

Mobilna višenamjenska platforma

Odeljan, Vedran

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:237777>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-18**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Vedran Odeljan

Zagreb, 2024. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Danijel Pavković, dipl. ing.

Student:

Vedran Odeljan

Zagreb, 2024. godina.

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

Zahvaljujem se mentoru red. prof. dr. sc. Danijelu Pavkoviću, dipl. ing. na svim korisnim savjetima i pruženoj pomoći pri izradi ovog rada.

Posebno se zahvaljujem obitelji, prijateljima i kolegama na svim lijepim trenucima te podršci, razumijevanju i motivaciji koju su mi pružali tijekom studija, kao i djevojci Pauli što je vjerovala u mene u svakom trenutku.

Vedran Odeljan



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

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

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Vedran Odeljan**

JMBAG: **0035234056**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Mobilna višenamjenska platforma**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Mobile multi-purpose platform**

Opis zadatka:

Autonomna vozila se sve više pojavljuju u raznim područjima kao što je pametni transport, vojna tehnika, istraživanje teško dostupnih i za ljude potencijalno opasnih lokacija, dekontaminacija prostora i slično. Dizajn autonomnih vozila zahtijeva širok raspon znanja i vještina, kao što su: konstruiranje i aditivne tehnologije, mehatronika i robotika, mikrokontrolerski sustavi, te aktuatori i senzori. U ovom radu je potrebno predložiti koncept makete multi-funkcionalne mobilne platforme koja će sadržavati sve potrebne elemente za buduću implementaciju malog autonomnog vozila. U radu je potrebno napraviti sljedeće:

1. Napraviti kratki pregled autonomnih vozila posebne namjene, s naglaskom na mala autonomna vozila za udaljeno istraživanje lokacija.
2. Dizajnirati i izraditi podvozje i kućište mobilne platforme primjenom odgovarajućeg softvera za 3D modeliranje i tehnika 3D printanja.
3. Koncipirati i implementirati pogon mobilne platforme (pogon na dva ili četiri kotača), a što uključuje i odabir odgovarajućih komponenata sustava propulzije (elektromotora i pripadajućih energetska pretvarača), te optimiranje dimenzije kotača za potrebe vožnje po teško pristupačnim terenima.
4. Koncipirati i implementirati senzorski sustav radi detekcije prepreka i snimanja bliskog prostora (na primjer ultrazvučnim ili LIDAR sensorima).
5. Dizajnirati i ispitati mikrokontrolerski sustav za upravljanje mobilnom platformom i razmotriti mogućnost ručnog upravljanja putem radio veze.
6. Ispitati rad mobilne platforme u laboratorijskim uvjetima te dati zaključke rada i predložiti pravce budućeg istraživanja i razvoja.

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

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

30. 11. 2023.

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.
2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.
3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024.
2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.
3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Danijel Pavković

Prof. dr. sc. Damir Godec

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	VI
POPIS OZNAKA	VII
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY	IX
1. UVOD.....	1
1.1. Mobilna robotska platforma pokretana kotačima	2
1.2. Mobilna robotska platforma pokretana gusjenicama	6
1.3. Podvodni autonomni roboti.....	8
1.4. Mobilna robotska platforma pokretana nogama	10
1.5. Specijalne vrste mobilnih robotskih platformi.....	12
2. MODELIRANJE KOTAČA I KUĆIŠTA	14
2.1. Pregled različitih tipova kotača.....	14
2.2. Razvoj dizajna kotača	17
2.2.1. 3D modeliranje i printanje	17
2.2.2. Mechanum wheel	18
2.2.3. Običan kotač	19
2.2.4. Paddle wheel	20
2.3. Modeliranje kućišta.....	21
2.4. Poklopac za kućište i pričvrsnice	24
2.5. Proračun uvjeta plivanja.....	25
3. POGON MOBILNE PLATFORME	27
3.1. Proračun okretnog momenta i dimenzioniranje kotača.....	27
3.2. Implementacija motora na kućište	28
4. SENZORSKI SUSTAV	31
4.1. Ultrazvučni senzor	31
4.2. LIDAR	34
5. MIKROPROCESORSKO UPRAVLJANJE I REGULACIJA MOTORA.....	39
5.1. Odabir mikrokontrolera.....	39
5.2. L298 regulator.....	41
6. KOMUNIKACIJA I PROGRAMSKI KOD	45
6.1. Komunikacija	45
6.2. Programski kod – autonomna vožnja	46
6.2.1. Ultrazvučni senzori	47
6.2.2. LIDAR TF Luna	48
6.2.3. Regulacija motora	49
6.2.4. Programski kod – Bluetooth komunikacija.....	50

7. NAPAJANJE	51
7.1. Napajanje energetskeg sustava	51
7.1.1. Proračun odabira baterije energetskeg sustava	51
7.1.2. Punjenje baterije BH 903452	52
7.2. Napajanje upravljačkog sustava	53
7.2.1. Proračun odabira baterije upravljačkog sustava.....	53
7.2.2. Punjač baterije TP 4056	55
8. SIGURNOST I DODATNI ZAHTJEVI	57
8.1. Sigurnosna sklopka i tipkalo	57
8.2. LED diode	57
9. REZULTATI ISPITIVANJA RADA PLATFORME	58
9.1. Konačan izgled platforme	58
9.2. Izbjegavanje prepreka	58
9.3. Vožnja na različitim podlogama	63
9.3.1. Glatka podloga	63
9.3.2. Kameno tlo	63
9.3.3. Pješčano tlo	64
9.3.4. Travnata površina.....	64
9.3.5. Voda	65
9.4. Bluetooth komunikacija	65
10. TROŠKOVI IZRADE	67
11. ZAKLJUČAK.....	68
LITERATURA.....	69
PRILOZI.....	71

POPIS SLIKA

Slika 1.	Pješčano tlo.....	1
Slika 2.	Robot Roomba i5+	2
Slika 3.	Casey (lijevo) i Trey (desno).....	3
Slika 4.	Proteus robot.....	4
Slika 5.	Kotač 'Proteus' robota.....	4
Slika 6.	Spider mover 2SGS	5
Slika 7.	KUKA OmniMove UTV-2	5
Slika 8.	Robot Udruge mehatroničara	6
Slika 9.	Argonaut.....	7
Slika 10.	MV - 4 Scorpion.....	7
Slika 11.	Nastavci za robota	8
Slika 12.	NRE Dozer	8
Slika 13.	RE2 Sapien	9
Slika 14.	Eelume robot	9
Slika 15.	ANYmal	10
Slika 16.	Spot.....	11
Slika 17.	Spot s različitim modulima: lijevo (robotska ruka s prihvatnicom) i desno (sustav za kontrolu postojenja)	11
Slika 18.	BladeBUG	12
Slika 19.	Hexapoidni robot pomoću ZPD metode.....	13
Slika 20.	Mechanum wheel	15
Slika 21.	Primjena konfiguracije 'mechanum wheels'	15
Slika 22.	Paddle wheel.....	16
Slika 23.	Kotač razvijen za kretanje po Mjesecu.....	17
Slika 24.	Kotači unutar Prusa i3 softwarea.....	18
Slika 25.	Prusa i3	18
Slika 26.	Prihvatnica za mehanum wheel	19
Slika 27.	'Mechanum wheel' kotači – konačan izgled	19
Slika 28.	Običan kotač (Solidworks).....	20
Slika 29.	Par običnih kotača neposredno nakon 3D printanja	20
Slika 30.	Paddle wheel: lijevo (lijevi kotač), desno (desni kotač).....	21
Slika 31.	Utor protiv ispadanja	21
Slika 32.	Kućište – ptičja perspektiva	22
Slika 33.	Kućište – frontalni pogled	22
Slika 34.	Kućište u procesu printanja	22
Slika 35.	Model nakon postavljenih sila i uklještenja	23
Slika 36.	Model nakon provedene FEM analize.....	23
Slika 37.	Poklopac za kućište	24
Slika 38.	Pričvrsnica	24
Slika 39.	Sile na platformu	25
Slika 40.	Ispitivanje rada motora u vodi.....	26
Slika 41.	Elektromotori 'TT motor' DC gearbox'.....	28
Slika 42.	Kućište neposredno nakon printanja	29
Slika 43.	Kućište s postavljenim motorima	29
Slika 44.	Trake.....	29
Slika 45.	Rad ultrazvučnog senzora	31
Slika 46.	HCSR04.....	32
Slika 47.	Implementacija senzora HCSR04 na platformi.....	33

Slika 48.	HCSR04 – shema spajanja	34
Slika 49.	Rad LIDAR senzora	35
Slika 50.	LIDAR TF luna	35
Slika 51.	LIDAR TF Luna – pinout.....	37
Slika 52.	LIDAR TF Luna – shema spajanja.....	38
Slika 53.	Interna shema ESP 32 WROOM 32U mikrokontrolera	39
Slika 54.	Mikrokontroler ESP 32 WROOM – 32U	40
Slika 55.	ESP 32 WROOM – 32U – pinout	40
Slika 56.	Interna shema regulatora L298.....	42
Slika 57.	Regulator L298.....	43
Slika 58.	Shema spajanja regulatora, motora i mikroprocesora	44
Slika 59.	Dabble mobilna aplikacija (na mobilnom uređaju)	45
Slika 60.	Dabble – Gamepad sučenje	45
Slika 61.	Definiranje lateralnih strana platforme.....	46
Slika 62.	Postav za mjerenje implementiranih sustava izvan kućišta.....	47
Slika 63.	Probno mjerenje – Ultrazvučni prednji senzor.....	48
Slika 64.	Probno mjerenje – TF Luna.....	48
Slika 65.	Platforma s implementiranom opremom	50
Slika 66.	Baterija BH 903452	52
Slika 67.	Polymer Lithium-Ion Battery	54
Slika 68.	Serijski spoj Li – ion baterija	54
Slika 69.	Regulator L298 – GND i +5 V izlazi napajanja upravljačkog sustava	55
Slika 70.	TP 4056	56
Slika 71.	Sigurnosna sklopka i tipkalo	57
Slika 72.	Led diode.....	57
Slika 73.	Konačan izgled platforme	58
Slika 74.	Početni izgled poligona	59
Slika 75.	Kretanje naprijed te skretanje ulijevo.....	59
Slika 76.	Kretanje naprijed te skretanje ulijevo.....	61
Slika 77.	Zaustavljanje na stepeništu.....	62
Slika 78.	Platforma na kamenoj podlozi.....	63
Slika 79.	Platforma na pješčanoj podlozi	64
Slika 80.	Platforma na pješčanoj podlozi	64
Slika 81.	Mobilna robotska platforma u vodi	65
Slika 82.	Ispitivanje rada Bluetooth komunikacije.....	65

POPIS TABLICA

Tablica 1. Specifikacije motora.....	28
Tablica 2. Specifikacije ultrazvučnog senzora HCSR04.....	32
Tablica 3. Senzor HCSR04 - pinout.....	33
Tablica 4. Specifikacije TF Luna	36
Tablica 5. LIDAR TF Luna – pinout.....	37
Tablica 6. I2C i UART	38
Tablica 7. ESP 32 WROOM - Pinout.....	41
Tablica 8. Specifikacije L298 regulatora	42
Tablica 9. Regulator L298 – pinout.....	43
Tablica 10. Ultrazvučni senzori – pinout	47
Tablica 11. Regulator L298 – pinout za mikrokontroler	49
Tablica 12. Nazivne vrijednosti struje i napona komponenata energetskog kruga.....	51
Tablica 13. Baterija BH 903452.....	52
Tablica 14. Punjač KZ1201200U	53
Tablica 15. Nazivne vrijednosti struje i napona komponenata upravljačkog kruga	53
Tablica 16. Punjač TP 4056	55
Tablica 17. Eksperimentalni rezultati – poligonska vožnja (skretanje ulijevo)	60
Tablica 18. Eksperimentalni rezultati – poligonska vožnja (skretanje udesno).....	61
Tablica 19. Troškovnik.....	67

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

VO001 Shema spajanja

VO002 Programski kod

VO003 Kućište - model

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
L	[mm]	Gabaritna duljina platforme
D	[mm]	Gabaritna duljina platforme
H	[mm]	Gabaritna duljina platforme
F_g	[N]	Sila teža platforme
m	[kg]	Masa opterećene platforme
$m_{\text{proračunato}}$	[kg]	Proračunata masa platforme
T	[Nm]	Okretni moment jednog kotača
F_u	[N]	Sila uzgona platforme
r	[mm]	Promjer kotača
L_d	[mm]	Proračunska vrijednost udaljenosti sa senzora
v_{zvuka}	[m/s]	Brzina zvuka

SAŽETAK

Mobilni višenamjenski roboti sve se češće susreću u stvarnom životu kao ispomoć ili zamjena ljudskome radu. Zbog zahtjevnosti terena, kontaminacije prostora ili jednostavno nemogućnosti ljudskog obavljanja posla, mobilne robote nalazimo posvuda. Koriste se za različite radnje poput uređenja zelenih površina u mjestu u kojem živimo, pa do rada istih na naftnim platformama u svrhu kontrole ispravnosti sustava.

U sklopu moga završnog rada posvetio sam se istraživanju različitih mobilnih platformi primijenjenih u sadašnjim sustavima te izradom makete mobilne višenamjenske platforme. Maketu pokreću četiri motora na koja su postavljeni kotači, različitih oblika i dizajna primijenjenih za savladavanje različitih terena. Također, implementiran je sustav za autonomno kretanje u prostoru primjenom ultrazvučnih senzora i LIDAR – a kao i radiokomunikacija za ručno zadavanje kretanje robotu.

Ključne riječi: mobilna robotika, autonomnost, mikroprocesorsko upravljanje, mobilna platforma, aditivna proizvodnja

SUMMARY**Abstract**

Mobile multifunctional robots are increasingly encountered in real life as assistance or replacement for human work. Due to the demanding terrain, contamination of spaces, or simply the impossibility of human performance, mobile robots are found everywhere. They are used for various tasks, ranging from landscaping in the area where we live to working on oil platforms to control the system's integrity.

As part of my final thesis, I dedicated myself to researching various mobile platforms applied in current systems and creating a model of a mobile multifunctional platform. The model is powered by four motors with wheels of different shapes and designs applied to overcome various terrains. Additionally, a system for autonomous movement in space has been implemented using ultrasonic sensors and LIDAR, as well as radio communication for manually controlling the robot's movement.

Key words: mobile robotics, autonomy, microprocesor control, mobile platform, additive manufacturing

1. UVOD

Razvojem robotike i primjenom iste u brojna područja, sve je veći izazov izraditi adekvatnu mobilnu platformu za savladavanje različitih terena. Tereni koje susrećemo su svakojaki: klasični uredski prostori gdje robot ima svrhu održavanja čistoće, skladišni prostori gdje robot prenosi teret s jednog mjesta na drugo, otvoreni prostor gdje susrećemo robote koji se bave podmorskim istraživanjima, robotima za analiziranje kvalitete armiranog betona i mnogim drugim.

Općenito, terene koje susrećemo u vanjskom okruženju mogu biti pijesak, muljevito tlo, kamenito tlo, stepenište, visoka trava...



Slika 1. Pješčano tlo

Za tu svrhu su razvijeni različiti tipovi samih platformi koje možemo podijeliti u nekoliko kategorija:

- 1) Mobilna robotska platforma pokretana kotačima
- 2) Mobilna robotska platforma pokretana gusjenicama
- 3) Podvodna robotska platforma
- 4) Mobilna robotska platforma pokretana nogama
- 5) Mobilna robotska platforma pokretana kotačima specifičnog oblika
- 6) Ostale vrste mobilnih robotskih platformi

U narednim poglavljima iznijet ćemo pregled svake od kategorija i navesti primjere samih sustava.

1.1. Mobilna robotska platforma pokretana kotačima

Zasigurno najpoznatiji autonomni robot kojeg možemo susresti u brojnim kućanstvima je 'Roomba'. Proizveden od američke kompanije iRobot, od početka proizvodnje davne 2002. godine do danas broji preko 50 milijuna prodanih modela. 'Roomba' se dolikuje jednostavnim dizajnom te je malih dimenzija kako bi mogao dosegnuti svaki kutak Vašeg doma. Pokreću ga dva motora pričvršćena na svaki kotač te sadrži još jedan kotač koji je spojen za servo motor u svrhu rotacije same platforme. Budući da je izrađen u svrhu čišćenja prostora, tako je s donje strane postavljen usisavač s četkicama, a na jednoj strani se nalazi i 'spinner' u svrhu usmjeravanja samih čestica prašine k usisavaču. Brojni primjerci 'Roombe' dolaze s 'docking station' -om, gdje sam robot dolazi napuniti bateriju. Odlika ovakvog robota je mapiranje prostora, koordinacija, a namijenjen je da i sami korisnici mogu dodati različite module, poput kamere, RC modula i mnogih drugih.



Slika 2. Robot Roomba i5+

Sljedeći u nizu su roboti zagrebačke tvrtke Gideon, 'Casey' i 'Clay'. Mobilna autonomna platforma Casey specifična je po tome što je namijenjena prijevozu tereta do 1000 kg. Njene odlike su autonomnost vožnje koju postiže primjenom različitih algoritama umjetne inteligencije povezane s 3D vizijskim sustavom. Prilično slična, ali drukčije namijene je mobilna platforma 'Clay' koja ima svrhu prijenosa teškog tereta s jednog mjesta na drugo i njegovo podizanje na željenu policu. Također, odlika ove platforme je 3D vizijski sustav za

autonomno orijentiranje u prostoru. Kretanje ove vrste robotskih sustava postignuto je nizom manjih i većih kotača u svrhu postizanja što manjih trzaja.



Slika 3. Casey (lijevo) i Trey (desno)

U svrhu automatizacije skladišnog prostora uz već spomenute proizvode tvrtke Gideon vrijedilo bi spomenuti i autonomnu mobilnu robotsku platformu 'Proteus' razvijen od tvrtke Amazon. Korištena u brojnim Amazonovim skladišnim centrima, ubrzala je proces sistematizacije samog prostora i brzine dopreme proizvoda do potrošača. Razvojem umjetne inteligencije u ovakvim sustavima znatno se doprinijelo tako da se roba koja se češće koristi da se stavi bliže mjestu za utovar od one koja nije toliko česta. Također, odlika takvih sustava je tandemski način rada, ili ako ih je više, kolektivnog rada. U svrhu pisanja završnog rada velik naglasak je posvećen razvoju samog oblika kotača, i na ovom robotu možemo zamijetiti specifičan oblik istoga u svrhu poboljšanja samog kretanja. No, više o kotačima i razvoju istih u narednim poglavljima.



Slika 4. Proteus robot



Slika 5. Kotač 'Proteus' robota

U svrhu održavanja travnjaka, češka tvrtka Spider već 20 godina proizvodi robotske kosilice, a jedan od modela je i '2SGS'. Specifikacije takvog modela su savladavanje terena do maksimalnog nagiba od 55°, produktivnost košnje 3000 m² u jednom satu te može kositi travu visine od 3 cm do 11 cm. Sama kosilica nije autonomna, već je upravljana radiokomunikacijom od strane operatera. Moguće je na postojeću kosilicu ugraditi modul za autonomno upravljanje sačinjen od mikroprocesorskog sustava i senzora gdje se samom robotu zadaje mapa prostora te on sam pronade optimalan način za obavljanje košnje trave.



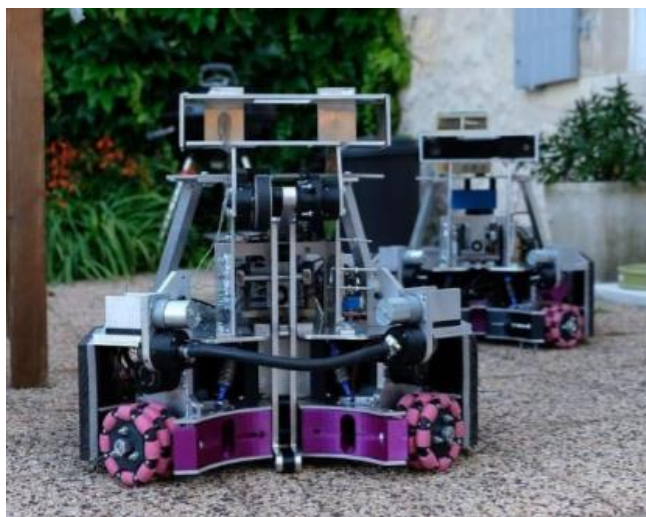
Slika 6. Spider mover 2SGS

U navedenom poglavlju veliku pozornost predajemo upravo različitim izvedbama kotača za same platforme, te s tim razlogom vrijedilo bi istaknuti model 'KUKA OmniMove UTV-2' gdje je sustav za kretanje izveden s pomoću 'mechanuum wheel' kotača. Odlika takvog kotača je bolja pokretljivost na glatkim površinama, a različitim konfiguracijama i razmještajem kotača možemo postići različit efekt kretnje (više o samim kotačima u narednim poglavljima). Mobilna platforma namijenjena je za prijenos tereta do 3000 kg, ali postoji mogućnost povećanja maksimalnog tereta serijskim spajanjem robota. Također, namjena takvih platformi je da se na njih postavi robotska ruka, te time dobivamo robotsku ruku koja nije fiksno vezana za kućište.



Slika 7. KUKA OmniMove UTV-2

I na kraju ovog poglavlja, vrijedi spomenuti i autonomni robotski sustav razvijen od Udruge mehatroničara u svrhu natjecanja 'RoboCup2023'. Robot je pokretan 'omni wheel' kotačima o kojoj će više riječi biti kasnije, a autonomnost vožnje postiže se s pomoću sferne kamere postavljene na tjemenu robota. Svrha robota je uzimanje lopte, vođenje te pucanje iste u gol s pomoću 'kickera'. Do sada su izrađena dva robota, jedan u funkciji golmana, a drugi u funkciji centralnog igrača.



Slika 8. Robot Udruge mehatroničara

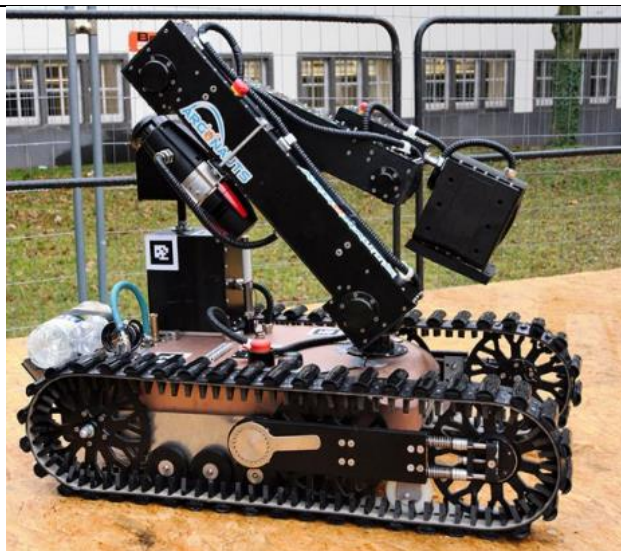
1.2. Mobilna robotska platforma pokretana gusjenicama

Drugi od vrlo čestih načina pokretanja same mobilne platforme je upotreba gusjenica.

Prednosti upotrebe gusjenica u usporedbi s upotrebom kotača su: namijenjeni su za mekana tla (mulj, blato), veća je stabilnost samog vozila prilikom kretanja, imaju bolju iskorištenost snage (sila se distribuira na veću površinu što vodi ka boljoj korisnosti), te stvaraju manji pritisak (tlak) na samu podlogu.

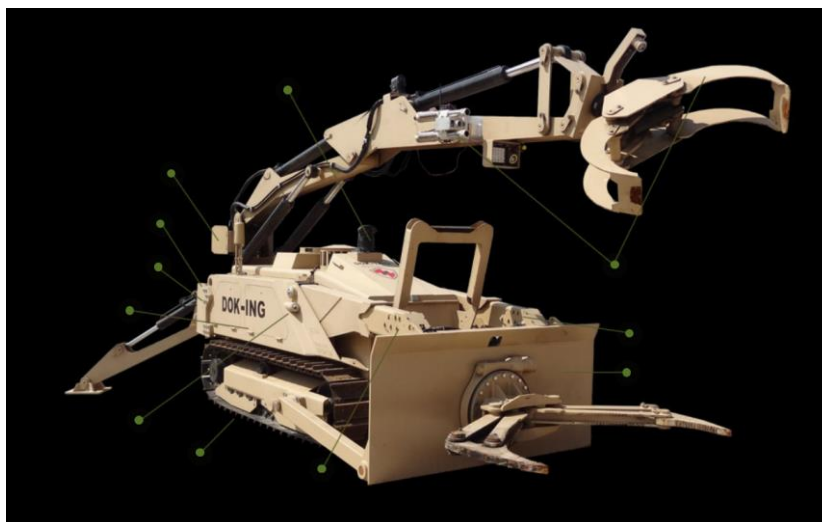
S druge strane, imaju i nedostatke u usporedbi s upotrebom kotača kao što su: manja brzina kretanja, teži je transport te su moguća oštećenja glatkih površina.

Prvi u nizu razvijenih mobilnih autonomnih platformi je 'Argonaut' robot razvijen u suradnji industrije i šest sveučilišta (Darmstadt, Heriot-Watt, Edinburgh, Imperial College London, Oxford i Liverpool), a namijenjen je inspekciji opreme na naftnim platformama u svrhu smanjivanja rizika takvog rada od strane čovjeka. Korištenjem 3D vizijskih sustava, provjere i visokotehnološki razvijenih senzora, robot uspješno očitava vrijednosti na manometrima u komorama, mjeri razinu kisika i ostalih plinova, detektira brojne anomalije i eventualna mjesta curenja plinova.

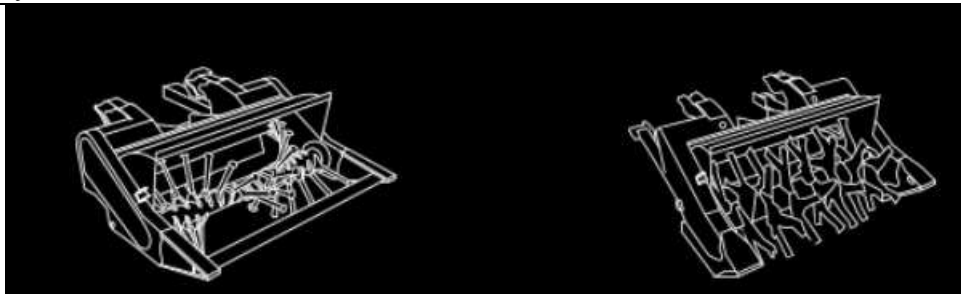


Slika 9. Argonaut

U pogledu razvoja vojne opreme i opreme za bušenje u rudnicima, važno mjesto pridajemo tvrtki Dok-ing. Na području razvoja vojne opreme, veliki naglasak su stavili na razvoj samih robota za razminiravanje. Na Slici 10. možemo vidjeti jednog u nizu takvih robota, 'MV – 4 Scorpion'. Sam robot svrstava se u kategoriju lakih oklopnih robota za čišćenje mina te je otporan na sve vrste mina ASP i UXO kategorije. S pomoću nastavka koje možemo vidjeti na Slici 11., sama zamašna masa na utezima doslovno uništi samu minu te time je ista deaktivirana.

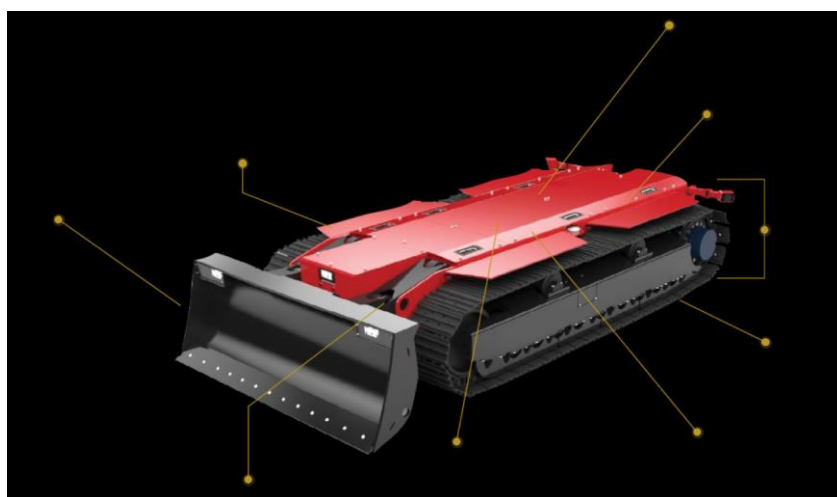


Slika 10. MV - 4 Scorpion



Slika 11. Nastavci za robota

Kao što je već spomenuto, tvrtka Dok-ing išla je i u smjeru razvoja robota za rudarenje. S tim ciljem, razvili su 'NRE Dozer' (prikazan na Slici 12.) koji je robot niskog profila namijenjen za guranje mineralne rude iz minirane ploče. Robot se isto može koristiti i za čišćenje prolaza od ostataka rude u samim rudnicima prilikom eksploatacije. Aktivna širina koju isti može obuhvatiti je 0.9 m, a s pomoću gusjenica se može kretati i na nagibima od 25°.



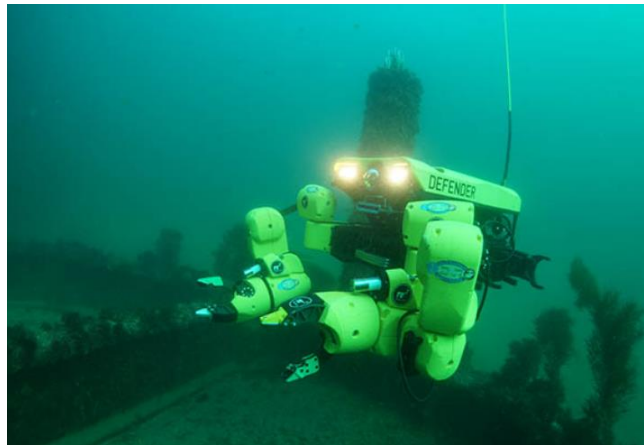
Slika 12. NRE Dozer

1.3. Podvodni autonomni roboti

Kretanje pod vodom vrlo je zahtjevan zadatak. Tim povodom, u ovom poglavlju stavit ćemo naglasak na razvijene mobilne robotske platforme namijene kretanju pod vodom.

Prvi u nizu je 'RE2 Sapien' razvijen od tvrtke RE2 Robotics. Robot je namijenjen za rad na velikim dubinama (do 1 km) u svrhu popravka i održavanja objekata u dubinama. Također, robot uz razvijen 3D vizijski sustav ima i dvije hvataljke koje mu omogućuju dohvaćanje objekata i manipulaciju istima. Robot je autonoman te je prilagođen radu u strukturiranoj i

nestrukturiranoj okolini. Zbog svoje varijabilnosti, U.S. Navy je dala velik novčani doprinos za razvoj takvih sustava i u vojne svrhe.



Slika 13. RE2 Sapien

Malo drukčiji oblik robota, koji je isto tako namijenjen za podvodna istraživanja je 'Eelume' robot. Robot je razvijen u sklopu start- upa na norveškom NTNU (Norwegian University of Science and Technology). Modularan je, a svoju modularnost ostvaruje tako što je izveden u zmijolikom obliku te se dijelovi samo nadovezuju jedan na drugi. Moduli koji se mogu postaviti na robota su SONAR, modul za uzimanje uzoraka s pomoću hvataljke, propulzivni modul koji omogućuje kretanje robota do 6 čvorova te slični. Izvedeno je više takvih robota koji čine multiagentski sustav, a namijenjeni su radu pod vodom duži period vremena.



Slika 14. Eelume robot

1.4. Mobilna robotska platforma pokretana nogama

Mobilna robotska platforma pokretana nogama namijenjena je za terene i područja gdje na pojedinim mjestima postoji veća razlika u visini, kao što su stepeništa. Roboti ove vrste su izvedeni tako da sadrže četiri noge koje mu omogućuju stabilnost, a cilj je svakako da imaju što niže težište kako bi osigurali stabilnost. Iz tog razloga, roboti ove kategorije nalikuju psima. Prvi robot koji ćemo predstaviti je ANYmal, razvijen od tvrtke 'ORCA'. Mase samo 30 kg, u mogućnosti je izvršavati najzahtjevnije zadatke inspekcije prostora i popravka istog. Upravo iz tog razloga, u suradnji sa Sveučilištem u Zürichu, unaprijeđen je za rad na naftnim platformama. Prednost njegove upotrebe nad ljudskim radom je ta što je precizniji u mjerenju količine ispuštenog plina i detekcije istoga, a više takvih robota mogu raditi u smjenama od po tri sata, čime mogu biti dostupni 24 sata u danu. Također, zbog upotrebe nogu, namijenjen je kretanju u uskim koridorima, po stepenicama i izbjegavajući brojne prepreke što su na naftnoj platformi svakodnevnica.



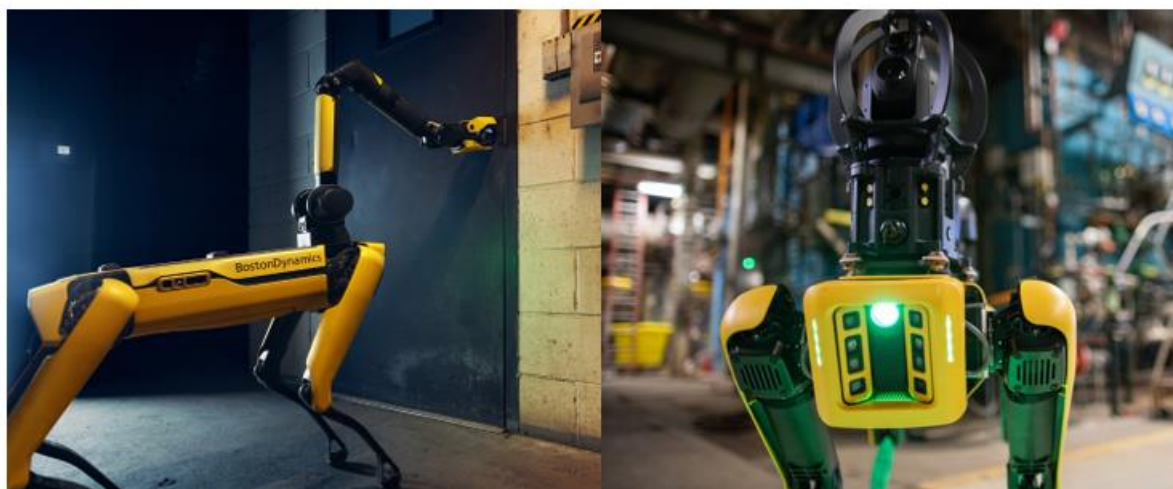
Slika 15. ANYmal

Druga mobilna robotska platforma te vrste je robot 'Spot' razvijen od tvrtke Boston Dynamics. Vjerojatno najpoznatiji robot široj publici, s preko 1000 prodanih robota u 35 zemalja svijeta, ponosan je predstavnik ove skupine robota. S razvijenim 3D vizijskim sustavom, sustavom ravnoteže, LIDAR-om i brojnim drugim senzorima pogodna je platforma za nadogradnju za različite primjene. Brojni su primjeri primjene ovog robota u svrhu inspekcije postrojenja

upotrebom različitih modula koji se lako postavje na samu platformu ili upravljanja zaposlenicima na gradilištu. Robota je moguće upravljati manualno s pomoću joysticka koji koristi WiFi 2.4 GHz komunikaciju ili autonomno koristeći umjetnu inteligenciju za obavljanje zadatka.



Slika 16. Spot

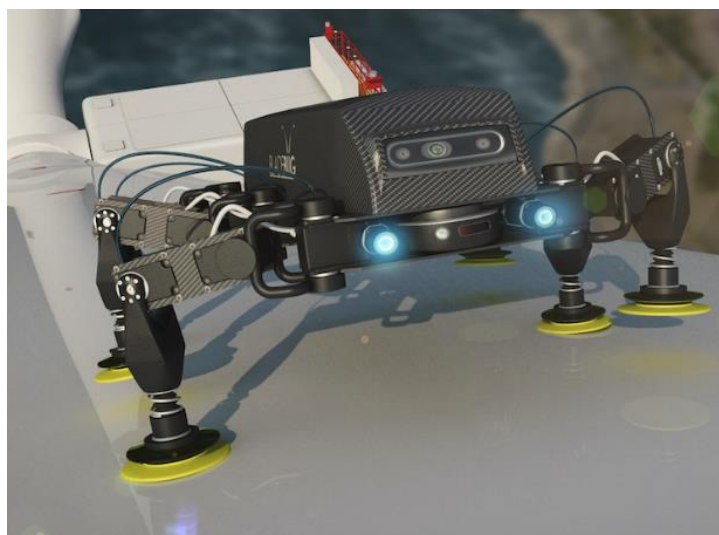


Slika 17. Spot s različitim modulima: lijevo (robotska ruka s prihvatnicom) i desno (sustav za kontrolu postojenja)

1.5. Specijalne vrste mobilnih robotskih platformi

Na pojedina mjesta nije lako doći primjenom nekih od navedenih lokomotornih sustava te s tom svrhom su za specijalne terene razvijene i neke druge vrste sustava koje ćemo ovdje pobliže razjasniti.

Prvi u nizu je 'BladeBUG' robot namijenjen za provjeru mikropukotina i popravak lopatica turbine. Pokretan s pomoću šest para nogu, namijenjen je kretanju po vrlo glatkim i okomitim površinama što mu omogućuju vacuum nastavci na svakoj od nožica. Na podnožju tjemena robota postavljen je vizijski i ultrazvučni sustav za prepoznavanje mikropukotina na, i ispod same površine.



Slika 18. BladeBUG

Razvijen na American institute of physics, 'Hexapodni je robot' razvijen u istraživačke svrhe, a cilj je bio razviti sustav koji koristi specifične vacuum nožice. Na dosadašnjim verzijama robota ove vrste veliki je problem bila sama površina. U većini slučajeva površina nije glatka, već ima brojne izbočine i neravnine što dovodi do propuštanja zraka u vacuum prostor ispod nožice. U ovoj verziji robota korištena je ZPD metoda (zero pressure difference method) koja funkcionira na način rotirajućeg vodenog sloja što rezultira stvaranjem inercijske sile i većeg vacuuma između podloge i nožice.



Slika 19. Hexapodni robot pomoću ZPD metode

2. MODELIRANJE KOTAČA I KUĆIŠTA

Na temelju uvodnog razmatranja različitih tipova mobilnih robotskih platformi, u ovom poglavlju naglasak ćemo staviti na odabiru najprikladnijih oblika kotača te njihovom modeliranju, a naposljetku ćemo i modelirati samo kućište platforme.

2.1. Pregled različitih tipova kotača

Razvojem mobilne robotske platforme cilj je bio savladati različite terene kao što su:

- vrlo glatke površine kao što su parket ili bojom prevlačen armirani beton
- različita mekana tla kao što su blato, mulj i suhi pijesak
- grube zrnate površine kao što su kamene plaže
- vodena površina

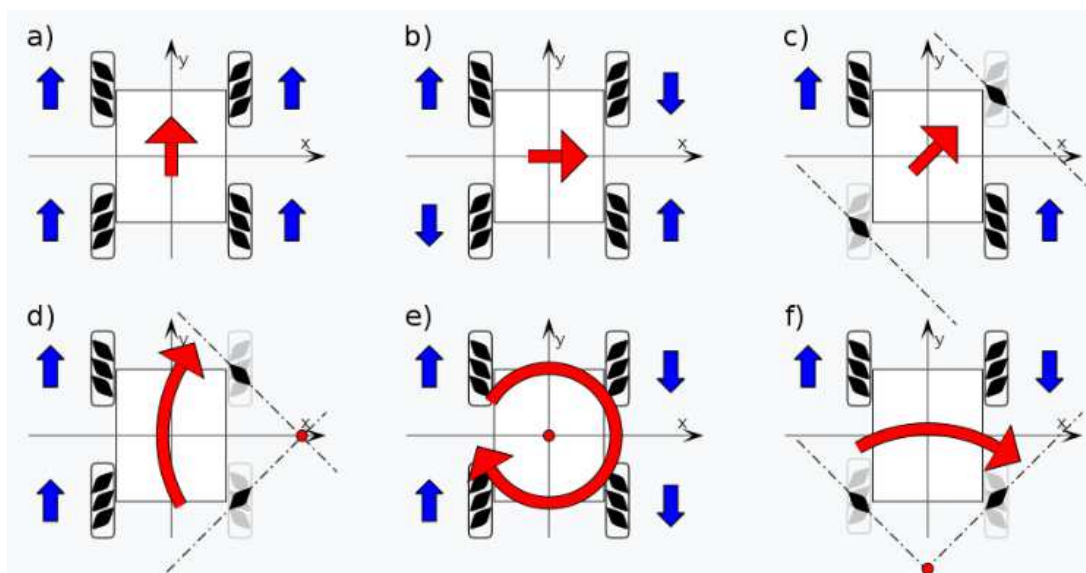
Za svaki od kategorije iznijet ćemo izvore istraživanja i načine reprezentacije tipova kotača s obzirom na podlogu.

U prvu kategoriju, glatke površine, korišten je model kotača primijenjen kod 'KUKA OmniMove UTV-2' gdje su implementirani 'mechanum wheels' kotači i robota Udruge mehatroničara koji su koristili 'omni wheels' kotače.

'Mechanum wheel' vrsta je omnidirekcijskih kotača gdje se sam kotač rotira, ali na istome se nalaze manji kotači postavljeni pod kutom od 45° koji omogućuju kretanje u svim smjerovima. Ova vrsta kotača pogodna je za glatke površine gdje se očekuje velika mogućnost manevriranja u prostoru. Na Slici 21. možemo jasno vidjeti da ovisno o konfiguraciji rasporeda kotača možemo manipulirati kretanjem same platforme.



Slika 20. Mechanum wheel



Slika 21. Primjena konfiguracije 'mechanum wheela'

S druge strane, vrlo sličan je i 'omni wheel' kotač koji je također vrsta omnidirekcijskih kotača koji uz kretanje naprijed/nazad, ima mogućnost kretanja lijevo/desno. Uz glavni kotač nalaze se pod kutom od 90° manji kotači koji omogućuju samo bočno kretanje.

Usporedbe radi, 'mechanum wheel' je bolji u kretanju naprijed/ nazad i lijevo/ desno uz primjenu samo četiri kotača. Nedostatak 'mechanum wheel' kotača je taj što je puno manja iskorištenost snage djelovanja kotača i obično su veće mase.

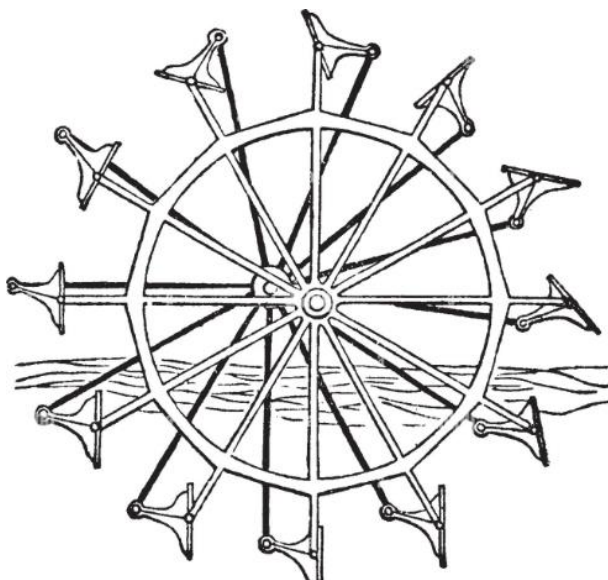
S druge strane, prilikom bočnog kretanja upotrebom 'omni wheel' kotača potrebno je bočno djelovanje sile da bi se takvo kretanje ostvarilo ili bi morali jednostavno trokutnom ili

hexapodnom konfiguracijom postaviti kotače kako bi imali omogućeno kretanje što nam otežava samo modeliranje kućišta.

Iz tog razloga za ovu prvu navedenu podlogu primijenit ćemo 'mechanum wheel' kotač i eksperimentalno pokazati kakav je odziv kotača na samoj podlozi ovisno o konfiguracijama.

Posljednje tri kategorije su i najzahtjevnije te u tu svrhu trebalo je razviti vrstu kotača koji još nismo spomenuli. Gledajući retrospektivno, gusjenice su zasigurno dobar odabir za kretanje platforme po kamenitom tlu, ali zbog malog zahvatnog kuta same gusjenice ne bi mogle savladati određenu prepreku. S druge strane, za kretanje po vodi najpogodniji je svakako propelerski ili propulzivni sustav kretanja. Motivaciju za izradu kotača za ovu vrstu kotača pronašao sam u prvu industrijskoj revoluciji kada su se parni brodovi kretali s pomoću 'paddle wheel' kotača.

S tim ciljem, prionuo sam konstruiranju kotača koji se sastoji od mnoštva lopatica te time je omogućeno kretanje istoga u vodi, a istraživanjem se pokazalo da je navedeni model kotača najpogodniji za kretanje po kamenitom tlu, a isto tako i po terenima kao što je blatni teren i muljevito tlo.



Slika 22. Paddle wheel

Svaka podloga ima svoje posebne zahtjeve te naravno da oblik samog 'paddle wheel' kotača pri kretanju po kamenitoj podlozi ili po pješčanom tlu ne ostavlja isti efekt kretanje. Dublje

istraživanje oblika samog kotača izlazi iz teme ovoga rada, a više o tome možete naći u literaturi gdje su navedeni prošireni materijali za matematički pristup razvoju kotača.

Spomenut ćemo još jednu specifičnu podlogu koja vrijedni pažnje. 'Gleen Research Center' i 'Naval Ordnance Laboratory' u SAD-u razvijali su različite oblike i pogodne materijale kotača za kretanje na Mjesecu. Za samo kretanje na Mjesecu materijal mora izdržati velike oscilacije u temperaturi te ne smije izgubiti elastičnost, tj. ne smije trajno prijeći u plastično područje. U tu svrhu razvili su leguru NiTiNOL, legura od nikla i titana koja ne ulazi u plastičnu deformaciju, već se promjenom temperature događa distorzija kristalne rešetke. Također, trebalo je razviti kotač koji može prelaziti svakakve prepreke koje mu se nađu na putu te je u tu svrhu izrađen kotač kao na Slici 23.



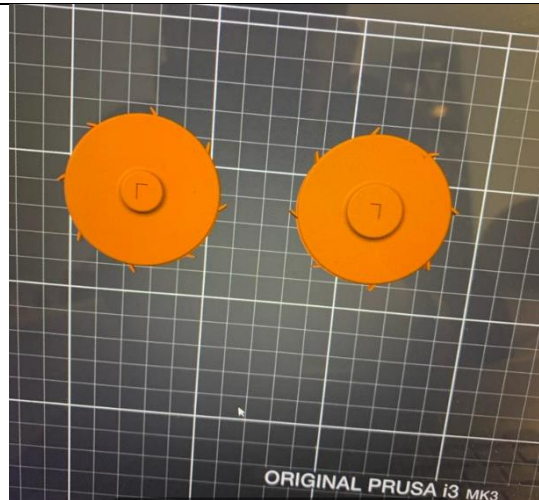
Slika 23. Kotač razvijen za kretanje po Mjesecu

2.2. Razvoj dizajna kotača

Za potrebe eksperimentalnog rada uzet ćemo u razmatranje tri vrste kotača, običan kotač kao referenca i nove dvije vrste, 'mechanum wheel' kotač i 'paddle wheel' kotač.

2.2.1. 3D modeliranje i printanje

U svrhu izrade kotača, služio sam se CAD alatom Solidworks te 3D printerom Prusa i3 , a materijal od kojih su načinjeni kotači je PLA plastika.



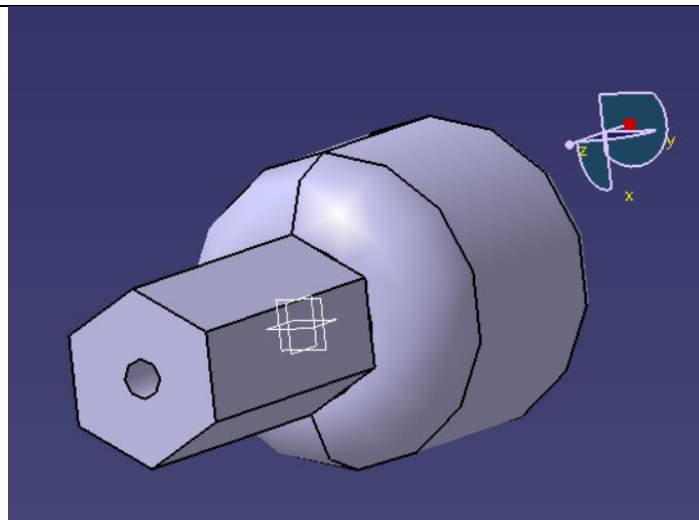
Slika 24. Kotači unutar Prusa i3 softwarea



Slika 25. Prusa i3

2.2.2. *Mechanum wheel*

Zbog same složene strukture kotača, i neuspjelih pokušaja 3D printanja kotača, naposljetku su korišteni kupovni 'mechanum wheel' kotači. Za postavljanje istih na platformu potrebno je bilo izraditi prihvatnice za spajanje kotača s osovnom. Izgled same prihvatnice dan je na Slici 26., dok konačni izgled kotača prikazan je na Slici 27.



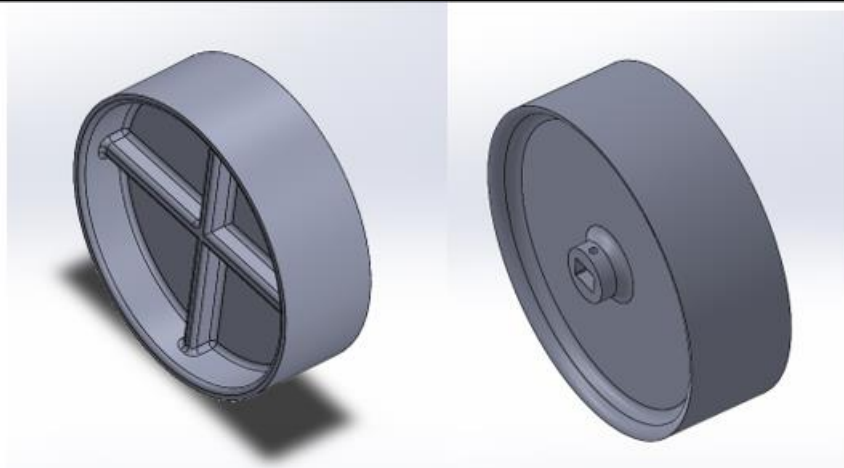
Slika 26. Prihvatnica za mechatronics wheel



Slika 27. 'Mechatronics wheel' kotači – konačan izgled

2.2.3. Običan kotač

U svrhu kretanja po univerzalnoj podlozi i kasnije za uspoređivanje različitih vrsta kotača, razvijen je kotač kao na sljedećim slikama. Prilikom izrade prihvatnice za osovinu motora potrebno je bilo izmjeriti same dimenzije te ostaviti dovoljnu zračnost da se kotač lagano postavi na osovinu motora, ali da ne dođe do ispadanja. U tu svrhu, protiv ispadanja je aksijalno postavljen utor protiv bočnog ispadanja (vidljivo na desnoj slici).



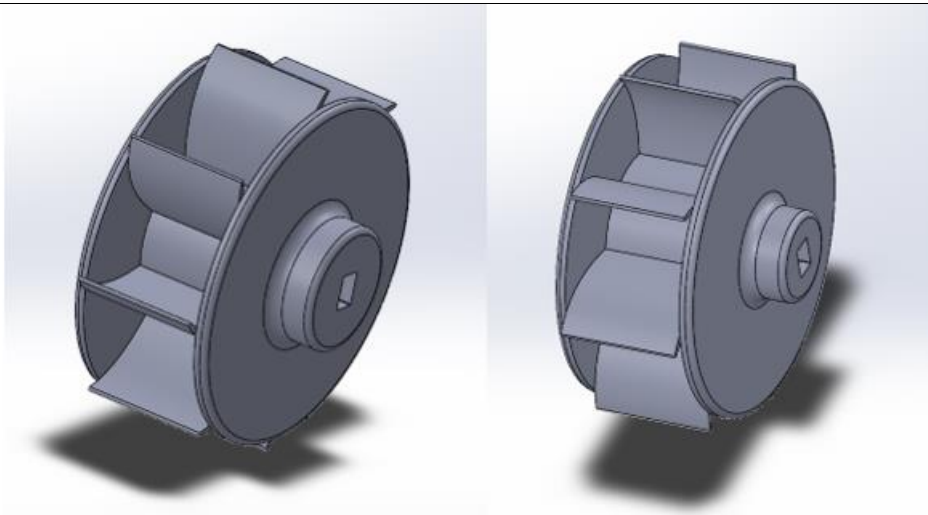
Slika 28. Običan kotač (Solidworks)



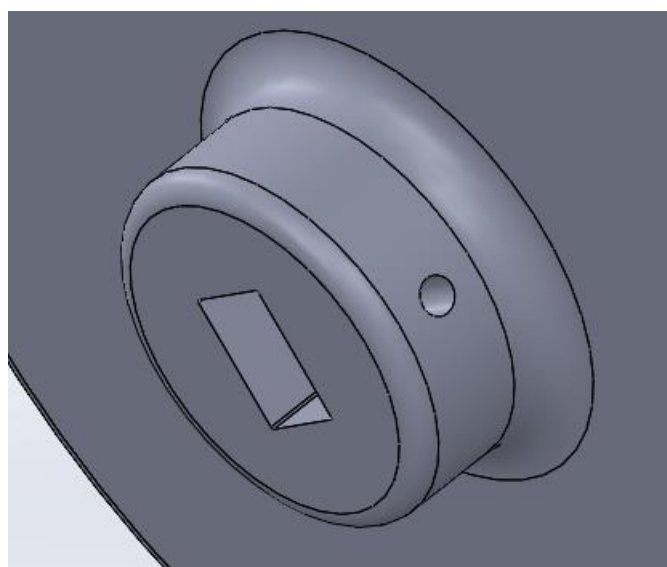
Slika 29. Par običnih kotača neposredno nakon 3D printanja

2.2.4. Paddle wheel

Prilikom modeliranja 'paddle wheel' kotača trebalo je uzeti u obzir kut zahvata lopatica bude odgovarajuć, a pritom paziti i na samu masu kotača da kotač nema preveliku zamašnu masu. Isto tako, na samim kotačima je uz uvrt za osovinu postavljen utor protiv ispadanja.



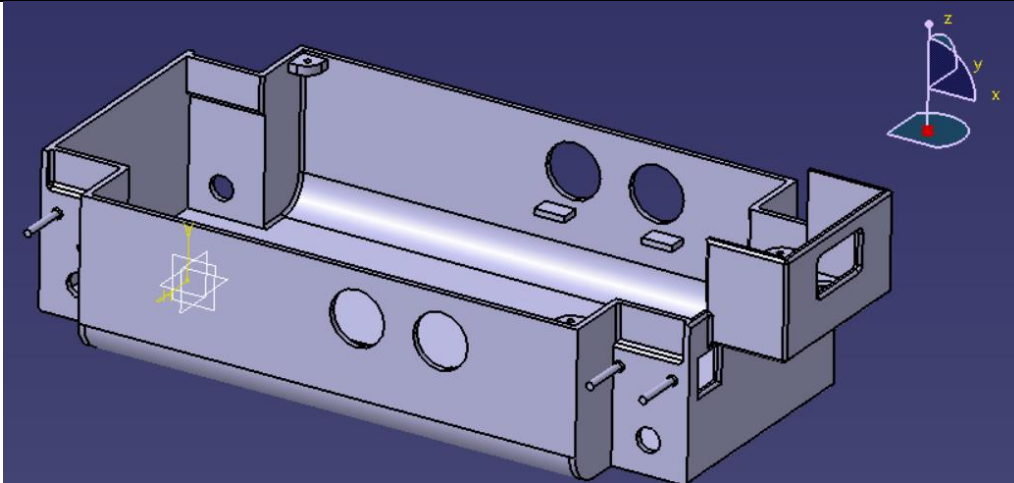
Slika 30. Paddle wheel: lijevo (lijevi kotač), desno (desni kotač)



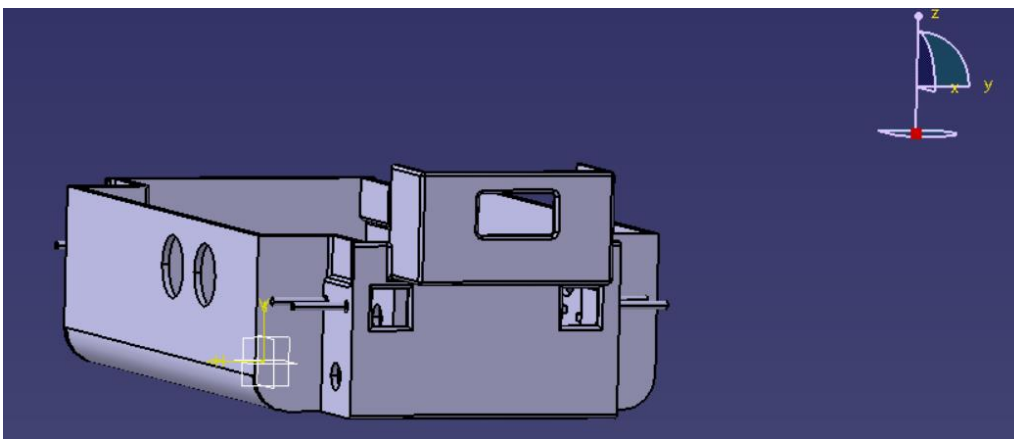
Slika 31. Utor protiv ispadanja

2.3. Modeliranje kućišta

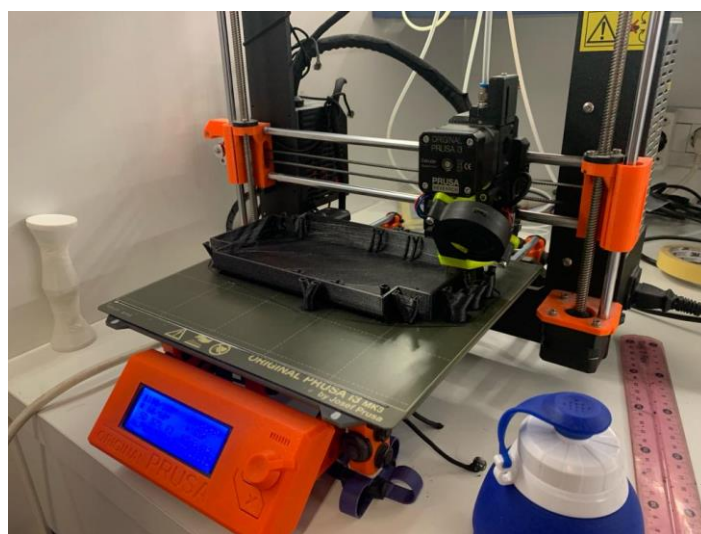
U svrhu modeliranja kućišta potrebno je bilo obratiti pozornost na veličinu i razmještaj elektroničke opreme te masu koju samo kućište treba podnijeti, uzevši u obzir masu već spomenute opreme i masu tereta. Također, prilikom izrade kućišta težilo se onemogućiti ulazak vanjskih čestica i fluida u unutrašnjost te je stoga samo kućište vodootporno. Na slikama naniže možemo vidjeti izgled samog kućišta u Catii te u toku printanja.



Slika 32. Kućište – ptičja perspektiva

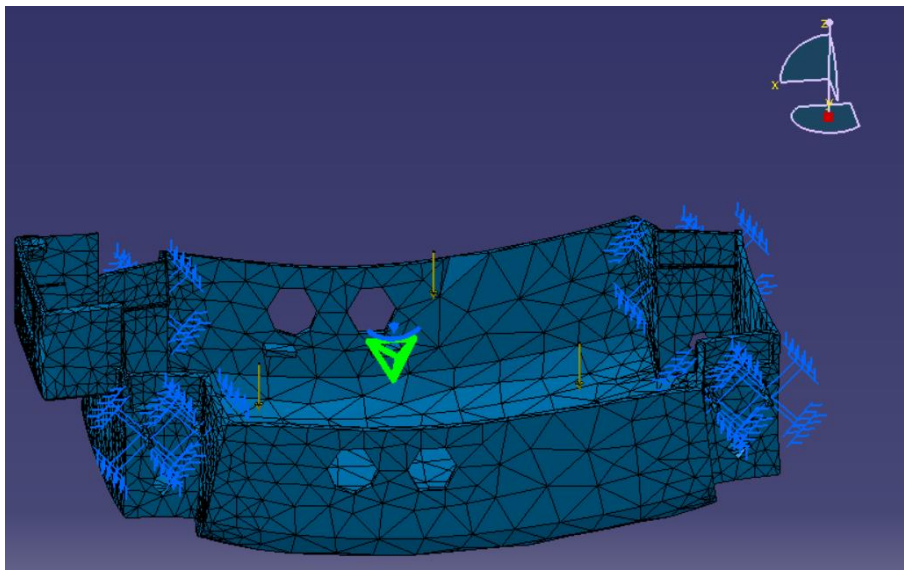


Slika 33. Kućište – frontalni pogled

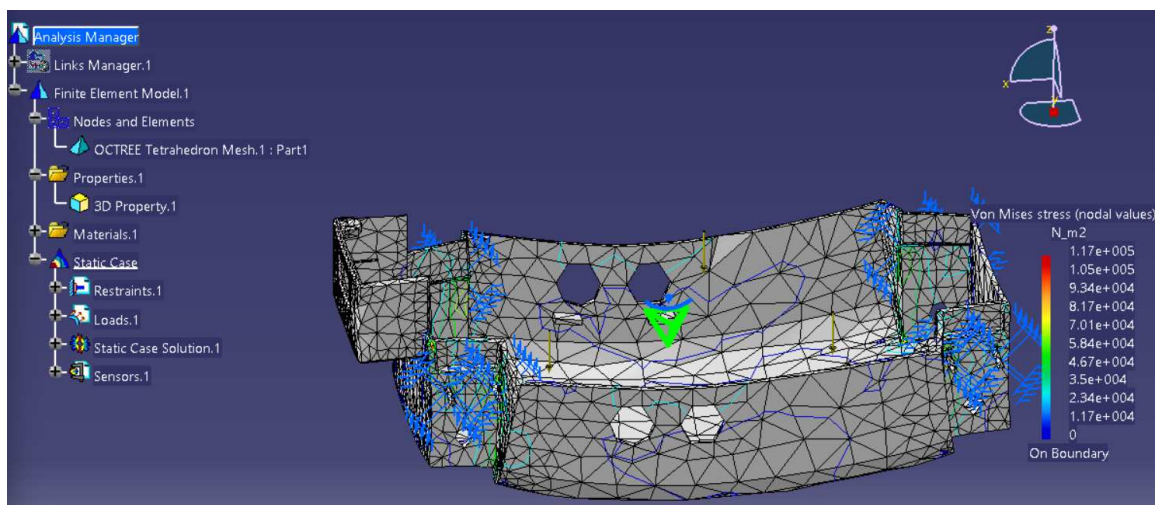


Slika 34. Kućište u procesu printanja

Za samo kućište je provedena FEM analiza unutar softverskog paketa Catia. Ista je odrađena tako da je odabran materijal 'Plastic' te su na izbojke za montažu motora postavljena uklještenja (engl. 'Clamp'). Također, distribuirana sila je postavljena na dvije površine, jedna unutar samog kućišta koja iznosi 6 N koliko i iznosi maksimalna masa opreme te na sam obod gornjeg dijela kućišta iznosa 10 N koliko iznosi maksimalni teret koji će ista moći prevoziti. Provedena je metoda 'Compute' kako bi se izračunala naprezanja za svaki tetraedarski osnovni element od kojeg je sačinjena struktura kućišta prilikom analize. Uvidom u rezultate vidljivo je da na svim segmentima struktura predimenzionirana te je provedena metoda za konstrukciju uspješno obavljena. Rezultati samog modela dani su u sljedećim slikama.



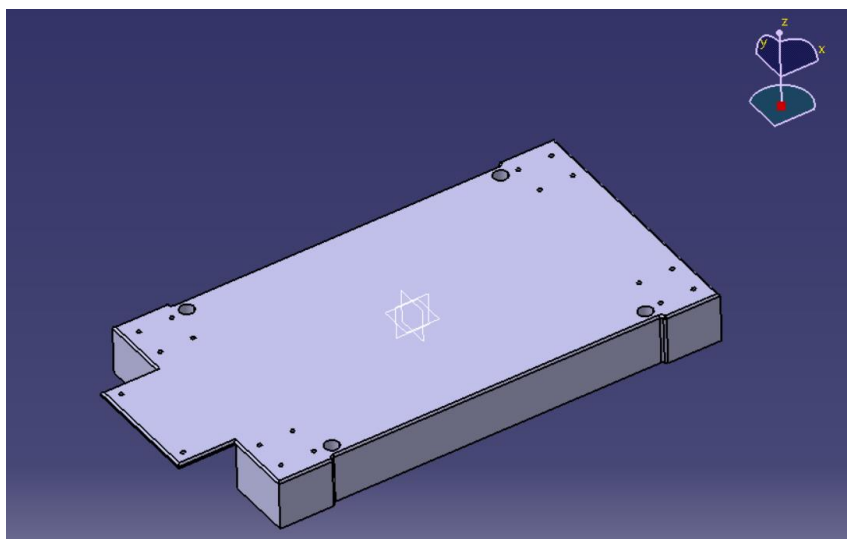
Slika 35. Model nakon postavljenih sila i uklještenja



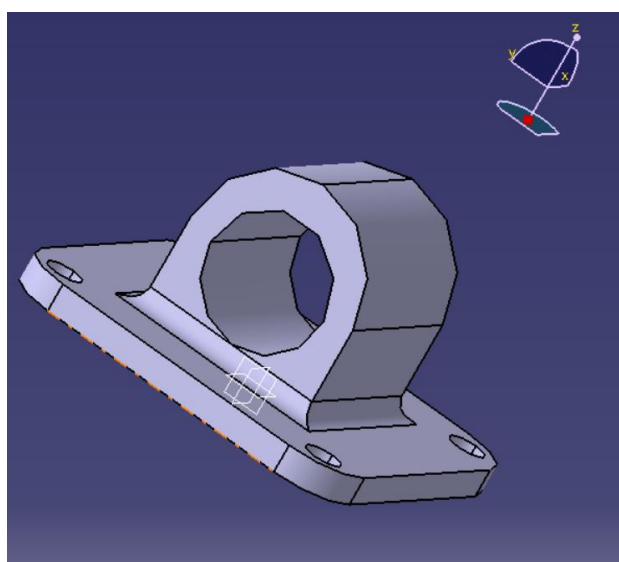
Slika 36. Model nakon provedene FEM analize

2.4. Poklopac za kućište i pričvrsnice

Radi zaštite interne opreme, izrađen je poklopac za kućište prikazan na Slici 37. Pričvršćivanje istog za kućište vršit će se vijcima M2*8 čime je omogućena rastavljivost platforme. Također, radi veće varijabilnosti, s gornje strane su izrađeni provrti za postavljanje prihvatnica (Slika 38.) koji će omogućiti gibanje tereta. Ovisno o potrebi, na naznačena mjesta se mogu postaviti i specijalizirane pričvrsnice.



Slika 37. Poklopac za kućište



Slika 38. Pričvrsnica

Na kraju, nakon printanja i sklapanja platforme u cjelinu, gabaritne mjere su sljedeće:

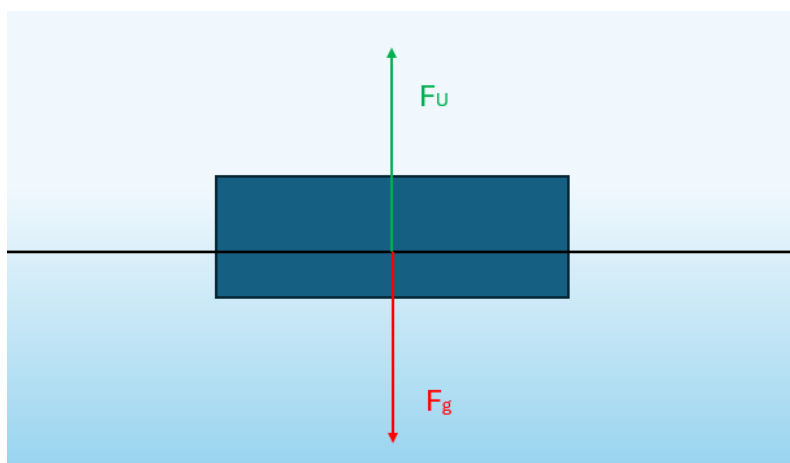
L (duljina) = 240 mm, D (širina) = 124 mm i H (visina, mjerena od podnožja) = 90 mm.

2.5. Proračun uvjeta plivanja

U početnim stavkama uvjet je bio da se mobilna višenamjenska platforma može kretati po vodi. Iz tog razloga je bilo potrebno u izradi kućišta paziti i na uvjet plivanja. Uzevši u obzir da je masa neopterećene platforme 0.5 kg (masa elektroničke opreme, modela i kotača), slijedi uvjet plivanja:

$$F_g = F_u \quad (1.1)$$

$$m * g = \rho_{tekućine} * g * V_{uronjeni\ dio\ platforme} \quad (1.2)$$



Slika 39. Sile na platformu

Znajući gabaritne dimenzije platforme koje su 215*120 mm u bazi i visina od 25 mm do koje je dopušteno uronjavanje (iznad te zone dolazimo do ultrazvučnih senzora), volumen tada iznosi 645 mm³.

Nastavno na proračun, kraćenjem akceleracija sile teže dobivamo da je maksimalna masa dobivena iz desne strane jednadžbe jednaka:

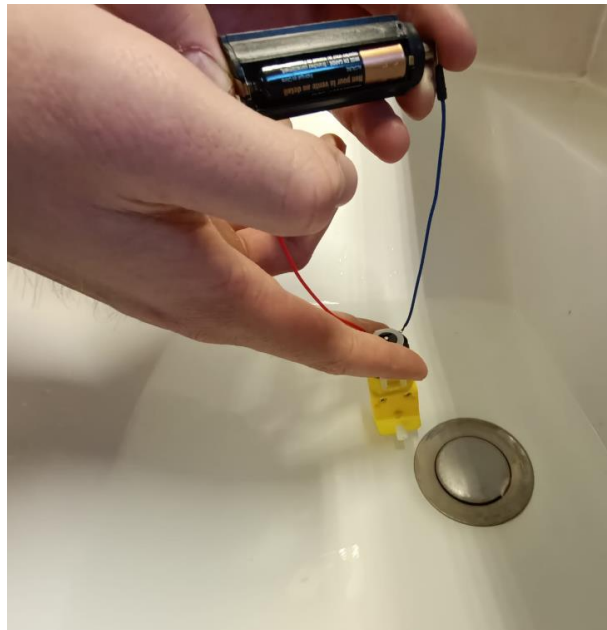
$$m = 998 \frac{kg}{m^3} * 0.000645 m^3 \quad (1.3)$$

$$m_{proračunato} = 0.644 kg \quad (1.4)$$

Iz uvjeta primjećujemo da je masa neopterećene opreme manja od maksimalne dopuštene mase te je uvjet plivanja zadovoljen:

$$m_{dopušeno} > m_{proračunato} \quad (1.5)$$

Preporuka je da sama platforma ne dolazi prečesto u kontakt s vodom, ali iz određene nužnosti takvo što je moguće. Isto tako, motori zajedno s reduktorom i osovinom u kućištu su ispitani za rad u vodi u trajanju od 10 min uronjenosti 4 cm u vodu te se pokazalo da isti su otporni na rad u vodi.



Slika 40. Ispitivanje rada motora u vodi

3. POGON MOBILNE PLATFORME

Za pogon platforme potrebno je izračunati okretni moment koji je potrebno ostvariti te predodrediti veličinu kotača. Za model odabrana je platforma s četiri kotača na kojem se nalazi po jedan motor. Razlog odabira takve strukture je bio radi veće manipulativnosti u prostoru, tj. moguće je, ako se ukaže potreba, da se svaki motor spoji na zaseban regulator i tako je moguće ostvariti gibanja u svim smjerovima. Nasuprot tome, s dva motora na koji su spojena dva kotača i još dva pasivna kotača na rotirajućoj osovini imali bi problem s velikim kutom zakreta koji je potrebno savladati prilikom skretanja. Također, mana sustava s dva aktivno pogonjena kotača i jednim pasivnim kotačem u obliku rotirajuće sfere je problem stabilnosti.

3.1. Proračun okretnog momenta i dimenzioniranje kotača

Masa platforme s kojom ćemo ići u proračun će biti masa svih 3D printanih komponenta i masa opreme, te masa tereta koji ćemo kod početne iteracije u proračunu uzeti da iznosi 1500 g. Time je ukupna masa s kojom ulazimo u proračun jednaka je 2 kg. Akceleracija sustava koju želimo postići će biti 2 m/s^2 , dok će veličina kotača biti 60 mm. Razlog toj veličini odabira veličine kotača je, uz kasnije provedeni proračun koji zadovoljava, i sama veličina platforme. Gabaritne mjere kućišta po dužini su 210 mm, te je međuosovinski razmak između kotača 190 mm. Zbog veličine kotača od 60 mm, sama platforma je uzvišena za 30 mm od tla čime bi se trebali moći savladati već spomenuti tereni.

Okretni moment T je jednak radijusu kotača r i sili na kotaču:

$$T = r * \frac{ma}{4} \quad (1.6)$$

pri čemu se sama sila dijeli na četiri dijela zbog odabranog modela od četiri pogonska kotača.

Uvrštavanjem numeričkih vrijednosti, okretni moment jednog kotača jednak je:

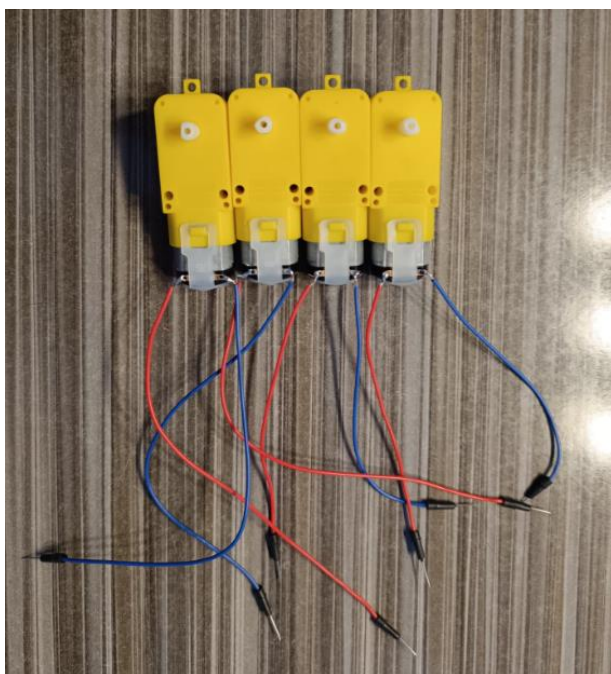
$$T = 0.06 * \frac{2*2}{4} \quad (1.7)$$

$$T = 0.06 \text{ Nm} \quad (1.8)$$

Odabirom kotača pogodnim za platformu, uz uvjet da već ima implementiran prijenosni sustav te koji može podnijeti kratkotrajan rad u vodi je TT motor DC Gearbox motor sa sljedećim specifikacijama:

Tablica 1. Specifikacije motora

Specifikacija	Vrijednost
Predviđeni napon	3- 6 V
Min. brzina vrtnje (3 V)	90+/- 10 % rpm
Max. brzina vrtnje (3 V)	200+/- 10 % rpm
Okretni moment (T)	0.15 – 0.60 Nm
Prijenosni omjer	1:48
Gabaritne dimenzije	70*22*18 mm
Masa	30.6 g

**Slika 41.** Elektromotori 'TT motor' DC gearbox'

3.2. Implementacija motora na kućište

Nakon isprintanog modela kućišta, na red je došlo čišćenje istog suviška materijala koji je služio kao potpora. Za čišćenje korišten je višenamjenski alat Dremel.



Slika 42. Kućište neposredno nakon printanja

Motori su postavljeni na posebno dizajnirane izbojke na bočnim stranama te dodatno osigurani dvostrukom samoljepljivom trakom. Prilikom izrade korištene su mnoge trake s različitom namjenom, a pregled istih dan je na Slici 44.



Slika 43. Kućište s postavljenim motorima



Slika 44. Trake

Idući s lijeva nadesno, za osiguranje od naglih udara i potencijalnog oštećenja opreme postavljena je crna traka, duck tape služio je za privremeno osiguranje opreme s vanjske strane, zatim izolir traka, dvostruka samoljepljiva traka s mekanim slojem služi za unutarnju zaštitu kablova i senzora, dvostruka crvena samoljepljiva traka korištena je za osiguranje motora te aluminijska traka za izbjegavanje naglih prijelaza oblika kod žica te za onemogućavanje gibanja unutarnjih žica.

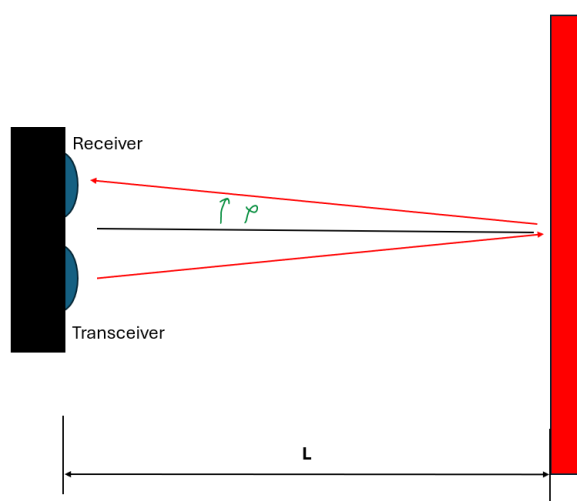
4. SENZORSKI SUSTAV

4.1. Ultrazvučni senzor

Ultrazvučni senzor je jedan od senzora za mjerenje udaljenosti. Disk takvog senzora izrađen je od piezokristalne keramike i legure nikla i ferita, a radi tako da emitira i prima ultrazvučne valove. Ulazne karakteristike su napon i visoka frekvencija ($f < 20$ kHz), gdje pritom disk zatitra te odašilje ultrazvučne valove u prostor. Razlikujemo dvije vrste diska, odašiljač i prijemnik. Odašiljač pošalje signal koji dolazi do prepreke, te se po zakonu loma odbije natrag i prijemnik očita vrijeme dolaska i valni oblik emitiranog uzorka. Potom se udaljenost računa s pomoću formule:

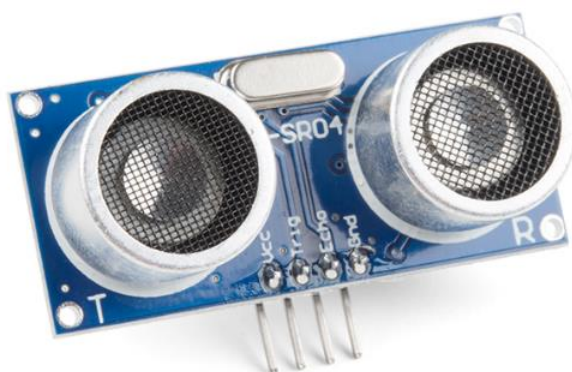
$$L_d = \frac{v_{zvuka} * t * \cos \rho}{2} \quad (1.9)$$

gdje v_{zvuka} iznosi 330 m/s. Često se, radi pojednostavljenja kut ρ pretpostavi da je $\rho = 0^\circ$ jer je udaljenost između prijemnika i odašiljača zanemarivo manja od udaljenosti između prepreke i senzora.



Slika 45. Rad ultrazvučnog senzora

U izradi mobilne višenamjenske platforme korišten je senzor HCSR04. Izgled i specifikacije dane su na Slici 46. i Tablici 2. Posebno je važno za istaknuti da je najveća mjerena udaljenost koju ovaj senzor može prepoznati je 2400 cm, dok kut unutar kojeg djeluje (radni, efektivan kut) je 30° . Za naše potrebe mjerenja ove specifikacije su sasvim zadovoljavajuće.



Slika 46. HCSR04

Tablica 2. Specifikacije ultrazvučnog senzora HCSR04

Specifikacije	Vrijednost
Napajanje	+ 5 V DC
Struja tokom mirovanja	<2 mA
Struja tokom aktivnog rada	15 mA
Efektivan kut rada (engl. 'Effectual angle')	<15°
Najviša moguća mjerena udaljenost	2400 cm
Rezolucija	0.3 cm
Mjerni kut	30°
Trigger Input Impulse width	10 uS
Dimenzije	45*20*15 mm
Masa	10 g

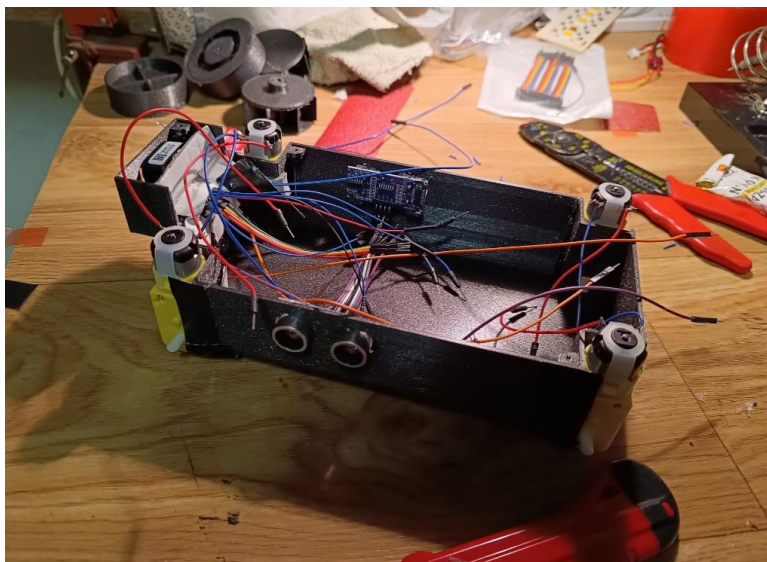
Senzor HCSR04 ima 4 ulaznih pinova čije objašnjenje je dano u Tablici 3.

Tablica 3. Senzor HCSR04 - pinout

Pin	Značenje
Vcc	Napajanje senzora; potrebno osigurati 5 V DC
Trig	Pin koji stvara impulse koji dolaze na odašiljač
echo	Primateelj impulsa
GND	Uzemljenje

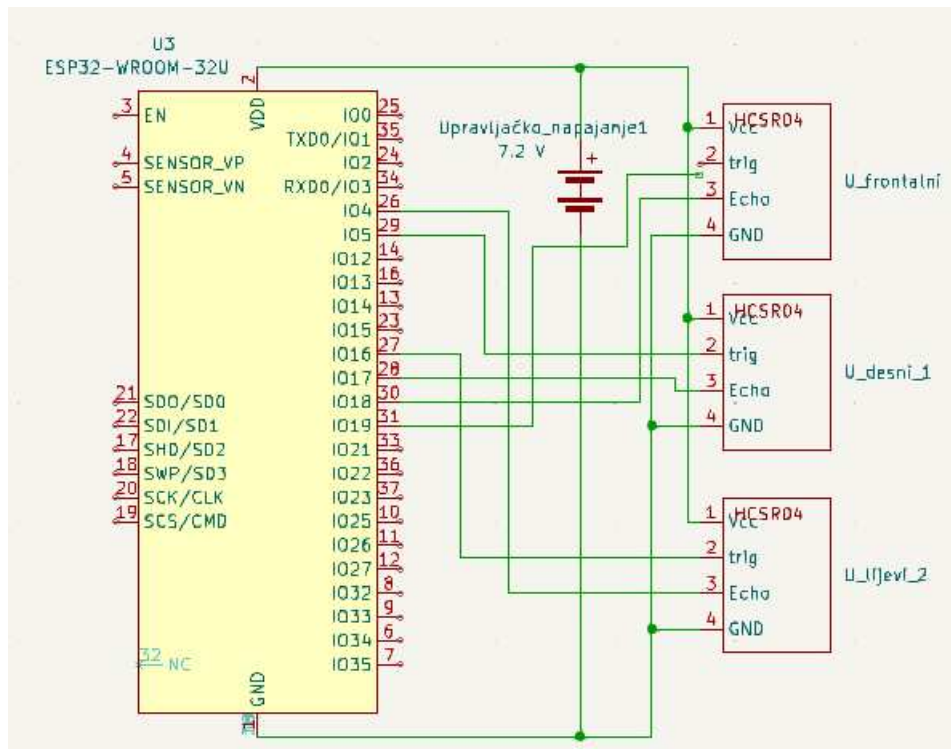
Na platformi su implementirana tri takva senzora, dva s bočne strane i jedan s prednje tako da gleda u površinu tla. Senzor na prednjem dijelu platforme ima svrhu ako se odjednom ukaže da tlo po kojem se vozi naglo promijeni oblik, tj. ispred se ukaže povećana rupa, da se robot instantno zaustavi te se krene gibati u nekom drugom smjeru.

Svrha bočnih senzora je takva da kada robot detektira prepreku i dođe do zadane udaljenosti od iste, bočni senzori izmjere udaljenost, i tamo gdje je udaljenost veća, isti se nastavlja gibati.



Slika 47. Implementacija senzora HCSR04 na platformi

Na sljedećoj shemi možemo vidjeti na koji su način spojeni senzori na mikrokontroler.



Slika 48. HCSR04 – shema spajanja

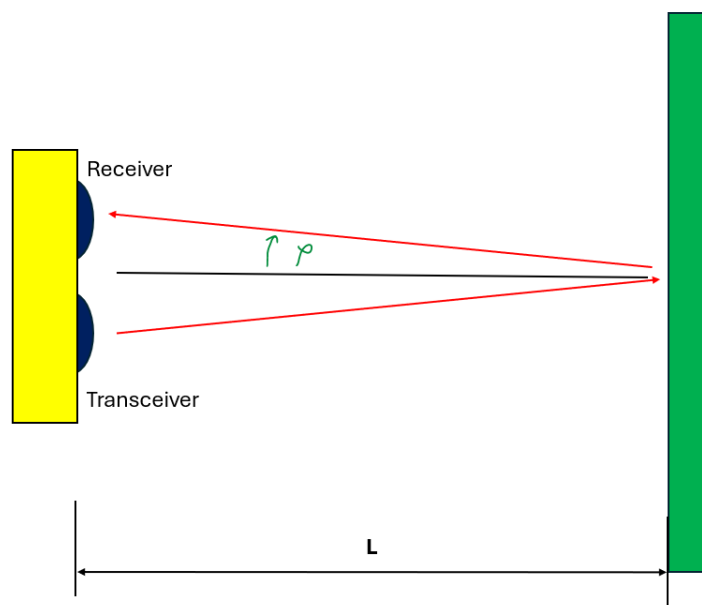
4.2. LIDAR

LIDAR ('Light Detecting and ranging') vrsta je senzora udaljenosti koji koristi lasersku zraku za mjerenje udaljenosti. Metoda mjerenja udaljenosti je analogna metodi koju koriste ultrazvučni senzori. LIDAR se sastoji od odašiljača i prijemnika laserske zrake te udaljenost mjeri s pomoću izraza:

$$L_d = \frac{c*t*\cos\rho}{2} \quad (1.10)$$

gdje je c brzina svjetlosti i iznosi $c = 299792\,458$ m/s. Također se, radi pojednostavljenja, kut ρ pretpostavlja da je $\rho = 0^\circ$ jer je udaljenost između prijemnika i odašiljača zanemarivo manja od udaljenosti između prepreke i senzora te tada formula poprima izraz:

$$L_d = \frac{c*t}{2} \quad (1.11)$$



Slika 49. Rad LIDAR senzora

Često se LIDAR koristi za mapiranje prostora, te iz toga razloga vrlo česta implementacija takvog senzora je na rotirajući LIDAR. S druge strane, jednostavnija izvedba je statički LIDAR koji mjeri isključivo linearnu udaljenost. Za potrebe implementacije LIDAR – a na platformu korišten je LIDAR TF Luna. Specifikacije istoga dane su u Tablici 4.



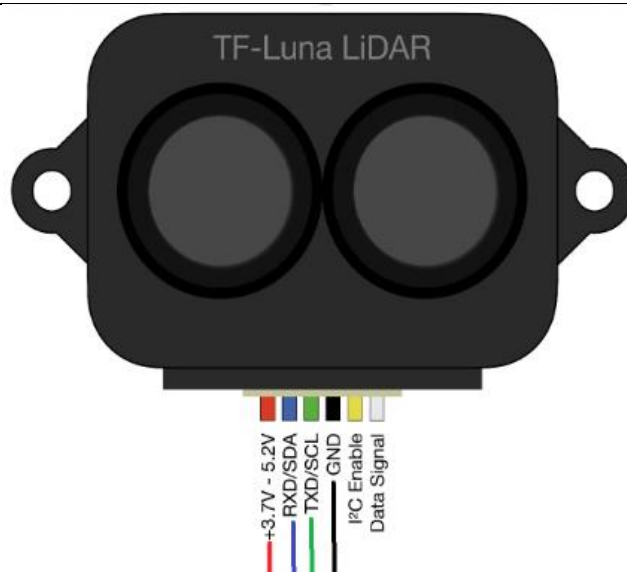
Slika 50. LIDAR TF luna

Tablica 4. Specifikacije TF Luna

Specifikacije	Vrijednost
Napajanje	5 V \pm 0.1 V
Prosječna potrošnja struje	do 70 mA
Maksimalna potrošnja struje	150 mA
Prosječna potrošnja energije	<0.35 W
Komunikacija	UART/I2C
Točnost	+/- 6 cm (0.2 do 3 m) +/- 2 % (3 do 8 m)
Frekvencija	100 Hz
Izvor svjetlosti	VSCEL
Rezolucija	1 cm
Valna duljina	850 nm
FoV viewing angle	2°
Dimenzije	35*21.5*13.5 mm
Masa	5 g

Ako usporedimo specifikacije TF Lune i HCSR04, vidljivo je da LIDAR može mjeriti veću udaljenost, ali je neprecizniji. Pošto se platforma giba u smjeru u kojem gleda senzor, i uzevši u obzir brzinu kojom će se gibati platforma, odstupanje je unutar dozvoljenih granica.

U Tablici 5. dan je opis pinova.



Slika 51. LIDAR TF Luna – pinout

Tablica 5. LIDAR TF Luna – pinout

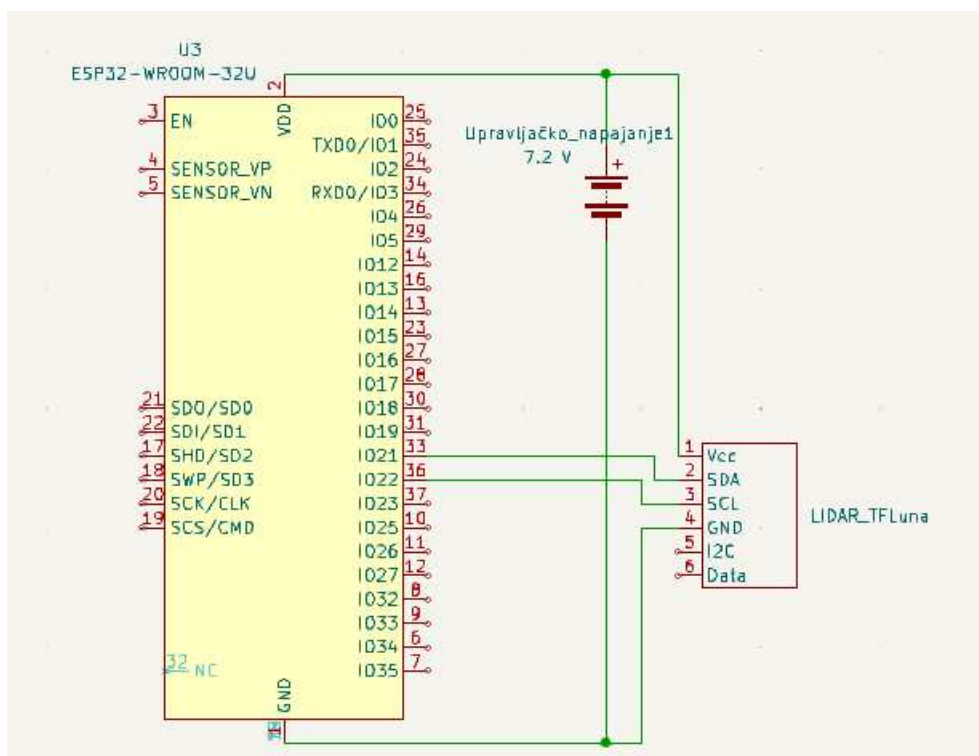
Pin	Značenje
Vcc/Vin	Napajanje; 5 V
SDA/RXD	Serial data Line/ Receive data
SCL/TXD	Serial Clock Line/ Transceive data
GND	Uzemljenje, Ground
I2C	I2C protokol
Data Signal	Enable/ Unable

Navedeni senzor podržava dvije vrste komunikacije, I2C i UART. U sljedećoj tablici dane su karakteristike sučelja (engl. 'Interface')

Tablica 6. I2C i UART

UART komunikacija	
Default baud rate	115200 (adjustable)
Data bit	8
Stop bit	1
Parity	none
I2C komunikacija	
Max transmission rate	400 kbps
Master/Slave mode	Slave
Default adress	0x10
Adress range	0x08-0x77

Postupak spajanja senzora priložen je na sljedećoj shemi:

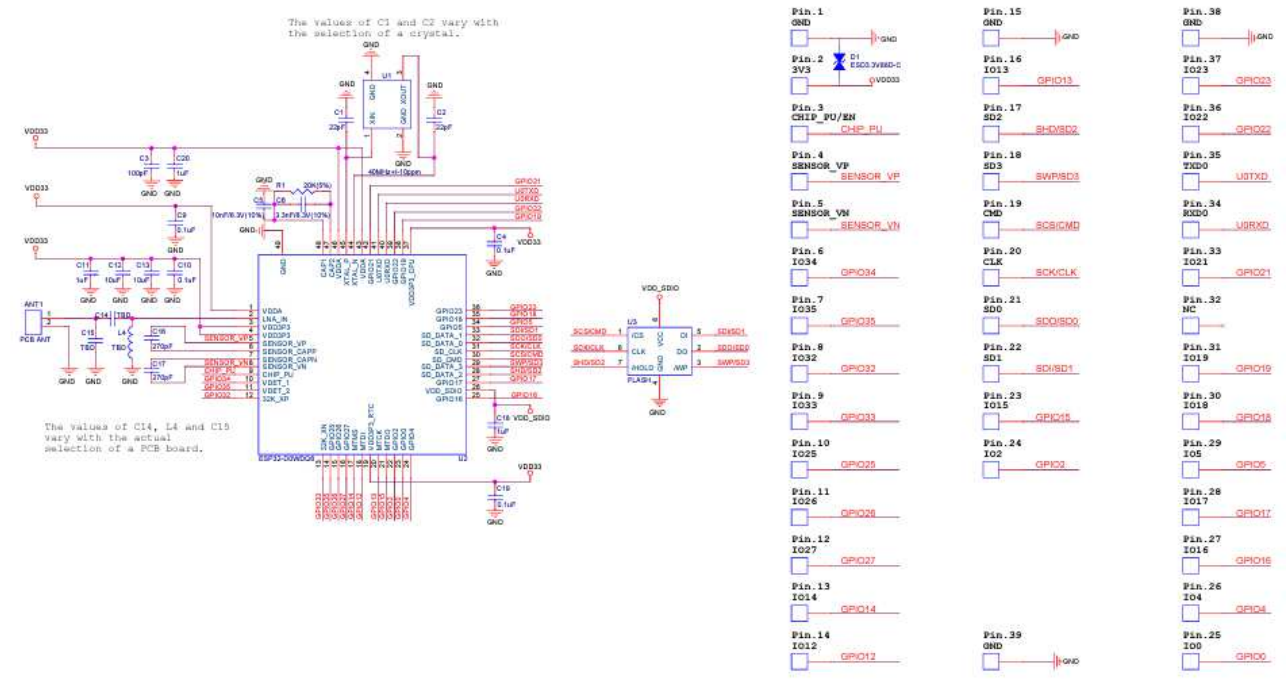


Slika 52. LIDAR TF Luna – shema spajanja

5. MIKROPROCESORSKO UPRAVLJANJE I REGULACIJA MOTORA

5.1. Odabir mikrokontrolera

U svrhu mikroprocesorskog upravljanja odabran je mikrokontroler ESP 32 – WROOM – 32U. Navedeni mikrokontroler koristi ESP32-D0WDQ6 mikroprocesor, ili drugim riječima Xtensa LX6 dual -core procesor s radnim taktom od 240 Hz. Specifičnost ovog mikrokontrolera je i mogućnost WiFi i Bluetooth low energy komunikacije. Posjeduje 36 GPIO pinova (General Purpose Input/Output) što ga čini idealnim za navedeni projekt te je niski potrošač energije. Logika mikroprocesora se dovija na 3.6 V, dok maksimalna struja koju isti može podnijeti je 1100 mA.



Slika 53. Interna shema ESP 32 WROOM 32U mikrokontrolera

Tablica 7. ESP 32 WROOM - Pinout

Name	No.	Type	Function
SENSOR_VP	4	I	GPIO36, ADC1_CH0, RTC_GPIO0
SENSOR_VN	5	I	GPIO39, ADC1_CH3, RTC_GPIO3
IO34	6	I	GPIO34, ADC1_CH6, RTC_GPIO4
IO35	7	I	GPIO35, ADC1_CH7, RTC_GPIO5
IO32	8	I/O	GPIO32, XTAL_S2K_P (32.768 kHz crystal oscillator input), ADC1_CH4, TOUCH9, RTC_GPIO9
IO33	9	I/O	GPIO33, XTAL_S2K_N (32.768 kHz crystal oscillator output), ADC1_CH5, TOUCH8, RTC_GPIO8
IO25	10	I/O	GPIO25, DAC_1, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, EMAC_RXD0
IO26	11	I/O	GPIO26, DAC_2, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, EMAC_RXD1
IO27	12	I/O	GPIO27, ADC2_CH7, TOUCH7, RTC_GPIO17, EMAC_RX_DV
IO14	13	I/O	GPIO14, ADC2_CH6, TOUCH6, RTC_GPIO16, MTMS, HSPCLK, HS2_CLK, SD_CLK, EMAC_TXD2
IO12	14	I/O	GPIO12, ADC2_CH5, TOUCH5, RTC_GPIO15, MTDI, HSPQ, HS2_DATA2, SD_DATA2, EMAC_TXD3
GND	15	P	Ground
IO13	16	I/O	GPIO13, ADC2_CH4, TOUCH4, RTC_GPIO14, MTCK, HSPID, HS2_DATA3, SD_DATA3, EMAC_RX_ER
SHD/SD2*	17	I/O	GPIO9, SD_DATA2, SPIHD, HS1_DATA2, U1RXD
SWP/SD3*	18	I/O	GPIO10, SD_DATA3, SPIWP, HS1_DATA3, U1TXD
SCS/CMD*	19	I/O	GPIO11, SD_CMD, SPICSD, HS1_CMD, U1RTS
SCK/CLK*	20	I/O	GPIO8, SD_CLK, SPICLK, HS1_CLK, U1CTS
SDO/SD0*	21	I/O	GPIO7, SD_DATA0, SPIQ, HS1_DATA0, U2RTS
SDV/SD1*	22	I/O	GPIO8, SD_DATA1, SPID, HS1_DATA1, U2CTS
IO15	23	I/O	GPIO15, ADC2_CH3, TOUCH3, MTD0, HSPICSD, RTC_GPIO13, HS2_CMD, SD_CMD, EMAC_RXD3
IO2	24	I/O	GPIO2, ADC2_CH2, TOUCH2, RTC_GPIO12, HSPWP, HS2_DATA0, SD_DATA0
IO0	25	I/O	GPIO9, ADC2_CH1, TOUCH1, RTC_GPIO11, CLK_OUT1, EMAC_TX_CLK
IO4	26	I/O	GPIO4, ADC2_CH0, TOUCH0, RTC_GPIO10, HSPHD, HS2_DATA1, SD_DATA1, EMAC_TX_ER
IO16	27	I/O	GPIO16, HS1_DATA4, U2RXD, EMAC_CLK_OUT
IO17	28	I/O	GPIO17, HS1_DATA5, U2TXD, EMAC_CLK_OUT_180
IO5	29	I/O	GPIO5, VSPICSD, HS1_DATA6, EMAC_RX_CLK
IO18	30	I/O	GPIO18, VSPICLK, HS1_DATA7
IO19	31	I/O	GPIO19, VSPIQ, U0CTS, EMAC_TXD0
NC	32	-	-
IO21	33	I/O	GPIO21, VSPHD, EMAC_TX_EN
RXD0	34	I/O	GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2
TXD0	35	I/O	GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2
IO22	36	I/O	GPIO22, VSPWP, U0RTS, EMAC_TXD1
IO23	37	I/O	GPIO23, VSPID, HS1_STROBE
GND	38	P	Ground

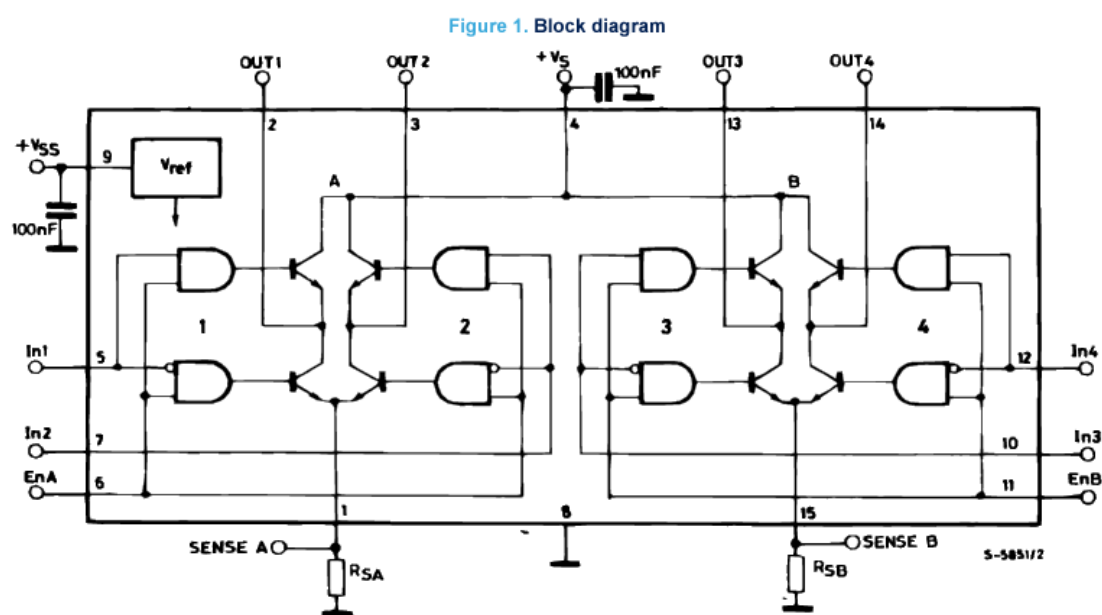
Name	No.	Type	Function
GND	1	P	Ground
3V3	2	P	Power supply
EN	3	I	Module-enable signal. Active high.

5.2. L298 regulator

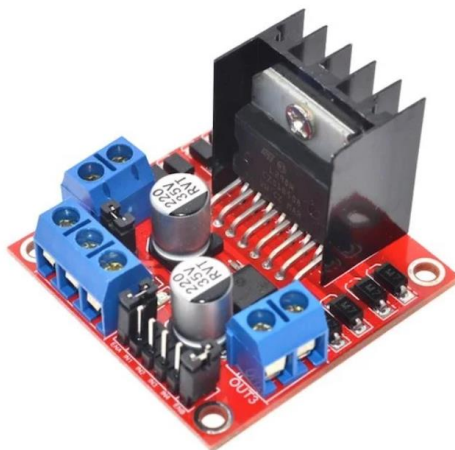
Za regulaciju brzine vrtnje motora korišten je regulator L298. Pošto je koncept gibanja mobilne robotske platforme takav da dva motora jedne strane su istovremeno pogonjena, za takvu izvedbu bilo je potrebno koristiti samo jedan L298 driver. Za potrebe veće manipulacije kretanjem u postojeću platformu lako se može ugraditi dodatni regulator. Navedeni regulator ima dva izlaza za motore, te se na isti izlaz može paralelno upravljati s dva motora. U Tablici 8. dane su specifikacije regulatora.

Tablica 8. Specifikacije L298 regulatora

Specifikacije	Vrijednost
Maksimalna snaga	25 W
Napon	5-35 V (za motor) 5 V (logika)
Struja	2 A
Dimenzije	43*43*23 mm



Slika 56. Interna shema regulatora L298



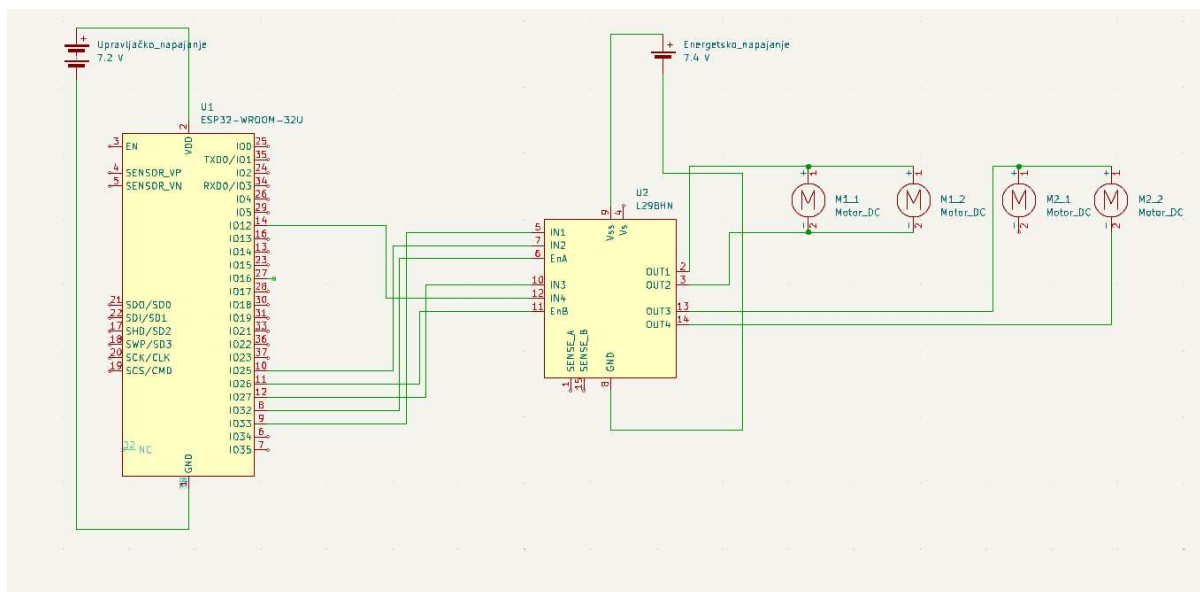
Slika 57. Regulator L298

Iz interne sheme regulatora vidljivo je da se sastoji od dva H- mosta (mosna spoja) te time je omogućena regulacija brzine u oba smjera. Iz Tablice 9. možemo iščitati ulazne i izlazne pinove u regulator.

Tablica 9. Regulator L298 – pinout

Pin	Značenje
OUT1	+/- izlaz za motor A
OUT2	+/- izlaz za motor A
OUT3	+/- izlaz za motor B
OUT4	+/- izlaz za motor B
EnA	Kontrola brzine vrtnje motora A pomoću PWM- a (Pulse Width Modulation)
In1	Regulacija smjera vrtnje motora A (ako je ovaj izlaz 1, motor se kreće unaprijed)
In2	Regulacija smjera vrtnje motora A (ako je ovaj izlaz 1, motor se kreće unazad)
	Kontrola brzine vrtnje motora B pomoću PWM- a (Pulse Width Modulation)
In3	Regulacija smjera vrtnje motora B (ako je ovaj izlaz 1, motor se kreće unaprijed)

In4	Regulacija smjera vrtnje motora B (ako je ovaj izlaz 1, motor se kreće unazad)
+5 V/+ 12 V	Ulaz u regulator od 5 V/12 V
GND	Uzemljenje

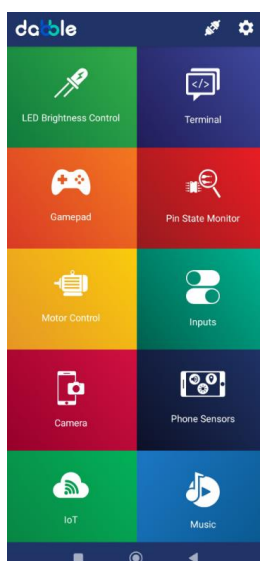


Slika 58. Shema spajanja regulatora, motora i mikroprocesora

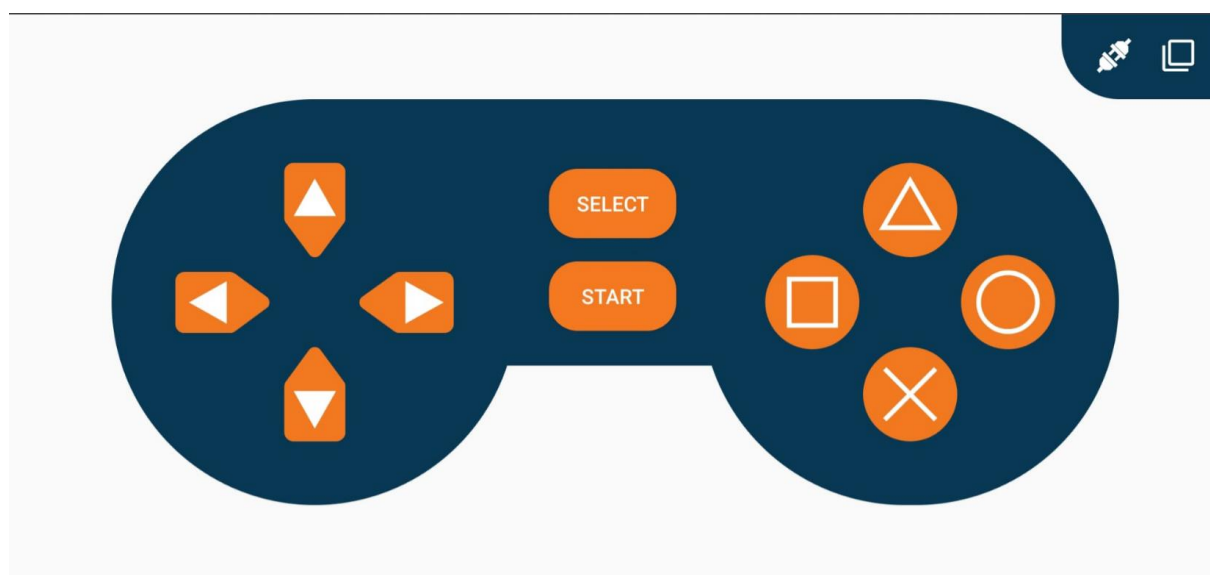
6. KOMUNIKACIJA I PROGRAMSKI KOD

6.1. Komunikacija

U svrhu povezivanja mobilne robotske platforme i vanjskog uređaja, u mojem slučaju mobitela, korištena je aplikacija Dabble. Mikrokontroler koristi 4.2 Bluetooth generaciju te je isti implementiran na samu pločicu, a za pojačavanje signala postavljena je antena na vanjski izvod na mikrokontroleru. Domet antene bez postavljene antene je 5 m, dok postavljanjem iste na specijaliziran izvod na mikrokontroleru povećavamo domet do 50 m aktivnog hvatanja signala.



Slika 59. Dabble mobilna aplikacija (na mobilnom uređaju)

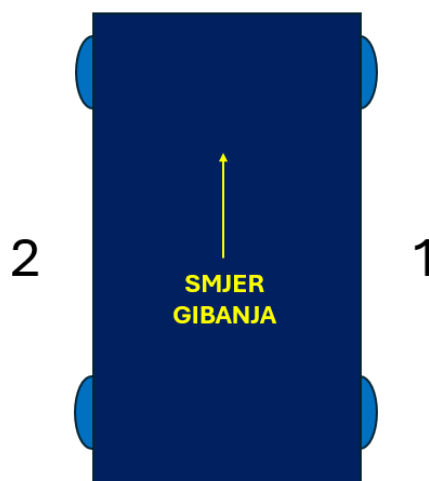


Slika 60. Dabble – Gamepad sučelje

6.2. Programski kod – autonomna vožnja

Programski kod za autonomnu vožnju sastoji se od nekoliko segmenata: regulacija motora, čitanje podataka s LIDAR - a i ultrazvučnih senzora. Kretanje robotske platforme je ostvareno tako da se istovremeno pogone obje strane platforme (dva izlaza s regulatora na koje su svaki od njih spojena dva motora) te uvjet kretanja je ostvaren sve dok je udaljenost na LIDAR senzoru veća od zadane dopuštene i dok je udaljenost na prednjem ultrazvučnom senzoru manja od dopuštene. Čim se neka od veličina promijeni, motori se odmah zaustave te tada nastupaju ultrazvučni bočni senzori, svaki s jedne strane vozila. Oni očitavaju vrijednosti udaljenosti te gdje je veća udaljenost, u tu stranu se robot nastavlja gibati. Robot se zakreće u navedenu stranu sve dok vrijednosti za frontalno kretanje nisu ponovno zadovoljene.

Radi jednostavnosti, i lakšeg snalaženja u pinovima, imenovane su lijeva i desna strana platforme, kao na Slici 61.



Slika 61. Definiranje lateralnih strana platforme

Na Slici 62. prikazan je generalni postav za mjerenje veličina na svim sensorima.



Slika 62. Postav za mjerenje implementiranih sustava izvan kućišta

6.2.1. Ultrazvučni senzori

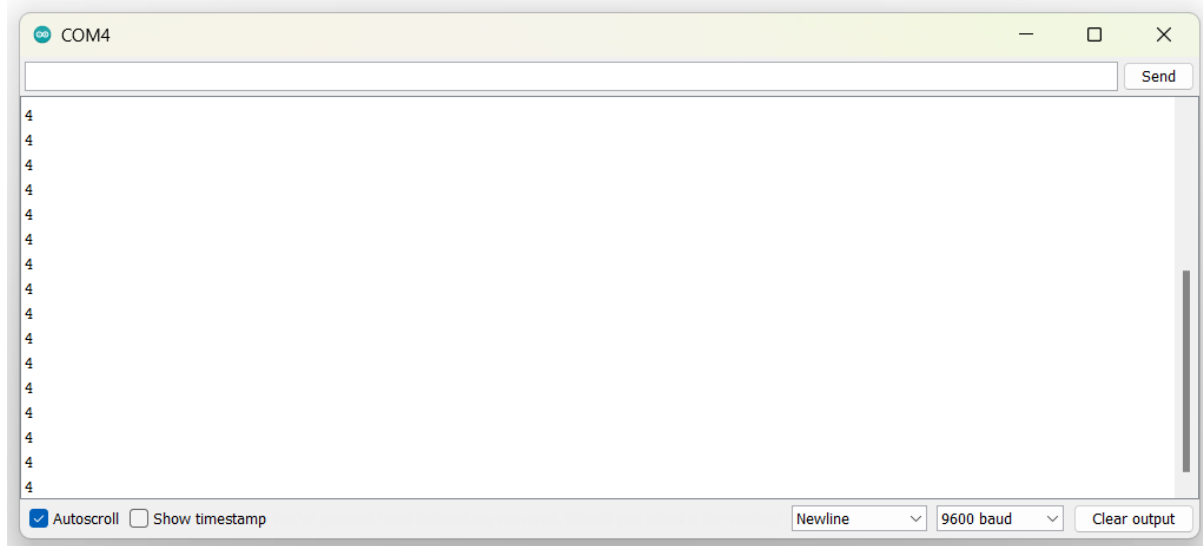
Prije samog postupka čitanja signala, u Arduino IDE programu potrebno je definirati ulaze u senzor, echo i trig. Idući redom, od prednjeg senzora, pa preko desnog do lijevog u smjeru kretanja, pinovi su dani Tablici 10.

Tablica 10. Ultrazvučni senzori – pinout

Pin (na senzoru)	Pin (na ESP 32 WROOM 32U)
Prednji senzor - trig	19
Prednji senzor - echo	18
Desni senzor 1 - trig	5
Desni senzor 1 - echo	17
Lijevi senzor 2 - echo	16
Lijevi senzor 2 - trig	4

U samom kodu nakon inicijaliziranih izlaza, potrebno je definirati PinMode za svaki senzor te u petlji voidloop() je korištenjem naredbi digitalWrite, delay i PulseIn naredbi određena udaljenost od objekta.

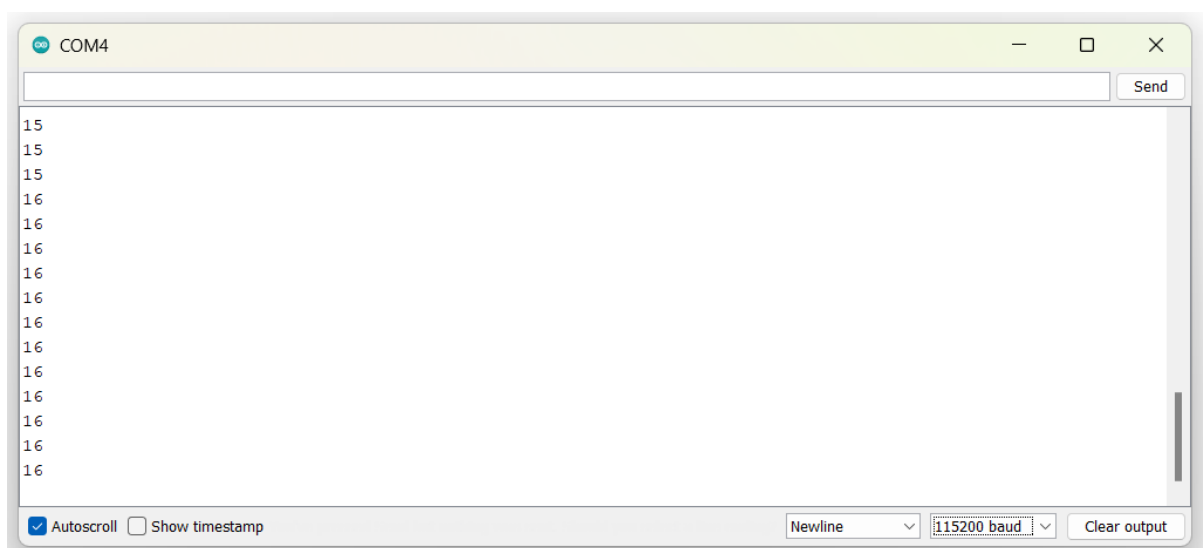
Prikaz mjerenja s prednjeg, vertikalnog senzora dan je na Slici 63.



Slika 63. Probno mjerenje – Ultrazvučni prednji senzor

6.2.2. LIDAR TF Luna

Prilikom čitanja podataka s LIDAR – a, potrebno je pozvati biblioteke: <Wire.h> koji služi za čitanje podataka putem I2C komunikacije, <Arduino.h> unutar kojeg su pohranjeni podaci o općenitim senzorima te <TFLI2C.h> unutar kojega su pohranjeni podaci o navedenom korištenom senzoru, TF Luna. Slijedi inicijalizacija portova te nakon toga u void loop() petlji ispisuju se podaci sa senzora.



Slika 64. Probno mjerenje – TF Luna

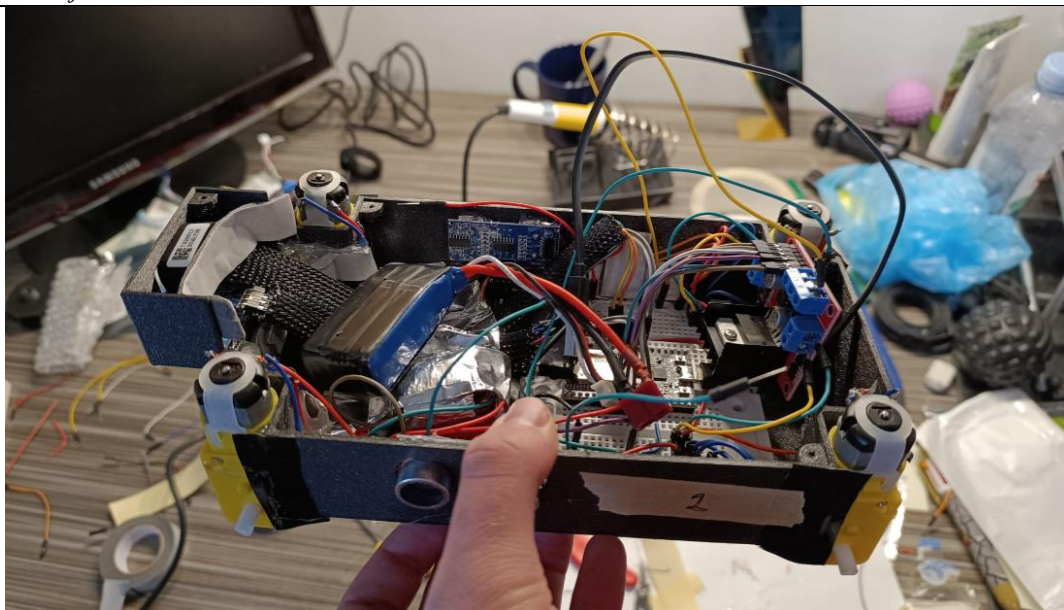
6.2.3. Regulacija motora

Prilikom regulacije motora potrebno je izvršiti inicijalizaciju ulaza s pinova regulatora. U tu svrhu, u Tablici 11. dan je pinout na mikrokontroleru:

Tablica 11. Regulator L298 – pinout za mikrokontroler

Pin (na regulatoru)	Pin (na ESP 32 WROOM 32U)
Motor1en1 (Ena)	32
Motor1in1 (In1)	33
Motor1in2 (in2)	35
Motor2en2 (EnB)	26
Motor2in1 (In3)	27
Motor2in2 (in4)	14

U poglavlju void Setup() inicijalizirani su pinovi kao izlazi. Također, prilikom probnih mjerenja ustanovljeno je da brzina vrtnje koja se inicijalizira u programu ne bi smjela biti manja od 120 jer u suprotnom motori koji su spojeni na jedan izlaz ne bi imali dovoljno snage za pokretanje. Sama brzina se kreće u rasponu od 0 do 255. Poziv za uključanjem pojedinog izlaza na regulatoru za motor je vrlo jednostavan, potrebno je naredbom analogWrite predodrediti brzinu vrtnje koja se šalje na EnA/ EnB izlaz koji je u suštini PWM signal. Druga stavka koja se treba postaviti je smjer brzine vrtnje, što se postiže naredbom digitalWrite. Ako želimo omogućiti kretanje motora naprijed, tada je potrebno s pomoću takve dvije naredbe postaviti In1 na poziciju HIGH, a In2 na poziciju LOW ako je riječ o motoru A. Analogno vrijedi za motor B, gdje su pinovi smjera vrtnje In3 i In4.



Slika 65. Platforma s implementiranom opremom

6.2.4. Programski kod – Bluetooth komunikacija

Bluetooth komunikacija aktivira se pritiskom tipkala koji iz LOW mode- a pređe u HIGH mode. Prilikom pisanja koda potrebno je pozvati biblioteku <DabbleESP32.h> koja sadrži sve funkcije navedene aplikacije, te definirati CUSTOM_SETTINGS i INCLUDE_GAMEPAD_MODULE koji ćemo koristiti na kretanje. Samo sučelje Gamepad modula priloženo je na Slici 69. U void setup() dijelu programa potrebno je postaviti naziv Bluetooth – a pozivom naredbe Dabble.begin ("MojESP32"), dok u void loop() su definirane četiri moguće situacije kretanja, naprijed, nazad, desno i lijevo. Također, radi sigurnosti sustava, ako platforma dođe na udaljenost manju od 35 cm od objekta ili naiđe na prepreku u obliku rupe, ista odmah staje te se je nemoguće dalje kretati dok se sigurnosni aspekti ne zadovolje.

U Prilogu se nalazi cijeli kod mobilne platforme.

7. NAPAJANJE

7.1. Napajanje energetskog sustava

7.1.1. Proračun odabira baterije energetskog sustava

Napajanje mobilne autonomne platforme biti će radi sigurnosti odvojeno u dva kruga, energetski i upravljački krug. Unutar energetskog kruga ulazi napajanje regulatora L298 na koji su spojeni glavni potrošači energije, motori. Također, na isti sustav spojene su LED diode na frontalnom dijelu platforme. Za proračun poslužit ćemo se sljedećim vrijednostima prikazanim u Tablici 12.

Tablica 12. Nazivne vrijednosti struje i napona komponenata energetskog kruga

Regulator L298	
Maksimalan napon ostvariv na sustavu	5 V
Maksimalna struja ostvariva na sustavu	2 A
LED diode (2 kom.)	
Maksimalan napon ostvariv na sustavu	7.4 V
Maksimalna struja ostvariva na sustavu	0.42 A
TT motor (1 kom.)	
Maksimalan napon ostvariv na motoru	3 - 6 V
Maksimalna struja ostvariva na motoru	1.5 A *kratkotrajno 0.45 A prosječna potrošnja

Za proračun baterijskog paketa nam je bitan rad koji se dobije prema izrazu:

$$W = U * I * t \quad (1.12)$$

te ćemo radi jednostavnosti zanemariti sve gubitke te sustav idealizirati kao idealan. Prilikom proračuna uzeo sam zbroj vrijednosti energija koje je potrebno dostaviti LED sustavu i motorima preko regulatora, te sam tu, radi jednostavnosti, uzeo maksimalne vrijednosti napona i struje regulatora za referencu proračuna.

Izraz za rad za energetski sustav glasi:

$$W_{energetski} = W_{LED} + W_{motori} \quad (1.13)$$

$$W_{energetski} = 7.4 * 0.42 * 1 + 5 * 2 * 1 \quad (1.14)$$

$$W_{energetski} = 13.108 \text{ Wh} \quad (1.15)$$

gdje sam za vrijeme obavljanja rada platforme naveo jedan sat. Za napajanje sustava uzeo sam baterijski članak sa sljedećim karakteristikama:

Tablica 13. Baterija BH 903452

BH 903452	
Nazivni napon	7.4 V
Kapacitet	2500 mAh
Rad baterije	18.5 Wh



Slika 66. Baterija BH 903452

Iz navedenog se može dokučiti da će energetski sustav moći izdržati i više od predviđenog vremena rada.

7.1.2. Punjenje baterije BH 903452

Za punjenje baterije korišten je model punjača KZ1201200U sljedećih karakteristika:

Tablica 14. Punjač KZ1201200U

I/O	Vrijednosti
INPUT (ulaz) – AC	100- 240 V 50/60 Hz 0.5 A max
OUTPUT (izlaz) – DC	12 V DC 1200 mA

7.2. Napajanje upravljačkog sustava

7.2.1. Proračun odabira baterije upravljačkog sustava

Razlog odvajanja upravljačkog kruga je taj što su nazivne vrijednosti ovoga kruga niže od energetskog, te u slučaju kratkog spoja, da ne bi došlo do oštećenja upravljačke opreme. Za napajanje potrebno je bilo uzeti u obzir potrošače, što su mikroprocesor ESP 32 WROOM 32U, LIDAR TF Luna i tri ultrazvučna senzora HCSR04.

Tablica 15. Nazivne vrijednosti struje i napona komponenata upravljačkog kruga

LIDAR TF Luna	
Maksimalan napon	5 V
Maksimalna struja	70 mA
Ultrazvučni senzor HCSR04 (1 kom.)	
Maksimalan napon	5 V
Maksimalna struja	15 mA
ESP 32 WROOM 32U	
Maksimalan napon	3.6 V (logika) *ulazni napon može biti do 7,2 V
Maksimalna struja	250 mA

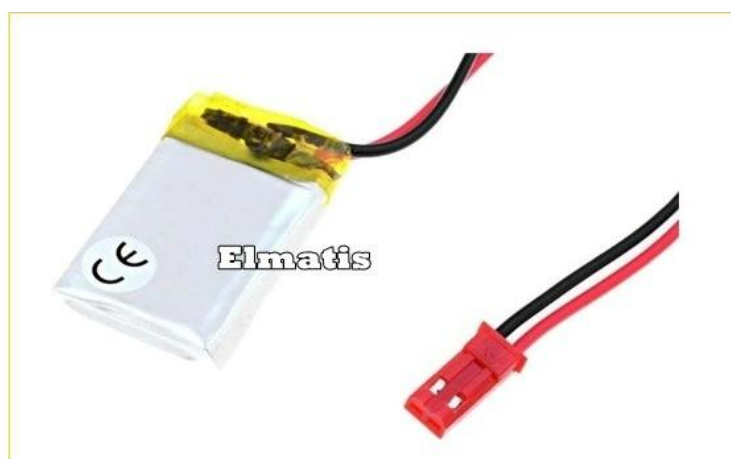
Uvrštavanjem vrijednosti u već spomenuti izraz za rad, dobije se:

$$W_{\text{upravljački}} = W_{\text{LIDAR}} + W_{\text{US}} + W_{\text{ESP32}} \quad (1.16)$$

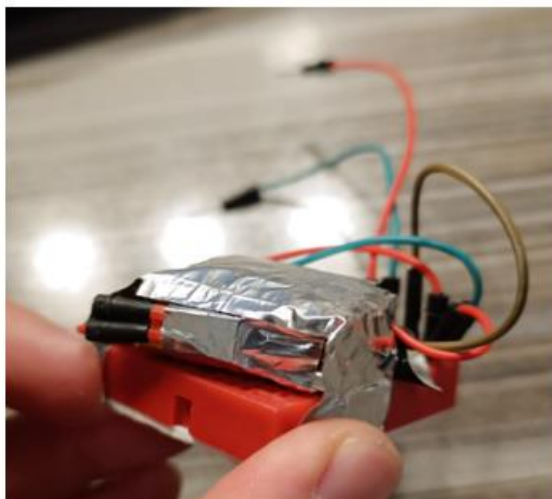
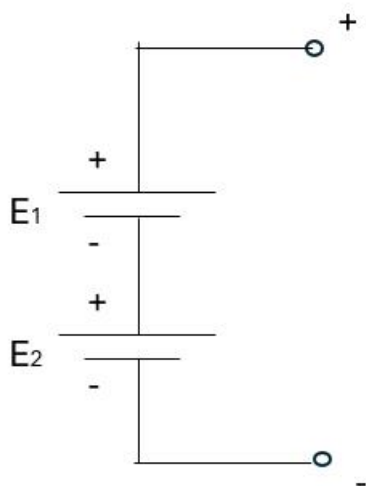
$$W_{\text{upravljajući}} = 5 * 0.07 * 1 + 3 * (5 * 0.015 * 1) + 5 * 0.25 * 1 \quad (1.17)$$

$$W_{\text{upravljajući}} = 1.825 \text{ Wh} \quad (1.18)$$

gdje sam za vrijeme obavljanja rada platforme naveo jedan sat. Za napajanje uzeta je Li – Ion baterija nazivnog napona 3.7 V, 250 mAh (Slika 65.) (opis baterije: Polymer Lithium-Ion Battery). Radi nedostatnog napona, uzete su dvije baterije te spojene u seriju prema shemi na Slici 66. Proračunom rada obiju baterija za uzeto vrijeme od jednog sata rada dobijemo vrijednost rada od $W=1.85 \text{ Wh}$ što je dostatno za napajanje našeg upravljačkog sustava.



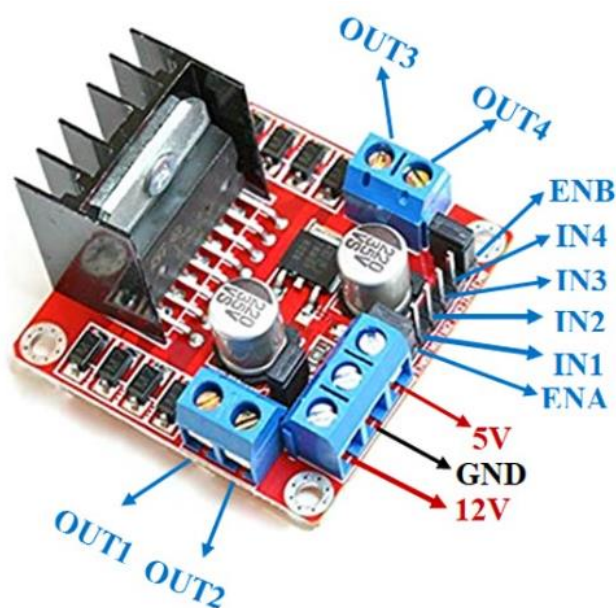
Slika 67. Polymer Lithium-Ion Battery



Slika 68. Serijski spoj Li – ion baterija

Također, postoji i mogućnost pojednostavljenja napajanja da se umjesto dva odvojena kruga

koristi jedan. U tu svrhu, sve komponente upravljačkog sustava potrebno je spojiti na izlaz na regulatoru motora L298 koji u sebi već ima ugrađen regulator napona na način da spojimo izlaze na GND i +5 V.



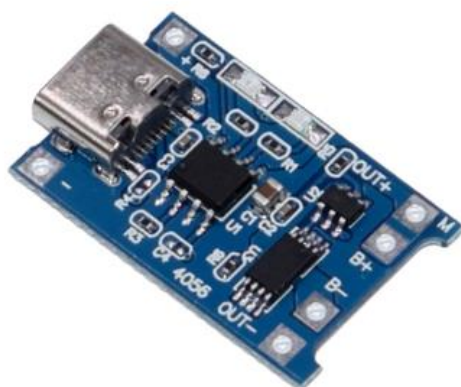
Slika 69. Regulator L298 – GND i +5 V izlazi napajanja upravljačkog sustava

7.2.2. Punjač baterije TP 4056

Za punjenje energetskog sustava korišten je punjač TP 4056. navedeni punjač namijenjen je punjenju baterija nominalne vrijednosti napona od 3.7 V. specifikacije punjača dane su u Tablici 16.

Tablica 16. Punjač TP 4056

Karakteristika	Vrijednost
Struja	1 A (* podesivo)
Ulazni napon	4.5 – 5.5 V
Maksimalni napon čelije	4.2 V
Dodatno	<ul style="list-style-type: none"> - štiti od prepunjenja - nije potrebna reverzna zaštita (protuparalelno spojene diode)



Slika 70. TP 4056

8. SIGURNOST I DODATNI ZAHTJEVI

8.1. Sigurnosna sklopka i tipkalo

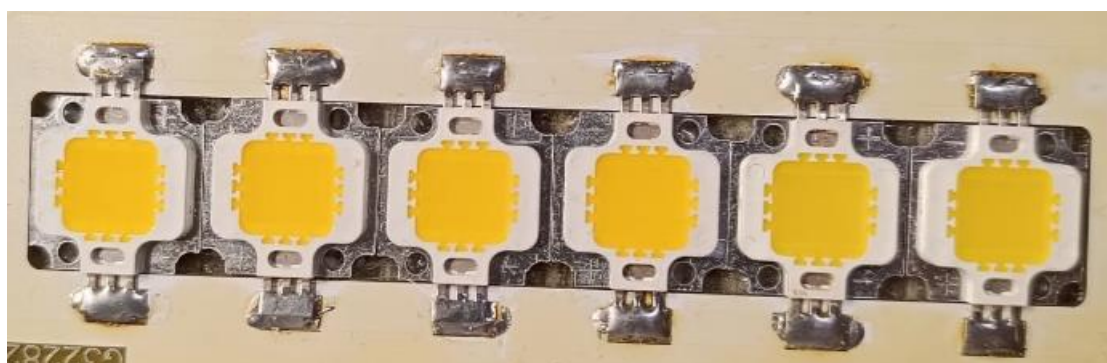
U svrhu zaštite sustava od kratkog spoja ili u svrhu prisilnog gašenja sustava, uvedena je sigurnosna sklopka. Također, za aktivaciju Bluetooth komunikacije, pritiskom na tipkalo prekida se autonoman rad te se platforma manualno upravlja uz korištenje senzorskih sustava.



Slika 71. Sigurnosna sklopka i tipkalo

8.2. LED diode

Radi bolje vidljivosti platforme, s prednje strane postavljene su dvije LED diode svake jakosti od 3 W, a maksimalnog nazivnog napona od 8 V.

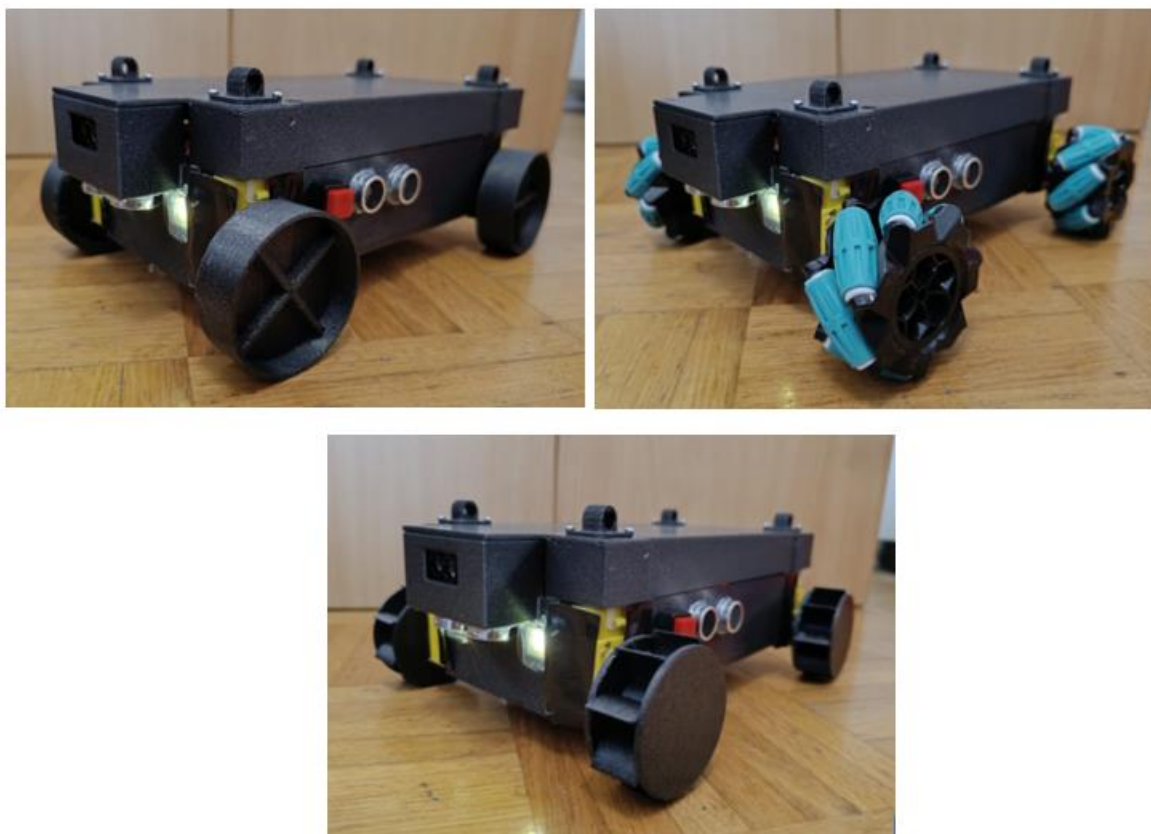


Slika 72. Led diode

9. REZULTATI ISPITIVANJA RADA PLATFORME

9.1. Konačan izgled platforme

Na sljedećim slikama dani su izgledi platforme s tri različite modifikacije implementiranih kotača.



Slika 73. Konačan izgled platforme

Samo ispitivanje biti će provedeno u više faza, od poligonske vožnje do savladavanja različitih terena.

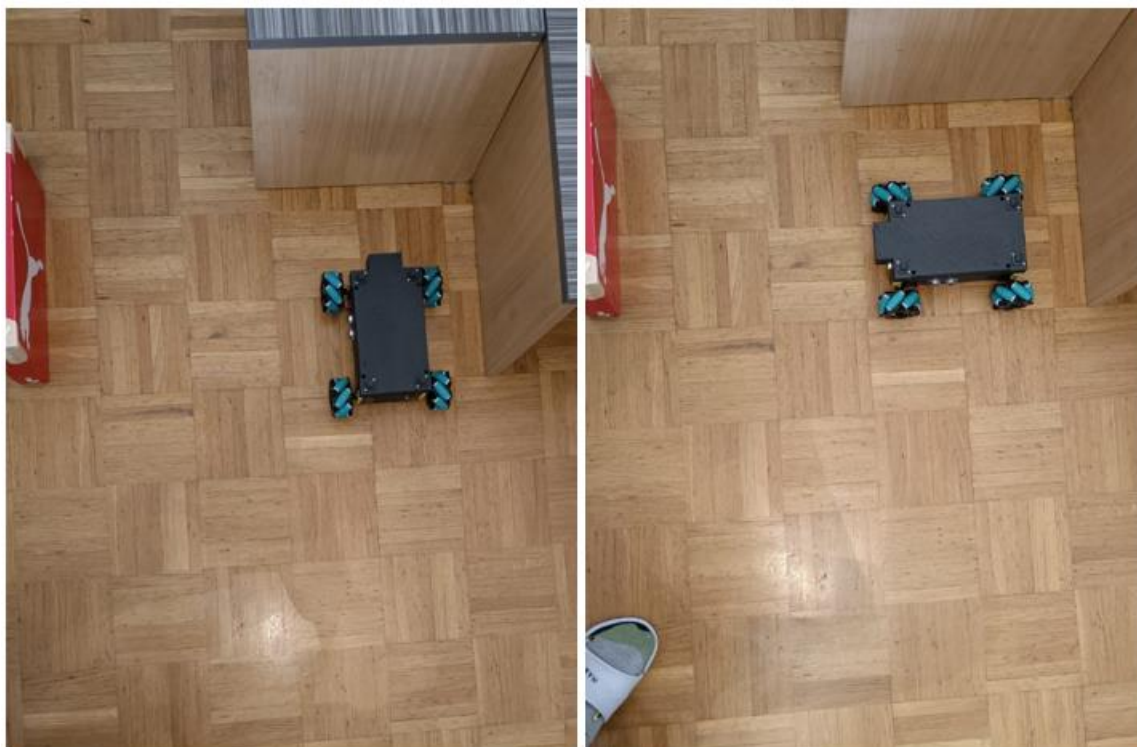
9.2. Izbjegavanje prepreka

Prvi eksperiment proveden je s 'mechanuum wheel' kotačima i 'paddle wheel' kotačima. Cilj ovoga eksperimenta bio je prepoznavanje prepreke te izbjegavanje iste. Prvi poligon postavljen je tako da se frontalno nalazi pregrada, te je s bočnih strana postavljena prepreka na različite udaljenosti. U prvoj situaciji udaljenost od strane 1 je manja od strane 2 te se robot treba zakrenuti i nastaviti gibati ulijevo. Druga situacija je obrnuta, udaljenost prepreke od strane 1

je veća od strane 2 te se robot zakreće ulijevo nakon što dođe do frontalne prepreke. Izgled pokusa priložen je na sljedećim slikama.



Slika 74. Početni izgled poligona



Slika 75. Kretanje naprijed te skretanje ulijevo

Ekspérimentom smo ustvrdili da komunikacija između LIDAR - TF Luna i ESP32 je dosta spora te robot pri brzini 150 se zaustavi tek na prosječno 17.2 cm od prepreke. Uvjet zaustavljanja je bio 35 cm od frontalne prepreke. Ako se brzina spusti na 120, tada je prosječna točnost 28 cm, što je još uvijek 7 cm više od uvjeta zaustavljanja. Izgled vrijednosti zaustavljanja dan je u tablici.

Tablica 17. Eksperimentalni rezultati – poligonska vožnja (skretanje ulijevo)

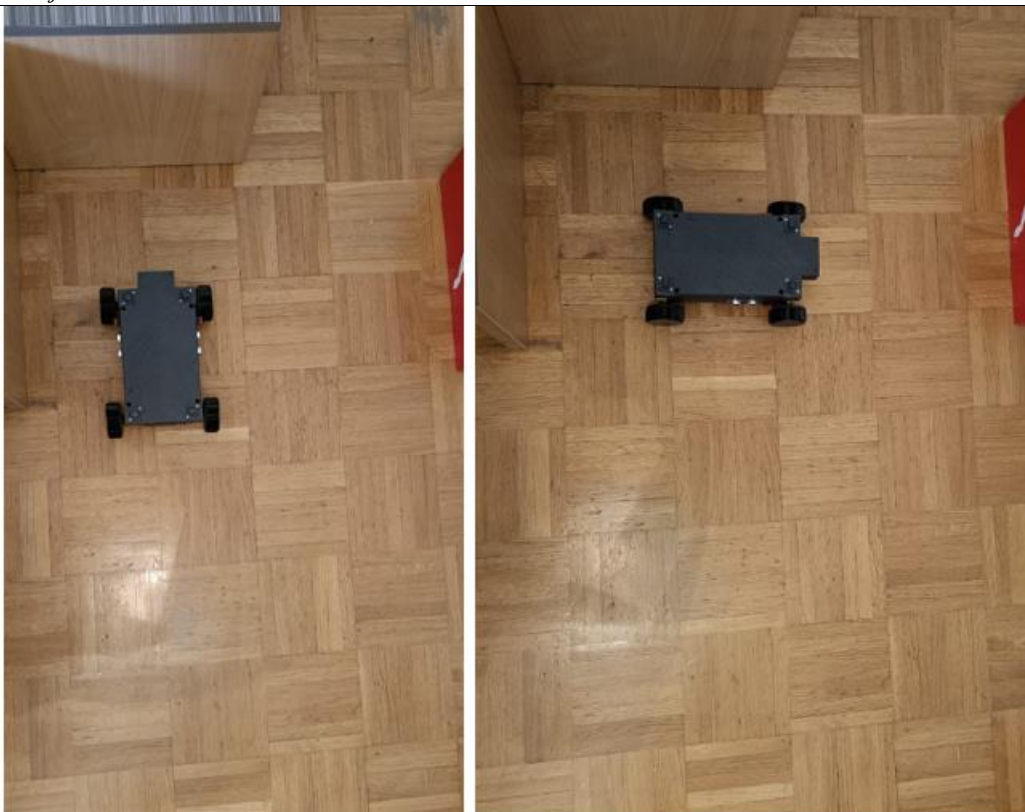
Redni broj vožnje	Brzina	Udaljenost od prepreke, f [cm]	$f_{1i} - \bar{f}_1$ [cm]
1.	150	18	0.8
2.	150	17	0.2
3.	150	19	1.8
4.	150	15	2.2
5.	150	17	0.2

$$\bar{f}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n=5} f_{1i}}{n} = \frac{18+17+19+15+17}{5} = 17.2 \text{ mm} \quad (1.19)$$

$$s_{f_1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^5 (f_{1i} - \bar{f}_1)^2} = \sqrt{\frac{1}{5-1} ((0.8^2) + (0.2^2) + (1.8^2) + (2.2^2) + (0.2^2))}$$

$$s_{f_1} = 1.4832 \text{ cm} \quad (1.20)$$

$$f_1 = (\bar{f}_1 \pm s_{f_1})_n = (17.2 \pm 1.4832)_5 \text{ cm} \quad (1.21)$$



Slika 76. Kretanje naprijed te skretanje ulijevo

Tablica 18. Eksperimentalni rezultati – poligonska vožnja (skretanje udesno)

Redni broj vožnje	Brzina	Udaljenost od prepreke, f [cm]	$f_{1i} - \bar{f}_1$ [cm]
1.	150	17	0.8
2.	150	18	1.8
3.	150	15	1.2
4.	150	12	4.2
5.	150	19	2.8

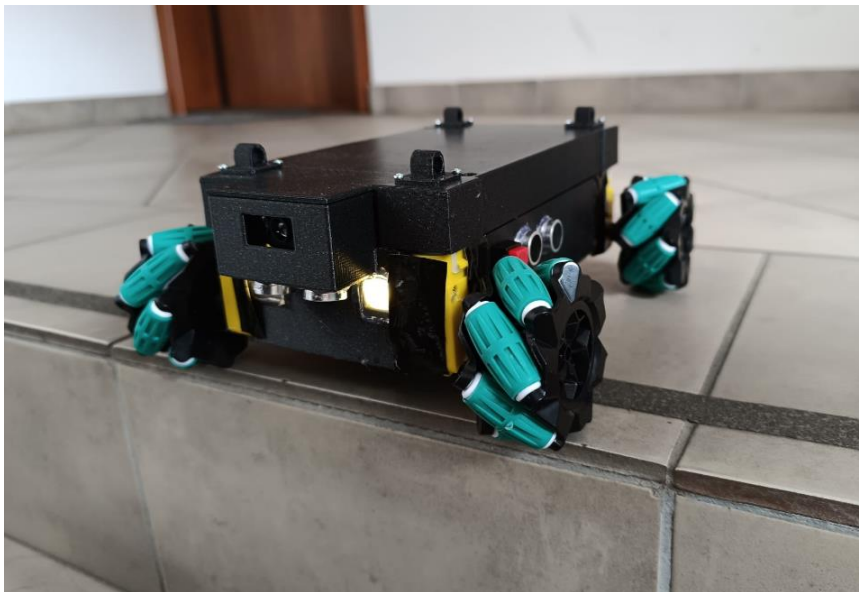
$$\bar{f}_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n=5} f_2}{n} = \frac{17+18+15+12+19}{5} = 16.2 \text{ mm} \quad (1.22)$$

$$s_{f_2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^5 (f_{2i} - \bar{f}_2)^2} = \sqrt{\frac{1}{5-1} ((0.8^2) + (1.8^2) + (1.2^2) + (4.2^2) + (2.8^2))} = 2.7749 \text{ cm} \quad (1.23)$$

$$f_2 = (\bar{f}_2 \pm s_{f_2})_n = (16.2 \pm 2.7749)_5 \text{ cm} \quad (1.24)$$

Iz kretanja udesno zamjećujemo malo manju srednju udaljenost zaustavljanja, a razlog je upotreba druge vrste kotača.

S prednje strane postavljen je ultrazvučni senzor koji ima za svrhu onemogućiti pad platforme sa stepenice. Kretanjem brzinom od 150 robot ne prepoznaje na vrijeme stepenište, a razlog je kašnjenje u komunikaciji između ultrazvučnog senzora i mikroprocesora. Da bi se taj problem riješio, robot je vožen manualno s inkrementalnim pomacima te nakon dolaska do ruba, robot se zaustavlja.



Slika 77. Zaustavljanje na stepeništu

9.3. Vožnja na različitim podlogama

Kao što je i u uvodnom dijelu rada spomenuto, svrha same platforme je i rad na različitim terenima zbog kojih su i razvijene različite vrste kotača. U navedenim potpoglavljima iznijet će se evaluacija odziva različitih kotača na podlogama.

9.3.1. Glatka podloga

Na glatkoj podlozi (parket) ispitane su sve tri vrste kotača. Rezultati eksperimenta su da je 'mechanuum wheel' bio najbrži i najpokretljiviji, dok je iza njega slijedio 'paddle wheel' i naposljetku običan kotač. Razlog tako lošeg odziva običnog kotača je često proklizavanje koje je moguće otkloniti postavljanjem gume na obod kotača.

9.3.2. Kameno tlo



Slika 78. Platforma na kamenoj podlozi

Za navedeno ispitivanje korišten je običan kotač i 'paddle wheel'. 'Mechanuum wheel' nije korišten jer je njegova namjena za glatke površine. Rezultati pokusa su da je 'paddle wheel' bio svakako brži i lakše je zahvaćao podlogu, dok je običan kotač često proklizavao. Zbog velikog osovinskog razmaka, eksperiment je bilo potrebno provesti na terenu koje je relativno ravno s manjim i srednjim veličinama oblutaka.

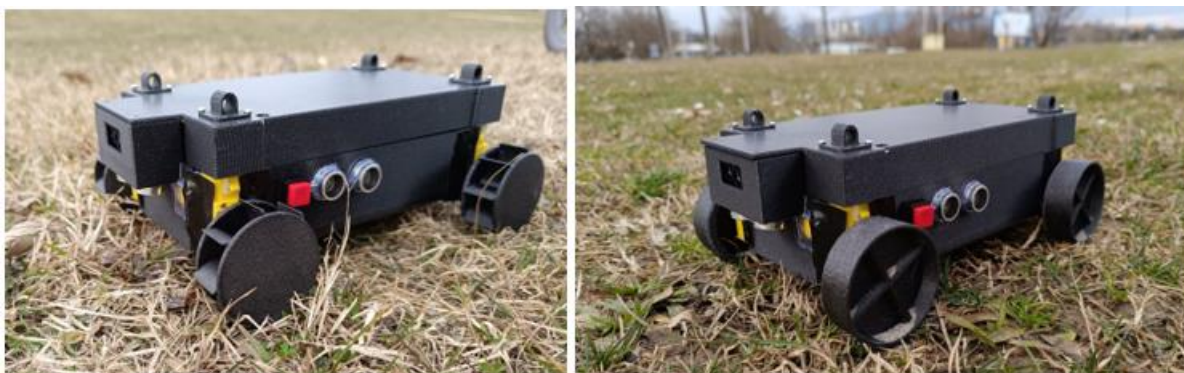
9.3.3. Pješčano tlo



Slika 79. Platforma na pješčanoj podlozi

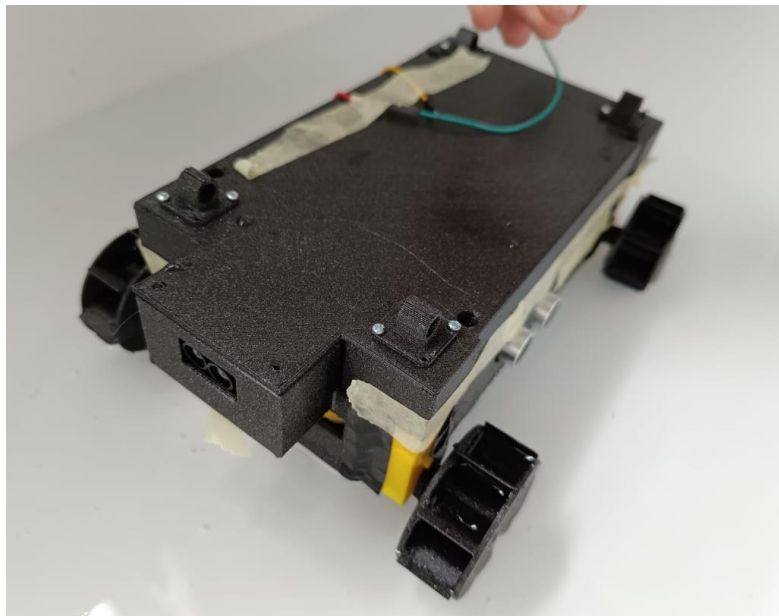
Za navedeno ispitivanje korišten je običan kotač i 'paddle wheel' Rezultati pokusa su da je 'paddle wheel' bio svakako brži i lakše je zahvaćao podlogu, dok je običan kotač često proklizavao. Zbog velikog osovinskog razmaka, eksperiment je bilo potrebno provesti na terenu koje je relativno ravno.

9.3.4. Travnata površina



Slika 80. Platforma na pješčanoj podlozi

Za navedeno ispitivanje korišten je običan kotač i 'paddle wheel' Rezultati pokusa su da je 'paddle wheel' bio svakako brži i lakše je zahvaćao podlogu, dok je običan kotač često proklizavao.



Slika 81. Mobilna robotska platforma u vodi

Za navedeni eksperiment korišteni su 'paddle wheel' kotači. Platforma je postavljena u vodu, te je uključen sustav. Kretanje iste je bilo zanemarivo na brzini 150, dok je na brzini 255 zamijećeno blago kretanje. Platforma je cijelo vrijeme bila iznad vode te zbog dizajna lopatica, sam poklopac nije ostao mokar što je svakako poželjno za očuvanje suhoće tereta.

9.4. Bluetooth komunikacija



Slika 82. Ispitivanje rada Bluetooth komunikacije

Korištenjem platforme Dabble, robot se kreće u prostoru. Zamijećeno je kašnjenje u komunikaciji manje od sekunde te signal je stabilan do vrijednosti 5 m od robota. Zbog nedostatka antenskog priključka, nije provedeno ispitivanje na udaljenostima većim od 5 m.

10. TROŠKOVI IZRADE

U sljedećoj tablici izneseni su svi troškovi opreme koja je korištena za opremanje platforme.

Tablica 19. Troškovnik

REDNI BROJ	NAZIV KOMPONENTE	CIJENA (po komadu)	KOLIČINA	UKUPNA CIJENA	IZVOR
1.	TT Gearbox motor	2 €	4	8 €	Temu
2.	Breadboard 6YB-46	3 €	2	6 €	Elmatis
3.	Breadboard SYB-170	0.8 €	1	0.8 €	Mouser electronics
4.	L298 regulator	3.14 €	1+1	6.28 €	Mouser electronics
5.	Jumper wires (M-M, M-F, F-F)	4 €	3	12 €	Temu
6.	Battery pack BH 903462 7.4 V 2500 mAh	14 €	1+1	28 €	eBay
7.	Battery BAT LI-PO 250 mAh 3.7 V	5 €	2	5 €	Elmatis
8.	Ultrasonic sensor HS- SR04	2.25 €	3	6.75 €	Temu
9.	LIDAR TF Luna	25 €	1	25 €	AliExpress
10.	PLA filament	30 €	1	30 €	3D printaj
11.	Mikrokontroler ESP32 WROOM 32U (+ Bluetooth anena)	13 €	1	13 €	Njuškalo
12.	M 2*8	6.25 c	16	1 €	Imbus d.o.o.

U troškovnik nisu uračunate cijene traka te kablskih zaštita.

11. ZAKLJUČAK

Ovim radom dan je detaljan pregled različitih mobilnih višenamjenskih platformi te je izveden model platforme sa svrhom kretanja u prostoru i savladavanja različitih prepreka. Navedeni model je prototip na koji je moguće izvršiti nadogradnju.

Eksperimentalnom analizom vidljivo je da isti ima mogućnost savladavanja različitih terena uz pravilan odabir kotača, a autonomnom vožnjom platforma spretno izbjegava prepreke. Korištenjem Bluetooth komunikacije platforma se kreće po zadanim naredbama operatera pritom pazeći na koliziju s preprekom putem senzora.

Sljedeća stepenica u razvoju i praćenju kretanja platforme bila bi implementacija žiroskopa i akcelerometra s pomoću upotrebe modula MPU 6050. Također, moguće je nadograditi još jedan regulator kako bi se moglo manipulirati svakim motorom te time omogućiti bočno kretanje pod kutom od 90° upotrebom 'mechanuum wheels'.

Implementacijom 3D vizijskog sustava, izrađena platforma imala bi sposobnost mapiranja prostora i prepoznavanja objekata u njemu.

Uzevši u obzir namjenu robota, isti ima široku primjenu i svakako može u budućnosti daljnjim usavršavanjem postati poželjan proizvod na tržištu.

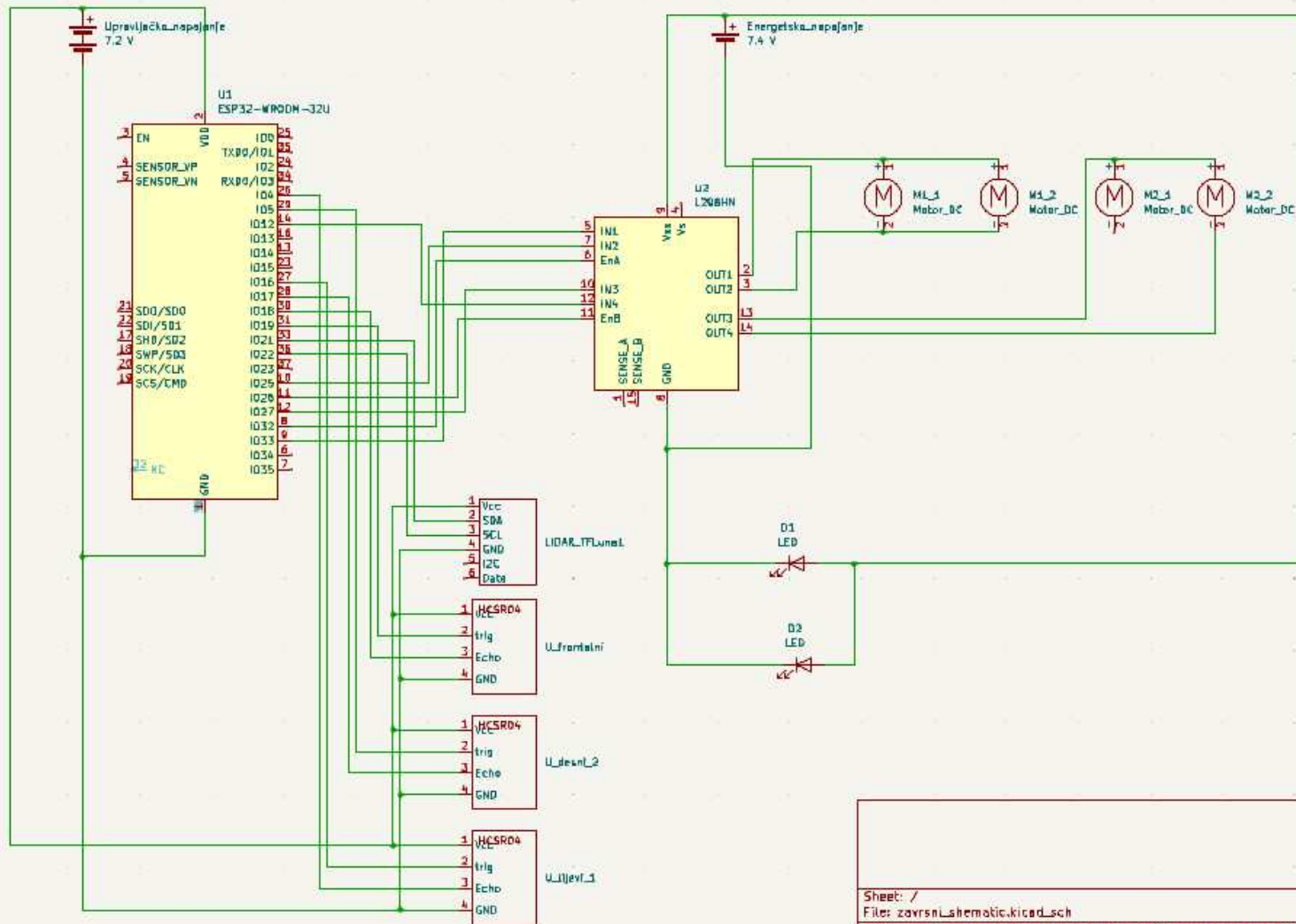
LITERATURA

- [1] <https://www.kuka.com/en-de/products/mobility/mobile-robots>
- [2] <https://www.theengineer.co.uk/content/in-depth/roughneck-robots-offshore-automation-heats-up>
- [3] <https://aiforgood.itu.int/agricultural-robots-farming-smarter-not-harder/>
- [4] <https://www.theengineer.co.uk/content/in-depth/green-machines-sowing-the-seeds-of-farming-40>
- [5] [How robots may change wind O&M \(windpowerengineering.com\)](#)
- [6] <https://www.wired.com/story/amazons-new-robots-automation-revolution/>
- [7] <https://automation.omron.com/en/mx/products/family/ld>
- [8] https://www.researchgate.net/publication/4239543_Permanent_Magnetic_System_Design_for_the_Wall-Climbing_Robot
- [9] https://www.researchgate.net/publication/261036362_Crack_detection_by_a_climbing_robot_using_image_analysis
- [10] <https://investor.irobot.com/corporate-profile>
- [11] <https://www.gideon.ai/>
- [12] <https://www.spidernewtech.com/spider-autonomous>
- [13] <https://briliant.hr/proizvod/kosilica-spider-ild01/>
- [14] <https://www.udrugamehatronicara.com/>
- [15] https://www.tu-darmstadt.de/universitaet/aktuelles_meldungen/archiv_2/2017/2017quartal2/index_177088.en.jsp
- [16] <https://www.mustangcat.com/do-i-need-equipment-with-tracks-or-wheels/>
- [17] <https://bostondynamics.com/products/spot/>
- [18] <https://www.windpowermonthly.com/article/1687610/robots-help-run-offshore-wind-farm-repairs>
- [19] <https://www.imeche.org/news/news-article/wall-climbing-robots-use-new-trick-to-defy-gravity>
- [20] <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020PhFl...32a7104S/abstract>
- [21] <https://web.mst.edu/~lmhall/Personal/RoadsWheels/RoadsWheels.pdf>
- [22] <https://www.youtube.com/watch?v=Y0aOxj5lrKY&t=843s>
- [23] <https://www.youtube.com/watch?v=vSNtifE0Z2Q&t=368s>

- [24] https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Hcsr04%20datasheet&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAoKeuBhCoARIsAB4WxtfMTH-65py5XF3WNe42SIFjm_18_h1JMxZsWYNRCFsJV-HVgshQEBgaArUuEALw_wcB
- [25] <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1743876/ESPRESSIF/ESP-WROOM-32UE.html>
- [26] <https://botland.store/time-of-flight-sensor/16638-lidar-tf-luna-laser-distance-sensor-8m-uarti2c-5903351249041.html>
- [27] https://octopart.com/esp32-wroom-32u+%2816mb%29-espressif+systems-92405529?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAoKeuBhCoARIsAB4WxtdkKEDjpLFCyALiVi5JtaMOwWS6R1_UOEtcVUMtrZddw18kJ7pi0v4aAsf-EALw_wcB
- [28] [KKM: DC MOTOR DRIVER DUAL H-BRIDGE - Soldered Electronics](#)

PRILOZI

- I. Programski kod
- II. Tehnička dokumentacija (shema spajanja)
- III. Tehnička dokumentacija (tehnički crtež kućišta)



PRILOG (programski kod): VO002

```
#include "Arduino.h"
#include <Wire.h>
#include <TFLI2C.h>

#define CUSTOM_SETTINGS
#define INCLUDE_GAMEPAD_MODULE
#include <DabbleESP32.h>

TFLI2C tflI2C;

int16_t tf_udaljenost;
int16_t tf_protokol = TFL_DEF_ADR;

int trig_prednji=19;
int echo_prednji=18;
int trig_1=5;
int echo_1=17;
int trig_2=16;
int echo_2=4;

long US_prednji_vrijeme;
long US_1_vrijeme;
long US_2_vrijeme;
long US_prednji_udaljenost;
long US_1_udaljenost;
long US_2_udaljenost;

int prekidac=13;
int stanje=0;
```

```
int motor1en1 = 32;
```

```
int motor1in1 = 33;
```

```
int motor1in2 = 35;
```

```
int motor2en2 = 26;
```

```
int motor2in1 = 27;
```

```
int motor2in2 = 14;
```

```
int brzina=150;
```

```
void setup() {
```

```
    pinMode(motor1en1,OUTPUT);
```

```
    pinMode(motor1in1,OUTPUT);
```

```
    pinMode(motor1in2,OUTPUT);
```

```
    pinMode(motor2en2,OUTPUT);
```

```
    pinMode(motor2in1,OUTPUT);
```

```
    pinMode(motor2in2,OUTPUT);
```

```
    Serial.begin(115200);
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
    Wire.begin();
```

```
    funkcija(0,0);
```

```
    Dabble.begin("MojESP32");
```

```
    pinMode(19,OUTPUT);
```

```
    pinMode(18,INPUT);
```

```
    pinMode(5,OUTPUT);
```

```
    pinMode(17,INPUT);
```

```
    pinMode(16,OUTPUT);
```

```
    pinMode(4,INPUT);
```



```

pinMode(13,INPUT);
}

void loop() {

if(tfll2C.getData(tf_udaljenost, tf_protokol){ //čitam podatke s LIDAR-a
    Serial.println(String(tf_udaljenost));
}
delay(50);

digitalWrite(trig_prednji,LOW); //čitam podatke u US prednji
delayMicroseconds(1);
digitalWrite(trig_prednji,HIGH);
delayMicroseconds(1);
digitalWrite(trig_prednji,LOW);
US_prednji_vrijeme= pulseIn(echo_prednji,HIGH);
US_prednji_udaljenost = ((US_prednji_vrijeme/29)/2);
Serial.println(US_prednji_udaljenost);

digitalWrite(trig_1,LOW); //čitam podatke u US_1
delayMicroseconds(1);
digitalWrite(trig_1,HIGH);
delayMicroseconds(1);
digitalWrite(trig_1,LOW);
US_1_vrijeme= pulseIn(echo_1,HIGH);
US_1_udaljenost = ((US_1_vrijeme/29)/2);
Serial.println(US_1_udaljenost);

digitalWrite(trig_2,LOW); //čitam podatke u US_2
delayMicroseconds(1);
digitalWrite(trig_2,HIGH);
delayMicroseconds(1);
digitalWrite(trig_2,LOW);

```

```
US_2_vrijeme= pulseIn(echo_2,HIGH);
US_2_udaljenost = ((US_2_vrijeme/29)/2);
Serial.println(US_2_udaljenost);
```

```
int stanje = digitalRead(prekidac);
```

```
if (tf_udaljenost>35 && US_prednji_udaljenost<8 && stanje=LOW){ //naprijed, bez Bluetooth
komunikacije; autonoman rad
```

```
    analogWrite(motor1en1, brzina);
    digitalWrite(motor1in1, HIGH);
    digitalWrite(motor1in2, LOW);
    analogWrite(motor2en2, brzina);
    digitalWrite(motor2in1, HIGH);
    digitalWrite(motor2in2, LOW);
```

```
}
```

```
else if(tf_udaljenost<35 && US_prednji_udaljenost>8 && stanje=LOW){ //skreni, bez Bluetooth
komunikacije; autonoman rad
```

```
    if (US_1_udaljenost>US_2_udaljenost){
```

```
        analogWrite(motor1en1, brzina);
        digitalWrite(motor1in1, LOW);
        digitalWrite(motor1in2, HIGH);
        analogWrite(motor2en2, brzina);
        digitalWrite(motor2in1, HIGH);
        digitalWrite(motor2in2, LOW);
```

```
    }
```

```
    else if (US_1_udaljenost<US_2_udaljenost){
```

```
        analogWrite(motor1en1, brzina);
        digitalWrite(motor1in1, HIGH);
        digitalWrite(motor1in2, LOW);
        analogWrite(motor2en2, brzina);
        digitalWrite(motor2in1, LOW);
        digitalWrite(motor2in2, HIGH);
```

```
}  
}  
else if (tf_udaljenost>35 && US_prednji_udaljenost<8 && stanje==HIGH){ //Bluetooth  
komunikacija;Dabble  
  
    int brzina1=0;  
    int brzina2=0;  
  
    Dabble.processInput();  
    if (GamePad.isUpPressed())  
    {  
        brzina1 = 255;  
        brzina2 = 255;  
    }  
  
    if (GamePad.isDownPressed())  
    {  
        brzina1 = -255;  
        brzina2 = -255;  
    }  
  
    if (GamePad.isLeftPressed())  
    {  
        brzina1 = 255;  
        brzina2 = 0;  
    }  
  
    if (GamePad.isRightPressed())  
    {  
        brzina1 = 0;  
        brzina2 = 255;  
    }  
  
    funkcija(brzina1, brzina2);  
}
```

```
else if(tf_udaljenost<35 && US_prednji_udaljenost>8 && stanje==HIGH){ //Bluetooth komunikacija; stani zbog prepreke
```

```
analogWrite(motor1en1, brzina);  
digitalWrite(motor1in1, LOW);  
digitalWrite(motor1in2, LOW);  
analogWrite(motor2en2, brzina);  
digitalWrite(motor2in1, LOW);  
digitalWrite(motor2in2, LOW);  
}  
}
```

```
void funkcija(int brzina1, int brzina2) //funkcija; Dabble komunikacija
```

```
{  
  if (brzina1 < 0)  
  {  
    digitalWrite(motor1in1,LOW);  
    digitalWrite(motor1in2,HIGH);  
  }  
  else if (brzina1 >= 0)  
  {  
    digitalWrite(motor1in1,HIGH);  
    digitalWrite(motor1in2,LOW);  
  }  
}
```

```
if (brzina2 < 0)  
{  
  digitalWrite(motor2in1,LOW);  
  digitalWrite(motor2in2,HIGH);  
}  
else if (brzina2 >= 0)  
{  
  digitalWrite(motor2in1,HIGH);  
  digitalWrite(motor2in2,LOW);  
}
```

```
}
```

```
analogWrite(motor1en1, abs(brzina1));
```

```
analogWrite(motor2en2, abs(brzina2));
```

```
}
```

A

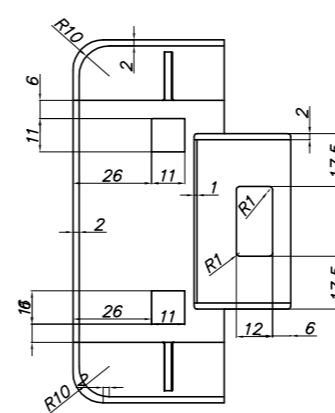
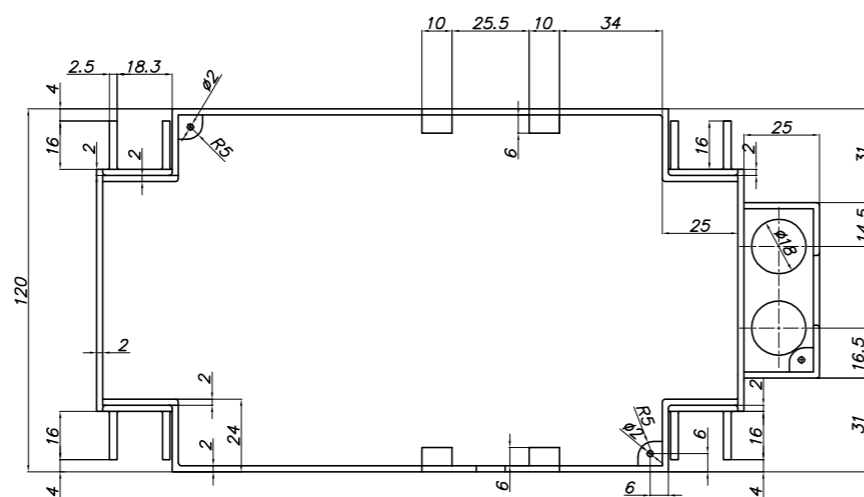
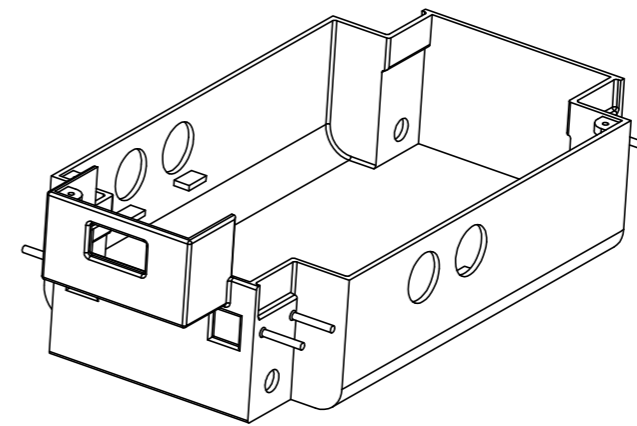
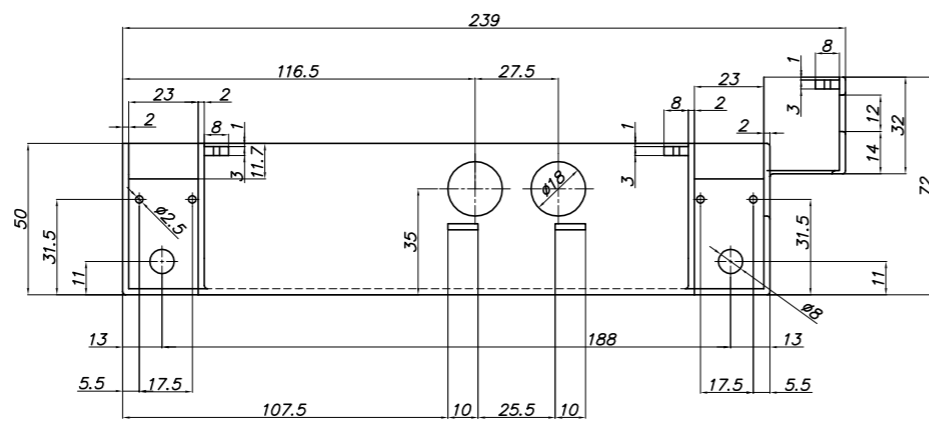
B

C

D

E

F



NAPOMENA:
 -debljina stijenke 2 mm
 -radijus zaobljenja 1 mm

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	21.2.2024.	Vedran Odeljan		
Crtao	21.2.2024.	Vedran Odeljan		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:			Kopija	
Materijal:		Masa:		
		Naziv:		Pozicija:
Mjerilo originala		Kućiste		Format:
M 1:2.5		Crtež broj: VO 003		Listova:
				List: