

# Izrada robotske ruke i sustava upravljanja primjenom aditivne tehnologije

---

**Pintar, Matija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:151899>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-01**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**IZRADA ROBOTSKJE RUKE I SUSTAVA UPRAVLJANJA  
PRIMJENOM ADITIVNE TEHNOLOGIJE**

Rijeka, rujan 2023.

Matija Pintar  
0069089906

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**IZRADA ROBOTSKJE RUKE I SUSTAVA UPRAVLJANJA**

**PRIMJENOM ADITIVNE TEHNOLOGIJE**

Mentor: prof. dr. sc. Zoran Jurković

Komentor: izv. prof. dr. sc. Kristina Marković

Rijeka, rujan 2023.

Matija Pintar  
0069089906

Rijeka, 7. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za industrijsko inženjerstvo i menadžment**  
Predmet: **Proizvodni strojevi, alati i naprave**  
Grana: **2.11.03 proizvodno strojarstvo**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD


Pristupnik: **Matija Pintar (0069089906)**  
Studij: **Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva**

Zadatak: **Izrada robotske ruke i sustava upravljanja primjenom aditivne tehnologije /  
Designing a robotic arm and control system using additive technology**

### Opis zadatka:


Primjena robotike u industrijskim postrojenjima je svakim danom sve veća. Imajući ovo u vidu u radu je potrebno osmisлити rješenje izvedbe robotske ruke što uključuje 3D modeliranje komponenti. Primjenom aditivne tehnologije potrebno je izraditi dijelove robotske ruke. Nakon toga potrebno je izradene dijelove skupa sa pogonskim sustavom povezati u funkcionalnu cjelinu te izvršiti integraciju sustava upravljanja. Na kraju je potrebno priložiti u radu svu potrebnu tehničku dokumentaciju. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu, druge izvore informacija (internet, katalogi), kao i eventualno dobivenu pomoć.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.


  
Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:

  
Prof. dr. sc. Zoran Jurković

  
Izv. prof. dr. sc. Kristina Marković  
(komentor)

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

  
Izv. prof. dr. sc. Samir Žic

## **IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA**

Ja, Matija Pintar, izjavljujem da sam samostalno, u suradnji s mentorom i komentoricom, izradio ovaj završni rad prema zadatku "Izrada robotske ruke i sustava upravljanja primjenom aditivne tehnologije".

Rijeka, rujan 2023.

---

Matija Pintar

0069089906

## ZAHVALA

Ovim putem se zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Zoranu Jurkoviću i komentorici prof. dr. sc. Kristini Marković na strpljenju, pristupačnosti, stručnim savjetima i vodstvu kroz ovaj završni rad. Također se zahvaljujem asistentici dipl. ing. Maji Dundović na pruženoj pomoći pri izradi praktičnog dijela rada.

Posebnu zahvalu posvećujem svojoj obitelji, djevojci i kolegama na pruženoj podršci i savjetima tijekom studiranja koji su mi bili od velikog značaja.

# SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
2.	KONSTRUKCIJA ROBOTSKE RUKE.....	2
2.1.	Odabir koncepta robotske ruke.....	2
2.2.	Načini prijenosa gibanja.....	3
2.2.1.	Način prijenosa gibanja kod postolja.....	3
2.2.2.	Način prijenosa gibanja u zglobu 1 i 2.....	4
2.2.3.	Način prijenosa gibanja u zglobu 3.....	5
2.3.	Proračun najvećeg momenata u kritičnom zglobu 1.....	5
2.3.1.	Proračun zgloba 1.....	6
2.3.2.	Uvođenje kontra momenta.....	8
2.4.	Podsklopovi robotske ruke.....	10
2.4.1.	Postolje.....	10
2.4.2.	Ruka 1.....	12
2.4.3.	Ruka 2.....	14
2.4.4.	Ruka 3.....	15
2.4.5.	Hvataljka.....	16
2.5.	Sklop robotske ruke.....	17
3.	UPRAVLJANJE.....	18
3.1.	Kontrolni sustav robotske ruke.....	18
3.2.	Programiranje Arduino UNO pločice.....	21
4.	ADITIVNA TEHNOLOGIJA.....	24
4.1.	Creality Ender 3.....	26
4.2.	Materijal korišten za izradu dijelova.....	28
4.3.	Ispravno konstruiranje i oblikovanje proizvoda za 3D printanje.....	29
5.	PRIPREMA I IZRADA DIJELOVA ADITIVNOM TEHNOLOGIJOM.....	30
5.1.	Priprema G-koda za printanje.....	30
5.2.	Provjera i kalibracija 3D printera.....	31
5.3.	Printanje dijelova.....	33

6. MONTAŽA ROBOTSKE RUKE.....	35
6.1. Priprema ispisanih dijelova .....	35
6.2. Montaža ispisanih dijelova i ugradnja električnih komponenti.....	36
6.2.1. Montaža postolja.....	36
6.2.2. Montaža ruke 2 .....	39
6.2.3. Montaža ruke 3 .....	41
6.2.4. Montaža ruke 1 .....	42
6.2.5. Montaža hvataljke.....	44
6.2.6. Međusobna montaža svih dijelova.....	45
7. ZAKLJUČAK .....	47
LITERATURA .....	49
POPIS OZNAKA.....	50
POPIS KRATICA .....	50
POPIS SLIKA.....	51
POPIS TABLICA .....	53
SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI .....	54
ABSTRACT AND KEYWORDS .....	54
PRILOZI.....	55

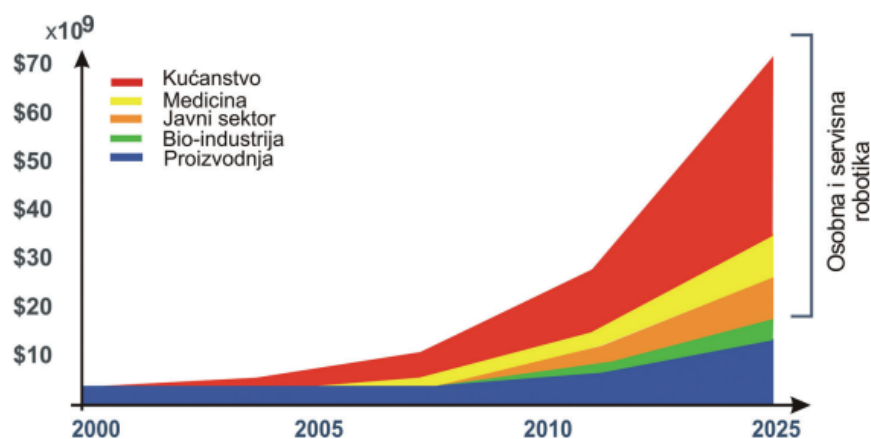


## 1. UVOD

Robotika je znanost koja se bavi konstruiranjem, projektiranjem i upravljanjem robota. Sve se više razvija i primjenjuje u raznim industrijama poput automobilske, medicinske i prehrambene. Ideja o robotima proizlazi od češkog dramatičara Karel Čopeka, koji je svojom dramom R.U.R. dao ideju o takozvanim humanoidnim umjetnim robovima-robotima. Ta ideja potaknula je na razvoj te su prvi eksperimentalni primjerci nastali na američkim sveučilištima četrdesetih godina prošlog stoljeća. Komercijalnu proizvodnju robota započeli su Amerikanci George Devol i Joseph Engelberger. Industrijski robot povećava proizvodnju za više od 50 posto. S obzirom da se roboti ne mogu umoriti, što znači da mogu raditi neprekidno, bez grešaka te izvršavaju zadatke puno brže i preciznije od ljudi. To dovodi do smanjenja potrebne radne snage, smanjenja grešaka i troškova, a ujedno i povećavaju produktivnost. Jedna od većih prednosti im je ta da zamjenjuju ljude na sve više opasnih radnih mjesta te sprječavaju negativne posljedice. Neke od takvih radnih mjesta su lakirnice, radna mjesta kod kojih je potrebno podizanje teških tereta, eksperimentalni pokusi u svemiru itd. Upravo zbog ovih prednosti roboti će se sve više razvijati u budućnosti. Zadaća robotske ruke je hvatanje, premještanje proizvoda, manipulacija ili obrada predmeta. Pojavom umjetne inteligencije, robotika će sve više napredovati i roboti će izvršavati sve složenije zadatke i postat će još važniji dio modernih proizvodnih procesa. [1]

Na slici 1.1 u nastavku su prikazana ulaganja u različita područja primjene robota. Prema tim podacima može se vidjeti kako ulaganje u robote eksponencijalno raste kroz godine u svim područjima. [2] Prevelike cijene robota na tržištu predstavljaju problem zbog kojeg su nedostupni za edukacijske svrhe te su neke kompanije izbacile edukacijske robote na tržište. Edukacijski roboti se koriste kao pokazni primjeri u školama s ciljem motiviranja učenika.

U ovom završnom radu cilj je osmisliti vlastiti dizajn edukacijske robotske ruke, napraviti model iste, uz pomoć aditivne tehnologije izraditi njezine dijelove te na kraju sve zajedno sa pogonskim sustavom povezati u funkcionalnu cjelinu.



Slika 1.1-Prikaz ulaganja u različita područja primjene robota [2]

## 2. KONSTRUKCIJA ROBOTSKE RUKE

### 2.1. Odabir koncepta robotske ruke

Kada je u pitanju odabir koncepta robotske ruke, potrebno je uzeti u obzir nekoliko ključnih faktora kako bi osigurali uspješnu implementaciju i efikasnost upotrebe. Prvi korak u odabiru koncepta robotske ruke je primjena. Ako robotsku ruku radimo za medicinske namjene, ona može imati zahtjeve o preciznosti, sterilnosti i sigurnosti, a ako radimo za industrijsku primjenu ona može imati zahtjeve nosivosti i brzine. U ovom slučaju, robotska ruka se radi za pokazne svrhe te nema posebnih zahtjeva.

Sljedeći važan faktor pri odabiru koncepta je pokretljivost. S obzirom na ranije određenu primjenu, određuje se broj stupnjeva slobode i vrsta zglobova. Dizajn zglobovi se određuje prema zahtijevanoj fleksibilnosti i preciznosti. Robotska ruka s više stupnjeva slobode gibanja se koristi kod preciznih zadataka u mikrokirurgiji, dok se s manje stupnjeva slobode gibanja koriste za jednostavnije primjene kao u ovom radu, podizanje i premještanje. Robotska ruka izrađena u ovom radu ima 4 stupnjeva slobode gibanja.

Također ovisno o vrsti funkcije koju će obavljati robotska ruka potrebno je odabrati odgovarajući modul. Modul može biti hvataljka ukoliko se robot koristi za manipulaciju, podizanje tereta i premještanje. Umjesto hvataljke moguće je ugraditi modul za zavarivanje, bušenje, brušenje te vakuumsku hvataljku.



*Slika 2.1- Medicinska robotska ruka s 6 stupnjeva slobode gibanja [3]*

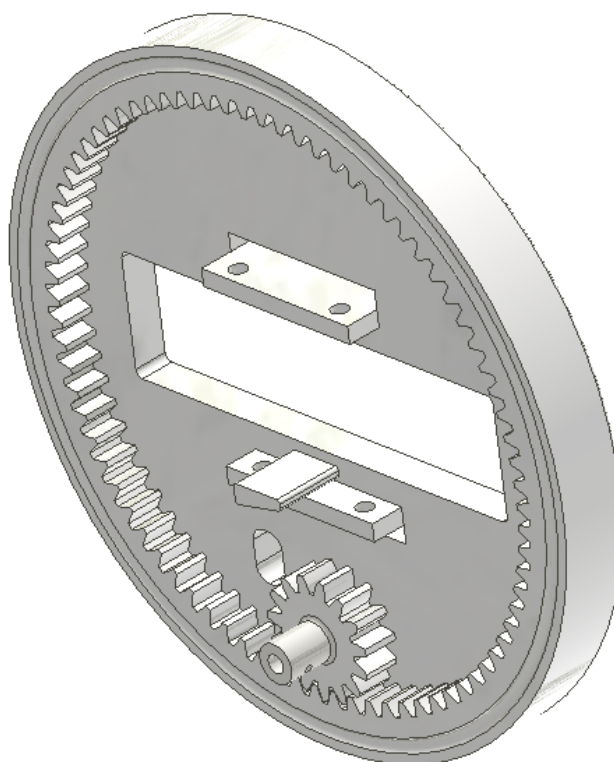
## 2.2. Načini prijenosa gibanja

Kod dizajniranja zglobova robotske ruke osim prijenosa gibanja nastoji se povećati i prijenosni omjer. Prijenosni omjer i prijenos gibanja se omogućuju preko mehaničkih sklopova. Mehanički sklop se sastoji od pogonskog i pogonjenog člana, a prijenos gibanja se može ostvariti njihovim izravnim dodirnom ili neizravno preko ramenica ili lančanika.

Za izradu zglobova robotske ruke uzete su 3 vrste mehaničkih sklopova.

### 2.2.1. Način prijenosa gibanja kod postolja

Za rotaciju postolja uzeti su manji pogonski zupčanik i zupčanik s unutarnjim ozubljenjem. Manji pogonski zupčanik služi za prijenos snage i okretnog momenta s koračnog motora na postolje. Zupčanik s unutarnjim ozubljenjem je izrađen u sklopu gornjeg dijela postolja kako bi se izbjeglo naknadno montiranje zupčanika i dijela postolja. Omjer prijenosa iznosi 5,33 a modul 2 mm. Zupčanici su izrađeni s ravnim zubima, a razmak između njihovih osi iznosi 65 mm. Na slici 2.2 prikazan je model zupčastog para.



Slika 2.2-Model zupčastog para korišten kod postolja

### 2.2.2. Način prijenosa gibanja u zglobu 1 i 2

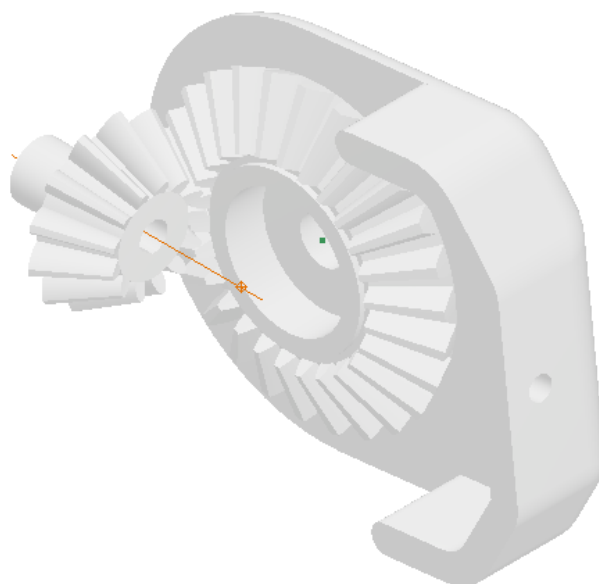
U prvom i drugom zglobu su ugrađeni isti mehanički sklopovi puž i pužno kolo. Razlika između prvog i drugog zgloba je u obliku puža, s obzirom da se kod jednog zgloba puž direktno veže za koračni motor a kod drugog zgloba se povezuje s osovinom. Također razlika je i u debljini zuba puža. Puž s tanjim zubima se koristi kod zgloba 2 jer se tamo ne javlja veliko opterećenje i takav puž radi glađe i tiše. Pužni prijenos služi za ostvarivanje vrlo velikog prijenosnog omjera u jednom stupnju ali s porastom prijenosnog omjera pada stupanj iskorištenja. Sastoji se od pogonskog dijela puža i pogonjenog dijela pužnog kola. Njihove osi su mimoilazne. Najčešće se izrađuju pod 90 stupnjeva te je tako i u ovom radu. Direktno spajanje koračnog motora na ruku izazvalo bi veliko opterećenje na sam motor te bi motor uz potreban moment za pokretanje ruke, trebao imati dodatan moment za podnošenje momenta kojeg stvara masa ruke. Kako bi se izbjegla ta situacija, ugrađen je samokočan pužni prijenos. Samokočnost stvara veliko trenje, a samim time se i oslobađa velika količina topline koja nije poželjna u ovom slučaju jer su zupčanici izrađeni od plastike. S obzirom da se ova robotska ruka izrađuje za pokazne svrhe te neće raditi kontinuirane pokrete u dužem vremenskom razdoblju, dopuštena je ugradnja samokočnog pužnog prijenosa. Prijenosni omjer ugrađenog pužnog prijenosa je 30 a modul 2.77 mm. Razmak između osi puža i pužnog kola iznosi 50.50 mm. Na slici 2.3 je prikazan model pužnog prijenosa.



Slika 2.3-Model pužnog prijenosa

### 2.2.3. Način prijenosa gibanja u zglobu 3

U zadnjem zglobu korišten je stožasti prijenos. Ovakav prijenos se najčešće primjenjuje kod mehaničkog prijenosa, prijenosa kružnog gibanja i snage između dvije osovine čije se osi sijeku pod 90 stupnjeva. S obzirom da se radi o zadnjem zglobu kod ove robotske ruke, taj dio nije opterećen s velikim momentima te bi koračni motor mogao biti direktno spojen s nastavkom ruke. Jedini problem koji se javlja je prostor. Zbog konstrukcije ruke, motor je smješten tako da može rotirati okomito u odnosu na potreban smjer rotacije zgloba i zbog toga se koristi stožasti prijenos. Pogonjeni stožnik je izrađeni u sklopu dijela ruke kako bi izbjegli njihovu montažu. Prijenosni omjer ovog prijenosa iznosi 2. U nastavku se nalazi slika 2.4 s modelom stožastog prijenosa.



Slika 2.4-Model stožastog prijenosa

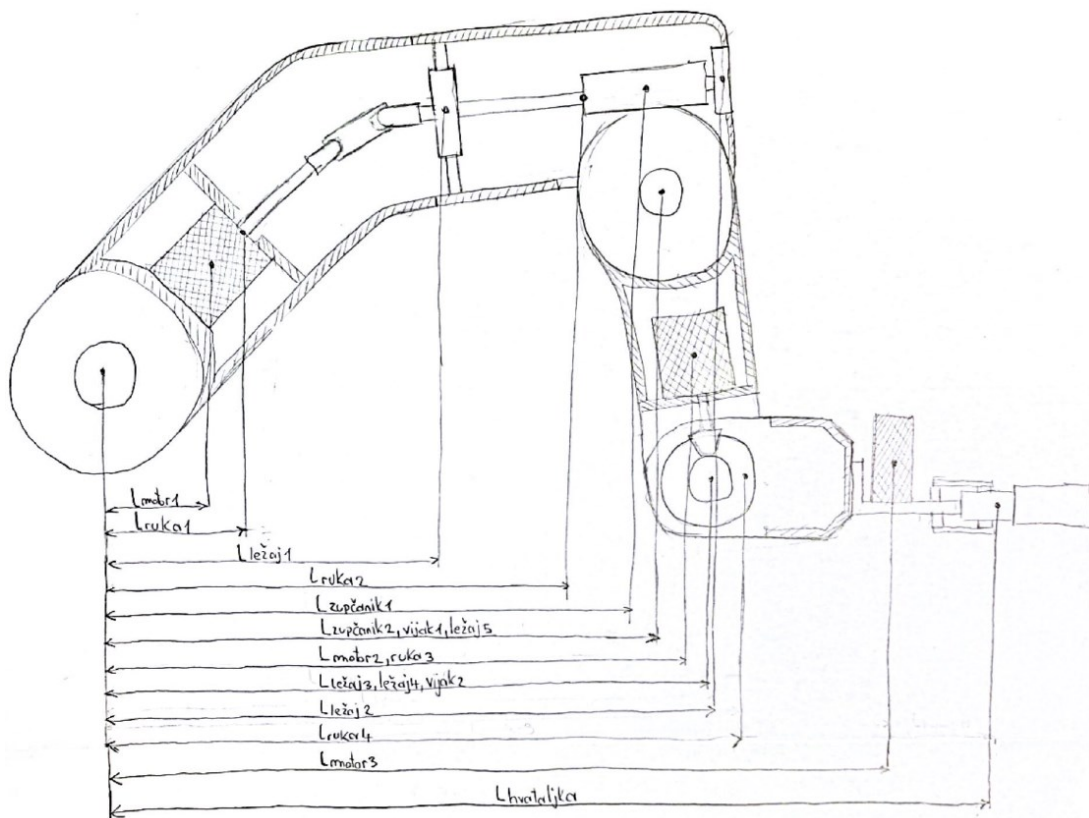
### 2.3. Proračun najvećeg momenata u kritičnom zglobu 1

Kako bi se izbjeglo preveliko opterećenje u zglobu 1 i omogućilo normalno podizanje i spuštanje ruke uz pomoć koračnog motora, izračunava se najveći moment kod zgloba 1.

### 2.3.1. Proračun zgloba 1

Kako bi se odredio maksimalan moment koji djeluje na zglob 1 potrebno je odrediti udaljenost svih komponenata u kritičnom položaju ruke, te sile kojima komponente djeluju na zglob u tom položaju. Na slici 2.5 u nastavku prikazana je robotska ruka u položaju koji izaziva najveći moment u zglobu 1. Uz pomoć softvera Inventor Professional određena su težišta dijelova ruke te na taj način izmjerene udaljenosti težišta svake pojedine komponente od središta zgloba.

Zanemareni su dijelovi koji imaju zanemarivu težinu kao što su manji vijci, matice i kardan.



Slika 2.5-Skica s udaljenostima pojedinih elemenata od zgloba 1

$$M_i = l_i * F_i \quad (2.1)$$

Gdje su:

$F_i$  – sila pojedine komponente koja djeluje na zglob 1

$l_i$ - udaljenost težišta pojedine komponente od zgloba 1

$M_i$  - moment koji stvara pojedina komponenta na zglob 1

$F_{zupčanik\ 1} = 0,44\ [N]$	$l_{zupčanik\ 1} = 0,233\ [m]$	$M_{zupčanik\ 1} = 0,10\ [Nm]$
$F_{zupčanik\ 2} = 0,1\ [N]$	$l_{zupčanik\ 2} = 0,220\ [m]$	$M_{zupčanik\ 2} = 0,02\ [Nm]$
$F_{ruka\ 1} = 1,6\ [N]$	$l_{ruka\ 1} = 0,065\ [m]$	$M_{ruka\ 1} = 0,10\ [Nm]$
$F_{ruka\ 2} = 2,52\ [N]$	$l_{ruka\ 2} = 0,210\ [m]$	$M_{ruka\ 2} = 0,53\ [Nm]$
$F_{ruka\ 3} = 1,6\ [N]$	$l_{ruka\ 3} = 0,260\ [m]$	$M_{ruka\ 3} = 0,42\ [Nm]$
$F_{ruka\ 4} = 0,58\ [N]$	$l_{ruka\ 4} = 0,295\ [m]$	$M_{ruka\ 4} = 0,17\ [Nm]$
$F_{motor\ 1} = 2,8\ [N]$	$l_{motor\ 1} = 0,054\ [m]$	$M_{motor\ 1} = 0,15\ [Nm]$
$F_{motor\ 2} = 2,8\ [N]$	$l_{motor\ 2} = 0,270\ [m]$	$M_{motor\ 2} = 0,76\ [Nm]$
$F_{motor\ 3} = 0,57\ [N]$	$l_{motor\ 3} = 0,347\ [m]$	$M_{motor\ 3} = 0,20\ [Nm]$
$F_{ležaj\ 1} = 0,11\ [N]$	$l_{ležaj\ 1} = 0,166\ [m]$	$M_{ležaj\ 1} = 0,02\ [Nm]$
$F_{ležaj\ 2} = 0,11\ [N]$	$l_{ležaj\ 2} = 0,258\ [m]$	$M_{ležaj\ 2} = 0,03\ [Nm]$
$F_{ležaj\ 3} = 0,11\ [N]$	$l_{ležaj\ 3} = 0,282\ [m]$	$M_{ležaj\ 3} = 0,03\ [Nm]$
$F_{ležaj\ 4} = 0,11\ [N]$	$l_{ležaj\ 4} = 0,282\ [m]$	$M_{ležaj\ 4} = 0,03\ [Nm]$
$F_{ležaj\ 5} = 0,11\ [N]$	$l_{ležaj\ 5} = 0,233\ [m]$	$M_{ležaj\ 5} = 0,03\ [Nm]$
$F_{vijak\ 1} = 0,3\ [N]$	$l_{vijak\ 1} = 0,233\ [m]$	$M_{vijak\ 1} = 0,07\ [Nm]$
$F_{vijak\ 2} = 0,3\ [N]$	$l_{vijak\ 2} = 0,282\ [m]$	$M_{vijak\ 2} = 0,08\ [Nm]$
$F_{hvataljka} = 0,5\ [N]$	$l_{hvataljka} = 0,400\ [m]$	$M_{hvataljka} = 0,20\ [Nm]$

$$M_{uk1} = \sum M_i$$

$$\begin{aligned}
M_{uk1} &= 0,10 + 0,02 + 0,10 + 0,42 + 0,34 + 0,15 + 0,15 + 0,76 \\
&+ 0,20 + 0,02 + 0,03 + 0,03 + 0,03 + 0,03 + 0,07 \\
&+ 0,08 + 0,20
\end{aligned} \tag{2.2}$$

$$M_{uk1} = 2,94\ [Nm] = 3\ [Nm]$$

Gdje je:

$M_{uk1}$  – Ukupni moment u zglobu 1

Ukupni dobiveni moment se uvećava na 3 [Nm] zbog sigurnosti.

### 2.3.2. Uvođenje kontra momenta

S obzirom da je moment na zglob 1 poprilično velik te će se pojaviti prevelike sile na zupčaniku, potrebno je rasteretiti taj zglob. Kako bi se zglob rasteretio uvedeni je kontra moment. Na ispisanom probnom zupčaniku se provelo ispitivanje koje je dalo rezultat da opterećeni zupčanik s momentom od  $M_{dop}=1.5$  Nm radi normalno te ne dolazi do značajnije deformacije plastike. Odlučeno je da će kontra moment iznositi  $M_k=2$  Nm.

Prema tome vrijedi da moment u zglobu 1 nakon rasterećenja iznosi:

$$\begin{aligned}M_z &= M_{uk1} - M_k \\M_z &= 3 - 2 \\M_z &= 1 \text{ [Nm]}\end{aligned}\tag{2.3}$$

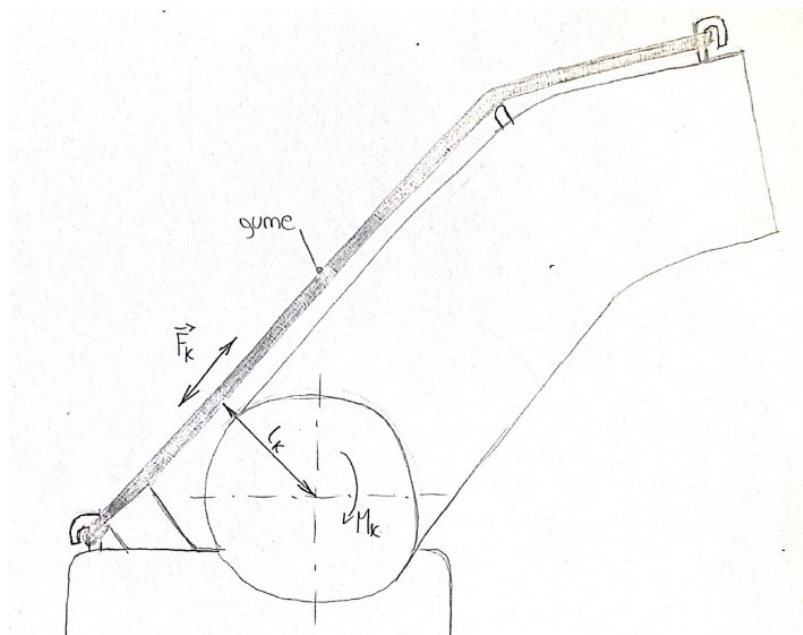
Gdje su:

$M_{z1}$  – moment zgloba 1 nakon rasterećenja

$M_{uk1}$  – ukupni moment koji djeluje na zglob 1

$M_k$  – kontra moment

Kontra moment se dobiva pomoću gumica. Guma je materijal koji lako akumulira energiju na način da se produlji. U nastavku je određeno kolika sila mora djelovati u kontra momentu kako bi izazvala ranije određeni moment. Skica s potrebnim parametrima je prikazana na slici 2.6.



Slika 2.6-Skica rasterećenja zgloba 1



Kako bi se mogla izračunati sila koju je potrebno postići u gumicama, potrebno je odrediti na kojoj udaljenosti će djelovati ta sila. Kontra moment je određeni ranije.

$$M_k = 2 \text{ [Nm]}$$

$$l_k = 0,057 \text{ [m]}$$

$$M_k = l_k * F_k$$

$$F_k = \frac{M_k}{l_k}$$

$$F_k = \frac{2}{0.057}$$

(2.8)

$$F_k = 35.08 \text{ [N]} = 3.51 \text{ [kg]}$$

Gdje je:

$F_k$  – sila koju je potrebno postići kako bi se ostvario određeni kontra moment

$M_k$  – kontra moment

$l_k$  – udaljenost djelovanja kontra sile od zgloba 1

S obzirom da sila koja je potrebna za postizanje kontra momenta iznosi 35.1 N, gume koje stvaraju taj moment je potrebno opteretiti s 3.5 kg kako bi se dobila udaljenost njezinih krajeva te na taj način odredili položaji zakački za koje bi se gume zakačile. Za opterećenje su uzeta 2 utega od 1,5 kg i 1 uteg od 0,5 kg. Ta udaljenost je prenijeta na robotsku ruku dok se nalazi u kritičnom položaju gdje se stvara ranije izračunati moment  $M_{uk1}$ . Uzeto je 10 guma te je ispitivanje prikazano na slici 2.7. Duljina guma pod djelovanjem opterećenja je izmjerena 230 mm.



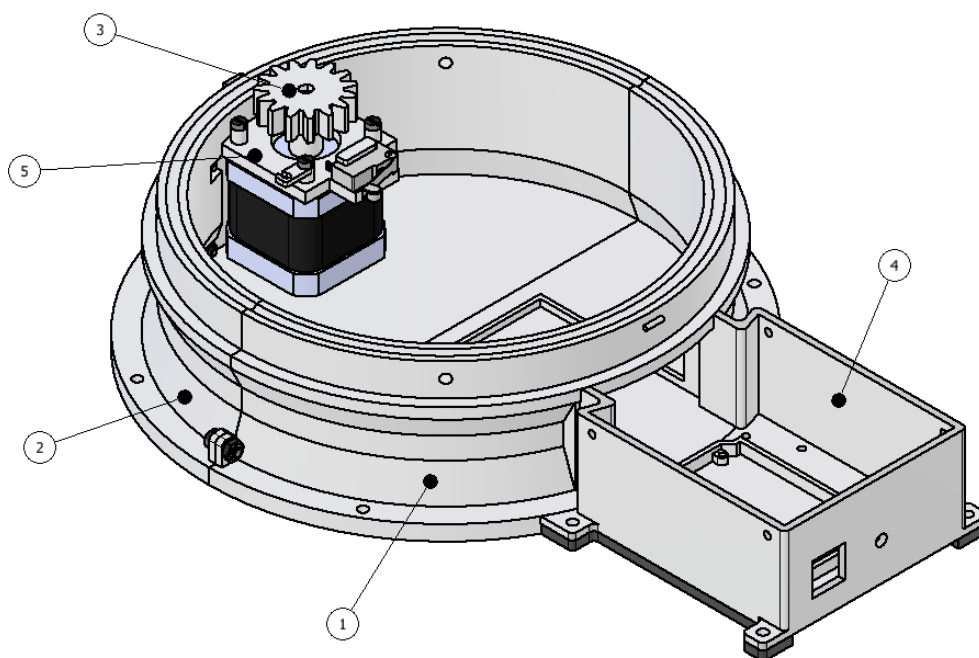
Slika 2.7-Ispitivanje produljenja guma

## 2.4. Podsklopovi robotske ruke

Za modeliranje dijelova korišten je softver Inventor Professional 2022 koji je razvijen od strane Autodesk. Inventor Professional omogućuje razvijanje složenih 3D modela i njihovu popratnu dokumentaciju za širok spektar industrijskih primjena. Pruža napredne značajke kao što su simulacija kretanja i naprezanja, renderiranje modela, spajanje dijelova u sklop, parametarsko modeliranje te integracije s drugim softverskim rješenjima. Svaki dio robotske ruke je modeliran u zasebnim partu, te su kasnije spajani u sklopove. Sklop robotske ruke je podijeljen u više podsklopova radi lakšeg upravljanja modelom.

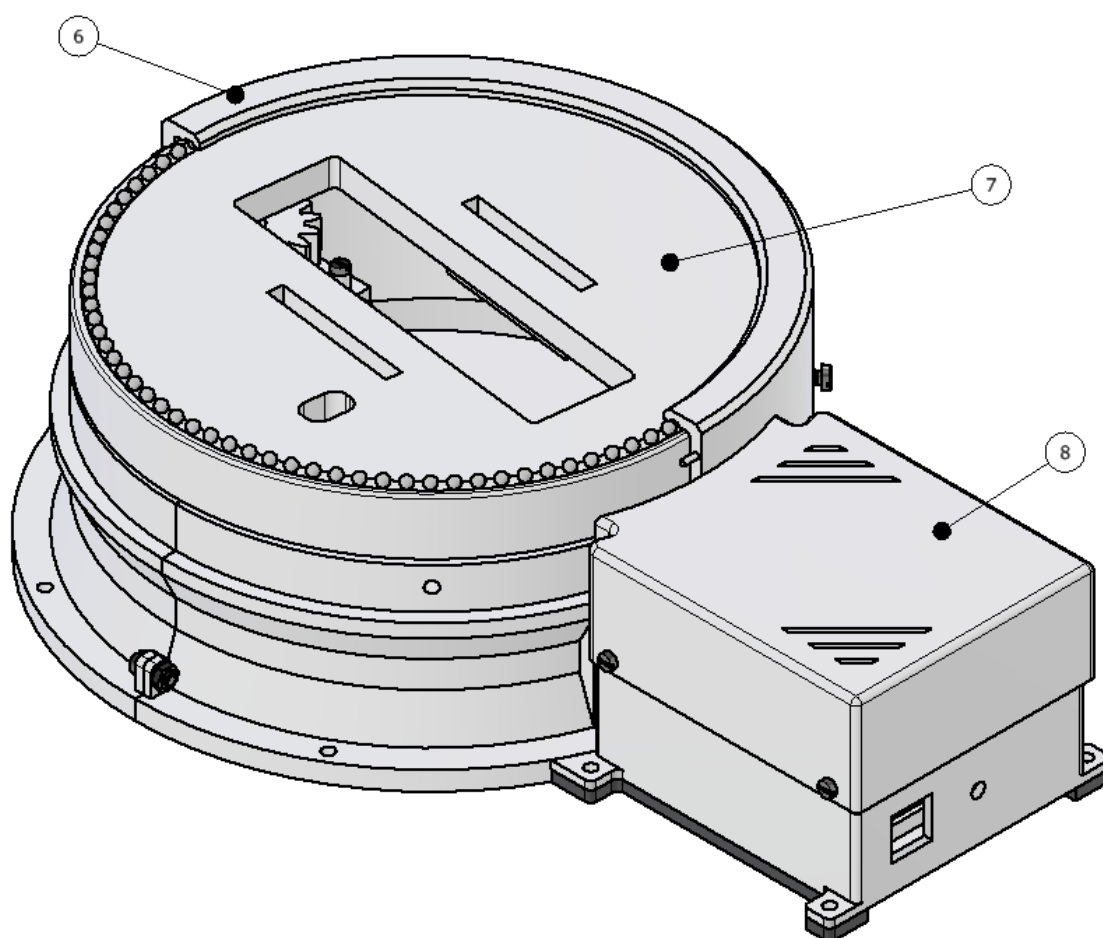
### 2.4.1. Postolja

Postolja robotske ruke sastoji se od više dijelova. Donji dio postolja se sastoji od dva dijela, donji dio 1 i donji dio 2 međusobno spojeni vijčanim spojem. Na donji dio 1 se nadovezuje kućište za kablove i svu potrebnu elektroniku, dok je na drugom dijelu ostavljen prostor na koji dolazi nosač za koračni motor. Nosač se pričvršćuje uz pomoć vijčanih spojeva. Na nosač se također stavlja granični prekidač. Između vijaka i nosača za koračni motor su stavljene podloške te je u sklopu jedne podloške izveden prihvat za kablove od graničnog prekidača. Ispod koračnog motora je stavljena guma koja ublažava vibracije. Pogonski zupčanik se navlači na vratilo od koračnom motora. Na slici 2.8 je pod brojem 1 prikazan donji dio 1, broj 2 označava donji dio 2, broj 3 pogonski zupčanik, broj 4 kućište za Arduino te broj 5 nosač za koračni motor.



Slika 2.8-Donji dio postolja

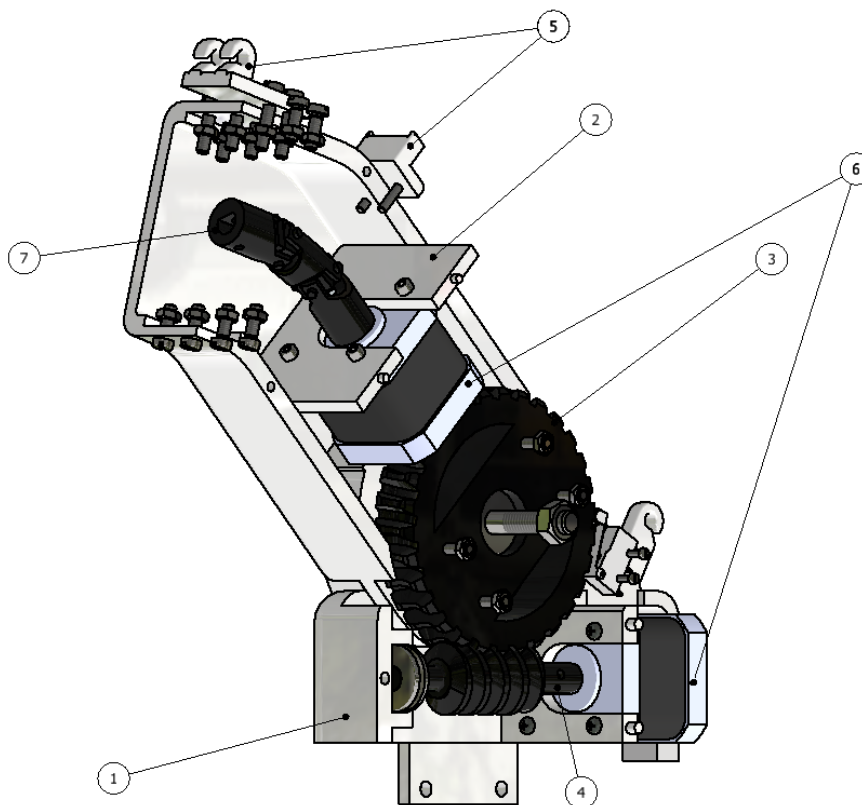
Na donji dio postolja dolazi gornji dio koji je izrađen u sklopu zupčanika. Kako bi spriječili odvajanje gornjeg dijela od donjeg, sa strane dolazi poklopac koji zatvara gornji dio i pričvršćen je za donji dio postolja pomoću vijčanog spoja. Poklopac je izrađen iz 2 dijela te su oni spojeni s 2 cilindra sa svake strane. Gornji dio postolja koji je izrađen u sklopu zupčanika je pokretan pa se između gornjeg dijela i donjeg dijela te gornjeg dijela i poklopca javlja trenje. Da bi se ublažilo trenje, između slojeva su izrađeni ležaji tako da su u svakom dijelu postolja izvedeni utori u koje su stavljene metalne kuglice što je vidljivo na slici 2.9. Slika 2.9 prikazuje cijelo postolje bez jednog dijela poklopca. Poklopac se nalazi pod brojem 6, gornji dio kućišta pod brojem 7 a broj 8 prikazuje poklopac kućišta za elektroniku.



*Slika 2.9-Postolje*

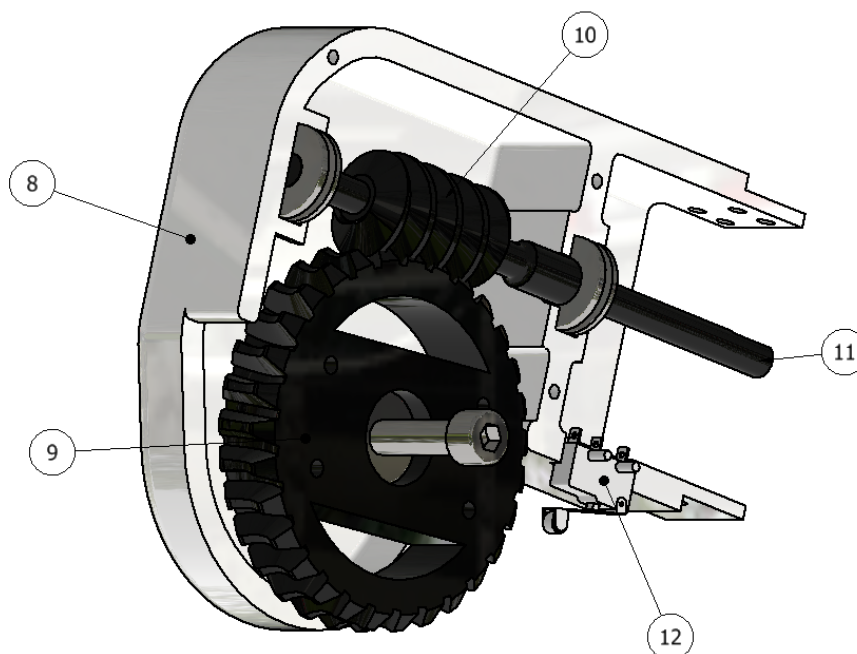
#### 2.4.2. Ruka 1

Na postolje se nadovezuje ruka 1. Kućište prvog zgloba koje je pričvršćeno za postolje pomoću vijčanih spojeva, sastoji se od dva dijela. Ta dva elementa su simetrična s tim da je na jednoj polovici izrađeni nosač za koračni motor. Također kućište sadrži prihvat za granični prekidač i gume koje stvaraju kontra moment na zglob 1 koji je izračunat u poglavlju 2.3.3.. U kućištu se nalazi puž koji je s jedne strane pričvršćen za motor a s druge strane ulazi u ležaj. On se nalazi u zahvatu s zupčanikom na koji su montirani donji dijelovi ruke 1 pod nazivom donji dio 1 i donji dio 2. Ta dva dijela se razlikuju u tome da jedan dio ima nosač za motor a drugi ne, te drugi dio ima izrađenu otvor za kablove. Na kraju ta dva dijela je izrađeni utor s provrtima u koji nasjedaju gornji dijelovi ruke 1 te se na tom mjestu oni pričvršćuju. Također na donje dijelove ruke su montirani elementi za prihvat i usmjerenje guma koje rade kontra moment na zglob 1. Na motor koji je montiran na nosač u sklopu ruke 1 stavljen je kardan koji prenosi moment na vratilo koje je s druge strane povezano s pužem. Kardan se stavlja zbog kuta koji se nalazi na ruci 1 a motor je potrebno staviti što niže kako bi se smanjio moment na zglob 1. Na slici 2.10 su vidljivi vijci na kraju donjeg dijela ruke 1 te oni služe za spajanje gornjeg i donjeg dijela ruke 1. Na slici 2.10 je prikazani donji dio ruke 1 s zglobom 1 te su na njoj označeni dijelovi redom: pod 1 se nalazi jedan dio kućišta prvog zgloba, 2 označava donji dio 1, pod brojem 3 je zupčanik, 4 je puž, 5 su elementi za prihvat guma, 6 je koračni motor i 7 je kardan.



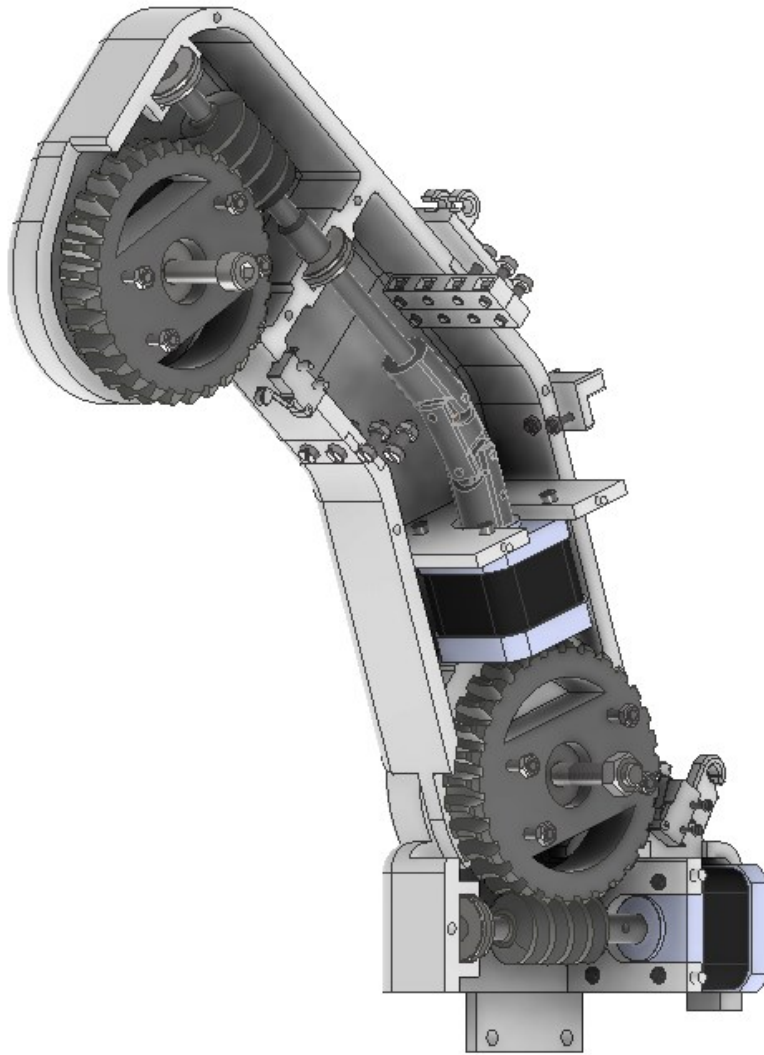
Slika 2.10-Unutrašnjost donjeg dijela ruke 1

Gornji dio je izrađen iz 2 dijela. Na početku i kraju gornjeg dijela ruke 1 nalazi se kućište u koji dolazi ležaj. Gornji dio ruke također ima i ulogu kućišta drugog zgloba te je u njega smješten puž koji je u zahvatu s zupčanikom. Puž je s jedne strane vezan za ležaj a s druge strane za osovinu koja spaja puž s kardanom. Vratilo prolazi kroz ležaj koji se nalazi na početku gornjeg dijela ruke 1 te je na taj način centrirana. Ispod donjeg kućišta za ležaj kod gornjeg dijela ruke izrađen je utor s prihvatom za granični prekidač, te taj prekidač služi za pozicioniranje zgloba 2 u nul točku. Na slici 2.11 se nalazi pod brojem 8 jedan dio gornjeg dijela ruke 1, pod 9 zupčanik koji je u zahvatu s pužem, puž se nalazi pod brojem 10, pod 11 je spojno vratilo i 12 označava granični prekidač.



*Slika 2.11-Unutrašnjost gornjeg dijela ruke 1*

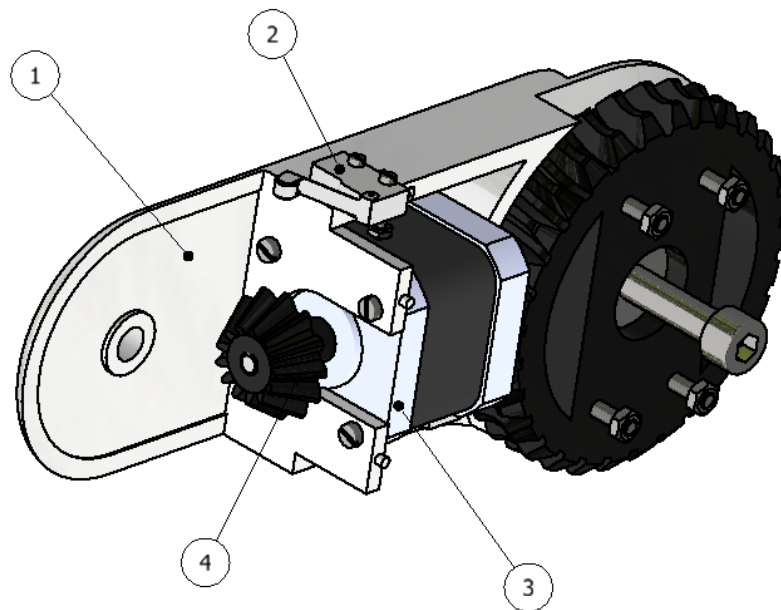
S obzirom da se robotska ruka izrađuje aditivnom tehnologijom, ruka 1 je podijeljena na 6 dijelova radi lakše izrade. Svi spojevi na ruci 1 su spajani s vijčanim spojem ili uz pomoć oblika dijelova. Kako bi se osigurala pozicija među 2 dijela kućišta, izračeni su provrti u koje ulaze cilindri za centriranje. Zbog jednostavnije montaže gornjeg i donjeg dijela ruke 1 izrađene su spojne pločice s utorima u koje ulaze matice te je spriječeno njihova rotacija prilikom zatezanja vijaka. Na slici 2.12 prikazana je unutrašnjost ruke 1. Također zupčanik u zglobu 2 je na slici 2.12 prikazan zbog prikaza načina funkcioniranja zgloba 2. Prilikom montaže taj zupčanik se montira na ruku 2 te se na kraju prilikom njihove međusobne montaže spaja s rukom 1.



*Slika 2.12-Unutrašnjost ruke 1*

### *2.4.3. Ruka 2*

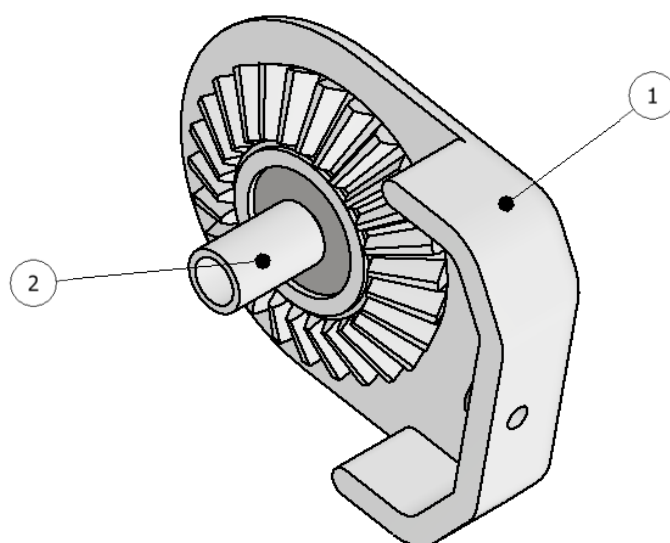
Ruka 2 je montirana na zupčanik u zglobu 2 koji se nalazi u sklopu ruke 1. Sastoji se od 2 dijela te jedan dio sadrži nosač za motor. Također ruka 2 ima ulogu kućišta trećeg zgloba. Na gornju stranu ruke 2 se montira granični prekidač koji određuje nul točku zgloba 3. Pogonski zupčanik se navlači na vratilo od koračnog motora te on pokreće zglob 3. Na slici 2.13 je s brojem 1 prikazan jedan dio ruke 3, pod 2 se nalazi granični prekidač, pod 3 koračni motor te pod 4 pogonski zupčanik za zglob 3.



Slika 2.13-Unutrašnjost ruke 2

#### 2.4.4. Ruka 3

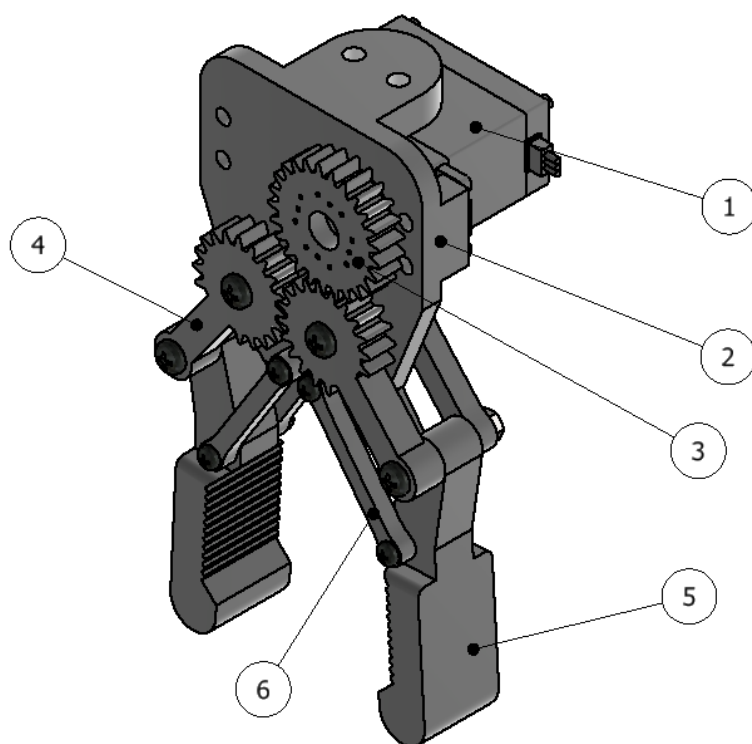
Ruka 3 se nastavlja na zglob 3 u sklopu ruke 2. Ovaj dio robotske ruke se također sastoji od 2 dijela te je u sklopu jednog dijela izrađen stožasti zupčanik. Na mjestu gdje prolazi vijak za zglob 3 ta dva dijela imaju izrađeni utor za ležaj. Između ta dva ležaja je stavljen cilindrični šuplji nastavak koji sprječava savijanje dijelova prilikom zatezanja vijka. Također na kraju svakog dijela ruke 3 su izrađeni provrti te se na tom mjestu montira hvataljka. Jedan dio ruke 3 prikazan je pod brojem 1 na slici 2.14 te pod brojem 2 cilindrični šuplji nastavak.



Slika 2.14-Unutrašnjost ruke 3

### 2.4.5. Hvataljka

Hvataljka se sastoji od baze na koju se montiraju zupčanici povezani s elementima za hvatanje, pomoćnih poluga te servomotora koji služi za pokretanje zupčanika pri hvatanju i otpuštanju. Baza ima izrađenu pripremu kako bi se hvataljka mogla montirati na ruku 3. Također prijenos gibanja s servo motora na hvataljku je odrađen uz pomoć 3 zupčanika. Prvi zupčanik je direktno spojena na servo motor te prenosi moment na zupčanik koji je spojen s jednim elementom za hvatanje. Gibanje drugog elementa za hvatanje omogućuje se preko njegovog zupčanika koji je u međusobnom zahvatu s zupčanicom prvog elementa za hvatanje. Na slici 2.15 prikazan je servomotor pod brojem 1, pod brojem 2 se nalazi baza, pod brojem 3 zupčanik vezan za servomotor, broj 4 označava zupčanik vezan s ručicom, broj 5 označava element za hvatanje te broj 6 pomoćne poluge.

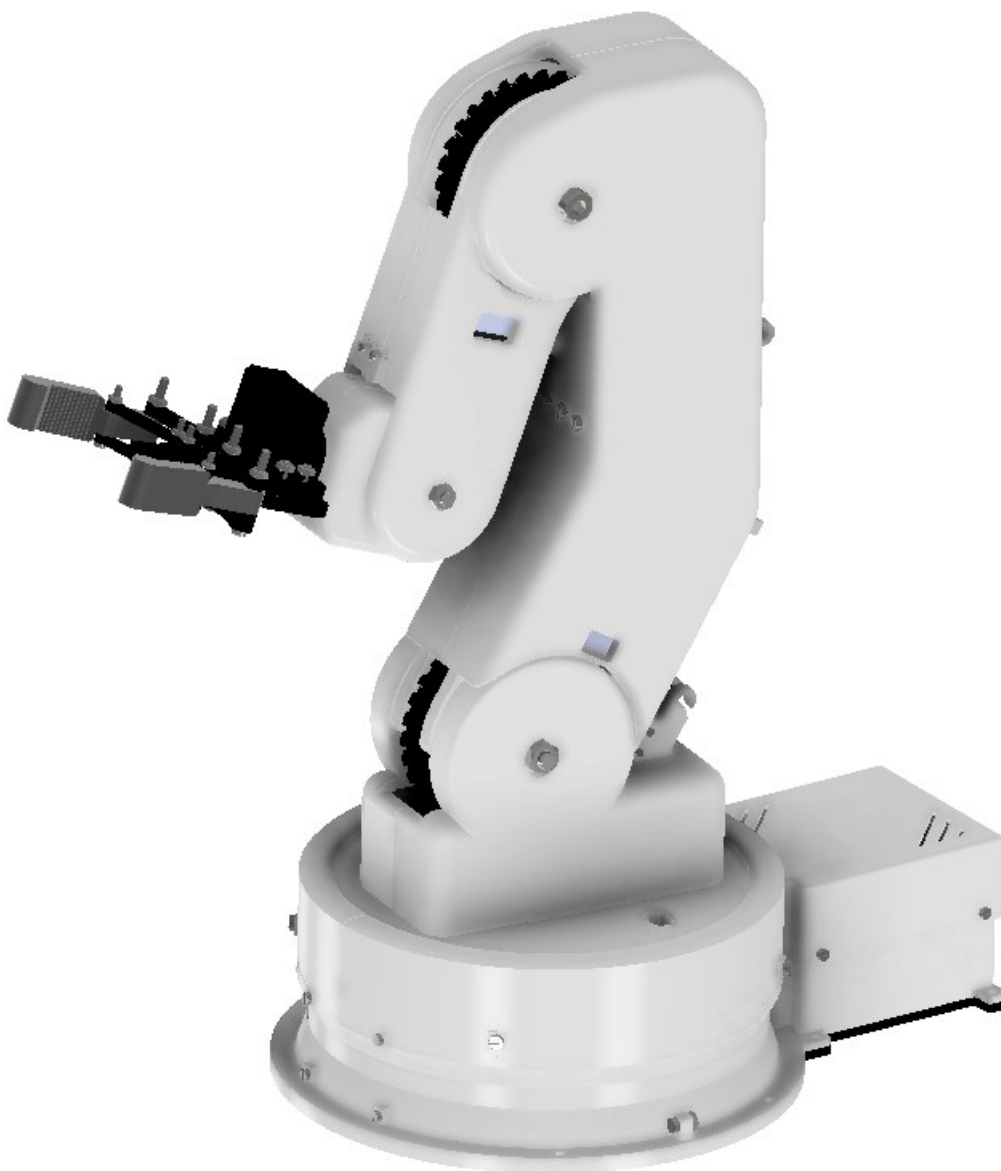


Slika 2.15-Hvataljka



## 2.5. Sklop robotske ruke

Na postolju robotske ruke su izrađeni provrti za pričvršćenje robota o podlogu kako se prilikom njegovog rada ne bi mogao prevrnuti. Kablovi od svih električnih komponenti su povezani izvana te su pričvršćeni uz samu ruku. Na postolju se nalazi provrt kroz koji kablovi dolaze do Arduina. Prvotna ideja je bila staviti kablove s unutrašnje strane ruke, ali postoji opasnost od zaplitanja i kidanja te je izabrana ova varijanta. Svedjedno su neki kablovi stavljeni iznutra zbog lakšeg povezivanja s Arduino pločicom. Na slici 2.16 je prikazan model robotske ruke pozicioniran u nul točku.

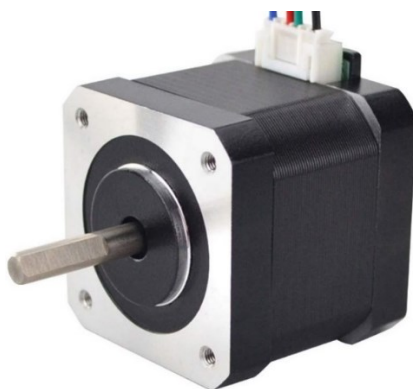


*Slika 2.16-Model robotske ruke*

### 3. UPRAVLJANJE

#### 3.1. Kontrolni sustav robotske ruke

Za upravljanje zglobovima korišteni su koračni motori. Koračni motori su sinkroni elektromehanički dijelovi koji imaju zadaću pretvoriti električne signale u mehaničku rotaciju vratila. Korak se mijenja u kontinuiranu rotaciju s povećanjem frekvencije digitalnih impulsa. Pritom je brzina rotacije izravno proporcionalna frekvenciji impulsa. Okretaj motora dijeli se u korake i motor šalje impulse za svaki korak. Svaki impuls uzrokuje zakretanje motora pod određenim kutom. S obzirom na mogućnost zakretanja vratila motora za određeni kut, ovaj način pogona je pogodan za pokretanje zglobova. Korištena su 4 koračna motora, za okretanje postolja i rotacije u zglobovima. [4]



Slika 3.1-Koračni motor NEMA 17

Za pozicioniranje koračnih motora, a samim time i pozicioniranje robotske ruke u početnu poziciju, potrebno je ugraditi granične sklopke. Granična sklopka je mala i jednostavna sklopka s mehaničkom aktivacijom za uključivanje i isključivanje rotiranja motora. Prilikom dodira strojnog elementa o ticalo, sklopka šalje signal do koračnog motora te se na taj način prekida okretanje motora i određuje granični položaj.



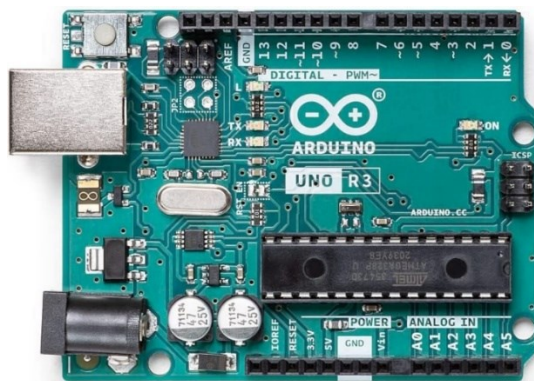
Slika 3.2-Granični prekidač

Stezanje hvataljke omogućuje servomotor. Servomotor je jednostavan DC motor koji uz pomoć servomehanizma kontrolira određenu kutnu rotaciju. Razlika između servomotora i standardnog elektromotora je u tome da rotaciju kod elektromotora zaustavljamo isključenjem napajanja dok kod servomotora to nije slučaj. Razlog korištenja servomotora u ovom slučaju je kutna preciznost, veličina a najviše težina. Kako bi se hvataljka točno pozicionirala u odnosu na objekt koji hvata, potrebna nam je preciznost. Hvataljka je sami kraj robotske ruke pa je iz tog razloga servomotor idealno rješenje zbog svoje težine, kako ne bi stvarao preveliki moment na ostale zglobove.



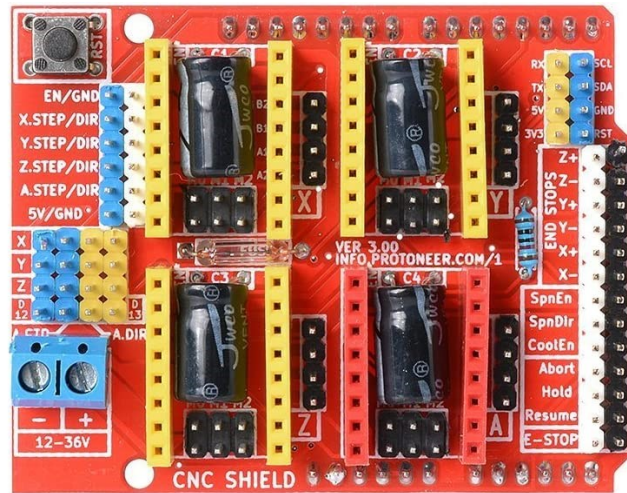
*Slika 3.3-Servomotor*

Za upravljanje gore navedenim komponentama koristi se Arduino UNO. Arduino UNO je elektronička platforma koja se koristi u svrhu kreiranja elektroničkih projekata. Sastoji se od 2 dijela hardwarea i softwera. Hardware je fizički elektronički programibilni strujni krug, poznat kao mikro kontroler. Software se pokreće na računalu s kojeg se programira i upravlja samom pločicom. Arduino UNO se sastoji od 6 analognih ulaza, 14 ulaznih i izlaznih pinova te kvarcnog kristala koji ima frekvenciju 16 MHz. [5]



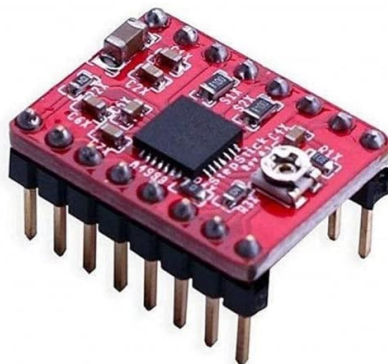
*Slika 3.4-Arduino UNO*

Na Arduino UNO se nadovezuje kartica za proširenje, takozvani CNC-štit. CNC-štit je pločica na kojoj se nalaze pinovi za priključak pločice pokretača motora, graničnih prekidača, servomotora te koračnih motora.



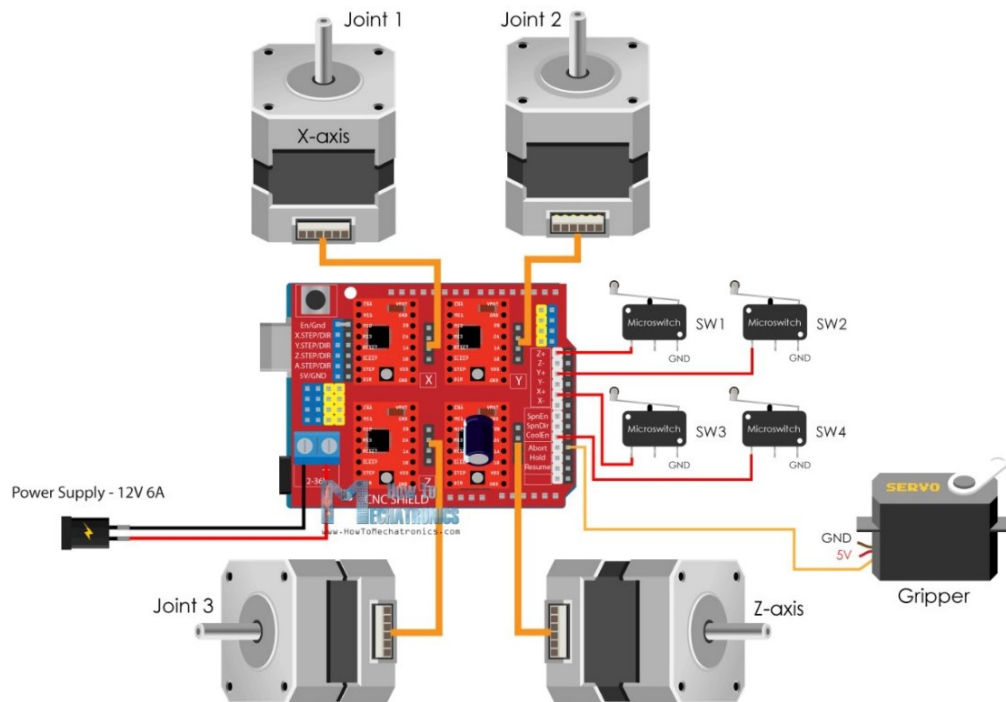
*Slika 3.5-CNC-štit*

A4988 Driver modul je pločica kojom se pokreće koračni motor. Ovaj driver omogućuje jednostavno, preciznu i pouzdanu upravljanje koračnog motora, te pruža više načina rada. Potrebna su mu samo dva pina za kontrolu brzine i smjera koračnog motora. U središtu modula je driver za mikrokorake. Iako ima malu veličinu (20,32 mm x 15,24 mm), ima prilično veliku snagu. Kapacitet izlaznog pogona Drivera A4988 je od 45 V i  $\pm 2$  A. To omogućuje upravljanje bipolarnim koračnim motorom. Izlazna struj je regulirana te je omogućen bešuman rad koračnog motora i eliminacija rezonancije koja je uobičajena kod nereguliranih drivera. Ovim driverom je moguće postići 5 različitih razlučivosti koraka i to puni korak, pola koraka, četvrtina koraka, osmina koraka i šesnaestina koraka. [6]



*Slika 3.6- A4988 Driver*

Način spajanja svih komponenti prikazan je na slici 3.7 u nastavku. [7]



Slika 3.7-Shema spajanja svih električnih komponenti [7]

### 3.2. Programiranje Arduino UNO pločice

Program koji je korišten za programiranje Arduino UNO pločice se zove Arduino IDE. To je program u kojem se piše programski kod koji se može učitati na Arduino pločici. Programski jezik je baziran na jezicima C i C++. Prilikom pokretanja novog dokumenta zvanog "sketch" automatski se učitavaju dva dijela koda. Prvi dio pod nazivom „Setup“ se pokreće jednom prilikom pokretanja koda. Drugi dio pod nazivom „Loop“ stalno vrti dio koda koji mora raditi. Za komponente koje se programiraju moraju se učitati posebne knjižice koje sadrže funkcije koje Arduino može čitati i pretvarati ih u signal. Na slici 3.8 je prikazan dio koda koji postavlja robotsku ruku u nul točku.

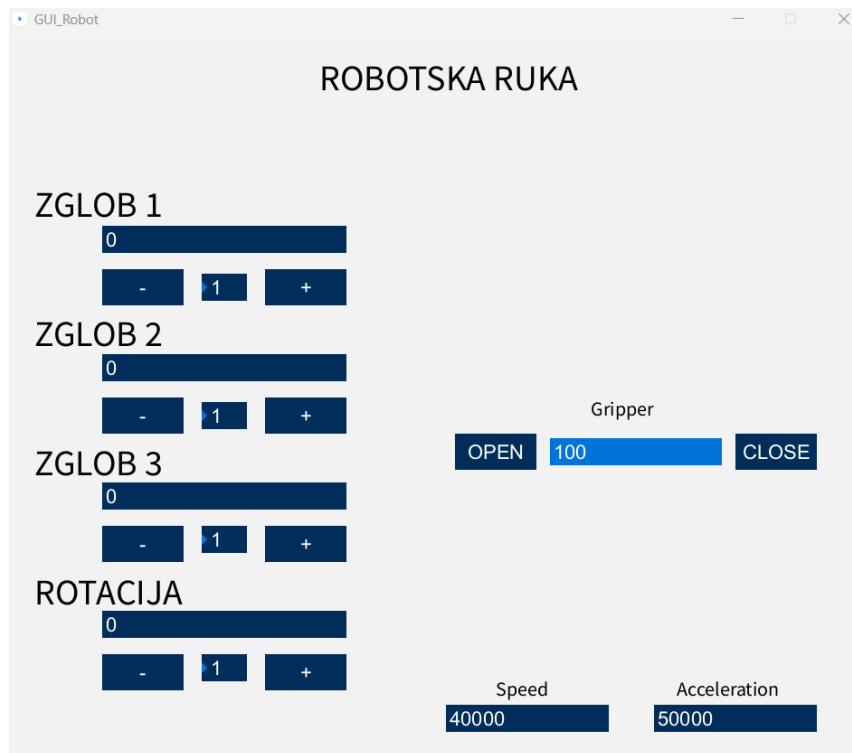
```
258
259 // Homing Stepper3
260 while (digitalRead(limitSwitch1) != LOW) {
261     stepper3.setSpeed(-1100);
262     stepper3.runSpeed();
263     stepper3.setCurrentPosition(-200);
264 }
265 delay(20);
266
267 stepper3.moveTo(0);
268 while (stepper3.currentPosition() != 0) {
269     stepper3.run();
270 }
271
272 // Homing Stepper2
273 while (digitalRead(limitSwitch2) != LOW) {
274     stepper2.setSpeed(-6000);
275     stepper2.runSpeed();
276     stepper2.setCurrentPosition(-2000);
277 }
278 delay(20);
279
280 stepper2.moveTo(0);
281 while (stepper2.currentPosition() != 0) {
282     stepper2.run();
283 }
284
285 // Homing Stepper1
286 while (digitalRead(limitSwitch3) != LOW) {
287     stepper1.setSpeed(-6000);
288     stepper1.runSpeed();
289     stepper1.setCurrentPosition(-3000);
290 }
Output
```

Slika 3.8-Arduino kod za postavljanje robotske ruke u nul točku

Drugi program koji je korišten za programiranje upravljačkog sučelja zove se Processing. Program i jezik su dizajnirani da budu što jednostavniji za početnike s fokusom na kreiranje vizualnih i interaktivnih medija. Vrlo je zanimljiv početnicima jer se s par linija koda može napraviti smisljena pojava na ekranu. Program je open source isto kao i Arduino te postoje mnogo knjižica koje se mogu koristiti od kojih su neke za vizualizaciju podataka, kompjuterski vid i networking.

Kod je napisan tako da se prilikom priključenja napajanja svi zglobovi i postolje postave u nul točku na način da dodirnu granični prekidač te se odmaknu od njega za određenu vrijednost. Hvataljka se otvori te je robot spreman za manipulaciju. Prilikom pokretanja koda u Processing programu otvori se sučelje na kojoj se nalaze klizači i ikone za manipulaciju svakim zglobovom, postoljem te hvataljkom. Također sučelje sadrži i klizače za odabir akceleracije i brzine vrtnje koračnih motora. Da bi se pokrenuo određeni zglob potrebno je pritisnuti mišem na klizač ovisno o tome koliko želimo da se zglob zarotira. Druga opcija za pokretanje vrtnje zgloba su ikone “+“ i “-“. Između ikone “+“ i “-“ se nalazi ikona s brojem koji se može proizvoljno odrediti te on znači za koliko će se zglob zarotirati ukoliko se pritisne ikona “+“ u jednu stranu ili ukoliko se pritisne ikona “-“ u drugu stranu. Hvataljka ima mogućnost potpunog otvaranja ukoliko se pritisne na ikonu “OPEN“ ili s druge strane potpunog zatvaranja ukoliko se pritisne ikona “CLOSE“. Također pritiskom na klizač hvataljka se može otvoriti i proizvoljno koliko korisnik želi. Na slici 3.9 je prikazano sučelje za upravljanje robotskom rukom u programu Processing.

Processing i Arduino kod su preuzeti s internet stranice te prilagođeni ovom slučaju. [7]



Slika 3.9-Sučelje za upravljanje robotskom rukom

## 4. ADITIVNA TEHNOLOGIJA

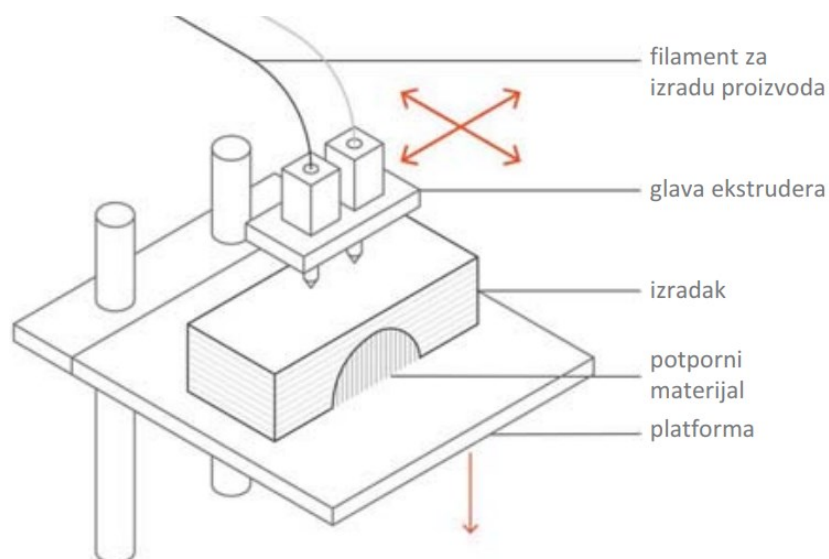
Aditivna tehnologija, prepoznatija kao 3D printanje, predstavlja proces stvaranja trodimenzionalnih oblika na način da se polažu dvodimenzionalni slojevi jedan na drugi, takozvani sloj po sloj. Ovo je revolucionarna tehnologija koja služi za dizajniranje i proizvodnju od jednostavnijih proizvoda kao što su igračke, pa sve do složenih komponenti za avione i implantata u medicini. Aditivna tehnologija se danas primjenjuje u različitim industrijama kao što su automobilska, medicinska, zrakoplovna, arhitektonska, pa čak i u modi.

Aditivnom tehnologijom moguće je izraditi proizvode gotovo neograničene geometrije a da pri tom daje male količine otpada. Proizvodni troškovi su relativno mali, kao i troškovi osoblja, a u prilog joj ide i mogućnost reciklaže otpadnog materijala. Problem se javlja kod ponovljivosti izrade proizvoda. Proizvodi variraju zbog toplinske deformacije i savijanja kod otvrdnjavanja materijala.

Postupci aditivne tehnologije se dijele na taložno očvršćivanje, stereolitografija, selektivno lasersko srašćivanje, polyJet, tehnika spajanja mlazom i izravno lasersko srašćivanje metala. U ovome radu se koristi taložno očvršćivanje.

Kod ove metode proizvod se gradi selektivnim taloženjem rastopljenog materijala već u ranije generiranim slojevima. Materijal se ekstrudira, hladi i stvara krutu površinu. Na taj način stvara bazu za idući sloj materijala. Materijali koji se koriste kod ove metode su u pravilu plastomera u obliku žice. U tu skupinu spadaju PLA, ABS, PEI i TPU.

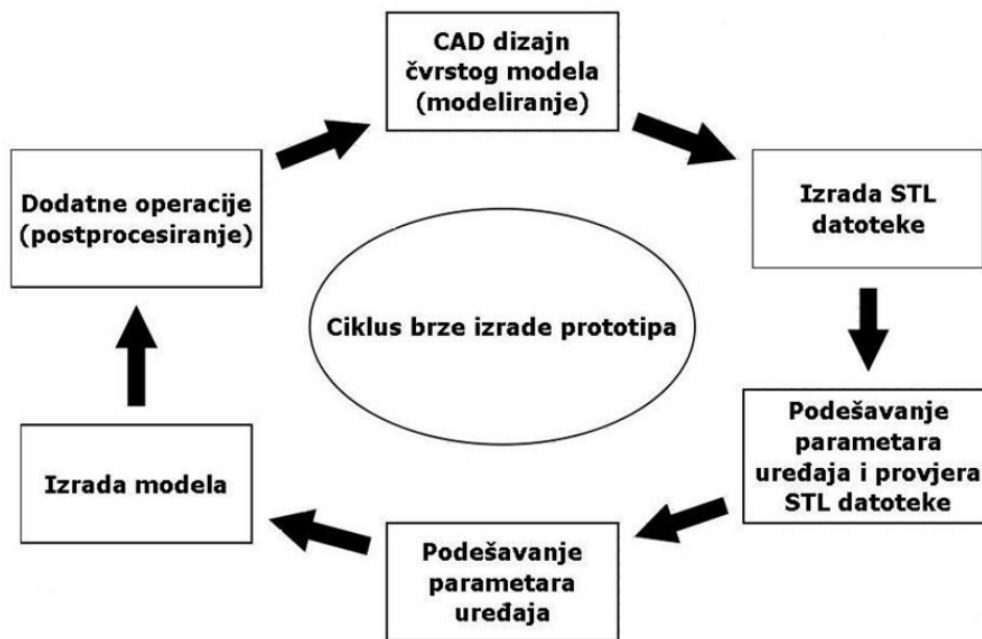
Ova metoda je najisplativija metoda proizvodnje dijelova od plastomera. Zbog postizanja najmanje rezolucije i dimenzijske točnosti u odnosu na druge metode, taložno očvršćivanje se najčešće koristi za proizvodnju igračka, zamjenskih dijelova robota i rani razvoj prototipa. [8]



Slika 4.1-Elementi kod printanja [8]



Prilikom izrade proizvoda 3D printanjem potrebno je prvo izraditi 3D CAD model koji se kasnije pretvara u STL format. STL format koristi trokutaste površine za opisivanje površina proizvoda. U tom formatu se model učitava u softveru za pripremu datoteke za printanje. U tom softveru se podešavaju razni parametri koji su bitni kod printanja. Nakon podešavanja, model je spreman za izradu te se šalje na printer. Po završetku ispisa, proizvod je potrebno fizički ukloniti s radne površine te ga naknadno obraditi. [8]



Slika 4.2-Ciklus brze izrade prototipa [8]

#### 4.1. Creality Ender 3

Creality Ender 3 je 3D printer koji spada u tehnologiju taložnog očvršćivanja, te svojim karakteristikama omogućuje jednostavno i lako 3D printanje modela. Spada u grupu DIY printera, što znači da printer dolazi u modulima te ga je potrebno sastaviti u konačan 3D printer. Sastavljanje je vrlo jednostavno i brzo, obično traje manje od sat vremena.

Jedan od ključnih karakteristika ovog printera je njegova stabilna i precizna konstrukcija. Pomaci po x i y osi su omogućeni pomoću zupčastih remena, dok je po z osi omogućen pomoću navojnog vretena. Zupčasti remen i navojno vreteno su spojeni na koračni motor NEMA 17. Na printeru se nalaze 4 koračna motora. Kao što je već spomenuto 3 motora se koriste za pomake po osima, a jedan motor služi za kvalitetno i pouzdano dodavanje filameta u ekstruder. U ekstruderu se nalazi grijač koji služi za taljenje plastične žice koju motor gura kroz sapnicu i van izlazi određena debljina sloja plastike. Prijenos datoteke za printanje s računala na printer se odvija preko SD kartice ili mini USB-a.

Ender 3 može printati proizvode volumena 220x220x250 mm, pa je zbog toga svaki dio robota dimenzioniran u tim gabaritima. Više detalja o Ender 3 printeru se nalazi u tablici 4.1. [9]



Slika 4.3- Creality Ender 3 [9]

<b>Težina</b>	8 kg
<b>Dimenzije</b>	440 × 410 × 470 mm
<b>Tehnologija 3D printanja:</b>	FFF (Fused Filament Fabrication)
<b>Volumen platforme [mm]:</b>	220 x 220 x 250 mm
<b>Promjer mlaznice ekstrudera [mm]:</b>	0.4, moguće od 0.2 do 0.8
<b>Debljina sloja [mm]:</b>	0.1 – 0.4 (50 – 400 mikrona)
<b>Grijanje platforme [°C]:</b>	Da, 110
<b>Temperatura printanja [°C]:</b>	255
<b>Podržani materijali:</b>	PLA, PETG, Wood, MetalFill, ...
<b>Debljina žice:</b>	1.75 mm
<b>Napajanje:</b>	220V AC, 50 Hz
<b>Mogućnost povezivanja:</b>	USB 2.0, SD Card
<b>Format datoteke za 3D printanje:</b>	STL, OBJ, G-Code
<b>Podržani software:</b>	Cura, Simpliy3D, etc.
<b>Operativni sustav:</b>	Linux, Windows, OSX

*Tablica 4.1-Karakteristike Ender 3 printera [9]*

## 4.2. Materijal korišten za izradu dijelova

Materijal korišten za izradu dijelova robota je PLA polimera. Ovaj materijal je jedan od najčešće korištenih materijala kod 3D printanja. ABS plastika ima bolja mehanička svojstva te bi bila prikladnije rješenje za ovakav proizvod ali je i skuplja. S obzirom da se robot radi isključivo za pokazne svrhe, koristiti će se jeftinija i ekološka opcija.

PLA plastika se dobiva iz obnovljivih izvora kao što su šećerna trska i kukuruzni škrob što ga čini ekološki prihvatljivijom opcijom u odnosu na druge plastomere. Česta primjena mu je u medicini gdje se koristi kao implantat u tijelu, jednokratni pribor za jelo te pakiranje hrane. Prednost ove vrste plastomera je 3D printanje bez toplinskih deformacija i široka primjena. Problem se javlja kod uporabe proizvoda od PLA na višim temperaturama jer imaju nisku otpornost na toplinu. Zbog svog kemijskog sastava, preporuča se da se filament nakon korištenja vrati u originalno pakiranje i da se izbjegava izloženost suncu i vlazi. U tablici 4.2 se nalaze dodatni podatci o filamentu. [10]

<b>Gustoća</b>	1,24 g/cm <sup>3</sup>
<b>Težina</b>	1 kg
<b>Temperatura 3D printanja [°C]:</b>	195 – 225
<b>Temperatura podloge [°C]:</b>	20 – 60
<b>Radna temperatura okoline [°C]:</b>	0 – 60
<b>Debljina žice [mm]:</b>	1.75
<b>Preporučena brzina 3D printanja:</b>	40 – 120 mm/s
<b>Preporučena debljina sloja:</b>	0.1 – 0.2 mm
<b>Produljenje pri lomu:</b>	3 %

*Tablica 4.2-Karakteristike PLA plastike [10]*

### **4.3. Ispravno konstruiranje i oblikovanje proizvoda za 3D printanje**

Svaka metoda aditivne tehnologije ima propisane određene smjernice za konstruiranje dijelova koji se izrađuju 3D printanjem kako ne bi došlo do poteškoća pri printanju ili nekvalitetnog printa. Smjernice za oblikovanje proizvoda također ovise i o korištenom materijalu. Opće smjernice prema kojem je rađeni ovaj rad se mogu primijeniti za sve metode izrade proizvoda 3D printom. Kod zahtjeva izrade proizvoda s kvalitetnom površinom važno je obratiti pozornost na visinu sloja. Također visina sloja utječe i na dimenzijsku točnost proizvoda. Te dvije veličine su linearno ovisne jedna o drugoj.

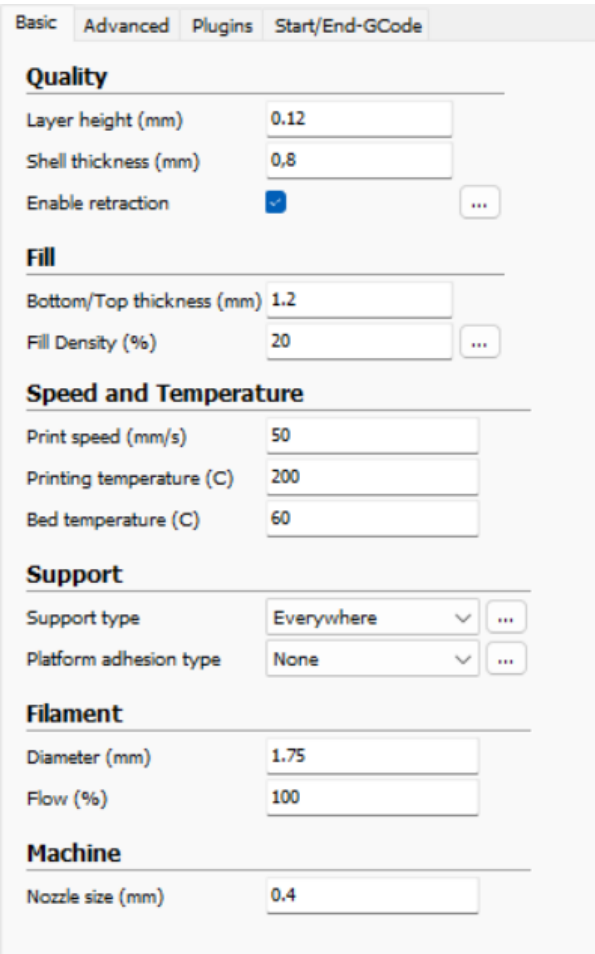
Zbog procesa otvrdnjivanja i temperaturnih utjecaja, proizvodi izrađeni tehnologijom 3D printa skloni su savijanju i skupljanju. Prilikom nejednolikog hlađenja nastaju zaostala naprezanja koja mogu uzrokovati deformacije i pucanje izratka. Također naprezanja između slojeva mogu nastati uslijed otvrdnjivanja slojeva uslijed polimerizacije. Baš zbog tih negativnih posljedica koje mogu nastati, iskustveno su propisane smjernice. Preporuke su da se koriste potpore kod printanja gdje je to potrebno, izbjegavati deblje stjenke spojene s tanjim, izbjegavati oštre rubove te umjesto njih stavljati zaobljenja kako bi se smanjili koncentratori naprezanja. [8]

## 5. PRIPREMA I IZRADA DIJELOVA ADITIVNOM TEHNOLOGIJOM

U ovom poglavlju prikazan je proces pripreme opreme, G-koda za 3D printanje dijelova te printanje dijelova.

### 5.1. Priprema G-koda za printanje

Za pripremu G-koda svakog elementa koji se izrađuje na printeru, korišten je softver Creality Slicer. Creality Slicer je softver koji je razvijen od strane Creality 3D kompanije koja je ujedno i proizvođač Creality Ender 3 3D printera. Ovaj softver se koristi za obradu i konvertiranje 3D modela u format koji je pogodan za 3D printanje. Kako bi se 3D model mogao učitati u ovom softveru, potrebno je model iz Inventora prebaciti u STL format. Creality Slicer daje različite opcije za podešavanje parametara printanja, kao što su brzina printanja, temperatura printanja, vrsta i ispunjenost potpora te ispunjenost proizvoda. Na slici 5.1 je prikazan jedan dio sučelja softvera Creality Slicera u koji se unose bazni parametri.

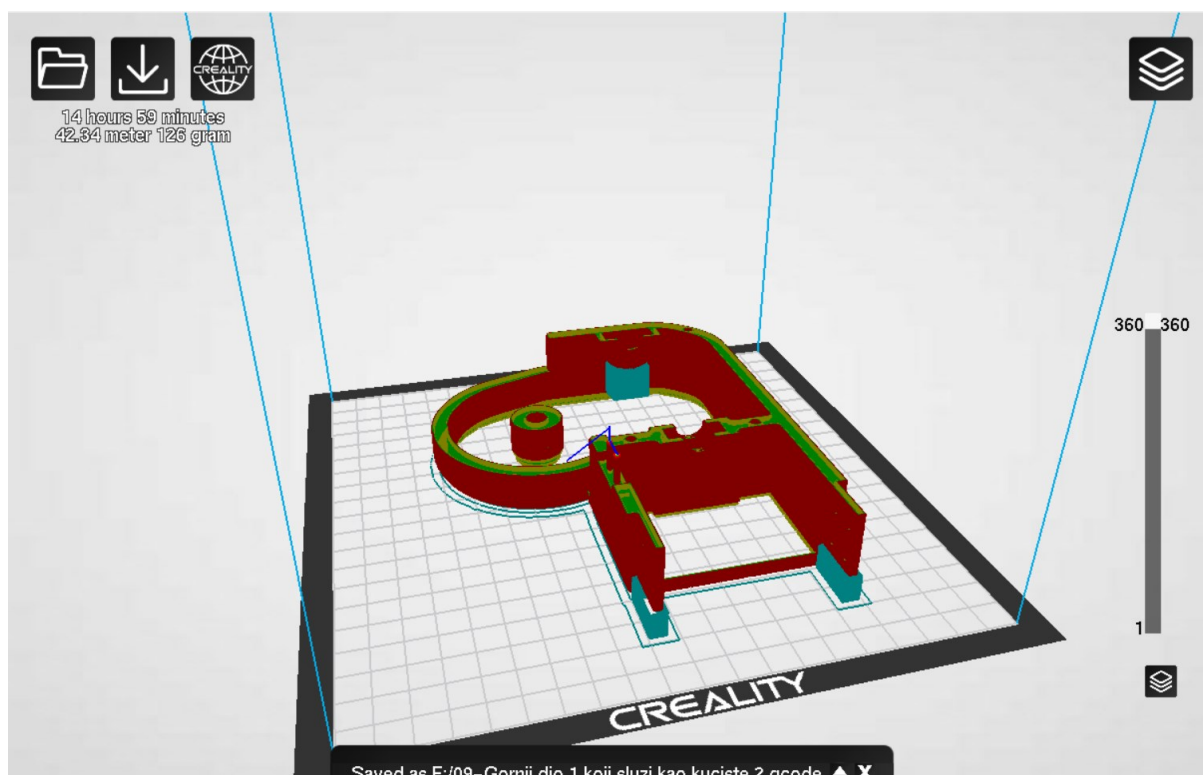


The screenshot displays the 'Basic' tab of the Creality Slicer software interface. The parameters are organized into several sections:

- Quality:**
  - Layer height (mm): 0.12
  - Shell thickness (mm): 0,8
  - Enable retraction:
- Fill:**
  - Bottom/Top thickness (mm): 1.2
  - Fill Density (%): 20
- Speed and Temperature:**
  - Print speed (mm/s): 50
  - Printing temperature (C): 200
  - Bed temperature (C): 60
- Support:**
  - Support type: Everywhere
  - Platform adhesion type: None
- Filament:**
  - Diameter (mm): 1.75
  - Flow (%): 100
- Machine:**
  - Nozzle size (mm): 0.4

Slika 5.1-Sučelje s baznim parametrima u Creality Slicer softveru

Creality Slicer izračunava koliko vremena je potrebno za print određene komponente te koliko je filameta potrebno za njegovu izradu. Također omogućuje prikaz slojeva printanja komponente te putanju ekstrudera. Na slici 30 prikazan je prikaz komponente ruke 1 u programu Creality Slicer. Plavom bojom na slici su prikazane potpore dok su crvenom bojom prikazane vanjske stijenke komponente. Nakon definiranja svih željenih parametara pritisne se strelica koja je prikazana u lijevom gornjem uglu na slici 5.2 te se generira G-kod i sprema na željeno mjesto. Kod Creality Ender 3 printera G-kod je potrebno spremiti na SD karticu te ga preko nje prenijeti na 3D printer.

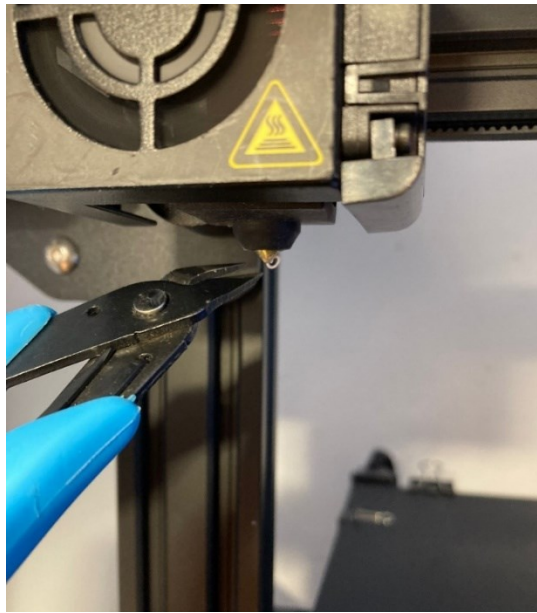


Slika 5.2-Prikaz komponente ruke 1 u programu Creality Slicer

## 5.2. Provjera i kalibracija 3D printera

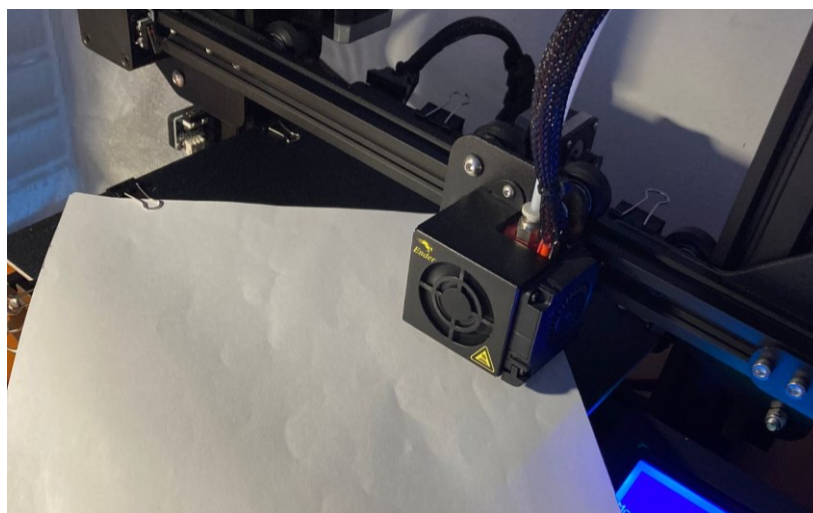
Kako bi 3D printer ispravno radio potrebno ga je nivelirati. Prije svakog printanja potrebno je provjeriti ako su zupčasti remeni koji omogućavaju gibanje po osi x i y na printeru dovoljno napeti. Ukoliko nisu potrebno ih je zategnuti pomoću vijka. Gibanje po trećoj osi osigurava koračni motor preko navojnog vretena te je potrebno provjeriti ako je vreteno dovoljno podmazano.

Nakon provjere pogona, potrebno je očistiti ekstruder (glavu printera) od prethodnog printanja. Ekstruder se podigne na proizvoljnu visinu te se pomoću specijalnih škara otkloni zasušeni filament ukoliko ga ima. Postupka otklonjavanja zasušenog filameta prikazan je na slici 5.3.



*Slika 5.3-Otklanjanje zasušenog filamenta s ekstrudera*

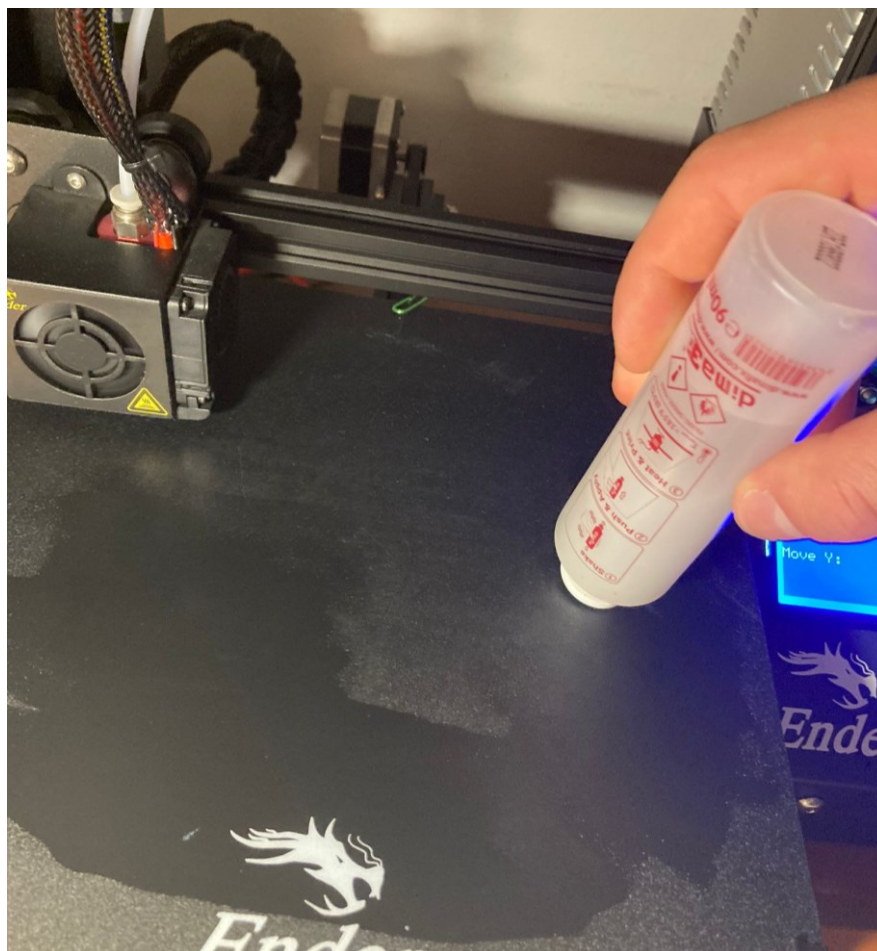
Radna površina leži na 4 opruge koje je moguće pomoću vijaka zatezati i otpuštati kako bi se mogla regulirati visina svakog kuta radne površine, a ujedno i cjelokupna visina radne površine. Niveliranje radne površine se izvršava na način da se ekstruder (glava printera) dovede na 0,00 mm po osi z te u svaki kut radne površine i ispita razmak između radne površine i ekstrudera. Razmak mora biti jednak debljini filamenta koji izlazi iz ekstrudera prilikom procesa printanja, a to je približno jednako debljini komada A4 papira. Komad A4 papira se stavi između radne površine i ekstrudera te se radna površina, pomoću ranije navedenog vijka za reguliranje visine, dovede na odgovarajuću visinu kako bi se A4 papir malo teže izvukao s prostora između radne površine i ekstrudera. Nakon niveliranja visine, ekstruder se dovede do željene početne točke te se generira nul točka. Postupak niveliranja prikazan je na slici 5.4.



*Slika 5.4-Niveliranje radne površine 3D printera*



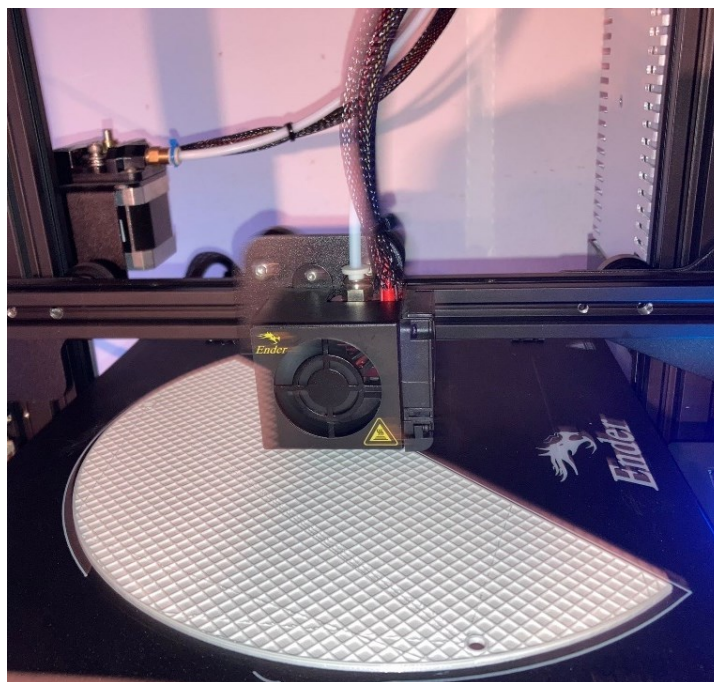
Potom se pokreće program za printanje određenog dijela. U međuvremenu kada se ekstruder i radna površina zagrijavaju, potrebno je premazati radnu površinu sredstvom kako se proizvod ne bi previše zalijepio. Kada radna površina i ekstruder dosegnu određenu temperaturu, printer počinje s printanjem. Slika 5.5 prikazuje podmazivanje radne površine.



*Slika 5.5-Podmazivanje radne površine 3D printera*

### **5.3. Printanje dijelova**

Na slikama u nastavku su prikazani procesi printanja različitih dijelova s različitim postotkom ispunje.



*Slika 5.6-Printanje postolja s 25% ispunjivosti*



*Slika 5.7-Printanje zupčanika s 50% ispunjivosti*

## 6. MONTAŽA ROBOTSKE RUKE

### 6.1. Priprema ispisanih dijelova

Prije početka montiranja ispisanih komponenti potrebno je te komponente pripremiti. S obzirom da se neki dijelovi ne mogu ispisati bez potpora, nakon printanja potrebno je ukloniti te potpore. Također neke površine zbog načina printanja ispadnu hrapave te ih je potrebno izbrusiti s finim brusnim papirom.



*Slika 6.1-Ispisani dio s potporama*



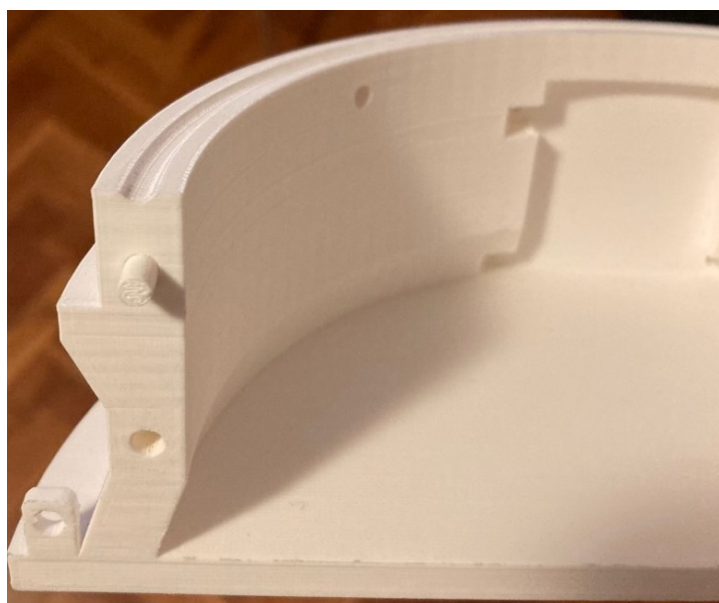
*Slika 6.2-Ispisani dio s uklonjenim potporama*

## 6.2. Montaža ispisanih dijelova i ugradnja električnih komponenti

Montaža robotske ruke je podijeljena u 6 dijela. Montaža postolja, montaža ruke 1, montaža ruke 2, montaža ruke 3, montaža hvataljke te međusobna montaža svih dijelova.

### 6.2.1. Montaža postolja

Nakon otklanjanja potpora i pripreme svih dijelova postolja kreće njegovo montiranje. Prvi korak kod montaže postolja je povezivanje donjeg dijela 1 i donjeg dijela 2 uz pomoć cilindra te vijaka M4x10 i matica. Cilindri služe za osiguranje položaja donjeg dijela 1 i donjeg dijela 2.

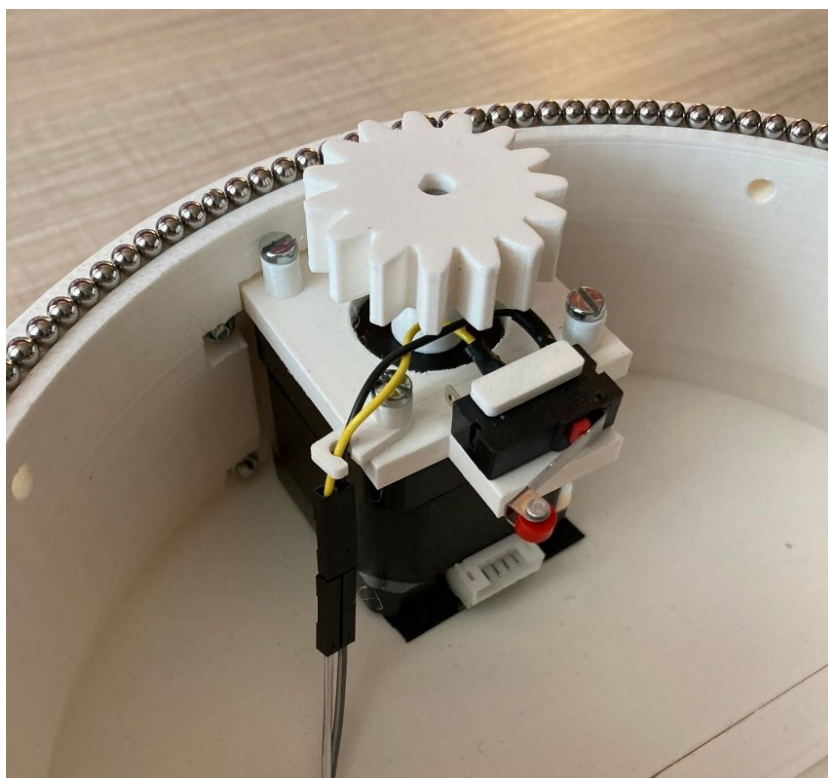


*Slika 6.3-Montaža donjeg dijela postolja uz pomoć cilindra*



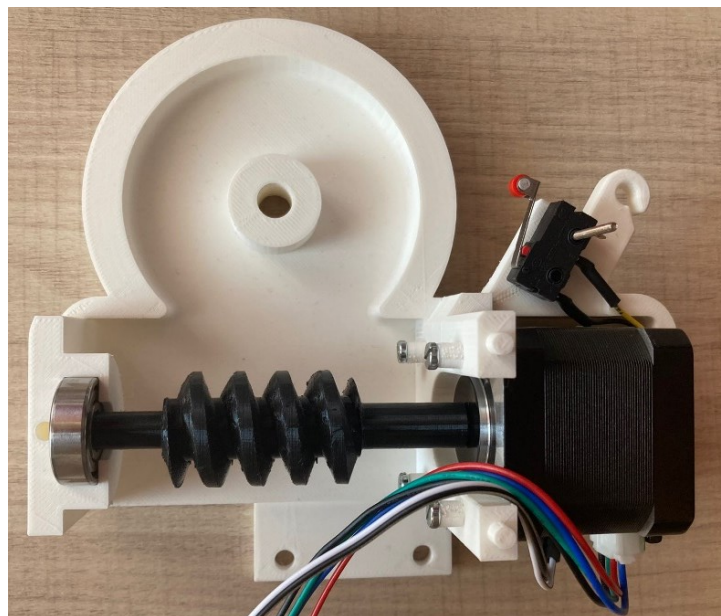
*Slika 6.4- Montaža donjeg dijela postolja uz pomoć vijčanog spoja*

Sljedeći korak je montaža koračnog motora i graničnog prekidača na nosač. S obzirom da motor ima urezani navoj M3, za pričvršćenje motora i nosača su korištena M3 x 16 vijci. Između vijaka i nosača su stavljene podloške. Granični prekidač je pozicioniran s dijelom za pozicioniranje te je stavljena gumica koja dodatno pričvršćuje granični prekidač za nosač. Kablovi od graničnog prekidača su zakačeni za jednu podlošku koja ima izrađeni prihvat za kablove. Nosač s koračnim motorom i graničnim prekidačem se stavlja u utor na donjem dijelu 2 te se pričvršćuje uz pomoć vijaka M3x16 i matica za donji dio 2. Ispod motora se stavlja guma debljine 0,7 mm koja ublažava vibracije. Na koračni motor se navlači pogonski zupčanik. Utor zupčanika je izrađen prema obliku vratila te je na taj način osiguran prijenos momenta. U utor za ležaj na donjem dijelu 1 i 2 se stavljaju metalne kuglice. Montaža svih navedenih dijelova prikazana je na slici 6.5.



*Slika 6.5-Montaža motora i graničnog prekidača*

Kako bi se mogao pričvrstiti zglob 1 za gornji dio kućišta potrebno je sastaviti zglob 1. U prvi dio zgloba 1 koji ima izrađen nosač za koračni motor pričvršćujemo koračni motor na koji je navučeni puž uz pomoć M3x16 vijaka te se između vijaka i nosača stavljaju podloške jer su vijci predugi. S druge strane u utor se stavlja ležaj u koji nasjeda drugi dio puža. Na predviđeno mjesto se stavlja granični prekidač. Kablovi se stavljaju kao što je prikazano na slici 6.6.



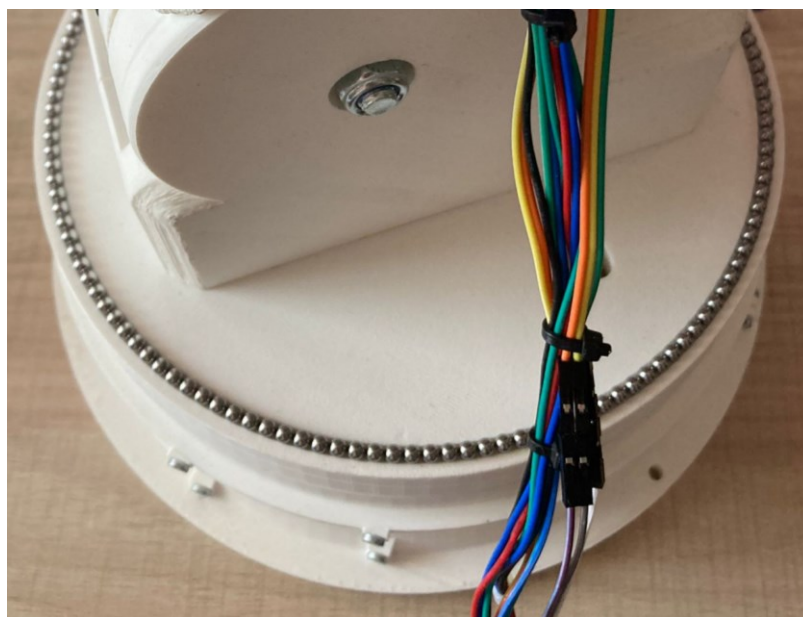
*Slika 6.6-Umutašnost zgloba 1*

Nakon ugradnje svih komponenti, dolazi drugi dio kućišta koji zatvara zglob 1. On se pričvršćuje uz pomoć 2 M2x30 vijaka i matica na mjestu gdje se nalazi granični prekidač te uz pomoć 2 M3x20 vijaka i spojne pločice iza motora. Zglob 1 se stavlja u otvor na gornjem dijelu postolja te se od ispod pričvršćuje uz pomoć vijka M5x20 i matica kao što je prikazano na slici 6.7.



*Slika 6.7-Montaža zgloba 1 i gornjeg dijela postolja*

Nakon toga se gornji dio postolja zajedno s zglobom 1 stavlja na metalne kuglice koje ulaze u utor koji je izrađen na donjoj strani gornjeg dijela postolja. Gornji dio postolja također ima izrađen utor i na gornjoj strani te tamo također dolaze kuglice koje su prikazane na slici 6.8. Kako bi se izbjeglo odvajanje gornjeg dijela postolja od donjeg, na gornje metalne kuglice dolazi poklopac koji sprječava odvajanje. Poklopac se sastoji od 2 dijela te se za strane pričvršćuje uz pomoć 4 M4x25 vijaka i matica za donji dio postolja. Kako bi glava vijka sjela na ravnu površinu, stavljaju se specijalne podloške. Na taj način je gotova montaža postolja.



*Slika 6.8-Metalne kuglice na gornjem dijelu postolja*

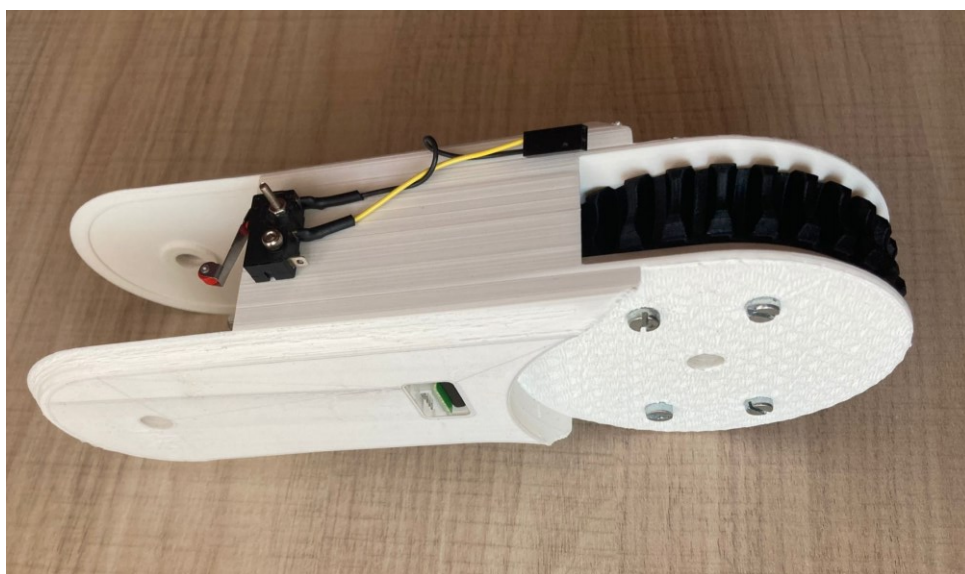
### *6.2.2. Montaža ruke 2*

Kako bi se robotska ruka najjednostavnije sastavila potrebno je krenuti od drugog dijela ruke pod nazivom ruka 2. Ruka 2 se sastoji od 2 dijela, te se oni razlikuju po tome što jedan dio ima na sebi izrađen nosač za koračni motor. Najprije se na nosač pričvrsti motor s vijcima M3x8, te se s gornje strane pričvrsti granični prekidač s jednim vijkom M2x16 i maticom. Nakon što se pričvrste motor i granični prekidač na taj dio ruke 2, potrebno je drugi dio ruke staviti na njega. Na slici 6.9 u nastavku su prikazani oba dijela ruke 2 s pričvršćenim odgovarajućim komponentama.



*Slika 6.9-Dijelovi ruke 2*

Nakon sklapanja 2 dijela ruke 2 potrebno je u zupčanic staviti ležaj te ga pričvrstiti za ruku 2 na predviđeno mjesto s vijcima M4x30 i maticama. Također se u drugi provrt na graničnom prekidaču stavlja vijak M2.5x8 kako bi se osigurao položaj graničnog prekidača. Sastavljena ruka 2 prikazana je na slici 6.10.



*Slika 6.10-Ruka 2*



### 6.2.3. Montaža ruke 3

Nakon što se sastavi ruka 2 potrebno je na nju pričvrstiti ruku 3. Ruka 3 se sastoji od 2 dijela. Oba djela imaju izrađeni utor gdje se stavlja ležaj. Između ta dva dijela ruke 3 dolazi šuplji cilindar kroz koji prolazi vijak M8x70. Vijak se stavlja u provrt na ruci 2, prolazi kroz provrt na ruci 3 te ulazi u ranije navedeni cilindar koji je na kraju zategnut s maticom. Na taj način je pričvršćena ruka 3 za ruku 2.



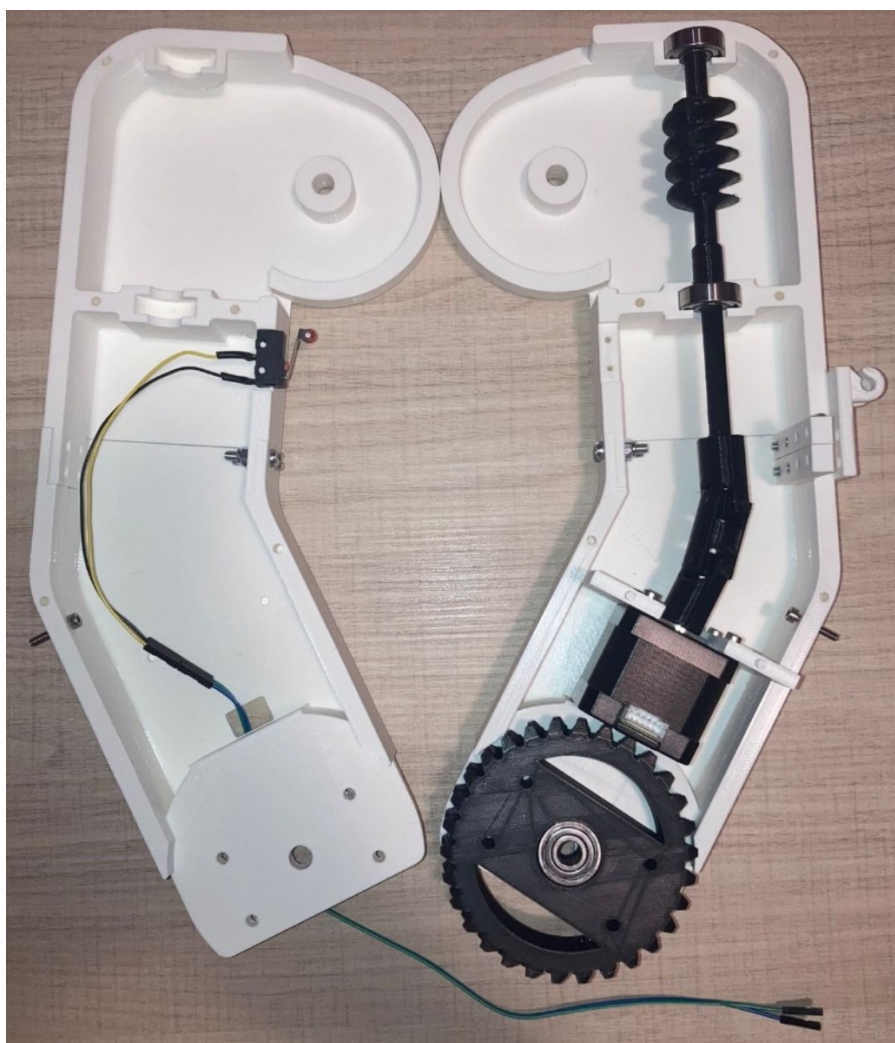
*Slika 6.11-Spoj ruke 3 s rukom 2*

#### 6.2.4. Montaža ruke 1

Kako bi se dovršila montaža ruke potrebno je sastaviti prvi dio ruke 1. Pošto se kućište od ruke 1 sastoji od 4 dijela, potrebno je povezati gornje i donje dijelove kako bi dobili prvi dio i drugi dio ruke 1. Oni se povezuju uz pomoć vijaka M4x16 i matica s jedne strane. S druge strane se matice stavljaju u kućište izrađeno s utorima kako se ne bi prilikom spajanja 2 dijela ruke 1 matice okretale te se vijci ne bi zategnuli. S vanjske strane se stavlja element za gume. Nosač za gume se pričvršćuje s 2 vijka za prvi dio ruke 1. Ta 2 vijka M4x16 se zatežu s maticom koja se nalazi u kućištu. Također još 2 vijka se zatežu za prvi dio ruke 1 s maticama koje se nalaze u kućištu za matice. Donji dio ruke ima izrađen nosač za koji se pričvršćuje koračni motor s 4 vijka M3x8. Osovinu tog koračnog motora potrebno je odrezati za 5 mm jer je preduga i nije moguće navući kardan na nju. Kao što je spomenuto, kardan se navlači na osovinu koračnog motora te se na njegov drugi kraj navlači vratilo. Drugi kraj osovine prolazi kroz ležaj koji ulazi u utor predviđen za ležaj te se na taj kraj osovine navlači puž. Također ležaj dolazi i na drugi kraj puža i ulazi u utor na gornjem dijelu ruke 1. Na donji dio se stavlja zupčanik te se uz pomoć vijaka samo osigurava njegov položaj. On se pričvršćuje prilikom sklapanja ta 2 dijela zajedno. Gornji i donji dio kod drugog dijela ruke 1 se montiraju na isti način s jedne strane dok se s druge strane montiraju tek kada se spoje s prvim dijelom ruke 1. U drugi dio ruke 1 se stavlja granični prekidač kojemu se položaj osigurava s 2 cilindra koja su izrađena na gornjem dijelu ruke 1. Nakon ugradnje svih potrebnih elemenata, sklapaju se dva dijela ruke 1. Na donjoj strani se pričvršćuju pomoću M4x35 vijaka i matica. Ti vijci prolaze kroz zupčanik pa se na taj način ujedno pričvršćuje i zupčanik. Na sredini se dodaju 4 vijka M4x35 koja se zatežu s preostalim maticama u kućištu za matice te dodatno pričvršćenje se ostvaruje preko vijaka koji služe za pričvršćenje dodatnog elementa za gume. Na slici 6.12 je prikazana sklopljena ruka 1 te na slici 6.13 dva dijela ruke 1 koja se sklapaju.



*Slika 6.12-Sklapanje 2 dijela ruke 1*



*Slika 6.13-Prvi i drugi dio ruke 1*

### 6.2.5. Montaža hvataljke

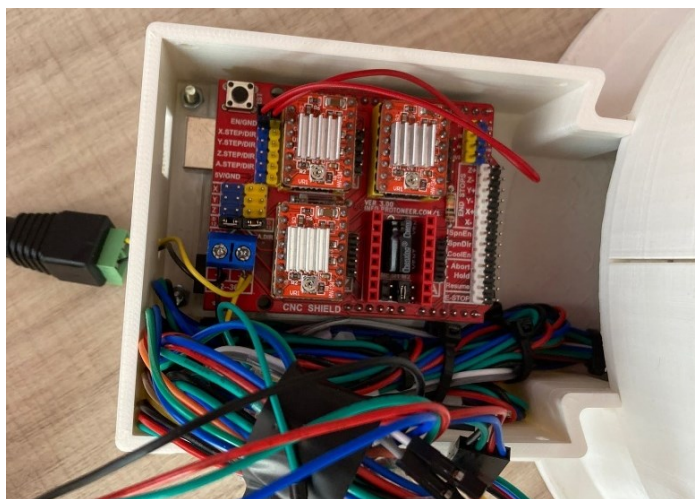
Hvataljka se sastoji od baze na koju se uz pomoć vijaka M4x35 i matica pričvršćuju 2 dijela s izrađenim zupčanicima koji dolaze međusobno u zahvat. Oni povezuju bazu s elementima za hvatanje te su za elementima za hvatanje spojeni također uz pomoć vijaka M4x35 i maticama. S druge strane ti vijci prolaze kroz dijelove koji su na isti način spojeni s dijelovima za hvatanje ali bez zupčanika. Kako bi se osigurao pravilan prihvat potrebno je elemente za hvatanje dodatno povezati s bazom a to se postiže s manjim spojnim elementima. Manji spojni elementi se također nalaze s obje strane te su povezani s vijcima M3x20 i maticama. Kad se povežu svi elementi na bazu, baza se povezuje s rukom 3 pomoću M4x30 vijaka i matica. Nakon povezivanja hvataljke i ruke 3 slijedi povezivanje servo motora za bazu. Potom je potrebno na njega navući zupčanik koji prenosi gibanje na ranije pričvršćene zupčanike koji su u međusobnom zahvatu. U vratilo servomotora se dodaje vijak M3x12 s podloškom koji pričvršćuje zupčanik za servo motor.



Slika 6.14-Hvataljka prije montaže na ruku 3

### 6.2.6. Međusobna montaža svih dijelova

Nakon što se sklope svi podsklopovi, kreće se na njihovu međusobni montažu. Za početak je potrebno spojiti ruku 1 s zglobom 1. Ruka 1 se stavlja na način da zupčanik dođe u zahvat s pužem u zglobu 1. Položaj ruke 1 se osigurava s vijkom M8x70 i maticom. Potom se ruka 3 i 2 koje su međusobno ranije spojene, spajaju s rukom 1 na isti način kao i ruka 1 s zglobom 1. Na kraju se pričvršćuje hvataljka za ruku 3 uz pomoć 2 M4x20 vijaka i matica. Kao što je već spomenuto, servomotor se tek nakon montaže hvataljke na ruku 3 može montirati na hvataljku uz pomoć 3 M4x20 vijaka i matica. Kada se sklope svi dijelovi, potrebno je spojiti sve kablove koji nisu spojeni. Koračni motori imaju izrađen otvor kako bi se mogli spojiti s žicama na ruci 1 i 2. Kablovi koji su prekratki produžuju se te se svi zajedno provode kroz otvor u gornjem dijelu postolja. Kablovi od zgloba 1 i njemu pripadajućeg graničnog prekidača, te od koračnog motora koji služi za okretanje postolja i njemu pripadajućeg graničnog prekidača se nalaze u postolju. Na postolje se nadovezuje kućište za kablove u koje se pričvršćuju svi kablovi te u njega dolazi Arduino Uno pločica s odgovarajućim CNC-štitom i driverima A4988. Kućište se stavlja u postolje i ne pričvršćuje se za njega. Svaki kabel je označen na što se odnosi, npr. 1 označava zglob 1, 2 označava zglob 2, 3 označava zglob 3, P označava postolje te H označava hvataljku. Kablovi od graničnih prekidača se sastoje od dvije žice, koračni motori imaju 4 žice te servo motor za hvataljku ima 3 žice. Vidljivi kablovi se omotavaju s crnom izolir trakom radi estetike. Gume koje rade kontra moment koji je izračunat u poglavlju 2.3.2 je potrebno zakačiti za nosač koji je izrađen u sklopu zgloba 1 te s druge strane za nosač za gumice koji je montiran na ruku 1. Na kraju je potrebno robotsku ruku i kućište za kable pričvrstiti na dasku radi sprječavanja njezinog prevrtanja prilikom kretanja. Pričvršćuju se s samo bušecim vijcima za drvo. Slika 6.15 u nastavku prikazuje pričvršćenje svih kablova u kućište za kablove te slika 6.16 prikazuje završni izgled robotske ruke.



Slika 6.15-Kućište za kablove



*Slika 6.16-Završni izgled robotske ruke*



*Slika 6.17-Završni izgled robotske ruke*

## 7. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazana robotske ruka koja se koristi u edukacijske svrhe, za razliku od industrijskih robota. S obzirom da se ova robotska ruka koristi u edukacijske svrhe te je cilj prikazati način njezinog funkcioniranja, svi dijelovi su jednostavno rastavljivi i zamjenjivi, te omogućuju njegovu prilagodbu za različite namjene.

Za izradu odgovarajućeg modela robotske ruke potrebno je prethodno znanje iz kolegija Konstrukcijski elementi kako bi se odredili odgovarajući prijenosni mehanizmi. Potom je važno imati prethodno znanje o softvera Inventor Professional u kojem se generira model robotske ruke te određuje najlakši način za njezinu montažu. Također uz pomoć Inventora se generira STL format te se prebacuje u softver Creality Slicer gdje se definiraju parametri za izradu dijelova aditivnom tehnologijom. Aditivna tehnologija omogućuje brzu, pouzdanu i povoljnu izradu modela. Za izradu dijelova nije potrebna upotreba skupih strojeva poput glodalica i tokarilica. Iako vrijeme izrade traje nešto duže nego kod CNC strojeva, vrijeme pripreme je kraće, a 3D printeri su široko dostupni.

Prilikom izrade ovog rada, osim stjecanja konstrukcijskih saznanja, prolazi se i kroz programiranje i praktično spajanje komponenti. Upotrebom nekih osnovnih funkcija i kodova u softverima Arduino IDE i Processing izrađuje se osnovno sučelje za manipulaciju svakim zglobov zasebno te pozicioniranje robotske ruke u nul točku. Kako bi kod za upravljanje robotske ruke radio, potrebno ga je preko USB kabla prebaciti na Arduino pločicu. Arduino pločicu je potom potrebno pravilno povezati s svim električnim komponentama. Najveći izazov kod spajanja električnih komponenti javlja se kod graničnih prekidača i napajanja jer je potrebno žice zalemiti za navedene komponente. Također za postavljanje drivera A4988 potrebno je podesiti otpornik preko vijka koji se nalazi na njemu. Ti dijelovi su stvarali problem kod izrade završnog rada zbog potrebnih alata kojima je navedene radnje potrebno izvršiti.

Autor ovog završnog rada razvio je robotsku ruku na temelju vlastite ideje, bez oslanjanja na postojeće šablone te iz tog razloga postoji velik broj mogućnosti za daljnje napredovanje. Neki problemi kod rada robotske ruke su uočeni tek nakon njezine fizičke izrade. Ugradnja koračnog motora s većim momentom izlaznog vratila u zglobov 1 je najvažnija a ujedno i najveća promjena koju je potrebno izvršiti. U nekim trenucima prilikom graničnog položaja ruke, dolazi do blokiranja ruke prilikom pokušaja podizanja u početni položaj. To se ponekad dešava čak i bez uhvaćenog objekta koji bi stvarao dodatno opterećenje. Iz tog razloga je potrebno povećati moment izlaznog vratila koračnog motora u zglobov 1. Također jedan od značajnijih problema je i podmazivanje zupčanika s obzirom da upotreba maziva na dugoročne staze može uzrokovati

oštećenja na plastičnim dijelovima, a bez podmazivanja prijenosni mehanizmi ne bi radili. Ova dva problema su najveća te je na njih potrebno staviti fokus u daljnjem razvijanju ovog modela robotske ruke. Kod programerskog dijela prostor za napredovanje i razvoj koda je velik. Trenutne mogućnosti robotske ruke su pomicanje svakog zgloba zasebno. Postoji mogućnost izrade koda za sinkronizirano pomicanje svih zglobova i spremanje konačnog položaja ruke, te ponavljanje radnje koja se odvija nakon spremljenog položaja.



## LITERATURA

- [1] Skoko, S.: “ Rani početci razvoja robota“, s interneta, <https://balkantimes.press/rani-pocetci-razvoja-robota/> , 05.06.2023.
- [2] Nikolić, G.: “Razvoj robota i promjene koje oni donose“, s interneta, <https://hrcak.srce.hr/file/285064> , 14.06.2023.
- [3] Wranka, M.: “Roboti stižu u hrvatsko zdravstvo: Otkrivamo sve o prvom sustavu koji će uskoro operirati na Rebru“, s interneta, <https://www.tportal.hr/tehnolo/clanak/roboti-stizu-u-hrvatsko-zdravstvo-otkrivamo-sve-o-prvom-sustavu-koji-ce-uskoro-operirati-na-rebru-foto-20181111/print> , 05.06.2023.
- [4] Tipteh: “ Koračni motori“, s interneta, <https://tipteh.com/hr/koracni-motori/> , 14.06.2023.
- [5] Soldered: “ Što je Arduino, a što Dasduino“, s interneta, <https://soldered.com/hr/learn/sto-je-arduino-a-sto-croduino/> , 14.06.2023.
- [6] Last Minute Engineers: “Control Stepper Motor with A4988 Driver Module & Arduino“, s interneta, <https://lastminuteengineers.com/a4988-stepper-motor-driver-arduino-tutorial/> , 14.06.2023.
- [7] How to Mechatronics : “ SCARA Robot“, s interneta, <https://howtomechatronics.com/projects/scara-robot-how-to-build-your-own-arduino-based-robot/>, 14.06.2023.
- [8] Marohnić, T.: “Ispravno konstruiranje i oblikovanje proizvoda za izradu tehnologijom 3D printa“, iz nastavnih materijala, 14.06.2023.
- [9] Printer3D: “Creality Ender 3“, s interneta, <https://printer3d.hr/shop/creality-ender-3/>, 14.06.2023.
- [10] Printer3D: “Plastika Trček PLA-1kg“, s interneta, <https://printer3d.hr/shop/plastika-trcek-pla-1kg/> , 14.06.2023.

## POPIS OZNAKA

$F_i$ [N]	Sila pojedine komponente koja djeluje na zglob 1
$F_k$ [N]	Sila koju je potrebno postići kako bi se ostvario određeni kontra moment
$l_i$ [m]	Udaljenost težišta pojedine komponente od zgloba 1
$l_k$ [m]	Udaljenost djelovanja kontra sile od zgloba 1
$M_i$ [N/m]	Moment koji stvara pojedina komponenta na zglob 1
$M_{uk1}$ [N/m]	Ukupni moment u zglobu 1
$M_{z1}$ [N/m]	Moment zgloba 1 nakon rasterećenja
$M_k$ [N/m]	Kontra moment
$M_{dop}$ [N/m]	Dopušteni moment na zglobu 1

## POPIS KRATICA

R.U.R.	Rossumovi univerzalni roboti
3D	Trodimenzionalno
PLA	Polylactic Acid
ABS	Akrilonitril/Butadien/Stiren
PEI	Polyetherimide
TPU	Thermoplastic Polyurethane
STL	Triangulizacijska datoteka
DC	Istosmjerna struja
CNC	Računalna numerička kontrola
G-kod	Uvjeti puta glave ekstrudera
FDM	Taložno očvršćivanje
PolyJet	Tiskanje sloja fotoosjetljivog polimera
SD	Digitalna sigurnost
USB	Universal Serial Bus

## POPIS SLIKA

Slika 1.1 Prikaz ulaganja u različita područja primjene robota [2] .....	1
Slika 2.1 Medicinska robotska ruka s 6 stupnjeva slobode gibanja [3].....	2
Slika 2.2 Model zupčastog para korišten kod postolja .....	3
Slika 2.3 Model pužnog prijenosa.....	4
Slika 2.4 Model stožastog prijenosa .....	5
Slika 2.5 Skica s udaljenostima pojedinih elemenata od zgloba 1 .....	6
Slika 2.6 Skica rasterećenja zgloba 1 .....	8
Slika 2.7 Ispitivanje produljenja guma .....	9
Slika 2.8 Donji dio postolja .....	10
Slika 2.9 Postolje.....	11
Slika 2.10 Unutrašnjost donjeg dijela ruke 1 .....	12
Slika 2.11 Unutrašnjost gornjeg dijela ruke 1 .....	13
Slika 2.12 Unutrašnjost ruke 1 .....	14
Slika 2.13 Unutrašnjost ruke 2 .....	15
Slika 2.14 Unutrašnjost ruke 3 .....	15
Slika 2.15 Hvataljka .....	16
Slika 2.16 Model robotske ruke .....	17
Slika 3.1 Koračni motor NEMA 17.....	18
Slika 3.2 Granični prekidač.....	18
Slika 3.3 Servomotor .....	19
Slika 3.4 Arduino UNO .....	19
Slika 3.5 CNC-štit .....	20
Slika 3.6 A4988 Driver.....	20
Slika 3.7 Shema spajanja svih električnih komponenti [7].....	21
Slika 3.8 Arduino kod za postavljanje robotske ruke u nul točku .....	22
Slika 3.9 Sučelje za upravljanje robotskom rukom.....	23
Slika 4.1 Elementi kod printanja [8].....	24
Slika 4.2 Ciklus brze izrade prototipa [8].....	25
Slika 4.3 Creality Ender 3 [9] .....	26
Slika 5.1 Sučelje s baznim parametrima u Creality Slicer softveru .....	30
Slika 5.2 Prikaz komponente ruke 1 u programu Creality Slicer.....	31
Slika 5.3 Otklanjanje zasušenog filameta s ekstrudera.....	32
Slika 5.4 Niveliranje radne površine 3D printera.....	32

Slika 5.5 Podmazivanje radne površine 3D printera .....	33
Slika 5.6 Printanje postolja s 25% ispunjivosti.....	34
Slika 5.7 Printanje zupčanika s 50% ispunjivosti .....	34
Slika 6.1 Ispisani dio s potporama.....	35
Slika 6.2 Ispisani dio s uklonjenim potporama .....	35
Slika 6.3 Montaža donjeg dijela postolja uz pomoć cilindra .....	36
Slika 6.4 Montaža donjeg dijela postolja uz pomoć vijčanog spoja .....	36
Slika 6.5 Montaža motora i graničnog prekidača.....	37
Slika 6.6 Unutašnost zgloba 1.....	38
Slika 6.7 Montaža zgloba 1 i gornjeg dijela postolja .....	38
Slika 6.8 Metalne kuglice na gornjem dijelu postolja .....	39
Slika 6.9 Dijelovi ruke 2.....	40
Slika 6.10 Ruka 2 .....	40
Slika 6.11 Spoj ruke 3 s rukom 2 .....	41
Slika 6.12 Sklapanje 2 dijela ruke 1 .....	43
Slika 6.13 Prvi i drugi dio ruke 1 .....	43
Slika 6.14 Hvataljka prije montaže na ruku 3.....	44
Slika 6.15 Kućište za kablove.....	45
Slika 6.16 Završni izgled robotske ruke .....	46
Slika 6.17 Završni izgled robotske ruke .....	46

## **POPIS TABLICA**

Tablica 4.1 Karakteristike Ender 3 printera [9] .....	27
Tablica 4.2 Karakteristike PLA plastike [10] .....	28

## SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

Ovaj rad prikazuje cjelokupni proces izrade robotske ruke. Sastoji se od dva dijela. Prvi dio obuhvaća teoretski i razvojni dio u koji ulaze konstrukcijska razrada, izradu 3D modela, opisivanje korištene elektronike i opisivanje načina izrade dijelova. U drugi, praktični dio ulaze programiranje sučelja za upravljanje robotske ruke, izrada dijelova pomoću aditivne tehnologije te priprema i montiranje svih komponenta u funkcionalnu cjelinu.

**Ključne riječi:** robotska ruka, aditivna tehnologija, sustav upravljanja

## ABSTRACT AND KEYWORDS

This paper shows the entire process of making a robotic arm. It consists of two parts. The first part includes the theoretical and development details, including parts design, creating 3D models, describing the electronics used, and how to make parts. The second practical part includes programming the interface for controlling robotic arms, making parts using additive technology, and preparing and assembling all components into a functional whole.

**Keywords:** robotic arm, additive technology, control system

## **PRILOZI**

Prilog 1 Postolje

Prilog 2 Ruka 1

Prilog 3 Ruka 2

Prilog 4 Ruka 3

Prilog 5 Hvataljka

Prilog 6 Sklop robotske ruke