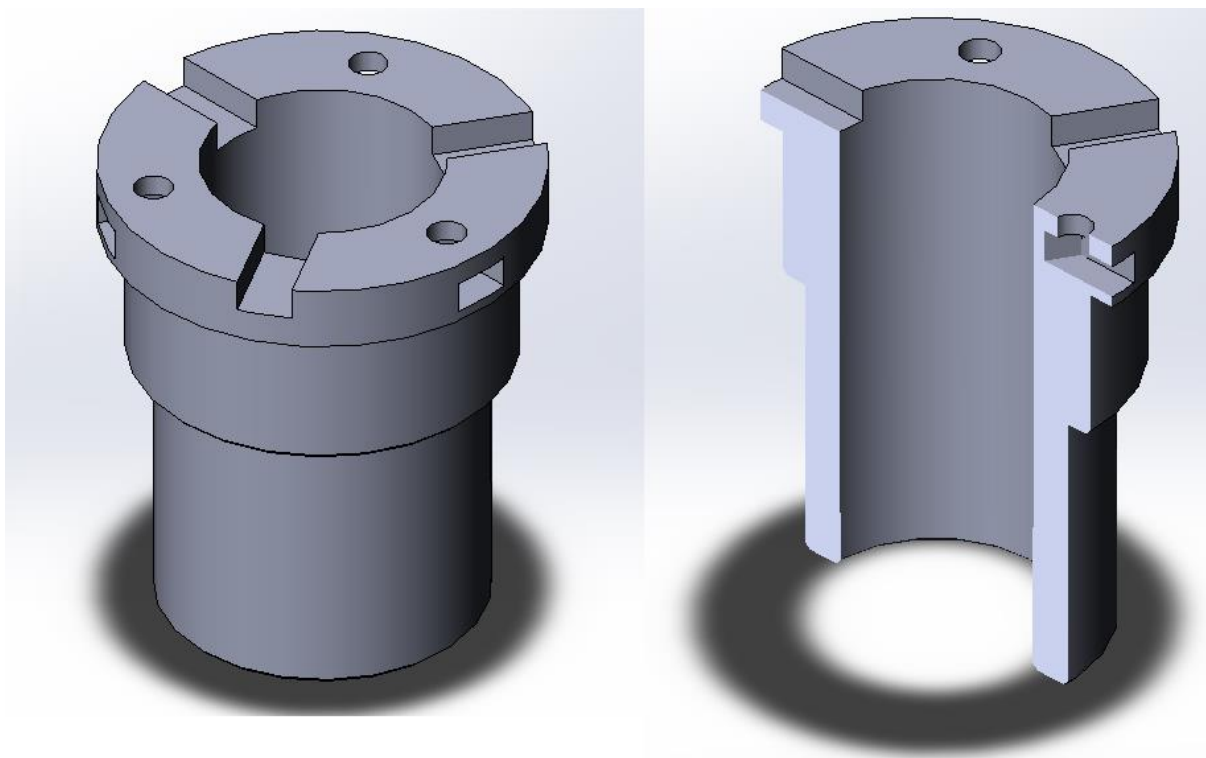
Ležajna mjesta izvedena su kao utori na stolu okretnog mehanizma. Utor za ležajeve prikazan je na slici 34.



Slika 34. Ležajna mjesta na stolu okretnog mehanizma

2.3.1.3. Konstrukcijsko rješenje šupljeg vratila remenice

Šuplje vratilo remenice uležišteno je u šupljinu stola okretnog mehanizma. Na vratilu je potrebno predvidjeti pravilna mjesta oslanjanja vratila na ležajeve i mjesto za remenicu. Na vrhu vratila postavljaju se utori za prijenos momenta oblikom kao i prolazne rupe za vijke M3 zajedno s utorima za matice. Na vratilo se montira vrat robota preko adaptera. Mjesto za remenicu rezervirano je na donjem dijelu vratila te će se ona izraditi kao prsten s utorima za zupčasti remen *GT2*. Okretni mehanizam robota *PLEA* pozicijski je mehanizam zbog čega se i odabire remen *GT2* koji svojim zubima sprječava proklizavanje i omogućuje točno pozicioniranje robotske glave. Zbog kompleksnosti oblika utora remenice i zbog činjenice da za nju već postoji odgovarajuća dokumentacija za izradu u laboratoriju ona ne će biti dio ovog rada, ali svejedno je potrebno rezervirati odgovarajuće mjesto na vratilu za nju. Konačno konstrukcijsko rješenje šupljeg vratila remenice prikazano je na slikama 35 i 36.



Slika 35. Konstruktivno rješenje šupljeg vratila

Utori za matice izvedeni na sličan način kao i na slici 15 te su identičnih dimenzija.



Slika 36. Prikaz rezerviranog mjesta remenice

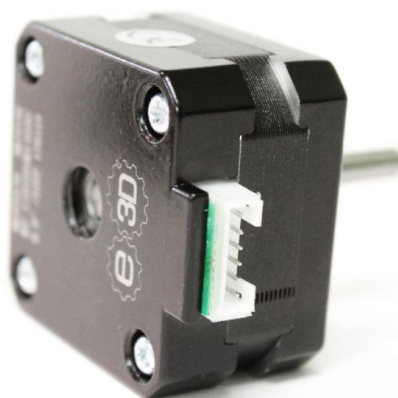
2.3.2. Prihvat elektromotora

Odabrani elektromotor za obavljanje funkcije rotiranja robotske glave je Nema 17 Slimline koračni motor oznake *MT-1701HSM140AE*. Stepper motori obično se koriste kada je potrebno točno pozicioniranje nekog sustava.

Specifikacije motora glase: [6]

- Okretni moment – 12,7 Ncm,
- Promjer vratila – 5 mm,
- Duljina tijela motora – 25 mm,
- Duljina vratila motora – 26 mm,
- Voltaža – 2,7 V,
- Struja motora – 1,4 A po fazi,
- Korak - 0,9°.

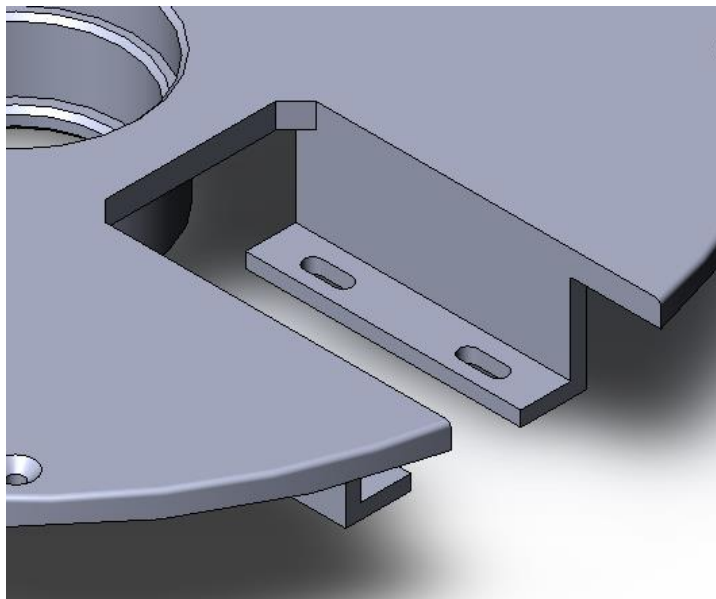
Zbog relativno velike duljine vratila elektromotora, sklop okretnog mehanizma bio bi prevelik u visini, stoga je motor potrebno rastaviti i ručno skratiti vratilo motora. Ovakve modifikacije na standardnim komponentama nisu nikada poželjne i ne preporučaju se. Budući da je motor već nabavljen i da su opterećenja sklopa praktički zanemariva ovakav pristup zadovoljava potrebe ovog mehanizma pa za sad nema potrebe za odabirom i nabavom novog elektromotora. Na vratilo elektromotora montira se manja standardna remenica za GT2 remen.



Slika 37. Koračni elektromotor Nema 17 Slimline MT-1701HSM140AE [6]

Za prihvat elektromotora napravljen je utor širine elektromotora u stolu okretnog mehanizma te su uz njega napravljena dva nosača, svaki za jednu stranu elektromotora. Prihvat elektromotora potrebno je izvesti tako da je moguće radijalno podešavanje pozicije motora kako

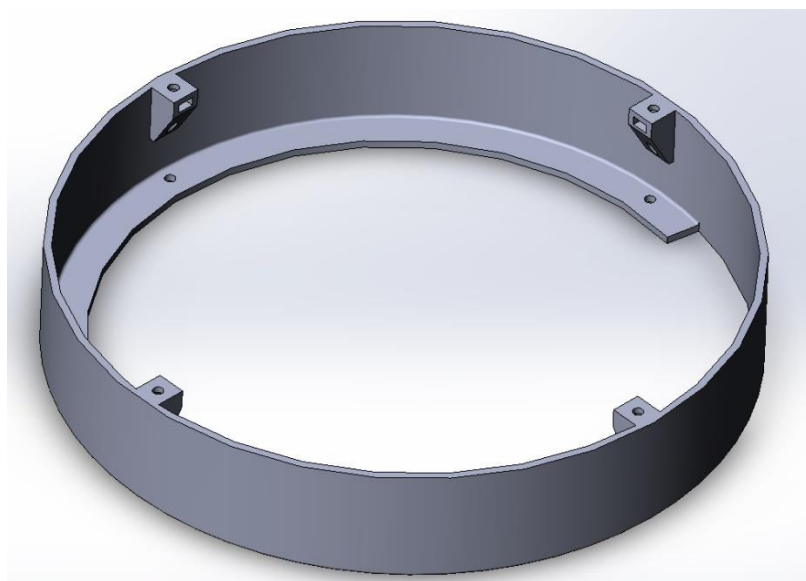
bi se omogućilo zatezanje remena. Radi osiguravanja radialnog podešavanja pozicije motora izrađeni utori na nosačima ovalnog su oblika. Nakon oblikovanja prihvata elektromotora dobiven je konačni oblik stola okretnog mehanizma.



Slika 38. Prihvat elektromotora integriran u stol okretnog mehanizma

2.3.3. Adapter za okretni mehanizam

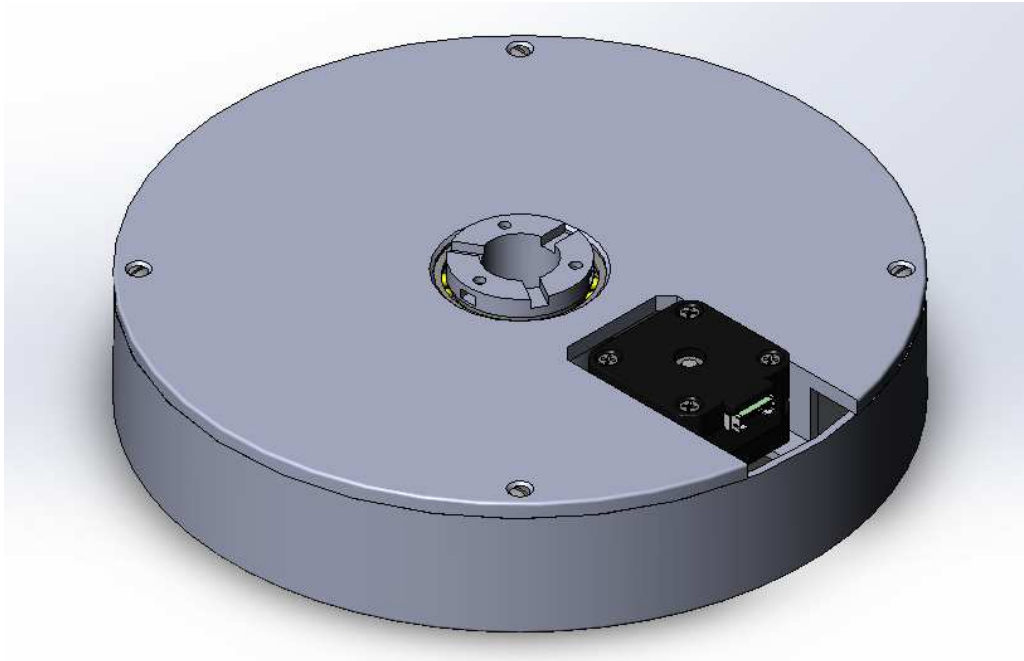
Kako bi bilo moguće montirati sklop okretnoga mehanizma potrebno je oblikovati adapter koji će se montirati na sklop Lyre ili donji glavni modul. Na adapter se veže stol okretnog mehanizma preko nosača izvedenih identično kao na slici 15. S donje strane adaptera potrebno je ostaviti dovoljno prostora za prolazak žica do vrata robota.



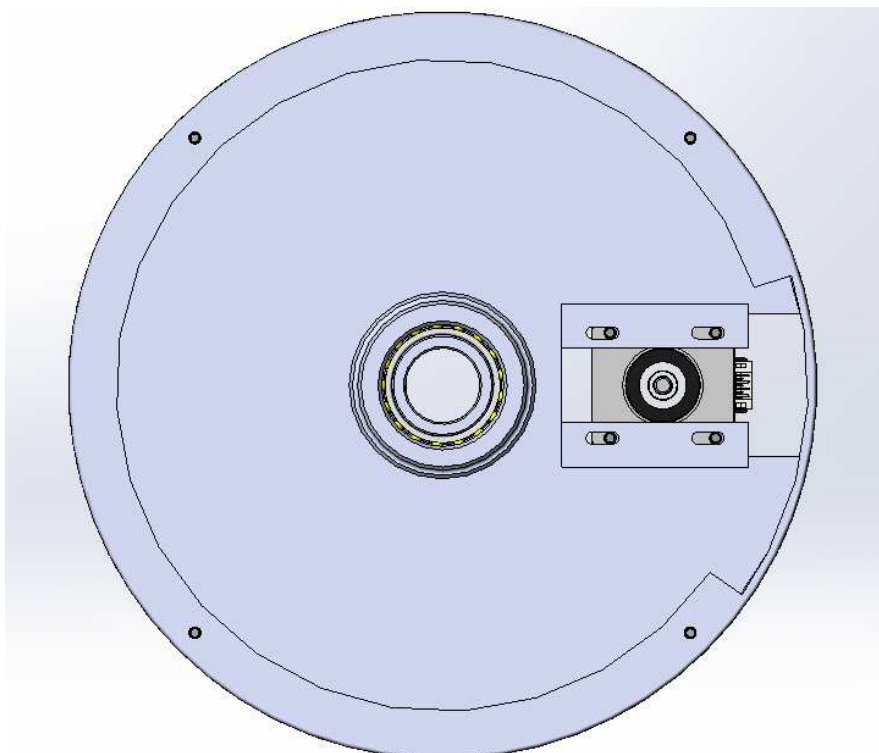
Slika 39. Adapter okretnog mehanizma

2.3.4. Prikaz sklopa okretnog mehanizma

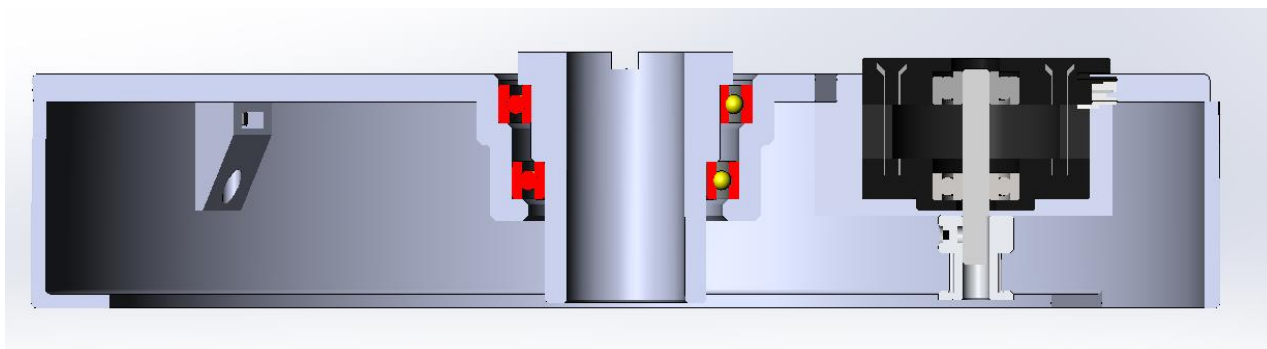
Na slijedećim slikama prikazan je sklop okretnog mehanizma sa svim komponentama.



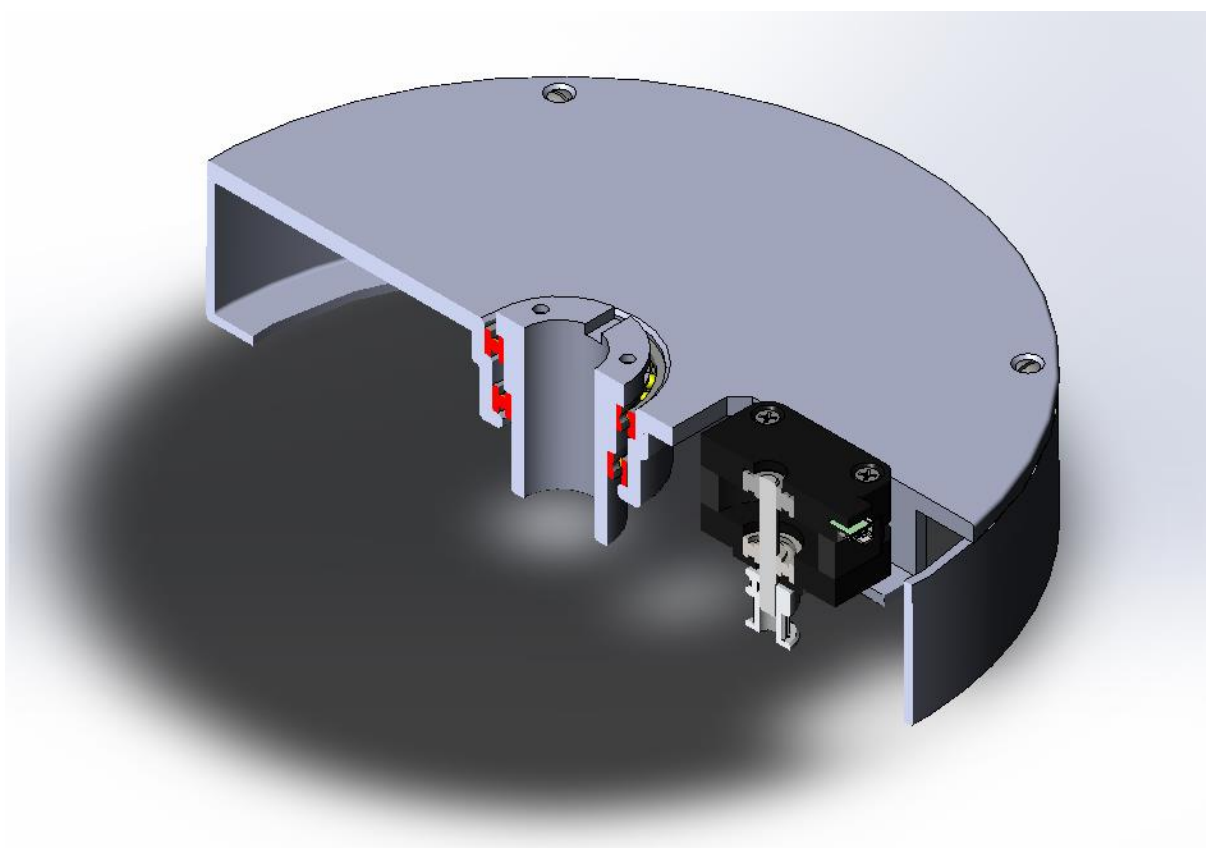
Slika 40. Prikaz sklopa okretnog mehanizma



Slika 41. Prikaz donje strane okretnog mehanizma



Slika 42. Presjek okretnog mehanizma u nacrtu



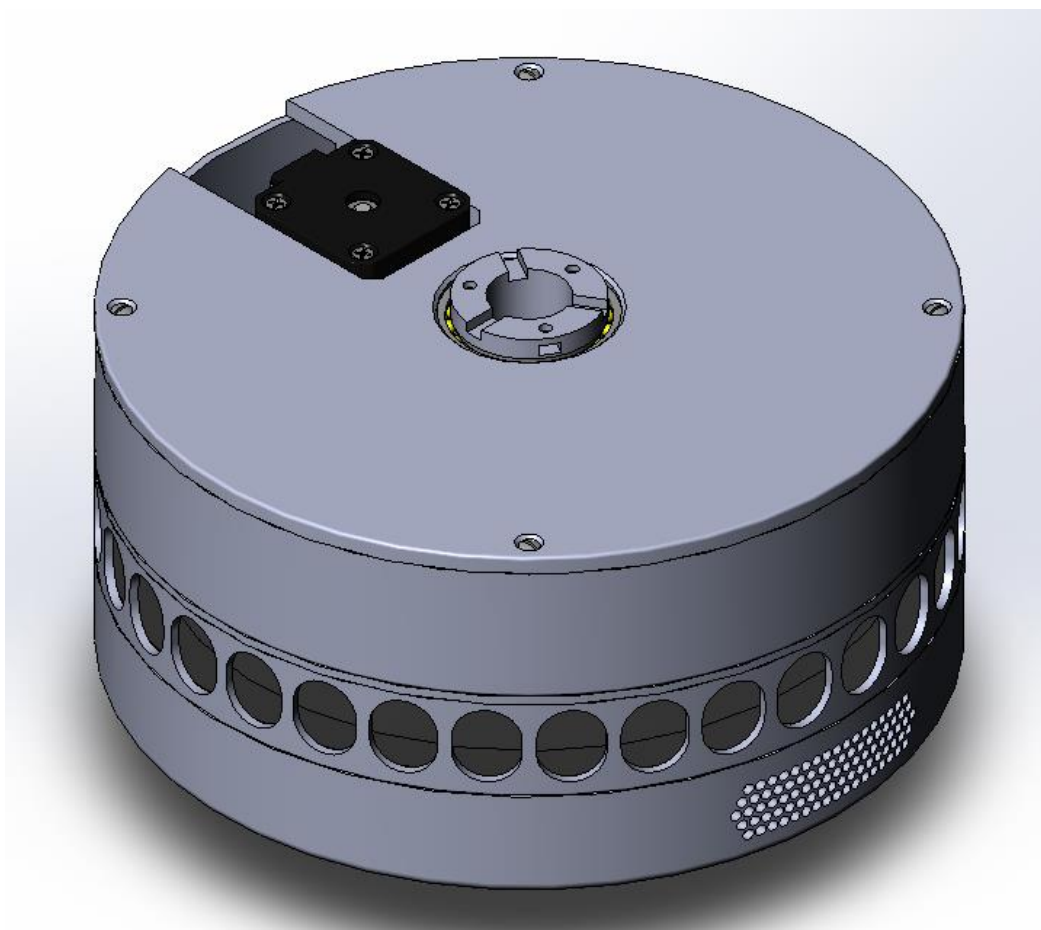
Slika 43. Presjek okretnog mehanizma u izometriji

3. MODULARNOST POSTOLJA

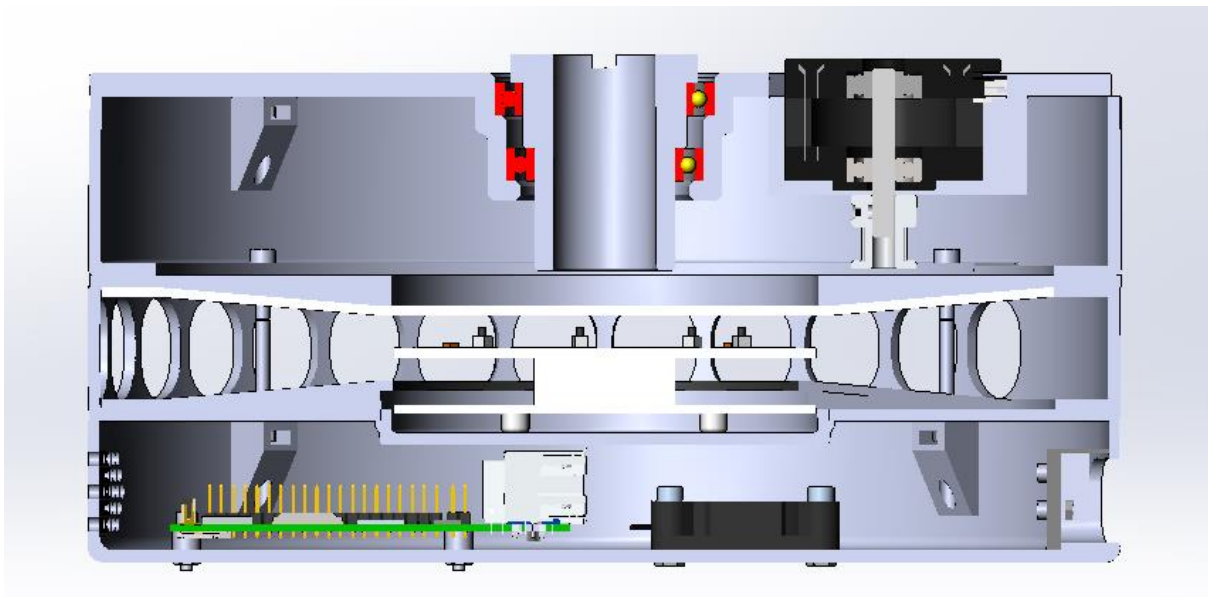
Jedan od glavnih zadataka ovog rada bio je ostvariti modularnost postolja robota. Modularna izvedba postolja podrazumijeva da su moduli međusobno izmjenjivi, a to je ostvareno identičnim prihvatom na svakom modulu. Robot *PLEA* često se izlaže u prostorima fakulteta i na raznim izložbama robotike. Pri tom izlaganju robota ponekad nema potrebe za montiranjem sva tri modula pa je korisno da se na robot mogu sastaviti samo potrebni moduli. U ovom poglavlju biti će prikazane sve moguće konfiguracije postolja robota počevši od konfiguracije koja sadrži sve module.

3.1. Konfiguracija sa svim modulima

Ova konfiguracija sastoji se od svih izrađenih modula. Konfiguracija omogućava sve predviđene funkcije robota *PLEA*. Ukupna visina sklopa iznosi otprilike 110 mm. Glava robota montira se na okretnu komponentu koja se zatim montira na šuplje vratilo remenice.



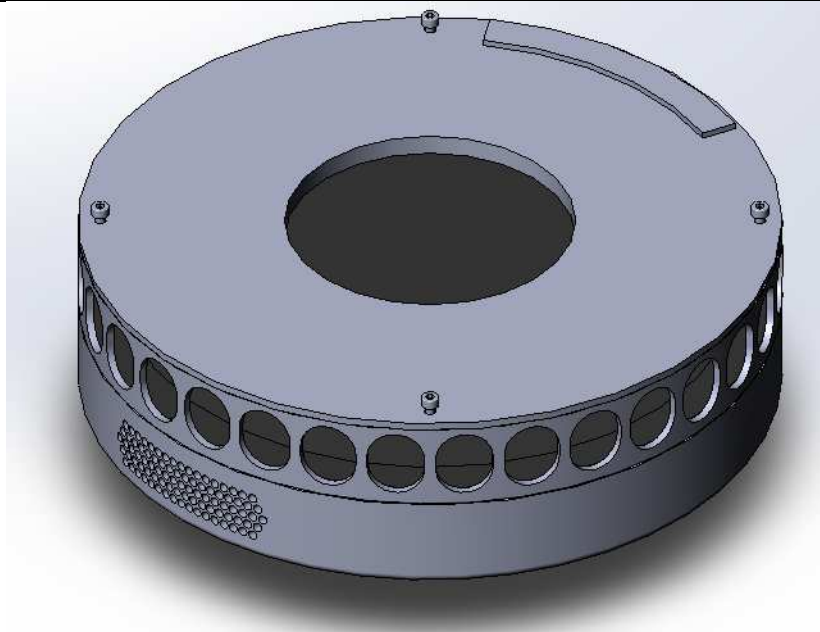
Slika 44. Konfiguracija postolja sa svim modulima



Slika 45. Presjek konfiguracije sa svim modulima u narctu

3.2. Konfiguracija bez okretnog mehanizma

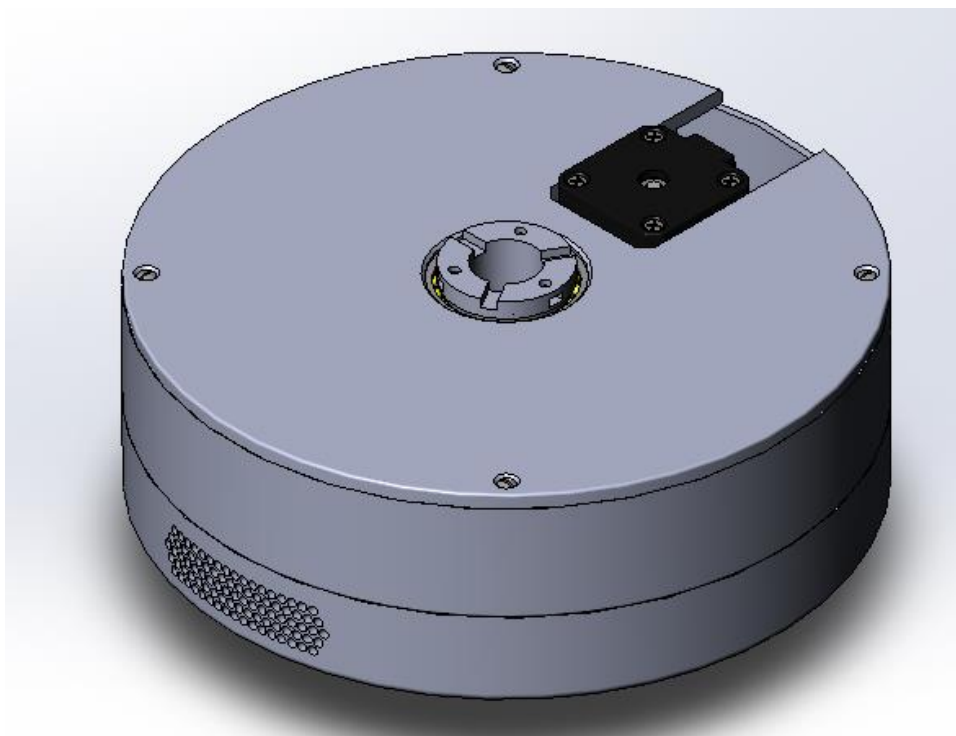
Konfiguracija bez okretnog mehanizma sadrži prvi, glavni modul zajedno s modulom nosača Lyre. Vrat robota *PLEA* montira se direktno na gornji nosač Lyre. Korist ovakve konfiguracije je upitna budući da je glavna funkcija modula nosača mikroračunala Lyre upravo ta da se omogući prepoznavanje smjera dolaska zvučne informacije kako bi se glava robota zakrenula u tom smjeru. U budućnosti je moguće da će biti koristi od ovakve konfiguracije jer mikroračunalo *LyraTD-MS* ima mnogo funkcija koje bi mogle biti korisne i bez okretnog mehanizma. Ukupna visina ove konfiguracije iznosi 61 mm.



Slika 46. Konfiguracija postolja bez okretnog mehanizma

3.3. Konfiguracija bez nosača Lyre

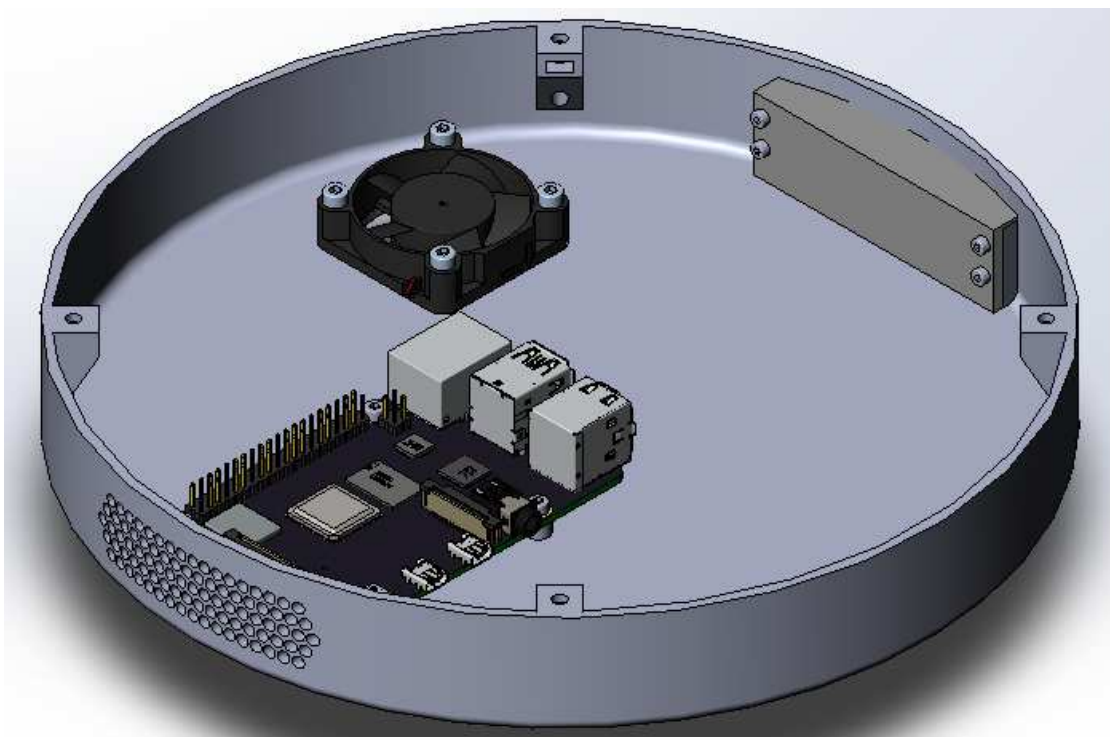
Ovakva konfiguracija može se koristiti za upravljanje kuta zakreta robotske glave, ali robot u tom slučaju ne prima zvučne informacije, nego samo vizualne informacije iz kamere smještene u vratu robota. Vrat robota montira se na postolje isto kao i u prvoj konfiguraciji sa svim modulima. Visina ove konfiguracije postolja iznosi 72 mm.



Slika 47. Konfiguracija bez nosača Lyre

3.4. Konfiguracija postolja samo s glavnim modulom

U ovoj konfiguraciji postolja je samo sklop donjeg kućišta s *Raspberry Pi* računalom i ventilatorom. Na sklop donjeg kućišta direktno se može montirati vrat robota te će robot obavljati funkciju projiciranja slike lica na glavi. Ova konfiguracija postolja robota je najjednostavnija i najčešće se koristi. Visina ove konfiguracije postolja iznosi 30 mm.



Slika 48. Konfiguracija samo s glavnim modulom

4. ZAKLJUČAK

Područje afektivne robotike se u današnje vrijeme sve više istražuje, pokazuje se sve veća potreba za razvojem toga područja, a robot *PLEA* pionir je tog područja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Modularno postolje afektivnog robota *PLEA* omogućuje efikasno sklapanje i izmjenjivanje modula postolja robota što je vrlo korisno s obzirom da se robot često premješta u različita okruženja. Modularni dizajn postolja također omogućuje lako modificiranje postolja robota u budućnosti ukoliko to bude potrebno. Nadalje, modularnost postolja osigurava da robot može obavljati svoju glavnu funkciju bez da je postolje u potpunosti sklopljeno. Ukoliko neki od modula treba modificirati, modul se jednostavno izvadi od ostatka postolja pa nema potrebe za rastavljanjem cijelog postolja robota.

Konstruiranjem ovog postolja upoznao sam se s procesima i zahtjevima aditivne proizvodnje koja je za ovakve primjene idealna. Aditivna proizvodnja vrlo je korisna za primjene kod izrade malog broja proizvoda što je slučaj kod postolja robota *PLEA*. Također, omogućava izradu vrlo kompleksnih dijelova što pojednostavljuje proizvodnju. Mogućnost izrade kompleksnih dijelova uvelike smanjuje broj korištenih dijelova što ubrzava proces sklapanja i rastavljanja sklopa, ali i smanjuje masu cijelog sklopa jer su dijelovi iznutra djelomično šuplji.

Ovaj rad omogućio mi je da istražim područja aditivne proizvodnje, elektronike i afektivne robotike s kojima se u svom studiju nisam puno susretao. Izrada ovog rada pružila mi je priliku za povezivanje područja svog konstrukcijskog smjera s područjem afektivne robotike i aditivne proizvodnje te sam na taj način stekao novo i vrlo zanimljivo znanje za koje se nadam da ću primijeniti u budućnosti.

PODRŠKA HRZZ

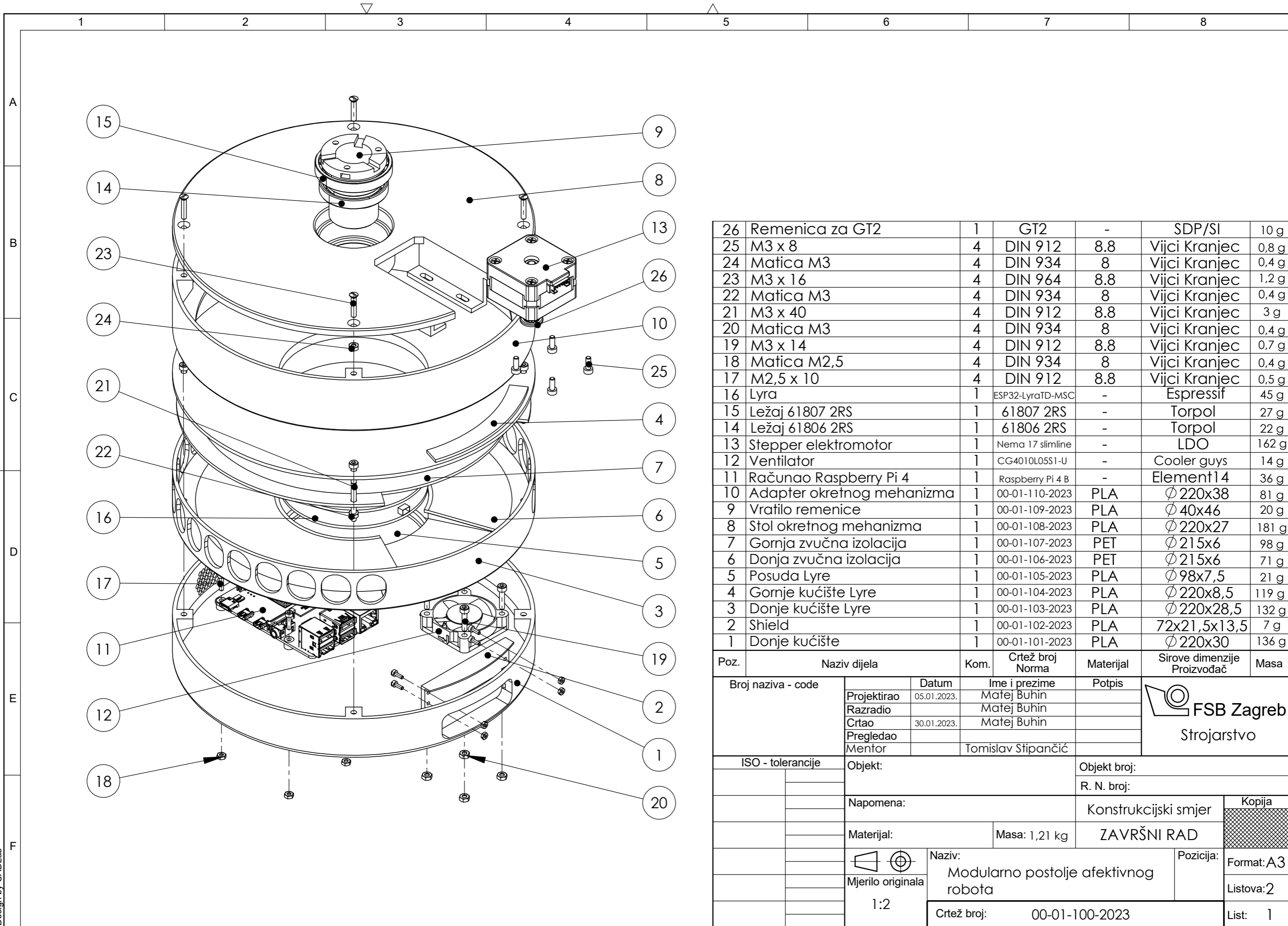
Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom “AMICORC - Afektivna multimodalna interakcija temeljena na konstruiranoj robotskoj spoznaji”(UIP-2020-02-7184).

LITERATURA


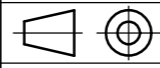
- [1] 3D print, <https://3dprint.com/81210/infinity-rinse-away-support-3d/>, pristupljeno: 25.01.2023.
- [2] 3D Pros, <https://www.3d-pros.com/choosing-infill-for-3d-printed-parts>, pristupljeno: 26.01.2023.
- [3] Cooler guys, <https://www.coolerguys.com/products/coolerguys-40mm-40x40x10-usb-fan>, pristupljeno: 02.02.2023.
- [4] Creality, <https://www.creality.com/products/ender-3-3d-printer>
- [5] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 1975.
- [6] E3D, <https://e3d-online.com/products/motors>, pristupljeno: 30.01.2023.
- [7] Espressif, <https://espressif-docs.readthedocs-hosted.com/projects/esp-adf/en/latest/design-guide/dev-boards/get-started-esp32-lyratd-msc.html>, pristupljeno: 30.01.2023.
- [8] Herold, Z.: Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.
- [9] Haghsefat, K. Tingting, L.: FDM 3D Printing Technology and its Fundamental Properties
- [10] Koren L.: Mehanizam za zakretanje robotske glave koja reagira na zvučne podražaje, Diplomski rad, FSB Zagreb, 2020
- [11] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1970.
- [12] RaspberryPi, <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>
- [13] Specialstl, <https://specialstl.com/article/3d-printing-supports-hard-to-remove>
- [14] Stipančić, T. Koren, L. Korade, D. Rosenberg, D: PLEA: A social robot with teaching and interacting capabilities, 2021.
- [15] Škifić, N.: Postolje afektivne robotske glave
- [16] University of Cambridge, <https://www.cl.cam.ac.uk/research/rainbow/emotions/affrob.html>, pristupljeno: 02.02.2023.

PRILOZI

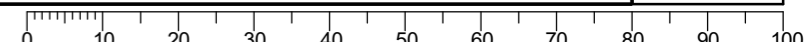
- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija

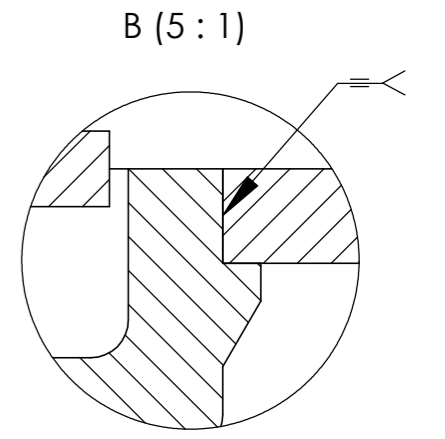
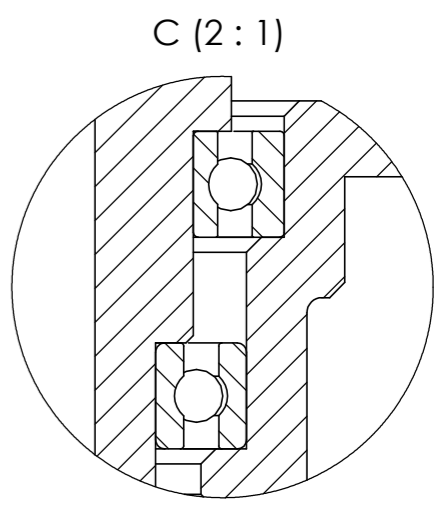
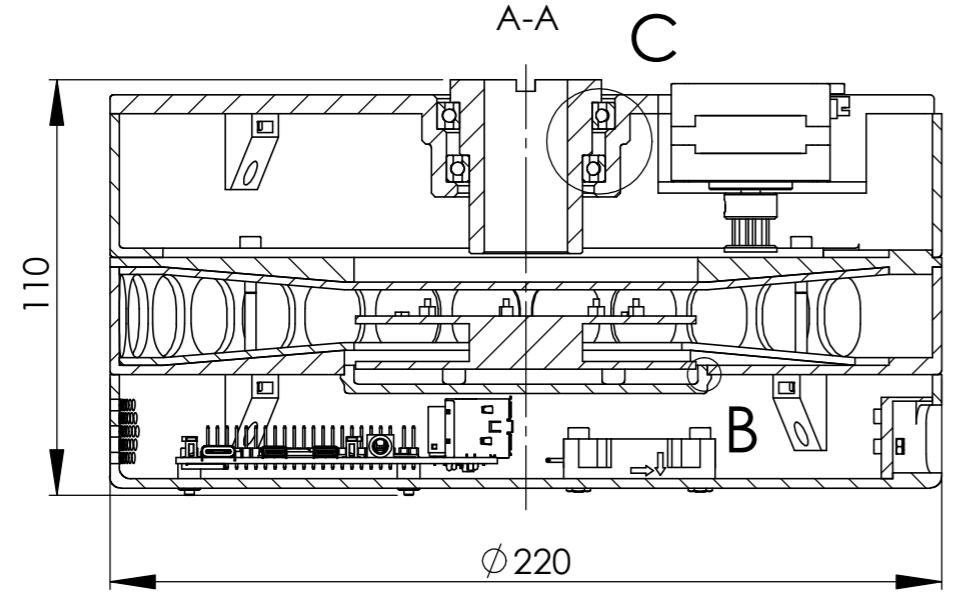
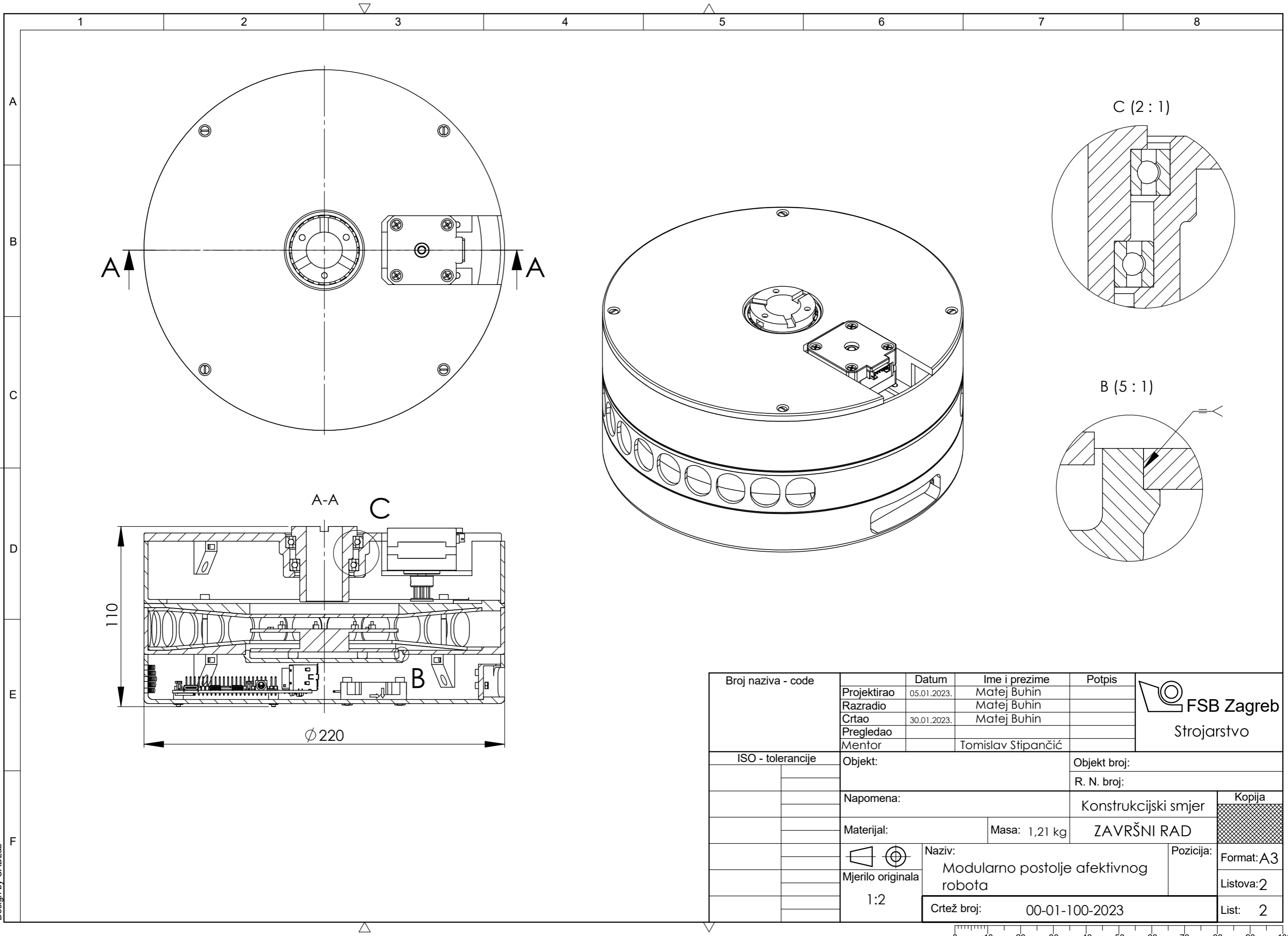


26	Remenica za GT2	1	GT2	-	SDP/SI	10 g
25	M3 x 8	4	DIN 912	8.8	Vijci Kranjec	0,8 g
24	Matica M3	4	DIN 934	8	Vijci Kranjec	0,4 g
23	M3 x 16	4	DIN 964	8.8	Vijci Kranjec	1,2 g
22	Matica M3	4	DIN 934	8	Vijci Kranjec	0,4 g
21	M3 x 40	4	DIN 912	8.8	Vijci Kranjec	3 g
20	Matica M3	4	DIN 934	8	Vijci Kranjec	0,4 g
19	M3 x 14	4	DIN 912	8.8	Vijci Kranjec	0,7 g
18	Matica M2,5	4	DIN 934	8	Vijci Kranjec	0,4 g
17	M2,5 x 10	4	DIN 912	8.8	Vijci Kranjec	0,5 g
16	Lyra	1	ESP32-LyraTD-MS	-	Espressif	45 g
15	Ležaj 61807 2RS	1	61807 2RS	-	Torpol	27 g
14	Ležaj 61806 2RS	1	61806 2RS	-	Torpol	22 g
13	Stepper elektromotor	1	Nema 17 slimline	-	LDO	162 g
12	Ventilator	1	CG4010L05S1-U	-	Cooler guys	14 g
11	Računao Raspberry Pi 4	1	Raspberry Pi 4 B	-	Element14	36 g
10	Adapter okretnog mehanizma	1	00-01-110-2023	PLA	Ø 220x38	81 g
9	Vratilo remenice	1	00-01-109-2023	PLA	Ø 40x46	20 g
8	Stol okretnog mehanizma	1	00-01-108-2023	PLA	Ø 220x27	181 g
7	Gornja zvučna izolacija	1	00-01-107-2023	PET	Ø 215x6	98 g
6	Donja zvučna izolacija	1	00-01-106-2023	PET	Ø 215x6	71 g
5	Posuda Lyre	1	00-01-105-2023	PLA	Ø 98x7,5	21 g
4	Gornje kućište Lyre	1	00-01-104-2023	PLA	Ø 220x8,5	119 g
3	Donje kućište Lyre	1	00-01-103-2023	PLA	Ø 220x28,5	132 g
2	Shield	1	00-01-102-2023	PLA	72x21,5x13,5	7 g
1	Donje kućište	1	00-01-101-2023	PLA	Ø 220x30	136 g

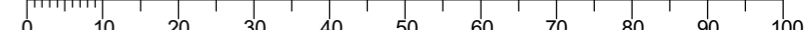
Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime		Potpis	 FSB Zagreb Strojarsstvo
Projektirao		05.01.2023.	Matej Buhin			
Razradio			Matej Buhin			
Crtao		30.01.2023.	Matej Buhin			
Pregledao			Matej Buhin			
Mentor			Tomislav Stipančić			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
					R. N. broj:	
		Napomena:			Konstrukcijski smjer	
		Materijal:			Masa: 1,21 kg	ZAVRŠNI RAD
		 Naziv:			Pozicija:	
		Mjerilo originala			Modularno postolje afektivnog robota	
		1:2			Format: A3	
		Crtež broj: 00-01-100-2023			Listova: 2	
					List: 1	

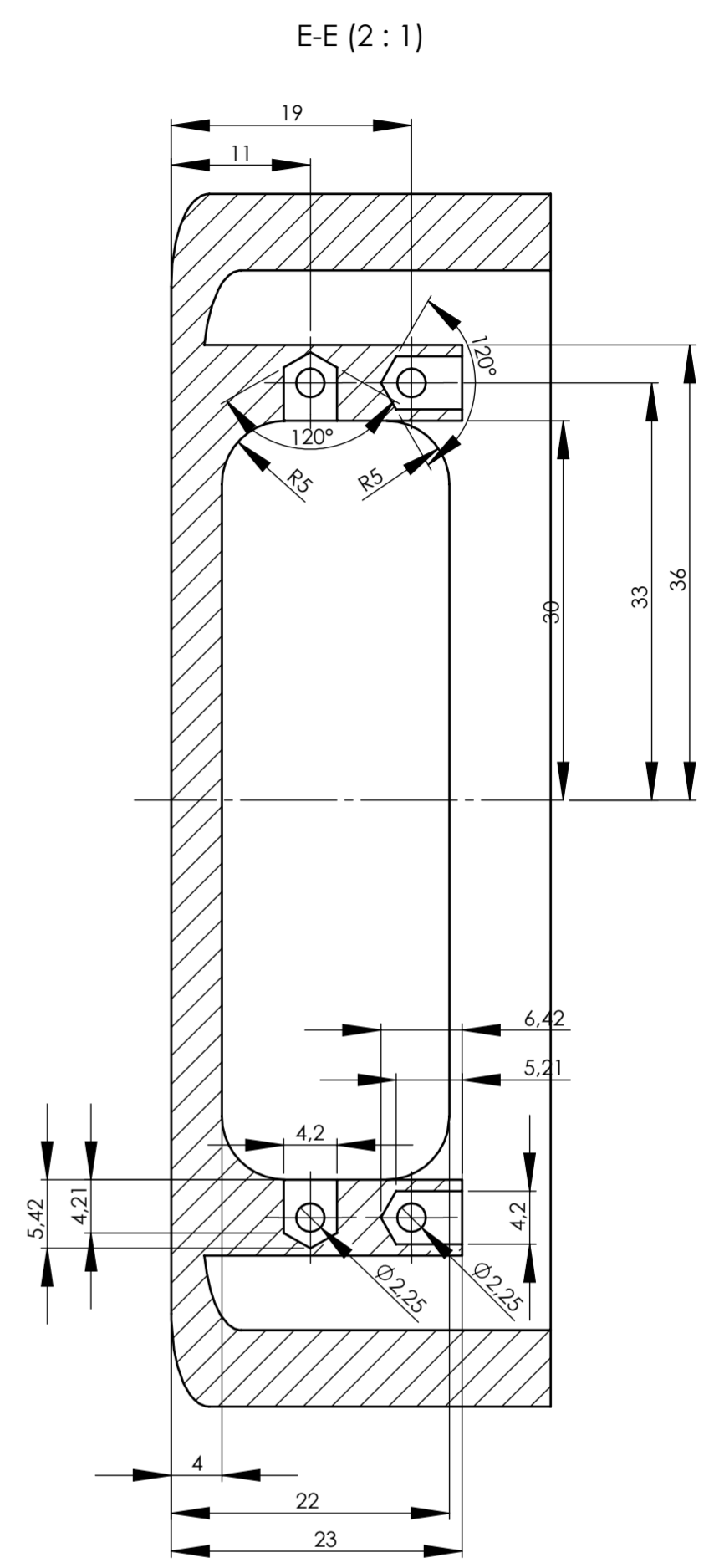
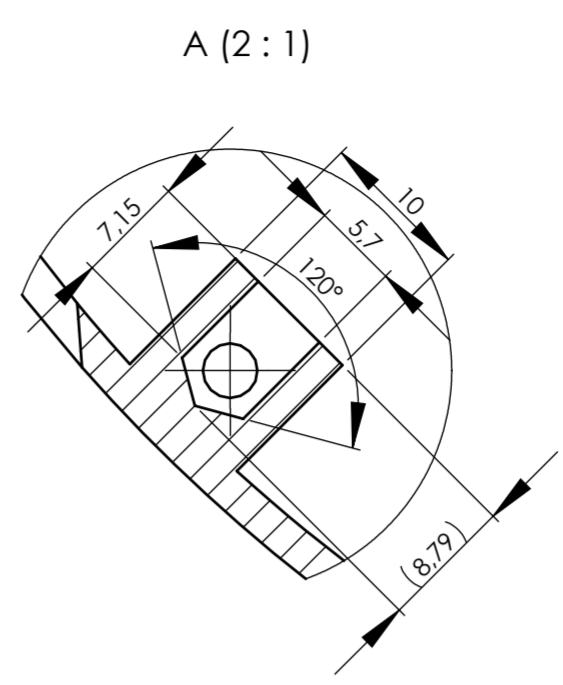
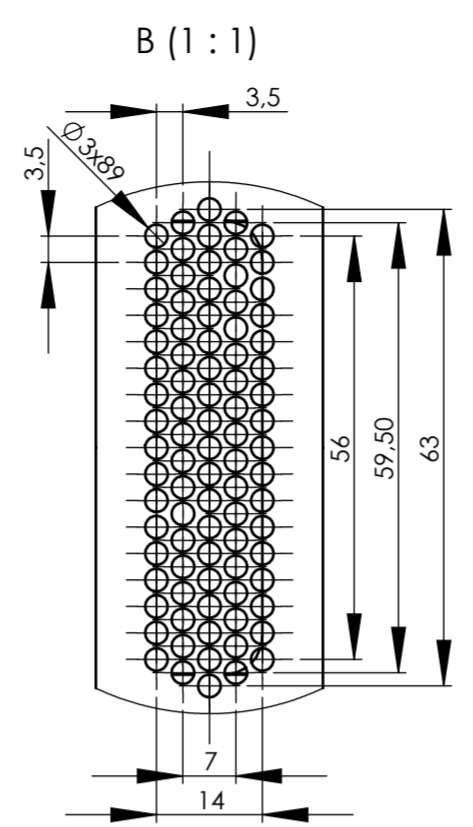
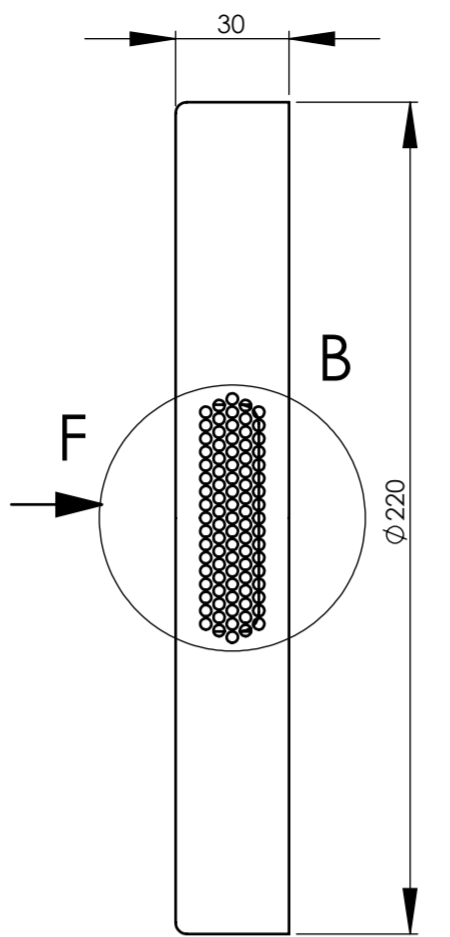
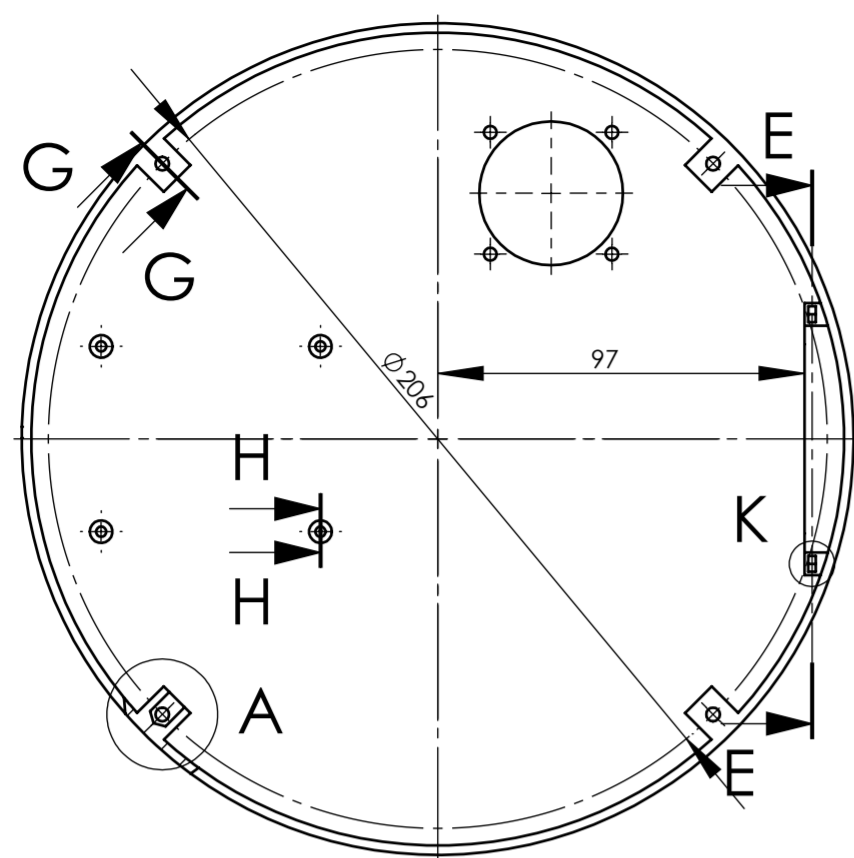
Design by CADLab



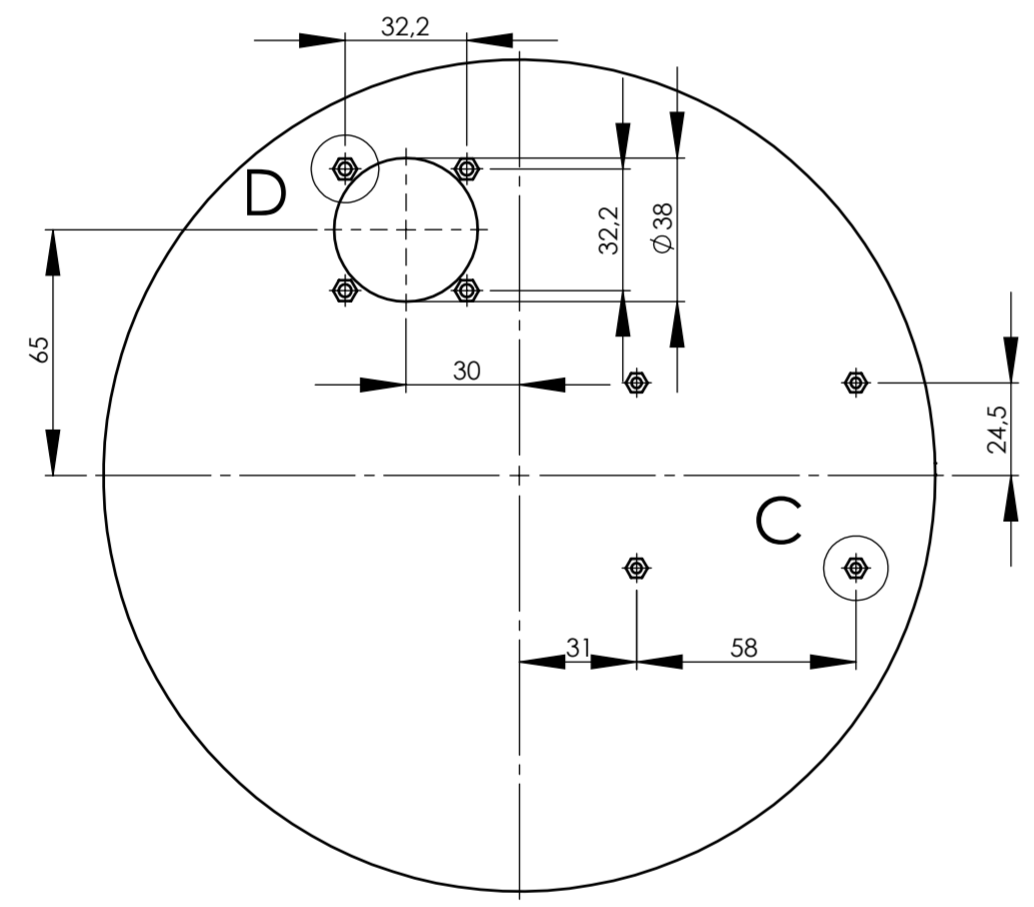


Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Strojarsstvo
	Razradio	05.01.2023.	Matej Buhin		
	Crtao	30.01.2023.	Matej Buhin		
	Pregledao				
	Mentor		Tomislav Stipančić		
ISO - tolerancije	Objekt:			Objekt broj:	
				R. N. broj:	
	Napomena:			Konstruktivski smjer	Kopija
	Materijal:	Masa: 1,21 kg	ZAVRŠNI RAD		
	 Mjerilo originala	Naziv:		Pozicija:	Format: A3
	1:2	Modularno postolje afektivnog robota			Listova: 2
		Crtež broj:	00-01-100-2023		List: 2

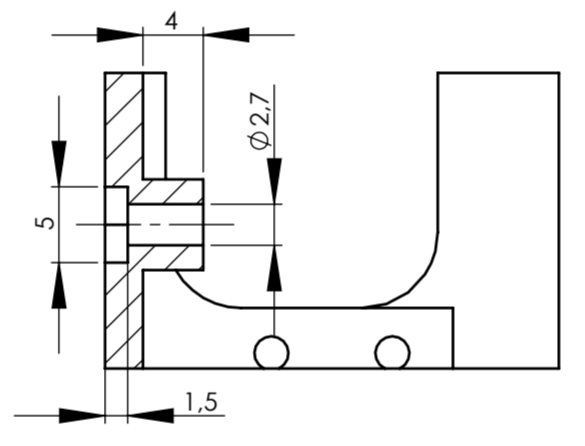




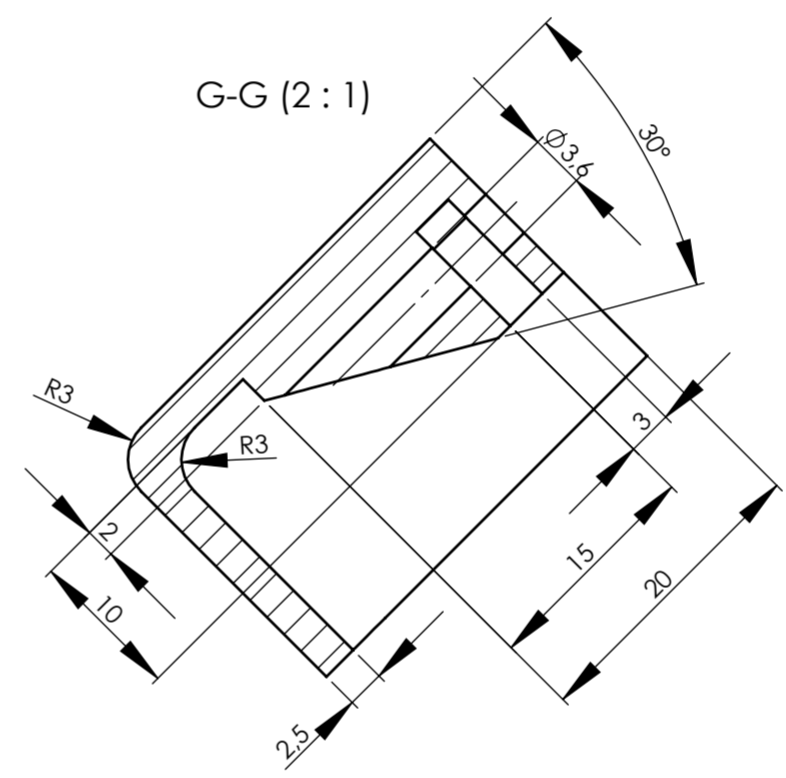
Pogled F



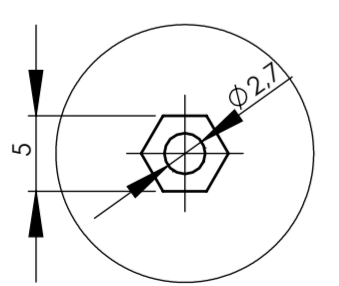
H-H (2:1)



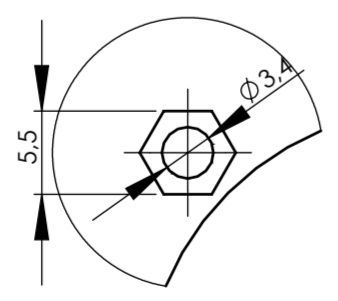
G-G (2:1)



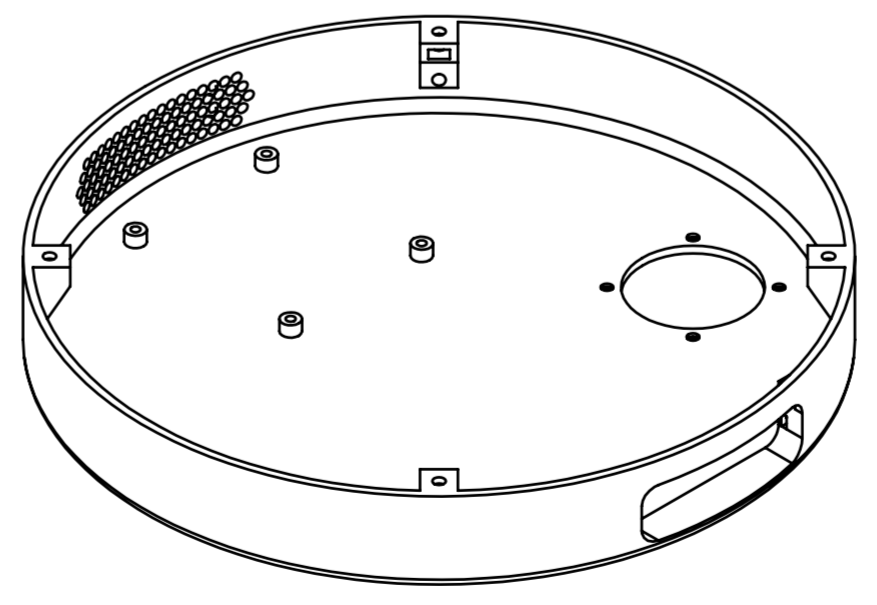
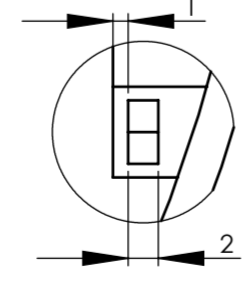
C (2:1)



D (2:1)

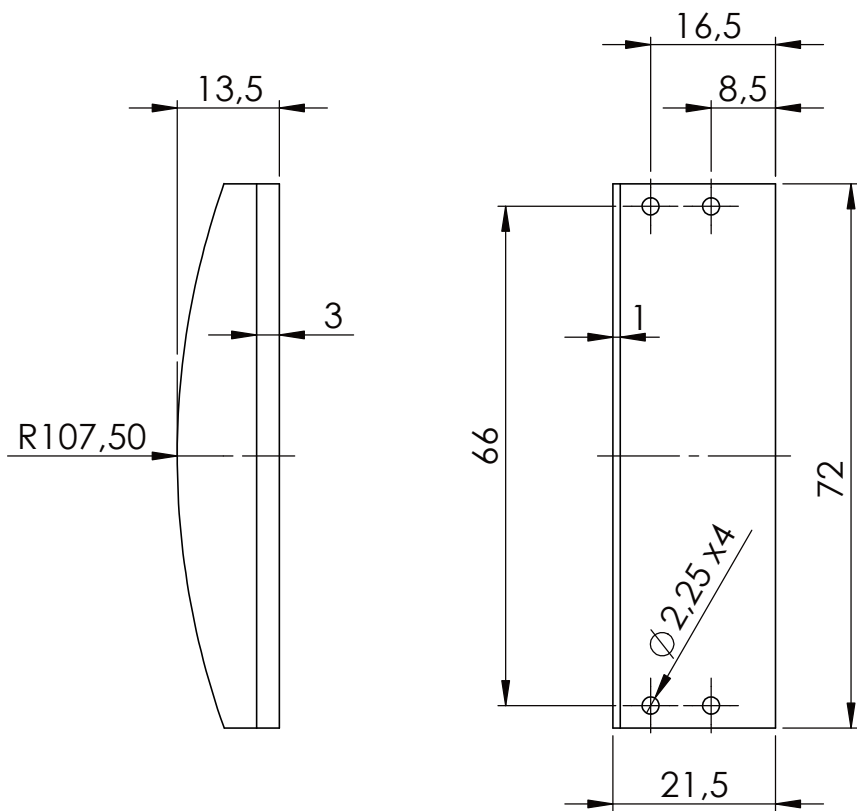


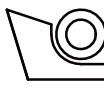
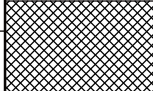
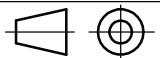
K (2:1)



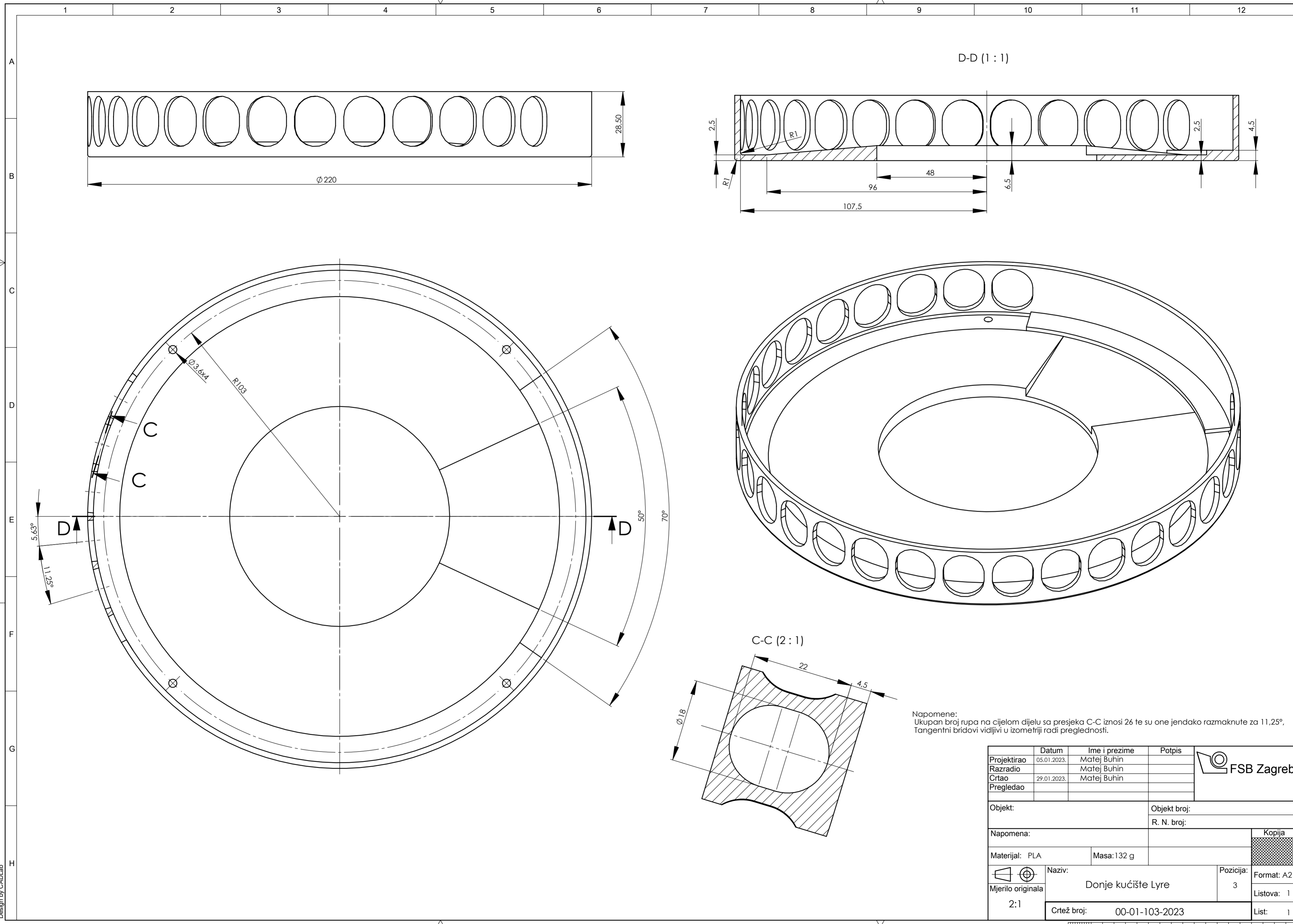
Napomene:
Dubina svih šesterokutnih utora za matice u pogledu F iznose 1,5 mm.
Vidljivi tangenti bridovi u izometriji radi preglednosti.

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	05.01.2023.	Matej Buhin		
Crtao	28.01.2023.	Matej Buhin		
Pregledao				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal:	PLA	Masa:	136 g	
Mjerilo originala	Naziv:		Pozicija:	Format: A2
1:2	Donje kućište		1	Listova: 1
Crtež broj:		List: 1		
00-01-101-2023				



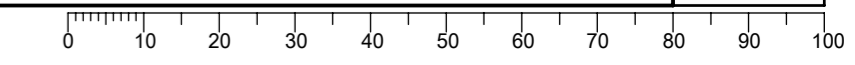
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	05.01.2023.	Matej Buhin		
Razradio		Matej Buhin		
Crtao	29.01.2023.	Matej Buhin		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal: PLA		Masa: 7 g		
	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
Mjerilo originala	Shield		2	Listova: 1
1:1	Crtež broj: 00-01-102-2023			List: 1

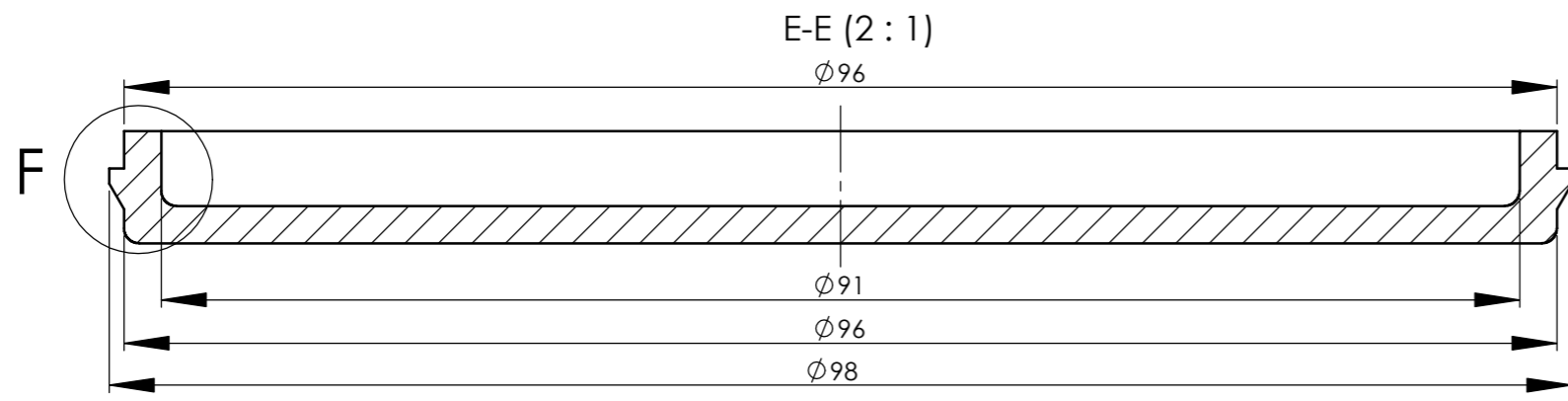
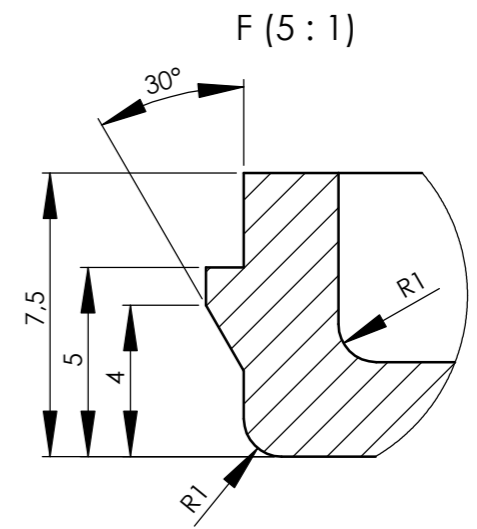
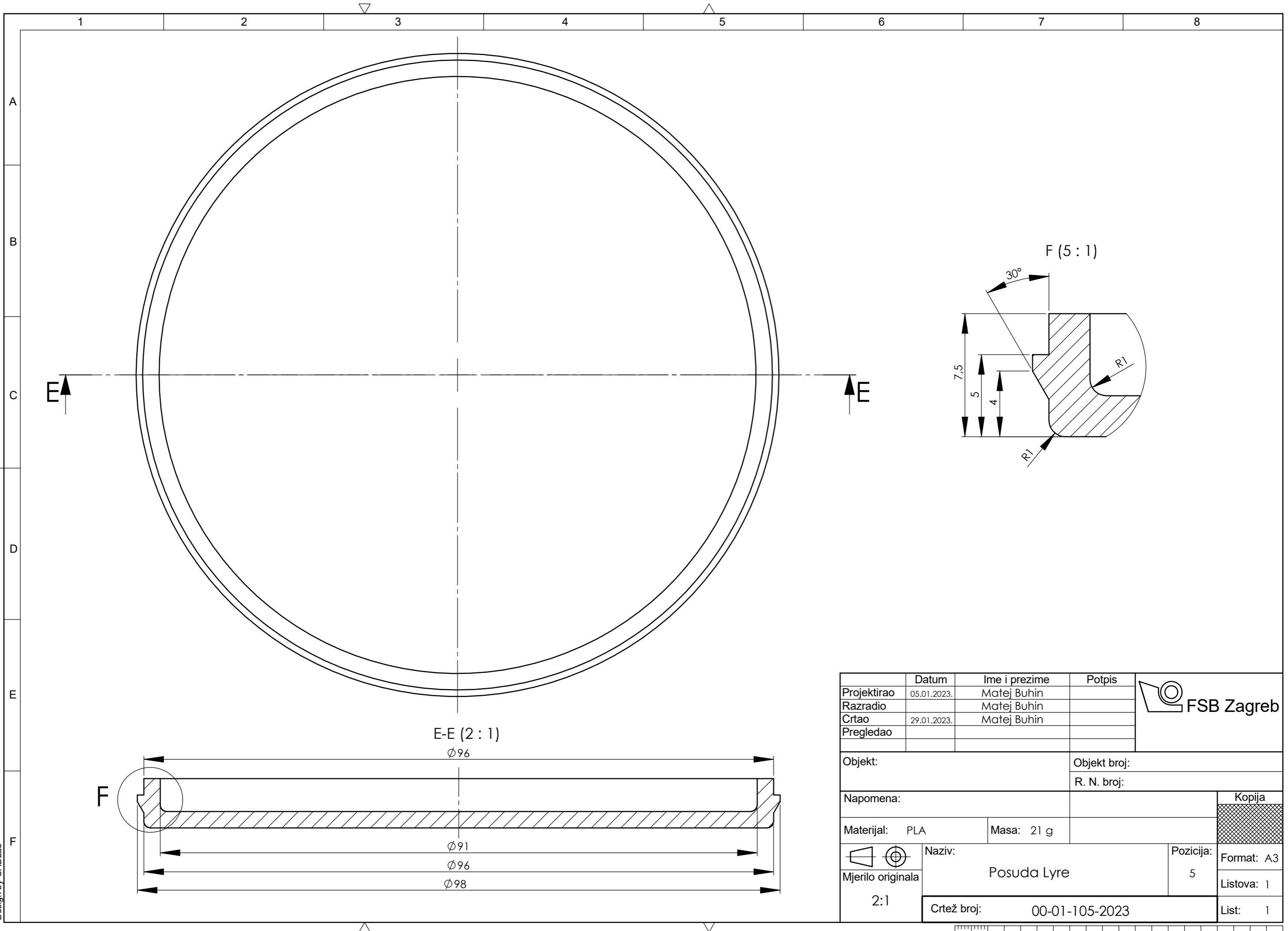
Design by CADLab



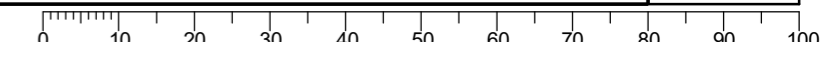
Napomene:
 Ukupan broj rupa na cijelom dijelu sa presjeka C-C iznosi 26 te su one jednako razmaknute za 11,25°.
 Tangentni bridovi vidljivi u izometriji radi preglednosti.

Projekirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	05.01.2023.	Matej Buhin		
Crtao	29.01.2023.	Matej Buhin		
Pregledao				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal: PLA		Masa: 132 g		
 Mjerilo originala 2:1	Naziv: Donje kućište Lyre		Pozicija: 3	Format: A2
Crtež broj: 00-01-103-2023			Listova: 1	List: 1

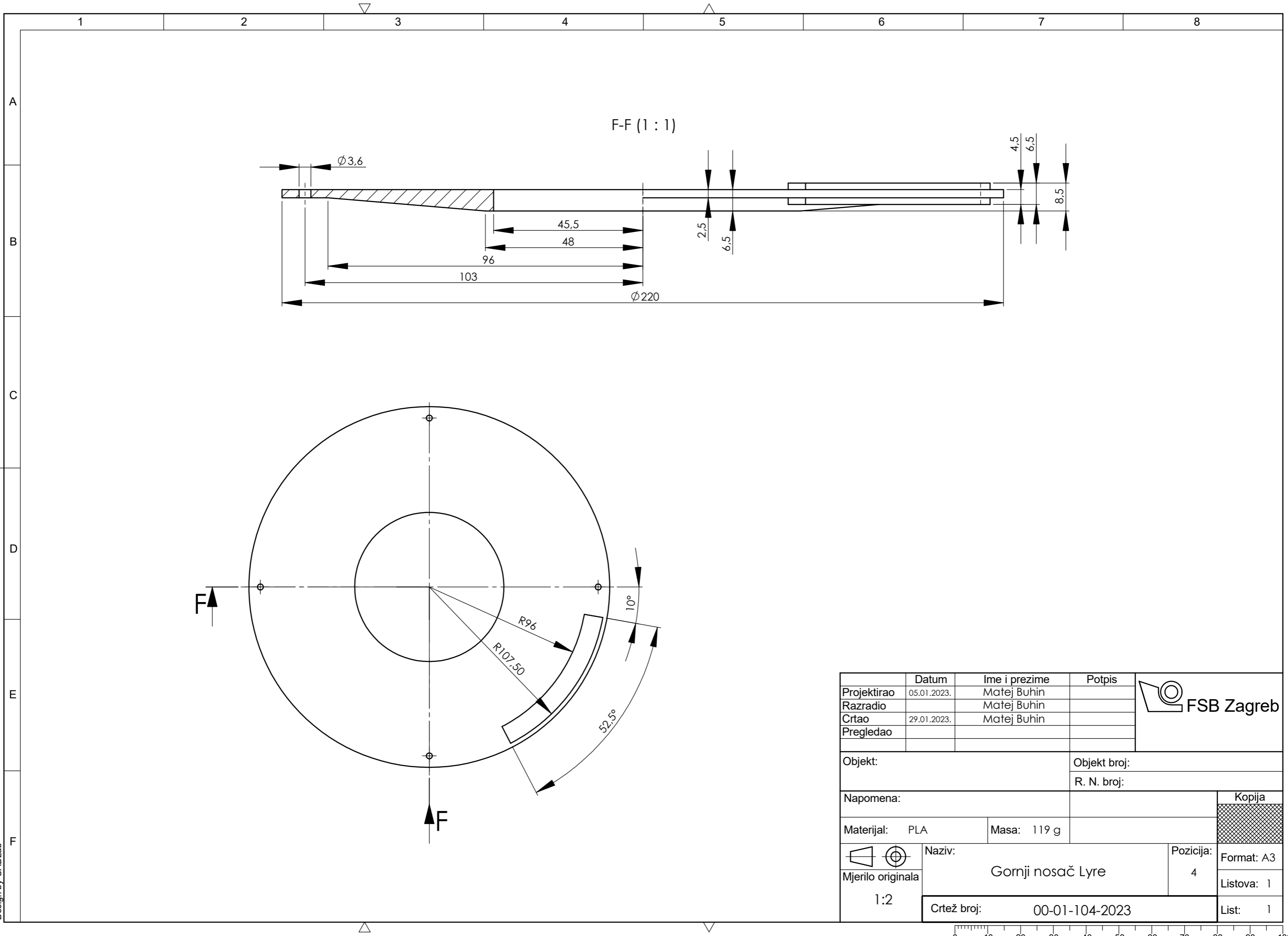




	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	05.01.2023.	Matej Buhin		
Razradio		Matej Buhin		
Crtao	29.01.2023.	Matej Buhin		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal: PLA		Masa: 21 g		
Naziv: Posuda Lyre			Pozicija: 5	
Mjerilo originala: 2:1		Crtež broj: 00-01-105-2023		Format: A3
				Listova: 1
				List: 1



Design by CADLab



F-F (1 : 1)

Ø3,6

Ø220

45,5

48

96

103

2,5

6,5

4,5

6,5

8,5

F

F

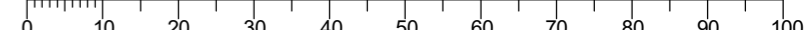
R96

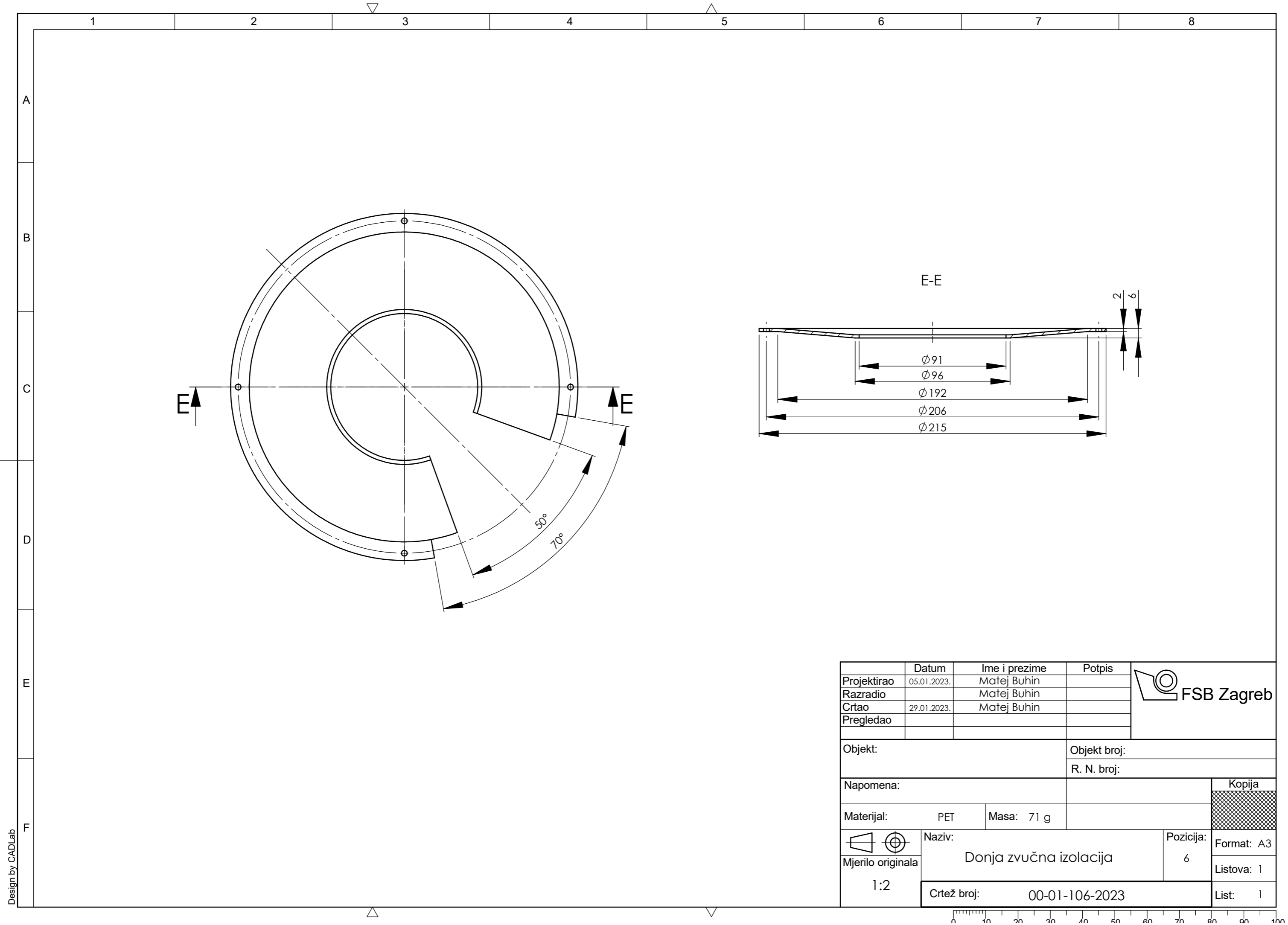
R107,50

10°

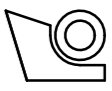
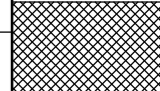
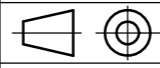
52,5°

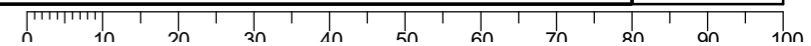
	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	05.01.2023.	Matej Buhin		
Razradio		Matej Buhin		
Crtao	29.01.2023.	Matej Buhin		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal:	PLA	Masa:	119 g	
	Naziv:		Pozicija:	
1:2	Gornji nosač Lyre		4	
Crtež broj:			00-01-104-2023	List: 1

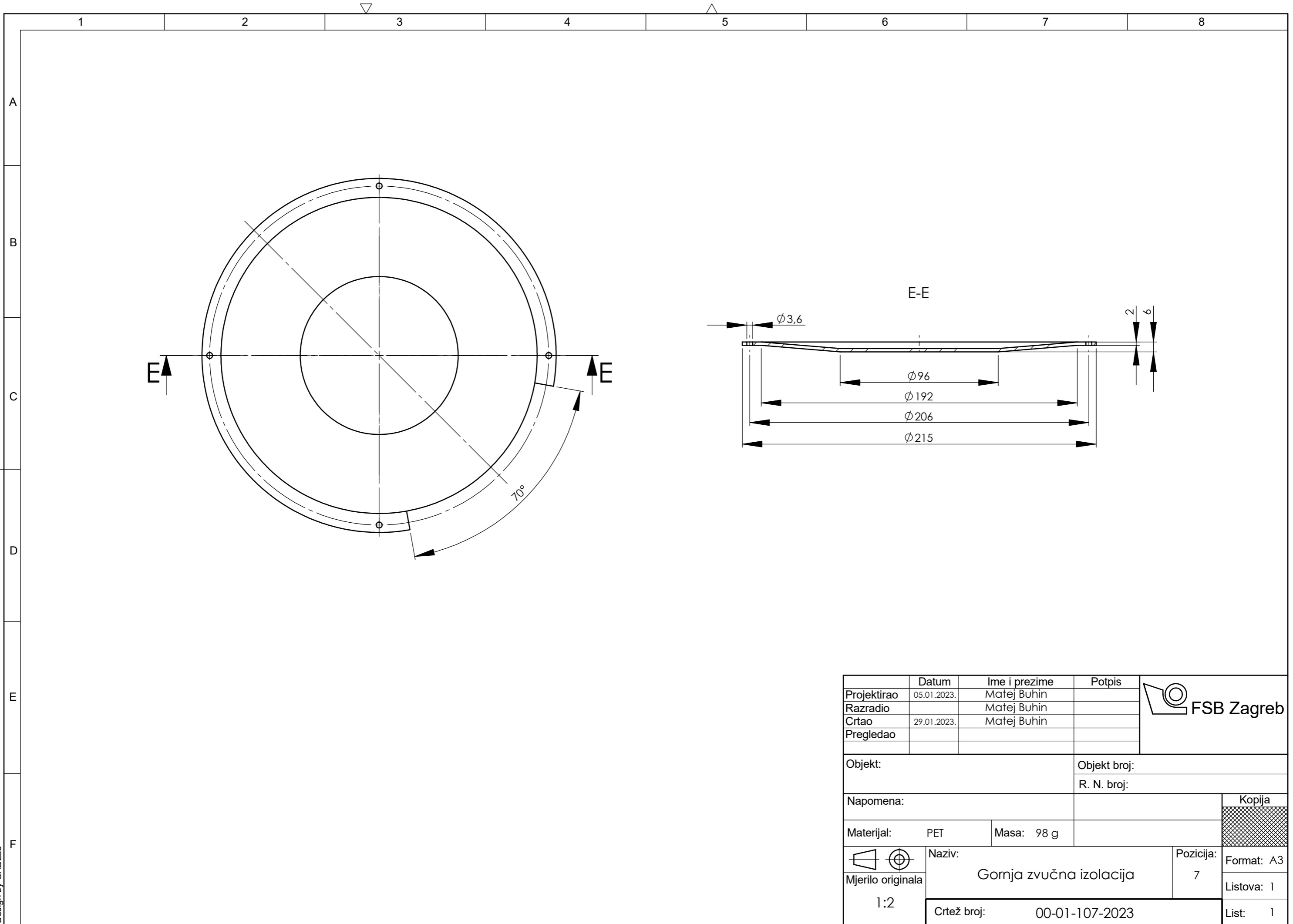





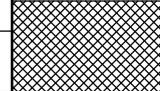
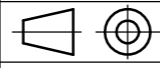
Design by CADLab

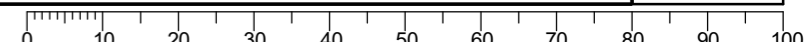
Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Razradio	05.01.2023.	Matej Buhin		
Crtao	29.01.2023.	Matej Buhin		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:			Kopija	
Materijal: PET			Masa: 71 g	
 Mjerilo originala 1:2		Naziv: Donja zvučna izolacija		
Crtež broj: 00-01-106-2023			Format: A3 Listova: 1 List: 1	

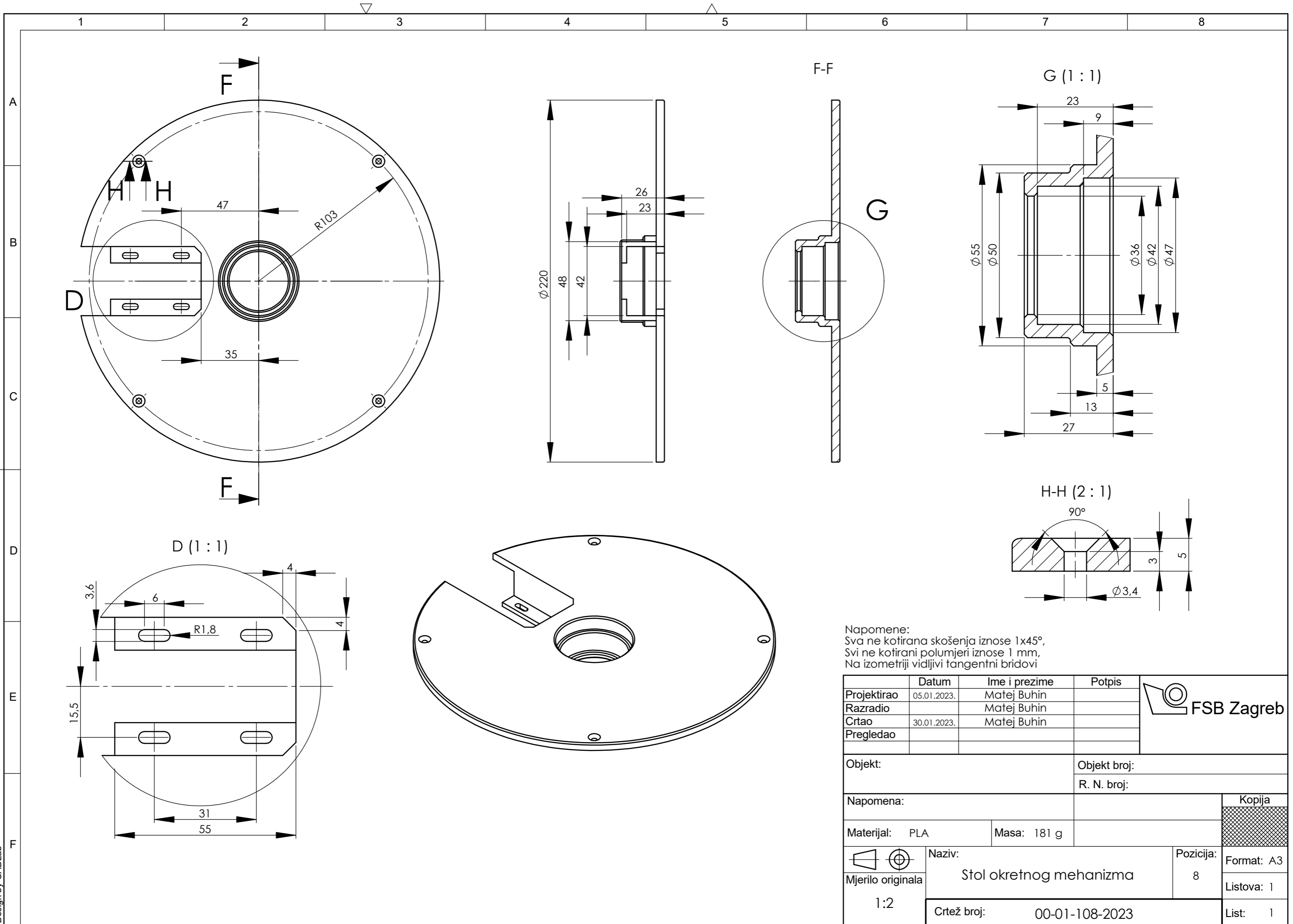




Design by CADLab

	Datum	Ime i prezime	Potpis		
Projektirao	05.01.2023.	Matej Buhin			
Razradio		Matej Buhin			
Crtao	29.01.2023.	Matej Buhin			
Pregledao					
Objekt:			Objekt broj:		
			R. N. broj:		
Napomena:			Kopija		
Materijal: PET			Masa: 98 g		
 Naziv:			Pozicija:		Format: A3
Mjerilo originala			Gornja zvučna izolacija	7	Listova: 1
1:2			Crtež broj:	00-01-107-2023	List: 1

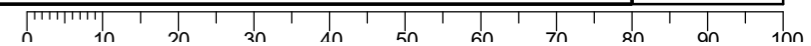


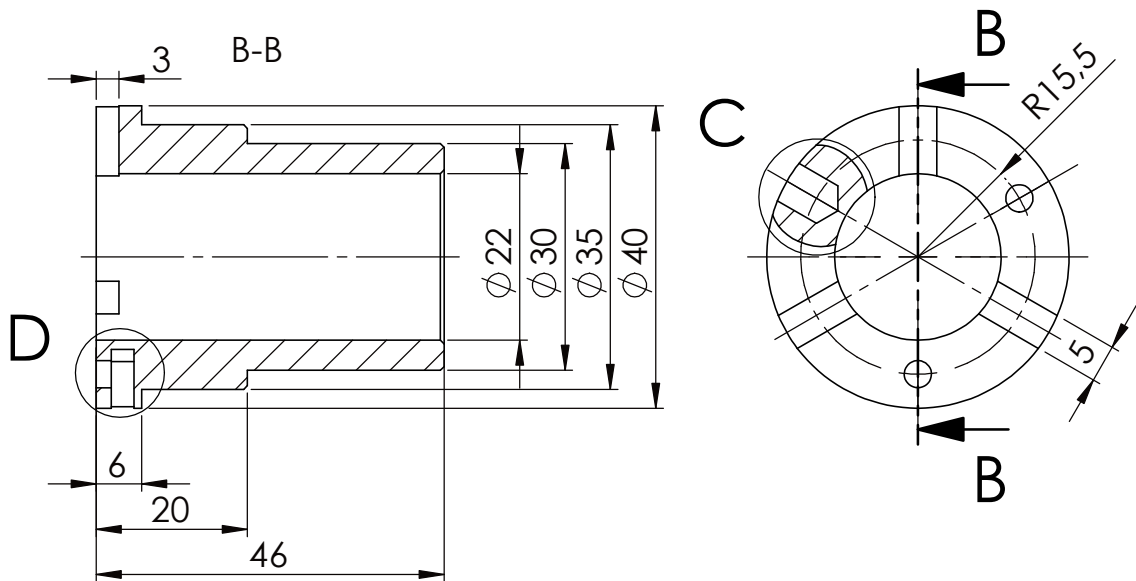


Napomene:
 Sva ne kotirana skošenja iznose 1x45°,
 Svi ne kotirani polumjeri iznose 1 mm,
 Na izometriji vidljivi tangenti bridovi

	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	05.01.2023.	Matej Buhin		
Razradio		Matej Buhin		
Crtao	30.01.2023.	Matej Buhin		
Pregledao				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal: PLA		Masa: 181 g		
 Mjerilo originala	Naziv: Stal okretnog mehanizma		Pozicija: 8	
1:2	Crtež broj: 00-01-108-2023		Format: A3 Listova: 1	
			List: 1	

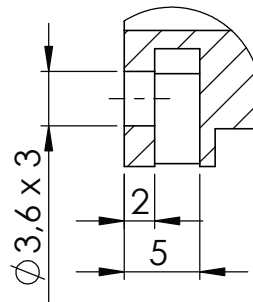
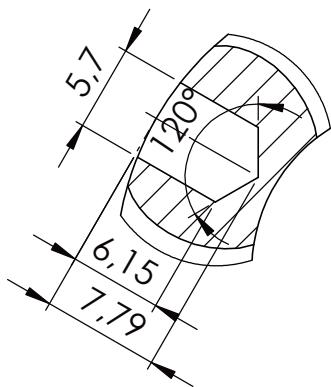
Design by CADLab




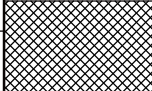
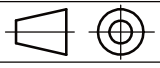


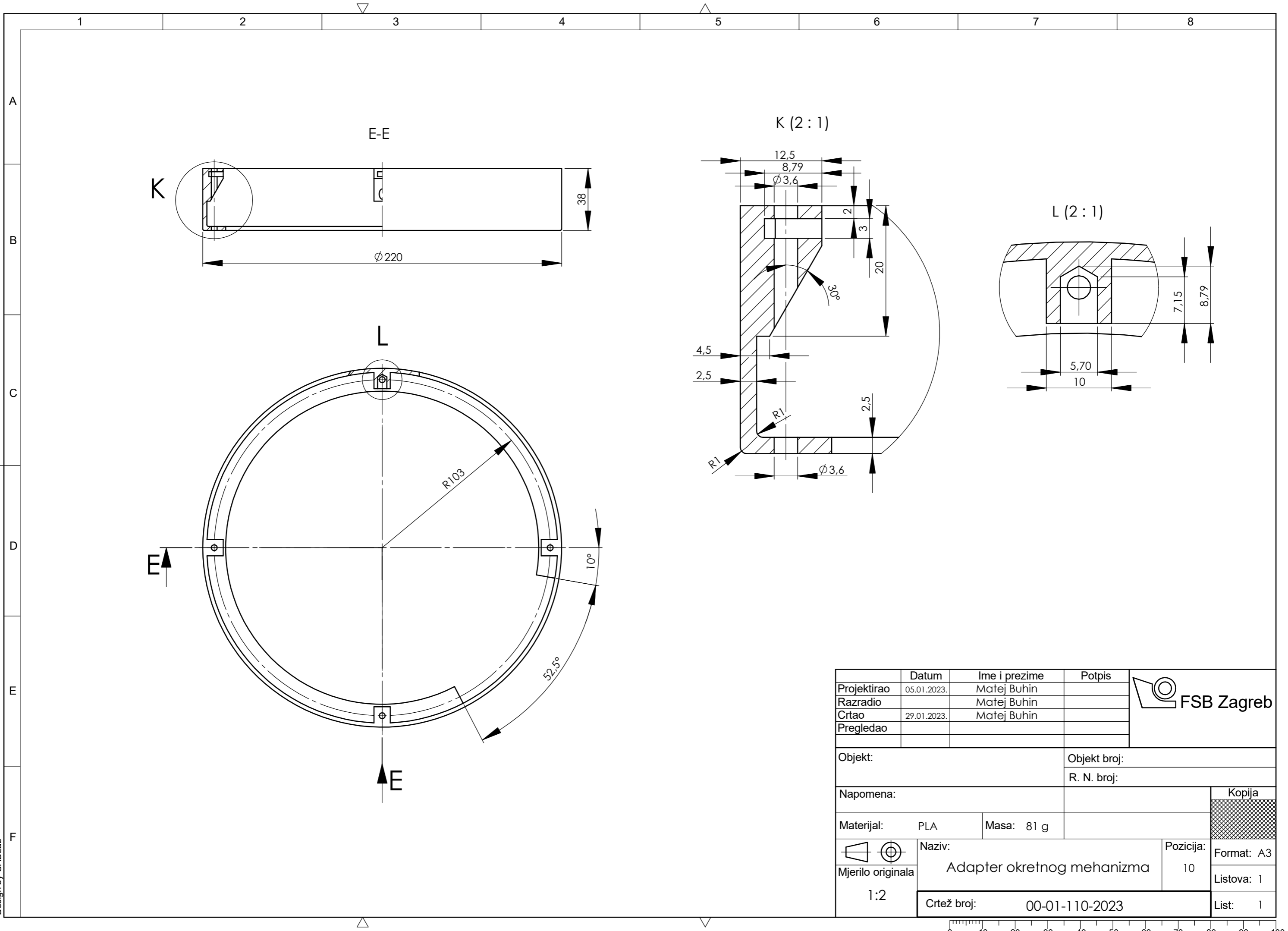
(2:1) Detalj C

(2:1) Detalj D



Napomena:
Sva ne kotirana skošenja iznose $1 \times 45^\circ$

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Razradio	05.01.2023.	Matej Buhin		
Crtao	30.01.2023.	Matej Buhin		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal: PLA		Masa: 20 g		
	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
Mjerilo originala	Vratilo remenice		9	Listova: 1
1:1	Crtež broj: 00-01-109-2023			List: 1



Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	05.01.2023.	Matej Buhin		
Crtao	29.01.2023.	Matej Buhin		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal:	PLA	Masa:	81 g	
 Mjerilo originala 1:2	Naziv:		Pozicija:	
Adapter okretnog mehanizma		10		
Crtež broj:			00-01-110-2023	List: 1

Design by CADLab

