

# Automatizirana mehatronička invalidska kolica

---

**Budija, Branimir**

**Master's thesis / Diplomski 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:235:280017>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-24**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

**Branimir Budija**

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Željko Šitum, dipl. ing.

Student:

Branimir Budija

Zagreb, 2024.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu. Zahvaljujem se svom mentoru prof.dr.sc. Željku Šitumu što mi je omogućio da napišem ovaj rad, za potporu i savjete prilikom izrade te što mi je omogućio sve potrebne komponente i sredstva za izradu ovog rada.

Zahvaljuem se svom prijatelju i mentoru Ivanu Uroiću na pomoći oko svakog pitanja i mentoriranju prilikom izrade ovog sustava, također zahvaljujem svom prijatelju Niki Vrgoču na pomoći pri izradi ovog sustava. Zahvaljujem tvrtki Probotica što su mi omogućili izradu ovog sustava u njihovoj radionici te svim zaposlenima s kojima imam priliku raditi.

Zahvaljujem svojim roditeljima te cijeloj obitelji na bezuvjetnoj podršci prilikom studiranja, svojoj sestri što me trpila cijelo vrijeme tijekom studiranja.

Za kraj veliko hvala mojim najboljim prijateljima, daleko 'najjačoj ekipi na svitu' za sve godine uživanja i sve uspomene koje smo prošli koje nikad neću zaboraviti!

Ovaj rad želim posvetiti svom djedu, hvala mu na svemu.

Branimir Budija



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
Proizvodno inženjerstvo, inženjerstvo materijala, industrijsko inženjerstvo i menadžment,  
mehatronika i robotika, autonomni sustavi i računalna inteligencija

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

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Branimir Budija** JMBAG: 0035220059

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Automatizirana mehatronička invalidska kolica**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Automated mechatronic wheelchair**

Opis zadatka:

Medicinsko osoblje se suočava s nizom izazova prilikom podizanja nepokretnih osoba iz invalidskih kolica na bolnički krevet, koji se odnose na izuzetno zahtjevan tjelesni napor, rizik od ozljeda kod medicinskog osoblja prilikom nepravilnog podizanja pacijenta, rizik od pada ili drugih povreda kod pacijenta ako se postupak ne izvede pravilno te potreba za dodatnim osobljem ako pacijent ima veću tjelesnu težinu. Rješavanje ovih problema zahtijeva pažljivo planiranje, upotrebu odgovarajuće opreme za podizanje i prijenos pacijenata, kao i kontinuiranu obuku medicinskog osoblja o pravilnim tehnikama podizanja i sigurnosnim mjerama. Izrada invalidskih kolica koja imaju mogućnost automatiziranog podizanja pacijenta iz sjedećeg u ležeći položaj do visine bolničkog kreveta može značajno olakšati poslove medicinskog osoblja. Jednostavnom automatiziranom radnjom pacijent se može samostalno iz ležećeg položaja premjestiti na bolnički krevet. Dodatnu mobilnost i autonomnost pacijentu omogućila bi ugradnja elektromotora za pogon kotača kojima se upravlja joystickom smještenim na naslonu za ruku.

U radu je potrebno:

- projektirati invalidska kolica koja imaju mogućnost automatiziranog podizanja pacijenta iz sjedećeg u ležeći položaj do visine bolničkog kreveta korištenjem pneumatskih aktuatora te samostalno kretanje s elektromotornim pogonom kotača
- opisati korištene komponente pogonskog i upravljačkog dijela sustava
- opisati mehanizam za ostvarenje kretanja te način podizanja i spuštanja invalidskih kolica
- izraditi mehatronički sustav automatiziranih invalidskih kolica i provjeriti rad sustava u praksi.

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

Zadatak zadan:

9. svibnja 2024.

Datum predaje rada:

11. srpnja 2024.

Predviđeni datumi obrane:

15. – 19. srpnja 2024.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Željko Šitum

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA .....	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY .....	VI
1. UVOD.....	1
1.1. Opis diplomskog rada .....	1
1.2. Idejna skica .....	1
1.3. Inspiracija.....	2
1.4. Automatizacija invalidskih kolica.....	2
1.4.1. Prednosti i mane običnih invalidskih kolica .....	3
1.4.2. Unaprijeđenje postojećeg sustava .....	4
2. VRSTE ELEKTROMOTORNIH POGONA ZA INVALIDSKA KOLICA .....	5
3. KONSTRUIRANJE MEHANIZMA POKRETANJA .....	8
3.1. Proračun motora .....	8
3.2. Remenski prijenos.....	15
3.3. Konstruiranje mehanizma pokretanja .....	18
3.3.1. Remenice.....	19
3.3.2. Držać za motore .....	20
4. PNEUMATSKI SUSTAV .....	22
4.1. Pneumatski cilindar kao aktuator .....	23
4.2. Opis komponenti .....	25
4.2.1. Kompresor VIAIR 100C .....	25
4.2.2. Preostale korištene komponente .....	27
4.3. Pneumatska shema sustava .....	27
5. ELEKTRONIČKI SUSTAV .....	29
5.1. Elektroničke komponente .....	29
5.1.1. Mikrokontroler ESP-32-WROOM-N16R8.....	30
5.1.2. Motorni pogon .....	32
5.1.3. Osam kanalni relejni modul .....	34
5.1.4. Akumulatorska baterija Dyno Europe 12V.....	35
5.1.5. LM2596S DC – DC ispravljač.....	36
5.1.6. Grebenasta sklopka „0-1“ .....	38
5.1.7. Joystick XY modul .....	39
5.1.8. Mikroprekidač .....	40
5.1.9. Auto prekidač D-Y7PL .....	40
5.1.10. Auto osigurač .....	41

---

5.2. Elektroshema sustava .....	42
6. SINTEZA MEHATRONIČKOG SUSTAVA .....	45
6.1. Montaža elektromotora na čelični profil .....	46
6.2. Spajanje elektronike .....	46
6.2.1. Spoj upravljačke jedinice sustava .....	47
6.2.2. Kućište za elektroniku .....	48
6.2.3. Održavanje upravljačke jedinice .....	49
6.2.4. Zaštita od kratkog spoja .....	50
6.3. Spajanje napajanja sustava .....	52
6.4. Distribucija napajanja kroz sustav .....	53
6.5. Spajanje Joysticka i elektromagnetskih ventila .....	55
6.6. Spajanje mehanizma pokretanja kotača .....	56
7. UPRAVLJANJE SUSTAVOM .....	58
7.1. Programiranje mikrokontrolera .....	59
7.1.1. Uspostavljanje Bluetooth Low Energy komunikacije .....	60
7.1.2. Upravljanje aktuatorima .....	60
7.2. Izrada mobilne aplikacije .....	68
8. ZAKLJUČAK .....	70
9. LITERATURA .....	71
I. Arduino kod .....	73
II. MIT App Inventor .....	80

## OPIS SLIKA

Slika 1. Idejna skica .....	1
Slika 2. Elektromotorna kolica za unutarnju upotrebu [1] .....	5
Slika 3. Elektromotorna kolica za vanjsku upotrebu [1] .....	6
Slika 4. Kombinirana elektromotorna kolica [1] .....	6
Slika 5. Elektromotorni invalidski skuter [1] .....	6
Slika 6. Vertikalizator [1] .....	7
Slika 7. Dječja invalidska kolica [1] .....	7
Slika 8. Dinamometar [2] .....	9
Slika 9. Dijelovi motora na istosmjernu struju [3] .....	12
Slika 10. Prikaz rada istosmjernog motora [3] .....	12
Slika 11. DOGA 319.3862.3B.00 motor [4] .....	13
Slika 12. Performanse motora [4] .....	15
Slika 13. HTD5M remen [5] .....	16
Slika 14. HTD 5M-15 remenica [6] .....	17
Slika 15. CAD model veće remenice .....	19
Slika 16. 3D isprintana remenica .....	20
Slika 17. CAD model držača za motore .....	21
Slika 18. Rezanje metala laserom [7] .....	21
Slika 19. Opći pneumatski sustav .....	22
Slika 20. Jednoradni cilindar [8] .....	23
Slika 21. Dvoradni cilindar [8] .....	24
Slika 22. Pneumatski cilindri za posebne izvedbe [8] .....	24
Slika 23. Prijenosni mini kompresor VIAIR 100C [9] .....	25
Slika 24. Pneumatska shema za jedan aktuator u sustavu .....	28
Slika 25. Mikrokontroler ESP-32-WROOM-N16R8 [10] .....	31
Slika 26. H-most [11] .....	32
Slika 27. Motorni pogon [12] .....	33
Slika 28. Osam-kanalni relejni modul [13] .....	34
Slika 29. Akumulatorska baterija Dyno Europe 12V [14] .....	36
Slika 30. DC-DC konverter [15] .....	37
Slika 31. Grebenasta sklopka 0-1 [16] .....	38
Slika 32. Joystick XY modul [17] .....	39
Slika 33. Mikroprekidač [18] .....	40
Slika 34. Auto prekidač [19] .....	41
Slika 35. Auto osigurač [20] .....	41
Slika 36. Spoj elektromotora .....	46
Slika 37. Lemilica .....	47
Slika 38. Razmještaj elektronike na razvojnoj ploči .....	48
Slika 39. Kućište za elektroniku .....	49
Slika 40. XT konektor [21] .....	50
Slika 41. Igličasti konektor [21] .....	51
Slika 42. Upravljačka jedinica s konektorima .....	51
Slika 43. SMD otpornik [22] .....	52
Slika 44. Optički izolator s četiri kanala [23] .....	53
Slika 45. Napajanje akumulatorima .....	54
Slika 46. Autorelej i grebenasta sklopka .....	55
Slika 47. Kleme .....	56



Slika 48. 3D kućište s joystickom i gumbima za upravljanje .....	57
Slika 49. Spoj elektromagnetskih ventila s upravljačkom jedinicom .....	58
Slika 50. Grafičko sučelje mobilne aplikacije.....	68

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Tehničke specifikacije DOGA 319.3862.3B.00 motora [4].....	14
Tablica 2. Tehničke specifikacije HTD 5M remena [6].....	18
Tablica 3. Tehničke specifikacije VIAIR 100C kompresor [9] .....	26
Tablica 4. Tehničke specifikacije ESP-32-WROOM-N16R8 [10].....	31
Tablica 5. Tehničke specifikacije odabranog motornog pogona [12].....	33
Tablica 6. Značajke osam-kanalnog relejnog modula [13] .....	35
Tablica 7. Tehničke specifikacije akumulatorske baterije Dyno Europe 12V [14] .....	36
Tablica 8. Tehničke specifikacije LM2596S DC - DC konvertera [15] .....	37
Tablica 9. Tehničke specifikacije grebenaste sklopke 0-1 [16] .....	38
Tablica 10. Tehničke specifikacije Joystick XY modul [17].....	39
Tablica 11. Tehničke specifikacije mikroprekidača [18] .....	40
Tablica 12. Tehničke specifikacije auto prekidača D-Y7PL [19].....	41
Tablica 13. Tehničke specifikacije auto osigurač [20].....	41

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
M	[Nm]	Moment
F	[N]	Sila
r	[m]	Radijus
$\omega$	[rad/s]	Kutna brzina
v	[o/min]	Brzina

## SAŽETAK

Ovaj rad bavi se projektiranjem i izradom automatiziranih mehatroničkih invalidskih kolica. Projektirana invalidska kolica imat će mogućnost podizanja pacijenta iz sjedećeg položaja u ležeći položaj, iz kojeg će medicinsko osoblje moći lako prebaciti pacijenta na bolnički krevet. Također, pacijent će moći upravljati kolicima koristeći joystick i gumbe za određivanje visine na koju će se podići. Kako bi se povećala razina automatiziranosti sustava, što je uvijek cilj, razvijena je i mobilna aplikacija preko koje se može upravljati invalidskim kolicima. Na početku će biti objašnjene vrste elektromotornih pogona koji se koriste kod upravljanja današnjim sustavima invalidskih kolica. Mehanizam pokretanja sustava bilo je potrebno osmisliti, projektirati, izraditi te omogućiti kretanje u svim smjerovima pomoću upravljačkih uređaja. Objasniti će se rad i primjena pneumatskih sustava, sastavni dijelovi korištenog pneumatskog sustava te njihova funkcija. Nadalje, bit će objašnjeni rad i primjena elektroničkih komponenti, njihova funkcija i mogućnosti koje nam pružaju. Na kraju će biti opisano upravljanje sustavom, programiranje i izrada mobilne aplikacije te ukupni rad i funkcije mehatroničkog sustava.

**Ključne riječi:** invalidska kolica, transfer pacijenta, mehatronički sustav, pneumatski sustav, motori, mobilna aplikacija, automatizacija, mehanizam pokretanja

## **SUMMARY**

This work deals with the design and development of automated mechatronic wheelchairs. The designed wheelchair will have the capability to lift the patient from a sitting position to a lying position, from which medical staff can easily transfer the patient to a hospital bed. Additionally, the patient will be able to control the wheelchair using a joystick and buttons to determine the height to which they will be lifted. To increase the level of system automation, which is always the goal, a mobile application has also been developed through which the wheelchair can be controlled. First of all, the types of electric drives used in the management of today's wheelchair systems will be explained. The mechanism for moving the system had to be conceptualized, designed, manufactured, and enabled to move in all directions using control devices. The operation and application of pneumatic systems, the components of the used pneumatic system, and their functions will be explained. Furthermore, the operation and application of electronic components, their functions, and the possibilities they provide will be explained. Finally, the system control, programming, and development of the mobile application, as well as the overall work and functionalities of the developed mechatronic system, will be described.

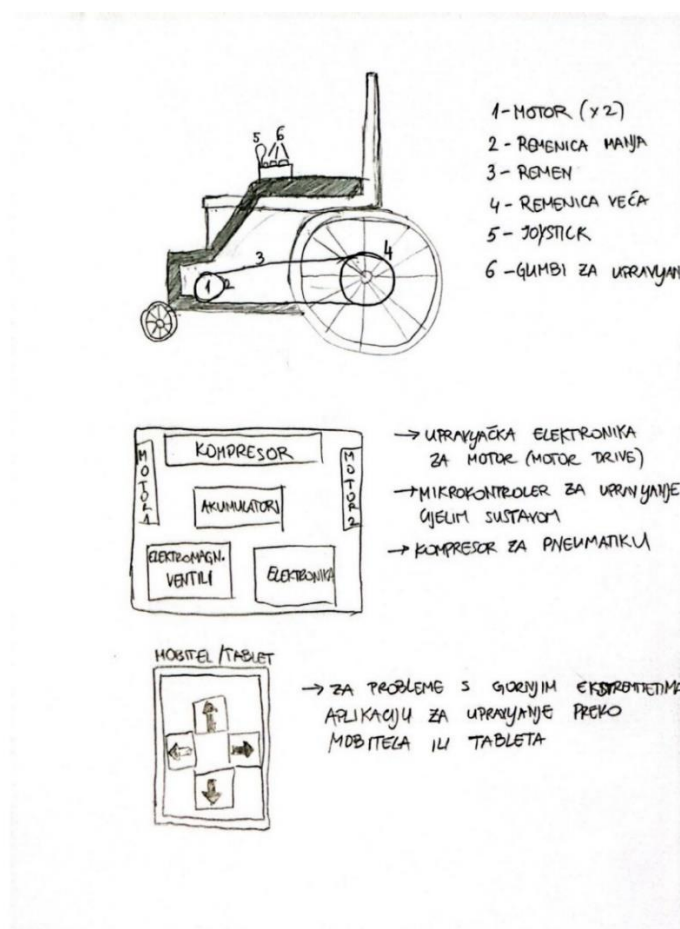
**Keywords:** wheelchair, patient transfer, mechatronic system, pneumatic system, motors, mobile application, automation, movement mechanism

## 1. UVOD

### 1.1. Opis sadržaja rada

Automatizirana mehatronička invalidska kolica, koja su predmet ovog rada, mogu se smatrati dijelom servisne robotike u sklopu medicinske robotike. Ovaj diplomski rad bavi se projektiranjem mehatroničkog sustava invalidskih kolica, s posebnim naglaskom na automatizaciju sustava. Projektirana i izrađena invalidska kolica imaju mogućnost podizanja pacijenta iz sjedećeg u ležeći položaj do visine bolničkog kreveta korištenjem pneumatskih aktuatora te samostalno kretanje elektromotornim pogonom kotača. Slijedi konstruiranje mehanizma pokretanja, opis korištenih pneumatskih i elektroničkih komponenti. Cilj rada je prikazati cjelokupan proces projektiranja i implementacije sustava upravljanja, kao i opis rada cijelog sustava.

### 1.2. Idejna skica



Slika 1. Idejna skica

U ovom radu cilj je postići automatizaciju invalidskih kolica kako bi se omogućio mobilniji i jednostavniji život osobama s invaliditetom. Automatizacija će se ostvariti korištenjem motora koji će biti upravljani putem joysticka za one koji mogu koristiti gornje ekstremitete, a za osobe koje nemaju tu mogućnost, razvit će se mobilna aplikacija kojom će druga osoba moći upravljati kolicima. Kompresor će se koristiti za pneumatske cilindre kako bi se osigurao stlačeni zrak potreban za podizanje pacijenta do željene visine. Željena visina bit će postignuta podešavanjem razine na koju se želimo podići upravljanjem s gumbima u kombinaciji sa sensorima na velikom podiznom pneumatskom cilindru. Za sustav upravljanja kotačima koristi se remenski prijenos s dvije remenice: manjom pogonskom i većom gonjenom. Komunikacija svih perifernih uređaja te implementacija i njihovo upravljanje odvija se preko glavnog mikrokontrolera. Za upravljanje motorima koristi se upravljački sklop za motore, a za upravljanje s elektromagnetskim ventilima koristit će se releji.

### **1.3. Inspiracija za izradu automatiziranih invalidskih kolica**

Za diplomski rad odabrano je unaprijediti prethodno napravljeni sustav invalidskih kolica s pneumatskim pogonom aktuatora kojima se pacijent podiže do željenog položaja, nakon čega ga medicinsko osoblje prebacuje na krevet. Cilj je povećati mobilnost do što većeg stupnja i unaprijediti automatizaciju sustava, što je i razlog izrade ovog diplomskog rada.

### **1.4. Automatizacija invalidskih kolica**

Za osobe s privremenim ili trajnim poteškoćama u kretanju, invalidska kolica često predstavljaju sredstvo koje može olakšati život. S invalidskim kolicima imate mogućnost slobodnijeg kretanja te održavanja višeg stupnja neovisnosti i kontrole nad svojim životom. U današnjem tehnološki naprednom svijetu, poboljšanja u području mobilnosti osoba s invaliditetom postaju sve značajnija. Tradicionalna invalidska kolica, koja su dugi niz godina bila osnovno sredstvo kretanja za osobe s otežanim pokretima, sada se suočavaju s izazovima učinkovitosti i funkcionalnosti. S druge strane, elektromotorna invalidska kolica predstavljaju inovativno rješenje koje donosi niz prednosti, ali isto tako i suočava se s nekim izazovima. Ozljede kod kojih je potreban i pomoćnik su najčešće izazvane: moždanim udarom, cerebralnom paralizom, spinalnim ozljedama i traumatskim ozljedama glave.

U nastavku će biti napisane prednosti i nedostaci korištenja običnih ili elektromotorno pogonjenih invalidskih kolica.

### **1.4.1. Prednosti i mane običnih invalidskih kolica**

Obična invalidska kolica, koja se pogone ručnom snagom korisnika ili pomoćnika, imaju svoje prednosti, ali i ograničenja. [1]

Prednosti:

- Niska cijena: Ova kolica često su ekonomičnija u usporedbi s elektromotornim varijantama, što ih čini pristupačnijima za širi krug korisnika.
- Lakše održavanje: S obzirom na manji broj dijelova i elektronike, održavanje običnih invalidskih kolica jednostavnije je i jeftinije.
- Vrhunska prilagodljivost: Obična kolica su često lakša i jednostavnija za sklapanje i transport, pružajući praktičnost korisnicima u svakodnevnim situacijama.

Nedostatci:

- Fizički napor: Za kretanje običnih kolica potrebna je fizička snaga korisnika ili pomoćnika, što može predstavljati izazov za osobe s ograničenim motoričkim sposobnostima te stalnu potrebu za pomoćnikom.
- Ograničena autonomija: Korisnici su ograničeni brzinom i dometom kojeg mogu dostići s običnim kolicima, što može otežavati svakodnevne aktivnosti i putovanja.
- Nepristupačnost terena: Obična kolica često teže svladavaju neravne terene, uzbrdice ili nepristupačna područja.

Elektromotorna invalidska kolica predstavljaju značajan korak naprijed u poboljšanju mobilnosti. Glavna prednost leži u električnom pogonu te upravljanju s invalidskim kolicima bez potrebe za pomoćnikom.

Prednosti:

- Lakše svladavanje terena: Elektromotorna kolica mogu se nositi s različitim vrstama terena, uključujući neravne površine, uzbrdice i nepristupačna područja.
- Viša brzina i domet: Ova kolica često omogućavaju veće brzine i dulje vožnje između punjenja, čime se povećava područje koje pokrivaju i učinkovitosti mobilnosti.
- Manji fizički napor: Elektromotorna kolica smanjuju potrebu za fizičkom snagom korisnika, čime se olakšava svakodnevno kretanje.



Nedostatci:

- Veća masa: Elektromotorna kolica često imaju veću težinu ugrađene elektronike i baterija, što može otežati skladištenje i prijevoz.
- Ovisnost o baterijama: Elektromotorna kolica zahtijevaju redovito punjenje baterija, a prazna baterija može ograničiti kretanje korisnika.
- Potreba za održavanjem elektronike: Složeniji sustavi elektronike u elektromotornim kolicima mogu zahtijevati redovito održavanje ili popravke, što može biti dodatan trošak.

#### ***1.4.2. Unaprijeđenje postojećeg sustava***

Razvoj elektromotornih automatiziranih invalidskih kolica donosi niz koristi. Automatizacija omogućava daljinsko upravljanje čime se povećava razina neovisnosti korisnika. Integracija senzora u kombinaciji s pneumatikom za pokretanje aktuatora i podizanje na određenu visinu omogućuje visoki stupanj neovisnosti korisnika. Unaprijeđenjem postojećeg sustava s elektromotornim pogonom, upravljanim manualno preko joysticka ili putem mobilnog uređaja, omogućuje se veća mobilizacija, pokretljivost te samostalnost. Upravljanje putem joysticka pruža korisnicima intuitivnu i jednostavnu kontrolu nad kretanjem invalidskih kolica. Problem kod korištenja joysticka javlja se kod osoba s određenim vrstama invaliditeta ili motoričkim problemima, što može ograničiti pristupačnost. Rješenje za taj problem koje će biti implementirano u ovom radu jest upravljanje preko mobilnog uređaja, kojim može i druga osoba upravljati umjesto pacijenta. Korisnici mogu upravljati kolicima iz udaljenog mjesta putem mobilne aplikacije, što pruža dodatnu fleksibilnost, a pomoćnik neće morati fizički pomagati osim, naravno u slučaju potrebe.

Sve ove inovacije zajedno doprinose stvaranju naprednijih, prilagodljivijih i korisnički orijentiranih invalidskih kolica.

## 2. VRSTE ELEKTROMOTORNIH POGONA ZA INVALIDSKA KOLICA

Za pacijente koji su nepokretni i ne mogu hodati zbog svoje bolesti, posebno se dizajniraju invalidska kolica na ručni ili električni pogon. Ako pacijent ima očuvane pokrete ruku, preporučuju se kolica na ručni pogon. U slučajevima kvadriplegije, koriste se motorna kolica koja se mogu upravljati udahom ili glasovnim komandama. Pacijenti s hemiplegijom koriste kolica koja pokreću zdravom rukom i nogom. Dimenzije, oblik sjedišta, naslon te oslonci za noge i ruke moraju biti individualno prilagođeni svakom pacijentu.

Vrste invalidskih kolica koja se najčešće koriste su:

- Invalidska kolica na ručni pogon
- Invalidska kolica na električni pogon
- Dječja invalidska kolica

Podjela elektromotornih invalidskih kolica:

- Za unutarnje prostore
- Za vanjske prostore
- Za unutarnje i vanjske prostore
- Elektroskuteri
- Specijalna kolica
- Dječja kolica

1. Kolica za unutarnju upotrebu: dizajnirana su za uporabu u zatvorenim prostorima kao što su kuće, stanovi i bolnice. Imaju manji radijus okretanja za lakše manevriranje u uskim prostorima.



Slika 2. Elektromotorna kolica za unutarnju upotrebu [1]

2. Kolica za vanjske prostore: dizajnirana za upotrebu na otvorenom, na neravnim terenima kao što su pločnici, putevi i travnjaci. Imaju snažnije motore, veće kotače i bolju suspenziju za savladavanje terena.



**Slika 3. Elektromotorna kolica za vanjsku upotrebu [1]**

3. Kolica za unutarnje i vanjske potrebe: kombinacija funkcionalnosti unutarnjih i vanjskih kolica, fleksibilna za upotrebu i u zatvorenim prostorima i na otvorenim prostorima, pružaju balans između kompatibilnosti i robusnosti.



**Slika 4. Kombinirana elektromotorna kolica [1]**

4. Elektroskuteri: slični su skuterima, ali su prilagođeni osobama sa smanjenom pokretljivošću. Brži su, imaju veći domet baterije i dolaze s prostorom za odlaganje stvari.



**Slika 5. Elektromotorni invalidski skuter [1]**

5. Specijalna kolica: dizajnirana su za specifične potrebe korisnika, mogu imati dodatne funkcije kao što su nagnjanje, podizanje ili stajanje. Prilagođena su posebnim potrebama, nude veću podršku i udobnost.



**Slika 6. Vertikalizator [1]**

6. Dječja kolica: Prilagođena su za djecu, s odgovarajućim dimenzijama i sigurnosnim funkcijama. Nude prilagodljive opcije za različite uzraste i faze razvoja djeteta.



**Slika 7. Dječja invalidska kolica [1]**

### 3. KONSTRUIRANJE MEHANIZMA POKRETANJA

Razvoj i konstrukcija mehanizma pokretanja za elektromotorna invalidska kolica predstavlja izazovan, ali izuzetno važan inženjerski zadatak s ciljem poboljšanja mobilnosti i kvalitete života korisnika. S obzirom na rastući broj korisnika invalidskih kolica, javlja se potreba za inovativnim pristupom u konstruiranju mehanizma pokretanja kako bi se osigurale optimalne karakteristike, energetska učinkovitost te prilagodljivost različitim terenima i uvjetima korištenja.

Konstrukcija mehanizma pokretanja za električna invalidska kolica zahtijeva pažljivu integraciju elektromotora, baterijskog sustava, upravljačke elektronike te sigurnosnih i ergonomskih značajki. Pritom je ključno postići ravnotežu između performansi i praktičnosti, omogućavajući korisnicima učinkovito upravljanje kolicima uz minimalne napore, uz istovremeno postizanje visokog stupnja sigurnosti.

U nastavku će biti analizirane specifičnosti konstrukcije mehanizma pokretanja, uzimajući u obzir ekonomski aspekt. Kako bi se zadovoljili svi proračuni, težilo se k unaprijeđenju performansi i funkcionalnosti elektromotornih invalidskih kolica.

#### 3.1. Proračun motora

Proračun karakteristika motora za električna invalidska kolica zahtijeva pažljivu analizu više faktora, uključujući potrebnu snagu, momente i sile, brzinu, efikasnost, težinu i dimenzije samog motora. Ovi parametri često ovise o specifičnostima aplikacije, terenu na kojem će kolica biti korištena, kao i individualnim potrebama korisnika. Cilj ovog proračuna nije samo osigurati da motor zadovoljava minimalne tehničke zahtjeve, već i optimizirati rad sustava i osigurati njegovu dugotrajnost. U nastavku, razmotrit će se ključne formule i pristupi proračunu odabira motora za električna invalidska kolica, s ciljem stvaranja inovativnih i učinkovitih mobilnih rješenja.

Specifikacije prema kojima odabiremo odgovarajući motor primarno su: snaga, moment i napon. Za početak bilo je potrebno odrediti koliki je moment potreban da bi se pokrenula invalidska kolica s korisnikom na njima. Koristeći dinamometar [Slika 8. ] izračunata je sila koja je potrebna kako bi se kolica pokrenula. Ukoliko znamo silu samim time znamo i moment. U nastavku će biti prikazane formule s dobivenim vrijednostima prema kojima je odabran motor.



Slika 8. Dinamometar [2]

Sila koja je očitana na dinamometru iznosila je 80 [N]. Za daljnje računanje potrebno je znati radijus kotača na invalidskim kolicima. U centru samog kotača bit će zupčasta remenica preko koje će se pokretati kotač (cijeli mehanizam pokretanja biti će prikazan kasnije) upravo zbog toga se centar kotača uzima kao polazna točka. Radijus kotača na invalidskim kolicima iznosi 0,3 [m].

$$M = F * r \quad (1)$$

$$M = 80 [N] * 0,3 [m] \quad (2)$$

$$M = 24 [Nm] \quad (3)$$

Dakle potreban moment za pokretanje kolica je 24 [Nm]. Prilikom pokretanja određene mase, tako i invalidskih kolica, najveći moment je upravo u samom početku, pri pokretanju. Dakle, maksimalan moment koji će biti potreban prilikom cjelokupnog gibanja invalidskih kolica će biti upravo taj početni moment prilikom pokretanja. Nakon pokretanja moment će doći do nazivnog momenta koji će biti dosta manji od početnog zbog toga što će gibanju pomagati inercija samog sustava. Također, uzevši u obzir potreban početni moment možemo zaključiti da će motoru upravo tada biti potrebno najviše struje, a s tim karakteristikama momenta i struje kreće se u odabir motora.

Ukoliko motor radi na svojem maksimalnom momentu ili preopterećenju predugo vremena, to može dovesti do različitih problema i oštećenja. Maksimalni moment motora predstavlja najveću silu koju motor može proizvesti pri određenim uvjetima rada. Problemi do kojih može doći prilikom dugotrajnog rada na maksimalnom momentu su:

- Povećana temperatura: Rad motora na maksimalnom momentu stvara dodatnu toplinu zbog povećane potrošnje energije.
- Oštećenje dijelova motora: Povećan stres na dijelovima motora, može dovesti do njihovog oštećenja ili istrošenosti što može dovesti do smanjenja ukupnog životnog vijeka motora.
- Povećan trošak održavanja: Maksimalno opterećenje može povećati potrebu za održavanjem motora, redovito održavanje postaje ključno kako bi se spriječilo oštećenje i produžila životna dob motora.
- Smanjenje efikasnosti sustava: Povećana potrošnja energije i stvaranje topline mogu smanjiti ukupnu efikasnost sustava. To može rezultirati smanjenjem performansi, smanjenjem izlazne brzine i većom potrebom za hlađenjem motora.

Kako bi se zaštitili od svih tih neželjenih posljedica potrebno je imati određeni faktor sigurnosti u sustavu. Faktor sigurnosti za ovaj projekt će iznositi 2 te će karakteristika maksimalnog momenta iznositi:

$$M = 24[Nm] * 2 \quad (4)$$

$$M = 48[Nm] \quad (5)$$

Izbor motora od 24[V] napravljen je zbog nekoliko ključnih razloga koji odgovaraju specifičnim zahtjevima aplikacije. Prvenstveno, potreba za većom snagom i performansama u sustavu bila je ključna, a 24[V] motori općenito pružaju veću snagu u usporedbi s 12[V] motorima. To je posebno važno jer aplikacija zahtijeva visoke performanse i učinkovito kretanje tereta. Dodatna prednost 24[V] motora je mogućnost korištenja tanjih vodiča, što rezultira smanjenjem dimenzija i mase sustava.

Za daljnji proračun potrebno je odrediti kolika će biti brzina kretanja invalidskih kolica; prosječna brzina kretanja invalidskih kolica iznosi  $3[km/h]$ . Ta brzina je odabrana zbog sigurnosti korisnika, smanjenja rizika od naglih pokreta ili prevrtanja, mogućnosti uspostave lakše kontrole nad invalidskim kolicima te naravno zbog produljenja autonomije baterije, povećavanjem puta koji korisnik može prijeći.

Uzimajući u obzir da je potrebna brzina  $3[km/h]$ , tu brzinu ćemo preračunati u mjernu jedinicu s kojom će se dalje računati te u mjernu jedinicu prema kojoj će se odabrati motor iz opisa tehničkih specifikacija motora.

$$\omega[rad/s] = \frac{v \left[ \frac{km}{h} \right] * \frac{1000}{3600}}{r} \quad (7)$$

$$\omega[rad/s] = \frac{3 * \frac{1000}{3600}}{0,3} \quad (8)$$

$$\omega = 2,78 \left[ \frac{rad}{s} \right] \quad (9)$$

Nadalje, u tehničkim specifikacijama proizvođača motora uvijek je brzina izražena u okretajima po minuti, stoga treba pretvoriti mjerne jedinice kako bi se mogao odabrati specifičan motor za upotrebu.

$$v \left[ \frac{o}{min} \right] = \frac{\omega \left[ \frac{rad}{s} \right] * 60}{2\pi} \quad (10)$$

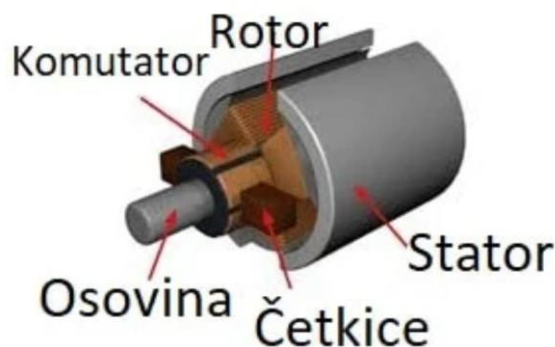
$$v \left[ \frac{o}{min} \right] = \frac{2,78 * 60}{2\pi} \quad (11)$$

$$v = 26,55 \left[ \frac{o}{min} \right] \quad (12)$$

Odabrani motor je DC motor, odnosno motor za istosmjernu struju. Istosmjerni motor je elektromehanički uređaj koji istosmjernu struju pretvara u kružno (rotacijsko) gibanje. Ako se rotor istosmjernog motora mehanički spoji s izvorom rotacijskog gibanja (motor s unutarnjim izgaranjem, parna turbina i slično) na izvodima će se inducirati napon, prema pravilu desne ruke, čime je stvoren istosmjerni generator.



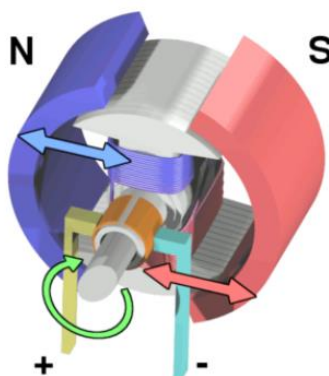
Dijelovi DC motora su: stator, rotor, četkice, komutator, osovina, ležaj, namotaji (zavojnice) i kućište.



**Slika 9. Dijelovi motora na istosmjernu struju [3]**

Princip rada DC motora temelji se na principu elektromagnetske indukcije i elektrodinamike. DC motor ima stacionarni dio poznat kao stator koji generira stalno magnetsko polje. Stator obično sadrži trajne magnete ili elektromagnetske namotaje za stvaranje magnetskog polja. U središtu motora nalazi se rotor, pokretni dio koji sadrži namotane žice. Ove žice su postavljene u obliku zavojnica oko osovine rotora.

Električna struja dovodi se do namotaja rotora kroz četkice (engl. brushes) i komutator. Četkice su vodiči koji dolaze u kontakt s komutatorom, omogućujući struji da prijeđe s vanjskog izvora na rotor. Kada struja prolazi kroz žice u rotoru, stvara se magnetsko polje oko tih žica prema Ampèrovom zakonu. Ovaj magnetski pol reagira s magnetskim poljem statora, stvarajući Lorentzovu silu koja uzrokuje rotaciju rotora. Lorentzova sila je sila koja djeluje na svaki vodič sa strujom kada prolazi kroz magnetsko polje. Da bi se osigurala kontinuirana rotacija, koristi se komutator. Komutator mijenja smjer struje kroz rotor tijekom rotacije, osiguravajući tako kontinuiranu interakciju između magnetskog polja statora i žica rotora.



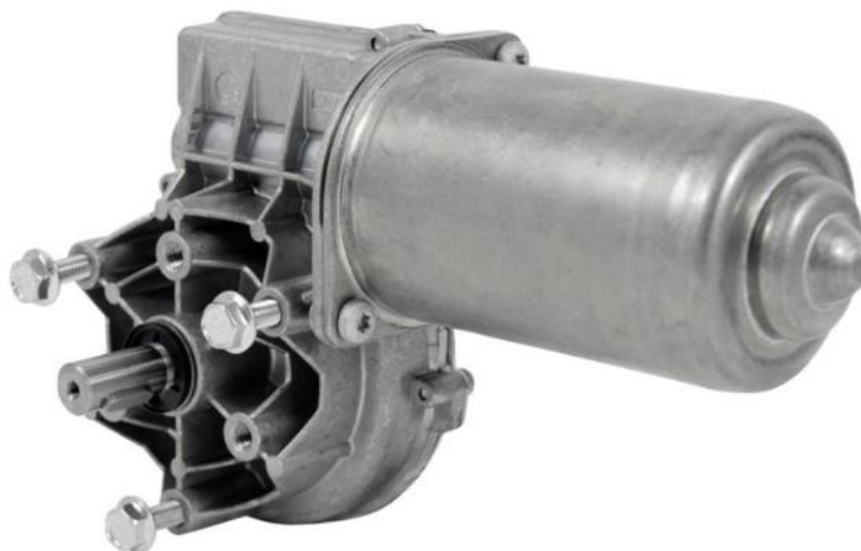
**Slika 10. Prikaz rada istosmjernog motora [3]**

S obzirom na zahtjeve i specifikacije koje je bilo potrebno zadovoljiti, odabrani motor trebao je zadovoljavati specifikacije momenta, brzine i snage. Odabranim prijenosnim omjerom postignuti su željeni uvjeti motora. Prijenos, koji može uključivati zupčanike, lančanike, vijke, ili druge prijenosne mehanizme, omogućuje kontrolirano povećanje ili smanjenje brzine i momenta. Prijenos se sastoji od seta zupčanika ili drugih mehaničkih prijenosnih elemenata koji omogućuju kontrolirano povećanje ili smanjenje brzine i momenta između motora i izlazne osovine. Prednost korištenja motora s reduktorom je povećanje momenta na izlazu motora, što je korisno u situacijama gdje je potreban veliki moment, a manje brzine, kao što je slučaj u ovom radu. Postiže se preciznija regulacija brzine rotacije izlazne osovine, često uz različite stupnjeve prijenosa.

Nakon temeljitog pretraživanja i analize različitih dostupnih opcija, odlučio sam se za određeni motor koji zadovoljava specifične potrebe mog projekta. Odabrani motor ispunjava sve potrebne parametre te obećava optimalne rezultate u okviru postavljenih uvjeta. Odabrani motor je DOGA istosmjerni motor s getribom Typ 319 DO 319.3862.3B.00; u nastavku će biti prikazane njegove tehničke specifikacije. Dakle, bilo je potrebno zadovoljiti prvobitno sljedeće uvjete:

$$M = 48[Nm] \quad (13)$$

$$v = 26,55 \left[ \frac{o}{min} \right] \quad (14)$$



Slika 11. DOGA 319.3862.3B.00 motor [4]

Tehničke specifikacije DOGA 319.3862.3B.00 motora prikazane su u [Tablica 1.].

**Tablica 1. Tehničke specifikacije DOGA 319.3862.3B.00 motora [4]**

Nazivni napon	24 [V]
Nazivna struja	3 [A]
Nazivna snaga	72 [W]
Nazivni broj okretaja	45 [o/min]
Nazivni zakretni moment	9 [Nm]
Promjer osovine	12 [mm]
Vrsta zaštite	IP65
Dimenzije (D x Š x V)	208 x 60 x 126 [mm]
Prijenosni omjer	81: 1
Maksimalni moment	60 [Nm]
Maksimalna struja	25 [A]
Osovina	E35
Spoj motora	C37

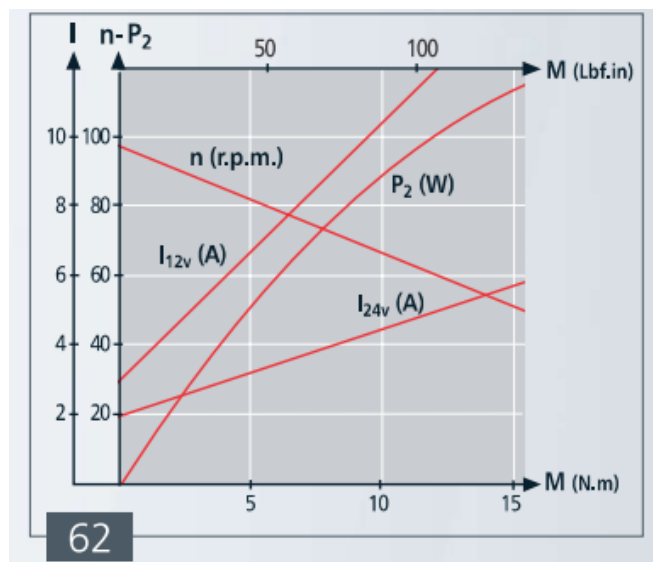
Uspoređujući tehničke specifikacije odabranog motora možemo zaključiti da su svi parametri zadovoljeni, maksimalni moment je uzet veći nego što je bilo potrebno, s čime smo povećali faktor sigurnosti. Brzina je neznatno manja, ali svakako je naglasak da bude što veći početni moment kako bi se mogli svladati i faktori neravnog tla, određenog nagiba i većeg trenja.

Izlazna brzina motora s kojom će se računati u mjernoj jedinici [rad/s] je:

$$\omega \left[ \frac{rad}{s} \right] = \frac{2\pi * v \left[ \frac{o}{min} \right]}{60} \quad (15)$$

$$\omega = 4,71 \left[ \frac{rad}{s} \right] \quad (16)$$

Prema ovom proračunu proizlazi da će se kolica gibati dosta brže nego što je potrebno, ali kasnije će biti uračunat i remenski prijenos te će se pokazati da će izlazna brzina osovine odabranog motora s prijenosnim omjerom reduktora i prijenosnim omjerom remenskog prijenosa biti zadovoljavajuća.



Slika 12. Performanse motora [4]

### 3.2. Remenski prijenos

Remenski prijenos predstavlja ključnu komponentu mnogih mehaničkih sustava, pružajući učinkovit i pouzdan način prijenosa snage između različitih elemenata strojeva. Ovaj fleksibilan i jednostavan mehanički sustav koristi remenje, obično izrađeno od gume ili drugih materijala visoke čvrstoće, kako bi prenosio rotacijski pokret između vratila. Za ovaj projekt odabrani remen je zupčasti remen HTD (High Torque Drive) 5M. HTD remeni imaju poseban oblik zubaca (profil) dizajniran za visoki okretni moment. Profil 5M ukazuje na određeni oblik i veličinu zubaca remena.

Općenite karakteristike koje se povezuju s HTD remenom:

- Visok kapacitet okretnog momenta: HTD remeni su dizajnirani za prenošenje većeg okretnog momenta u usporedbi s nekim drugim vrstama zupčastih remena.
- Preciznost pri prijenosu snage: Zbog svoje zupčaste strukture, HTD remeni obično pružaju preciznost pri prijenosu snage i pozicioniranju.

- Široka primjena: Mogu se koristiti u raznim industrijskim sektorima poput strojarstva, automobilske industrije, CNC strojeva i drugdje gdje je potreban prijenos snage.
- Broj zuba Profil 5M označava specifičan oblik zuba na remenu i broj zuba na određenoj duljini remena. U ovom slučaju, "5M" ukazuje na određeni broj zuba na remenu.
- Metrički modul: "M" u oznaci 5M odnosi se na metrički modul. Modul je matematički parametar koji definira odnos između promjera remena i broja zuba. Metrički modul koristi se u metričkom sustavu mjerenja.
- Širina remena: Profil 5M također implicira određenu širinu remena. Ova dimenzija odnosi se na širinu površine remena koja dolazi u kontakt s kotačima.



Slika 13. HTD5M remen [5]

Prijenosni omjer koji je potreban da bi bile zadovoljene željene karakteristike je 1:2. S tim prijenosnim omjerom bi se udvostručio izlazni moment te bi se time povećao faktor sigurnosti, a brzina bi se dvostruko smanjila čime bi se dobila željena brzina.

$$\omega = \frac{4,71}{2} \quad (17)$$

$$\omega = 2,355 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad (18)$$

Ukoliko pretvorimo tu kutnu brzinu u  $[\text{rad/s}]$  u brzinu u  $[\text{km/h}]$  kao što je bio početni uvjet dobijemo:

$$v \left[ \frac{\text{km}}{\text{h}} \right] = \frac{\omega [\text{rad/s}] * r}{\frac{1000}{3600}} \quad (19)$$

$$v = 2,54 \left[ \frac{\text{km}}{\text{h}} \right] \quad (20)$$

što je zadovoljavajuća izlazna brzina.

Prijenosni omjer u mehaničkim sustavima igra ključnu ulogu u određivanju odnosa rotacije između povezanih komponenti, pružajući temelj za učinkoviti prijenos energije.

Prijenosni omjer bit će izračunat na dva načina, preko prijenosnog omjera broja zubi veće i manje remenice te prijenosnog omjera radnog promjera remenica. Manja remenica pozicionirana i pričvršćena je na kolu invalidskih kolica, a veća na osovini motora, u sljedećem poglavlju će biti objašnjeno detaljnije. Radni promjer veće remenice je 200 [mm] i ima 128 zubi, a promjer manje remenice je 95 [mm] i ima 60 zubi.



Slika 14. HTD 5M-15 remenica [6]

Proračun prijenosnog omjera:

$$\text{Prijenosni omjer} = \frac{\text{Broj zuba na manjoj remenici}}{\text{Broj zuba na većoj remenici}} \quad (21)$$

$$\text{Prijenosni omjer} = \frac{60}{128} = 1:2,13 \quad (22)$$

$$\text{Prijenosni omjer} = \frac{\text{Radni promjer manje remenice}}{\text{Radni promjer veće remenice}} \quad (23)$$

$$\text{Prijenosni omjer} = \frac{95 \text{ [mm]}}{200 \text{ [mm]}} = 1:2,13 \quad (24)$$

Proračunom željeni omjer je 1:2 te omjer koji se dobije nakon što su izabrane HTD remenice jest 1:2,13 po čemu možemo zaključiti da su izlazne varijable zadovoljavajuće.

Tehničke specifikacije odabrane HTD 60-5M-15 remenice prikazane su u [Tablica 2.].

**Tablica 2. Tehničke specifikacije HTD 5M remena [6]**

Profil	HTD 5M
Širina remena	15 [mm]
Broj zuba	60
Izvedba	2
Materijal	Aluminij
Radni - Ødp	95,49 [mm]
Vanjski - Øde	94,35 [mm]
Dm	50 [mm]
Duljina remenice	30 [mm]
Provrst	8 [mm]
Težina	0,3 [kg]
Oznaka	60-5M-15

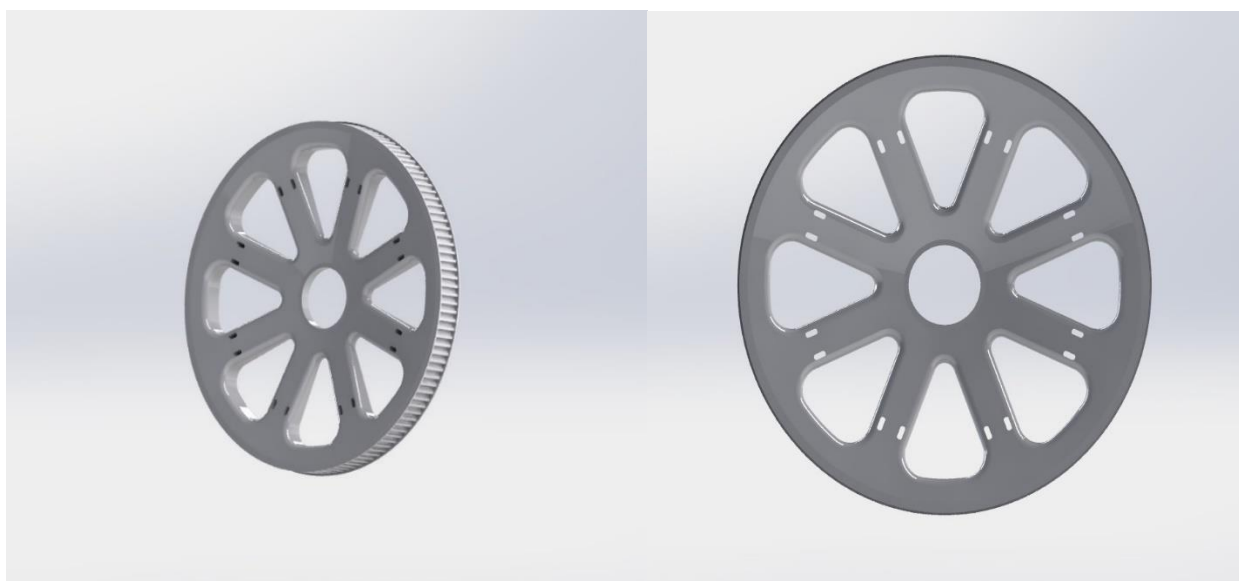
Veća remenica sa 128 zubi, promjerom 200 [mm] bit će konstruirana te 3d isprintana, a detaljniji prikaz će biti dan u sljedećem poglavlju.

### 3.3. Konstruiranje mehanizma pokretanja

Konstrukcija mehanizama pokretanja predstavlja ključan korak u razvoju inovativnih uređaja i strojeva koji iziskuju precizno usklađivanje. Prvobitna ideja bila je s kandžastom spojkom spojiti osovinu motora s jedne strane te osovinu kola invalidskih kolica s druge strane. Problem je bio što osovina kola invalidskih kolica ne odgovara takvom postupku prijenosa gibanja. Izabran je remenski prijenos zbog toga što je takav način prijenosa gibanja odgovarao te je učinkovit i pouzdan način prijenosa snage.

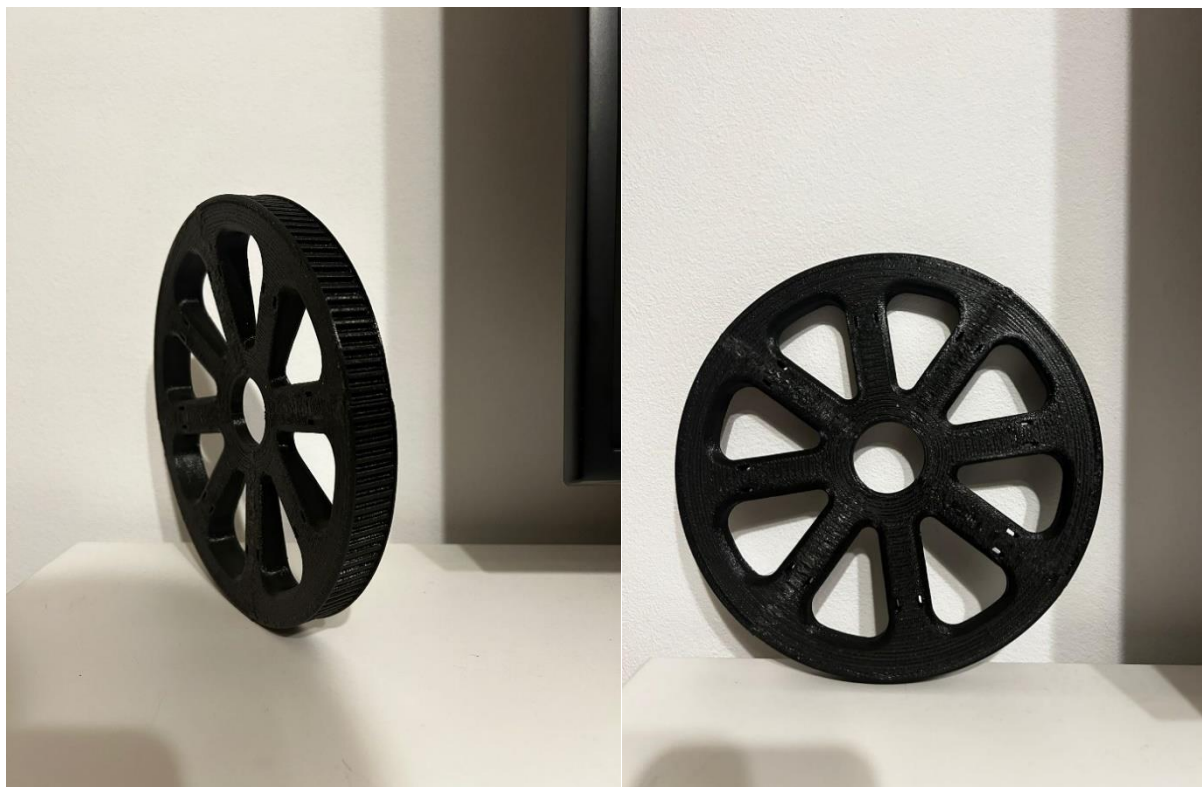
### 3.3.1. Remenice

Potrebno je konstruirati i remenicu koja će biti prihvaćena za kotač invalidskih kolica; prihvat remenice će biti ostvaren plastičnim vezicama debljine 15 [mm]. Druga remenica će biti mehanički povezana s osovinom motora preko utora za pero i dosjedom osovine motora i prolaznog provrta u centru remenice. Povezivanjem dvije remenice zupčastim remenom ostvarena je mehanička povezanost cjelokupnog mehanizma pokretanja. Veća remenica će biti 3D isprintana, a manja remenica bit će kupljena te strojnom obradom dovedena do potrebnih dimenzija.



Slika 15. CAD model veće remenice





**Slika 16. 3D isprintana remenica**

Vrijeme potrebno za ispis 3D printane remenice je 16h i 27 min, a materijal koji se koristio za ispis je PLA (Polylactic Acid). PLA je jedan od najpopularnijih materijala za 3D printanje zbog svoje široke dostupnosti, relativno niske cijene, jednostavnosti printanja i karakteristika. Proizvodi se iz prirodnih izvora kao što je kukuruzni škrob ili šećerna repa, što ga čini biološki razgradivim materijalom. Koristi se ponajprije zbog svoje niske temperature topljenja i minimalnog skupljanja tijekom hlađenja. PLA je niskotoksičan materijal što znači da pri printanju ne emitira značajne količine neugodnih ili opasnih plinova, što ga čini sigurnim za korištenje u unutarnjim prostorima. Dostupan je u širokom spektru boja i može se nabaviti u obliku filameta ili smole, s tim ga možemo prilagođavati različitim potrebama.

### **3.3.2. Držać za motore**

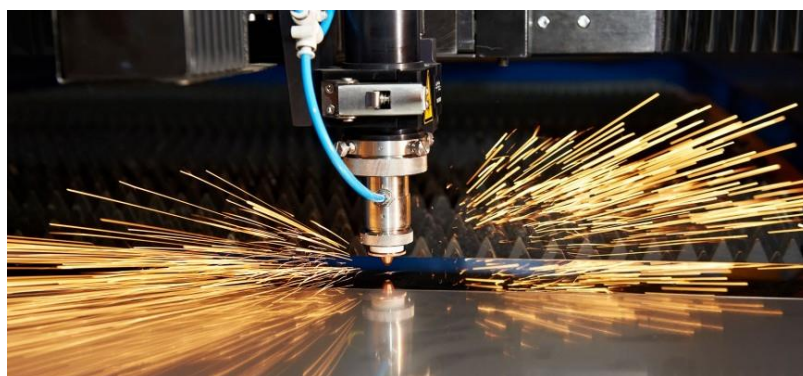
Potrebno je konstruirati robustan i funkcionalan držać za motore koji će također imati i funkciju zatezanja remena po potrebi. Držać za motore će biti napravljen od čelika, a potrebne dimenzije bit će izrađene rezanjem s laserom. Na [Slika 17.] prikazan je prihvat motora za držać koji će biti učvršćen vijcima, podložnom pločicom i maticom za konstrukciju invalidskih kolica. Kao što se

može vidjeti pokušalo se iskoristiti što manje prostora kako bi se sve preostale komponente mogle ugraditi.



**Slika 17. CAD model držača za motore**

Postupak rezanja metala laserom je postupak koji koristi visoko koncentrirani snop svjetlosti visoke energije. Laserske zrake fokusiraju se pomoću sustava leća kako bi se postigla visoka koncentracija energije na malom području i rezala metal. Prednosti rezanja metala laserskim zrakama su visoka preciznost, brzina rezanja i zbog lokaliziranog rezanja smanjuje se nepotrebna deformacija ili oštećenje materijala. Generiranjem G – koda, programskim kodom koji se koristi za upravljanje CNC strojevima, definiraju se putanje rezanja i parametri laserske zrake.



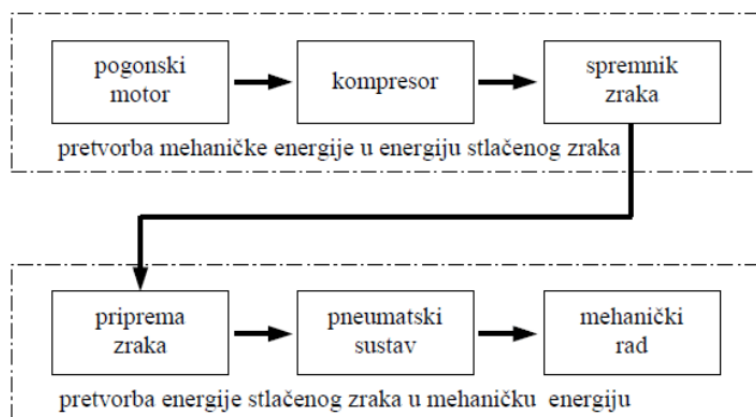
**Slika 18. Rezanje metala laserom [7]**

#### 4. PNEUMATSKI SUSTAV

Za pogon dijelova koji obavljaju gibanja podizanja koristi se pneumatski pogon. Pneumatski sustav odabran je zbog jednostavne izvedbe te kako bi se prikazao njegov široki spektar rada i mogućnosti. Pneumatski elementi prisutni su danas u velikom broju pogona, a najviše se koriste unutar "male automatizacije". Elementi pneumatskog sustava mogu se prema njihovoj funkciji podijeliti na :

- Elementi za proizvodnju i razvod zraka
- Elementi za pripremu zraka
- Izvršni elementi
- Upravljački elementi
- Upravljačko-signalni elementi
- Pomoćni elementi

Zadaci pneumatskog sustava mogu uključivati pretvorbu, prijenos i upravljanje energijom. [Slika 19.] shematski prikazuje opći princip rada pneumatskog sustava. U gornjem bloku prikazana je pretvorba mehaničke energije u energiju stlačenog zraka koji se pohranjuje u spremnik zraka. Kroz pneumatsku razvodnu mrežu (tlakovod) taj zrak se dovodi u donji blok, u kojem se vrši obrnuta pretvorba energije. Nakon jedinice za pripremu zraka u pneumatskom sustavu energija zraka pretvara se u koristan mehanički rad. Taj sustav obuhvaća komponente koje upravljaju smjerom strujanja, protokom i tlakom zraka, kao i komponente koje vrše pretvorbu energije. Osim pretvorbe u mehanički rad, pneumatski sustav često obavlja ulogu i upravljanja odnosno regulacije.



Slika 19. Opći pneumatski sustav

#### 4.1. Pneumatski cilindar kao aktuator

Pneumatski cilindri spadaju u skupinu izvršnih elemenata. Oni su aktuatori u pneumatskom sustavu te izvršioци naredbi razvodnika. U principu primarna zadaća pneumatskog cilindra pretvorba je energije stlačenog zraka u linearno ili rotacijsko gibanje. Linearno gibanje je puno zastupljenije od rotacijskog gibanja pneumatskog cilindra, za rotacijsko gibanje koristi se pneumatski zakretni cilindar, ali je njegova primjena rijetka. Prema načinu djelovanja mogu se podijeliti na:

- Jednoradne
- Dvoradne
- Posebne izvedbe (tandem, višepoložajni, teleskopski, bez klipnjače, udarni)

Na tržištu postoji veliki broj različitih izvedbi pneumatskih cilindara koji ovise o:

- Primjeni
- Dimenzijama
- Teretu koji moraju prenijeti
- Brzini gibanja
- Uvjetima u kojima moraju raditi
- Radnom tlaku

Jednoradni pneumatski cilindri vrše koristan rad samo u jednom smjeru, priključak zraka nalazi se samo na prednjoj strani, a povratno kretanje najčešće se ostvaruje oprugom. Za upravljanje jednoradnim cilindrom koriste se 3/2 cilindri, 3-smjerni ventil s 2 položaja.



Slika 20. Jednoradni cilindar [8]

Dvoradni pneumatski cilindar vrši koristan rad u oba smjera, a priključci za zrak nalaze se s obje strane klipa. Za pokretanje klipa stlačeni zrak dovodi se u komoru s jedne strane klipa, a istovremeno se komora na suprotnoj strani mora odzračivati. Mogućnosti ugradnje cilindra su univerzalne te sila koju klipnjača prenosi je nešto veća u hodu unaprijed nego u povratnom hodu. Upravljanje dvoradnim cilindrom omogućeno je upotrebom 4/2, 5/2 ili 5/3 razvodnika.



**Slika 21. Dvoradni cilindar [8]**



**Slika 22. Pneumatski cilindri za posebne izvedbe [8]**

## 4.2. Opis komponenti

Komponente koje su već korištene bit će ukratko opisane. Poboljšanje pneumatskog sustava prvobitno je temeljeno na postizanju višeg stupnja mobilnosti tako što će se koristiti prijenosni kompresor koji će biti učvršćen za temeljnu ploču od MDF-a. U prijašnjem sustavu bilo je potrebno svaki put spojiti i odspojiti crijevo za zrak na kompresor, čime je smanjen stupanj mobilnosti te brzine izvođenja cjelokupnog postupka.

### 4.2.1. Kompresor VIAIR 100C

Prijenosni kompresor koji će biti korišten treba zadovoljavati parametre isto kao i prethodno korišteni. Potrebno je da kompresor može postići tlak 5 bara, također da je protok kompresora (izražen u l/min) s obzirom na radne volumene cilindara dovoljno velik kako bi mogao u dovoljno kratkom vremenu ispuniti pneumatske cilindre stlačenim zrakom i omogućiti gibanja. Spremnik zraka neće se koristiti kao buffer stlačenog zraka, već imamo filter regulator tlaka i nepovratni ventil nakon samog kompresora čime smo osigurali da prilikom kontinuiranog ulaska stlačenog zraka u pneumatske cilindre ne dođe do povratka stlačenog zraka u kompresor jer bi nakon nekog vremena kompresor pregorio i pokvario se.



Slika 23. Prijenosni mini kompresor VIAIR 100C [9]

Tablica 3. Tehničke specifikacije VIAIR 100C kompresor [9]

Dimenzije	161,3x83,4x125,7 [mm]
Napon napajanja	12 [V]
Duty Cycle	15% za 7 [bar]
Max. radni tlak	9 [bar]
Max. potrebna struja	16 [A]
Zaštita	IP54
Max. radna temperatura	70 °C
Min. radna temperatura	-40 °C
Težina	1,7 [kg]
Materijal	Nehrđajući čelik
Nominalni radni tlak	5 [bar]
Nominalna radna struja	12 [A]
Brzina punjenja pri nominalnom tlaku	20 [lpm]

Promatrajući parametre odabranog kompresora može se vidjeti da su željene vrijednosti parametara zadovoljene, radni tlak je 5 [bar], brzina punjenja pri potrebnom radnom tlaku je također zadovoljavajuća, jedino treba riješiti napajanje samog kompresora. Kasnije u radu biti će detaljno objašnjeno napajanje koje se ostvaruje preko akumulatorske baterije koju treba odabrati s obzirom na potrebnu potrošnju struje pri radnom tlaku u određenom radnom ciklusu. Pošto se pneumatski cilindri neće koristiti cijelo vrijeme, znači nećemo cijelo vrijeme imati potrebu za stlačenim zrakom pa možemo računati pri odabiru akumulatorske baterije radni ciklus od 15 [min] u sat vremena.



#### 4.2.2. Preostale korištene komponente

U već postojećem sustavu korišteni su pneumatski aktuatori te regulatori i filteri s kojima je omogućen čist i siguran protok zraka kroz cijevi, bez prevelike kondenzacije koju svakako želimo izbaciti iz cjelokupnog pneumatskog sustava. Aktuatori su odabrani kako bi mogli dati željene kretnje i potrebne sile podizanja te omogućiti sigurnost željenih radnji.

Komponente koje su korištene u postojećem sustavu biti će ukratko opisane:

- Pneumatski cilindar MGPM50-250, služi za podizanje pacijenta do željene visine, radni hod cilindra iznosi 250 [mm]
- Pneumatski cilindar CP96SDB32 – 200C, služi za podizanje nogu pacijenta kako bi se postigao ležeći položaj, radni hod cilindra iznosi 200 [mm]
- Filter regulator AW20-F02H-B, kombinacija filtera zraka i regulatora zraka na željenu vrijednost tlaka
- Ručni razvodnik VHS20-F02B, sigurnosni ventil koji služi za prekid dotoka zraka ukoliko tlak poraste iznad željene vrijednosti
- Manometar K8-10-40, mjerni instrument za mjerenje tlaka plinova, para ili tekućina
- Elektromagnetski ventil SY5320-5DZ-C6F-Q, upravljačka jedinica za pogon pneumatskih aktuatora je 5/3 elektromagnetski ventil, zaporni uređaj koji služi za otvaranje i zatvaranje protoka zraka
- Prigušno nepovratni ventil AS2201F-02-06SA, prigušivanje protoka zraka u sustavu te onemogućavanje protoka radnog medija u jednom smjeru uz minimalno mogući pad tlaka sustava, koristi se za podešavanje brzine gibanja cilindara.

#### 4.3. Pneumatska shema sustava

Projektirani pneumatski sustav puni se zrakom do tlaka 5 bara iz kompresora. Vodovima je direktno spojen kompresor s posebnom cjelinom koja se sastoji od ručnog razvodnika te filter regulatora tlaka s manometrom koji ograničava tlak u sustavu na radni tlak cilindara. Ručni razvodnik postavljen je kako bi se mogao manualno prekinuti rad sustava i dotok zraka te kako bi se zaštitile komponente ukoliko bi došlo do određenih smetnji i problema unutar sustava, samim





## 5. ELEKTRONIČKI SUSTAV

### 5.1. Elektroničke komponente

Elektroničke komponente imaju ključnu ulogu u automatizaciji te unaprijeđenju cjelokupnog postojećeg sustava i poboljšavanju kvalitete života korisnika. Upotreba elektroničkih komponenti donosi niz prednosti u pogledu funkcionalnosti i sigurnosti za korisnike te same mobilnosti sustava. Odabrane elektroničke komponente koje će biti prikazane u nastavku omogućuju brže upravljanje s aktuatorima i omogućuju automatizaciju kretanja kolicima. Kroz pametnu kontrolu preko mikrokontrolera, senzori i aktuatori interpretiraju korisničke naredbe zadane od strane mikrokontrolera, poput pokreta joysticka ili aktiviranjem gibanja aktuatora pritiskom na mikroprekidač, kako bi precizno upravljali kretanjem invalidskih kolica. Ovo omogućuje korisnicima veću kontrolu nad upravljanjem invalidskim kolicima, što posebno može biti od značajno za pacijente ograničenom pokretljivošću. Cilj je stvoriti sustav u kojem je većina gibanja automatizirana, čime bi se korisnicima pružilo jednostavno i intuitivno iskustvo upravljanja invalidskim kolicima. Integracijom elektroničkih komponenti, korisnicima se pruža veća neovisnost, udobnost i sigurnost u njihovoj svakodnevnoj mobilnosti.

U ovom radu bit će korištene sljedeće elektroničke komponente koje će u nastavku biti detaljno opisane:

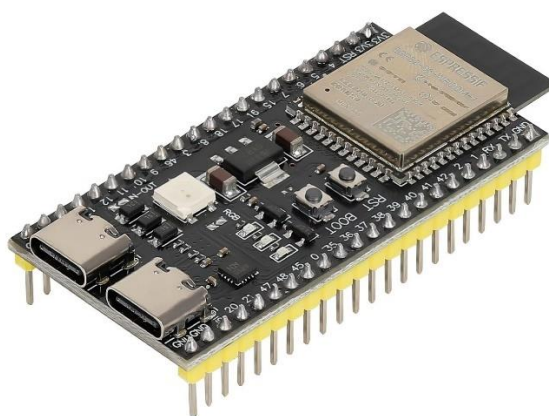
- Mikrokontroler
- Motorni pogon
- Relejni modul
- Akumulatorske baterije
- DC-DC konverter
- Grebenasta sklopka
- Joystick XY
- Mikroprekidač
- Auto prekidač
- Auto osigurač

### 5.1.1. Mikrokontroler ESP-32-WROOM-N16R8

Mikrokontroleri su integrirani elektronički sklopovi koji sadrže procesor, memoriju i periferne uređaje na jednom čipu. Oni su zapravo malo računalo na jednom integriranom krugu. Osmišljeni su za upravljanje raznim elektroničkim sustavima i za automatizaciju. Prednosti korištenja mikrokontrolera s obzirom na veća računala i računalne komponente su:

- Mala veličina: Mali i kompaktni što ih čini idealnima za ugradnju u razne uređaje gdje je prostor ograničen
- Niska potrošnja energije: Pogodni za baterijske ili energijski učinkovitije aplikacije te viši stupanj mobilnosti uređaja
- Upravljanje hardverom: Omogućuju programabilno upravljanje hardverskim komponentama te komunikaciju s periferijom i upravljanje aktuatorima te čitanje senzorskih vrijednosti
- Fleksibilnost programiranja: Razni softveri preko kojih se lako može uspostaviti komunikacija te upravljanje s mikrokontrolerima, ulaznom i izlaznom periferijom hardverski spojenom na ulaze i izlaze mikrokontrolera

Mikrokontroler koji je odabran za ovaj rad je ESP-32-WROOM-N16R8, a odabran je zbog velikog broja ulazno/izlaznih pinova, brzine mikroprocesora, integriranog Bluetooth modula te mogućnosti uspostave Wifi komunikacije preko Wifi antene. Tim dodatnim modulima omogućeno je i upravljanje kolicima preko mobilne aplikacije uspostavom Wifi komunikacije ili Bluetooth-a. S dvije jezgre procesora omogućeno je paralelno izvršavanje zadataka, a samim time i bolje performanse cjelokupnog sustava. Sadrži skup perifernih uređaja uključujući analogno-digitalni pretvornik (ADC), digitalni ulaz-izlaz (GPIO) pinove, SPI, I2C i UART komunikacijsko sučelje, što ga čini fleksibilnim za različite primjene koje bi mogao obavljati. Preko njega će se upravljati s cijelim elektroničkim sklopom te podizanjem i spuštanjem pneumatskih aktuatora.



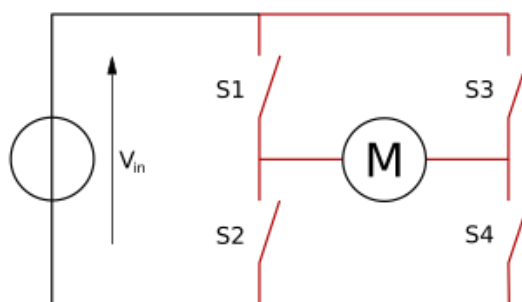
Slika 25. Mikrokontroler ESP-32-WROOM-N16R8 [10]

Tablica 4. Tehničke specifikacije ESP-32-WROOM-N16R8 [10]

Radni napon	5[V]; 3,3[V]
Dimenzije	50.1x13[mm]
Komunikacija	Bluetooth;Wifi Antenna
ROM	384 [KB]
CPU	2-jezgreni 240MHz, 32-bit procesor
Analogna sučelja	15
Timer	(8x) 54-bit timer
Broj pinova	45
Motor PWM izlazi	2
Digitalni izlazi/ulazi	36
Analogni izlazi/ulazi	20
Flash memorija	16 [MB]
SRAM	16 [KB]
USB-UART port	Da

### 5.1.2. Motorni pogon

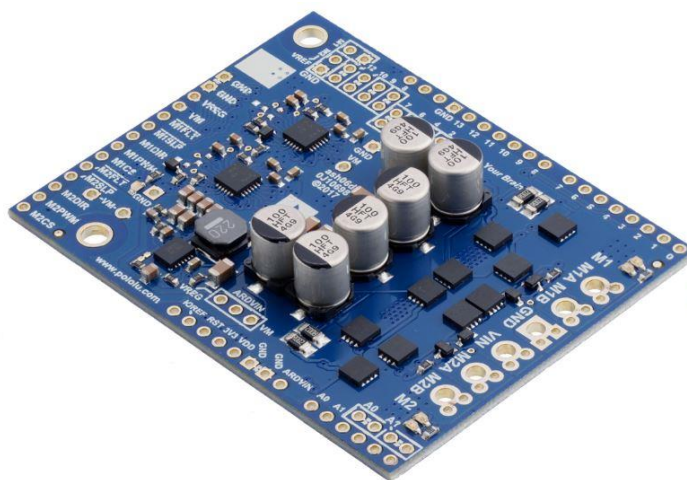
Motor driver ili motorni pogon je sustav preko kojeg se upravlja i regulira s motorom. To je elektronički uređaj ili sklop koji se koristi za upravljanje DC motorima. Glavna funkcija motornog pogona je kontrola brzine i smjera rotacije DC motora upravljanjem strujom koja protječe kroz njega. Promjena smjera rotacije odvija se korištenjem H-most konfiguracije. H-most sastoji se od četiri prekidača [Slika 26.] koji omogućuju struji da teče kroz motor u oba smjera. H-most je elektronički sklop koji mijenja polaritet napona primijenjenog na opterećenje.



Slika 26. H-most [11]

Motorni pogon omogućuje precizno upravljanje brzinom rotacije motora promjenom izlazne struje koja prolazi kroz motor. Variranje izlazne struje dobiva se modulacijom širine PWM signala, putem digitalnih signala, a kontroliraju se preko mikrokontrolera. To omogućuje integraciju s drugim sustavima i pruža veću mogućnost automatizacije.

Odabrani motorni pogon Pololu Dual G2 High Power Motor Driver 24v14 odabran je zbog karakteristika koje su trebale biti zadovoljene, a to je prvobitno zbog upravljanja preko mikrokontrolera generiranjem PWM izlaznog signala što nam omogućuje variranje struje i upravljanje brzinom i smjerom rotacije motora. Na izlazu je potrebno imati struju koja zadovoljava potrebnu te maksimalnu struju koju motor povlači pri najvećem opterećenju te naravno pri nominalnoj brzini vrtnje u radu. Maksimalna struja koju motor treba pri maksimalnom opterećenju je 25 [A], stoga odabrani motorni pogon ima mogućnost generiranja maksimalne izlazne struje od 40 [A] čime smo postigli zadovoljavajući faktor sigurnosti za rad. Također, napon na kojem radi motor treba biti napon kojeg može dati motorni pogon. Pošto motor direktno pogonimo te spajamo na stezaljke motornog pogona, potrebno je da može dati 24 [V], što također zadovoljava. Još jedan od bitnijih faktora rada odabranog motornog pogona je to što pri kontinuiranoj struji koju daje motorni pogon ne dolazi do prevelikog zagrijavanja i samim time nema potrebe za „Heat sinkom“, komponentom koju koristimo za uklanjanje toplinske energije elektroničkih komponenti.



Slika 27. Motorni pogon [12]

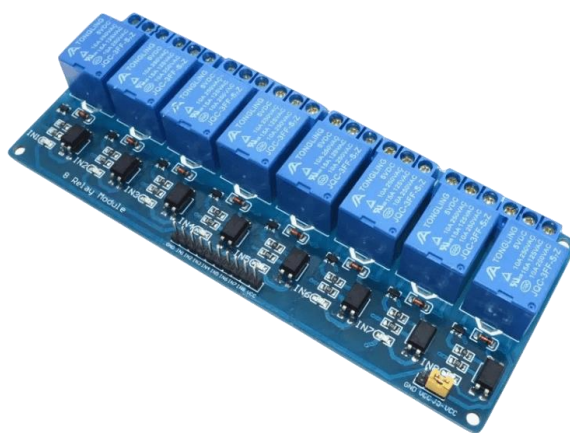
Tablica 5. Tehničke specifikacije odabranog motornog pogona [12]

Radni napon	24[V]
Dimenzije	65,02 x51,3x9,65[mm]
Težina	18[g]
Broj kanala za upravljanje motorima	2
Minimalni radni napon	6.5 [V]
Maksimalni radni napon	40 [V]
Kontinuirana radna struja po kanalu	14 [A]
Max. radna struja	40 [A]
Max. PWM frekvencija rada	100 [kHz]
Minimalni logički napon	1,8 [V]
Maksimalni logički napon	5.5 [V]
Zaštita od obrnutog polariteta	Y

### 5.1.3. Osam-kanalni relejni modul

Releji su elektromehanički prekidači koji se koriste za kontrolu struje visokog napona pomoću niske struje ili signala. Dakle, na ulazu imamo nisku struju ili napon koji aktivira relej, a na izlazu dobivamo mogućnost kontroliranja struje ili napona višeg intenziteta, što omogućuje upravljanje različitim uređajima ovisno o njihovoj potrošnji struje. Releji omogućuju električnu izolaciju između kontrolne i kontrolirane struje, što ih čini jako korisnima za razne električne aplikacije. Radi na elektromagnetskom principu, kada na elektromagnetsku zavojnicu dođe električna struja, ona stvara magnetno polje koje privlači ili odbija kontakte releja. Omogućuju upravljanje uređajima ili sklopovima visokog napona pomoću niske struje. Relejni moduli s više kanala, kao što je odabrani osam-kanalni relejni modul, omogućuju multipleksiranje, odnosno kontrolu više uređaja koristeći samo jednu komponentu.

Odabrani relejni modul ima osam kanala kojima možemo upravljati s položajima elektromagnetskih ventila, a bit će korišteno ukupno šest kanala s NO kontaktom kojeg će se prekidati te će se struja provoditi do elektromagnetskog ventila i mijenjati položaj kada se zaprimi signal od mikrokontrolera. Dva relejna kanala će biti rezerva u slučaju dodavanja dodatnih pneumatskih aktuatora ili ostalih uređaja. Odabrani modul je optički izoliran što znači da smo osigurali elektronički sustav tako što smo galvanskom izolacijom odvojili dva elektronička kruga. Na primjer ukoliko dođe do kratkog spoja ili neželjenih pojava na elektromagnetskom ventilu da ne bi spalio mikrokontroler i ostale elektroničke komponente u tom strujnom krugu.



Slika 28. Osam-kanalni relejni modul [13]

Tablica 6. Značajke osam-kanalnog relejnog modula [13]

Radni napon	5[V]; 3,3[V]
Struja na ulazu relejnog kanala	15 – 20 [mA]
Struja na izlazu relejnog kanala	10[A]
Broj relejnih kanala	8
Optički izolator	Da
Dimenzije	138x56x35,6 [mm]
Težina	141 [g]
Releji	SPDT
Ploča za niskonaponsko okidanje	Da
Upravljanje	Direktno preko mikrokontrolera

#### 5.1.4. Akumulatorska baterija Dyno Europe 12V

Akumulatorske baterije ili akumulatori su vrsta električnih spremnika koji koriste kemijske procese za pohranu i otpuštanje električne energije. Ovi procesi omogućuju ponovno punjenje baterije nakon što je ispražnjena. Napon baterije je krucijalan, označava električni potencijal koji baterija može osigurati. Kapacitet baterije je mjera električne energije koju baterija može pohraniti i otpustiti. Obično se izražava u amper-satima (Ah) i označava koliko struje baterija može isporučiti u jednom satu. Oznaka C s brojem poslije nje, kod odabranog akumulatora je C20, označava način mjerenja kapaciteta baterije. C20 označava da je kapacitet baterije mjeren na temelju 20-satnog ispuštanja pri određenoj stopi pražnjenja.

Odabrani akumulator je Dyno Europe 12[V], 9,7 [Ah]. Ovo je olovno-kiselinska baterija, čije su prednosti niska cijena i to što mogu isporučiti velike količine struje u kratkom vremenu, što je i potrebno pri samom pokretanju invalidskih kolica. Kako bi dobili potreban napon baterije od 24 [V], potrebno je spojiti pozitivnu elektrodu jednog akumulatora s negativnom elektrodom drugog. Tako se dobije dvostruko veća razlika potencijala i samim time dvostruko veći napon, kojeg želimo dobiti, tj. 24 [V]. Pošto imamo tri akumulatora iznimno je važno izjednačiti nulti potencijal kako bi se osigurala zajednička referentna točka ili „zemlja“ za mjerenje električnog potencijala te kako bi se električni krugovi spojili.





Slika 29. Akumulatorska baterija Dyno Europe 12V [14]

Tablica 7. Tehničke specifikacije akumulatorske baterije Dyno Europe 12V [14]

Napon	24 [V]
Dimenzije	151x100x100 [mm]
Težina	3,9 [kg]
Mehaničko spajanje	Faston konektor
Hermetički zatvorena	Da
Kućište i poklopac	ABS (UL94-HB)
Materijal	Olovo
Kapacitet	9,7 [Ah]
Način mjerenja kapaciteta baterije	C20

#### 5.1.5. LM2596S DC – DC ispravljač

DC-DC ispravljač je elektronički uređaj koji prima jedan napon na ulazu i pretvara ga u drugi na izlazu. To podešavanje koliki napon će biti na izlazu se obavlja preko potenciometra. Ovo je ključna komponenta jer omogućuje prilagodbu napona za različite potrebe napajanja. Razlikujemo tzv. step up i step down ispravljače. Step up možemo povećati ulazni napon, a sa step down možemo smanjiti ulazni napon. U ovom radu koristi se LM2596S DC-DC ispravljač kojim na ulaz

dolazi 12V s akumulatora, a izlaz reguliramo na 5V kako bi mogli s njim napajati mikrokontroler, joystick i relejni modul.



Slika 30. DC-DC konverter [15]

Tablica 8. Tehničke specifikacije LM2596S DC - DC konvertera [15]

Ulazni napon	<i>max.</i> 35 [V]
Izlazni napon	1.23 – 37 [V]
Frekvencija prekidanja	150 [kHz]
Izlazna struja	3 [A]
Standby mode struja	80 [μA]
Osigurač	Da
Toplinska zaštita	Da
Radna temperatura	–65 do 150 [°C]

### 5.1.6. Grebenasta sklopka

Grebenasta sklopka „0-1“ je vrsta električne sklopke koja omogućava prebacivanje između dvije različite električne veze ili stanja. Naziva se „0-1“ jer može imati dvije osnovne pozicije: „0“ → isključeno i 1! → uključeno. Kada je uključeno dolazi do protoka struje, a kad je 0 dolazi do prekida dotoka struje.



Slika 31. Grebenasta sklopka 0-1 [16]

Tablica 9. Tehničke specifikacije grebenaste sklopke 0-1 [16]

Težina	100 [g]
Disipacija snage	0,50 [W]
Min. temperatura okoline	-40 [°C]
Max. temperatura okoline	60 [°C]
Izvedba/tip	On/Off sklopka
Nulti položaj	Da
Polovi	1
Serijska	B

### 5.1.7. Joystick XY modul

Joystick XY modul je elektronička komponenta koja se koristi za upravljanje pozicijom u dva smjera (x i y smjer). Sastoji se od dva neovisna potenciometra – jedan za svaku os. Preko potenciometra se omogućuje mjerenje promjene otpora promjenom položaja same gljive joysticka. Preko analognog izlaza na mikrokontroler dobivamo podatke o položaju joysticka ovisno o podacima potenciometra. U ovom radu joystick XY modul će biti korišten kako bi se upravljalo sa smjerom i brzinom kretanja invalidskih kolica.



Slika 32. Joystick XY modul [17]

Tablica 10. Tehničke specifikacije Joystick XY modul [17]

Radni napon	5 [V]
Dimenzije	40x26x32 [mm]
Masa	164 [g]
Radna temperatura	0 do 70 [°C]
Interni potenciometar	10k

### 5.1.8. Mikroprekidač

Mikroprekidač je mali elektronički prekidač koji se aktivira pritiskom. Glavna svrha mikroprekidača je otvaranje ili zatvaranje električnog kruga kad je izvršen pritisak. Bit će korišten za pozicioniranje pneumatskog cilindra koji služi za podizanje pacijenta u određeni položaj. Svaki mikroprekidač definirat će određeni položaj.



Slika 33. Mikroprekidač [18]

Tablica 11. Tehničke specifikacije mikroprekidača [18]

Radni napon	24 [V]
Dimenzije	27x16x15 [mm]
Masa	112 [g]
Radna temperatura	−30 do 50 [°C]
Broj prekidanja	100 000

### 5.1.9. Auto prekidač D-Y7PL

Auto prekidač D-Y7PL je elektronički sklop koji šalje električni signal u trenutku kada detektira magnet na klipu pneumatskog cilindra MGPM50-250. U kombinaciji auto prekidača i mikroprekidača može se uspostaviti kontrola na koju razinu želimo podići pacijenta, tako što s mikroprekidačem pošaljemo signal za aktivaciju pneumatskog cilindra, a detektiranjem visine do koje je došao sa auto prekidačem kojim detektiramo položaj klipa cilindra. Nakon tog aktiviramo prebacivanje elektromagnetskog ventila u srednji položaj i zadržimo postignutu poziciju pneumatskog cilindra.



Slika 34. Auto prekidač [19]

Tablica 12. Tehničke specifikacije auto prekidača D-Y7PL [19]

Radni napon	5,12,24 [V]
Potrošnja struje	40 [mA]
Interni pad napona	0,8 [V]
Otpornost izolacije	50 [MΩ]
Radna temperatura	-10 do 60 [°C]
IP zaštita	IP67

#### 5.1.10. Auto osigurač

Osigurač je elektronička komponenta koja se koristi u električnim krugovima kako bi zaštitila opremu i strujni krug od preopterećenja strujom ili kratkog spoja.

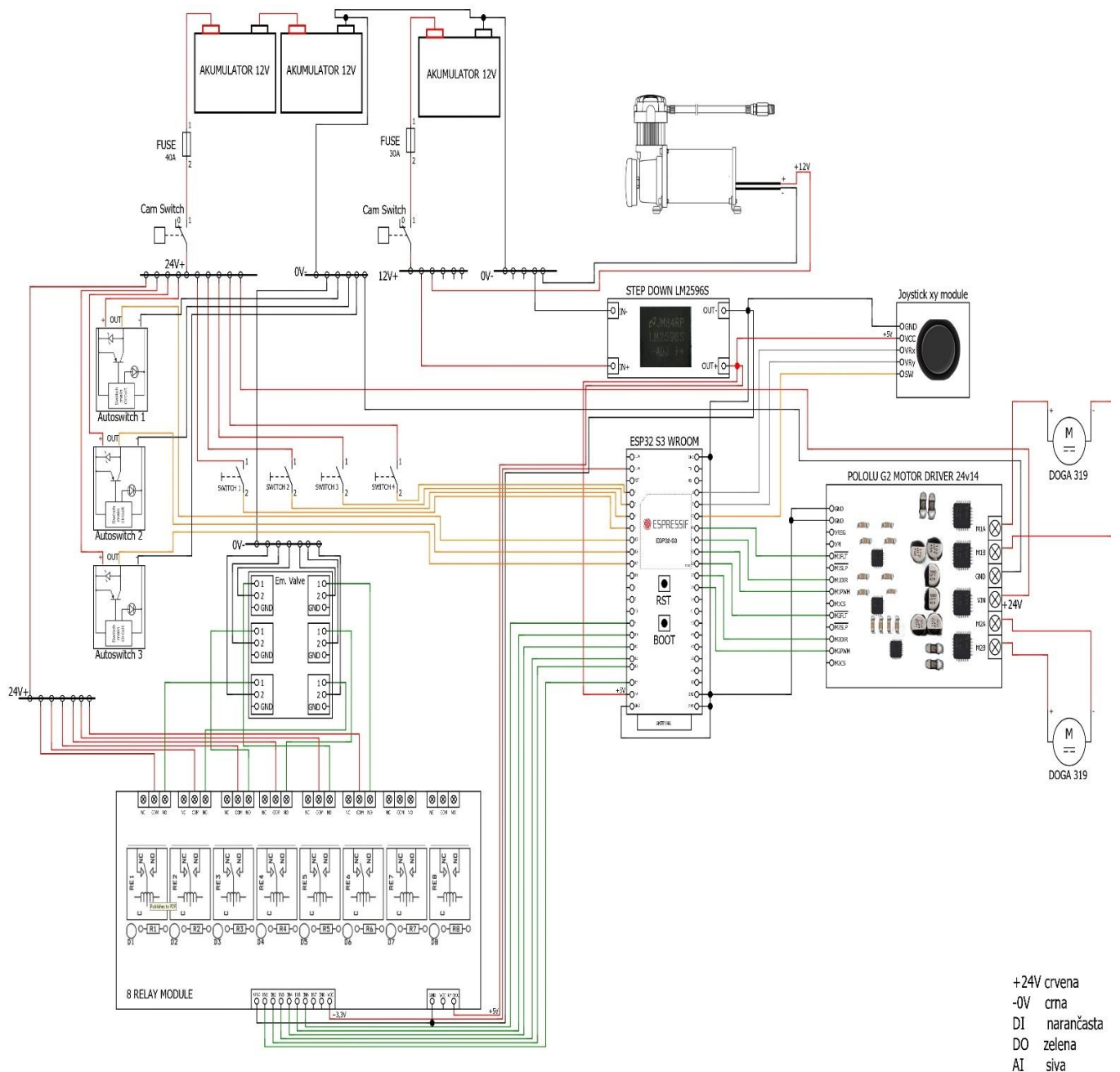


Slika 35. Auto osigurač [20]

Tablica 13. Tehničke specifikacije auto osigurač [20]

Radni napon	24 [V]
Dimenzije	19x19x5 [mm]
Masa	46 [g]
Max. struja	10 do 40 [A]

## 5.2. Elektroshema sustava



Dva akumulatora spojena u seriju daju 24 [V], s tim dobivamo strujni krug s kojima će se napajati sljedeći uređaji: DC motor s reduktorom, elektromagnetski ventili, mikroprekidač, auto prekidač i motorni pogon.

Na pozitivnom potencijalu akumulatora koji generiraju na izlazu 24 [V] potrebno je osigurati strujni krug od kratkog spoja kako bi se zaštili svi uređaji. Zbrojem potrošnje svih korištenih uređaja odabran je 40 [A] osigurač. U nastavku će biti prikazana potrošnja pojedinog uređaja.

Akumulator koji generira 12 [V] napajat će direktno kompresor.

Također, spojen je na DC-DC konverter s kojim će se preko potenciometra namjestiti izlazni napon od 5 [V], kojim će se napajati sljedeći uređaji: Joystick XY, mikrokontroler i relejni modul.

Na pozitivnom potencijalu akumulatora koji generira 12 [V] bit će postavljen osigurač od 20 [A] kako bi zaštitio strujni krug od kratkog spoja i kako bi se zaštitili svi uređaji.

Uređaj	Postrošnja struje
DC motor	24 [A]
Elektromagnetski ventil	0,2 [A]
Mikroprekidač	1 [A]
Auto prekidač	80 [mA]
Motorni pogon	14 [A]
Kompresor	14 [A]
Joystick XY	100 [mA]
Mikrokontroler	160 [mA]
Relejni modul	160 [mA]

- Pin 1: Analogni ulaz potenciometar X os Joystick XY modul
- Pin 2: Analogni ulaz potenciometar Y os Joystick XY modul
- Pin 4: Digitalni ulaz mikroprekidač 1
- Pin 5: Digitalni ulaz mikroprekidač 2
- Pin 6: Digitalni ulaz mikroprekidač 3
- Pin 7: Digitalni ulaz mikroprekidač 4
- Pin 9: Digitalni izlaz, prekida NO kontakt prvog releja
- Pin 10: Digitalni izlaz, prekida NO kontakt drugog releja
- Pin 11: Digitalni izlaz, prekida NO kontakt trećeg releja
- Pin 12: Digitalni izlaz, prekida NO kontakt četvrtog releja
- Pin 13: Digitalni izlaz, prekida NO kontakt petog releja



- Pin 14: Digitalni izlaz, prekida NO kontakt šestog releja
- Pin 15: Digitalni ulaz Auto prekidač položaj 1
- Pin 16: Digitalni ulaz Auto prekidač položaj 2
- Pin 17: Digitalni ulaz Auto prekidač položaj 3
- Pin 36: Generiranje PWM signala za Motor 2
- Pin 37: Digitalni izlaz, upravljanje smjerom vrtnje motora 2
- Pin 38: Digitalni izlaz, upravljanje greškom motora 2
- Pin 39: Generiranje PWM signala za Motor 1
- Pin 40: Digitalni izlaz, upravljanje smjerom vrtnje motora 1
- Pin 41: Digitalni izlaz, upravljanje greškom motora 1
- Pin 42: Digitalni ulaz, joystick XY modul stisnut

## 6. SINTEZA MEHATRONIČKOG SUSTAVA

U ovoj cjelini opisuje se proces izrade mehatroničkih automatiziranih invalidskih kolica, uključujući sve korake od početnog koncepta do konačne implementacije svih komponenti. Ova kolica rezultat su integracije elektromotora, elektroničkih komponenti, pneumatskog sustava i drugih ključnih elemenata u jedinstveni funkcionalni mehatronički sustav. Prvi korak u izradi automatiziranih kolica bio je spajanje elektromotora na čelični profil. Elektromotori su pažljivo odabrani prema potrebama sustava, a čelični profil je izrezan i pripremljen za montažu motora. Precizno postavljanje i učvršćivanje elektromotora osigurava stabilnost i pravilno funkcioniranje cijelog sustava. Nakon montaže elektromotora, slijedio je korak spajanja elektroničkih komponenti. U ovoj fazi instalirane su ključne upravljačke jedinice, senzori i aktuatori. Elektronički sklopovi su pažljivo postavljeni kako bi se osigurala maksimalna učinkovitost i minimalizirala mogućnost smetnji. Za napajanje sustava korišteni su akumulatori koji su postavljeni na posebno predviđena mjesta unutar konstrukcije kolica. Pravilno postavljanje akumulatora ključno je za ravnotežu i dugotrajnost sustava. Kako bi se zaštitile osjetljive elektroničke komponente, izrađeno je 3D kućište za elektroniku. Ova kućišta pružaju zaštitu od vanjskih utjecaja i olakšavaju održavanje sustava. Također je isprintano 3D kućište za joystick, koji je ključni dio upravljačkog sustava kolica. Joystick i gumbi su spojeni na sustav kako bi se omogućilo jednostavno i intuitivno upravljanje kolicima. Električni spojevi su pažljivo izvedeni kako bi se osigurala pouzdanost i brza reakcija sustava na korisničke komande. Za pneumatiku kolica, kompresor je integriran u sustav. Kompresor omogućava rad pneumatskih aktuatora, koji su ključni za određene funkcije kolica. Spoj kompresora sa sustavom izveden je pomoću crijeva za zrak i ventila. Sve komponente sustava spojene su žicama preko stezaljki koje su postavljene na DIN šinu. Ova metoda omogućava uredno i sigurno povezivanje svih električnih i pneumatskih dijelova sustava. Korištenje DIN šine olakšava održavanje i eventualne nadogradnje sustava.

Kroz ove korake, mehatronička automatizirana invalidska kolica su uspješno izrađena, s fokusom na integraciju različitih inženjerskih disciplina kako bi se postigao efikasan i pouzdan mehatronički sustav.

### 6.1. Montaža elektromotora na čelični profil

Za početak bilo je potrebno osmisliti lokaciju i način na koji će se pričvrstiti odabrani elektromotori za postojeću konstrukciju invalidskih kolica, a da pritom ne smetaju ostalim komponentama. Odlučeno je koristiti čelični profil za pričvršćivanje elektromotora na cijev konstrukcije. Profil je izrezan na točne dimenzije kako bi se pravilno pričvrstio. U CAD programu Solidworks nacrtan je komad profila s određenim rupama za učvršćivanje na konstrukciju. Obrada profila izvedena je laserskim rezanjem čelika, čime je dobiven željeni komad točno prema specifikacijama. Čelični profil povezan je s konstrukcijom kolica korištenjem vijaka i matica, pri čemu su rupe za spajanje napravljene bušilicom. Odabrani elektromotor pričvršćen je na profil vijcima koji ulaze u navoj već urezan u motor, omogućujući tako učvršćivanje motora za profil, a time i za konstrukciju invalidskih kolica. Spoj elektromotora na invalidska kolica prikazan je na [Slika 36.].



Slika 36. Spoj elektromotora

### 6.2. Spajanje elektronike

Spajanjem elektronike bilo je potrebno izraditi sustav koji će omogućiti visoki stupanj automatizacije mehatroničkih invalidskih kolica. Pri tome su morali biti uzeti u obzir sigurnosni aspekti kako bi se spriječili kratki spojevi, izbjeglo pregrijavanje ili oštećenje korištenih

komponenti te smanjile elektromagnetske smetnje koje bi mogle ometati ispravno funkcioniranje elektroničkih uređaja. Također je bilo ključno slijediti elektroshemu kako bi svi spojevi bili pravilno izvedeni, uz korištenje odgovarajućih kvadratura žica.

Korištene elektroničke komponente čije spajanje će biti opisano su sljedeće: motorni pogon, mikrokontroler, DC-DC ispravljač napona, stezaljke, akumulatori, joystick, gumbi za upravljanje, elektromagnetski ventili, kompresor, relejni modul, elektromotori.

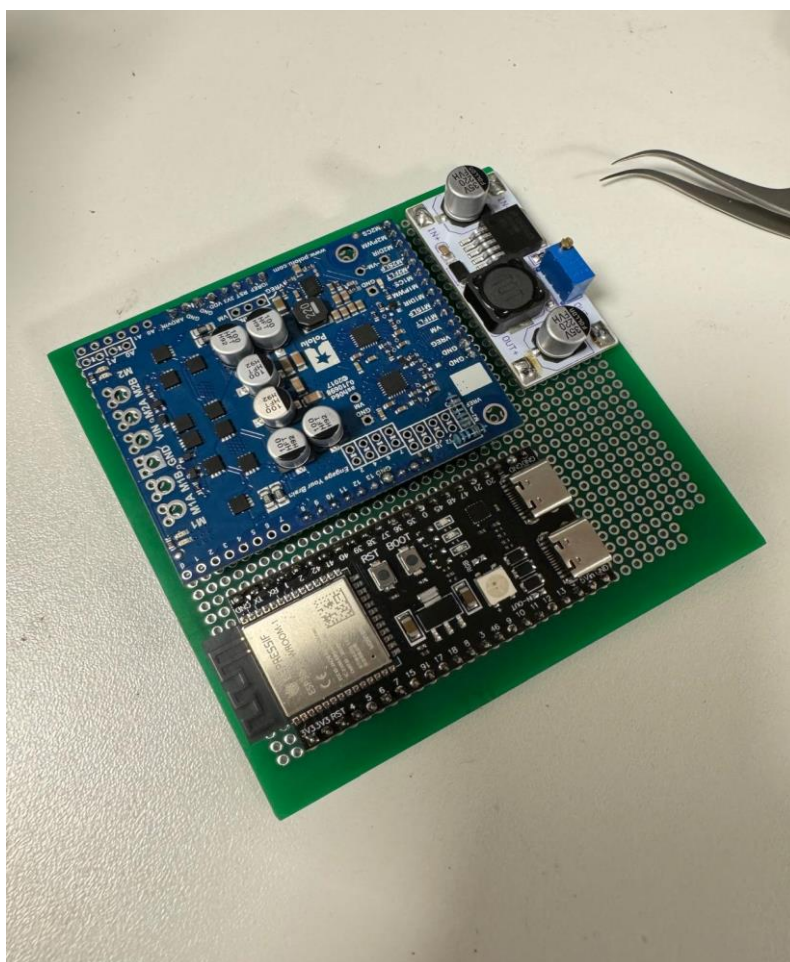
### 6.2.1. Spoj upravljačke jedinice sustava

Za smještaj komponenti upravljačke jedinice sustava koristili smo razvojnu ploču s odgovarajućim rasterom. Na ovoj ploči su se nalazili ključni dijelovi za upravljanje cijelim sustavom: mikrokontroler, DC-DC ispravljač i motorni pogon. Mikrokontroler je središnji dio sustava upravljanja, stoga smo posebno pazili na primjenu sigurnosnih mjera kako bismo izbjegli pregrijavanje ili kratki spoj koji bi mogli oštetiti ovu ključnu komponentu. Također, ispod razvojne ploče, kako bismo osigurali estetski i funkcionalno optimiziran dizajn, koristili smo isprepletene žice za organiziranje i kompaktno povezivanje komponenti, što je omogućilo pravilnu komunikaciju između korištenih uređaja. Za početak, bilo je potrebno povezati komponente za razvojnu ploču, povezivanje komponenti je ostvareno lemljenjem s lemlicom [Slika 37.]. Zagrijavanjem tinola, legure metala koji se koristi za lemljenje, omogućen je kruti prihvat komponenata za razvojnu ploču.



Slika 37. Lemilica

Nakon što su ključne komponente za upravljanje zalemljene i pričvršćene za razvojnu ploču, sljedeći korak bio je međusobno povezivanje tih komponenti žicama. Ovo povezivanje je izvedeno na temelju elektrosheme sustava koja je prethodno izrađena. Elektroshema predstavlja detaljni dijagram koji prikazuje kako sve komponente trebaju biti povezane međusobno, odnosno koji pinovi ili priključci na komponentama trebaju biti spojeni žicama kako bi sustav ispravno funkcionirao. Prateći elektroshemu, žice su pažljivo položene i povezane na odgovarajuće pinove, osiguravajući pravilno i pouzdano električno povezivanje između svih komponenti. Ovaj proces osigurava da sustav bude ispravno i učinkovito povezan, što je ključno za njegov pravilan rad.



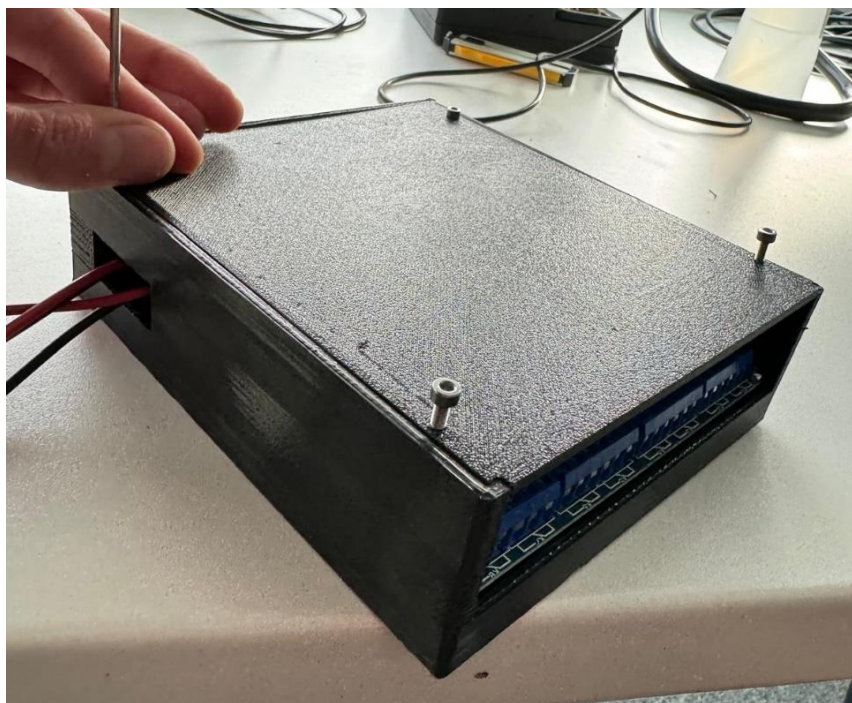
**Slika 38. Razmještaj elektronike na razvojnoj ploči**



### 6.2.2. Kućište za elektroniku

Isprintano 3D kućište za elektroniku odigralo je ključnu ulogu u zaštiti komponenti od vanjskih utjecaja, pružajući im stabilno i sigurno okruženje za rad. Odlučio sam napraviti ovo kućište u dimenzijama 150 mm x 150 mm x 50 mm iz nekoliko važnih razloga:

1. **Zaštita komponenti:** Kućište štiti osjetljive elektroničke komponente od vanjskih utjecaja kao što su prašina, vlaga, udarci ili slučajni dodiri. Ovo je ključno za produženje životnog vijeka komponenata i očuvanje njihove funkcionalnosti.
2. **Estetski izgled:** 3D isprintano kućište omogućuje estetski privlačan izgled cijelog sustava. Prilagođeno je dimenzijama komponenata i daje profesionalan izgled projektu.
3. **Praktičnost i funkcionalnost:** Kućište olakšava rukovanje i održavanje elektroničkih komponenata, omogućavajući lak pristup unutrašnjosti i zamjenu dijelova ako je potrebno. Također pruža dovoljno prostora za ugradnju i organizaciju komponenata unutar kućišta.
4. **Sigurnost:** Kućište štiti od slučajnih dodira ili dodira stranih predmeta koji bi mogli oštetiti komponente ili izazvati kratki spoj.



**Slika 39. Kućište za elektroniku**

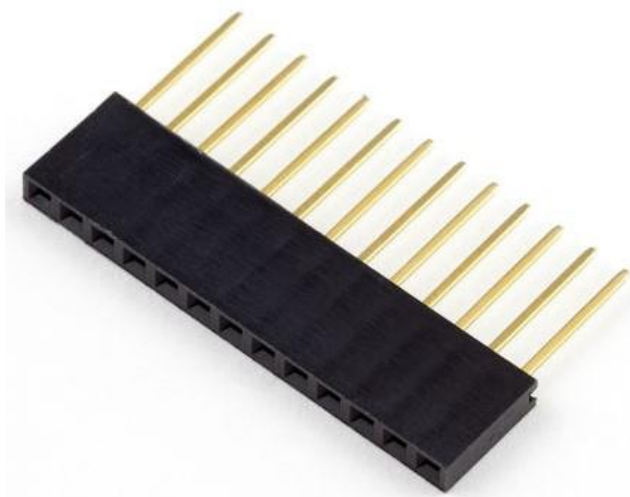
### 6.2.3. Održavanje upravljačke jedinice

Pri spajanju elektroničkih komponenti za upravljačku jedinicu, nužno je razmišljati o održavanju, nadogradnji i zamjeni sustava. Kućište je pričvršćeno za konstrukciju kolica koristeći vijke, a komponente su pričvršćene za kućište. U tu svrhu, u kućište su integrirane "heat insert" matice, koje se postavljaju zagrijavanjem PLA materijala kako bi se proširile i prihvatile vijke. U slučaju potrebe za dodavanjem novih komponenti, zamjenom postojećih ili nadogradnjom, važno je osigurati jednostavno izvlačenje i održavanje upravljačke jedinice. Korištenjem vijaka omogućeno je jednostavno odvajanje komponenata od kućišta. Dodatno, ugrađeni su XT60 i XT30 konektori [Slika 40.] koji posjeduju mušku i žensku stranu za lako odvajanje. Na žensku stranu su smještene komponente za napajanje, olakšavajući organizaciju i manipulaciju sustavom.



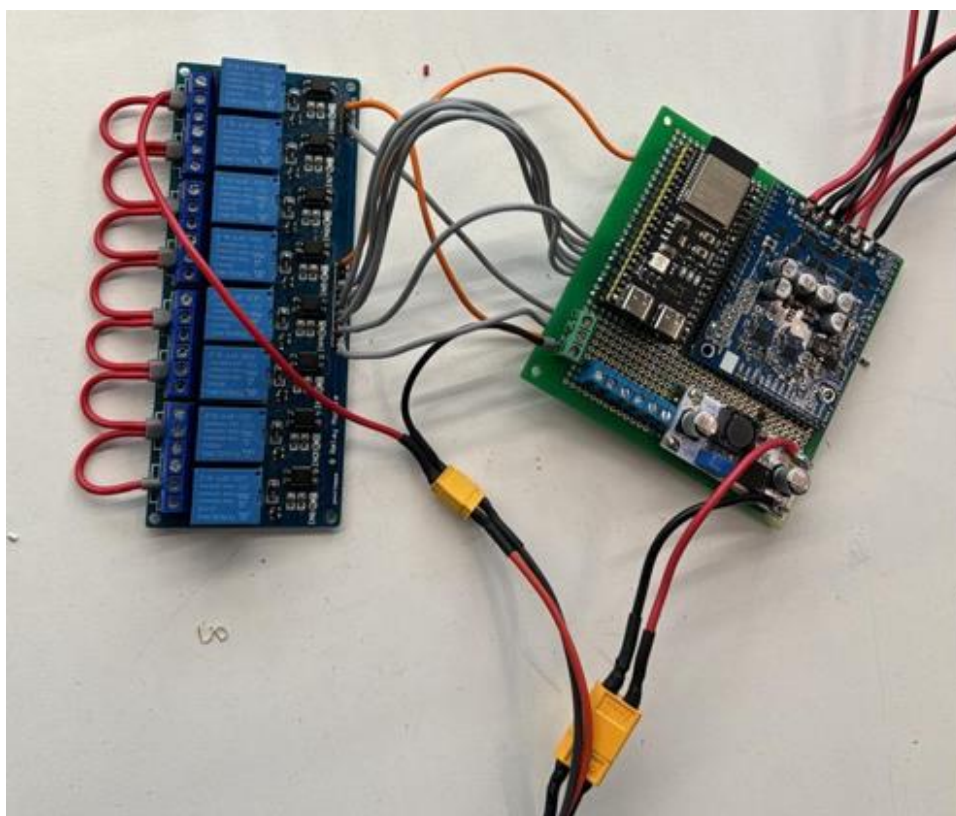
**Slika 40. XT konektor [21]**

XT konektor služi za DC napajanja te ima stranu gdje se spaja pozitivan pol i stranu gdje se spaja negativan pol. Na taj način omogućena je distribucija napajanja kroz sustav te lako pomicanje i zamjena elektroničkih komponenti u izvanrednom slučaju kvara ili slučaju održavanja. Prilikom ugradnje komponenti jako je korisno imati konektore, jer pomoću njih se može ubrzati proces sastavljanja, također i cjelokupni pregled sustava elektronike. Odabrani konektori su korišteni jer su sposobni voditi visoke struje, njihova konstrukcija omogućuje sigurni prijenos električne energije bez rizika od pregrijavanja ili oštećenja. Izrađeni su od visokokvalitetnog materijala koji je otporan na abraziju i udarce te je time omogućena dugotrajnost. Povezivanje relejnog modula zajedno s razvojnom pločom omogućeno je koristeći pin zaglavlje. To je oblik konektora koje se sastoji od metalnih igala ulivenih u plastičnu podlogu, međusobno udaljenih kao raster elektroničkih komponenti, dakle 2,54 [mm]. Korišteni su ženski igličasti konektori [Slika 41.] jer su na relejnom modulu već bili ugrađeni muški igličasti konektori.



**Slika 41. Igličasti konektor [21]**

Spoj vanjskih komponenti za glavni upravljački dio na razvojnoj ploči ostvaren je vijčanim konektorima te XT60 i XT30 konektorima. Na [Slika 42.] prikazano je povezivanje s konektorima.



**Slika 42. Upravljačka jedinica s konektorima**



#### 6.2.4. *Zaštita od kratkog spoja*

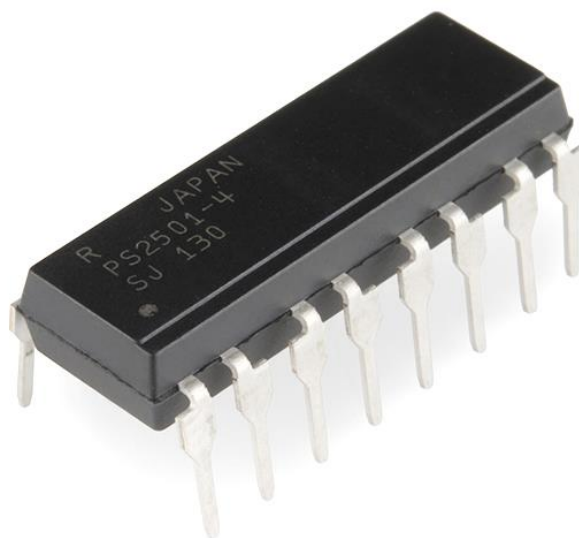
Zaštita sustava od kratkog spoja je ključna jer osigurava očuvanje integriteta i funkcionalnosti svih dijelova sustava, sprječava pregrijavanje i oštećenje komponenata, te smanjuje rizik od opasnosti po zdravlje i sigurnost korisnika. Kratki spojevi mogu stvoriti iskre ili izazvati pregrijavanje, što može rezultirati požarom ili ozljedama. Implementacija zaštitnih mjera također sprječava šire kvarove u cijelom sustavu, čime se povećava ukupna pouzdanost i dugotrajnost sustava. Kako bi spriječili kratki spoj, potrebno je do elektroničkih komponenti dovesti ispravan napon koji je propisan tehničkom dokumentacijom pripadajuće komponente. Samim time potrebno je i ograničiti iznos struje koji se dovodi do određene komponente. Komponente koje koristimo kako bi osigurali da dovedena struja neće dovesti do kratkog spoja su otpornici i optički izolator. Otpornik je elektronička komponenta koja služi za ograničavanje ili regulaciju protoka električne struje u električnom krugu. Njegova osnovna funkcija je pružanje otpora struji, čime se kontrolira količina struje koja prolazi kroz krug. Korišteni otpornici su SMD otpornici [Slika 43.] koji su zalemljeni na donjoj strani razvojne ploče.



**Slika 43. SMD otpornik [22]**

SMD (Surface-Mount Device) otpornik je vrsta otpornika koji je dizajniran za površinsku montažu na tiskanu ploču (PCB). Za razliku od tradicionalnih otpornika sa žičanim izvodima koji se montiraju kroz rupe na ploči, SMD otpornici su manji pa su odabrani zbog kompaktnosti elektroničkog sustava. Oni se pričvršćuju izravno na površinu ploče lemljenjem. Prednosti SMD otpornika uključuju manje dimenzije te poboljšanu mehaničku i termalnu stabilnost. Druga komponenta koja služi za sigurnost elektroničkog sustava je optički izolator. Optički izolator elektronička je komponenta koja koristi svjetlosni prijenos za izolaciju između dva električna kruga. Sastoji se od LED diode koja emitira svjetlo i fotodetektora koji prima to svjetlo i pretvara ga natrag u električni signal. Njegove glavne funkcije uključuju osiguravanje električne izolacije, zaštitu osjetljivih komponenti od visokih napona, smanjenje elektromagnetskih smetnji i

sprječavanje povratne struje. Za ovaj rad uzeta su dva optička izolatora s četiri kanala kako bi optički izolirali ulazne signale od gumba za upravljanje te od prekidača za detekciju magneta na klipu cilindra za podizanje pacijenta.

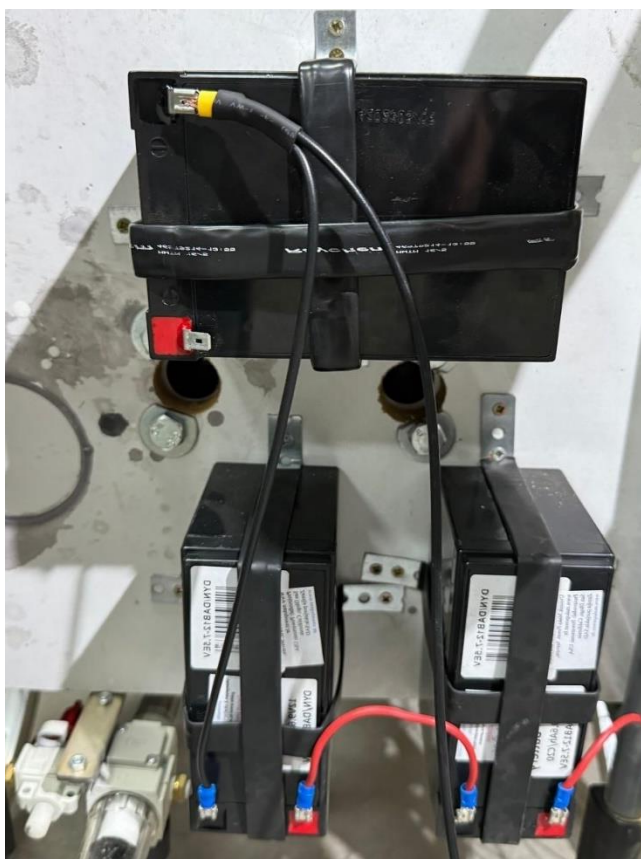


Slika 44. Optički izolator s četiri kanala [23]

### 6.3. Spajanje napajanja sustava

Za napajanje sustava koristi se jedan 12[V] akumulator kako bi se osigurao stalni napon potreban za rad komponenti. Osim toga, koriste se i dva akumulatora od 12[V] koji su spojeni u seriju kako bi se dobio ukupan napon od 24[V]. Za spajanje žica na akumulatore koriste se stezaljke koje su praktično električni konektori dizajnirani za brzo i sigurno spajanje žica na akumulatore ili druge električne uređaje. Faston kleme omogućuju čvrsto povezivanje žica s akumulatorima bez potrebe za lemljenjem ili drugim složenim metodama spajanja. To ih čini idealnim za upotrebu u mobilnim ili privremenim električnim sustavima kao što su invalidska kolica. Kako bi se osiguralo da akumulatori ostanu na mjestu i da se ne pomiču s mjesta gdje su postavljeni, pričvršćeni su za donju stranu konstrukcije invalidskih kolica. To je postignuto korištenjem metalne trake koja je umotana u termoskupljajuću cijev, što osim funkcionalnosti pruža i estetski dojam. Akumulatori su dodatno osigurani vijcima za drvo, što jamči stabilnost i sigurnost njihovog postavljanja. Ovaj način pričvršćivanja osigurava da akumulatori budu čvrsto i sigurno smješteni, spremni za

pouzdan rad električnog sustava. Na [Slika 45.] prikazan je spoj akumulatora za konstrukciju invalidskih kolica.



**Slika 45. Napajanje akumulatorima**

Grebenasta sklopka je ključni dio sustava koji omogućuje upravljanje napajanjem u specifičnim uvjetima. Kombinirajući grebenastu sklopku s autorelejom, postizemo sofisticiranu kontrolu strujnih krugova. Kada je grebenasta sklopka uključena (ON), autorelej ima ulogu da uključi drugi dio strujnog kruga, što omogućuje protok struje kroz njega. Kroz aktiviranje autoreleja u ovom trenutku osigurava se magnetizacija releja, što dovodi do uspostavljanja struje i napajanja na određenim stezaljkama. Auto relej ima ključnu ulogu u osiguravanju zaštite sustava od prevelike struje. Kada je grebenasta sklopka aktivirana, autorelej preuzima ulogu prekidača koji kontrolira strujni krug. To znači da autorelej, u kombinaciji s grebenastom sklopkom, djeluje kao zaštitni mehanizam koji osigurava da struja ne premašuje sigurne granice. Na taj način sprječava se oštećenje komponenti ili preopterećenje električnog sustava. Osim toga, kombinacija grebenaste sklopke i autoreleja omogućuje učinkovito upravljanje napajanjem kako bi se spriječilo nepotrebno opterećenje akumulatora. Kontrolirajući kada će se napajanje dovesti do klemata, sustav osigurava da se akumulator ne troši nepotrebno kad nije potrebno napajanje. Time se produžuje

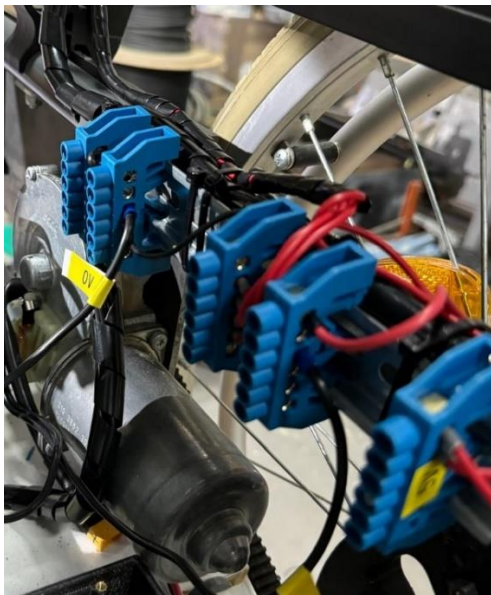
vijek trajanja akumulatora i osigurava pouzdan rad sustava. Na [Slika 46.] prikazan je spoj grebenaste sklopke i autoreleja.



Slika 46. Autorelej i grebenasta sklopka

#### 6.4. Distribucija napajanja kroz sustav

Stezaljke su električne komponente koje se koriste za povezivanje i distribuciju električne energije u električnim sustavima. One omogućuju jednostavno i sigurno spajanje žica ili vodiča na električne komponente ili na izvore napajanja. Glavna svrha stezaljki je olakšati instalaciju i održavanje električnih sustava. Umjesto lemljenja žica direktno na komponente ili izvore napajanja, koristi se blok stezaljki gdje se žice ili vodiči mogu sigurno pričvrstiti pomoću vijaka ili opruga. To omogućuje brže i lakše spajanje ili odspajanje, kao i zamjenu komponenti bez potrebe za lemljenjem ili rezanjem žica. Postoje različite vrste klema, uključujući vijčane kleme, opružne kleme i lemljive kleme, a odabir ovisi o specifičnim zahtjevima instalacije. Vijčane kleme koriste vijke za pričvršćivanje žica, opružne kleme koriste opruge za povezivanje, dok lemljive kleme koriste lemljenje žica za povezivanje. U projektu je napravljena distribucija napajanja kao što je u elektroshemi sustava za 24 [V], 12 [V] i 3,3 [V] koji su potrebni za rad određenih komponenti. Komponente koje koriste 24[V] su sljedeće: DC motor s reduktorom, elektromagnetski ventili i motorni pogon. Komponente koje koriste 12[V] su sljedeće: auto prekidač za detekciju magneta na klipu cilindra i kompresor. Komponente koje koriste 3,3 [V] su sljedeće: joystick xy i gumbi za upravljanje visine pacijenta te mikrokontroler. Distribucija napajanja preko klema pričvršćena je za konstrukciju invalidskih kolica koristeći DIN šinu jer su standardno napravljene kleme upravo za prihvat za DIN šinu. Na [Slika 47.] prikazane su stezaljke koje su korištene za napajanje sustava.

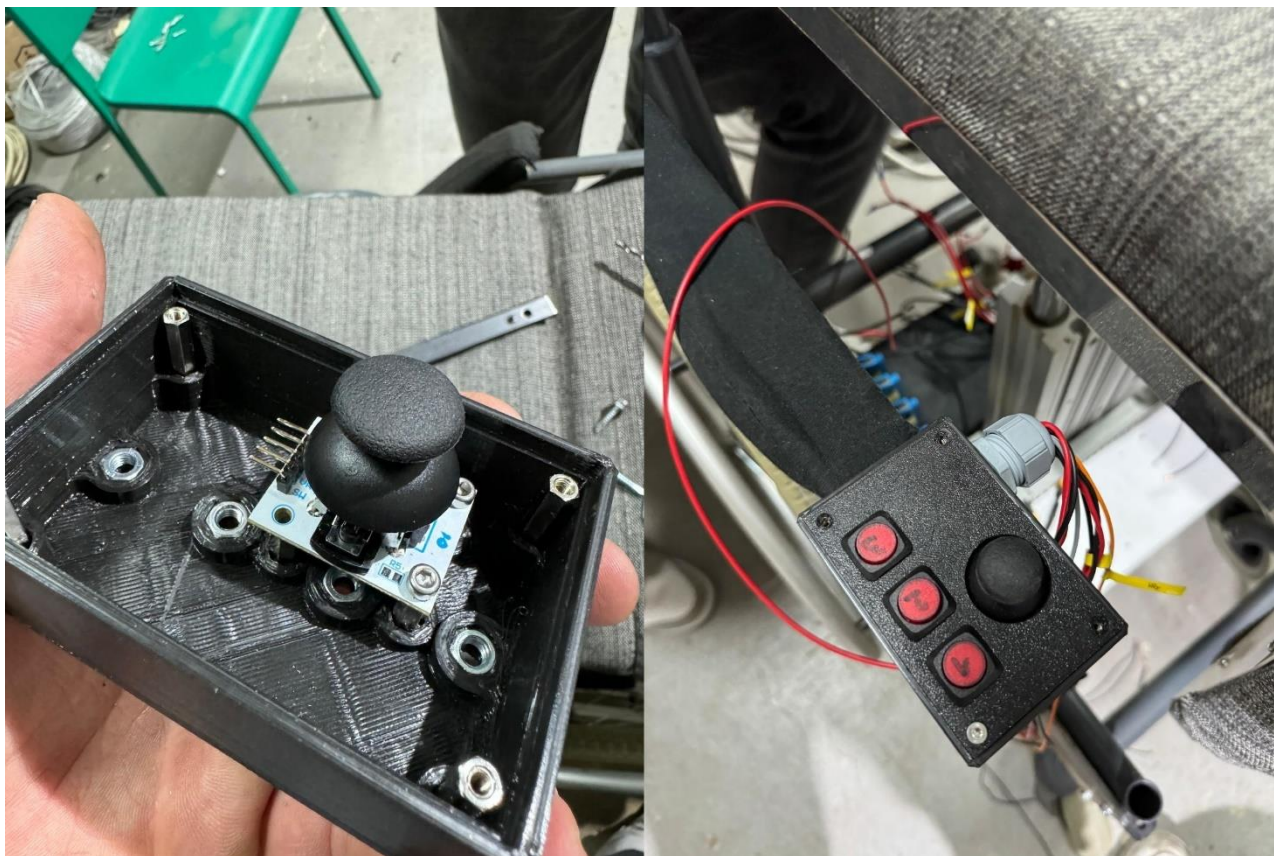


Slika 47. Kleme

### 6.5. Spajanje joysticka i elektromagnetskih ventila

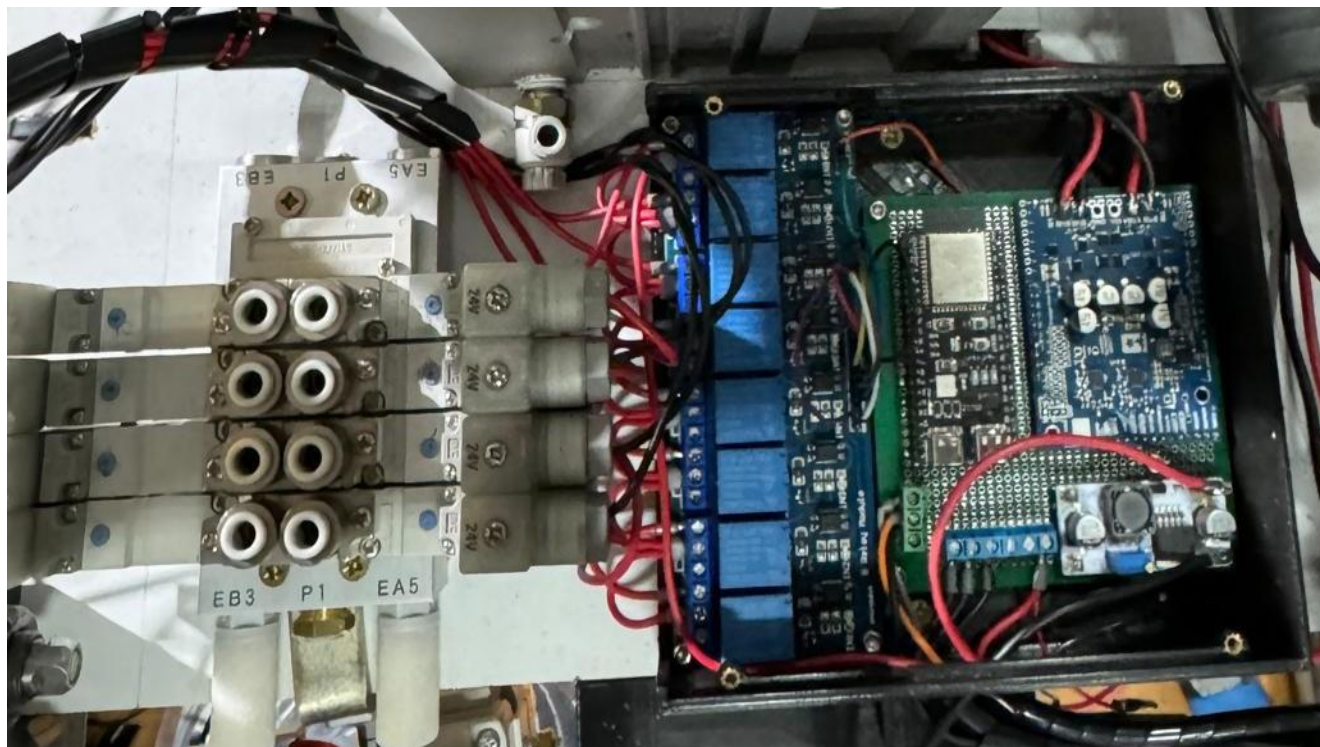
Za ručno upravljanje sustavom manualno koristi se joystick kojim korisnik može direktno upravljati s kotačima preko motornog pogona i korištenih elektromotora. Napravljeno je kućište koje je pričvršćeno za desnu ručku invalidskih kolica kako bi se moglo jednostavno pristupiti joysticku, ali također i gumbima za upravljanje visine na koju se želi podići pacijent. Napajanje za sustav gumba upravljanja i joysticka dovedeno je preko kleva, a povratni signal je direktno povezan na upravljačku jedinicu. Korišten je kabel koji je isprepleten kako bi se smanjila elektromagnetska smetnja koja može uzrokovati ometanje normalnog rada elektroničkih uređaja. Kada se signal šalje kroz žicu nastaju električna polja oko nje. Kada su žice paralelne jedna s drugom, ili kada se nalaze blizu jedna druge, ta polja mogu se međusobno ometati te tako dobivamo neželjene elektromagnetske smetnje. Korištenjem isprepletenog kabela elektromagnetska polja oko svake žice se međusobno poništavaju. Kako bi osigurali određeni stupanj zaštite od vanjskih utjecaja te estetski prihvatljiv izgled isprintano je 3D kućište [Slika 48.].





**Slika 48. 3D kućište s joystickom i gumbima za upravljanje**

Elektromagnetski ventili povezani su i upravljani mikrokontrolerom putem osmokanalnog relejnog modula. Na strani mikrokontrolera, otkud se šalju upravljački signali, žice su pričvršćene lemljenjem, dok su na relejni modul spojene koristeći već opisane igličaste konektore. Relejni modul je opremljen vijčanim klemama koje omogućuju dovod napajanja za ispravan rad elektromagnetskih ventila. Također, modul ima ugrađene optičke izolatore koji osiguravaju izolaciju između sustava upravljačke jedinice i sustava elektromagnetskih ventila koji upravljaju pneumatskim aktuatorima. Kako bi se omogućilo upravljanje, bilo je potrebno povezati priključne konektore s modulom. Spoj elektromagnetskih ventila s upravljačkom jedinicom prikazan je na [Slika 49.].



Slika 49. Spoj elektromagnetskih ventila s upravljačkom jedinicom

## 6.6. Spajanje mehanizma pokretanja kotača

Mehanizam pokretanja kotača sastoji se od dva remena i četiri remenice. Na svakom kotaču nalazi se jedan remen i dvije remenice - jedna manja i jedna veća. Da bi se pogonska remenica od aluminija spojila s osovinom motora, bilo je potrebno obraditi ju, što uključuje izradu utora za pero i prolazne rupe. Dodatna sigurnost spoju remenice s motorom pružena je pločicom s prolaznom rupom kroz koju prolazi M8 vijak koji se spaja u navoj osovine motora, čime se dodatno učvršćuje spoj. Gonjena remenica, koja se nalazi na strani kotača, izrađena je 3D printanjem, a osmišljen je način kako ju sigurno pričvrstiti za kotač. Ona je pričvršćena za kotač koristeći mehaničke vezice kako bi se osigurao siguran remenski prijenos i spriječila mogućnost decentralizacije kotača i gonjene remenice. Zatezanje remena na odgovarajući prijenosni moment omogućeno je pomicanjem motora s pogonskom remenicom duž čeličnog profila koji ima proširenu rupu, omogućujući horizontalno pomicanje. Na taj način omogućuje se fino podešavanje zatezanja remena kako bi se postigao željeni prijenosni moment.

## 7. UPRAVLJANJE SUSTAVOM

Upravljanje sustavom ključna je komponenta svakog projekta, omogućujući pravilnu i sigurnu kontrolu svih dijelova projekta. To znači povezivanje svih perifernih uređaja i senzora s mikrokontrolerom na način da rade kao jedinstvena i funkcionalna cjelina. Kako bi se omogućilo da cijeli projekt funkcionira kao jedinstvena cjelina, sve treba biti upravljano preko glavne upravljačke jedinice, koja je u ovom slučaju ESP32 mikrokontroler s mogućnošću bluetooth povezivanja i antenom. Mikrokontroler kontrolira sve povezane uređaje putem svojih GPIO (General Purpose Input/Output) pinova. Kompatibilnost glavne upravljačke jedinice s raznim razvojnim okruženjima daje više mogućnosti kako isprogramirati te upravljati sustavom. Programi koji se koriste su Arduino IDE koji omogućava jednostavno programiranje mikrokontrolera putem C/C++ jezika, dok je MIT App Inventor odabran zbog brzog i intuitivnog razvoja mobilnih aplikacija. Koristeći Arduino IDE omogućena je komunikacija mikrokontrolera sa svim uređajima te njihovo upravljanje. Za upravljanje kolicima, osim korištenja joysticka i gumba za upravljanje, ukoliko korisnik nije u mogućnosti pokretati gornje ekstremitete, razvijena je i mobilna aplikacija kako bi mogla druga osoba u neposrednoj blizini upravljati vrlo jednostavno i sigurno s invalidskim kolicima. Za razvoj mobilne aplikacije korištena je već prethodno spomenuta aplikacija MIT App Inventor. Ovaj alat omogućava razvoj aplikacija kroz vizualno programiranje, što znači da se mogu dizajnirati funkcionalnosti aplikacije s jednostavnim „drag and drop“ ili povlačenje i spužtanje upravljačkih elemenata na glavno sučelje. Uz brzi razvoj prototipa i bežičnu komunikaciju preko Bluetootha omogućeno je upravljanje s kolicima preko mobitela što je dalo još jedan stupanj više pomoći medicinskom osoblju koje se brine o pacijentima. Tako sustav automatiziranih invalidskih kolica ne samo da poboljšava kvalitetu života korisnika, već pokazuje i kako se moderna tehnologija može koristiti za stvaranje rješenja koja su funkcionalna i pouzdana.



## 7.1. Programiranje mikrokontrolera

Programiranje odabranog mikrokontrolera u Arduino IDE-u omogućava jednostavnu i učinkovitu implementaciju raznih funkcionalnosti, upravljanje sa svim uređajima i omogućava i uspostavu bežičnog upravljanja preko Bluetootha. Kod koji je pisan za ESP32 mikrokontroler mora biti jednostavan i optimiziran kako bi se osigurao ispravan rad. Optimalno korištenje resursa mikrokontrolera kako bi se osigurale brze i pouzdane performanse. Napisanim programom omogućeno je kreiranje robusnog i složenog sustava. Korištenjem gotovih biblioteka te njihovom implementacijom, kao što je korištena biblioteka za upravljanje motornim pogonom, dodatno se olakšava razvoj i implementacija različitih funkcionalnosti.

Korištena tehnologija za bežičnu komunikaciju je Bluetooth Low Energy tehnologija, također poznato i kao Bluetooth Smart. Napredna je verzija Bluetooth standarda dizajnirana za aplikacije s niskom potrošnjom energije i dugim trajanjem baterije.

Ključne karakteristike BLE-a:

- Niska potrošnja energije: Dizajniran za uređaje koji rade na baterije dugo vremena, smanjuje potrošnju energije u usporedbi s klasičnim Bluetoothom
- Brza uspostava veze: Omogućava trenutnu interakciju između uređaja
- Kratki paket podataka: Koristi paket za povećanje učinkovitosti prijenosa podataka

Tehnički detalji BLE-a:

- Radna frekvencija: 2.4 GHz
- Brzina prijenosa: Do 1 Mbps
- Mrežne topologije: Point-to-point, Broadcasting, Mesh Networking

BLE ima implementirane sigurnosne mjere poput AES-128 enkripcije, autentifikacije i autorizacije te zaštite privatnosti kako bi osigurao siguran prijenos podataka i spriječio neovlašteni pristup.

### 7.1.1. Uspostavljanje Bluetooth Low Energy komunikacije

Kako bi konfigurirali i kreirali BLE servis, inicijalizira mikrokontroler kao uređaj za korištenje BLE-a. Servis za komunikaciju kreira se koristeći `SERVICE_UUID`. To je jedinstveni identifikator za BLE servis komunikaciju. Servis je skupina karakteristika koje obavljaju srodne funkcije za osposobljavanje komunikacije.

```
#define SERVICE_UUID          "4fafc201-1fb5-459e-8fcc-c5c9c331914b"  
#define CHAR1_UUID           "beb5483e-36e1-4688-b7f5-ea07361b26a8"  
#define CHAR2_UUID           "e3223119-9445-4e96-a4a1-85358c4046a2"
```

CHAR1\_UUID je jedinstveni identifikator za prvu karakteristiku unutar servisa. Karakteristika predstavlja pojedinačnu podatkovnu točku unutar servisa. Može se koristiti za čitanje, pisanje ili obavještanje. CHAR2\_UUID je jedinstveni identifikator za drugu karakteristiku unutar servisa. Kao i prva, ova karakteristika može imati različite funkcije ovisno o potrebama aplikacije.

```
class MyServerCallbacks: public BLEServerCallbacks {  
    void onConnect(BLEServer* pServer) {  
        deviceConnected = true;  
    };  
  
    void onDisconnect(BLEServer* pServer) {  
        deviceConnected = false;  
    }  
};  
  
class CharacteristicCallback: public BLECharacteristicCallbacks {  
    void onWrite(BLECharacteristic *pChar) override {  
        std::string pChar2_value_stdstr = pChar->getValue();  
        pChar2_value_string = String(pChar2_value_stdstr.c_str());  
        //Serial.println("pChar2: " + pChar2_value_string);  
    }  
};
```

Klasa 'MyServerCallBacks' proširuje ugrađenu klasu 'BLEServerCallBacks' , to znači da će se koristiti metode za komunikaciju definirane događajima na BLE serveru. Izradom funkcije odnosno metode 'onConnect' omogućujemo njeno povezivanje kada se uređaj uspješno poveže sa serverom, a metoda 'onDisconnect' poziva se kada se uređaj odspoji.

Klasa 'CharacteristicCallback' proširuje ugrađenu klasu 'BLECharacteristicCallBacks', koja upravlja događajima specifičnim za BLE karakteristike. Metoda 'onWrite' poziva se kada se u određenu BLE karakteristiku napiše nova vrijednost. Ove klase omogućuju prilagodbu ponašanja aplikacije na događaje povezane s BLE vezom. Na primjer, može se koristiti MyServerCallBacks za praćenje povezanosti uređaja s BLE serverom i CharacteristicCallback za reakciju na promjene vrijednosti u karakteristikama. Ovo je ključno za razvoj aplikacija koje koriste BLE komunikaciju.

```
// Create the BLE Device
BLEDevice::init("ESP32-Wheelchair");

// Create the BLE Server
pServer = BLEDevice::createServer();
pServer->setCallbacks(new MyServerCallbacks());

// Create the BLE Service
BLEService *pService = pServer->createService(SERVICE_UUID);

// Create a BLE Characteristic
pCharacteristic = pService->createCharacteristic(
    CHAR1_UUID,
    BLECharacteristic::PROPERTY_NOTIFY
);

pCharacteristic_2 = pService->createCharacteristic(
    CHAR2_UUID,
    BLECharacteristic::PROPERTY_READ |
    BLECharacteristic::PROPERTY_WRITE
);
```

Prvobitno je bilo potrebno inicijalizirati te dati naziv BLE uređaju na koji ćemo se spajati te je to omogućeno s 'BLEDevice::init(„ESP32-Wheelchair“)' . BLEDevice::createServer() stvara BLE server. Nadalje, pServer->setCallbacks(new MyServerCallbacks()) postavlja callbacks našeg custom MyServerCallbacks objekta kako bi pratili događaje povezivanja i odspajanja uređaja.

BLE server kreiran je unaprijed definirani te određeni 'SERVICE\_UUID'.

pService->createCharacteristic(...) stvara BLE karakteristike unutar servisa.

Prva karakteristika (pCharacteristic) definira se s PROPERTY\_NOTIFY, što označava da će biti moguće obavijestiti klijenta o promjenama u vrijednosti ove karakteristike. Druga karakteristika (pCharacteristic\_2) ima svojstva PROPERTY\_READ i PROPERTY\_WRITE, što znači da se može čitati i pisati.

```
pDescr = new BLEDescriptor((uint16_t)0x2901);
pDescr->setValue("A very interesting variable");
pCharacteristic->addDescriptor(pDescr);

pBLE2902 = new BLE2902();
pBLE2902->setNotifications(true);

// Add all Descriptors here
pCharacteristic->addDescriptor(pBLE2902);
pCharacteristic_2->addDescriptor(new BLE2902());

// After defining the descriptors, set the callback functions
pCharacteristic_2->setCallbacks(new CharacteristicCallback());

// Start the service
pService->start();

// Start advertising
BLEAdvertising *pAdvertising = BLEDevice::getAdvertising();
pAdvertising->addServiceUUID(SERVICE_UUID);
pAdvertising->setScanResponse(false);
pAdvertising->setMinPreferred(0x0); // set value to 0x00 to not advertise this parameter
BLEDevice::startAdvertising();
Serial.println("Waiting a client connection to notify...");
}
```

Ovim dijelom koda postavlja se BLE deskriptor, dodaju se deskriptori karakteristikama koje pružaju dodatne informacije o tome kako se te karakteristike koriste. Postavljanjem callback funkcije te njenim definiranjem omogućuje se praćenje povezivanje, odspajanje uređaja ili kada se piše u određenu karakteristiku. Na kraju pokreće se BLE servis i uređaj počinje oglašavati svoju prisutnost kako bi ga drugi uređaji mogli pronaći i povezati se s njim. Ova konfiguracija omogućuje ESP32 uređaju da komunicira putem BLE-a i pruža mogućnost čitanja, pisanja i obavještanja o promjenama vrijednosti karakteristika. Na primjer, ovakav setup može se koristiti za daljinsko upravljanje ili prijenos podataka između ESP32 uređaja i drugih BLE kompatibilnih uređaja.

```
    // disconnecting
    if (!deviceConnected && oldDeviceConnected) {
        delay(500); // give the bluetooth stack the chance to get things ready
        pServer->startAdvertising(); // restart advertising
        Serial.println("start advertising");
        oldDeviceConnected = deviceConnected;
    }
    // connecting
    if (deviceConnected && !oldDeviceConnected) {
        // do stuff here on connecting
        Serial.println("Connecting...");
        oldDeviceConnected = deviceConnected;
    }
}
```

Ovaj dio koda rukuje situacijama kada se uređaj povezuje ili odspaja s BLE servera. Provjerava se je li uređaj odspojen (!deviceConnected) i da li je prethodno bio spojen (oldDeviceConnected je true). Ako je prethodno bio spojen i sada je odspojen, čeka se 500 ms kako bi se Bluetooth sloj mogao pripremiti za nove radnje. Zatim se ponovno pokreće oglašavanje kako bi se uređaj počeo oglašavati drugim uređajima. Na kraju ispisuje se poruka "start advertising".

Provjerava se je li uređaj spojen (deviceConnected) i da li je prethodno bio odspojen (oldDeviceConnected je false). Ako je uređaj sada spojen nakon što je bio odspojen, ovdje se mogu izvršiti određene radnje, poput inicijalizacije veze ili slanja dobrodošlice. Ispisuje se poruka "Connecting...".

Ove provjere omogućuju da aplikacija reagira na promjene u statusu veze s BLE uređajem i izvrši odgovarajuće radnje, poput pokretanja oglašavanja ili izvršavanja posebnih radnji prilikom uspostave veze.

### 7.1.2. Upravljanje aktuatorima

Aktuatori kojima se upravlja direktno s gumbima za upravljanje su motori za pokretanje invalidskih kolica te pneumatski cilindri za podizanje pacijenta i podizanje nogu.

```
md.enableDrivers();
delay(1); // The drivers require a maximum of 1ms to elapse when brought out of sleep mode.
```

Koristi se funkcija enableDrivers kako bi se omogućio ispravan rad motornog pogona te kako bi se driveri mogli pokrenuti, a samim time i mogućnost upravljanja s motorima.

```
Vrx_val = analogRead(Vrx);
Vry_val = analogRead(Vry);

Vrx_mod = map(Vrx_val, 0, 4095, -200, 200); // Left motor speed
Vry_mod = map(Vry_val, 0, 4095, -200, 200); // Right motor speed

mot1_speed = Vry_mod - Vrx_mod;
mot2_speed = Vry_mod + Vrx_mod;
```

Na početku bilo je potrebno čitati vrijednosti potencijometra koji se nalazi na joysticku. Imamo potencijometar u smjeru osi x i u smjeru osi y. Funkcijom `analogRead` čitamo te analogne vrijednosti i pohranjujemo ih u `Vrx_val` i `Vry_val` varijable. Funkcijom `map` pridodajemo da pročitane vrijednosti potencijometra u smjeru osi x i u smjeru osi y povežemo s brzinom motora. Potrebno je omogućiti i napraviti da ukoliko gledamo gibanja motora kao kvadrante koordinatnog sustava, da u svim smjerovima bude ispravna vrijednost kako bi se osiguralo ispravno kretanje motora. To je omogućeno funkcijom gdje računamo brzinu motora 1 i brzinu motora 2. Time direktno šaljemo na motorni pogon željene vrijednosti brzine. Naravno, ta brzina je povezana s tim kako će naš mikrokontroler generirati PWM signal prema motornom pogonu, ali interno. Dakle generiranjem PWM signala H mostu dobijemo željenu brzinu motora.

```
if (deviceConnected)
{
  pCharacteristic->setValue(value);
  pCharacteristic->notify();
  value++;
  Serial.println(pChar2_value_string);
  delay(10);

  if (pChar2_value_string == "F")
  {
    md.setM1Speed(200);
    md.setM2Speed(200);
  }
  else if (pChar2_value_string == "B")
  {
    md.setM1Speed(-200);
    md.setM2Speed(-200);
  }
  else if (pChar2_value_string == "R")
  {
    md.setM1Speed(200);
    md.setM2Speed(-200);
  }
  else if (pChar2_value_string == "L")
  {
    md.setM1Speed(-200);
    md.setM2Speed(200);
  }
}
```

```
else if (pChar2_value_string == "STOP")
{
    md.setM1Speed(0);
    md.setM2Speed(0);
}
}

else
{
    md.setM2Speed(mot1_speed);
    md.setM1Speed(mot2_speed);
    Serial.println("Manual mode");
    stopIfFault();
    delay(100);
}
```

Definirani su režim rada kada spojimo mobitel za upravljanje s motorima i kada manualno upravljamo s motorima. Kako bi onemogućili upravljanje s motorima u isto vrijeme i preko mobitela i manualno, jer bi to dovelo do pogrešaka i nesigurnosti samog sustava, trebalo je to riješiti. Način na koji je to riješeno je korištenjem if funkcije gdje provjera kada je mikrokontroler spojen na Bluetooth tada imamo upravljanje preko mobitela, a kad nije, tada imamo manualan način rada te se upravlja preko joysticka. Kad je uređaj povezan, u komunikaciji s mobilnim uređajem omogućeno je slanje poruka za naprijed, da se motori postave na brzine koje nam daju kretanje unaprijed. Dakle svaka poruka koju šaljemo, F kao forward nam daje kretanje unaprijed, L kao left nam daje skretanje ulijevo, R kao right nam daje skretanje udesno, a B kao backward nam daje kretanje unazad s motorima. Upravljanje s motorima omogućeno je implementiranom funkcijom `md.setM1Speed` i `md.setM2Speed` gdje trebamo staviti vrijednost brzine kojom želimo da se motor kreće.

Ovom linijom koda omogućeno je gibanje motora ovisno o režimu rada u kojem se sustav nalazi.

```
if (currentButtonState_1 != prevButtonState_1) {
  if (currentButtonState_1 == HIGH) {
    digitalWrite(relayPin5, LOW);
    delay(500);
    digitalWrite(relayPin4, LOW);
    digitalWrite(relayPin6, LOW);
  }
  else {
    digitalWrite(relayPin5, HIGH);
    digitalWrite(relayPin4, HIGH);
    digitalWrite(relayPin6, HIGH);
    digitalWrite(relayPin7, LOW);
    delay(1000);
    digitalWrite(relayPin1, LOW);
    digitalWrite(relayPin3, LOW);
    delay(5000);
    digitalWrite(relayPin1, HIGH);
    digitalWrite(relayPin7, HIGH);
    digitalWrite(relayPin3, HIGH);
  }
  prevButtonState_1 = currentButtonState_1;
}
```

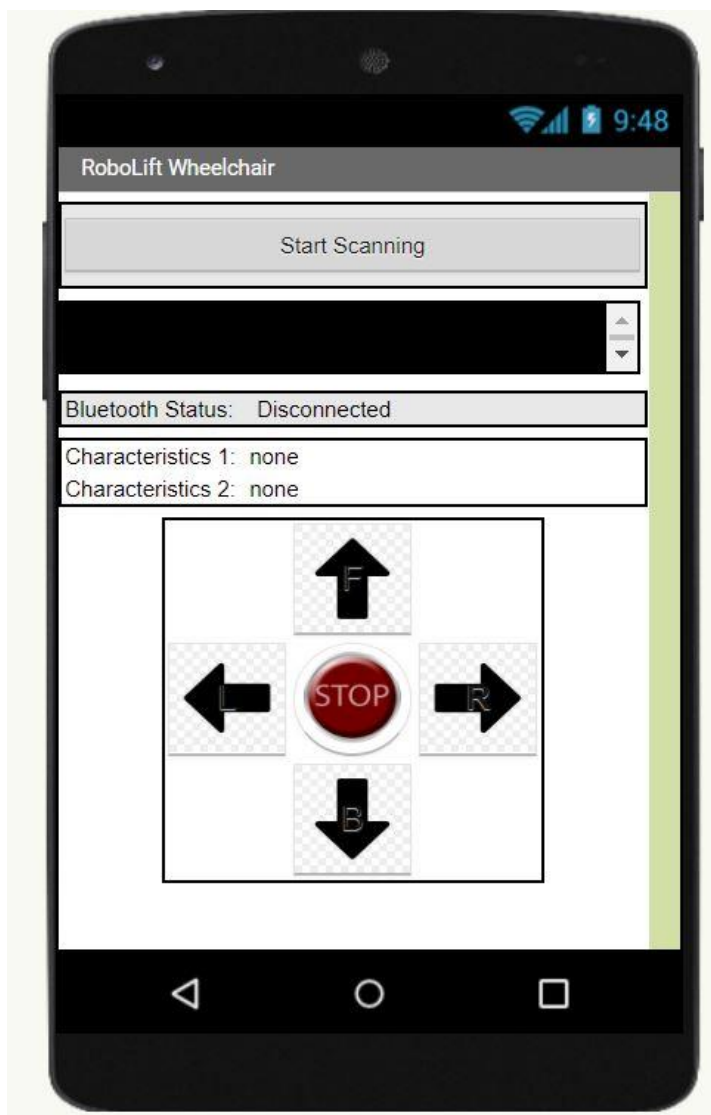
Koristeći gumbе za upravljanje i senzore na pneumatskim cilindrima koji detektiraju u kojem položaju se nalazi klip cilindra detektirajući magnet na klipu, omogućeno je automatizirano upravljanje sustavom podizanja pacijenta. Prilikom pritiska na jedan od gumba, dolazi do podizanja pacijenta do visine bolničkog kreveta i držanja u toj poziciji sve do trenutka kad se gumb ponovno pritisne, odnosno vrati u početnu poziciju. Tri gumba se koriste jer se u kombinaciji sa sensorima, prilikom pritiska na gumb i podizanja cilindra, željeni položaj detektira kad klip dođe u određenu poziciju i tad se prekine dotok zraka te se preko elektromagnetskog ventila drži postignuta pozicija. Ponovno, kako bi se invalidska kolica sigurno i polako vratila u početnu poziciju, vraćanjem gumba u početnu poziciju, uz određeni vremenski odziv dolazi do povratka u sjedeći položaj.

Nakon što je mikrokontroler isprogramiran i sve upravljačke funkcije su testirane, postignut je željeni stupanj automatizacije uz sve popratne sigurnosne postavke koje je potrebno imati kako bi mogli osigurati pacijentu siguran transfer, ali i gibanje bez ikakvog rizika.



## 7.2. Izrada mobilne aplikacije

Za izradu mobilne aplikacije korišten je programski alat MIT App Inventor razvijen u Google Labsu 2009. godine. Alat je dizajniran kako bi omogućio jednostavno stvaranje mobilnih aplikacija za Android uređaje. Ovaj alat korišten je kako bi se izradila mobilna aplikacija preko koje će se upravljati s gibanjem automatiziranih invalidskih kolica. Izrađeno je jednostavno grafičko sučelje kako bi bilo jednostavno za koristiti svim dobnim uzrastima. Specifikacije koje su napravljene su mogućnost povezivanja s mikrokontrolerom koristeći Bluetooth Low Energy komunikaciju, traženje uređaja u blizini, potvrdu je li uređaj povezan kako bi znali u kojem se stanju nalazi te jednostavno upravljanje s motorima. Na [Slika 50.]



Slika 50. Grafičko sučelje mobilne aplikacije

Kako bi povezali mikrokontroler i mobitel te uspostavili komunikaciju, potrebno je pritisnuti tipku „Start Scanning“ kojom se korisnik povezuje s upravljanjem invalidskim kolicima. Uspješnim povezivanjem, omogućuje se upravljanje preko mobilnog uređaja. Inicijalna vrijednost koja je zadana je 0, dakle nema pokretanja i bit će u stanju mirovanja. Kako bi došlo do gibanja invalidskih kolica potrebno je pritisnuti strelice preko kojih se određuje smjer gibanja. Strelicom za naprijed omogućujemo da se oba dva motora gibaju istom konstantnom brzinom prema naprijed. Strelicom za nazad omogućujemo da se oba dva motora gibaju istom konstantnom brzinom prema nazad. Strelicom za desno dolazi do suprotnog gibanja motora, dakle desni motor će se kretati prema nazad, a lijevi motor prema naprijed s čime će biti omogućeno zakret invalidskih kolica u desno. Strelicom za lijevo dolazi do suprotnog gibanja motora, dakle lijevi motor će se kretati prema nazad, a desni motor prema naprijed, čime će biti omogućen zakret invalidskih kolica u desno. Pritiskom srednje tipke „Stop“ zaustavljaju se motori polako, ali sigurno kako ne bi došlo do pre naglog zaustavljanja prilikom gibanja.

## 8. ZAKLJUČAK

Prilikom izrade ovog rada bilo je potrebno koristiti raznolika znanja te vještine stečene tijekom studija na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. Ponajviše su primjenjena znanja projektiranja i elektronike kako bi se postigao krajnji željeni mehatronički sustav. Prilikom izrade sustava naučeno je mnogo stvari i riješeni su problemi, koji su na početku izgledali nerješivi, iz čega se može zaključiti da se sve može kad postoji volja. Izrada i projektiranje ovakvog sustava predstavlja doprinos u zdravstvu te u području opće medicinske opreme koja bi se koristila u zdravstvenim ustanovama. Ovaj sustav omogućava jednostavno i sigurno podizanje pacijenta iz sjedećeg položaja u ležeći, olakšavajući medicinskom osoblju prebacivanje pacijenta na bolnički krevet. Pored toga, izrađena kolica pružaju pacijentima visoku razinu autonomije kroz mogućnost upravljanja joystickom te gumbima za podešavanje visine. Razvijena mobilna aplikacija dodatno povećava razinu automatizacije sustava, omogućavajući medicinskom osoblju i svim korisnicima daljinsko upravljanje kolicima. Kroz implementaciju različitih elektroničkih i pneumatskih komponenti, postignuta je visoka sigurnost i fleksibilnost pokretanja. Izradom ovog mehatroničkog sustava pokazana je i demonstrirana sinergija različitih tehničkih rješenja, od mehaničke izrade komponenti, preko elektroničkih dijelova i upravljačkog softvera. Buduće nadogradnje mogu uključivati dodatne senzore za postizanje što višeg stupnja autonomnosti, napredne algoritme za autonomno upravljanje te integraciju i komunikaciju s drugim medicinskim uređajima. Izrađena invalidska kolica ne samo da unaprijeđuju kvalitetu života pacijenta, već i povećavaju efikasnost rada medicinskog osoblja, čime se postiže dvostruka korist.

Izradom ovog projekta dodatno sam poboljšao znanja stečena na fakultetu!

## 9. LITERATURA

- [1] Mobilnost osobe s invaliditetom, tehnički fakultet u Rijeci, dostupno na: <http://www.riteh.uniri.hr/ustroj/zavodi/zae/laboratoriji/laboratorij-za-asistivnu-tehnologiju/asistivna-tehnologija/seminari/mobilnost-osobe-s-invaliditetom/>, pristupljeno 05.04.2024.
- [2] Dinamometar za mjerenje tlaka, dostupno na: <https://mediotehna.hr/hr/Dinamometri-i-kranske-vage-Dynamometers-Crane-scales/Dinamometar-digitalni-za-mjerenje-tlacne-i-ylacne-sile-S-FK-1K-Podrucje-0---1000-N.html>, pristupljeno 07.04.2024.
- [3] Istosmjerni DC motor, dostupno na: <https://soldered.com/hr/learn/istosmjerni-dc-motor>, pristupljeno 07.04.2024.
- [4] Dostupno na: <https://www.doga.es/319-gearmotor/>, pristupljeno 15.04.2024.
- [5] Dostupno na: <https://www.haberkorn.hr/strojni-elementi/zupcasto-remenje-remenice-za-zupcasto-remenje/zupcasto-remenje-polyurethan-pu/neoprensko-zupcasto-remenje-beskrajno/51664-zupcasti-remen-neopren-optibelt-omega-htd-5m>, pristupljeno 15.04.2024.
- [6] Dostupno na: <https://www.haberkorn.hr/strojni-elementi/zupcasto-remenje-remenice-za-zupcasto-remenje/zupcaste-remenice/htd-predbusene-zupcaste-remenice/51796-zupcasta-remenica-htd-5m-za-sirinu-remena-15-mm>, pristupljeno 15.04.2024.
- [7] Lasersko rezanje metala, dostupno na: <https://www.laser-ing.hr/blog/lasersko-rezanje-metode-vrste/>, pristupljeno 20.04.2024.
- [8] Dostupno na: <https://www.smc.eu/hr-hr/proizvodi/istaknuti-proizvodi/pneumatski-cilindri>, pristupljeno 21.04.2024.
- [9] Dostupno na: <https://www.protis.hr/products/details/nodemcu-ydesp32s3-development-board-wifi--bluetooth-50-esp32s3wroomn16r8-usb-typec/218363>, pristupljeno 23.04.2024.
- [10] H-most – Osnove, Dostupno na: <https://www.modularcircuits.com/blog/articles/h-bridge-secrets/h-bridges-the-basics/>, pristupljeno 25.04.2024.
- [11] Dostupno na: <https://www.pololu.com/product/2516>, pristupljeno 25.04.2024.
- [12] Dostupno na: [http://wiki.sunfounder.cc/index.php?title=8\\_Channel\\_5V\\_Relay\\_Module](http://wiki.sunfounder.cc/index.php?title=8_Channel_5V_Relay_Module), pristupljeno 25.04.2024.
- [13] Dostupno na: <https://www.makspower.hr/proizvod/akumulatori-za-elektricna-vozila-dyno-ev-12v/>, pristupljeno 26.04.2024.
- [14] Dostupno na: <https://www.ti.com/product/LM2596>, pristupljeno 28.04.2024.

- [15] Dostupno na: <https://www.schrack.hr/trgovina/grebenasta-sklopka-0-1-1p-20a-na-vrata-in005120.html>, pristupljeno 28.04.2024.
- [16] Dostupno na: <https://whadda.com/product/xy-joystick-module-2-pcs-wpi315/>, pristupljeno 02.05.2024.
- [17] Dostupno na: <https://www.chipoteka.hr/prekidaci-i-tasteri>, pristupljeno 02.05.2024.
- [18] Dostupno na: <https://www.smc-pneumatics.com/D-Y7PL.html>, pristupljeno 03.05.2024.
- [19] Dostupno na <https://www.trgo-agencija.hr/auto-oprema/osiguraci.html>, pristupljeno 04.05.2024.
- [20] Dostupno na: <https://www.chipoteka.hr/konektor-2-pol-mz-za-kabel-65a-zuti-pololu-xt60-8061602715>, pristupljeno 05.05.2024.
- [21] Dostupno na: <https://www.tevetron.hr/hr/webshop/otpornici-otpornici-smd/1586/2> pristupljeno 10.05.2024.
- [22] „What is an optocoupler and how does it work“, Jameco Electronics, Dostupno na: <https://www.jameco.com/Jameco/workshop/Howitworks/what-is-an-optocoupler-and-how-it-works.html> , pristupljeno 10.05.2024.

## PRILOZI

- I. Arduino kod
- II. MIT App Inventor

### I. Arduino kod

```
#include <Arduino.h>
#include <DualG2HighPowerMotorShield.h>

#include <BLEDevice.h>
#include <BLEServer.h>
#include <BLEUtils.h>
#include <BLEScan.h>
#include <BLE2902.h>
#include <BLEAdvertisedDevice.h>

BLEServer* pServer = NULL;
BLECharacteristic* pCharacteristic = NULL;
BLECharacteristic* pCharacteristic_2 = NULL;
BLEDescriptor *pDescr;
BLE2902 *pBLE2902;

bool deviceConnected = false;
bool oldDeviceConnected = false;
uint32_t value = 0;

#define SERVICE_UUID          "4fafc201-1fb5-459e-8fcc-c5c9c331914b"
#define CHAR1_UUID            "beb5483e-36e1-4688-b7f5-ea07361b26a8"
#define CHAR2_UUID            "e3223119-9445-4e96-a4a1-85358c4046a2"

String pChar2_value_string = "";

String pChar2_value_string = "";

class MyServerCallbacks: public BLEServerCallbacks {
    void onConnect(BLEServer* pServer) {
        deviceConnected = true;
    };

    void onDisconnect(BLEServer* pServer) {
        deviceConnected = false;
    }
};
```

```
class CharacteristicCallBack: public BLECharacteristicCallbacks {
    void onWrite(BLECharacteristic *pChar) override {
        std::string pChar2_value_stdstr = pChar->getValue();
        pChar2_value_string = String(pChar2_value_stdstr.c_str());
        //Serial.println("pChar2: " + pChar2_value_string);
    }
};

const int Button_1 = 7;
const int Button_2 = 6;
const int Button_3 = 5;
const int Vrx = 18;
const int Vry = 8;
const int relayPin1 = 9;
const int relayPin2 = 10;
const int relayPin3 = 11;
const int relayPin4 = 13;
const int relayPin5 = 14;
const int relayPin6 = 12;
const int relayPin7 = 46;
const int sensor1 = 48;
const int sensor2 = 19;

int prevButtonState_1 = LOW;
int prevButtonState_2 = LOW;
int prevButtonState_3 = LOW;

DualG2HighPowerMotorShield24v14 md;
int Vrx_val = 0;
int Vry_val = 0;

int Vrx_mod = 0;
int Vry_mod = 0;

int mot1_speed = 0;
int mot2_speed = 0;
```

```
void stopIfFault()
{
    if (md.getM1Fault())
    {
        md.disableDrivers();
        delay(1);
        Serial.println("M1 fault");
        while (1);
    }
    if (md.getM2Fault())
    {
        md.disableDrivers();
        delay(1);
        Serial.println("M2 fault");
        while (1);
    }
}

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(115200);

    Serial.println("Dual G2 High Power Motor Shield");
    md.init();
    md.calibrateCurrentOffsets();
    pinMode(Button_1, INPUT);
    pinMode(Button_2, INPUT);
    pinMode(Button_3, INPUT);
    pinMode(sensor1, INPUT);
    pinMode(sensor2, INPUT);
    pinMode(relayPin1, OUTPUT);
    pinMode(relayPin2, OUTPUT);
    pinMode(relayPin3, OUTPUT);
    pinMode(relayPin4, OUTPUT);
    pinMode(relayPin5, OUTPUT);
    pinMode(relayPin6, OUTPUT);
    pinMode(relayPin7, OUTPUT);
    md.flipM1(true);

    digitalWrite(relayPin1, HIGH);
    digitalWrite(relayPin2, HIGH);
    digitalWrite(relayPin3, HIGH);
    digitalWrite(relayPin4, HIGH);
    digitalWrite(relayPin5, HIGH);
    digitalWrite(relayPin6, HIGH);
    digitalWrite(relayPin7, HIGH);

    // Create the BLE Device
    BLEDevice::init("ESP32-Wheelchair");
}
```



```
// Create the BLE Server
pServer = BLEDevice::createServer();
pServer->setCallbacks(new MyServerCallbacks());

// Create the BLE Service
BLEService *pService = pServer->createService(SERVICE_UUID);

// Create a BLE Characteristic
pCharacteristic = pService->createCharacteristic(
    CHAR1_UUID,
    BLECharacteristic::PROPERTY_NOTIFY
);

pCharacteristic_2 = pService->createCharacteristic(
    CHAR2_UUID,
    BLECharacteristic::PROPERTY_READ |
    BLECharacteristic::PROPERTY_WRITE
);

pDescr = new BLEDescriptor((uint16_t)0x2901);
pDescr->setValue("A very interesting variable");
pCharacteristic->addDescriptor(pDescr);

pBLE2902 = new BLE2902();
pBLE2902->setNotifications(true);

// Add all Descriptors here
pCharacteristic->addDescriptor(pBLE2902);
pCharacteristic_2->addDescriptor(new BLE2902());

// After defining the descriptors, set the callback functions
pCharacteristic_2->setCallbacks(new CharacteristicCallBack());

// Start the service
pService->start();

// Start advertising
BLEAdvertising *pAdvertising = BLEDevice::getAdvertising();
pAdvertising->addServiceUUID(SERVICE_UUID);
pAdvertising->setScanResponse(false);
pAdvertising->setMinPreferred(0x0); // set value to 0x00 to not advertise this parameter
BLEDevice::startAdvertising();
Serial.println("Waiting a client connection to notify...");
}
```

```
md.enableDrivers();
delay(1); |

// Serial.print("Button 1=");
// Serial.print(digitalRead(Button_1));
// Serial.print(" Button 2=");
// Serial.print(digitalRead(Button_2));
// Serial.print(" Button 3=");
// Serial.print(digitalRead(Button_3));

Vrx_val = analogRead(Vrx);
Vry_val = analogRead(Vry);

mot1_speed = Vry_mod - Vrx_mod;
mot2_speed = Vry_mod + Vrx_mod;
|
int currentButtonState_1 = digitalRead(Button_1);
int currentButtonState_2 = digitalRead(Button_2);
int currentButtonState_3 = digitalRead(Button_3);
int sensorState_1 = digitalRead(sensor1);
int sensorState_2 = digitalRead(sensor2);

if (currentButtonState_1 != prevButtonState_1) {
    if (currentButtonState_1 == HIGH) {
        digitalWrite(relayPin5, LOW);
        delay(500);
        digitalWrite(relayPin4, LOW);
        digitalWrite(relayPin6, LOW);
    }
    ,
    else {
        digitalWrite(relayPin5, HIGH);
        digitalWrite(relayPin4, HIGH);
        digitalWrite(relayPin6, HIGH);
        digitalWrite(relayPin7, LOW);
        delay(1000);
        digitalWrite(relayPin1, LOW);
        digitalWrite(relayPin3, LOW);
        delay(5000);
        digitalWrite(relayPin1, HIGH);
        digitalWrite(relayPin7, HIGH);
        digitalWrite(relayPin3, HIGH);
    }
    prevButtonState_1 = currentButtonState_1;
}
```

```
if (currentButtonState_2 != prevButtonState_2) {
    while (currentButtonState_2 == HIGH && sensorState_1 == LOW) {
        digitalWrite(relayPin5, LOW);
        delay(500);
        digitalWrite(relayPin4, LOW);
        digitalWrite(relayPin6, LOW);
    }
    digitalWrite(relayPin5, HIGH);
    digitalWrite(relayPin4, HIGH);
    digitalWrite(relayPin6, HIGH);
    delay(100);
    if (currentButtonState_2 == LOW) {
        digitalWrite(relayPin7, LOW);
        delay(1000);
        digitalWrite(relayPin1, LOW);
        digitalWrite(relayPin3, LOW);
        delay(5000);
        digitalWrite(relayPin1, HIGH);
        digitalWrite(relayPin7, HIGH);
        digitalWrite(relayPin3, HIGH);
    }
    prevButtonState_2 = currentButtonState_2;
}

if (currentButtonState_3 != prevButtonState_3) {
    while (currentButtonState_3 == HIGH && sensorState_2 == LOW) {
        digitalWrite(relayPin5, LOW);
        delay(500);
        digitalWrite(relayPin4, LOW);
        digitalWrite(relayPin6, LOW);
    }
    digitalWrite(relayPin5, HIGH);
    digitalWrite(relayPin4, HIGH);
    digitalWrite(relayPin6, HIGH);
    delay(100);
    if (currentButtonState_3 == LOW) {
        digitalWrite(relayPin7, LOW);
        delay(1000);
        digitalWrite(relayPin1, LOW);
        digitalWrite(relayPin3, LOW);
        delay(5000);
        digitalWrite(relayPin1, HIGH);
        digitalWrite(relayPin7, HIGH);
        digitalWrite(relayPin3, HIGH);
    }
    prevButtonState_3 = currentButtonState_3;
}
```

```
if (deviceConnected)
{
    pCharacteristic->setValue(value);
    pCharacteristic->notify();
    value++;
    Serial.println(pChar2_value_string);
    delay(10);

    if (pChar2_value_string == "F")
    {
        md.setM1Speed(200);
        md.setM2Speed(200);
    }
    else if (pChar2_value_string == "B")
    {
        md.setM1Speed(-200);
        md.setM2Speed(-200);
    }
    else if (pChar2_value_string == "R")
    {
        md.setM1Speed(200);
        md.setM2Speed(-200);
    }

    else if (pChar2_value_string == "L")
    {
        md.setM1Speed(-200);
        md.setM2Speed(200);
    }
    else if (pChar2_value_string == "STOP")
    {
        md.setM1Speed(0);
        md.setM2Speed(0);
    }
}

else
{
    md.setM2Speed(mot1_speed);
    md.setM1Speed(mot2_speed);
    Serial.println("Manual mode");
    stopIfFault();
    delay(100);
}
```

```

// disconnecting
if (!deviceConnected && oldDeviceConnected) {
    delay(500); // give the bluetooth stack the chance to get things ready
    pServer->startAdvertising(); // restart advertising
    Serial.println("start advertising");
    oldDeviceConnected = deviceConnected;
}
// connecting
if (deviceConnected && !oldDeviceConnected) {
    // do stuff here on connecting
    Serial.println("Connecting...");
    oldDeviceConnected = deviceConnected;
}

```

## II. MIT App Inventor

The image displays a collection of MIT App Inventor code blocks for a Bluetooth application. The blocks are organized into several sections:

- Global Variables:** Three blocks at the top initialize global variables: `UUID_Service` to `4fafc201-1fb5-459e-8f0c-c509c331914b`, `UUID_Char1` to `beb5483e-36e1-4688-b7f5-ea07361b26a8`, and `UUID_Char2` to `e3223119-9445-4e96-a4a1-85358c4046a2`.
- Initialization:** A `when Screen1.Initialize` block calls `Screen1.AskForPermission` with `permissionName` set to `BLUETOOTH_CONNECT` and sets `BLE_connected` to `false`.
- Permission Handling:** A `when Screen1.PermissionGranted` block uses an `if` statement to check `get permissionName`. If it equals `BLUETOOTH_CONNECT`, it calls `Screen1.AskForPermission` with `permissionName` set to `BLUETOOTH_SCAN`.
- Device Discovery:** A `when BluetoothLE1.DeviceFound` block sets `ListView_BLE_devices.ElementsFromString` to `BluetoothLE1.DeviceList`. A `when ListView_BLE_devices.AfterPicking` block uses an `if` statement to check `ListView_BLE_devices.SelectionIndex`. If it is not 0, it calls `BluetoothLE1.StopScanning` and `BluetoothLE1.Connect` with `index` set to `ListView_BLE_devices.SelectionIndex`.
- Connection Management:** A `when BluetoothLE1.Connected` block calls `BluetoothLE1.RegisterForBytes` with `serviceUuid` and `characteristicUuid` from global variables, and sets `BLE_connected` to `true`. A `when BluetoothLE1.BytesReceived` block sets `Label_Char1.Text` to a concatenation of `select list item list` (index 1), `get byteValues` (index 2), and `select list item list` (index 3).
- UI Interactions:**
  - `when Slider1.PositionChanged` block: If `BluetoothLE1.isDeviceConnected`, it initializes `Slider_var` to 0, sets `Label_Char2.Text` to `get Slider_var`, and calls `BluetoothLE1.WriteStrings` with `serviceUuid`, `characteristicUuid`, `utf16` set to `false`, and `values` set to `make a list` containing `get Slider_var`.
  - `when F_button.TouchDown` block: Calls `BluetoothLE1.WriteStrings` with `serviceUuid`, `characteristicUuid`, `utf16` set to `false`, and `values` set to `F`.
  - `when L_button.TouchDown` block: Calls `BluetoothLE1.WriteStrings` with `serviceUuid`, `characteristicUuid`, `utf16` set to `false`, and `values` set to `L`.
  - `when R_button.TouchDown` block: Calls `BluetoothLE1.WriteStrings` with `serviceUuid`, `characteristicUuid`, `utf16` set to `false`, and `values` set to `R`.
  - `when STOP_button.TouchDown` block: Calls `BluetoothLE1.WriteStrings` with `serviceUuid`, `characteristicUuid`, `utf16` set to `false`, and `values` set to `STOP`.
- Control Logic:** A `to set BLE_status BLE_connected` block uses an `if` statement to set `Label_BLE_status.Text` to `Connected` or `Disconnected2`, and sets the visibility of `Button_start_scanning`, `Button_disconnect`, `ListView_BLE_devices`, and `Container_controls` accordingly.