

Šolski Center Celje

Srednja šola za strojništvo, mehatroniko in medije

Raziskovalna naloga

**RAZVOJ ROBOTSKE ROKE NA REŠEVALNEM
ROBOTU**

Področje: mehatronika

Avtorji

Dejan Polutnik M-4.C

Tian Oprešnik M-4.C

Mentor

dr. Matej Veber

Srečanje mladih raziskovalcev Murska Sobota

April 2025

IZJAVA

Mentor dr. Matej VEBER, univ. dipl. inž. v skladu z 20. členom Pravilnika o organizaciji mladinske raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, zagotavljam, da je v raziskovalni nalogi z naslovom *Razvoj robotske roke na reševalnem robotu*, katere avtorja sta Dejan Polutnik in Tian Oprešnik:

- besedilo v tiskani in elektronski obliki istovetno,
- pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature,
- da je za objavo fotografij v nalogi pridobljeno avtorjevo dovoljenje in je hranjeno v šolskem arhivu,
- da sme Osrednja knjižnica Celje objaviti raziskovalno nalogo v polnem besedilu na knjižničnih portalih z navedbo, da je raziskovalna naloga nastala v okviru projekta Mladi za Celje,
- da je raziskovalno nalogo dovoljeno uporabiti za izobraževalne in raziskovalne namene s povzemanjem misli, idej, konceptov oziroma besedil iz naloge ob upoštevanju avtorstva in korektnem citiranju,
- da smo seznanjeni z razpisni pogoji projekta Mladi za Celje.

Celje, 2.4. 2025

žig šole

Podpis mentorja

Podpis odgovorne osebe

*

POJASNILO

V skladu z 20. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje je potrebno podpisano izjavo mentorja (-ice) in odgovorne osebe šole vključiti v izvod za knjižnico, dovoljenje za objavo avtorja (-ice) fotografskega gradiva, katerega ni avtor (-ica) raziskovalne naloge, pa hrani šola v svojem arhivu.

RAZVOJ ROBOTSKE ROKE NA REŠEVALNEM ROBOTU

Ključne besede: robot, robotska roka, konstruiranje, mikroračunalnik, 3D-tisk

POVZETEK

V okviru raziskovalne naloge sva se s pomočjo programa za 3D-konstruiranje Creo Parametric poglobila v izris, funkcionalnost, zmanjšanja napetosti na oseh in testiranje robotske roke za reševalnega robota. V uvodu sva opredelila svoje cilje, hipoteze in metode raziskovanja, zatem pa je sledilo raziskovanje robotskih rok, izris robota in nato še robotske roke, pri čemer sva uporabila program Creo Parametric za oblikovanje njegovih komponent in testiranje in izvedbo simulacij obremenitev. V nadaljevanju sva opisala električno vezavo, kamere, motorje, mikroračunalnik in postopek 3D-tiskanja. V zaključku sva analizirala hipoteze in razmišljala o možnih dodatnih izboljšavah celotnega robota in robotske roke.

DEVELOPMENT OF A ROBOTIC ARM ON A RESCUE ROBOT

Keywords: robot, robotic arm, design, microcomputer, 3D printing.

ABSTRACT

As part of the research project, we used the 3D design program Creo Parametric to delve into the design, functionality, stress reduction on the axes, and testing of a robotic arm for a rescue robot. In the introduction, we defined our goals, hypotheses, and research methods, followed by research into robotic arms, designing the robot, and then the robotic arm, using the Creo Parametric program to design its components and testing and performing load simulations. We then described the electrical connections, cameras, motors, microcomputer, and the 3D printing process. In the conclusion, we analyzed the hypotheses and considered possible additional improvements to the entire robot and the robotic arm.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD.....	1
1.1 CILJI.....	2
1.2 HIPOTEZE.....	2
1.3 METODE RAZISKOVANJA.....	2
2 IZRIS MODELA.....	3
2.1 CAD: PROGRAM CREO PARAMETRIC 10.....	3
2.2 OGRODJE.....	3
2.3 PRENOS MEHANSKE SILE IN POGON.....	5
2.4 POGONSKA OS.....	5
2.5 MOTORJI.....	6
2.6 ELEKTRONIKA.....	6
2.7 POKROV.....	7
2.8 VENTILATORJA.....	7
2.9 FLEKSIBILNI/GUMIJASTI NASTAVKI NA POGONSKIH KOLESIH.....	8
3 ROBOTSKA ROKA.....	10
3.1 DEFINICIJA ROBOTSKE ROKE.....	10
3.2 VRSTE ROBOTSКИH ROK.....	10
3.2.1 Kartezična.....	11
3.2.2 Cilindrična.....	11
3.2.3 SCARA.....	12
3.2.4 Členasta.....	13
3.3 VRSTE POGONOV OSI.....	13
3.3.1 Direktni prenos.....	13
3.3.2 Indirektni prenos.....	14
3.4 KONSTRUIRANJE ROBOTSKE ROKE.....	14

3. 5 MOMENTI	15
3. 6 REDUKTOR	16
3. 7 PRVA VRTLJIVA OS	17
3. 8 DRUGA OS	18
3. 9 TRETJA OS	19
3. 9. 1 Samozapornost 3. osi	19
3. 9. 2 Sestavljanje 3. osi	20
3. 10 ČETRTA OS	21
3. 11 PETI MOTOR IN ROBOTSKO PRIJEMALO	21
3. 12 IZZIVI PRI KONSTRUIRANJU PLANETARNEGA GONILA IN NOSILNO- VEZNIH ELEMENTOV	22
4 ELEKTRIČNA VEZAVA	23
4.1 KAMERE	23
4.1.1 Sprednja kamera	23
4.1.2 Zadnja kamera	23
4.1.3 Kamera na roki	24
4.2 MOTORJI	24
4.3 NAPAJANJE	25
4.4 MIKRORAČUNALNIK (MOŽGANI)	26
4.5 KOMPONENTE (KOLESA, OGRODJE ...)	26
4.6 3D-TISKANJE	26
5 INŽENIRSKA ANALIZA	28
5. 1 Simulacija napetosti v oseh	28
6 ANALIZA IN IZBOLJŠAVE	30
6.1 ANALIZA HIPOTEZ	30
6.2 NADALJNJE IZBOLJŠAVE	30
7 ZAKLJUČEK	32

8 VIRI IN LITERATURA.....	33
---------------------------	----

KAZALO SLIK

Slika 1: CAD model reševalnega robota ekipe dijakov ŠCC, SŠ SMM iz leta 2019.....	1
Slika 2: Primer tekmovalnega robota z robotsko roko ekipe dijakov ŠCC, SŠ SMM iz leta 2023	1
Slika 3: 3D-model nosilnega ogrodja robota.....	4
Slika 4: Medeninasti vložki za plastiko.....	4
Slika 5: Kolo s fleksibilnimi nastavki	5
Slika 6: Pogonska os koles z ležajema in pogonskim zobnikom	6
Slika 7: Premer celotnega kolesa z nastavki.....	8
Slika 8: Prikaz zmagovalnega robota s fleksibilnimi nastavki iz leta 2024	9
Slika 9: Kartezični robot.....	11
Slika 10: Cilindrični robot.....	12
Slika 11: SCARA robot.....	12
Slika 12: Členasti robot	13
Slika 13: Sestav planetarnega gonila s servomotorjem	17
Slika 14: Notranjost planetarnega gonila	17
Slika 15: Sestav 1. osi s pritrjenim pogonskim sklopom 2. osi.....	18
Slika 16 : 2. os z nosilcem motorja za 3. os	18
Slika 17: Hitra skica mehanizma zgloba s polžastim prenosom	19
Slika 18: 3. os z mestom za pritrditev motorja 4. os	20
Slika 19: 4.os z nosilcem za 5. os.....	21
Slika 20: Končni sestav robotske roke	22
Slika 21: 180° kamera Sony.....	23
Slika 22: Zadnja kamera Megapixel.....	24
Slika 23: Servomotor Dynamixel AX-18A za pogon osi robotske roke.....	24
Slika 24: Servomotor Dynamixel XM430-W350-R za pogon koles.....	25
Slika 25: Baterija za napajanje robota Ace Bashing z zmogljivostjo 5500 mAh.....	25
Slika 26: Raspberry Pi 4.....	26
Slika 22: 3D-tiskalnik, ki uporablja tehnologijo FDM tiskanja	27

KAZALO TABEL

Tabela 1: Rezultati analize obremenitev posameznih osi robotske roke.....	28
Tabela 2: Simulacija napetosti 1. osi pri različnih obremenitvah.....	29
Tabela 3: Simulacija napetosti 2. osi pri različnih obremenitvah.....	29
Tabela 4: Simulacija napetosti 3. osi pri različnih obremenitvah.....	29
Tabela 5: Simulacija napetosti 4. osi pri različnih obremenitvah.....	29

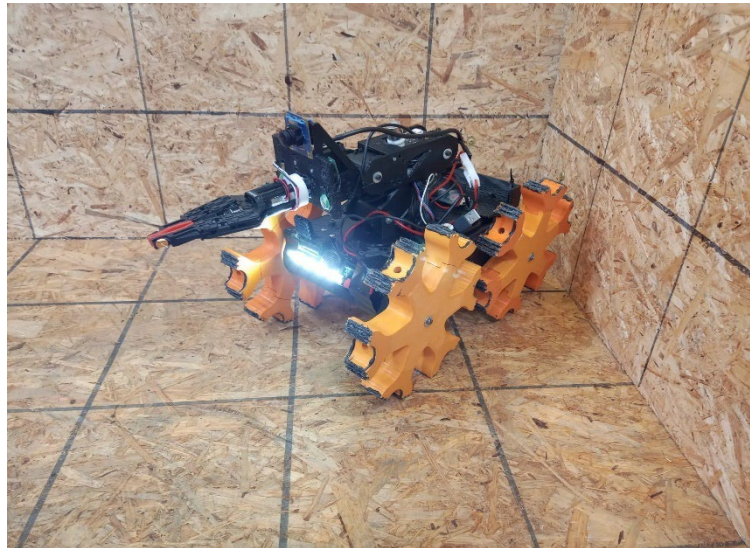
1 UVOD

Reševalni robot je vrsta robota, namenjena iskanju preživelih, navigiranju v težko dostopnih območjih in izvajanju reševalnih operacij s ciljem hitrega in učinkovitega odziva. Izgled različnih izvedb reševalnega robota lahko vidimo na slikah



Slika 1: CAD model reševalnega robota ekipe dijakov ŠCC, SŠ SMM iz leta 2019

(Vir: <https://grabcad.com/library/robocup-rescue-rmrc-robot-mechatronics-rescue-team-1>)



Slika 2: Primer tekmovalnega robota z robotsko roko ekipe dijakov ŠCC, SŠ SMM iz leta 2023

(Vir: https://major.robocup.de/wp-content/uploads/2023/09/20230709_PhotoBooth_MRT1-scaled-1.jpg)

Dandanes se vse bolj pogosto soočamo z izzivi, kot so naravne nesreč in katastrofe, ki lahko povzročijo uničujoče posledice za življenje. V duhu razvoja robotov, ki bi v teh nesrečah

pomagali, sva razvila najin koncept reševalnega robota, ki bo predstavljal vsestransko orodje za izvajanje mnogih kompleksnih nalog v najtežjih pogojih.

1.1 CILJI

Najin cilj je bil razvoj in izdelava delujočega reševalnega robota, ki bo lahko premagoval različne terene in bo opremljen s senzorji za lažje premikanje po prostoru ter robotsko roko, ki bo zmožna opravljati različne naloge pri opravljanju le-teh pa bodo zglobi samozaporni in na ta način razbremenili servomotorje, obenem pa bova ohranila okretnost in zanesljivost robotske roke. Glavni cilj raziskovalne naloge je raziskava možnosti nadgradenj in izboljšav robotske toke.

1.2 HIPOTEZE

1. Zgloba robotske roke na 2. in 3. osi bosta samozaporna.
2. Robotska roka bo lahko zadržala mase manjše od 200g.
3. Komponente robota bodo hitro zamenljive.

1.3 METODE RAZISKOVANJA

V postopku raziskovanja bova uporabila naslednji metodi:

- Metoda analize: temelji na razčlenitvi neke celote na njene osnovne sestavne enote. Na ta način sva si izdelavo robota razdelila na 2 dela: snovanje/konstruiranje in testiranje/simulacije.
- Eksperimentalna metoda bo zajemala načrtovanje in izvedbo preizkusov in simulacij, ki bodo testirali predpostavljene hipoteze.

2 IZRIS MODELA

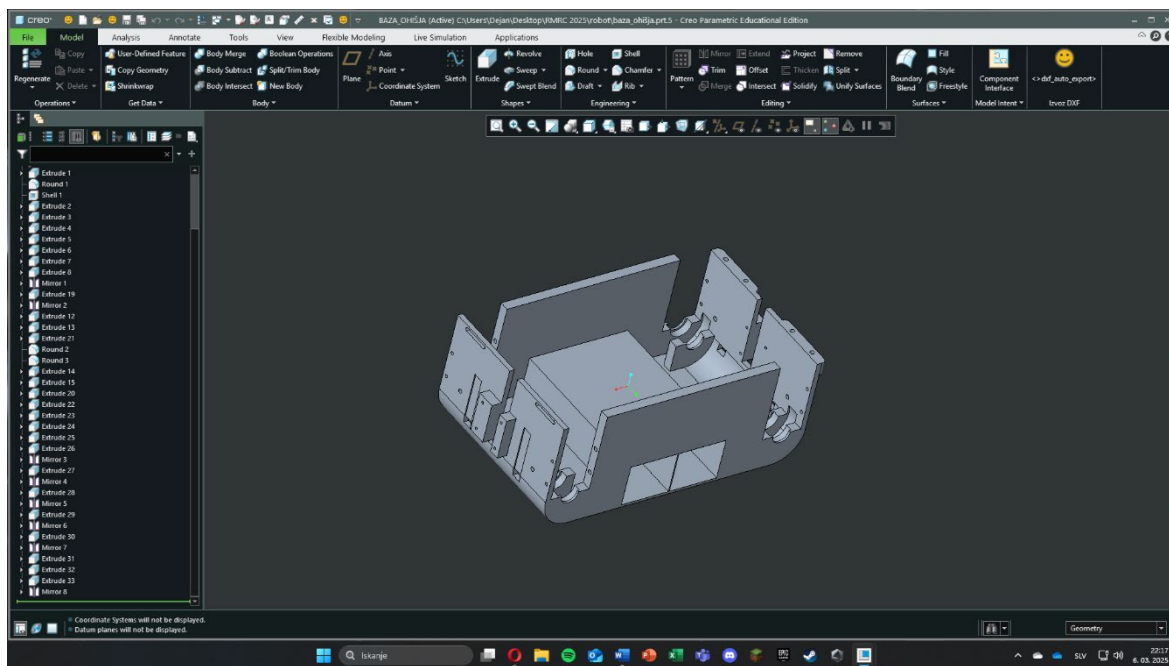
Za izris 3D-modela robota in roke sva uporabila program za računalniško podprto modeliranje Creo Parametric 10.

2.1 CAD: PROGRAM CREO PARAMETRIC 10

Creo Parametric 10 je računalniški program za načrtovanje (CAD), ki ga je razvilo podjetje PTC (Parametric Technology Corporation). Gre za zmogljivo orodje, ki se uporablja za modeliranje izdelkov v virtualnem okolju, inženiring in proizvodne procese. Creo Parametric 10 ponuja širok nabor funkcij, vključno s 3D-konstruiranjem kosov, fleksibilnim modeliranjem, konstruiranjem mehanizmov, pripravo na 3D-tisk, orodjem za tehnično dokumentacijo, simulacije in analize. Uporabnikom omogoča ustvarjanje kompleksnih delov, simulacijo resničnih pogojev in izdelavo podrobnih tehničnih risb. Creo Parametric se pogosto uporablja v različnih proizvodnih industrijah, kot so avtomobilska, letalska, potrošniška in elektronska industrija, za oblikovanje ter razvoj inovativnih izdelkov ter v procesu šolanja v stroki.

2.2 OGRODJE

Za dosego čim nižje končne teže, kompaktnosti, odmik od referenčne ravnine, dobri ventilaciji in enostavni zamenljivosti komponent robota sva se odločila, da ga bova izdelala s procesom 3D-tiskanja iz PLA-plastike (polylactic acid). Izbrala sva jo zaradi enostavnosti tiskanja in izjemnih karakteristik, ki vključujejo dobro trdnost ter vzdržljivost. Za pritrditev vseh ostalih sestavnih delov na ogrodje robota sva uporabila posebne medeninaste vložke za plastiko, ki sva jih s spajkalnikom stopila v natisnjene komponente. Ta postopek je omogočil stabilno, varno in zanesljivo pritrditev komponent na ogrodje robota. Vijake ustrezne velikosti sva nato privila v te vložke, kar je zagotovilo dobro pritrditev. Takšen pristop ne zagotavlja le enostavnega vzdrževanja, temveč omogoča tudi hitro in preprosto zamenjavo komponent, če je to potrebno. To je ključnega pomena za učinkovito upravljanje in vzdrževanje robota v različnih situacijah, npr. na tekmovanju. S tem sva zagotovila, da je najin robot zanesljiv in funkcionalen.



Slika 3: 3D-model nosilnega ogrodja robota

(Vir: osebni arhiv)



Slika 4: Medeninasti vložki za plastiko

(Vir: <https://www.3djake.si/3djake/vlozki-navojev-komplet-50>)

2.3 PRENOS MEHANSKE SILE IN POGON

Za prenašanje mehanske sile iz motorja na podlago imamo veliko možnosti, npr. gosenice, gume, fleksibilni nastavki na pogonskih kolesih ... Zaradi lahke izdelave, transporta in velike učinkovitosti sva se odločila za 6-kraka kolesa s fleksibilnimi nastavki, kar vidimo na sliki spodaj.



Slika 5: Kolo s fleksibilnimi nastavki

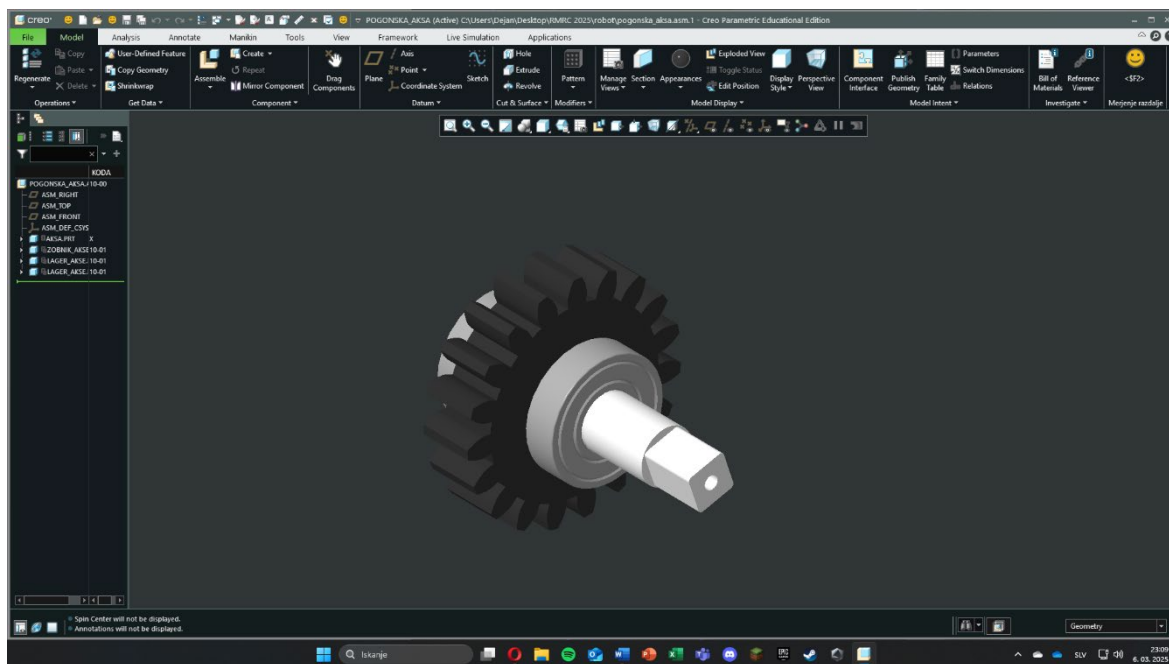
(Vir: osebni arhiv)

Natisnila sva jih s 3D-tiskalnikom, in sicer iz dveh materialov. Sredinski del kolesa bele barve je izdelan iz PLA zaradi trdote in odpornosti, zunanji deli noge pa iz TPU zaradi prožnosti TPU-materiala, saj je TPU vrsta gume

2.4 POGONSKA OS

Po koncu raziskovanja sva začela z izdelovanjem prvih skic in risb robota in robotske roke. Začela sva z izbiro motorjev. Najina prvotna ideja je bila, da bi za pogon uporabila koračni motor NEMA 17 z integriranim planetarnim gonilom, vendar sva to idejo kmalu zavrgla, saj bi motorji zavzeli preveč prostora v ogrodju robota, prav tako pa so bili pretežki. Odločila sva se za pogon s servomotorji in zobniškim prenosom, s prestavnim razmerjem, 2 : 3, saj sva izvedela, da se je to razmerje dobro obneslo na tekmovalnem robotu najinih

predhodnikov. Zobnike sva morala pritrditi na ohišje robota, kar sva naredila s pomočjo ležajev velikosti 22 mm x 10 mm x 6 mm in posebej zasnovanim razstavljivim ohišjem osi. Takšna pritrditev zagotavlja stabilnost in zanesljivo delovanje zobniškega prenosa ter omogoča učinkovito delovanje motorjev.



Slika 6: Pogonska os koles z ležajema in pogonskim zobnikom

(Vir: osebni arhiv)

2.5 MOTORJI

Motorje sva vstavila v posebne predele, ki so bili izdelani po njihovih merah, in jih nato pritrdila s pokrovom, ki je bil z vijaki M4 x 20 mm privit v vložke v ohišju. Motorji so imeli na svoji pogonski osi s 4 vijaki M2 x 8 mm pritrjen zobnik z 12 zobci. Ti zobniki pa so gnali zobnike, ki so bili predstavljeni že predhodno. Ležaje za pogonsko os sva pričvrstila s posebnimi plastičnimi deli, ki sva jih privila v trup robota.

2.6 ELEKTRONIKA

Pri risanju postavitve sestavnih delov robota sva morala upoštevati tudi razporeditev Raspberry Pi-ja, gonilnikov za motorje, baterij in ostalih električnih komponent. Pri tem sva se osredotočila na smiselno in učinkovito postavitvev, ki bi zagotovila optimalno delovanje in servisiranje. Bateriji sva postavila povsem na dno robota zaradi njune teže, in sicer na

sredino. Raspberry Pi potrebuje dobro prezračevanje, zato sva ga namestila na sredino robota, kjer je pretok zraka najboljši. Enako sva storila tudi z gonilniki, saj se ti pogosto pregrevajo in potrebujejo ustrezno hlajenje.

2.7 POKROV

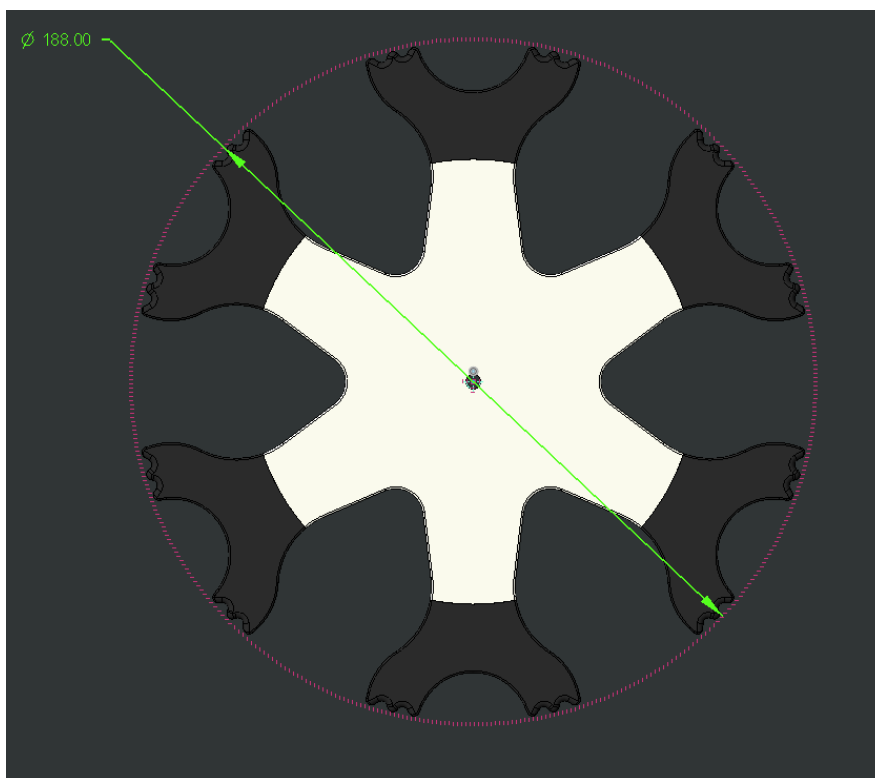
Vse notranje komponente je bilo potrebno zavarovati pred zunanjimi vplivi, zato sva to naredila s pokrovom, ki se vstavi v posebej oblikovane reže na levi strani robota, medtem ko ga na drugi strani privijamo v vložke v robu ohišja, s pomočjo vijakov M3 x 15 mm. Pokrov pa ima prav tako nalogo nošenja roke, obenem pa pripomore k večji trdnosti in togosti robota, zato mora biti kakovostno izdelan in močan. Izdelala sva ga iz PLA-plastike, saj je učinkovita in dovolj močna.

2.8 VENTILATORJA

Celoten robot mora biti dobro prezračevan, zato sva na pokrov dodala dva ventilatorja velikosti 40 mm x 40 mm x 5 mm. Ventilatorja smo namestili tako, da sta obrnjena v nasprotni smeri, kar omogoča stalen pretok zraka skozi celotnega robota. Eden od ventilatorjev usmerja hladnejši zrak v notranjost robota, medtem ko drugi ven vleče toplega oz. vročega. Ventilatorje smo pritrdili s pomočjo vložkov za plastiko, v katere smo privijali vijake M3 x 15 mm.

2.9 FLEKSIBILNI/GUMIJASTI NASTAVKI NA POGONSKIH KOLESIH

Za zagotovitev stabilnega premikanja robota po različnih terenih sva se, po zgledu predhodnikov, odločila uporabiti fleksibilne nastavke na pogonskih kolesih. Ti so bili izbrani zaradi njihovih sposobnosti, enostavnega proizvodnje in menjave. Dimenzije koles ter nastavkov sva ohranila, saj so se v preteklih letih pokazale kot zanesljive in najbolj primerne za opravljanje željenih nalog. Premer koles pa prav tako zagotavlja večjo višino robota od referenčne ravnine, da se ne bi zataknil oz. nasedel na neravnih terenih. Dimenzije fleksibilnih nastavkov sva natančno določila. Širina le-teh je 30 mm, premer krožnega izseka pa je 188 mm. Fleksibilne nastavke sva pritrdila na robota z vijaki M3 x 16 mm, ki sva jih privila v ustrezne medeninaste vložke v kolesih. Za učinkovit prenos sil med kolesom s fleksibilnimi nastavki in pogonsko osjo sva oblikovala kvadratno obliko na pogonski osi, ki se je ujemala z obliko luknje v nastavkih.



Slika 7: Premer celotnega kolesa z nastavki

(Vir: osebni vir)



Slika 8: Prikaz zmagovalnega robota s fleksibilnimi nastavki iz leta 2024

(Vir: <https://www.facebook.com/people/RoboCup-Rescue-RMRC-ŠC-Celje-Slovenia-EU/100094180597021/>)

3 ROBOTSKA ROKA

3.1 DEFINICIJA ROBOTSKE ROKE

Robotska roka je vrsta roke na mehanski pogon, z možnostjo programiranja in ima podobne funkcije kot človeška roka. Roka je lahko samostojna naprava oz. mehanizem ali pa del bolj zapletenega robota, na kakršnega bo pritrjena najina robotska roka. Roka je vrsta manipulatorja (naprave za premikanje neke stvari oz. izdelka) povezana s sklepi, ki omogočajo rotacijsko gibanje (vrtljivo) kot na primer pri zgibnem robotu ali translacijsko (linearno) premikanje. Povezave takšnega manipulatorja lahko imenujemo kinematična veriga. Konec kinematične verige manipulatorja se imenuje končni efektor, to pa je najpogosteje kakšno prijemalo.

V pravilih tekmovanja je navedeno, da mora robot izvajati naloge natančno in zanesljivo, kar pomeni, da mora imeti ustrezno kontrolo nad gibanjem in pozicioniranjem sklepov svoje roke, kar lahko dosežemo z uporabo ročnega krmiljenja posameznih osi ali pa z uporabo tako imenovane kinematike. Z uporabo le-te lahko dosežemo linearno gibanje prijemala kljub vrtilnemu gibanju na vseh oseh, kar v praksi pomeni, da robot preračunava kote in hitrosti zasuka posameznih osi, da to gibanje dosežemo. To gibanje na koncu izgleda kot gibanje človeške roke iz koder tudi izhaja poimenovanje "roka".

3.2 VRSTE ROBOTSkih ROK

V industriji poznamo več različnih robotskih rok, ki se razlikujejo po velikosti, načinu krmiljenja, izvedbi pogona, namembnosti ipd., kar močno vpliva na njihovo konstrukcijo in načina izvedbe gibov.

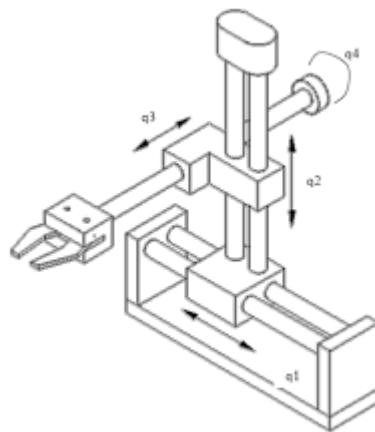
V osnovi delimo robotske roke na 6 tipov:

- kartezične,
- cilindrične,
- sferične,
- SCARA robote,
- paralelne in
- kombinirane oz. členaste

V nadaljevanju bova predstavila 4 najbolj uporabljane tipe robotskih rok

3. 2. 1 Kartezična

“Kinematično najenostavnejša je kartezična robotska roka. Ima tri translacijske sklepe (oznaka TTT), ki premikajo vrh roke v treh med seboj pravokotnih smereh. Uporabljajo jih za montažo elementov na ravnih površinah, v skladiščih s policami in pri transportu” (Kocjančič, 2016, str. 47).

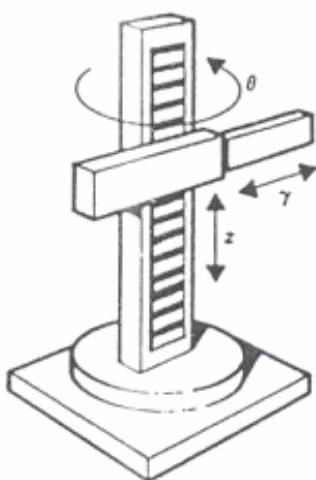


Slika 9: Kartezični robot

(Vir: <https://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4201203835.pdf>)

3. 2. 2 Cilindrična

“Podobna je roka, ki ima za osnovo cilindrični koordinatni sistem. Prvi sklep je rotacijski in z vrtenjem okoli navpične (z) osi. Preostala dva sklepa sta translacijska, eden v navpični in drugi v vodoravni smeri (oznaka RTT)” (Kocjančič, 2016, str. 48).

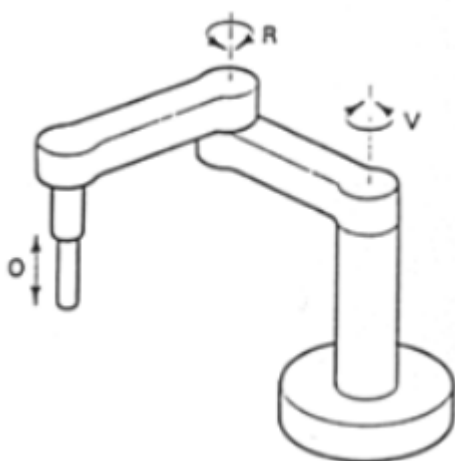


Slika 10: Cilindrični robot

(Vir: <https://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4201203835.pdf>)

3. 2. 3 SCARA

“Prav tako dve rotaciji in eno translacijo ima robotska roka, ki je znana pod imenom Scara. Podnožje je vrtljivo okoli navpične osi, translacija pa je mogoča v navpični smeri kot pri cilindričnem robotu (RTR). Tudi drugi rotacijski sklep je vrtljiv okoli navpične osi, ki pa ne sovпада z osjo prve translacije. Taka roka je primerna za montažna dela” (Kocjančič, 2016, str. 49).

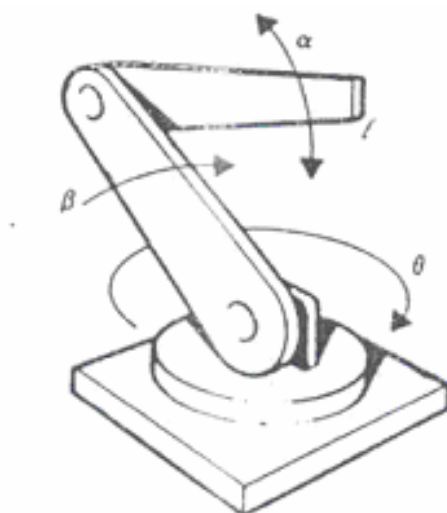


Slika 11: SCARA robot

(Vir: <https://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4201203835.pdf>)

3. 2. 4 Členasta

“Najbolj antropomorfno obliko ima členasta robotska roka s tremi rotacijskimi sklepi. Podnožje je vrtljivo okoli navpične osi, druga dva sklepa pa okoli vzporednih, vodoravnih osi (oznaka RRR). Ta oblika omogoča veliko prilagodljivost. V rabi sta dve podzvrsti členaste roke. Roka s komolcem (znan je robot PUMA) ima vse tri motorje nameščene v sklepih medtem. Roka s paralerogramsko obliko drugega segmenta ima pogon tretjega segmenta nameščen na prvem segmentu (robot Cincinnati Milacron T3 735). Ker teži motorjev nosi prvi segment sta lahko drugi in tretji segment mnogo lažja in motorja za drugi in tretji sklep šibkejša. V dinamičnem smislu ga je lažje obvladati, medtem ko je krmiljenje položaja enostavnejše za členasto roko s komolcem” (Kocjančič, 2016, str. 50).



Slika 12: Členasti robot

(Vir: <https://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4201203835.pdf>)

3. 3 VRSTE POGONOV OSI

Pri robotskih rokah imamo v grobem za pogon osi na voljo 2 vrsti prenosov moči iz motorja.

3. 3. 1 Direktni prenos

Direktni prenos, kot že ime pove gibanje osi izvaja direktno, kar pomeni da je motor pri npr. členastem robotu fiksno pritrjen (navadno z vijaki) in je osovina motorja pritrjena direktno na gnano os. Ta način je primeren za manjše robote, ki ne dvigujejo večjih bremen a morajo

biti hkrati zelo odzivni in natančni. V večini primerov se za to uporabljajo servomotorji, ki imajo senzor za pozicioniranje, kar jim omogoča da vedno vedo za koliko stopinj je os zavrtena od reference, pogosto pa se za to uporabijo tudi koračni motorji, ki te senzoričke nimajo, imajo pa prednost pri samodržnosti, kar pomeni, da med tem ko so priključeni na napajanje in mirujejo držijo navor, to pa pomeni, da se os ne povese zaradi lastne teže, vendar pa se zato koračni motorji v mirovanju bistveno bolj segrevajo. Prav tako se za direktni pogon uporabljajo harmonični akuatorji (integrirani motorji), saj so zelo odzivni in natančni, zato jih uporabljamo v medicinskih, kolaborativnih in laboratorijskih robotih.

3. 3. 2 Indirektni prenos

Ime nam pove, da tokrat motor ne žene osi same temveč posredno preko reduktorja, menjalnika, zobnikov, jermenov, harmonic drive mehanizmov, polžastega prenosa itd. Na ta način občutno povečamo navor, obenem pa se zaradi dodatnih sestavnih delov zmanjšuje hitrost in povečuje zračnost, česar posledica je ti. backlash. Primerne za te pogoje so koračni motorji z reduktorji za večji navor, DC motorji s kodirniki in menjalniki ter servomotorji z dodanimi menjalniki ali reduktorji. Ti motorji in prenosi se uporabljajo v industrijskih robotih (KUKA, Fanuc, ABB ...), težkih manipulatorskih rokah za premikanje velikih bremen in tudi v eksoskeletih ter rehabilitacijskih robotih.

3. 4 KONSTRUIRANJE ROBOTSKE ROKE

Po opravljeni raziskavi sva začela zbirati ideje o obliki roke, njenem dosegu, vrsti prenosov za pogon osi, način izvedbe teh prenosov, ter vrsti motorjev za pogon te roke.

Začela sva z osnovnim načrtom roke, ki je predstavljal osnovo za nadaljnji razvoj. Najina vizija je bila ustvariti robotsko roko dolžine približno 350 mm do prirobnice robotskega prijemala, ko je v celoti iztegnjena, kar bi omogočalo raznoliko uporabo v različnih pogojih. Izbrala sva servomotorje podjetja Dynamixel in sicer za AX-18A servomotorje, ki so se pokazali kot najbolj primerni za najine potrebe in želje. S predhodno raziskavo sva se izognila modelu AX-12A, ki ima v notranjosti le plastične zobnike, kar bi zaradi obremenitev lahko predstavljalo težavo zaradi prezgodnje izrabe, izbrani model pa le teh nima saj je v notranjosti kombinacija kovinskih in plastičnih zobnikov, kar poveča vzdržljivost in odpornost na obrabo. Navkljub izboru močnejših in odpornejših motorjev pa

sva se še vseeno odločila na 2. in 3. osi narediti redukcijo s planetarnim gonilom, ki je omogočil razbremenitev motorjev, samozapornost roke ter povečanje navora.

Začela sva z ustvarjanjem grobe skice oblike in izgleda roke ter razporeditev motorjev, kar je omogočilo boljšo predstavo o končnem izdelku. V nadaljnjem razvoju načrta sva se osredotočila na več ključnih vidikov:

- Izbira ustreznih materialov za izdelavo, da zagotoviva trpežnost in stabilnost roke,
- načrtovanje krmiljenja roke,
- varovanje motorjev, pred preobremenitvijo in poškodbami.

Z upoštevanjem teh zahtev sva oblikovala ustrezne zaščitne mehanizme, ki so podaljšali življenjsko dobo motorjev in povečali zanesljivost robotske roke.

3. 5 MOMENTI

Po osnovni zasnovi sva začela z izračuni sil, ki so nama povedale ali bodo servomotorji dovolj močni in na katerih oseh bo roka najbolj obremenjena. Izračun je temeljil na ravnotežnostni enačbi momentov, ki pravi: "Da je vsota vseh zunanjih in notranjih sil (momentov) posameznega del enaka nič (saj tak del dejansko miruje)." (Jerman, 2017: 4). Z uporabo tega načela sva določila moment okoli prve osi, ki je bil zanemarljiv, saj se moment izračuna kot zmnožek sile in ročice, ki se vrti okoli fiksnega središča, v najinem primeru pa ročice ni, ker je pravokotna na središče vrtilne osi. Po enakem sistemu sva izračunala vrednosti tudi za 2. in 3. os, kjer so si bile vrednosti zelo podobne in sicer okoli 0,95 Nm brez obremenitve in, 1,37 Nm med obremenitvijo. Nato sva preučila specifikacije motorjev na uradni spletni strani proizvajalca in ugotovila, da motorji pri statični obremenitvi prenesejo 1,83 Nm. Na podlagi teh podatkov ter izkušnje lanske ekipe sva se odločila, da na 2. in 3. os dodava planetni reduktor, ki je povečal moč na teh dveh sklepih. Vsi izračuni so predstavljeni spodaj.

Izračun:

$$F_g = 60 \text{ g} = 0,59 \text{ N} \quad M_G = M_A + M_B + M_C + M_D =$$

$$F_{g2} = 150 \text{ g} = 1,47 \text{ N} = (F_g * a) + (F_g * b) + (F_g * c) + (F_{g2} * d) =$$

$$a = 115 \text{ mm} = 0,115 \text{ m} = 0,06785 \text{ Nm} + 0,1357 \text{ Nm} + 0,177 \text{ Nm} + 0,5586 \text{ Nm} =$$

$b = 230 \text{ mm} = 0,23 \text{ m} = 0,93915 \text{ Nm} \Rightarrow$ brez obremenitve in plastičnih delov

$c = 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m}$

$d = 380 \text{ mm} = 0,38 \text{ m}$

Z OBREMENITVIJO IN 3D NATISNJENIMI DELI:

$F_g = 70 \text{ g} = 0,687 \text{ N}$ MG = MA + MB + MC + MD =

$F_{g2} = 250 \text{ g} = 2,45 \text{ N} = 0,079 \text{ Nm} + 0,158 \text{ Nm} + 0,206 \text{ Nm} + 0,931 \text{ Nm} =$

$a = 0,115 \text{ m} = 1,374 \text{ Nm} \Rightarrow$ Z OBREMENITVIJO IN TEŽO DELOV

$b = 0,23 \text{ m}$

$c = 0,3 \text{ m}$

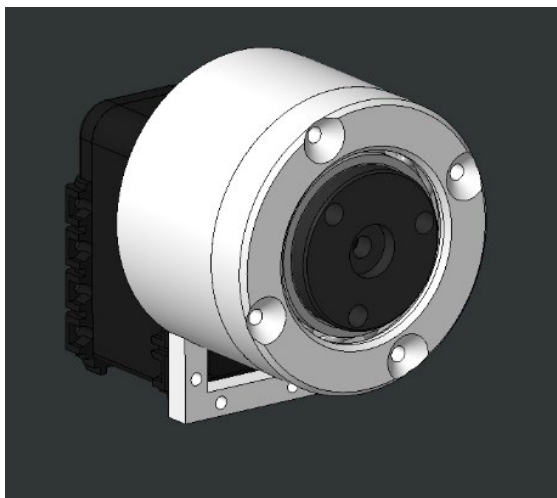
$d = 0,38 \text{ m}$

3. 6 REDUKTOR

Po opravljeni analizi sva se odločila ohraniti planetarno gonilo na 2. osi, saj je občutno manjši od tradicionalnega zobniškega reduktorja, obenem pa zagotavlja enako zmogljivost. Dodatna prednost planetarnega gonila pa je enakomerna razporeditev sil na 3 planetnih zobnikih, kar zmanjša možnost zlomov komponent v reduktorju. Reduktor sva s tehnologijo 3D-tiskanja izdelala iz PLA-plastike, saj ta material zadostuje najinim potrebam in omogoča zadostno trdnost ter vzdržljivost.

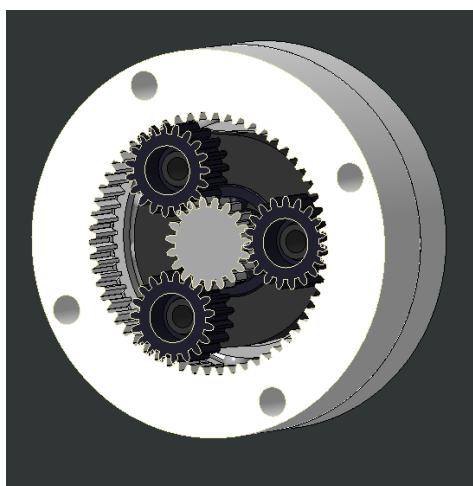
Začetno načrtovanje reduktorja je potekalo v programu Creo Parametric 10, pri čemer sva upoštevala več kriterijev, med slednjimi so bili tudi pritrditev reduktorja na motor, trajnost in kompaktnost. Reduktor je zasnovan z zunanjim ohišjem, ki se pritrdi na motor s pomočjo 6 vijakov M2 x 10 mm. Sestavljen je iz 3 planetnih zobnikov z 19 zobci in 1 sončnega zobnika enake velikosti. V vsak zobnik sva vstavila ležaje velikosti 7 mm x 3 mm x 3 mm, ki zagotavljajo nemoteno vrtenje zobnikov v reduktorju. Zobnike sva pritrdila na zunanjo os z vijaki M3 x 25 mm, nato pa sva jih dodatno naoljila in vstavila v ohišje motorja. Tako sva dodatno zavarovala komponente pred prezgodnjo obrabo in sočasno naredila reduktor še tišji. Zunanja os je opremljena tudi z ležajem velikosti 42 mm x 30 mm x 5 mm, ki je

vstavljen v pokrov reduktorja. Celoten reduktor je prikazan na sliki 9, kjer so vidne vse zunanje komponente, medtem ko je notranja struktura vidna na sliki 10.



Slika 13: Sestav planetarnega gonila s servomotorjem

(Vir: osebni arhiv)



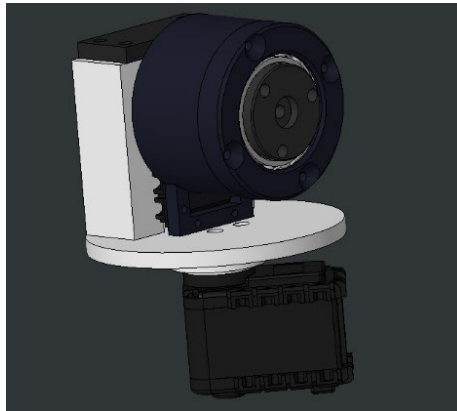
Slika 14: Notranjost planetarnega gonila

(Vir: osebni arhiv)

3. 7 PRVA VRTLJIVA OS

Začela sva s montažo prvega motorja, ki sva ga pritrdila na pokrov robota s pomočjo 4 vijakov velikosti M2 x 16 mm. Prvi motor je ključnega pomena za omogočanje krožnega obračanja roke za 360° okoli robota. Nato sva nanj namestila plastičen nosilec 2. motorja. Tega sva pritrdila s 4 vijaki velikosti M2 x 20 mm. Za izboljšanje prenosa sil in povečanja

trdnosti roke sva v pokrov roke vgradila ležaj velikosti 42 mm x 30 mm x 5 mm, v katerega sva namestila nosilec motorja 2. osi.

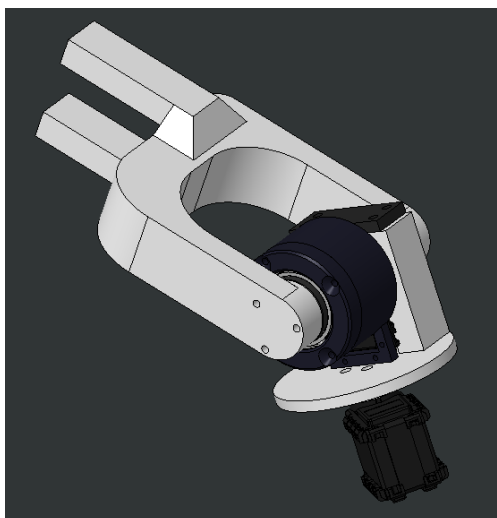


Slika 15: Sestav 1. osi s pritrjenim pogonskim sklopom 2. osi

(Vir: osebni arhiv)

3. 8 DRUGA OS

Na nosilec sva najprej pritrčila motor s planetnim reduktorjem, ki je bil že prej predstavljen. Pritrdila sva ga s pomočjo t. i. pokrova motorjev, ki je bil privit v nosilec motorja 2. osi, z vnaprej vstavljenimi medeninastimi vložki velikosti M4. Na motor sva nato pritrčila drugi del robotske roke, ki služi premiku roke v dolžino in prav tako deluje s pomočjo planetnega reduktorja. Nato sva ga na motor pritrčila z vijakom M3 x 15 mm, ki je privit skozi ležaj velikosti 7 mm x 3 mm x 3 mm.



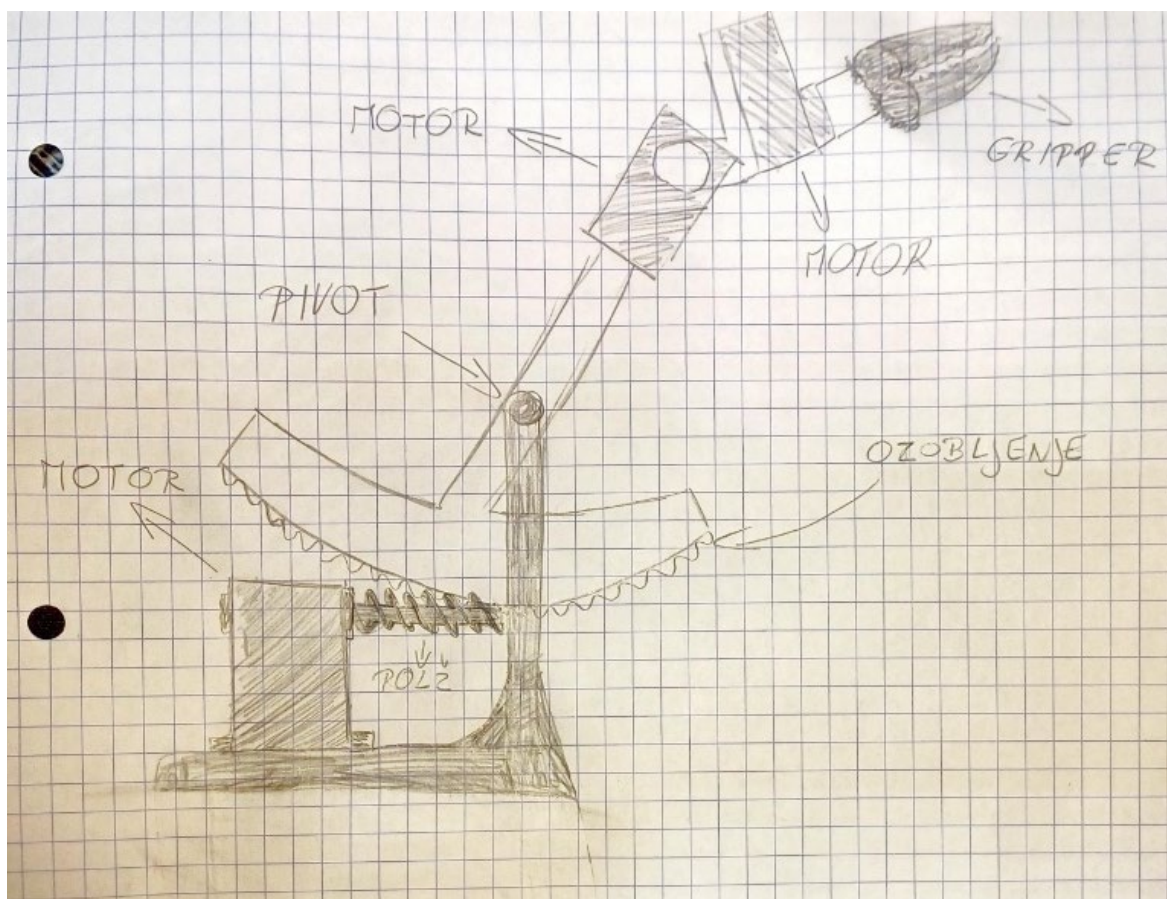
Slika 16 : 2. os z nosilcem motorja za 3. os

(Vir: osebni arhiv)

3. 9 TRETJA OS

3. 9. 1 Samozapornost 3. osi

3. os nama je predstavljala poseben izziv, saj je na prejšnjih verzijah robota imela direkten prenos gibanja, kar se je pokazalo kot neugodno, saj se je motor zaradi teže komponent pritrjenih od te točke dalje naprezal z držanjem stalnega navora in se zato pregreval. Med raziskovanjem sva opazila da je za samozapornost, ki bi servomotor razbremenila na voljo več različnih rešitev. Najprej sva preizkusila možnost prenosa gibanja s pomočjo polžastega gonila, ki bi bil sicer za samozapornost idealen, vendar sva ugotovila, da bi bil takšen mehanizem za to aplikacijo neprimeren, saj bi zavzemal preveč prostora, kar bi predstavljalo dodatno težo in oviralo okretnost roke in samega robota, zato sva jo zavrgla.



Slika 17: Hitra skica mehanizma zgloba s polžastim prenosom

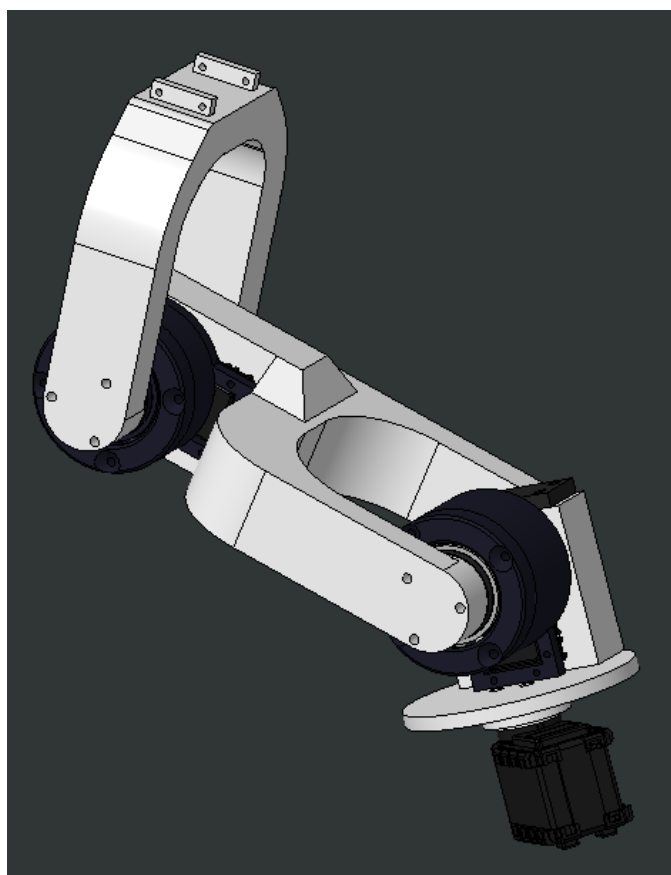
(Vir: osebni arhiv)

Na koncu sva se odločila za še eno enako planetno gonilo, katerega sva nato narisala in ga zožila, da sva zmanjšala končno težo. Pri sestavljanju roke sva opazila, da nisva upoštevala

zadostnih toleranc in se zato komponente planetarnega gonila niso med seboj ujemale, pokrova pa ni bilo mogoče pritrčiti na ohišje. To sva najprej odpravila ročno z brušenjem, nato pa sva preverjeno delujoče komponente izmerila in jih nato v CAD risbi spremenila in nazadnje še natisnila s 3D-tiskalnikom Zaradi spremembe pogona na osi pa sva morala na novo izrisati tudi nosilne oz. vezne člene med osmi.

3. 9. 2 Sestavljanje 3. osi

3. os je sestavljen iz enega motorja, ki je pritrjen na drugi vezni člen na enak način kot prejšnji. Na ta motor sva nato namestila zgoraj opisan reduktor in vse skupaj privijačila. Nato sva nanj pričvrstila tretji plastični del roke, v katerega sva prej vstavila ležaj velikosti 7 mm x 3 mm x 3 mm, ki izboljšuje gibljivost roke in zmanjšuje obrabo. Tretji del sva pritrčila na motor z vijakom M3 x 15 mm in 3 vijaki M3 x 20 mm na drugi strani.

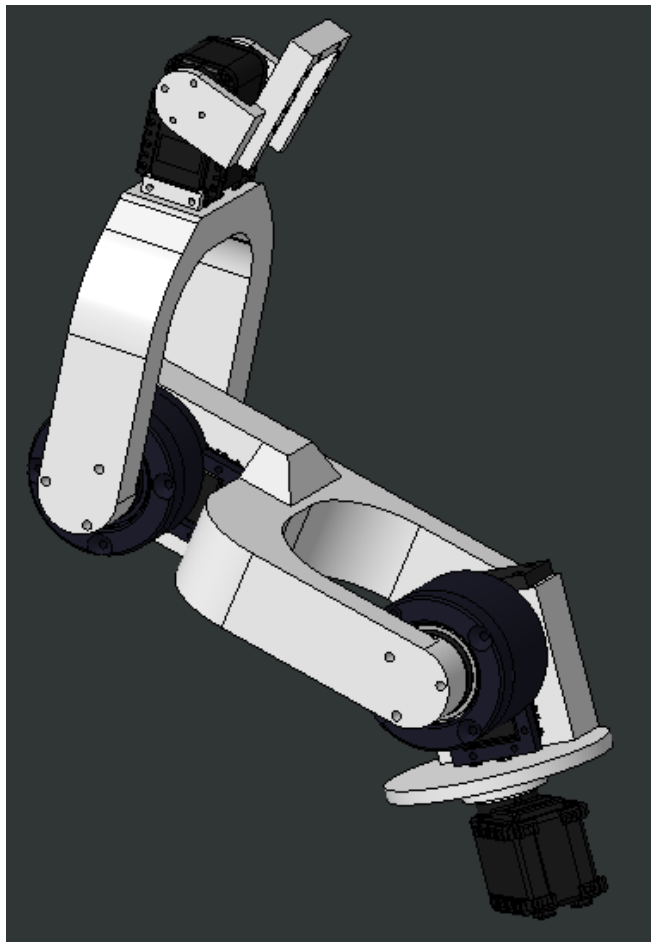


Slika 18: 3. os z mestom za pritrčitev motorja 4. os

(Vir: osebni arhiv)

3. 10 ČETRTRA OS

Četrty motor je pritrjen na tretji del s 4 vijaki M2 x 20 mm. Enako kot prej je v četrti del že vstavljen ležaj velikosti 7 mm x 3 mm x 3 mm, ki izboljšuje gibljivost roke in zmanjšuje obrabo. Nato sva četrti del pritrdila na motor z vijakom M3 x 15 mm na eni strani in s 4 vijaki M2 x 16 mm na drugi strani.



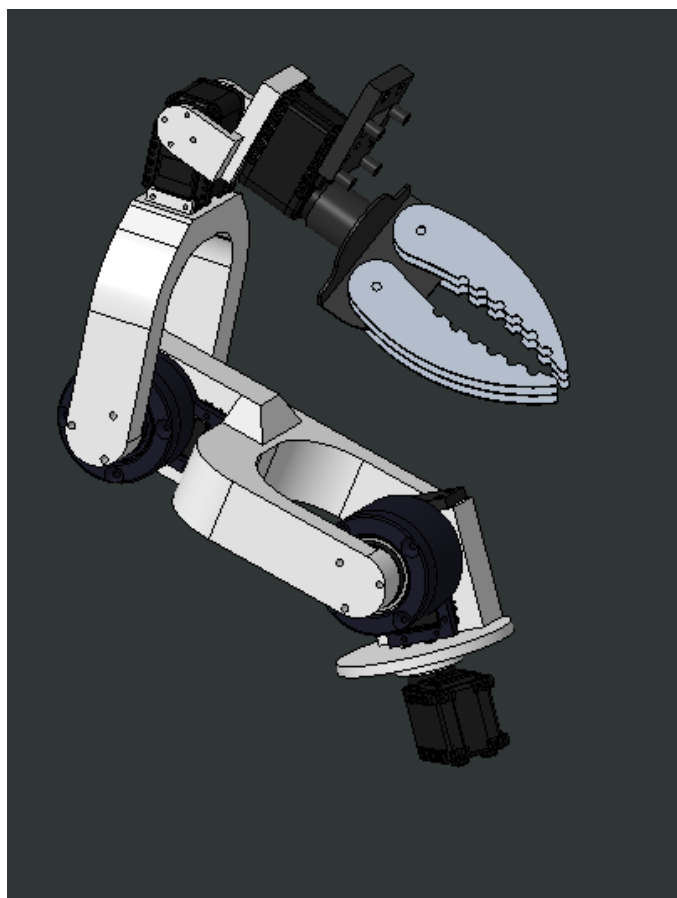
Slika 19: 4.os z nosilcem za 5. os

(Vir: osebni arhiv)

3. 11 PETI MOTOR IN ROBOTSKO PRIJEMALO

Za konec sva na četrti plastični del pritrdila peti motor, ki služi za rotacijo prstov robotske roke. Motor sva pritrdila na četrti del s 4 vijaki M2 x 20 mm. Na ohišje motorja sva nato privijačila če nosilec za kamero in luč ter na prirobnico servomotorja pritrdila novo prijemalo

G6 narejeno iz aluminijeve zlitine, saj sva želela povečati robustnost samega prijemala zaradi zloma 3D-natisnjene, ki so ga uporabljali leto prej.



Slika 20: Končni sestav robotske roke

(Vir: osebni arhiv)

3. 12 IZZIVI PRI KONSTRUIRANJU PLANETARNEGA GONILA IN NOSILNO-VEZNIH ELEMENTOV

Pri konstruiranju robota sva imela na začetku nekaj težav, saj še nisva bila večča vseh potrebnih funkcij programa Creo Parametric 10 in se zato tolerance med natisnjenimi kosi niso ujemale, kar je pomenilo da sva morala kose zavreči. Prav tako sva po izrisu vsakega kosa izvedla simulacije obremenitev in na ta način določila šibke točke posameznega kosa, nato pa jih popravila na potrebnih mestih in s tem zagotovila vzdržljivost na mehanske obremenitve ter zagotovila zanesljivost končnega izdelka.

4 ELEKTRIČNA VEZAVA

4.1 KAMERE

Za najin projekt potrebujeva pogled s sprednjega in zadnjega dela robota, kar nama omogoča boljši pregled nad okolico in lažje izogibanje oviram med vožnjo.

4.1.1 Sprednja kamera

Za sprednjo kamero sva izbrala Sonyjevo kamero, ki omogoča zajem slike v 180° polju okoli sebe. Ta kamera je ključna za premikanje po prostoru in zaznavanje terena, ki je pred nami.



Slika 21: 180° kamera Sony

(Vir: <https://www.amazon.com/ELP-IMX322-Sensor-Camera-Module/dp/B071YBT4ZK?th=1>)

4.1.2 Zadnja kamera

Za zadnjo kamero sva izbrala lahko kamero proizvajalca Megapixel. Ta kamera ima visoko ločljivost, in sicer 180° širokokotni objektiv brez popačenja, ki omogoča zajem visokokakovostnih videoposnetkov. Deluje preko povezave USB in ne zahteva dodatnih gonilnikov, kar olajša namestitev in uporabo. Za uporabo te sva se odločila, ker je imela lanska tekmovalna ekipa z njo dobre izkušnje in nam jo je priporočala.



Slika 22: Zadnja kamera Megapixel

(Vir: <https://www.amazon.com/ELP-Camera-Megapixel-Windows-Android/dp/B00KA7WSSU>)

4.1.3 Kamera na roki

Pri tej kameri ne potrebujemo širokokotnega objektiv, temveč oster pogled naravnost za lažje zaznavanje in prepoznavanje znakov za nevarnost in branje QR-kod.

4.2 MOTORJI

Razmišljala sva o različnih vrstah motorjev (servo, koračni, DC ...). Po temeljitnem raziskovanju sva se odločila za uporabo servomotorjev, saj so primerni za najine potrebe zaradi svoje vodljivosti, kompaktnosti in razpoložljivosti.

Na koncu sva se odločila za motorje Dynamixel AX-18A za pogon roke in motorje Dynamixel XM430-W350-R za pogon koles, saj so obojni opremljeni s številnimi senzorji, ki vključujejo merilnike temperature, kota osi in navora. Za motorje XM430-W350-R pri pogonskih kolesih pa sva se odločila, ker so imeli, po podatkih lanske ekipe, motorji AX 18A premalo navora za premagovanje težjega terena kot so stopnice in so si pri tem pomagali z dvigovanjem z robotskim prijmalom, ki se je kot posledica preobremenitve zlomilo.



Slika 23: Servomotor Dynamixel AX-18A za pogon osi robotske roke

(Vir: <https://manual.robotis.com/docs/en/dxl/ax/ax-18a/>)



Slika 24: Servomotor Dynamixel XM430-W350-R za pogon koles

(Vir: <https://www.robotis.us/dynamixel-xm430-w350-r/>)

4.3 NAPA JANJE

Na trgu sva zasledila veliko vrst baterij (litijeve, alkalne, gel baterije, NiMH ...). Vsaka od teh pa ima svoje prednosti in slabosti. Po analizi sva se odločila za uporabo LiPo baterij, ki so znane tudi kot litij-polimerske baterije. Izbrala sva jih zaradi njihove zanesljivosti ob pravilni uporabi, lahki teži v primerjavi z drugimi baterijami na trgu in njihove modularnosti, ki omogoča različne napetosti (1s, 2s, 3s ...). Odločila sva se za 3s baterije, saj potrebujemo vsaj 11,1 V za napajanje najinih motorjev.

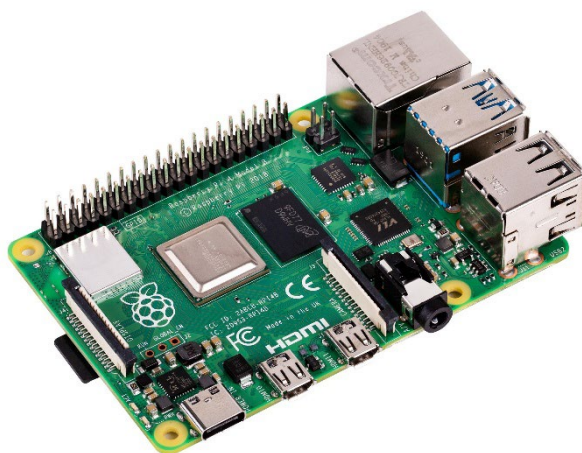


Slika 25: Baterija za napajanje robota Ace Bashing z zmogljivostjo 5500 mAh

(Vir: <https://hobbyfactory.fi/en/p57002/gens-ace-bashing-series-5500mah-11-1v-50c-3s1p-hardcase-15-car-lipo-battery-with-t-plug-b-50c-5500-3s1p-hc-15>)

4.4 MIKORARAČUNALNIK (MOŽGANI)

Izbrala sva Raspberry Pi 4, saj je dovolj zmogljiv in izpolnjuje vse zahteve, za kater ga potrebujeva. Omogoča komunikacijo z računalnikom in uporablja programski jezik Python, ki sva ga malo poznala že od prej. Med uporabniki je zelo priljubljen, ker omogoča dostop do obsežnih virov in knjižnic. Prav tako je cenovno dostopen, kar ga naredi odličnega za najin projekt z omejenim proračunom, ki je bil porabljen za izvrstne servomotorje.



Slika 26: Raspberry Pi 4

(Vir: <https://si.farnell.com/raspberry-pi/rpi4-modbp-8gb/raspberry-pi-4-model-b-cortex/dp/3369503>)

4.5 KOMPONENTE (KOLESA, OGRODJE ...)

Vse komponente sva narisala in jih s pomočjo 3D-tiskanja izdelala. Za ta način sva se odločila zato, ker je cenovno najugodnejši in omogoča hitro pretvorbo ideje v realnost. 3D-tiskalniki so dostopni na šoli, kar nama omogoča enostaven in hiter dostop do tehnologije, obenem pa imava vsak svoj 3D-tiskalnik tudi doma, kar nama je omogočilo vzporedno tiskanje večih različnih sestavnih delov in povečalo produktivnost, saj v šoli tiskajo dele tudi drugi. S tem sva se izognila potrebi po iskanju zunanjih virov za izdelavo komponent, kar je pripomoglo k učinkovitemu napredku projekta.

4.6 3D-TISKANJE

3D-tiskanje je moderna pot izdelave kosa iz digitalnega (CAD) modela, pri kateri 3Dtiskalnik preko šobe po plasteh nanaša raztaljen filament. Oblika kosa je torej le še stvar

domišljije. 3D-tiskalniki so vse natančnejši, večji, hitrejši, poleg tega pa pokrijejo širok nabor materialov. Še vedno so najuporabnejši za izdelavo prototipov, vendar pa je 3Dtiskanje uporabno tudi za proizvodnjo v manjših serijah. 3D-tiskalniki lahko za tisk uporabljajo veliko različnih materialov (npr. guma, plastika, poliuretanski materiali, kovine ipd.), izbira pa je odvisna od zmogljivosti in tipa tiskalnika. V splošnem se materiali po plasteh nanašajo na različne načine, a najpogostejši v tiskalnikih nižjega cenovnega razreda je nanos topljenega filameta skozi majhno šobo (FDM).



Slika 27: 3D-tiskalnik, ki uporablja tehnologijo FDM tiskanja

(Vir: osebni arhiv)

V večini se uporablja bioplastika PLA ali bolj vzdržljiva ABS-plastika, ki za uporabo potrebuje ogrevano posteljo za šobo. 3D-tiskalnik filament med tiskanjem vleče v ogrevano glavo, kjer se le ta stopi in se skozi šobo nanese na tiskalno posteljo. Za delovanje mora biti glava sposobna premikanja po delovnem prostoru vsaj v 3 oseh – torej 3 dimenzijah. Načeloma vsako os poganja svoj motor – zato je kakovost tiska odvisna od natančnosti in kakovosti pogonskih in transportnih komponent, predvsem pa tudi od vodenja motorjev.

5 INŽENIRSKA ANALIZA

Po koncu izdelave sva se osredotočila še na analiziranje zmogljivosti oz. samozapornost robotske roke, ko servomotorji niso priklopljeni na napajanje in s tem določila njeno zmogljivost. To sva storila z vzmetno tehtnico, ki prikazuje silo (N) s katero sva roko vlekla in na ta način obremenila zgloba z planetarnim gonilom ter tako dobila meritev njune zmogljivosti. Rezultati so prikazani v spodnji tabeli.

Tabela 1: Rezultati analize obremenitev posameznih osi robotske roke

Obremenjena os	Začetek popuščenja (N)	Popolna popustitev (N)
2. os z obtežitvijo na 3. osi	2,5	4
2. os z obtežitvijo na 4. osi	2	2,5
3. os z obtežitvijo na 4. osi	4	4,5

5.1 SIMULACIJA NAPETOSTI V OSEH

Glede na prej določeno največjo obremenitev, ki jo bova z robotsko roko prenašala sva opravila simulacije obremenitev v posameznih oseh, kar je prikazano v spodnjih tabelah kjer so pod slikami podane tudi sile obremenitve v N (newton).

Tabela 2: Simulacija napetosti 1. osi pri različnih obremenitvah

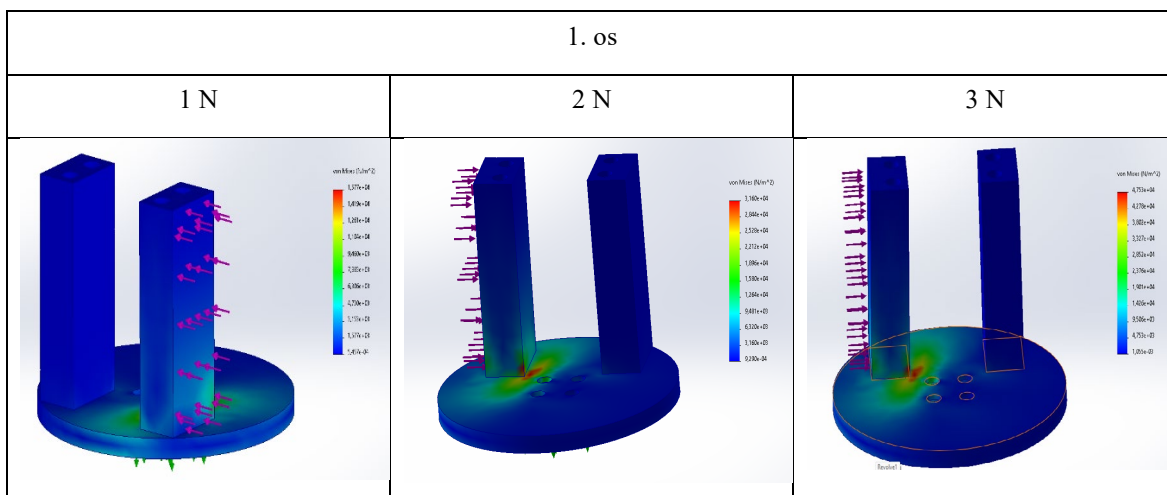


Tabela 3: Simulacija napetosti 2. osi pri različnih obremenitvah

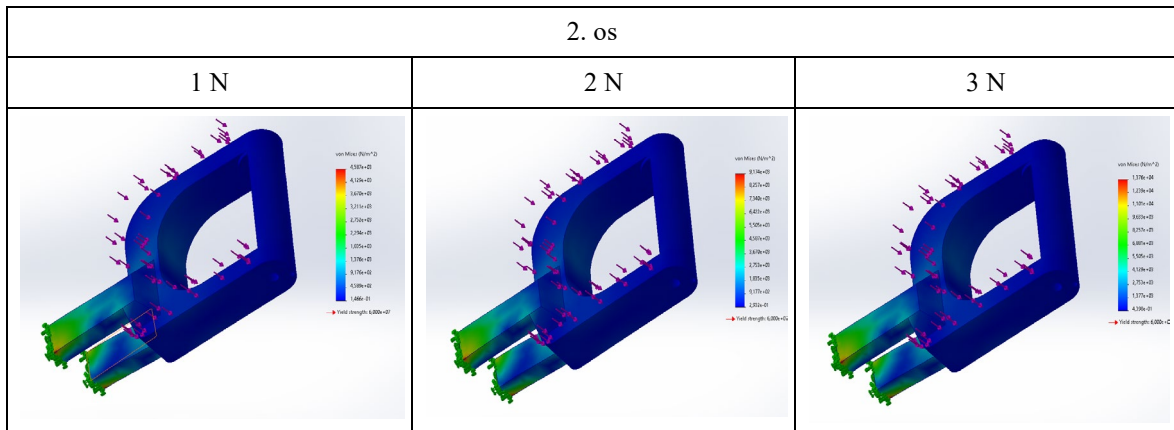


Tabela 4: Simulacija napetosti 3. osi pri različnih obremenitvah

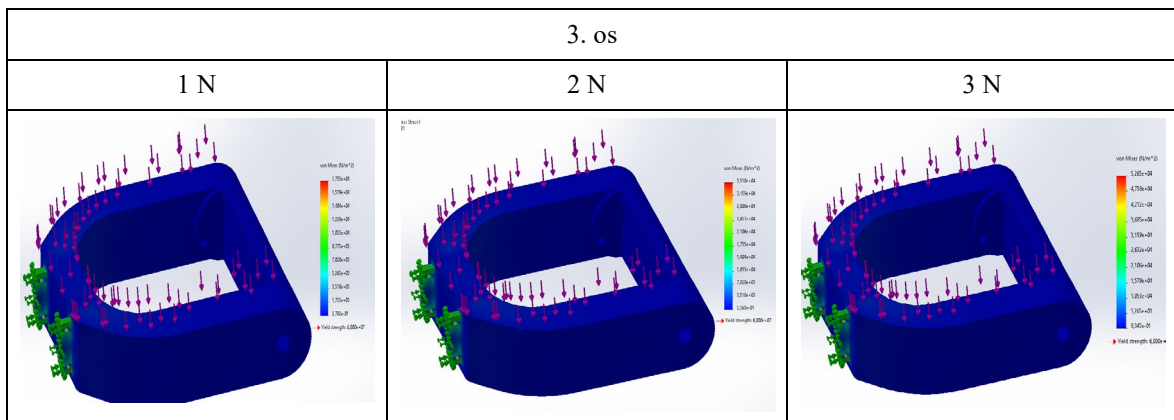
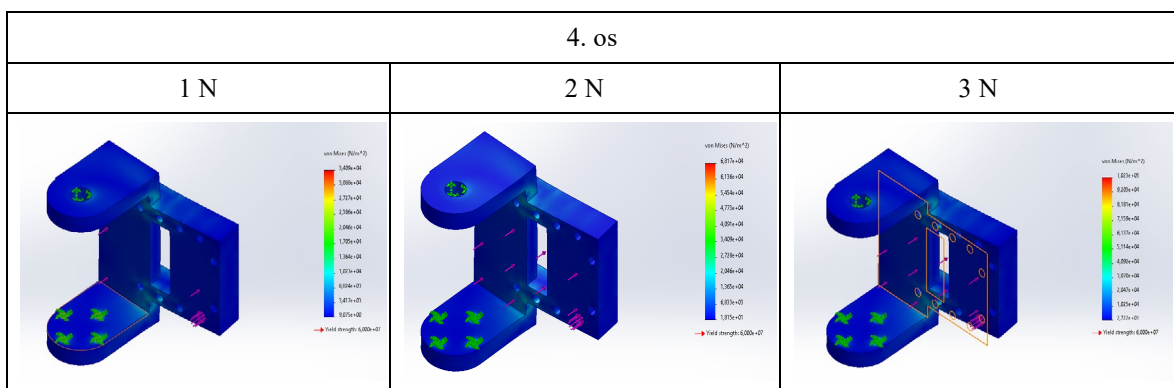



Tabela 5: Simulacija napetosti 4. osi pri različnih obremenitvah




6 ANALIZA IN IZBOLJŠAVE

6.1 ANALIZA HIPOTEZ

1. Zgloba roke na 2. in 3. osi bosta samozaporna. 

Tekom projektiranja in izdelave sva ugotovila da nama ne bo uspelo doseči popolne samozapornosti zglobov, saj bi tak sistem zavzel preveč prostora, kar pa v najinem primeru, ciljanja na kompromis med okretnostjo, navorom in samozapornostjo, ni prišlo v upoštevanje. Planetarno gonilo pa je predstavljalo dober kompromis, saj še vedno zelo razbremeni motor, zato je hipoteza delno potrjena.

2. Robotska roka bo lahko zadržala mase manjše od 200g. 

3. Komponente robota bodo hitro zamenljive. 

Vsi deli robota se lahko v primeru okvare z uporabo osnovnega orodja v roku 7 min zamenjajo. To nama omogoča modularna zgradba, sestavljena z vijaknimi zvezami.

6.2 NADALJNJE IZBOLJŠAVE

1. Izboljšanje mobilnosti in stabilnosti robota: Čeprav robot uspešno premaguje različne terene in ovire na poti, so še možne izboljšave, saj je zaradi velikosti baterij težišče robota, kljub temu da so baterije nameščene v najnižji točki robota relativno visoko, kar bi se dalo rešiti z izdelavo baterij po meri iz starih baterijskih celic prenosnikov ali pa z nakupom nizkoprofilnih baterij, kar bi obenem sprostilo več prostora v notranjosti robota za druge komponente.

2. Kinematika in inverzna kinematika robotske roke: Kljub dobrem delovanju robotske roke se pojavlja težava pri premikanju v neko točko, saj je treba vsak zglob posebej potrebno premikati ročno, kar bi nam kinematika oz. zvezno premikanje roke olajšalo, prav tako pa bi nam lahko prav prišla inverzna kinematika, saj bi roki le določili točko, v katero želimo, da se postavi in bi program roke vsak gib preračunal in izvedel samodejno.

3. Izvedba robotske roke iz ogljikovih vlaken: V primeru izvedbe robotske roke iz ogljikovih vlaken, bi zmanjšali težo.

4. Prsti robotske roke podobni živalskim: Prijemalo bi lahko bilo zasnovano za delovanje po principu mimikrije oz. bionike.

7 ZAKLJUČEK

Razvoj reševalnega robota in robotske roke v okviru tekmovanja RoboCupRescueRobot League, v kategoriji Rapidly manufactured robot competition, je predstavljal izjemno pomembno izkušnjo, ki nama je omogočila pridobiti dragocene veščine in znanje na področju robotike, inženiringa ter prototipiranja. Med izdelavo reševalnega robota sva se soočila z različnimi tehničnimi in organizacijskimi izzivi, ki so zahtevali celovit pristop k reševanju problemov. Cilje, ki sva si jih zadala, sva zadovoljivo dosegla in pri tem ustvarila delujočega robota. Na področju raziskav imava še veliko prostora za izboljšave, predvsem v segmentu kinematike in inverzne kinematike robotske roke.

8 VIRI IN LITERATURA

[1] ELP Sony IMX323 Sensor Mini Wide Angle USB Camera Module (online). 2024. (citirano 6. 3. 2025).

Dostopno na naslovu: <https://www.amazon.com/ELP-IMX322-Sensor-Camera-Module/dp/B071YBT4ZK?th=1>

[2] ELP USB with Camera 2.1mm Lens megapixel (online). 2024. (citirano 6. 3. 2025).

Dostopno na naslovu: <https://www.amazon.com/ELP-Camera-Megapixel-Windows-Android/dp/B00KA7WSSU>

[3] Eučbeniki.si. Znaki za nevarnost (online). 2019. (citirano 6. 3. 2025).

Dostopno na naslovu: <https://eucbeniki.sio.si/kemija1/479/index6.html>

[4] Facebook. RoboCup Rescue RMRC ŠC Celje-Slovenia EU (online). 2024. (citirano 5. 3. 2025).

Dostopno na naslovu: <https://www.facebook.com/people/RoboCup-Rescue-RMRC-ŠC-Celje-Slovenia-EU/100094180597021/>

[5] Farnell. Raspberry Pi Model B (online). 2019. (citirano 6. 3. 2025).

Dostopno na naslovu: <https://si.farnell.com/raspberry-pi/rpi4-modbp-8gb/raspberry-pi-4-model-b-cortex/dp/3369503>

[6] GrabCADCommunity. Rescue robot Rapidly Manufacturing Robots Challenge, RoboCup 2019, Sydney, Australia (online). 2019. (citirano 3. 3. 2025).

Dostopno na naslovu: <https://grabcad.com/library/robocup-rescue-rmrc-robot-mechatronics-rescue-team-1>

[7] GRAČNER, G. , HRIBERNIK, B. , HRIBERNIK, M. Robotska paletizacija,(online). 2012. (citirano 6. 3. 2025).

Dostopno na naslovu: <https://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4201203835.pdf>

[8] Hobby factory. Ace Bashing 5500mAh (online). 2019. (citirano 6. 3. 2025).

Dostopno na naslovu: <https://hobbyfactory.fi/en/p57002/gens-ace-bashing-series-5500mah-11-1v-50c-3s1p-hardcase-15-car-lipo-battery-with-t-plug-b-50c-5500-3s1p-hc-15>

[9] Robocup.de MRT1 photobooth (online). 2023. (citirano 3. 3. 2025).

Dostopno na naslovu: https://major.robocup.de/wp-content/uploads/2023/09/20230709_PhotoBooth_MRT1-scaled-1.jpg

[10] Robotis. Dynamixel AX-18A (online). 2014. (citirano 6. 3. 2025).

Dostopno na naslovu: <https://emanual.robotis.com/docs/en/dxl/ax/ax-18a/>

[11] Robotis. Dynamixel XM430-W350-R (online). 2018. (citirano 6. 3. 2025).

Dostopno na naslovu: <https://www.robotis.us/dynamixel-xm430-w350-r>

[12] 3DJake. Navojni vložki (online). 2024. (citirano: 4. 3. 2025).

Dostopno na naslovu: <https://www.3djake.si/3djake/vlozki-navojev-komplet-50/>