

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

Magdalena Antolković
Fabijan Ereiz
Fran Hruškar
Mia Prgomet
Anastazia Puhalo
Denis Sinković
Dominik Šarić
Mateo Šego
Antonio Varović

**Suvremene metode upravljanja u razvoju
inovativnih mehatroničkih sustava**

Zagreb, 2025.

Ovaj rad izrađen je na Katedri za strojarsku automatiku, Zavoda za robotiku i automatizaciju proizvodnih sustava pod vodstvom prof. dr. sc. Željka Šituma i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2024./2025.

POPIS KRATICA

Kratika	Značenje
EC	Elektrolitička vodljivost (<i>eng. Electrical Conductivity</i>)
NFT	Tehnika hranjivog filma (<i>eng. Nutrient Film Technique</i>)
PVC	Poli(vinil-klorid)
SPI	Serijsko sučenje (<i>eng. Serial Peripheral Interface</i>)
I2C	(<i>eng Inter-Integrated Circuit</i>)
UART	(<i>eng Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i>)
TDS	Ukupnih otopljenih krutina (<i>eng Total Dissolved Solids</i>)

SADRŽAJ RADA

POPIS SLIKA	VII
POPIS TABLICA.....	XII
POPIS OZNAKA	XIII
UVOD	1
1. DALJINSKI UPRAVLJANO PODVODNO VOZILO.....	2
1.1. Projektiranje podmornice	2
1.1.1. Trup	2
1.1.2. Balastni tankovi.....	3
1.1.3. Pogon.....	4
1.2. Kontroler i upravljanje	5
1.3. Komponente sustava	5
1.4. Upravljanje podmornice	7
1.5. Rezultati	8
1.6. Zaključak.....	8
2. ROBOTSKA KOSILICA	9
2.1. Proračun i izbor komponenti	9
2.1.1. Proračun potrebne snage elektromotora	9
2.1.2. Odabir elektromotora	11
2.1.3. Odabir pogonskih komponenti	12
2.1.4. Proračun pogonskog vratila.....	13
2.2. Konstrukcijska razrada	16
2.2.1. Prva verzija 3D modela	16
2.2.2. Rješenje problema prve verzije	16
2.2.3. Popis komponenti	19
2.2.4. Konačna verzija kosilice	22

3. MOBILNI ROBOT ZA GAŠENJE POŽARA	24
3.1. Električni sustav	24
3.1.1. Proračun uskladištene energije	25
3.1.2. Proračun potrebnog momenta motora	25
3.2. Upravljački sustav	27
3.3. Izrada sustava	27
3.3.1. Konstrukcija i izrada nosive šasije	27
3.3.2. Konstrukcija i izrada pogonskog sklopa	28
3.3.3. Spajanje električnih komponenata s nosivom konstrukcijom	29
3.3.4. Konstruiranje i izrada okretne kupole s vodenim topom	30
3.4. Ispitivanje rada sustava	32
3.5. Zaključak	34
4. SUSTAV ZA AUTOMATSKO PUNJENJE I ZATVARANJE BOCA	35
4.1. Opis dijelova sustava	35
4.1.1. Transportni sustav	35
4.1.2. Sustav pogonjen linearnim električnim aktuatorom.....	36
4.1.3. Pneumatski sustav	37
4.2. Projektiranje i izrada modela	37
4.2.1. Projektiranje i izrada transportnog sustava	37
4.2.1.1. Odabir pokretne trake	38
4.2.1.2. Vratilo, osovina i ležajevi.....	38
4.2.1.3. Mehanizam zatezanja pokretne trake	39
4.2.1.4. Pogonski sustav transportne trake	39
4.2.1.5. Projektiranje nosača senzora	42
4.2.2. Projektiranje i izrada sustava pogonjenog linearnim električnim aktuatorom	43
4.2.2.1. Odabir linearnog aktuatora	43
4.2.2.2. Projektiranje i izrada konstrukcije za punjenje i zatvaranje boca	43

4.2.3. Projektiranje i izrada pneumatskog sustava	45
4.2.3.1. Odabir pneumatskog cilindra	45
4.2.3.2. Projektiranje konstrukcije za začepljivanje boca	45
4.2.4. Konačan izgled modela	47
4.3. Upravljački sustav	47
4.3.1. Upravljački uređaj Controllino MAXI	47
4.3.2. Napajanje sustava	48
4.3.2.1. Napajanje za Controllino MAXI	48
4.3.2.2. Napajanje za transportni sustav	48
4.3.2.3. Napajanje za pneumatski sustav	48
4.3.3. Senzori	48
4.3.4. Upravljanje sustavom pogonjenog linearnim aktuatorom	49
4.3.5. Upravljanje procesom punjenja boca	50
4.3.6. Upravljanje pneumatskim sustavom	51
4.3.6.1. Ventili	51
4.3.6.2. Pneumatska shema sustava	52
4.4. Opis rada sustava	53
5. UREĐAJ ZA ODVAJANJE METALA U PROCESU RECIKLIRANJA PLASTIKE ...	54
5.1. Modeliranje i dizajn uređaja za sortiranje	54
5.2. Odabir komponenti	55
5.2.1. Servo motori	55
5.2.2. Ultrazvučni senzor HC-SR04	56
5.2.3. Induktivni senzor	57
5.2.4. Mikrokontroler Dasduino	57
5.2.4.1. Dasduino CORE (ATmega328)	58
5.2.4.2. Dasduino LITE (ATTiny1604)	58
5.3. 3D printanje	59

5.3.1.	Spajanje 3D printanih komponenti.....	59
5.4.	Konačan izgled i princip rada uređaja.....	60
5.4.1.	Princip rada	61
6.	AUTOMATIZIRANI SUSTAV ZA HIDROPONSKI UZGOJ BILJAKA	64
6.1.	Projektiranje sustava	64
6.2.	Opis komponenti sustava	65
6.2.1.	Sustav za dovod hranjivih tvari.....	65
6.2.1.1.	NFT sustav	66
6.2.1.2.	Električna pumpa.....	66
6.2.2.	Mjerni dio sustava	67
6.2.2.1.	pH senzor.....	67
6.2.2.2.	EC senzor	69
6.2.3.	Upravljački dio sustava	70
6.2.3.1.	Upravljački uređaj ESP32	70
6.2.3.2.	Upravljanje pH vrijednošću	71
6.2.3.3.	Upravljanje EC vrijednošću	72
6.3.	Izrada eksperimentalnog postava	73
6.3.1.	Izrada eksperimentalnog postava	73
6.3.2.	Izrada elektronskog sustava.....	73
6.3.3.	Rezultati	76
7.	SPRAVA ZA VJEŽBANJE TEHNIKA OBRANE I BRZINE REAKCIJE U BOKSU .	78
7.1.	Projektiranje i izrada modela.....	78
7.1.1.	Projektiranje pneumatskog sustava	79
7.1.2.	Projektiranje noseće konstrukcije.....	80
7.1.3.	Projektiranje kinematičkog sustava.....	81
7.1.4.	Fokuseri.....	81
7.2.	Upravljanje	82

7.2.1. Upravljački uređaj Controllino MINI s napajanjem	82
7.2.2. Upravljanje pneumatskim sustavom	83
7.2.3. Upravljačka kutija	84
7.2.4. Pneumatska shema sustava.....	85
7.2.5. Opis rada sustava.....	86
8. PROJEKTIRANJE UREĐAJA ZA STABILIZACIJU BRODA	88
8.1. Girokopski stabilizatori	88
8.2. Matematički model i simulacija sustava	90
8.3. Konstruiranje i izrada umanjenog modela	92
8.4. Eksperimentalni rezultati i usporedba sa simulacijom	96
9. STROJ ZA UKLANJANJE LOŠIH ZRNA GRAHA	99
9.1. 3D model konstrukcije	99
9.1. Planiranje trajektorije i putanje zrna	100
9.3. Izrada modela	101
9.4. Senzori.....	104
9.5. Aktuatori i upravljanje sustava.....	106
9.6. Klasifikacija zrna.....	110
10. ZAKLJUČAK	111
ZAHVALE	112
POPIS LITERATURE	113
SAŽETAK.....	118
SUMMARY	122
ŽIVOTOPIS	126

POPIS SLIKA

Slika 1. CAD model podmornice	3
Slika 2. Balastni tankovi.....	4
Slika 3. Kormilo i propeler.....	4
Slika 4. a) PCB – kontroler; b) Realna izvedba kontrolera	5
Slika 5. Mikrokontroler UNO R3.....	6
Slika 6. Izgled modula nRF24L01 modul s pojačalom i antenom	7
Slika 7. Mikrokontroler Adafruit Pro Trinket	7
Slika 8. Realna izvedba podmornice	8
Slika 9. Plan sila na kosini	9
Slika 10. a) Tehničke karakteristike motora; b) Izgled motora.....	11
Slika 11. Gusjenice.....	12
Slika 12. Pogonski lančanik	12
Slika 13. Shematski prikaz opterećenja vratila	13
Slika 14. Stupnjevanje vratila.....	15
Slika 15. Podsklop pogonskog lančanika	15
Slika 16. Prva verzija modela.....	16
Slika 17. a) Mehanizam zatezanja gusjenice; b) Sustav lančanika	17
Slika 18. Druga verzija modela, slika 1	17
Slika 19. Druga verzija modela, slika 2	18
Slika 20. Sklop za košnju i namještanje visine	18
Slika 21. Baterija 5 kWh	19
Slika 22. Elektromotor za košnju [7]	20
Slika 23. Klizni ležaj [8]	21
Slika 24. Plinska opruga [9]	21
Slika 25. Lančanik ISO 606-10B-43 [10]	21
Slika 26. Konačna verzija sustava, pogled 1	22
Slika 27. Konačna verzija sustava, pogled 2	22
Slika 28. Konačna verzija sustava – pogled straga i odozdo	23
Slika 29. Mehanizam za dizanje – prikaz podsklopa	23
Slika 30. Elektronička shema robotskog sustava	25
Slika 31. a) CAD model; b) Šasija mobilnog vatrogasnog robota	28
Slika 32. a) CAD model; b) Pogonski sklop	29

Slika 33. a) CAD model; b) Pogonski sklop s montiranim	30
Slika 34. a) CAD model; b) Sklop okretne kupole	31
Slika 35. a) CAD model; b) Prototip mobilnog vatrogasnog robota.....	31
Slika 36. Ispitivanje radnih karakteristika	32
Slika 37. Ispitivanje sustava s montiranom okretnom kupolom	33
Slika 38. Ispitivanje nosivosti sustava.....	33
Slika 39. Dijelovi pokretne trake [19]	35
Slika 40. Glavni dijelovi linearnog aktuatora [20]	36
Slika 41. Konstrukcija transportne trake	37
Slika 42. a) Vratilo; b) Osovina	38
Slika 43. Mehanizam zatezanja pokretne trake	39
Slika 44. a) Glavni dijelovi istosmjernog elektromotora [24]; b) Elektromotor GB37Y3530- 12V-251R [25]	40
Slika 45. Držać za elektromotor	40
Slika 46. Pogonski sustav transportne trake	42
Slika 47. Nosači senzora	42
Slika 48. Linearni aktuator AM645 [28]	43
Slika 49. Konstrukcija za punjenje boca	44
Slika 50. Držać za čepove	44
Slika 51. Konstrukcija za zatvaranje boca	44
Slika 52. Pneumatski cilindar DSNU-S-12-125-P-A-MQ [29]	45
Slika 53. a) Držać cilindra; b) Držać za aluminijske vodilice.....	45
Slika 54. a) Držać mehanizma za začepljivanje; b) Glava za začepljivanje	46
Slika 55. Pneumatski sustav	46
Slika 56. Konačan model sustava.....	47
Slika 57. Controllino MAXI [30]	47
Slika 58. Fotoelektrični senzor PE18 [31]	49
Slika 59. a) Shematski prikaz funkcionalnosti sustava s linearnim aktuatorom;	49
Slika 60. Potopna pumpa [35]	50
Slika 61. Elektromagnetski ventil VUVS-LK20-B52-D-G18-1C1-S s odgovarajućim simbolom [37]	51
Slika 62. a) Pneumatski simbol prigušno-nepovratnog ventila [38]; b) Prigušno - nepovratni ventil VFOE-LS-T-M5-Q6 [38].....	52
Slika 63. Pneumatska shema sustava	52

Slika 64. Konačan izgled sustava	53
Slika 65. Prototip modela	54
Slika 66. Konačan izgled uređaja	55
Slika 67. Servo motor TowerPro MG995	56
Slika 68. Ultrazvučni senzor HC-SR04.....	56
Slika 69. Induktivni senzor SIED-M12B-ZS-K-L	57
Slika 70. Dasduino CORE (ATmega328)	58
Slika 71. Dasduino LITE (ATTiny1604)	58
Slika 72. a) Držač spremnika; b) Kutijica za senzore	59
Slika 73. Rješenje držača lijevka za ubacivanje predmeta	60
Slika 74. Princip spajanja držača posuda i poklopca s tijelom uređaja	60
Slika 75. Sklopljeni uređaj	61
Slika 76. Servo motor 1	61
Slika 77. Induktivni i ultrazvučni senzor	61
Slika 78. Servo motor 2	62
Slika 79. Umetanje plastičnog predmeta, rotiranje bijele posude, neutralni položaj	62
Slika 80. Umetanje metalnog predmeta, rotiranje crne posude, neutralni položaj.....	63
Slika 81. CAD model inicijalne ideje rješenja	65
Slika 82. NFT sustav	66
Slika 83. Membranska pumpa	66
Slika 84. Princip rada membranske pumpe R385 koja koristi zrak kao medij	67
Slika 85. Unutrašnjost pH sonde	68
Slika 86. pH senzor	68
Slika 87. Unutrašnjost EC sonde.....	69
Slika 88. EC senzor	70
Slika 89. ESP32 mikroupravljač	71
Slika 90. pH dijagram apsorpcije nutrijenata	71
Slika 91. Primjer relejnog modula.....	72
Slika 92. Gotov eksperimentalni postav	73
Slika 93. Glavna petlja	74
Slika 94. Funkcija za mjerenje pH vrijednosti	74
Slika 95. Funkcija za mjerenje EC vrijednosti	75
Slika 96. Funkcija za povećanje pH vrijednosti	75
Slika 97. Elektronski sklop.....	76

Slika 98. Veličina salate prije premještanja	76
Slika 99. Zelena salata nakon tri tjedna u NFT sustavu	77
Slika 100. Projektirani 3D model.....	78
Slika 101. Odabrani pneumatski cilindar	79
Slika 102. Simulacija sustava.....	80
Slika 103. Prikaz konstrukcije.....	80
Slika 104. Spoj zgloba na konstrukciji.....	81
Slika 105. Spoj pneumatskog cilindra i senzora	82
Slika 106. a) Controllino MINI; b) Mean Well MDR-20-24	82
Slika 107. Elektromagnetski razvodnici spojeni na razdjelnik	83
Slika 108. Prigušno-nepovratni ventil.....	84
Slika 109. Elektronički davač signala	84
Slika 110. Upravljačka kutija	85
Slika 111. Shema pneumatskog sustava.....	85
Slika 112. Uređaj u trenutku bez zadanog udarca	86
Slika 113. Uređaj u trenutku zadanog udarca.....	87
Slika 114. Stupnjevi slobode gibanja giroskopa	88
Slika 115. Primjer giroskopskog stabilizatora marke Seakeeper	89
Slika 116. Prikaz kuta ljuljanja broda u odnosu na vrijeme bez stabilizacije	90
Slika 117. Prikaz kuta ljuljanja broda u odnosu na vrijeme sa stabilizacijom bez aktivne kontrole.....	91
Slika 118. Prikaz kuta ljuljanja broda u odnosu na vrijeme sa stabilizacijom sa aktivnom kontrolom	92
Slika 119. Prikaz glavnih dijelova modela giroskopskog stabilizatora.....	93
Slika 120. Raspored svih dijelova stabilizatora na postolju.....	93
Slika 121. Model giroskopskog stabilizatora unutar modela broda	94
Slika 122. Tokarenje zamašnjaka.....	94
Slika 123. Proces proizvodnje pločice	95
Slika 124. Sastavljeni model giroskopskog stabilizatora u maketi broda	95
Slika 125. Prikaz izmjerenih i simulacijskih odziva kuta ljuljanja u odnosu na vrijeme bez stabilizacije.....	97
Slika 126. Prikaz izmjerenih i simulacijskih odziva kuta ljuljanja u odnosu na vrijeme sa stabilizacijom bez aktivne kontrole.....	97
Slika 127. Model brodice prilikom testiranja u vodi.....	98

Slika 128. Prvi model konstrukcije	99
Slika 129. Konačan model konstrukcije.....	99
Slika 130. Putanja zrna graha – bočni pogled	100
Slika 131. Putanja zrna graha - pogled odozgo	100
Slika 132. Sklapanje i centriranje valjka	101
Slika 133. Ležaj UCFL 203.....	101
Slika 134. Mehanizam pritezanja trake	101
Slika 135. Spremnik zrna	102
Slika 136. Komora.....	102
Slika 137. Dozator sa priključnim dijelovima.....	102
Slika 138. Pozicioniranje senzora	103
Slika 139. Konačan izgled.....	103
Slika 140. Ultrazvučni senzor[63].....	104
Slika 141. Infracrveni senzor[64]	104
Slika 142. Enkoder KY-040	105
Slika 143. Driver za koračni motor A4988	105
Slika 144. Arducam CMOS AR0134	105
Slika 145. Istosmjerni motor[65]	106
Slika 146. Modul drivera BTS7960	106
Slika 147. Koračni motor Nema 17.....	106
Slika 148. Brzi MATRIX ventil [66]	107
Slika 149. Controllino MAXI[67].....	107
Slika 150. a) Napajanje Mean Well NDR-75-12; b) Napajanje Mean Well NDR-120-24....	108
Slika 151. Zupčasti remen i remenice[68]	109
Slika 152. Mehanizam otvaranja spremnika	109
Slika 153. a) Zrna graha klase: dobra; b) Detekcija loših zrna graha	110
Slika 154. Jedna od mogućih struktura konvolucijskih mreža[69]	110

POPIS TABLICA

Tablica 1. Iznos snage za različite brzine pri određenim kutovima	11
Tablica 2. Tehnički podatci baterije	19

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
F_u	N	Sila uzgona
ρ	kg/m^3	Gustoća fluida
V	m^3	Volumen podmornice
g	m/s^2	Ubrzanje sile teže
p	Pa	Tlak
A	m^2	Površina klipa
F_m	N	Sila motora
T_s	Nm	Moment koji prenosi servo motor
m_{uk}	kg	Ukupna masa uređaja
μ	$/$	Koeficijent trenja podloge
α	$^\circ$	Maksimalni predviđeni kut nagiba
F_G	N	Sila težine uređaja
F_p	N	Sila pokretanja uređaja
v	m/s	Brzina kretanja
P_{EM}	W	Snaga elektromotora
d_{wp}	mm	Kinematski promjer lančanika
ω_{pl}	rad/s	Kutna brzina pogonskog lančanika
M_{pl}	Nm	Potrebni moment pogonskog lančanika
W	Wh	Potencijalni rad
W_{uk}	Wh	Ukupni potencijalni rad
U	V	Nazivni napon
I	A	Nazivna struja
t	h	Vrijeme pražnjenja
U_{ser}	V	Napon serijski spojenih baterija
m_{vode}	kg	Masa vode u cijevi
ρ	kg/m^3	Gustoća fluida u cijevi
V_{vode}	m^3	Volumen vode u cijevi
d_{cijevi}	m	Promjer cijevi
L	m	Duljina cijevi
M_{izl}	Nm	Moment izlaznog vratila

M_n	Nm	Nazivni moment motora
i	$/$	Prijenosni omjer
M_{izl2}	Nm	Moment izlaznog vratila poslije dodatne redukcije
M_{uk}	Nm	Ukupni moment mobilnog robota
E	$/$	Broj motora mobilnog robota
v	m/s	Brzina pokretne trake
D	mm	Promjer valjka
n	$^{\circ}/min$	Broj okretaja motora
n_M, n_V	$^{\circ}/min$	Brzina vrtnje pogonske i gonjene remenice
z_M, z_V	$/$	Broj zubi pogonske i gonjene remenice
φ	rad	Nagib broda (kut od vertikale)
B	$/$	Konstanta prigušenja
k	$/$	Faktor krutosti
I_{broda}	kgm^2	Moment inercije broda oko osi ljuljanja
I_{zam}	kgm^2	Moment inercije zamašnjaka oko uzdužne osi rotacije
α	rad	Kut precesije
ω_{zam}	rad/s	Kutna brzina zamašnjaka
O_v	mm	Opseg valjka
n_v	$^{\circ}/min$	Broj okretaja valjka
n_m	$^{\circ}/min$	Broj okretaja istosmjernog motora

UVOD

U vremenima brzih tehnoloških promjena i sve većih zahtjeva za automatizacijom, mehatronika se nameće kao ključna inženjerska disciplina. Mehatronika je interdisciplinarna grana inženjerstva koja objedinjuje znanja iz strojarstva, elektrotehnike, elektronike, upravljanja i informatike. Glavni cilj ove grane inženjerstva je razviti pametne sustave koji povezuju senzore, akuatorske sklopove i upravljačke uređaje u jednu funkcionalnu cjelinu.

Posebnu važnost u razvoju mehatroničkih sustava imaju suvremene metode upravljanja jer omogućuju preciznost, prilagodljivost i pouzdanost u različitim uvjetima rada. Za razliku od klasičnih sustava upravljanja koji su često imali ograničene mogućnosti i bili projektirani za jednostavne uvjete, suvremene metode omogućuju bolju kontrolu nad složenim sustavima, čak i u promjenjivim i nepredvidivim okruženjima.

U ovom radu, kroz detaljnu analizu devet različitih projekata, prikazano je na koji se način suvremene metode upravljanja mogu implementirati u razvoju konkretnih mehatroničkih sustava. Svaki od projekata odnosi se na specifično područje primjene, uključujući mobilnu robotiku i daljinsko upravljanje, industrijsku automatizaciju, sustave za reciklažu i sortiranje, sportske interaktivne uređaje, pomorsku stabilizaciju i poljoprivredne sustave.

1. DALJINSKI UPRAVLJANO PODVODNO VOZILO

Podmornice su se kroz povijest koristile za različite svrhe, od vojne do znanstvene i istraživačke. Ovaj rad bavi se izradom daljinski upravljane podmornice namijenjene podvodnim istraživanjima na manjim dubinama. Podmornica je izrađena od akrilne cijevi, a njen pogon osigurava istosmjerni motor. Plovnost se regulira pomoću balastnih tankova, dok je smjer kretanja kontroliran kormilom.

Kako bi se osiguralo bežično upravljanje podmornicom, razvijen je kontroler koji koristi mikrokontroler i nRF24L01 modul za komunikaciju. Zbog svojstava vode, radio valovi ne prolaze na većim dubinama, stoga je korištena plutača s antenom za stabilnu vezu.

Podmornica funkcionira na temelju Arhimedovog zakona uzgona, koji kaže da na tijelo uronjeno u fluid djeluje sila uzgona jednaka težini istisnutog fluida. Sila uzgona računa se prema izrazu:

$$F_u = \rho \cdot V \cdot g \quad (1.1)$$

odnosno umnoškom gustoće fluida, volumena uronjenog tijela i gravitacijske konstante.

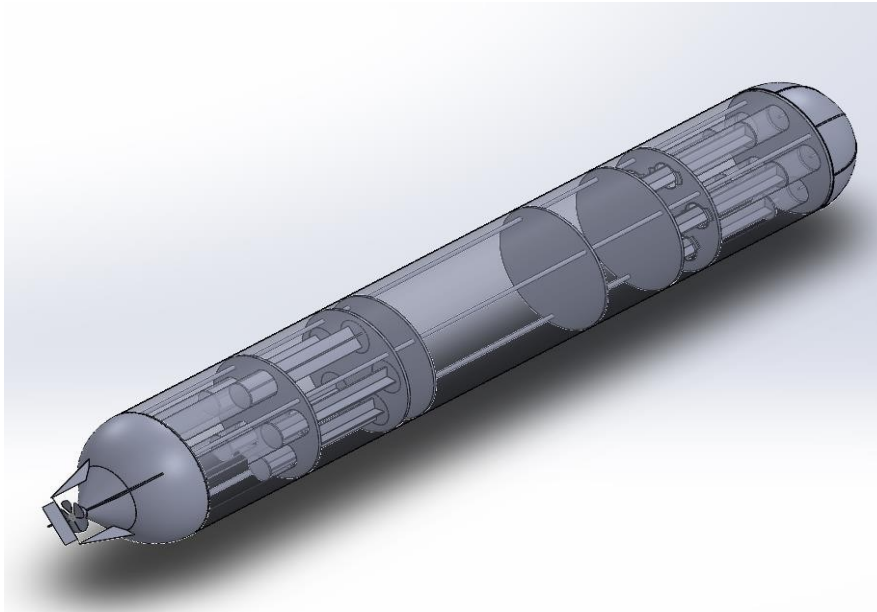
Ako je sila uzgona veća od težine podmornice, ona će izroniti; ako je manja, potonut će. Ovaj princip iskorišten je u sustavu balastnih tankova koji omogućuje regulaciju dubine podmornice.

1.1. Projektiranje podmornice

Podmornica se sastoji od nekoliko ključnih dijelova: trupa, balastnih tankova, pogonskog sustava i kontrolera.

1.1.1. Trup

Trup je izrađen od akrilne cijevi promjera 95 mm i duljine 550 mm, što osigurava otpornost na tlak do 8 bara. Akril je jedan od najkvalitetnijih polimera (plastičnih materijala), a karakterizira ga, osim transparentnosti i otpornosti, to što je izrazito lagan, puno lakši od stakla. Spojevi su zabrtvljeni pomoću O-prstena i silikonskog brtvila.



Slika 1. CAD model podmornice

U CAD modelu podvodnog vozila prikazan je sustav balastnih tankova s trupom i rubnim poklopcima, koji su projektirani pomoću CAD alata i printani 3D printerom.

1.1.2. Balastni tankovi

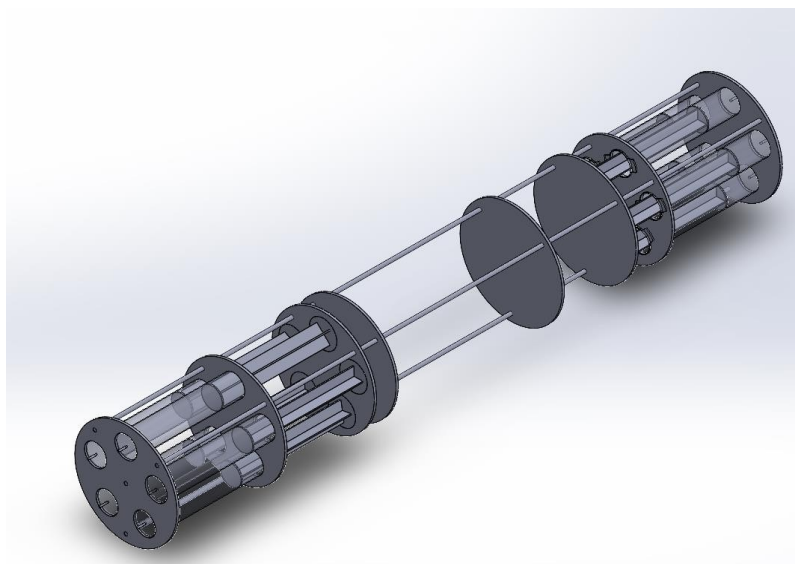
Balastni sustav koristi deset cilindara s klipnim mehanizmom koji omogućuju kontrolu plovnosti. Motori pomiču klipove unutar tankova, čime se omogućuje usisavanje i izbacivanje vode, regulirajući težinu podmornice.

Odabir adekvatnih motora osigurava se proračunom sila koje treba nadvladati, pa se sila trenja klipova zbroji sa silom potrebnom za istiskivanje vode, koja je jednaka umnošku hidrostatskog i unutarnjeg tlaka s površinom klipova:

$$F_m = F_i + F_{tr} = (p_h + p_u) \cdot A + 5 \cdot F_s \quad (1.2)$$

Konačan izbor motora ovisi o momentu koji je potrebno prenijeti i momentu koji navedeni motor može ostvariti:

$$T_s = \frac{d_2}{2} \cdot F_m \cdot \tan(\alpha + \rho) \quad (1.3)$$



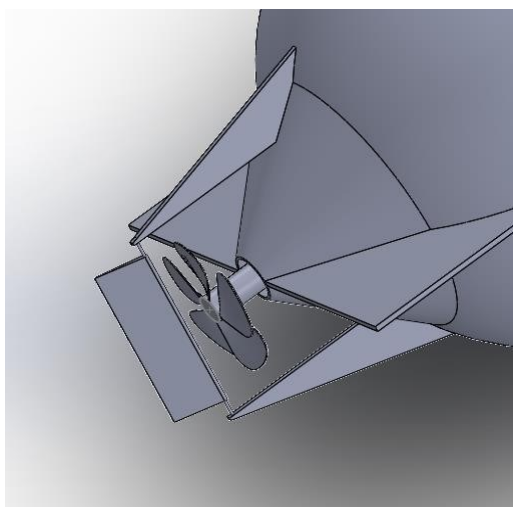
Slika 2. Balastni tankovi

1.1.3. Pogon

Pogon se temelji na istosmjernom motoru RS-385, koji pokreće propeler, kojim potom pretvara rotacijsku energiju motora u pogonsku silu koja pokreće plovilo (ili zrakoplov). Lopatice propelera rotacijom osiguravaju promjenu tlaka u okolnom mediju (u ovom slučaju vodi) te se na taj način generira potisak.

Kormilo se kontrolira pomoću servo motora SG90, omogućujući precizno usmjeravanje podmornice tako što promjenom kuta u odnosu na okolni medij osigurava bočni tlak koji potom “gura” plovilo u željenu stranu.

Korimilo i propeler također su projektirani koristeći CAD alate te su 3D printani, a eksperimentalnim putem dobivene su adekvatne dimenzije propelera.



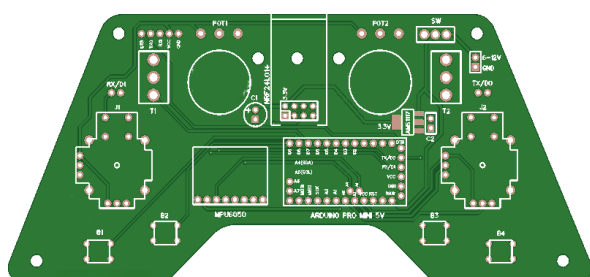
Slika 3. Kormilo i propeler

1.2. Kontroler i upravljanje

Daljinski upravljač razvijen je kao PCB pločica s ugrađenim mikrokontrolerom Adafruit Pro Trinket i bežičnim modulom nRF24L01. Upravljanje se obavlja pomoću upravljačke palice (joysticka) i prekidača, dok mikrokontroler obrađuje podatke i šalje ih podmornici.

Dizajniranje PCB pločice u besplatnom online sučelju EasyEDA, osim jednostavnosti za korištenje, osigurava i izostanak neurednosti koja bi nastupila korištenjem klasičnih žica.

a)



b)

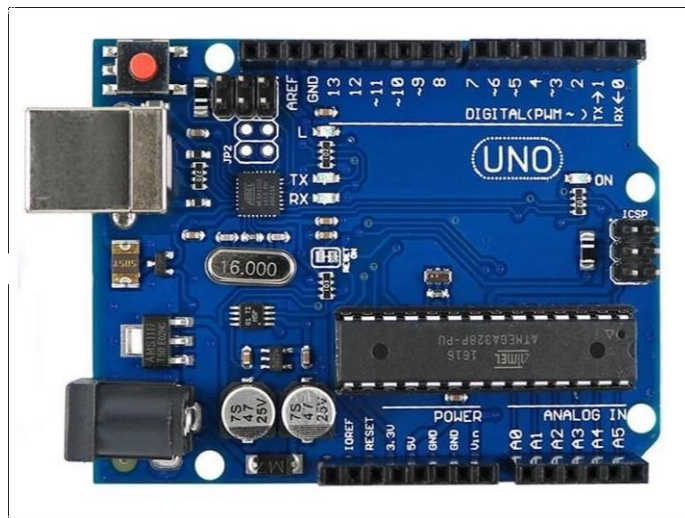


Slika 4. a) PCB – kontroler; b) Realna izvedba kontrolera

Spojevi se na kontroleru osiguravaju lemljenjem komponenti za PCB pločicu, što je potrebno napraviti precizno i pažljivo, jer u suprotnom kontroler neće funkcionirati.

1.3. Komponente sustava

Podmornica koristi mikrokontroler UNO R3 za obradu podataka, koji je baziran na ATmega328 mikrokontroleru. Ima 14 digitalnih pinova (od toga 6 s PWM izlazom), 8 analognih pinova i ICSP header. Sadrži USB priključak (baš kao i klasična Arduino UNO pločica) kojim se može spojiti na računalo i upravljati sustavom.



Slika 5. Mikrokontroler UNO R3

Modul nRF24L01 za bežičnu komunikaciju može se koristiti kao odašiljač i prijamnik te se mora koristiti u paru (za kontroler i za podvodno vozilo). S obzirom da je komunikacija otežana jer je i prijenos radio valova kroz vodu otežan, kabel koji spaja plutaču na površini s podmornicom osigurat će komunikaciju putem zraka, te onda žičani prijenos podataka na samo vozilo. Ovakva izvedba omogućava prijenos puno veće količine podataka, što je i nužno za vozila sa senzorima i kamerom.

BMP280 senzor tlaka će osigurati mjerenje dubine detekcijom hidrostatskog tla, te na taj način omogućiti regulaciju dubine zarona:

$$p_h = \rho \cdot g \cdot h \quad (1.4)$$

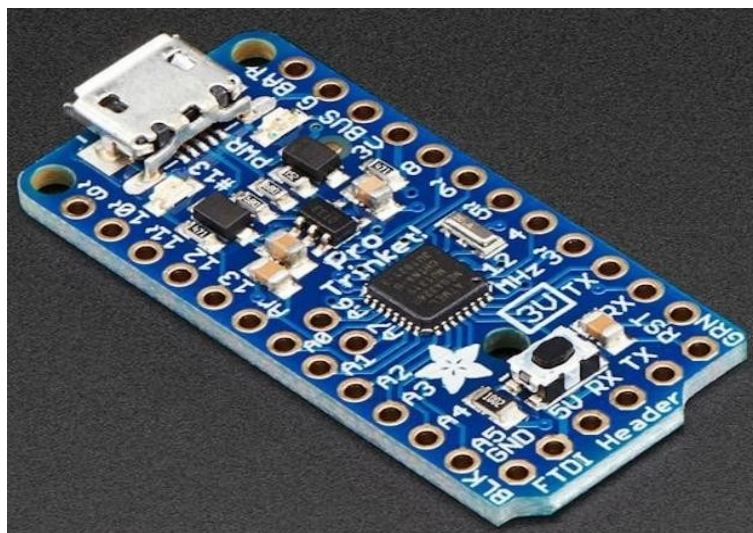
L298N H-most služi za istovremeno upravljanje motorima, a Li-ion baterija kapaciteta 6000 mAh za napajanje.

Daljinski upravljač također koristi nRF24L01 modul, ali s antenom, te ima potenciometre i prekidače za precizno upravljanje podmornicom.



Slika 6. Izgled modula nRF24L01 s pojačalom i antenom

Mikrokontroler u daljinskom upravljaču je Adafruit Pro Trinket, koji je također baziran na ATmega328 čipu. Radi na 12MHz taktu i logici 3V, dakle troši manje struje, a sama pločica se lemi na PCB pomoću pinova.



Slika 7. Mikrokontroler Adafruit Pro Trinket

1.4. Upravljanje podmornice

Komunikacija između podmornice i kontrolera ostvaruje se putem nRF24L01 modula. Kako radio valovi ne prolaze kroz vodu, koristi se plutača na površini koja omogućuje stabilan prijenos podataka. Programiranje je izvedeno pomoću Arduino platforme, gdje se podatci

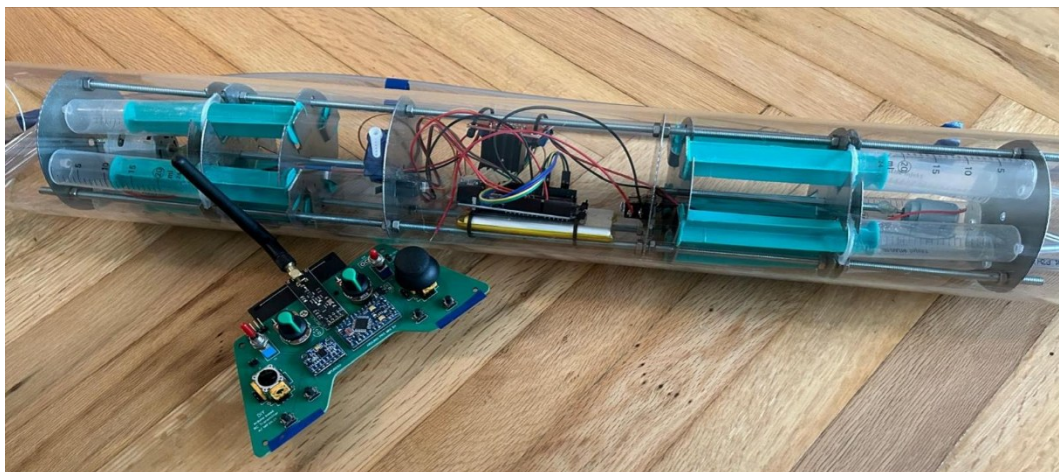
primaju, obrađuju i šalju motorima i balastnim tankovima. Karakteristično za Arduino je to da se moraju uključiti i biblioteke koje će osigurati funkcioniranje pojedinih komponenti.

Kontroler je, iako je izrađivan za ovu svrhu, univerzalni kontroler, koji je u mogućnosti upravljati bilo kakvim vozilom sa sličnim modulom za komunikaciju. Dakle, iako su neke funkcionalnosti kontrolera u ovom trenutku “višak” za ovo podvodno vozilo, one mogu biti korisne kod upravljanja nekih drugih sustava, a i osiguravaju lakši prijelaz kod budućeg unaprijeđenja podmornice.

U samom programiranju važno je točno definirati komunikaciju putem nRF24L01 modula, koji u suprotnom neće funkcionirati. Također je važno dobro postaviti i konfiguraciju za domet, koji bi zbog željenih uvjeta trebao biti velik.

1.5. Rezultati

Testiranja su provedena u kontroliranim uvjetima. Propulzijski sustav omogućio je stabilno kretanje, a sustav balastnih tankova učinkovito regulira dubinu. Identificirani su problemi s brtvljenjem i potrebna su poboljšanja u izboru materijala za spojeve. Također, bežična komunikacija pokazala je ograničenja u dometu, što zahtijeva dodatna poboljšanja.



Slika 8. Realna izvedba podmornice

1.6. Zaključak

Ovaj projekt pruža solidnu osnovu za razvoj malih daljinski upravljanih podmornica. Daljnja poboljšanja uključivat će integraciju kamere i poboljšanje vodonepropusnosti spojeva. Iako su se pojavili izazovi, rad je pokazao da je moguće konstruirati funkcionalnu podmornicu s ograničenim budžetom i lako dostupnim komponentama.

2. ROBOTSKA KOSILICA

Ovaj rad fokusira se na razvoj robotske kosilice prilagođene za rad na teško dostupnim terenima. Kroz detaljnu analizu tržišta i postojeće konkurencije, utvrđeno je da su trenutačne robotske kosilice za takve uvjete često visokih cijena, što predstavlja značajnu prepreku za širu primjenu. Istraženi su različiti pristupi i komponente, uključujući elektromotore, pogonske sustave, gusjenice i druge ključne dijelove, kako bi se optimizirala funkcionalnost i učinkovitost kosilice te su na temelju toga, razvijeni i 3D modeli kosilice.

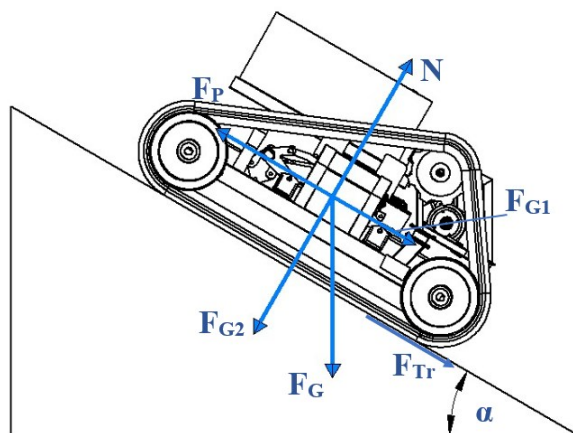
Iako se novi koncept kosilice temelji na postojećim tržišnim rješenjima, identificirana su jeftinija rješenja koja omogućuju smanjenje troškova proizvodnje bez značajnog kompromisa u performansama. Ovo smanjenje troškova čini novi model konkurentnijim na tržištu, pružajući korisnicima kvalitetan proizvod po povoljnijoj cijeni.

Važno je napomenuti da sustav još uvijek nije fizički izgrađen, već je u fazi izrade na temelju 3D modela. Ovaj rad pruža čvrstu osnovu za daljnji razvoj i izradu fizičkog prototipa robotske kosilice. Daljnja istraživanja i testiranja fizičkog modela bit će ključna za potvrđivanje performansi i funkcionalnosti, te za eventualno daljnje poboljšanje dizajna i smanjenje troškova proizvodnje.

2.1. Proračun i izbor komponenti

2.1.1. Proračun potrebne snage elektromotora

Jednostavan proračun elektromotora proveden je da bi se dobili okvirni podaci o traženom maksimalnom okretnom momentu pogonskog vratila i maksimalnoj kutnoj brzini pogonskog vratila. Brzina transportera će se regulirati preko upravljačkog sklopa koji će brzinu vrtnje, a time i okretni moment prilagođavati zahtjevima korisnika.



Slika 9. Plan sila na kosini

Najveće opterećenje EM je pod najvećim kutom, a pretpostavljeni koeficijent trenja podloge je $\mu=0,375$.

Zadane veličine:

$m_{uk} = 350 \text{ kg}$ - ukupna masa uređaja,

$\mu = 0,375$ - koeficijent trenja podloge,

$\alpha = 50^\circ$ - maksimalni predviđeni kut nagiba,

$v_{max} = 1.6 \text{ m/s}$ - maksimalna predviđena brzina kretanja.

Sila težine uređaja:

$$F_G = m_{uk} \cdot g = 300 \cdot 9,81 = 2943 \text{ N} \quad (2.1)$$

Sila u smjeru osi x:

$$F_x = F_G \cdot \sin\alpha + F_G \cdot \cos\alpha \cdot \mu \quad (2.2)$$

Sila u smjeru osi y:

$$F_y = F_G \cdot \cos\alpha \quad (2.3)$$

Sila pokretanja uređaja:

$$F_p \geq F_x \quad (2.4)$$

Snaga elektromotora je raspodijeljena na dva dijela, jer je konstrukcija izvedena tako da je svaki pogonski lančanic pogonjen zasebnim elektromotorom.

Snaga elektromotora:

$$P_{EM} = \frac{1}{2} \cdot F_p \cdot v \quad (2.5)$$

Uređaj će imati tri različite brzine kretanja 0,5 m/s, 1,1 m/s i 1,6 m/s, ali za svaku brzinu treba ograničiti mogućnosti uređaja, odnosno nagib na kojem može djelovati.

Tablica 1. Iznos snage za različite brzine pri određenim kutovima

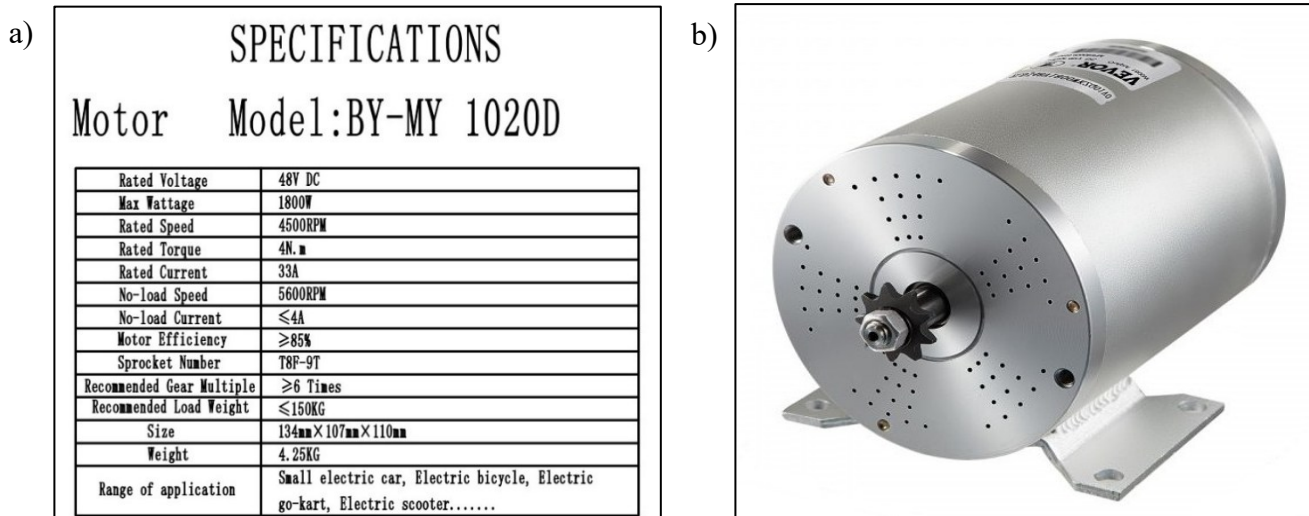
	P_{EM} / W		
α / °	v=0,5 m/s	v=1,1 m/s	v=1,6 m/s
0	313	688	1001
10	453	996	1449
20	579	1274	1853
30	688	1513	2201
40	776	1706	2482
50	840	1848	2687

Iz tablice 1. se može vidjeti snaga za pojedine nagibe uređaja pri željenim brzinama. Na temelju iste uređaj je ograničen na rad pri brzini 1,6 m/s do 10° nagiba, a pri brzini 1,1 m/s do nagiba od 30°. Važno je za istaknuti da se kut nagiba odnosi na kretanju uređaja paralelno sa padnom linijom, kao što je prikazano na slici 9. Također, gubitci nisu uvršteni u ovaj proračun elektromotora za pogon robotske kosilice.

Prema tome snaga elektromotora treba biti minimalno 1,5 kW, kako bi uređaj uspješno savladao uvjete u kojima će raditi.

2.1.2. Odabir elektromotora

Za postizanje traženih zahtjeva odabran je istosmjerni elektromotor tvrtke VEVOR model BY-MY 1020D, koji ima nazivnu snagu od 1800 W.

**Slika 10.** a) Tehničke karakteristike motora; b) Izgled motora

2.1.3. Odabir pogonskih komponenti

Za ovakvu konstrukcijsku izvedbu odabrane su gusjenice proizvođača TerraTrack, koje su adekvatne za zahtjevne terene na kojima će kosilica raditi. Odabrani model je TerraTrack 180x72x39 prikazan na slici 11. Ojačane su čeličnim umetcima koji su raspoređeni korakom od 72 mm, ukupno ih je 39, dok je širina gusjenice 180 mm.



Slika 11. Gusjenice

Odabran je lančanik koji se koristi u kombinaciji sa gore navedenim gusjenicama, a lančanik je komponenta za utovarivač na gusjenicama BOBCAT MT55.

Karakteristike lančanika:

- kinematski promjer lančanika $d_{wp} = 188,15 \text{ mm}$
- korak lančanika = 72 mm
- broj zubi = 8
- unutarnji promjer = 32 mm



Slika 12. Pogonski lančanik

Kutna brzina pogonskog lančanika:

$$\omega_{pl} = \frac{2v_p}{d_{wp}} \quad (2.6)$$

Potrebiti moment pogonskog lančanika:

$$M_{pl} = \frac{P_p}{\omega_p} \quad (2.7)$$

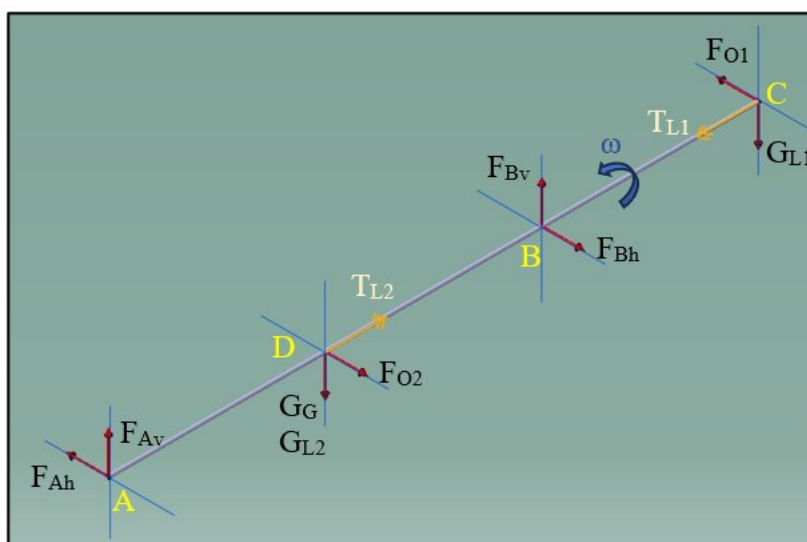
U tablici 1. ograničena je potrebna snaga uređaja na 1500W, a samim time i kut nagiba za pojedini slučaj, pa iz toga proizlazi da će najveći moment biti pri nagibu od 50°. Stoga P_p iznosi 840 W, što je slučaj pri brzini v_p od 0,5 m/s i na temelju tih podataka, korištenjem gore navedenih jednadžbi, mogu se izračunati vrijednosti:

$$\omega_{pl} = 5,31 \text{ rad/s}$$

$$M_{pl} = 158 \text{ Nm}$$

2.1.4. Proračun pogonskog vratila

Slika 13., prikazuje raspored sila i momenata duž vratila pod uvjetom najvećeg opterećenja, odnosno najvećeg momenta. Pozicije oslonaca prikazane su točkama A i B, a pozicije lančanika prikazane s točkama C i D. U nastavku slijedi proračun sila u osloncima te dimenzioniranje vratila.



Slika 13. Shematski prikaz opterećenja vratila

G_{L1}	47 N	težina pogonskog lančanika
F_{oL1}	N	obodna sila lančanika 1
T_{L1}	158 Nm	moment lančanika 1

G_{L2}	60 N	težina pogonskog lančanika
F_{oL2}	N	obodna sila lančanika 2
T_{L2}	158 Nm	moment lančanika 2
G_G	120 N	težina koju stvara gusjenica
d_{L1}	222,53 mm	promjer lančanika 1
d_{L2}	188,15 mm	promjer lančanika 2
F_{Av}	N	radijalna sila oslonca A u vertikalnoj ravnini
F_{Ah}	N	radijalna sila oslonca A u horizontalnoj ravnini
F_{Bv}	N	radijalna sila oslonca B u vertikalnoj ravnini
F_{Bh}	N	radijalna sila oslonca B u horizontalnoj ravnini
l_{AD}	60 mm	duljina od oslonca A do točke D
l_{BD}	60 mm	duljina od oslonca B do točke D
l_{AC}	120 mm	duljina od oslonca A do točke C

Obodna sila lančanika:

$$F_{0i} = \frac{2 \cdot T_{Li}}{d_{Li}}, i = 1,2 \quad (2.8)$$

Suma sila u vertikalnoj (x-z) ravnini:

$$G_G + G_{L1} + G_{L2} - F_{Av} - F_{Bv} = 0 \quad (2.9)$$

Suma momenata oko točke A:

$$-(G_G + G_{L1}) \cdot l_1 - G_{L2} \cdot l_2 + F_{Bv} \cdot l_{AB} = 0 \quad (2.10)$$

Uvrštavanjem vrijednosti u izraze (2.9) i (2.10) dobiva se:

$$F_{Av} = 66 \text{ N}$$

$$F_{Bv} = 161 \text{ N}$$

Suma sila u horizontalnoj (x-z) ravnini:

$$F_{02} - F_{Ah} - F_{01} + F_{Bh} = 0 \quad (2.11)$$

Suma momenata oko točke A:

$$F_{02} \cdot l_A - F_{01} \cdot (l_A + l_C) + F_{Bv} \cdot (l_A + l_B) = 0 \quad (2.12)$$

Uvrštavanjem vrijednosti u izraze (2.11) i (2.12) dobiva se:

$$F_{Ah} = 1549,5 \text{ N}$$

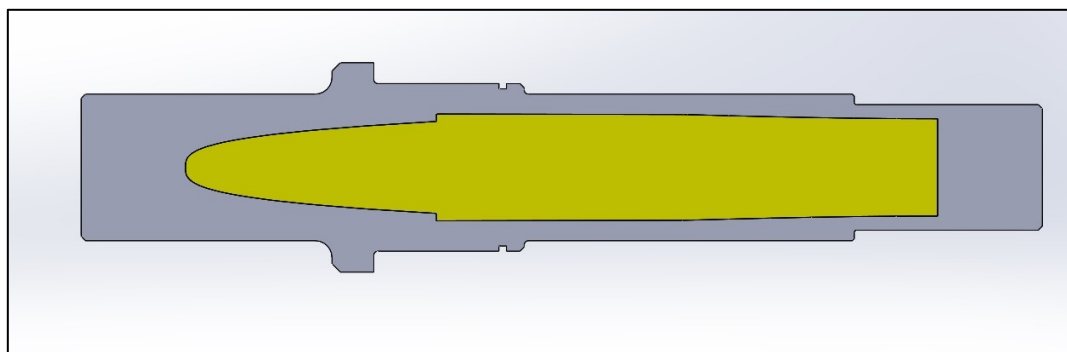
$$F_{Bh} = 1290 \text{ N}$$

Ukupne sile u osloncima iznose:

$$\begin{aligned} F_A &= \sqrt{F_{Av}^2 + F_{Ah}^2} = 1551 \text{ N} \\ F_B &= \sqrt{F_{Bv}^2 + F_{Bh}^2} = 1300 \text{ N} \end{aligned} \quad (2.13)$$

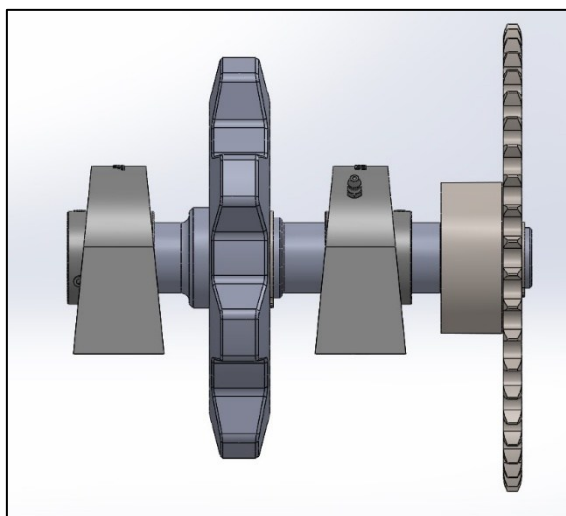
Prema izračunatim vrijednostima odabiru se ležaji SYF 35 TF, odnosno sklop ležaja i kućišta od proizvođača SKF, koji je namijenjen za vratilo promjera 35 mm.

Daljnji proračun omogućio je vizualni prikaz idealne linije vratila te određivanje promjera vratila i time je napravljeno stupnjevano vratilo koje je prikazano na slici 14., a na kojoj je idealno vratilo istaknuto žutom bojom.



Slika 14. Stupnjevanje vratila

Upravo na ovo vratilo ugrađuje se pogonski lančanik koji pokreće gusjenicu samog uređaja, a još na vratilo dolazi i lančanik oznake ISO 606 10B-44 zajedno sa ležajevima. Prikaz podsklopa pogonskog lančanika dan je na slici 15.



Slika 15. Podsklop pogonskog lančanika

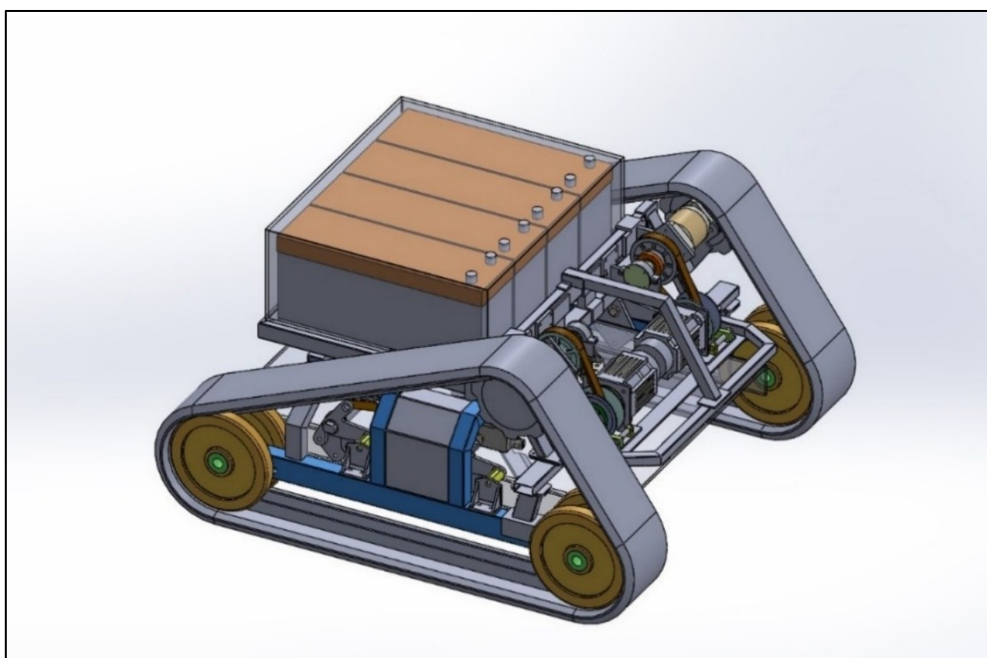
2.2. Konstrukcijska razrada

2.2.1. Prva verzija 3D modela

Izrađeni CAD model je zapravo koncept koji uvelike pomaže u vizualizaciji uređaja i shvaćanju problema tijekom izrade te nabave komponenti. Glavne komponente koje treba istaknuti su svakako baterije i to 4 baterije LiFePO₄ od 12V koje zajedno spojene imaju kapacitet od 10 kWh te zajedno imaju masu od 100 kg.

Na slici 16. prikazane su baterije (4 kvadra) te pogonski sustav koji se sastoji od motora (1,8 kW), remenskog prijenosa, planetarnog reduktora i pogonskog lančanika. Konstrukcija je izrađena od kvadratnih i pravokutnih cijevi.

Model jasno prikazuje uređaj, ali otkriva nedostatke – nema mehanizam za zatezanje gusjenica, a baterije su prevelike i skupe. Planetarni reduktor omogućuje moment od 200 Nm, no zbog visoke cijene potrebno je razmotriti alternativno rješenje prijenosa.

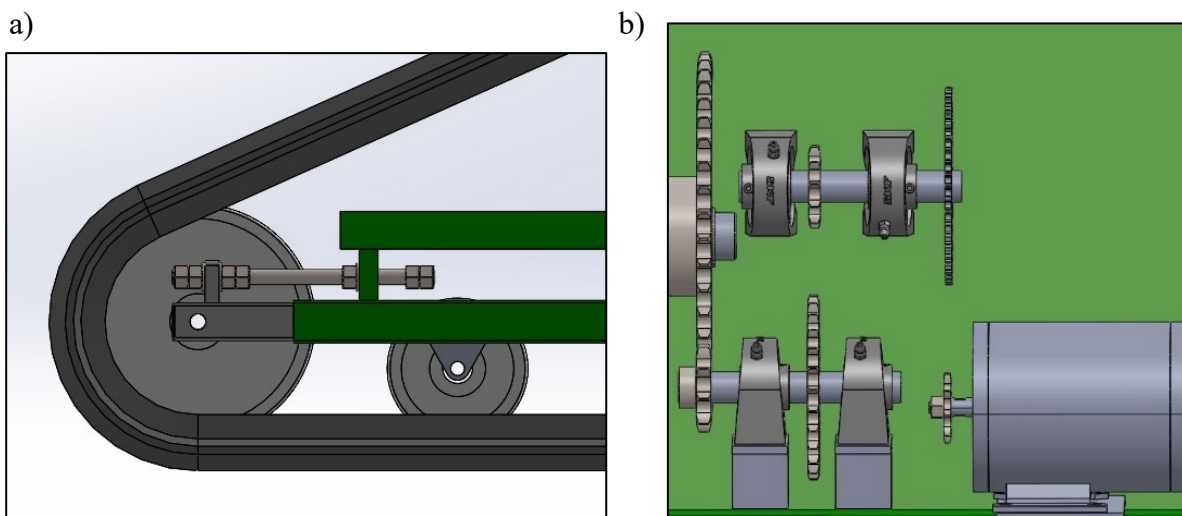


Slika 16. Prva verzija modela

2.2.2. Rješenje problema prve verzije

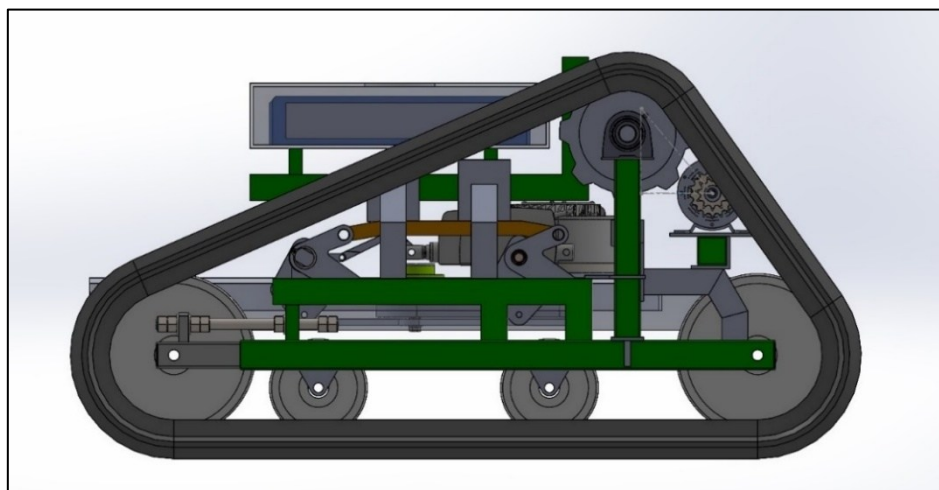
Ovaj dio rada prikazuje rješenja za probleme prve verzije uređaja: zatezanje gusjenice, masa i dimenzije baterije te pogonski sustav. Mehanizam zatezanja koristi klizni spoj kvadratnih profila, gdje pomicanjem prednjeg kotača ulijevo dolazi do zatezanja gusjenice, osiguravajući pravilan rad uređaja. Teška baterija zamijenjena je lakšom Li-Ion baterijom od 5 kWh, mase 20 kg, što je pet puta lakše od prethodne verzije. Time se smanjuje ukupna masa i povećava

energetska učinkovitost. Planetarni reduktor zamijenjen je lančanim prijenosom zbog uštede prostora i nižih troškova. Sustav s tri lančana para omogućuje dovoljan moment za savladavanje prepreka, uz deset puta manju cijenu od planetarnog reduktora.



Slika 17. a) Mehanizam zatezanja gusjenice; b) Sustav lančanika

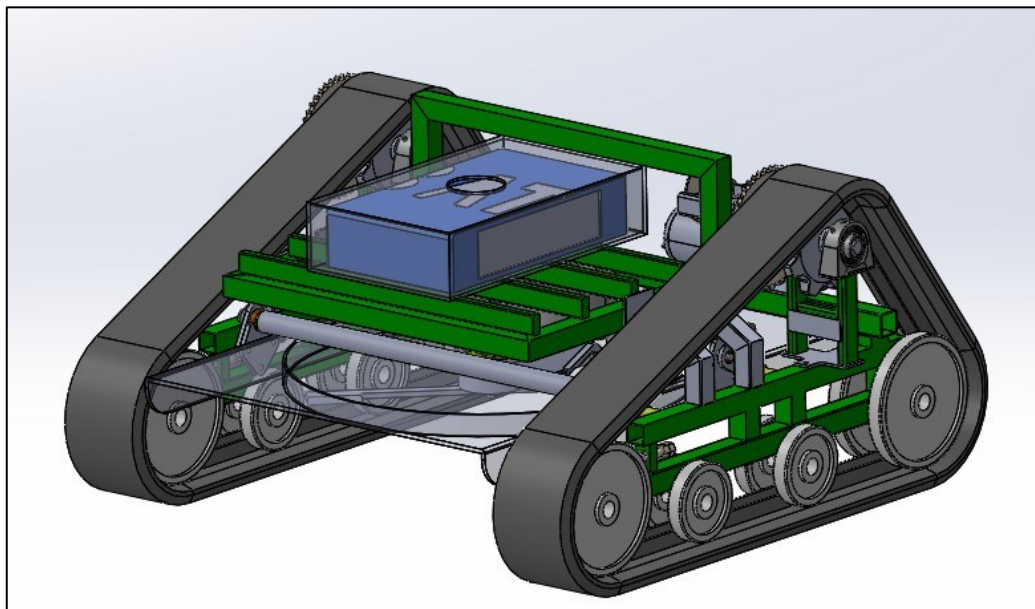
Primjenom gore navedenih rješenja uz doradu ili izradu novih komponenti nastala je druga verzija koja je već puno bliže finalnom izgledu uređaja. Uz prethodno navedena rješenja, napravljena je potpuno nova verzija uređaja, koja ima svoje prednosti u odnosu na prethodnu.



Slika 18. Druga verzija modela, pogled 1

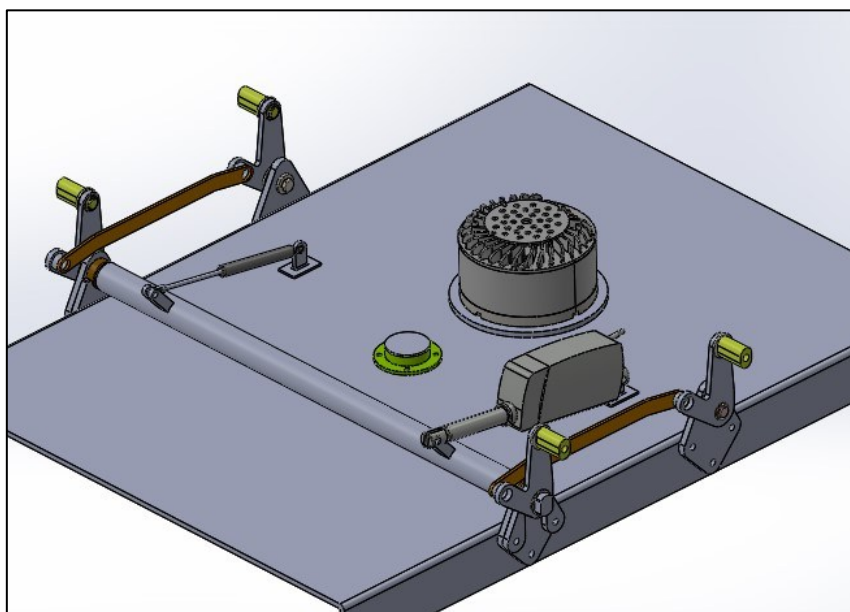
Velika prednost ove verzije sadržana je u činjenici što se cijeli sklop uređaja može napraviti iz par velikih podsklopova, primjerice cijela bočna strana zajedno s gusjenicom može se potpuno neovisno sastaviti od ostatka konstrukcije i naknadno povezati sa srednjim nosačima. To nije

bio slučaj kod verzije 1, kod koje je montiranje gusjenica uvjetovano sa spajanjem bočnih komponenti poprečnih nosača, odnosno pogonski lančanic montirao bi se direktno na reduktor, a reduktor se montira na poprečni nosač.



Slika 19. Druga verzija modela, pogled 2

Sklop za rezanje i namještanje visine napravljen je od četiri glavne komponente, a to su čelična školjka malčera, nož za košnju, elektromotor za košnju i linearni aktuator.



Slika 20. Sklop za košnju i namještanje visine

Plinska opruga smanjuje opterećenje na linearni aktuator i time olakšava spuštanje i podizanje tereta, u ovom slučaju konstrukcije čiji je glavni "utež" čelična školjka mase 50 kg, debljine ploče 6 mm, a izrađena je od čelika S235JR.

Linearnim aktuatorom s hodom od 100 mm, omogućeno je namještanje na željenu visinu košnje u rasponu od 50 do 190 mm.

Podsklop za košnju sastoji se od elektromotora, remenica, remena, vratila, dva ležaja i na kraju noža za košnju koji je ovdje pojednostavljeno prikazan. Sve komponente osim elektromotora nalaze se unutar zaštitnog poklopca.

2.2.3. Popis komponenti

Baterija ISIR 5 kWh

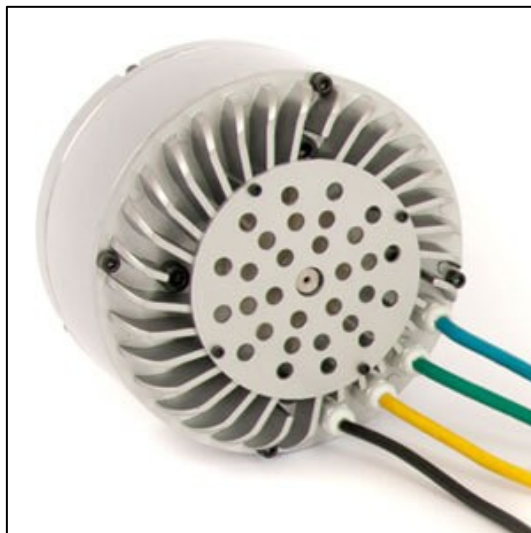
Baterija proizvođača ISIR elektronika osigurava visoku pouzdanost i trajnost, što je čini idealnom za projekte poput robotskih kosilica te omogućava stabilne performanse kroz dugi period upotrebe.

Tablica 2. Tehnički podatci baterije

Dimenzije [mm]	495x290x105	Masa [kg]	20
Nazivni napon [V]	48	Životni vijek [ciklusi]	1000
Kapacitet [Ah]	100	Nazivna struja punjenja [A]	15
Unutarnji otpor [mΩ]	< 20	Nazivni napon punjenja [V]	54.6
Napon prazne baterije [V]	39	Zaštita od kratkog spoja	DA
Napon pune baterije [V]	54,6	Kapacitet [kWh]	5



Slika 21. Baterija 5 kWh

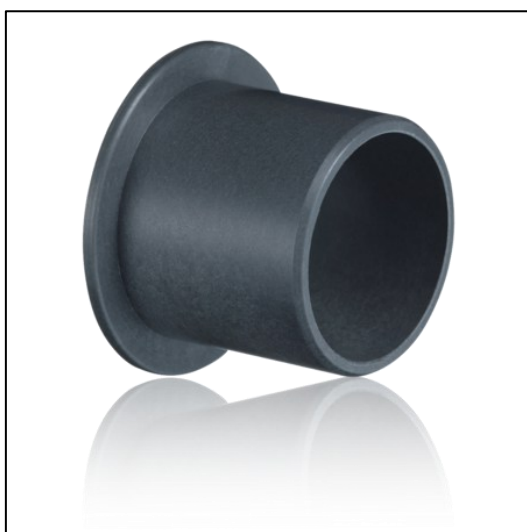


Slika 22. Elektromotor za košnju [7]

Ostale komponente:

- Pogonski elektromotor - elektromotor tvrtke VEVOR model BY-MY 1020D, koji ima nazivnu snagu od 1800 W.
- Elektromotor za košnju je istosmjerni motor bez četkica snage 3 kW, nazivnog napona 48 V, nazivne struje 80 A, a masa mu iznosi 7,6 kg. Odabrani model je BLDC HPM-3000B
- Linearni aktuator LA23 je mali, ali vrlo snažan aktuator dizajniran da može podnijeti maksimalno opterećenje od 2.500 N. Njegova osnovna karakteristika je kompaktan dizajn, što ga čini posebno pogodnim za primjene gdje je veličina uređaja od ključne važnosti.
- Čelični profili - za izradu konstrukcije većinom su korištene kvadratne čelične cijevi dimenzija 45 i 40 mm s debljinom stijenke 2,5 mm te pravokutne čelične cijevi dimenzija 40x20x2,5 mm.
- Kotači - korišteni su poliamidni kotači promjera 250 i 150 mm, velike nosivosti, ali su bez ležajeva, pa je potrebno kotače preraditi i ugraditi adekvatne ležajeve.
- gusjenice
- radijalni, klizni ležajevi, blokovi s ugrađenim ležajevima
- vratila, pera
- vijci, matice
- klizni ležajevi
- lanci i lančanici norme ISO 606

- čelični limovi različitih debljina
- mikroprocesor za upravljanje sustavom
- kontroleri za elektromotore
- ostala elektronika
- poklopci za kotače
- pneumatska opruga (kod mehanizma za namještanje visine)
- remen i remenica
- navojna šipka (kod mehanizma za zatezanje gusjenice)



Slika 23. Klizni ležaj [8]



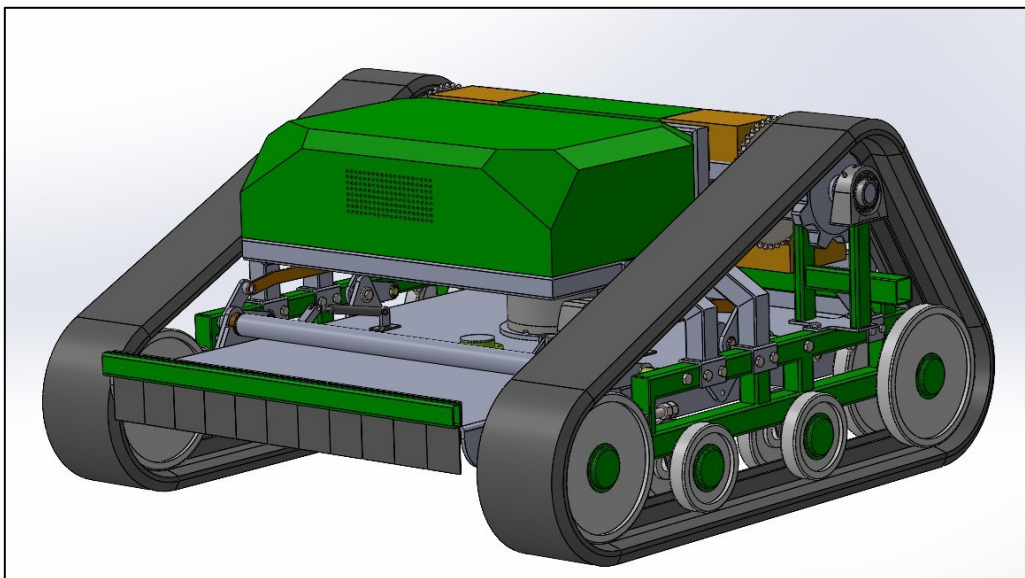
Slika 24. Plinska opruga [9]



Slika 25. Lančanic ISO 606-10B-43 [10]

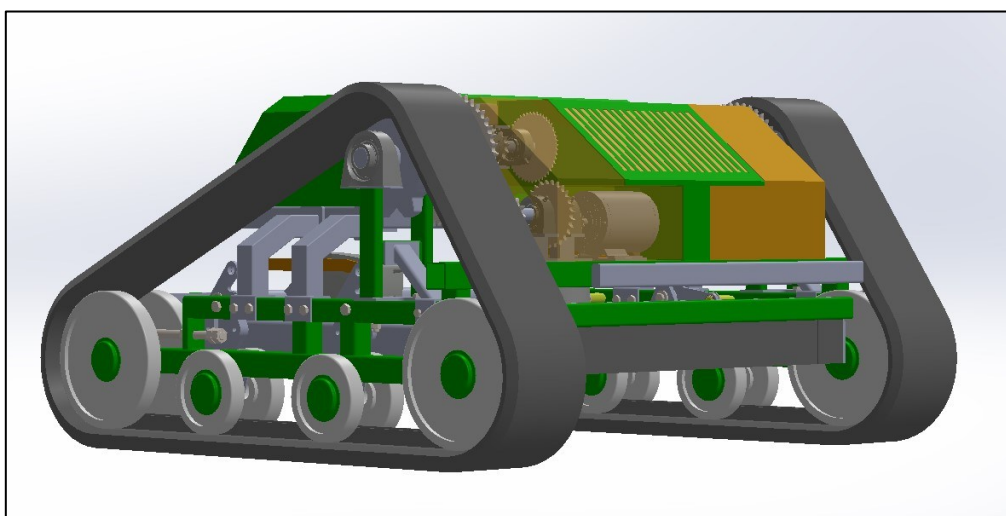
2.2.4. Konačna verzija kosilice

Na sljedećim slikama prikazano je konačno konstrukcijsko rješenje za robotsku kosilicu na gusjenicama, koja je prošla kroz razne izmjene i poboljšanja. Kao što se može vidjeti, baterija je zaštićena od vanjskog utjecaja pomoću oklopa napravljenog od lima debljine 2 mm, a unutar oklopa ostaje dovoljno mjesta za dodatnu elektroniku.



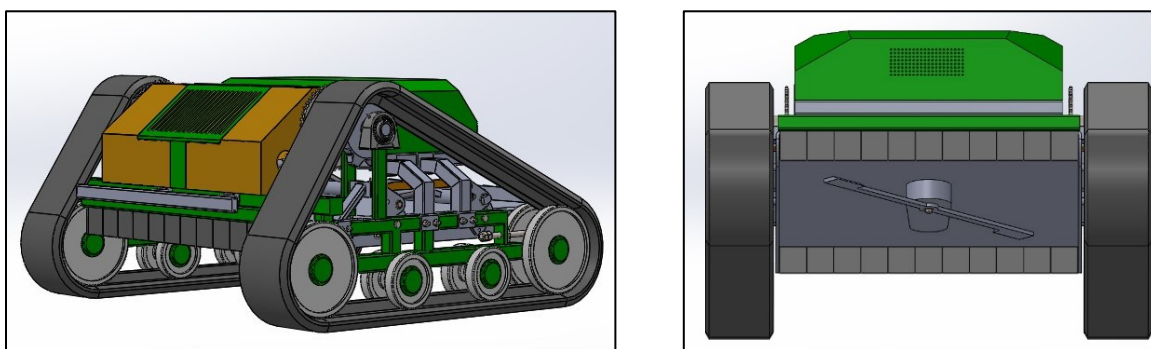
Slika 26. Konačna verzija sustava, pogled 1

Također, na stražnji dio kosilice dodani su zaštitni oklopi za motor i ostatak pogonskog sustava, dok za vanjski lančani par još treba napraviti adekvatnu zaštitu.



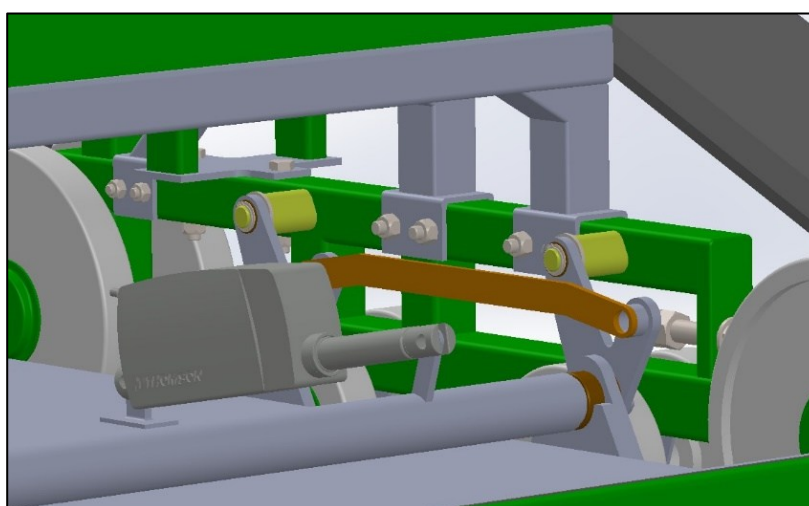
Slika 27. Konačna verzija sustava, pogled 2

Gumene zaštite zajedno s cijevima profila 40x20x2,5 mm, ugrađene su na prednju i stražnju stranu čelične školjke malčera, čime se onemogućuje izbacivanje trave, kamenja ili sličnih krhotina van profila kosilice prema operateru ili drugim objektima. Dok su cijevi dio sklopa gumenih zaštita, ali i savijaju visoku travu i drugo raslinje prilikom košnje, kako bi kosilica lakše prešla preko njih, te kako bi smanjile opterećenje na mehanizmu za rezanje. Također, pružaju i zaštitu od udara s drvećem i sličnim preprekama, pa je i na stražnjem dijelu dodan još jedan "branik" napravljen od pravokutne cijevi 40x20 mm, prikazan na slikama 28. i 29. sivom bojom kako bi spriječio moguća oštećenja zaštitnih oklopa i komponenti unutar njih.



Slika 28. Konačna verzija sustava – pogled straga i odozdo

Unutar zelenog zaštitnog oklopa s narančastim prorezima, smještena između dva narančasta zaštitna oklopa, nalazi se dodatna elektronika potrebna za upravljanje uređajem. Na slici 29. prikazan je sustav za regulaciju visine košnje te njegova implementacija u ostatak konstrukcije.



Slika 29. Mehanizam za dizanje – prikaz podsklopa

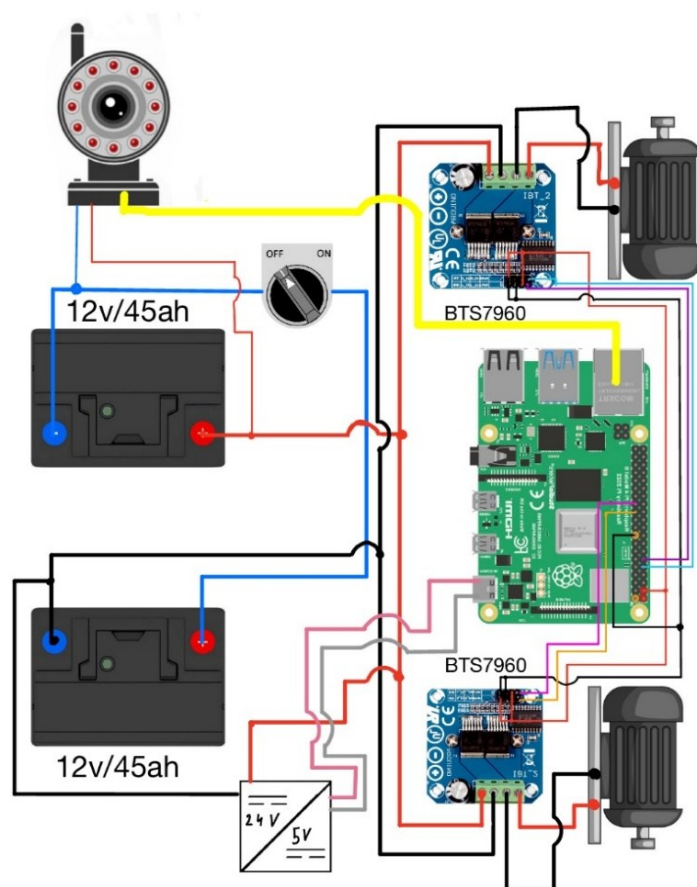
3. MOBILNI ROBOT ZA GAŠENJE POŽARA

Vatrogasna služba je rizičan posao pri kojem se vatrogasci svakodnevno suočavaju s različitim opasnostima, stoga je potrebno te opasnosti svesti na minimum. U tu svrhu sve više se koriste mobilni vatrogasni roboti koji su najčešće skupi i velikih dimenzija. Za omogućavanje široke primjene vatrogasnih mobilnih robota u svim aspektima vatrogastva potrebno je projektirati mobilni vatrogasni robot manjih dimenzija, a samim time i puno manje cijene.

Temeljni cilj ovog rada je konstruiranje i izrada prototipa mobilnog robota koji će fokus imati na rješavanju nedostataka koji su vidljivi na već postojećim sustavima. Cijenu robota je potrebno značajno smanjiti kako bi se omogućilo da i manja dobrovoljna vatrogasna društva mogu imati pristup ovakvom tehnološkom poboljšanju. Također, mora se omogućiti jednostavni transport samog sustava na mjesto intervencije kako bi se što brže moglo početi s gašenjem te uz to izbjeći dodatna ulaganja takvih društava u opremu koja je potrebna za redovite intervencije. Kako bi se to izbjeglo sustav mora biti manjih dimenzija te sustav mora koristiti električni pogon zbog nedostataka motora s unutrašnjim izgaranjem. Rukovanje sustavom mora biti jednostavno i intuitivno kako bi se izbjegla dugotrajna obuka operatera. Sustav također mora biti dizajniran tako da se može kretati u zatvorenim prostorima, što uključuje kretanje po stepenicama, te se mora moći kretati po terenima većih nagiba. Ispunjavanje ovih uvjeta bi omogućilo široku integraciju takvih robota u sadašnji Vatrogasni sustav RH, kao i vatrogasne sustave ostalih država. Tada se takvi roboti više ne bi vezali samo uz specijalne vatrogasne postrojbe, već bi postali dostupni svim vatrogasnim postrojbama i time značajno smanjili rizik s kojim se vatrogasci svakodnevno susreću.

3.1. Električni sustav

Za omogućavanje kretanja ovog mobilnog robota koristit će se električna energija zbog toga što na nju ne utječu smetnje kao što je okolina siromašna kisikom. Također, električni motori se smatraju robusnijim od primjerice motora s unutarnjim izgaranjem te samim time doprinose boljoj stabilnosti i pouzdanosti sustava. Zbog lakšeg razumijevanja načina funkcioniranja sustava, potrebno je izraditi elektroničku shemu sustava i odabrati komponente koje će biti korištene pri izradi sustava, uz provjeru ispunjavaju li te komponente navedene ciljeve rada.



Slika 30. Elektronička shema robotskog sustava

3.1.1. Proračun uskladištene energije

Potencijalni rad uskladišten u pojedinom akumulatoru moguće je proračunati pomoću sljedeće jednadžbe:

$$W = U \cdot I \cdot t = 12V \cdot 47A \cdot 1h = 564 Wh \quad (3.1)$$

Spajanjem dvije takve baterije u seriju dobit će se ukupni iznos koji će sustav moći koristiti:

$$W_{uk} = U_{ser} \cdot I \cdot t = 24V \cdot 47A \cdot 1h = 1128 Wh \quad (3.2)$$

3.1.2. Proračun potrebnog momenta motora

Za pokretanje sustava potrebni su motori koji će zadovoljiti potrebe snage. Estimacijom, uzimajući u obzir tražene mogućnosti i dimenzije robota, određeno je da će konačna masa

sustava iznositi oko 50 kg. Dodatni teret na sustav bit će masa vode i cijevi koju će robot morati vući od navalnog vozila do mjesta požara.

Proračun mase vode u cijevi računa se prema sljedećoj formuli:

$$m_{\text{vode}} = \rho \cdot V_{\text{vode}} = \rho \cdot \frac{d_{\text{cijevi}}^2 \pi}{4} \cdot L \quad (3.3)$$

Najčešće korištena cijev u vatrogastvu je cijev oznake C čiji unutarnji promjer iznosi 52 mm, a ta cijev zadovoljava i očekivane zahtjeve sustava.

Gustoća vode ρ pri sobnoj temperaturi iznosi 1000 kg/m^3 .

Pretpostavlja se da će robot djelovati u radnom prostoru od 70 m od mjesta na kojem se nalazi navalno vozilo.

Uvrštavanjem ovih vrijednosti u prethodnu formulu dobiva se da masa vode u cijevi iznosi:

$$m_{\text{vode}} = 1000 \cdot \frac{(52 \cdot 10^{-3})^2 \pi}{4} \cdot 70 = 148 \text{ kg} \quad (3.4)$$

Ukupna masa koju robot mora moći pokrenuti iznosi otprilike 200 kg.

Dok brzina robota nije od prevelikog značaja, bitno je da motori mogu isporučiti dovoljan moment koji će moći pokrenuti toliku masu.

Uz odabrane motore dolazi već ugrađeni redukcijski prijenosnik prijenosnog omjera 9,7:1, stoga će ukupan moment na izlaznom vratilu motora iznositi:

$$M_{izl} = M_n \cdot i = 1,12 \cdot 9,7 = 11,9 \text{ Nm} \quad (3.5)$$

Moment na izlaznom vratilu nije zadovoljavajući pa je potrebno konstruirati dodatni reduktor:

$$M_{izl2} = M_{izl} \cdot i_2 = 11,9 \cdot 3,46 = 41,2 \text{ Nm} \quad (3.6)$$

uz prijenosni omjer

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{45}{13} = 3,46 \quad (3.7)$$

pri čemu je

z_2 – broj zubi gonjenog zupčanika

z_1 – broj zubi pogonskog zupčanika

pa konačni pogonski moment samog robota iznosi :

$$M_{uk} = E \cdot M_{izl2} = 2 \cdot 41,2 = 82,4 \text{ Nm} \quad (3.8)$$

pri čemu je

E – broj motora (u izradi 2, uz napomenu da postoji mogućnost korištenja 4 motora)

3.2. Upravljački sustav

Mobilni vatrogasni robot radi na principu daljinskog upravljanja od strane operatera. Daljinska veza se ostvaruje pomoću mreže pa je moguće upravljati sustavom s većih udaljenosti nego što primjerice omogućuje Bluetooth veza. Upravljački uređaj Raspberry Pi koristi programski jezik Python za izvođenje i pisanje programa. Prilikom uključivanja uređaja preko sklopke dolazi i do automatskog pokretanja zadanog programa, pa je samo pokretanje sustava iznimno brzo. Upravljački program napisan je u programskom jeziku Python.

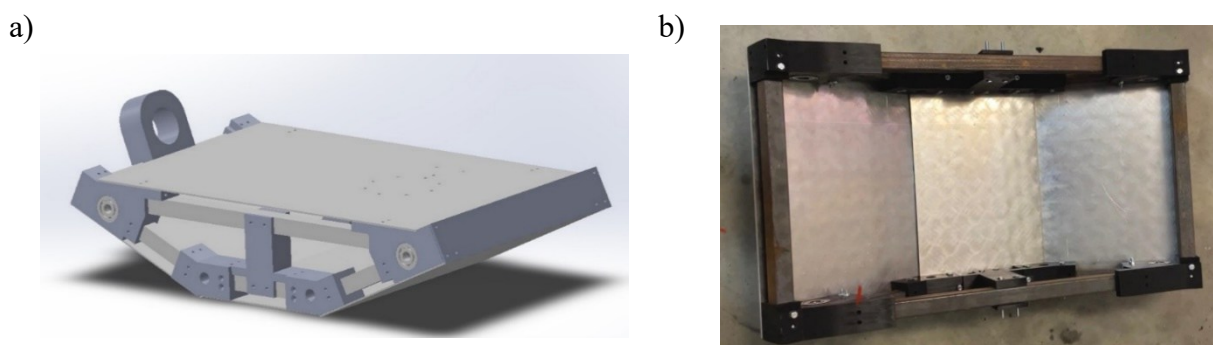
3.3. Izrada sustava

Prilikom izrade sustava nužno je voditi računa o zahtjevima nosivosti pojedinog elementa, te njihovom načinu izrade, a time posljedično i cijeni. Zbog zahtjevnosti izrade pojedinih elemenata kao i cijeni samog prototipa pojedini dijelovi će biti izvedeni tehnikom 3D tiska, ali pri konačnom proizvodu ti bi se dijelovi izrađivali tehnikom lijevanja pojedinih vrsta materijala u kalupe.

3.3.1. Konstrukcija i izrada nosive šasije

Zbog pojedinih zahtjeva za čvrstoćom prilikom velikih sila koje djeluju na konstrukciju, a time posljedično i velikih naprezanja na sam materijal izrade, nosiva će šasija robota biti izrađena od šupljih čeličnih cijevi dimenzija 30x30 s debljinom stijenke 5 mm, spojnice koje omogućuju lakše spajanje dijelova u čvrstu cjelinu te zaštitnih ploča koje služe za zaštitu komponenata unutar same šasije. Prilikom izrade šasije vodilo se računa o veličinama pojedinih komponenti koje će biti smještene unutar same šasije te konstrukcijskih zahtjeva kao što je maksimalna širina robota koja mu dozvoljava kretanje unutar skučenih zatvorenih prostora. Zbog jeftinije i brže izrade prototipa robota, spojnice će biti izrađene iz PETG polimera, uz napomenu da bi se one u izradi konačnog proizvoda izrađivale pomoću tehnike lijevanja aluminija u kalup zbog zahtjeva na dužu trajnost gotovog proizvoda te njegove otpornosti na visoke temperature. Kao zaštitni lim koristit će se takozvani rebrasti aluminijski lim koji ima čestu primjenu u konstrukcijama za vatrogasne svrhe. Također, u neke od spojnice potrebno je uprešati par SKF 6302 ležaja kroz koje će prolaziti pogonska vratila. Uz to, potrebno je na stražnju stranu robota dodati nosač na koji će se spajati cijev za dobavu vode.

Izrada šasije mobilnog vatrogasnog robota sastoji se od 3D ispisa spojnice. Zatim je u 4 bočne spojnice potrebno uprešati po dva SKF 6302 ležaja. Vršiti se i rezanje čeličnih cijevi na određene duljine, kao i bušenje provrta za spojne vijke. Potrebno je i pripremiti zaštitne aluminijske limove i na njima izbušiti prolazne provrte radi bržeg spajanja dijelova prilikom montaže. Nakon pripreme pojedinih dijelova, slijedi spajanje dijelova u cjelinu, koje se vrši pomoću M6 vijaka. Ukoliko su svi dijelovi točno izrađeni, svi provrti se točno podudaraju, te je montaža iznimno laka i brza što u konačnici smanjuje vrijeme i znanje potrebno za sklapanje proizvoda, a time i posljedično cijenu samog mobilnog vatrogasnog robota.



Slika 31. a) CAD model; b) Šasija mobilnog vatrogasnog robota

3.3.2. Konstrukcija i izrada pogonskog sklopa

Kako bi se robot mogao kretati potrebno je konstruirati i izraditi pogonski sustav mobilnog robota. Zbog određenih zahtjeva zadanih zadatkom, kao što je kretanje po stepenicama ili terenu visokog nagiba, koristit će se pogon gusjenicama. Zbog lakše i jeftinije proizvodnje prototipa članci gusjenica će se izraditi iz PETG polimera pomoću 3D pisača, ali kod konačnog proizvoda potrebno je te članke zamijeniti metalnima. Također su konstruirani i ispisani zupčanici koji odgovaraju utorima na pojedinim člancima te služe za prijenos snage s pogonskog vratila na same gusjenice.

Nadalje, za izradu pogonskog vratila zbog prijenosa velikog momenta i samim time značajnog opterećenja na torziju koristit će se čelik oznake S355J2.

Potrebno je izraditi i nekoliko manjih dijelova koji služe za centriranje i distanciranje pojedinih komponenata. Kako bi se osigurala potrebna nosivost pogonskog sklopa potrebno je u sam sklop uključiti kotače, a kako bi se smanjila kompleksnost izrade, a time i cijena, kotači će biti specificirani element koji je moguće pronaći na tržištu. Također, te kotače je potrebno postaviti na osovine koje su izrađene od kvalitetnog čelika za osovine uz kvalitetnu obradu hrapavosti

površine kako bi se osiguralo klizanje ležaja koji je integriran u same kotače. Takvu je osovinu isto moguće pronaći na tržištu budući da je standardizirana uz pojedini model kotača.

Izrada pogonskog sklopa započinje 3D tiskom pojedinih članaka gusjenica i dijelova koji služe za centriranje i distanciranje pojedinih komponenata. Nadalje, potrebno je nabaviti kotače i pripadajuće osovine. Ti su dijelovi naručeni sa internet stranice tvrtke Bauhaus. Sa stranica tvrtke Trgo-Agencija d.o.o. naručeni su zupčanici s potrebnim brojem zuba. Također je potrebno narezati navoje na pogonsko vratilo pomoću tokarskog stroja. Daljnje sklapanje pogonskog sklopa je jednostavno, a sastoji se od uprešavanja mirujućih osovina u spojnice te postavljanja kotača na te iste osovine. Pogonska vrtila se uprešavaju u postavljene SKF 6302 ležajeve te se osiguravaju pomoću sigurnosnih matica. Zupčanici se ulažu na vratilo te se na njemu osiguravaju pomoću imbus vijaka koji se uglave u pogonska vrtila. Sve se to zajedno osigurava sa parom kontra-zateznih matica na kraju vrtila. Vrš se spajanje pojedinih članaka gusjenica pomoću M6 navojnih šipki te se gusjenice montiraju na pogonske zupčanike.



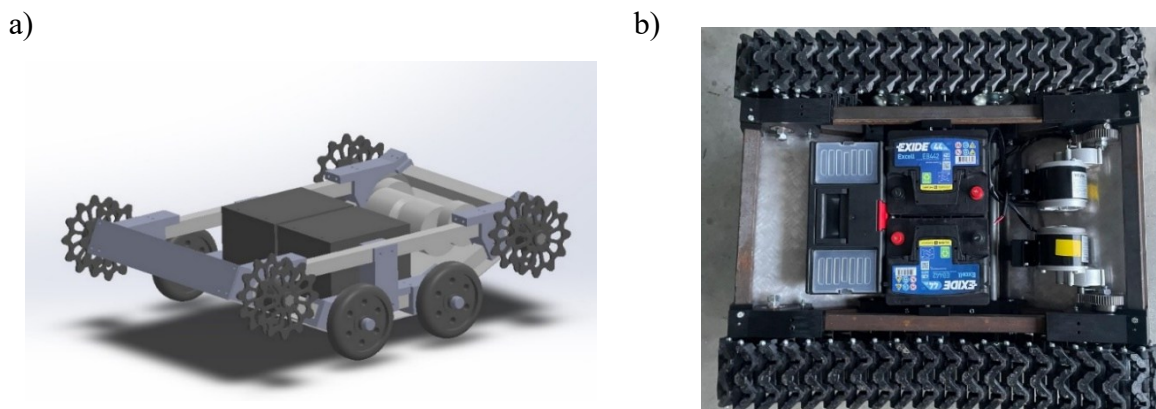
Slika 32. a) CAD model; b) Pogonski sklop

3.3.3. Spajanje električnih komponenata s nosivom konstrukcijom

Nakon izrade nosive konstrukcije s pogonskim sklopom slijedi spajanje i montiranje električnih komponenata u samo kućište vozila. Zapocinje se s montiranjem manjih zupčanika od 13 zuba na samo vratilo Vevor DC elektromotora, a osiguranje se vrši pomoću imbus vijka koji se kroz tijelo zupčanika uzubi u samo vratilo elektromotora. Potom se vrši montaža elektromotora na zaštitnu ploču pomoću 4 M6 vijka uz osiguravanje pomoću sigurnosnih matica. Vrš se umetanje baterija u već predviđeno mjesto i montiranje grebenaste sklopke na zaštitni lim

gornjeg dijela nosivog kućišta. Nakon toga se vrši spajanje električnih komponenata pomoću žica po već ranije predviđenoj električnoj shemi sklopa.

Sljedeće na redu je montiranje upravljačkog uređaja Raspberry Pi 4 u vodootporno kućište i spajanje signalnih žica s uređaja na BTS7960 Drivere. Unutar kućišta potrebno je montirati i spojiti DC-DC pretvarač koji će služiti za prilagodbu napona napajanja upravljačkog uređaja.



Slika 33. a) CAD model; b) Pogonski sklop s montiranim komponentama

3.3.4. Konstruiranje i izrada okretne kupole s vodenim topom

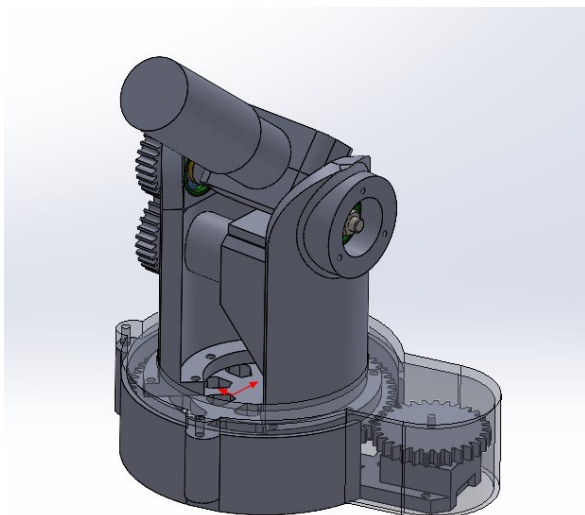
Zadaća okretnog mehanizma je omogućiti dva stupnja slobode kretanja, odnosno dvije rotacije vodenog topa te time postići mogućnost upravljanja vodenim mlazom. Da bi to bilo moguće koristit će se dva koračna motora. Konstrukcija se sastoji od dva stupa koja će u ovom slučaju biti izvedena tehnikom 3D ispisa, dok bi se kod konačnog proizvoda proizvela lijevanjem aluminija u kalup. Potrebno je izraditi i nosač vodene mlaznice koja je također izvedena 3D ispisom. Kako bi se postigao dovoljan moment prilikom rotacije kupole oko z-osi potrebno je izraditi veliki zupčanik od 80 zuba i manji od 30 zuba. Potrebno je izraditi i par identičnih zupčanika od 32 zuba koji će služiti za zakret oko x-osi.

Za rotaciju oko z-osi koristi se jedan Nema 17 koračni motor, a za rotaciju oko x-osi također Nema 17 koračni motor uz napomenu da je na njega potrebno instalirati planetarni prijenosnik s redukcijom iznosa 32:1 koji je standardiziran i lako nabavljiv na tržištu. Cijela se konstrukcija spaja pomoću M6 vijaka.

Slijedi montaža kamere na njeno predviđeno mjesto na lijevom stupu te montiranje cijelog sklopa na gornju zaštitnu ploču uz povezivanje kamere. Povezivanje kamere se vrši povezivanjem naponske žice na mjesto potencijala od 12V i njenog povezivanja s upravljačkim uređajem pomoću LAN kabla. Cijeli sklop se na zaštitnu ploču montira s pomoću M6 vijaka i

sigurnosnih matica. Potrebno je i spojiti izlazne žice koračnih motora sa **TB6600** Driverima koji se montiraju unutar vodootpornog kućišta unutar šasijske mobilnog robota.

a)



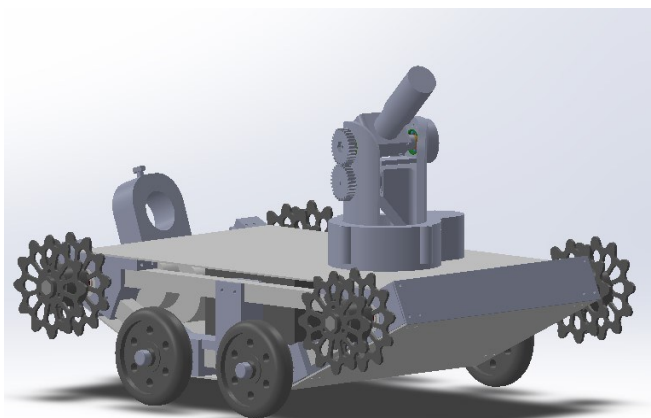
b)



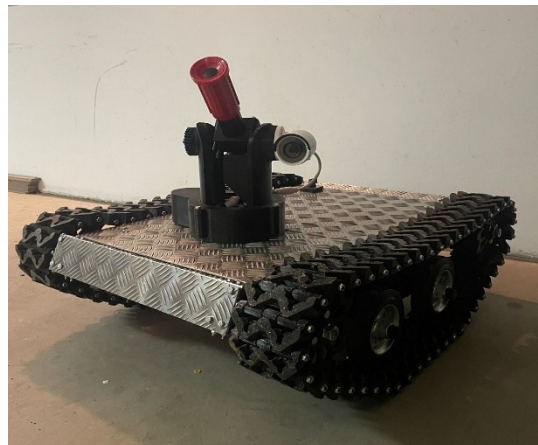
Slika 34. a) CAD model; b) Sklop okretne kupole

Nakon sklapanja okretne kupole slijedi spajanje gornje zaštitne ploče sa samom šasijom. Spajanje se vrši pomoću samoureznih vijaka promjera 6,3 mm. Time završava izrada sklopa, a mobilni vatrogasni robot dobiva svoj konačni izgled, a time i ime „**Firebot**“.

a)



b)



Slika 35. a) CAD model; b) Prototip mobilnog vatrogasnog robota

3.4. Ispitivanje rada sustava

Naposljetku je potrebno ispitati radne mogućnosti sustava. Uključivanjem sklopke se pali signalna lampica na upravljačkom uređaju što nam ukazuje da je cijeli sustav pod naponom. Kreće se s ispitivanjem osnovnog kretanja i pozicioniranja mobilnog robota. Pritiskom na tipku **W** robot se kreće naprijed, pritiskom na tipku **S** robot se kreće unazad, ukoliko se pritisne tipka **A** robot započinje skretanje ulijevo na način da se lijevi motor vrti u smjeru suprotnom od kazaljke na satu, a desni motor u smjeru kazaljke na satu. Ukoliko se pritisne tipka **D** motori se počinju gibati suprotno od načina u kojem se gibaju ulijevo i sam sustav se zakreće u desno. Nakon toga slijedi ispitivanje kretanja topa. Gibanje topa oko z-osi vrši se s pomoću pritiska tipki **G** – lijevo i **H** – desno, a gibanje oko x-osi obavlja se pomoću pritiska tipki **J** – lijevo i **K** – desno. Ukoliko sustav funkcionira na predviđeni način počinje se s ispitivanjem radnih karakteristika sustava. Postavlja se prepreka, u ovom slučaju drvena greda čija visina simbolizira visinu standardnih stepenica, i pokušava se prijeći preko nje.



Slika 36. Ispitivanje radnih karakteristika

Iz testa je vidljivo da sustav lako svladava prepreke. Sama izvedba sustava mu omogućuje da prilikom kretanja po stepenicama jedan dio gusjenica ostane na ravnoj plohi što pridonosi boljem faktoru trenja. Sam moment je dostatan za pokretanje stroja kao i za guranje težih predmeta kao što je vreća pijeska. Upravljanje strojem je intuitivno i lako te se može po potrebi prebaciti na *joystick*. Kamera se zakreće pomicanjem okretne kupole pa operater u svakom trenutku može odrediti smjer gledanja, što poboljšava mogućnost otkrivanja potencijalno opasnih situacija kao i pronalaženje unesrećenih osoba unutar požarom zahvaćenog područja. Na sam zaštitni lim postavljene su led lampice koje svojim bljeskanjem unesrećenom omogućuju informaciju o blizini stroja odnosno pomoći. Dobava vode se vrši pomoću spajanja na navalno vozilo ili cisternu, a sustav bez problema za sobom vuče tlačnu C - cijev.



Slika 37. Ispitivanje sustava s montiranom okretnom kupolom

Robot zbog svojeg niskog težišta, što se postiglo pažljivim pozicioniranjem baterija na najnižu točku, posjeduje mogućnost kretanja po terenima većih nagiba bez opasnosti od prevrtanja.

Članci gusjenica su poslije montaže premazani tekućom gumom kako bi se pospješilo trenje između pojedinog članka i tla, što omogućuje bolji prijenos snage i veću silu stroja.

Čvrstoća i nosivost nosive konstrukcije je ispitana i zadovoljava zadanim uvjetima rada.



Slika 38. Ispitivanje nosivosti sustava

3.5. Zaključak

Ovaj rad potaknuo je moje inženjersko razmišljanje i suočio me sa svom problematikom razvoja kompleksnog robotskog sustava. Konstruiranje samog sustava je dosta zahtjevan posao, ali moje znanje stečeno tijekom prijediplomskog studija uvelike je olakšalo svladavanje tih zadataka. Najzahtjevniji zadatak je bilo odabrati i provjeriti kompatibilnost svih komponenata jer sve komponente konačno moraju biti u mogućnosti raditi zajedno kao jedan funkcionalni sustav. Konstrukcija pogonskog sustava također je bio izazovan zadatak iz razloga što je u mali prostor bilo potrebno smjestiti sve komponente uz vođenje računa o zahtjevima zadatka kao što su kretanje po terenima velikih nagiba ili po stepenicama. Kod konstruiranja sam primijenio znanje koje sam stekao na pojedinim kolegijima uz dodatno istraživanje. Uz stečena i primijenjena znanja s fakulteta, kao što je elektrotehnika, strojarstvo i računarstvo, potrebno je u obzir uzeti i ekonomske aspekte razvoja proizvoda. Ukoliko bi se ovakav robotski sustav komercijalno proizvodio potrebno je pronaći kvalitetne i pouzdane dobavljače komponenti te napraviti financijski plan izrade samog sustava.

Sustav je moguće unaprijediti na puno načina. Daljnji razvoj fokusirao bi se na integraciju različitih senzora kao što su senzori koji detektiraju eksplozivne tvari u okolini sustava. Također, moglo bi se eksperimentirati s djelomičnom autonomijom sustava kako bi se operateru olakšalo upravljanje sustavom prilikom kretanja u nepreglednim uvjetima opožarenog područja. Za tu zadaću mogli bi se postaviti ultrazvučni senzori i lidar koji bi mapirali prostor. Sustav u sadašnjoj formi moguće je unaprijediti dodavanjem još dva elektromotora na prednjoj osovini, ali to dovodi do novih problema u konstruiranju kao što je sinkroniziranje broja okretaja dva motora ugrađena na pogonskoj gusjenici.

Iskustvo i znanje stečeno pri izradi ovog rada je nemjerljivo i neprocjenjivo. Izradom ovakvog rada dobiva se samopouzdanje za daljnji rad i poštovanje prema znanju stečenom kroz obrazovanje, razvija se kritičko razmišljanje i razvijaju metode za rješavanje problema. Praktična izvedba ovakvog sustava je možda zahtjevana, ali se svakako isplati te se sati uloženi u izradu sustava pretvaraju u osobno iskustvo koje je bez prakse teško steći. Smatram da je praktični rad najbolji način za stjecanje novih znanja i iskustava te pretvaranje svih ranije stečenih „teoretskih“ znanja u nešto stvarno i korisno.

4. SUSTAV ZA AUTOMATSKO PUNJENJE I ZATVARANJE BOCA

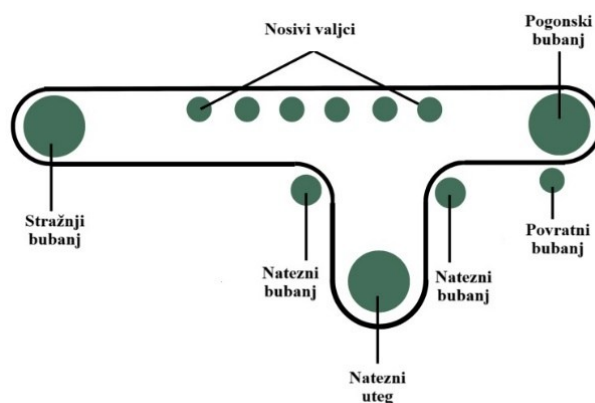
Automatski sustavi za punjenje boca danas su jedan od često korištenih elemenata u industrijskoj proizvodnji. Upotrebljavaju se u raznim industrijama, posebno u farmaceutskoj, prehrambenoj i kemijskoj industriji, gdje su brzina i kvaliteta proizvodnje od velike važnosti. Moderni sustavi za automatsko punjenje boca imaju ugrađene senzore i napredne softvere koji omogućuju točnu kontrolu količine tekućine kojom se pune boce te osiguravaju punjenje većeg broja boca u kratkom vremenu. Jedna od njihovih glavnih karakteristika je fleksibilnost, jer se mogu prilagoditi različitim veličinama boca i vrstama tekućina.

U ovom će poglavlju biti prikazana realizacija sustava za automatsko punjenje i zatvaranje boca s mogućnošću punjenja različitih visina boca. Sustav se sastoji od tri procesa: punjenje, zatvaranje i začepeljivanje boca. Za punjenje i zatvaranje boca projektirane su konstrukcije koje pokreću linearni aktuatori, dok konstrukciju za začepeljivanje boca pokreće pneumatski cilindar. Na početku rada će se dati kratak opis općih značajki svakog od tih sustava te će se pobliže objasniti transportni sustav s pokretnom trakom koja je ključan dio u izradi sustava. U nastavku će se opisati postupak projektiranja i izrade svakog od sustava i njegovih dijelova te specifikacije korištenih komponenti. Nadalje, prikazat će se upravljački sustavi te opisati glavni principi na kojima se temelji rad upravljačkih komponenti. Na kraju će se opisati rad cjelokupnog sustava u praksi.

4.1. Opis dijelova sustava

4.1.1. Transportni sustav

Transportna traka je mehanički sustav čija je namjena premještanje predmeta s jedne lokacije na drugu. U osnovi, sastoji se od beskonačne trake, motora i dva valjka od kojih je jedan pogonski, a drugi služi za zatezanje [Slika 39.].



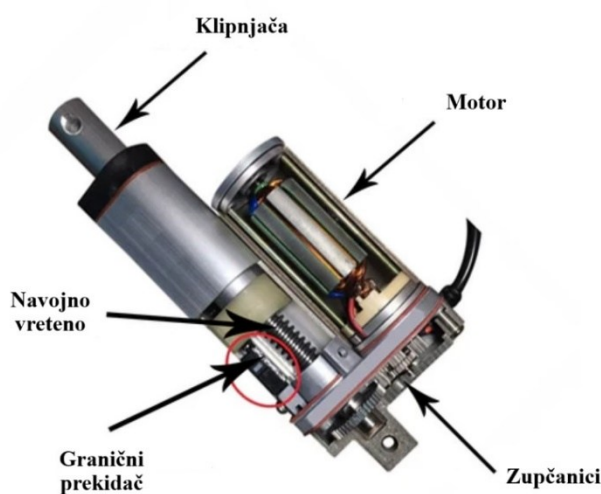
Slika 39. Dijelovi pokretne trake [19]

Jedna od najčešće korištenih vrsta traka je gumena transportna traka, no postoje i trake od plastike, metala ili tkanine. Princip funkcioniranja transportne trake vrlo je jednostavan: pokreće je pogonski mehanizam, najčešće električni motor, na koji je pričvršćen pogonski valjak. Motor pretvara električnu energiju u mehaničku i omogućuje rotaciju pogonskog valjka, čime se traka kreće u krug i formira neprekidnu petlju koja prenosi teret. Mehanizam zatezanja igra vrlo važnu ulogu u konstruiranju trake jer joj osigurava optimalnu napetost i stabilnost. Okvirna konstrukcija trake, najčešće izrađena od aluminija ili čelika, pruža traci stabilnost i otpornost na vibracije. [18]

U ovom radu, transportna traka korištena je u svrhu prijenosa boca različitog volumena koje na traku postavlja korisnik na tri različite postaje: punjenje, zatvaranje i začepljivanje boca.

4.1.2. Sustav pogonjen linearnim električnim aktuatorom

Aktuatori su uređaji koji pretvaraju različite vrste energije u mehanički rad (gibanje). Gibanje može biti rotacijsko ili linearno. Kod rotacijskog gibanja, aktuatori nisu ograničeni određenom putanjom i mogu se neograničeno rotirati u istom smjeru. Linearni aktuatori imaju mogućnost kretanja naprijed ili natrag te su ograničeni određenom putanjom. Osim po vrsti gibanja, aktuatori se mogu klasificirati prema vrsti pogona: hidraulički, pneumatski, mehanički i električni aktuatori. Linearni električni aktuatori pretvaraju rotacijsko gibanje električnog motora u linearno (pravocrtno) gibanje. Kućišta su im izgrađena od aluminijske legure ili polimerne plastike što ih čini voodootpornim i otpornim na prašinu. Glavni dijelovi linearnog aktuatora [Slika 40.] su: motor, granični prekidači, navojno vreteno, set zupčanika te klipnjača.



Slika 40. Glavni dijelovi linearnog aktuatora [20]

4.1.3. Pneumatski sustav

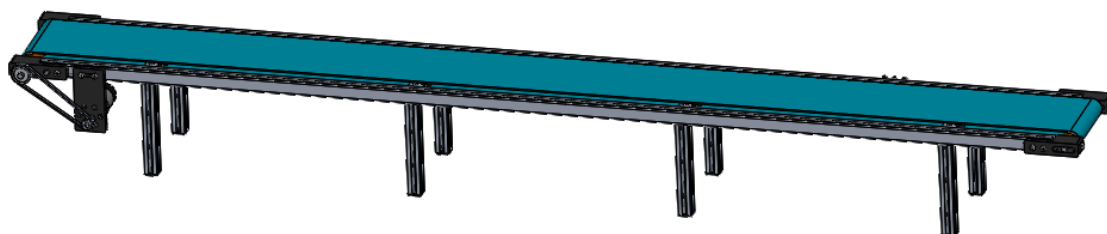
Pneumatika je tehnička grana koja koristi komprimirani zrak ili druge plinove za upravljanje različitim mehaničkim sustavima. Osnovne dijelove pneumatskog sustava čine: kompresor, cijevi, pneumatski izvršni elementi (aktuatori) te upravljački elementi koji upravljaju izvršnim elementima. U pneumatskom sustavu, zrak se komprimira pomoću kompresora te se zatim distribuira kroz cijevi do pneumatskih komponenata. Protok komprimiranog zraka reguliraju upravljački ventili. Postoje različiti tipovi ventila: razvodnici, protočni, tlačni, zaporni i elektronički ventili. Komprimirani zrak se od ventila usmjerava na izvršne elemente, od kojih je danas najčešći pneumatski cilindar. Nakon što su izvršni elementi izvršili željenu radnju, ispušni zrak se oslobađa u atmosferu te se ciklus ponavlja prema potrebi.

U ovom radu, pneumatski sustav će se koristiti za proces začepljivanja boca. Elektromagnetski ventil će usmjeravanjem zraka pokretati pneumatski cilindar koji će svojim gibanjem prilagoditi konstrukciju visini boce koja se želi začepiti.

4.2. Projektiranje i izrada modela

4.2.1. Projektiranje i izrada transportnog sustava

U ovom radu, najprije je potrebno konstruirati transportni sustav koji će prenositi plastične boce i na kojem će biti smješteni ostali dijelovi sustava za punjenje, zatvaranje i začepljivanje boca. Budući da će svi dijelovi biti pričvršćeni za transportnu traku, potrebno je osigurati stabilnost konstrukcije i optimalan razmještaj svih dijelova sustava kako bi se omogućilo neometano izvršavanje svih potrebnih radnji. Konstrukcija trake izrađena je od aluminijskih profila s dva utora, dimenzija 20x20mm, koji su međusobno povezani spojnicama. 3D model konstrukcije trake prikazan je na slici 41.



Slika 41. Konstrukcija transportne trake

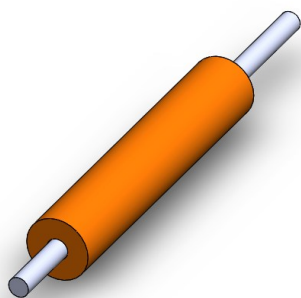
4.2.1.1. Odabir pokretne trake

Odabir odgovarajuće pokretne trake ključan je za efikasno funkcioniranje transportnog sustava u različitim industrijskim granama. Ukoliko se želi transportirati teži teret, koristit će se robusnije trake od gume ili metala, dok su za lakše terete pogodnije PVC ili PU trake. U uvjetima visokih temperatura preporučljivo je koristiti metalne trake, a ako je sustav izložen vodi ili vlazi, koriste se trake od nehrđajućeg čelika ili PVC trake. Izbor transportne trake ovisi i o zahtjevima industrije: na primjer, u prehrambenoj industriji trake moraju biti izrađene od materijala otpornih na vlagu i kemikalije koji se lako čiste i zadovoljavaju higijenske standarde. Za ovaj rad odabrana je PVC traka debljine 2 mm. Njezina širina prilagođena je dimenzijama i količini boca koje prenosi. Težina tereta koji prenosi traka u ovom slučaju je zanemariva. Duljina i širina trake su dobivene nakon konstruiranja cijelog modela trake u programu SolidWorks.

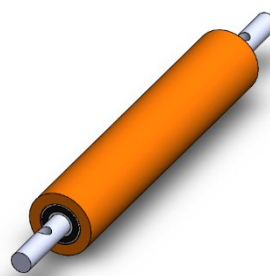
4.2.1.2. Vratilo, osovina i ležajevi

Vratilo i osovina su elementi kružnog gibanja koji služe za nošenje, uležištenje te omogućavanje kružnog gibanja drugih strojnih dijelova ili sklopova. Vratila, za razliku od osovine, prenose koristan okretni moment i snagu. [22] U ovom sustavu, vratilo i osovinu čine dva valjka sa šipkama smješteni na lijevom i desnom kraju pokretne trake. Valjci su izrađeni aditivnom proizvodnjom na 3D printeru od PETG materijala, a šipke su aluminijske. Promjeri oba valjka iznose 25 mm. Na lijevom kraju pokretne trake nalazi se pogonski dio (vratilo) tj. valjak kroz koje prolazi aluminijska šipka promjera 8 mm. Ova šipka prolazi kroz držač pričvršćen za aluminijski profil, a u držaču se nalazi ležaj. Šipka je dulja od one na desnoj strani jer se na lijevoj strani na nju montira remenica. Na desnoj strani se nalazi gonjeni dio (osovina) tj. valjak u koji je ugrađen ležaj. Kroz ležaj prolazi aluminijska šipka koja je pričvršćena za držač. Ova strana služi za zatezanje trake.

a)



b)

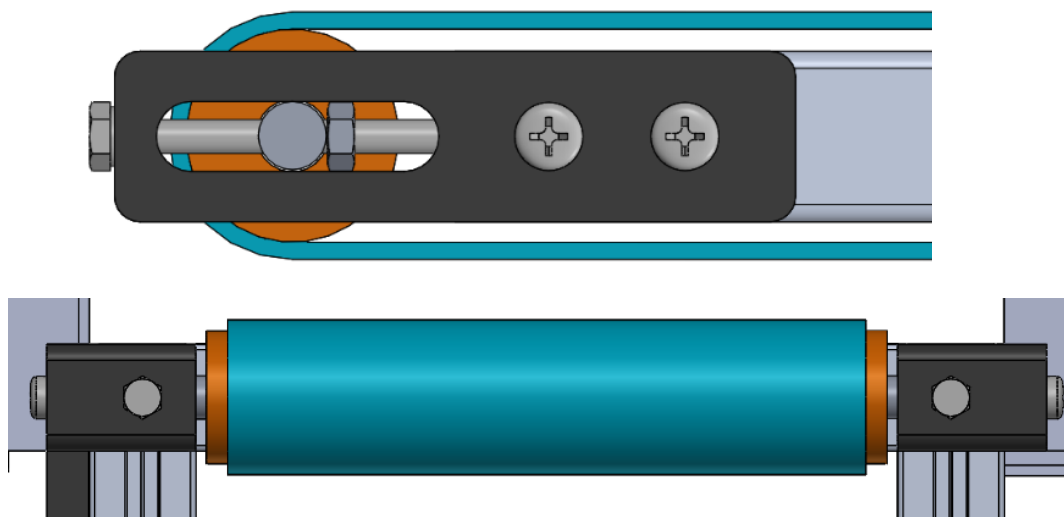


Slika 42. a) Vratilo; b) Osovina

Ležajevi su strojni elementi čija je funkcija vođenje pokretnih dijelova te prijenos opterećenja između dijelova koji su u međusobnom relativnom gibanju [23]. Glavna podjela ležajeva temelji se na vrsti trenja gibanja te uključuje valjne i klizne ležajeve. Također, ležajevi se mogu klasificirati prema vrsti valjnog tijela (kugla, valjak, stožac, bačvica, iglica) te prema smjeru prenošenja opterećenja (radijalno, aksijalno, kombinacija oba). Za uležištenje vratila u držač na lijevom kraju, koji je ujedno i kućište za ležaj te osovine na desnom kraju, odabran je radijalni kuglični ležaj oznake 688-2Z-W4 ZEN.

4.2.1.3. Mehanizam zatezanja pokretne trake

Mehanizam zatezanja pokretne trake sastoji se od držača pričvršćenog za konstrukciju koji ima utor kroz koji prolazi aluminijska šipka promjera 8 mm. Utor omogućuje pomicanje šipke lijevo i desno sve dok kroz šipku ne umetne vijak. Za uspješno umetanje i pričvršćivanje vijka, potrebno je u šipki napraviti provrt.



Slika 43. Mehanizam zatezanja pokretne trake

4.2.1.4. Pogonski sustav transportne trake

Pogon transportne trake ostvaren je upotrebom istosmjernog elektromotora koji prenosi okretni moment pomoću remenskog prijenosa.

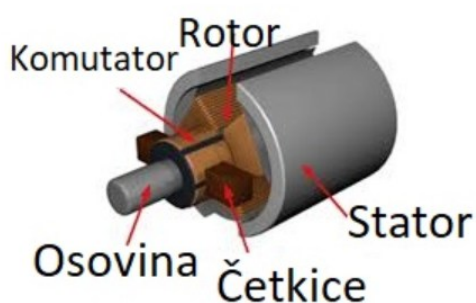
Istosmjerni motor

Istosmjerni elektromotori pretvaraju električnu energiju u rotacijsko gibanje. Princip rada istosmjernog elektromotora temelji se na interakciji magnetskih polja. Glavne dijelove elektromotora čine stator, rotor, komutator (kolektor) te grafitne četkice [Slika 44a.].

Propuštanjem struje kroz namotaje rotora, stvara se elektromagnetsko polje koje međusobnim djelovanjem s magnetskim poljem statora uzrokuje okretanje rotora.

Model elektromotora korišten u ovom radu je GB37Y3530-12V-251R, proizvođača DFROBOT [Slika 44b.]. Ovaj elektromotor sadrži metalni prijenosnik s omjerom 43,8 i integrirani kvadrturni enkoder koji pruža razlučivost od 16 impulsa po okretaju osovine motora. To odgovara 700 impulsa po okretaju izlazne osovine prijenosnika.

a)

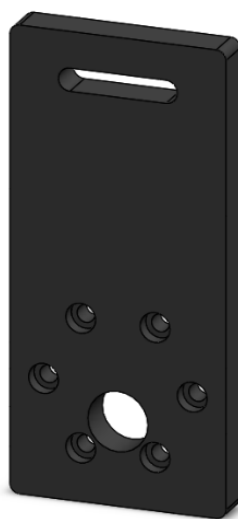


b)



Slika 44. a) Glavni dijelovi istosmjernog elektromotora [24]; b) Elektromotor GB37Y3530-12V [25]

Kako bi elektromotor bio pričvršćen za konstrukciju pokretne trake, za njega je tehnologijom 3D printanja izrađen držač [Slika 45.]. Na držaču se nalazi utor za vijke koji omogućuje podešavanje njegovog položaja (lijevo-desno), ovisno o potrebnoj nategnutosti remena.



Slika 45. Držač za elektromotor

Remenice i remen

Remenski prijenosnici omogućuju prijenos i transformaciju gibanja i okretnog momenta između vratila na većem razmaku [26]. Takav prijenos je elastičan, a uz to prigušuje udarce i vibracije koje bi se inače prenosile s jednog vratila na drugo. Osnovna podjela remenskih prijenosnika je na prijenosnike s trenjem (asinkroni prijenos) te prijenosnike oblikom (sinkroni prijenos). U ovom radu korišten je prijenos oblikom, tj. remenski prijenos sa zupčastim remenom. Zupčasti remeni mogu biti ozubljeni s jedne ili obje strane te zahvaćaju odgovarajuće ozubljene remenice. Predviđeni su za upotrebu na temperaturama do 80°C. Zbog složenije proizvodnje ozubljenih remenica, obično su skuplji od ostalih vrsta remena (plosnatog i klinastog).

Elektromotor prenosi okretni moment na vratilo putem remenica i zupčastog remena. Remenice služe za vođenje remena, a za potrebe ovog rada odabrane su GT2 sinkrone remenice s 40 i 20 zubi. S obzirom da je za pogon transportne trake odabran elektromotor s redukcijom 43,8:1 i da je proračunom potvrđena pretpostavka da će dobivena brzina trake biti nešto veća od potrebne, odabrane su remenice s različitim brojem zubi kako bi svojim prijenosnim omjerom smanjile brzinu rotacije osovine na koju se prenosi okretni moment. Smanjenje brzine osigurat će sigurno kretanje i zaustavljanje boca. Proračun brzine transportne trake nalazi se u nastavku.

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} \quad (4.1)$$

gdje su:

v = brzina pokretne trake, [m/s]

D = promjer valjka, [mm]

n = broj okretaja motora, [°/min]

Prijenosni omjer remenica računa se prema formuli:

$$i = \frac{n_M}{n_V} = \frac{z_V}{z_M} \quad (4.2)$$

gdje su:

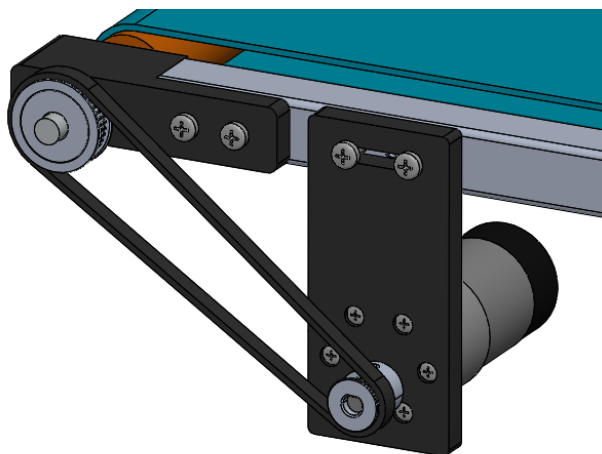
n_M = brzina vrtnje pogonske remenice, [m/s]

n_V = brzina vrtnje gonjene remenice, [m/s]

z_M = broj zubi pogonske remenice

z_V = broj zubi gonjene remenice

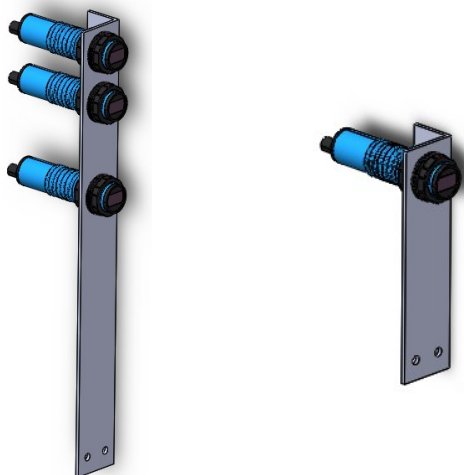
Uvrštavanjem broja zubi odabranih remenica u odgovarajuću formulu, izračunat je prijenosni omjer $i = 2$. Ovaj omjer, zajedno s brojem okretaja motora od 251 °/min, uvrštava se u jednadžbu (4.2) iz koje se dobiva broj okretaja gonjene remenice u iznosu 125,5 °/min. Odgovarajućom brzinom rotirat će se vratilo koje će prenositi okretni moment na pokretnu traku. Za dobivanje brzine trake, potrebno je tu vrijednost uvrstiti u izraz (4.1), čime se dobiva brzina trake od 0,164 m/s. Iako je ova brzina relativno niska, ona može biti prikladna za primjene koje zahtijevaju sporiju brzinu kretanja trake poput preciznog punjenja, pakiranja u proizvodnji ili sortiranja malih objekata. Pogonski sustav transportne trake prikazan je na slici 46.



Slika 46. Pogonski sustav transportne trake

4.2.1.5. Projektiranje nosača senzora

Tri senzora postavljena su na početku pokretne trake na odgovarajućim visinama za svaku bocu. Dodatno, jedan senzor je postavljen pri kraju trake, a služi za očitavanje prisutnosti boce prije procesa začepljivanja. Nosač za senzore je napravljen od aluminijskog L-profila.

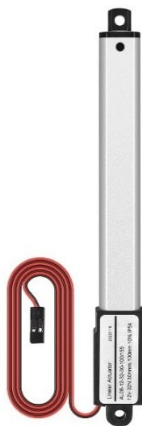


Slika 47. Nosači senzora

4.2.2. Projektiranje i izrada sustava pogonjenog linearnim električnim aktuatorom

4.2.2.1. Odabir linearnog aktuatora

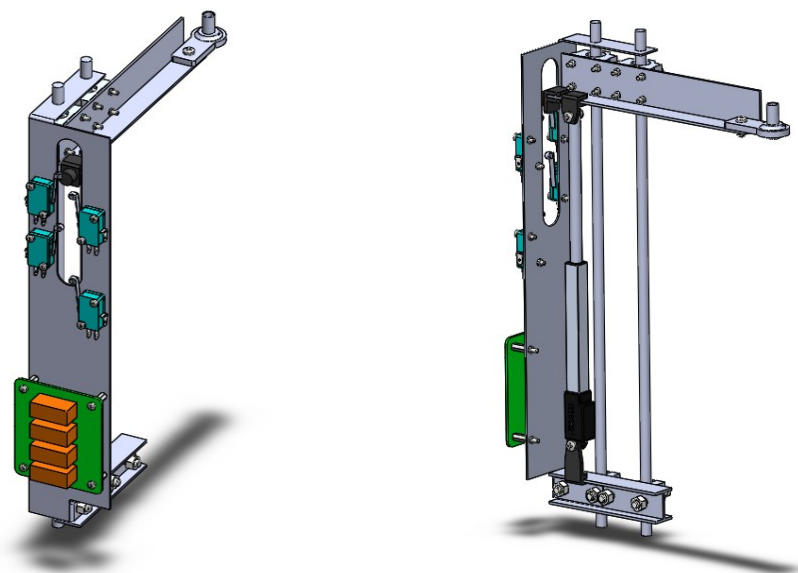
Za potrebe ovog rada, izabran je linearni aktuator oznake AM645. Uloga linearnog aktuatora u ovom sustavu je podizanje konstrukcije za čepove i konstrukcije za punjenje vode na visinu koja odgovara detektiranoj boci na ulazu u sustav. Ovaj aktuator osigurava precizno pozicioniranje držača za čepove i cjevčice za punjenje na odgovarajuću visinu punjenja, čime se sprječava prelijevanje tekućine te osigurava ispravno i sigurno zatvaranje boca u toku cijelog procesa.



Slika 48. Linearni aktuator AM645 [28]

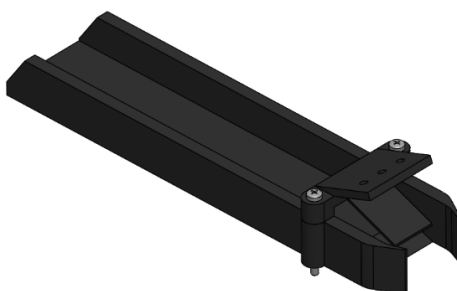
4.2.2.2. Projektiranje i izrada konstrukcije za punjenje i zatvaranje boca

Sustavi za punjenje i zatvaranje boca temelje se na istom principu rada, no razlikuju se po funkciji koju obavljaju. Kako bi cijeli sustav pogonjen linearnim aktuatorom pravilno funkcionirao, potrebno je projektirati konstrukciju koja će biti pričvršćena za transportnu traku. Za pokretanje linearnih aktuatora, potrebna je odgovarajuća elektronika. Kako bi se elektronika imala za što pričvrstiti, projektiran je držač za PCB i mikroprekidače. Držač je izrađen od inox lima, debljine 1.2 mm. Držač je pričvršćen za bazu konstrukcije koja se sastoji od dva aluminijska U-profila, na koje su vijcima pričvršćena dva nosača za linearne vodilice izrađene od aluminijskih šipki promjera 8 mm. Baza je pričvršćena za aluminijsku konstrukciju metalnim kutnicima. Na vodilicama se nalaze linearni ležajevi s kućištem koji su na gornjoj strani konstrukcije vijcima pričvršćeni za L-profil. Na aluminijskim L-profilima, s gornje i donje strane, nalaze se 3D printane kopče koje služe za pričvršćivanje linearnog aktuatora na konstrukciju. Kod sustava za punjenje boca, na L-profilu se nalazi nastavak koji služi za pozicioniranje crijeva za punjenje boca.

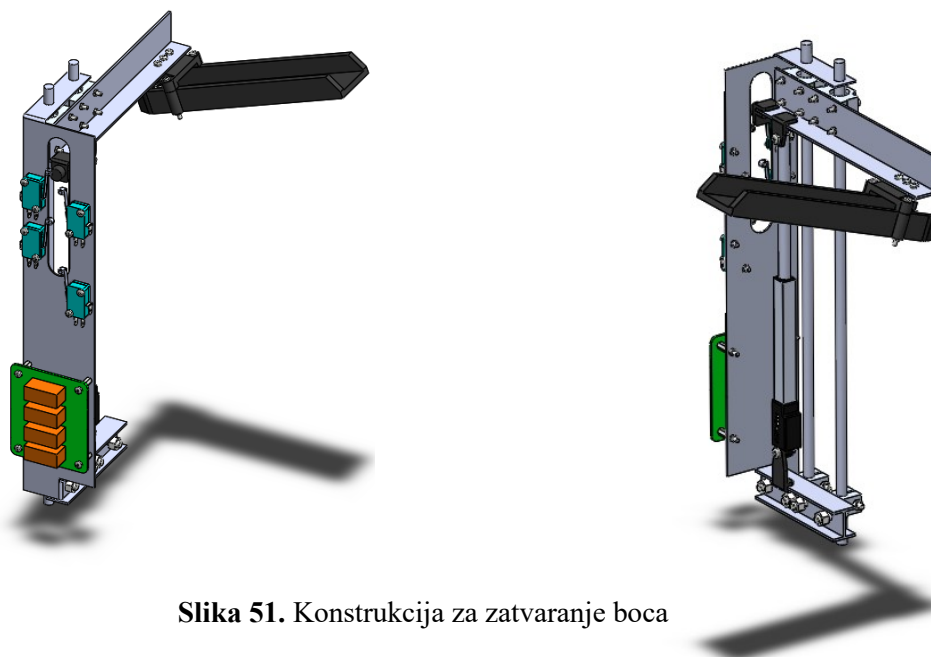


Slika 49. Konstrukcija za punjenje boca

Kod sustava za zatvaranje boca, umjesto crijeva za punjenje, na L-profil je pričvršćen držač za čepove, postavljen pod kutom od 20 stupnjeva. Taj držač sadrži elastičnu i tanku hvataljku koja omogućuje boci da pri prolasku pokupi čep. Držač za čepove nalazi se na slici 50.



Slika 50. Držač za čepove



Slika 51. Konstrukcija za zatvaranje boca

4.2.3. Projektiranje i izrada pneumatskog sustava

4.2.3.1. Odabir pneumatskog cilindra

U ovom dijelu sustava odvija se proces začepljivanja boca. Za potrebe ovog procesa, odabran je okrugli pneumatski cilindar tvrtke FESTO [Slika 52.]. Uloga pneumatskog cilindra je podizanje i spuštanje držača za motor na kojem se nalazi kapica za začepljivanje boca. Korištenjem ovog pneumatskog cilindra omogućeno je precizno upravljanje pozicijom kapice, što znatno utječe na kvalitetu začepljivanja boca i osigurava uspješan tijek procesa.

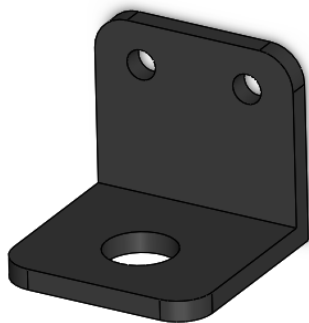


Slika 52. Pneumatski cilindar DSNU-S-12-125-P-A-MQ [29]

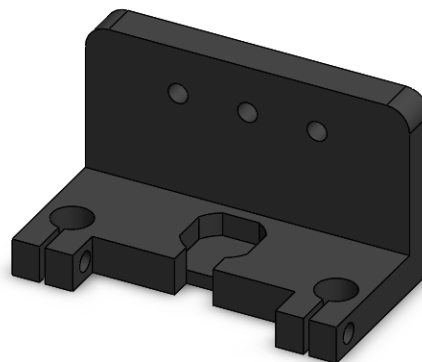
4.2.3.2. Projektiranje konstrukcije za začepljivanje boca

Za početak je potrebno konstruirati dijelove na kojima će biti smješten pneumatski cilindar i dijelove koji će ga pridržavati. Dijelovi su izrađeni 3D printerom od PETG materijala. Cilindar je s donje strane pozicioniran u središnji provrt koji je konstruiran tako da se cilindar na odgovarajući način pridržava, a s gornje je strane dodatno pričvršćen držačem za pravokutni aluminijski profil.

a)

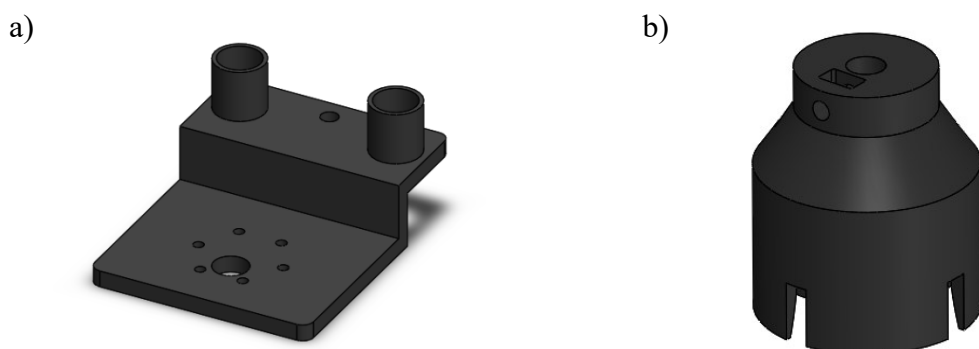


b)



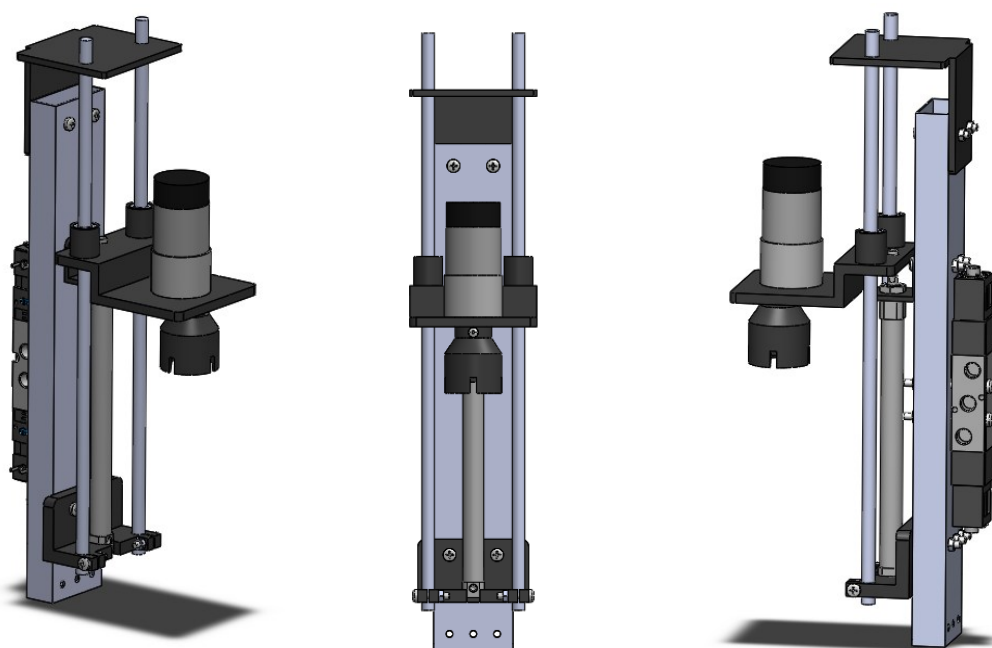
Slika 53. a) Držač cilindra; b) Držač za aluminijske vodilice

Klipnjača cilindra pričvršćena je s dvije matice za dodatni držač, što omogućuje promjenu visine na kojoj se nalaze motor i glava za začepljivanje boca. Ovaj držač je istovremeno i nosač za motor. Na njemu se nalaze ekstrudirani dijelovi u koje su utisnuti linearni ležajevi. Kroz linearne ležajeve su provučene dvije aluminijske šipke promjera 8 mm, čime se omogućuje stabilno i precizno pomicanje držača duž vodilica. Šipke su dodatno učvršćene vijcima na držaču za aluminijske vodilice koji je namijenjen za pozicioniranje donje strane cilindra. Taj dio je zatim pričvršćen za pravokutni aluminijski profil koji je na kraju pričvršćen vijcima za konstrukciju transportne trake. Time je proces projektiranja pneumatskog sustava dovršen.



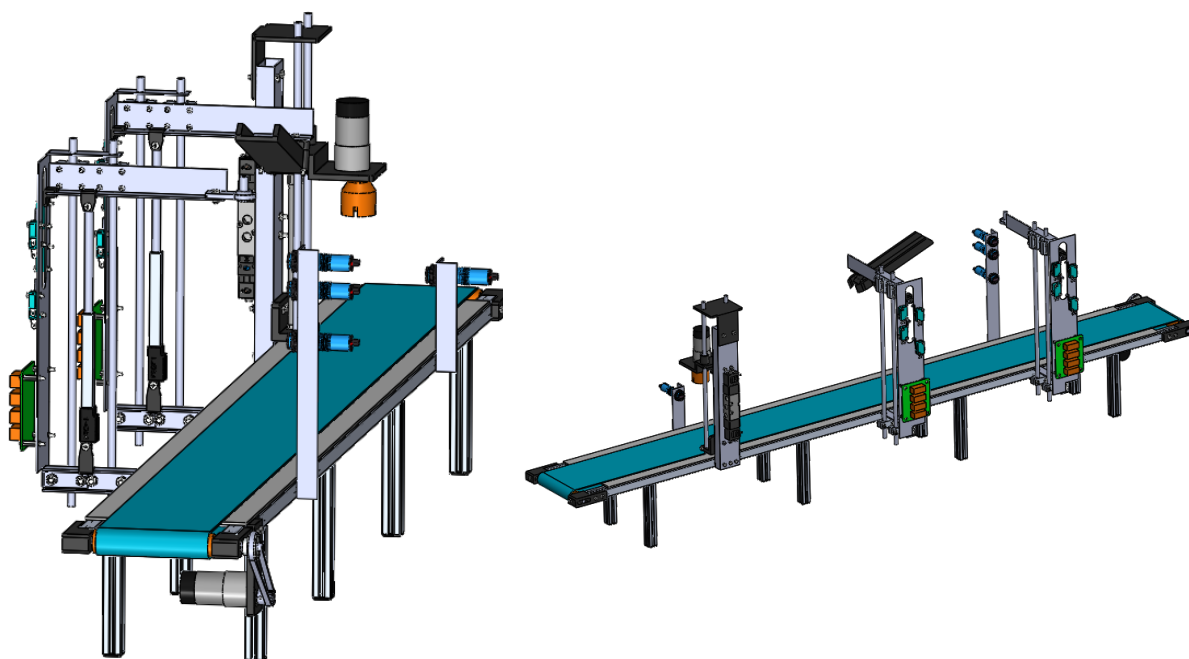
Slika 54. a) Držač mehanizma za začepljivanje; b) Glava za začepljivanje

Konstrukcija pneumatskog sustava nalazi se na slici 55.



Slika 55. Pneumatski sustav

4.2.4. Konačan izgled modela



Slika 56. Konačan model sustava

4.3. Upravljački sustav

Upravljanje ovim sustavom vršilo se putem mikroračunala „Controllino MAXI“.

4.3.1. Upravljački uređaj Controllino MAXI

Controllino MAXI, uređaj na slici 57., vrsta je programabilnog logičkog kontrolera (PLC) koja je kompatibilna sa softverom Arduino. Najveća mu je prednost kombiniranje fleksibilnosti programiranja koju daje Arduino s robusnim značajkama za industrijske primjene, poput upravljanja relejima, digitalnih i analognih ulaza/izlaza te podrška za razne komunikacijske protokole. U automatizaciji industrijskih procesa se najviše koristi za upravljanje transportnih traka, motora i strojeva.



Slika 57. Controllino MAXI [30]

4.3.2. Napajanje sustava

Napajanje je temelj svakog elektroničkog sustava jer pruža potrebnu energiju za rad svih komponenti sustava, uključujući mikrokontrolere, senzore, motore i druge elektroničke uređaje. Adekvatno napajanje omogućuje stabilno i pouzdano funkcioniranje uređaja, štiti ih od oštećenja te produžuje životni vijek opreme. U ovom radu, potrebno je osigurati napajanje za glavni uređaj, Controllino MAXI te napajanje za normalnu funkciju pneumatskog sustava.

4.3.2.1. Napajanje za Controllino MAXI

Controllino koristi napajanje naponom od 12 V i struju od 12,5A koje osigurava napajanje Mean Well LRS-150-12. Ovo napajanje omogućuje podešavanje izlaznog napona u rasponu od 10,2 do 13,8V.

4.3.2.2. Napajanje za transportni sustav

Napajanje transportnog sustava je osigurano direktnim spajanjem DC motora na Controllino koji napaja motor s 12 V bez potrebe za posebnim motornim *driverom*. U ovom radu, motor se koristi isključivo za pokretanje i zaustavljanje transportne trake i mehanizma za začepljivanje pa zbog jednostavnosti funkcije motora nije bilo potrebe za regulacijom brzine ili smjera vrtnje pomoću motornog *drivera*. Uz to, napon i struja motora su unutar specifikacija koje Controllino može sigurno isporučiti.

4.3.2.3. Napajanje za pneumatski sustav

Pneumatski sustav, odnosno elektromagnetski ventil, potrebno je opskrbiti napajanjem od 24 V nezavisnim od napajanja upravljačkog uređaja. Odabrano je napajanje Mean Well LRS-100-24 koje osigurava struju od 4,5 A i omogućuje podešavanje izlaznog napona u rasponu 21,6 do 28,8V.

4.3.3. Senzori

Senzori su uređaji koji detektiraju i mjere promjene u okolišu, poput temperature, svjetlosti ili kemijskih spojeva te takve informacije pretvaraju u električne signale. Kako bi se osigurala precizna detekcija boca i omogućilo ostalim sustavima da pravilno obavljaju svoje funkcije, u ovom radu korišteni su fotoelektrični (optički) senzori oznake PE18, prikazani na Slici 58.

Fotoelektrični senzori su uređaji koji detektiraju objekte, udaljenosti objekta ili promjene na površini pri čemu za detekciju koriste svjetlosne zrake, najčešće infracrvene. Podjela fotoelektričnih senzora uključuje difuzne (reflektivne) senzore, prekidače (transmitivne) senzore te retroreflektivne senzore. Za detekciju boca u ovom radu korišten je difuzni tip. Kada

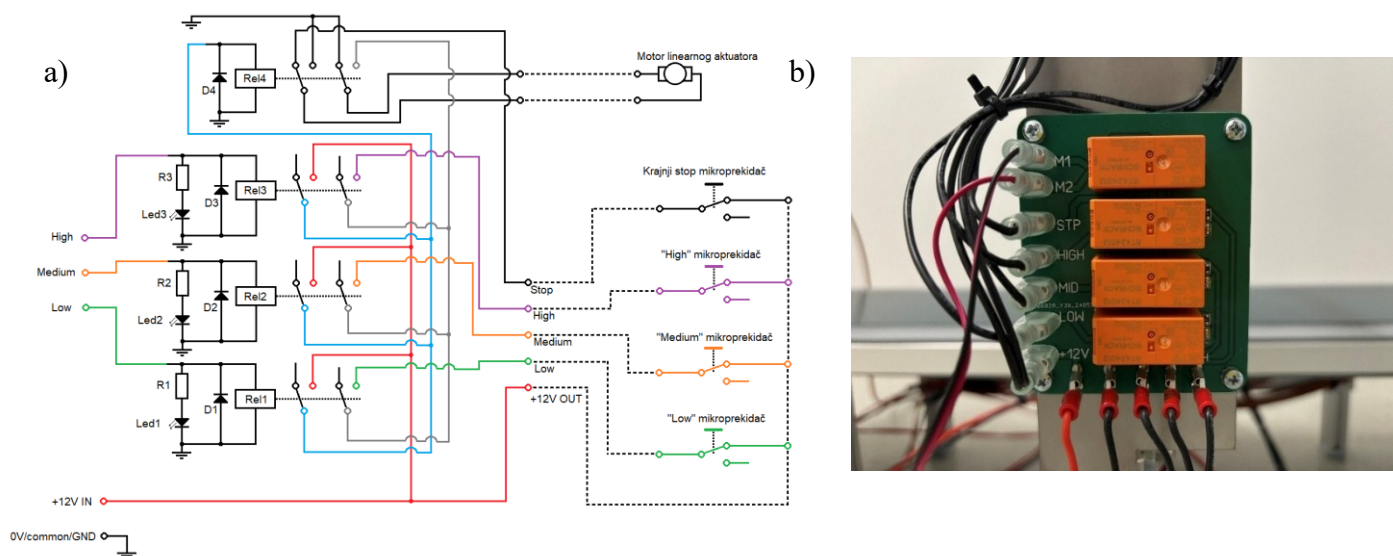
senzor emitira svjetlost, ona se odbija od objekta te vraća natrag do senzora. Ako količina svjetlosti koja se vratila prelazi neku uobičajenu granicu, senzor aktivira izlazni signal.



Slika 58. Fotoelektrični senzor PE18 [31]

4.3.4. Upravljanje sustavom pogonjenog linearnim aktuatorom

Relaj je elektronički uređaj koji se koristi za kontrolu struje i napona u električnim krugovima. Radi na principu elektromagnetske indukcije. Za pokretanje releja, zavojnica koja okružuje jezgru releja napaja se električnom energijom iz izvora koji ga kontrolira. Napajanjem releja, stvara se magnetsko polje koje privlači armaturu i zatvara strujni krug unutar releja. Na taj način armatura uspostavlja ili prekida električne kontakte, a vraća se u početni položaj pomoću opruge u trenutku kada kroz elektromagnet više ne teče struja. Strujni kontakti omogućuju upravljanje protokom struje u električnom krugu. Postoje normalno otvoreni kontakti (NO – Normally Open) i normalno zatvoreni kontakti (NC – Normally Closed). NO kontakti su otvoreni kada je relaj isključen i zatvoreni kada je uključen, dok je za NC kontakte situacija obrnuta. [32] Upravljanje ovim sustavom vrši se putem releja koji zatim upravljaju linearnim aktuatorom. U tu svrhu dizajniran je poseban *Printed Circuit Bord* (PCB) koji sadrži četiri releja. Za dizajniranje je korišten alat Sprint Layout namijenjen kreiranju jednostavnijih dizajna. Shematski prikaz funkcionalnosti sustava s korištenim relajima oznake RT424F12 tvrtke TE Connectivity [33], nalaze se na slici 59.



Slika 59. a) Shematski prikaz funkcionalnosti sustava s linearnim aktuatorom; b) PCB s relajima

Na električnoj shemi, svi releji su nacrtani u svom početnom položaju – neaktivnom položaju. Također, to vrijedi i za mikroprekidače. Napajanje 12 V mora biti prisutno prije signala pobude iz Controllina koje dolazi s digitalnih izlaza. Napon na navedenim izlazima je 12V (dolazi od napona napajanja Controllina koje iznosi 12 V).

Ovisno o detektiranoj visini boce, u kodu je odabran jedan od tri željena ulaza/izlaza: „High“, „Medium“ ili „Low“. Ukoliko je detektirana najviša boca, s Controllina se šalje 12 V (digitalni izlaz se stavlja u „1“) prema „High“ ulazu i aktivira se „Rel3“. Releji „Rel3“ preklapa svoje kontakte: aktivira „Rel4“ za smjer spuštanja linearnog aktuatora i dopušta napajanje 12 V preko „High“ mikroprekidača. Linearni aktuator se pomiče u smjeru prema dolje i spušta cijeli mehanizam za punjenje ili zatvaranje, ovisno o dijelu procesa u kojem se boca nalazi. Mikroprekidač „High“ se nalazi na odgovarajućoj visini za najvišu bocu. Kada linearni aktuator prilikom spuštanja dotakne mikroprekidač „High“, prekida se strujni krug te se linearni aktuator zaustavlja na željenoj visini. Nakon završetka procesa punjenja ili zatvaranja, Controllino isključuje digitalni izlaz prema „High“ ulazu i deaktivira relej „Rel3“. On preklapa svoje kontakte u početni položaj: deaktivira se relej „Rel4“ i vraća u poziciju za dizanje linearnog aktuatora u početni položaj. Linearni aktuator se vraća u smjeru prema gore sve do trenutka dok ne dotakne mikroprekidač „Krajnji stop mikroprekidač“. Sada se linearni aktuator nalazi u početnom položaju te čeka novi input (high/medium/low). Ista logika vrijedi i za preostale dvije visine boce.

4.3.5. Upravljanje procesom punjenja boca

Upravljanje procesom punjenja utječe na efikasnost i kvalitetu u različitim industrijama. Kako bi se moglo upravljati procesom punjenja, potrebno je odabrati odgovarajuću pumpu koja se odabire ovisno o ciljevima punjenja. Neke od najčešćih vrsta pumpi za vodu uključuju centrifugalne, klipne, vibracijske i potopne pumpe. Za potrebe ovog završnog rada odabrana je upravo potopna pumpa. Potopna pumpa dizajnirana je za rad dok je potpuno uronjena u tekućinu koju pumpa. Takav tip pumpi koristi se za premještanje vode iz bunara, cisterni ili drugih zatvorenih prostora. [34] Pumpa radi na 12V i ima snagu od 4,8W.



Slika 60. Potopna pumpa [35]

4.3.6. Upravljanje pneumatskim sustavom

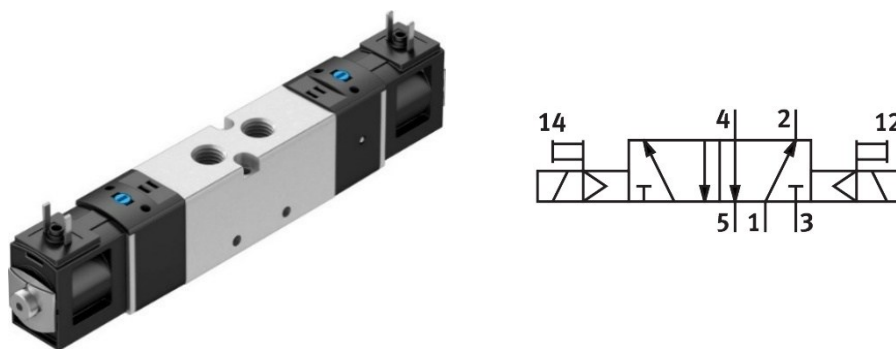
U ovom radu, uloga pneumatskog sustava je podizanje i spuštanje mehanizma za začepljivanje. Na početku samog procesa, kada je boca tek došla na traku, senzori detektiraju o kojoj visini boce se radi. Na taj način pneumatski sustav ima informaciju koliko će se morati izvući/uvući, ali s radom ne kreće sve dok drugi senzor ne detektira dolazak boce na jedinicu za začepljivanje i pošalje signal Controllinu. Controllino tada šalje signal za aktivaciju ventila čime se pokreće proces začepljivanja boce.

4.3.6.1. Ventili

Ventili su uređaji koji reguliraju protok fluida, u ovom slučaju zraka, kroz cijevi i cjevovode te omogućuju kontrolu tlaka, smjera i količine zraka. Osnovna podjela ventila obuhvaća razvodnike, tlačne ventile, protočne ventile te nepovratne (zaporne) ventile. U ovom radu korišteni su elektromagnetski ventil te prigušno- nepovratni ventil.

Elektromagnetski ventili

Elektromagnetski ventili su elektromehanički uređaji koji se koriste za kontrolu protoka fluida uz pomoć dovedenog napona. Sastoje se od zavojnice koja proizvodi magnetsko polje kada kroz nju prolazi struja. Pomoću tog polja se pomiču armatura (kotva) i unutarnji klip te omogućuju prolaz fluida. U trenutku kada se struja prekine, klip se pomoću opruge vraća u prvobitni položaj čime se omogućuje precizna kontrola protoka [36]. Za upravljanje pneumatskim cilindrom u pneumatskom sustavu, korišten je 5/2 elektromagnetski ventil, razvodnik s pet priključaka i dva razvodna položaja.



Slika 61. Elektromagnetski ventil VUVS-LK20-B52-D-G18-1C1-S s odgovarajućim simbolom [37]

Prigušno – nepovratni ventil

Prigušno – nepovratni ventil je kombinacija prigušnog i nepovratnog ventila. U paralelnom spoju, protok je prigušnicom ograničen u samo jednom smjeru, dok je u obrnutom smjeru

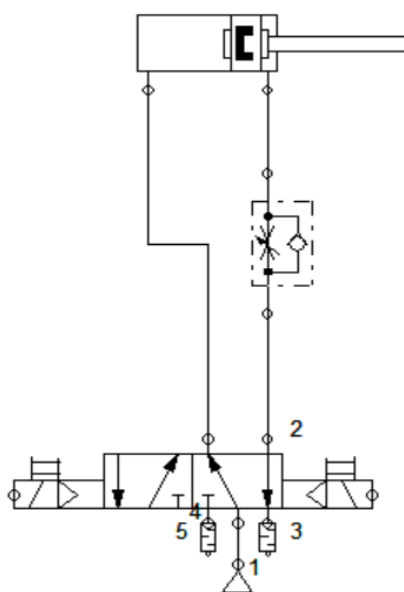
omogućen puni protok s malim otporom strujanja koji pruža nepovratni ventil. Glavna primjena prigušno – nepovratnih ventila je za smanjenje brzine pneumatskih cilindara.



Slika 62. a) Pneumatski simbol prigušno-nepovratnog ventila [38]; b) Prigušno - nepovratni ventil VFOE-LS-T-M5-Q6 [38]

4.3.6.2. Pneumatska shema sustava

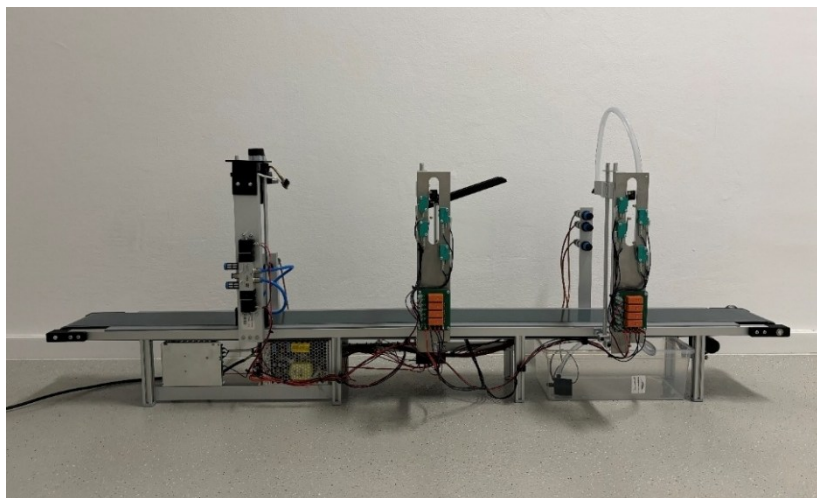
Pneumatskom sustavu dobavlja se zrak kompresorom u iznosu do 10 bara. Zrak vodovima putuje do elektromagnetskih ventila. Upravljačkim kodom se elektromagnetskim ventilima šalje električni signal koji pomiče armaturu (kotvu) koja propušta zrak prema pneumatskom cilindru. Dok je elektromagnetski ventil isključen, pneumatski cilindar se nalazi u početnoj poziciji (izvučen je). Aktiviranjem ventila, cilindar započinje s uvlačenjem. Zrak na putu do cilindra prolazi kroz prigušno – nepovratni ventil te mu je u tom smjeru prigušnicom ograničen protok. Prigušno – nepovratnom ventilu zadaje se željena brzina gibanja cilindra. Ovdje prigušnica ima svrhu usporiti cilindar, tj. motor s glavom za začepljivanje kako ne bi došlo do oštećenja boce pri procesu začepljivanja. Deaktivacijom elektromagnetskog ventila, pneumatski cilindar se nesmetano vraća u svoj početni položaj.



Slika 63. Pneumatska shema sustava

4.4. Opis rada sustava

Izrađeni sustav namijenjen je automatskom punjenju i zatvaranju plastičnih boca različite visine koje do postaje za punjenje i zatvaranje dolaze gibajući se po transportnoj traci. Na početku samog procesa potrebno je pokrenuti transportnu traku pomoću elektromotora kojem se šalje signal za pokretanje s kontrolnog uređaja (Controllino). Okretanjem valjaka, pokretna traka pomiče bocu prema prvoj postaji gdje je detektiraju senzori. Senzori šalju signal Controllinu koji tada zaustavlja rad elektromotora, čime se pokretna traka automatski zaustavlja. Osim dolaska boce do postaje za punjenje, senzori također detektiraju o kojoj se visini boce radi te šalju signal Controllinu koji tada određuje koji signal treba poslati na odgovarajući relej. Aktivirani relej tada pokreće linearni aktuator koji svojim gibanjem pomiče mehanizam za punjenje na odgovarajuću visinu. Nakon što je mehanizam zaustavljen, s Controllina se šalje signal pumpi koja osigurava protok fluida i radi sve dok se ne napuni željena boca. U trenutku kada je aktivirana pumpa, sljedeća jedinica na kojoj se boca neće zaustavljati, a koja funkcionira na istom principu kao i prethodna (releji), zauzima odgovarajući položaj, tako da boca nakon punjenja odmah može nastaviti do sljedeće postaje. Na toj postaji boca će samo pokupiti čep te nastaviti dalje do zadnje postaje za začepljivanje. Dolazak boce na posljednju postaju detektira dodatni senzor koji šalje signal Controllinu, a on tada aktivira elektromagnetski ventil. Pokretanjem elektromagnetskog ventila, pneumatski cilindar započinje s uvlačenjem sve dok ne dotakne prepreku (bocu) i ne stane s radom. U trenutku uvlačenja cilindra, pokreće se elektromotor na kojem se nalazi glava za začepljivanje boca. Nakon nekoliko sekundi, deaktivira se elektromagnetski ventil i pneumatski cilindar se počinje izvlačiti. Elektromotor za začepljivanje tada prestaje s radom, a elektromotor za pokretanje trake se ponovno aktivira. Time je cijeli proces kompletiran, a konačan izgled sustava prikazan je na slici 64.



Slika 64. Konačan izgled sustava

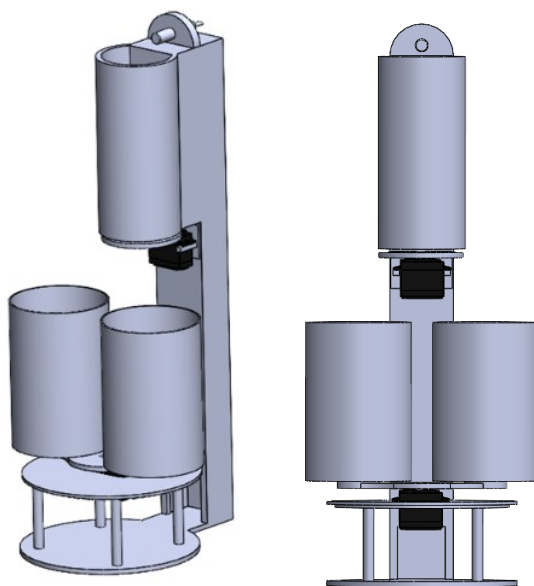
5. UREĐAJ ZA ODVAJANJE METALA U PROCESU RECIKLIRANJA PLASTIKE

Recikliranje plastike ključno je za očuvanje okoliša i smanjenje otpada te ekološkog otiska koji ona ostavlja na naš planet. Plastika je široko rasprostranjena u svakodnevnom životu zbog svojih povoljnih svojstava, ali njezina dugotrajna razgradnja negativno utječe na ekosustav. Unatoč godišnjoj proizvodnji od preko 350 milijuna tona plastičnog otpada, reciklira se manje od 10%.

Prednosti reciklaže uključuju smanjenje potrošnje energije, sirovina i fosilnih goriva, smanjenje emisije CO₂ te poticanje održivog načina života. Međutim, proces recikliranja otežava prisutnost drugih materijala, posebice metala, koji mogu utjecati na kvalitetu recikliranog proizvoda i oštetiti strojeve. Zbog toga je nužno učinkovito odvajanje metala od plastike, što predstavlja izazov i razlog za razvoj automatiziranih sustava sortiranja.

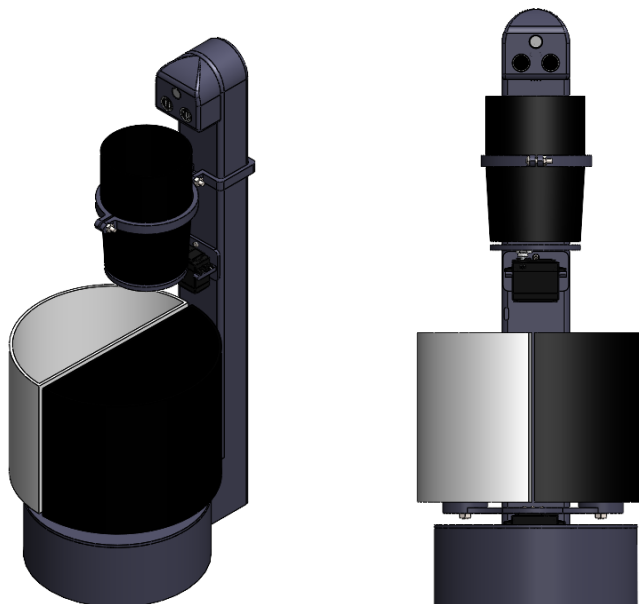
5.1. Modeliranje i dizajn uređaja za sortiranje

Prototip modela, kao i sve naknadne iteracije te konačni izgled uređaja, razvijeni su korištenjem CAD i CAE računalnog programa SolidWorks. Ovaj program omogućava napredno 3D modeliranje, simulacije, generiranje tehničkih crteža i prototipiranje te se široko primjenjuje u različitim industrijama. Prototip predstavlja prvi korak u razvoju, omogućujući testiranje osnovnog koncepta, uočavanje nedostataka te pružanje temelja za daljnje poboljšanje dizajna kroz iteracije. Ovaj proces omogućava optimizaciju funkcionalnosti i precizno prilagođavanje uređaja potrebama korisnika. Prototip modela prikazan je na slici 65.



Slika 65. Prototip modela

Nakon par iteracija, za konačan izgled uređaja odabrana je iteracija prikazana na slici 66. Najvažnija izmjena odnosi se na senzore, odnosno njihov položaj u sustavu. Konstruirana je kutijica koja omogućuje ugradnju oba senzora, tako da njen rub bude u ravnini s rubom spremnika za ubacivanje predmeta, čime se poboljšava učinkovitost induktivnog senzora i olakšava detekcija metala.



Slika 66. Konačan izgled uređaja

5.2. Odabir komponenti

5.2.1. Servo motori

Servo motori omogućuju preciznu kontrolu kretanja jer se pomiču u točan položaj, umjesto da se neprekidno okreću, što ih čini idealnim za ovaj projekt. Sastoje se od DC motora spojenog na izlaznu osovinu putem zupčanika, a ta osovina pokreće servo ruku. Potenciometar na osovini šalje povratnu informaciju o položaju, koju upravljačka jedinica uspoređuje s ciljnim položajem. Na temelju te povratne informacije, upravljačka jedinica prilagođava položaj motora. Ovaj servomehanizam koristi negativnu povratnu vezu za precizno upravljanje brzinom i smjerom motora [39].

Za izvedbu uređaja za sortiranje potrebna su dva servo motora: jedan za otvaranje poklopca lijevka i drugi za pozicioniranje posude ovisno o materijalu (metal ili plastika). Odabran je model TowerPro MG995, koji omogućuje pozicioniranje vratila u rasponu od 0° do 180°.

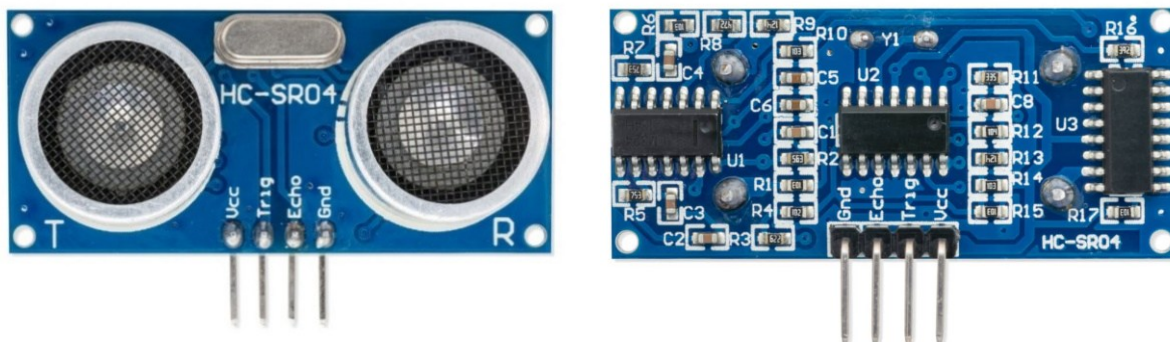


Slika 67. Servo motor TowerPro MG995

5.2.2. Ultrazvučni senzor HC-SR04

Ultrazvučni senzor HC-SR04 mjeri udaljenost do objekata emitiranjem ultrazvučnih valova i pretvaranjem reflektiranog zvuka u električni signal. Senzor se sastoji od dva glavna dijela: odašiljača, koji emitira ultrazvučne impulse, i prijemnika, koji detektira zvučne valove nakon što se odbiju od objekta. Princip rada temelji se na emitiranju ultrazvučnog impulsa, koji putuje kroz zrak i odbija se od prepreke. Senzor mjeri vrijeme potrebno da se impulsi vrate, a na temelju tog vremena izračunava udaljenost do objekta [40].

Ultrazvučni senzori mogu detektirati predmete neovisno o njihovoj boji, površini ili materijalu, osim ako su izrađeni od mekih materijala poput vune koji apsorbiraju zvuk. S obzirom na to da ovaj senzor može detektirati metalne i plastične predmete različitih tekstura, boja, pa čak i prozirne predmete, predstavlja izvrsno rješenje za razvrstavanje materijala u ovom uređaju.

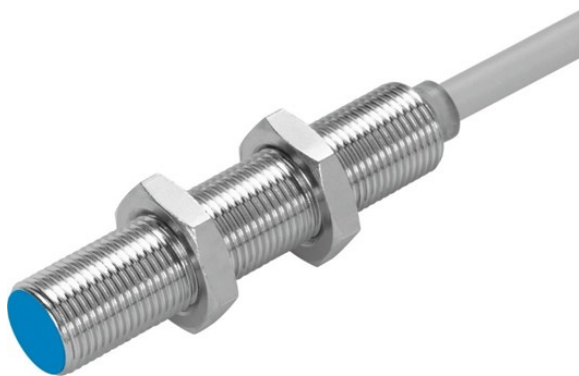


Slika 68. Ultrazvučni senzor HC-SR04

5.2.3. Induktivni senzor

Induktivni senzor detektira metalne predmete bez fizičkog kontakta. U ovom radu korišten je FESTO model SIED-M12B-ZS-K-L, koji detektira i obojene metale, ali s manjim osjetljivostima. Raspon osjetljivosti senzora označava udaljenost na kojoj može detektirati metalni predmet, a ovaj se parametar može prilagoditi za obojene metale, poput aluminija, bakra i mjedi, koji imaju manju osjetljivost. Za odabrani model, maksimalna udaljenost osjetila za čelične predmete je 2 mm, dok je za aluminij 1 mm, a za bakar 0,8 mm, zbog korekcije osjetljivosti.

Senzor koristi elektromagnetsko polje koje se stvara oscilacijama u zavojnicama. Kada metalni predmet uđe u ovo polje, inducira vrtložne struje koje stvaraju vlastito magnetsko polje, smanjujući snagu oscilacija. Kada oscilacije padnu ispod određenog praga, senzor detektira prisutnost metala, a promjena amplitude uzrokuje promjenu logičkog stanja izlaznih kontakata senzora. [41]



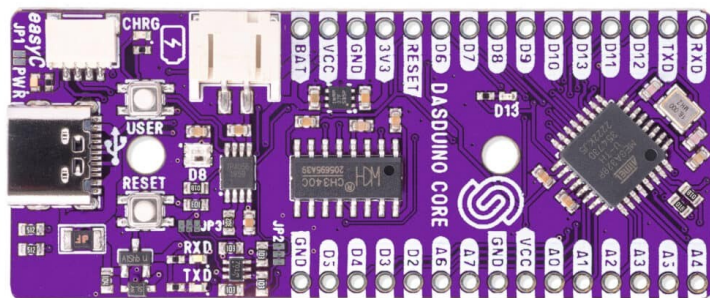
Slika 69. Induktivni senzor SIED-M12B-ZS-K-L

5.2.4. Mikrokontroler Dasduino

Dasduino je hrvatska verzija Arduina, odnosno prva hrvatska pločica kompatibilna s Arduinom. To znači da se Dasduino može koristiti za sve namjene za koje se koristi Arduino. Arduino je platforma dizajnirana za izradu elektroničkih projekata. Sastoji se od dva dijela; hardware-a, poznatog kao mikrokontroler, i software-a pod nazivom IDE (Integrated Development Environment). IDE se pokreće putem računala i koristi se za programiranje i upravljanje pločicom. Za ovaj su projekt izabrana dva modela Dasduino pločica, Dasduino CORE (ATmega328) i Dasduino LITE (ATTiny1604).

5.2.4.1. Dasduino CORE (ATmega328)

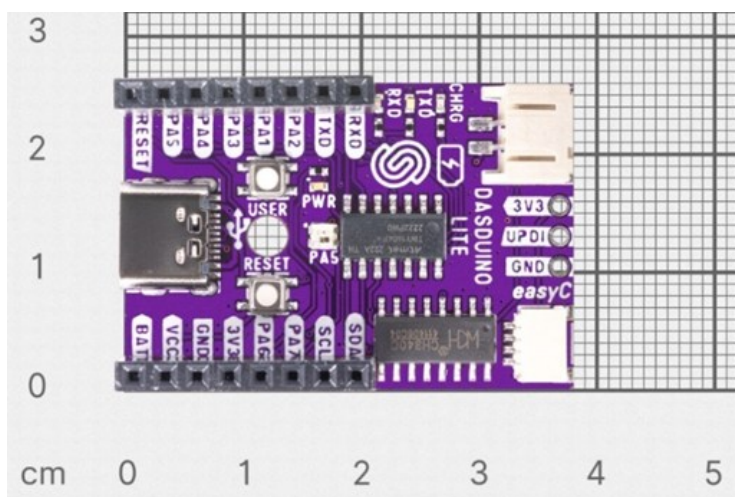
Pločica Dasduino CORE koristi jednočipni 8-bitni ATmega328P mikrokontroler s 16 MHz radnom brzinom i s 32 KB flash memorije. Ima 14 digitalnih i 8 analognih pinova. Dolazi s USB-C konekcijom i u potpunosti je kompatibilan s IDE software-om i Arduino pločicama. Ovaj se mikrokontroler koristi kao glavna upravljačka jedinica uređaja [42].



Slika 70. Dasduino CORE (ATmega328)

5.2.4.2. Dasduino LITE (ATTiny1604)

Dasduino Lite je odabran zbog svojih kompaktnijih dimenzija (38 mm širine i 26 mm visine), što je idealno za uređaj s ograničenim prostorom, jer su sve elektroničke komponente smještene u donji dio trupa. Ovaj mikrokontroler temelji se na ATTiny1604 čipu i sadrži 12 GPIO pinova, od kojih 9 mogu biti programirani kao analogni. Dasduino Lite uključuje i RGB LED diodu, punjač za litijsku bateriju te easyC konektor, a za rad je potrebno preuzeti Arduino biblioteku [43].



Slika 71. Dasduino LITE (ATTiny1604)

5.3. 3D printanje

3D printanje, ili aditivna proizvodnja, omogućava izradu trodimenzionalnih objekata dodavanjem materijala sloj po sloj prema digitalnim CAD modelima. Ova tehnologija se široko primjenjuje u industrijama poput zrakoplovne, automobilske, medicinske, arhitekture i elektronike. Prednosti 3D printanja uključuju veću brzinu proizvodnje, smanjenje troškova i mogućnost prilagodbe dizajna. Među metodama 3D printanja, najpopularnija je FDM (Fused Deposition Modeling), koja koristi termoplastične materijale u obliku filamenata. FDM tehnologija topi materijal kroz zagrijanu mlaznicu i nanosi ga sloj po sloj na platformu. PLA (polilaktična kiselina) je najčešće korišteni filament zbog svojih ekoloških svojstava i jednostavnosti upotrebe. U ovom projektu, kompletna konstrukcija uređaja za razvrstavanje metalnih i nemetalnih predmeta izvedena je korištenjem PLA materijala koji pruža zadovoljavajuća svojstva za izradu ovog uređaja. Kao što je ranije navedeno, svi dijelovi modelirani su u računalnom programu SolidWorks te su isprintani korištenjem 3D printera i različitih boja PLA filamena. U nastavku su prikazani neki od 3D printanih dijelova.

a)



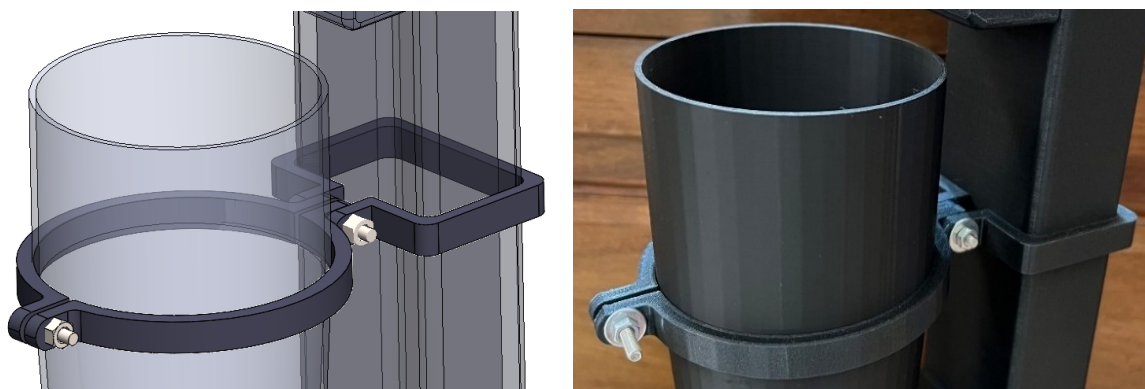
b)



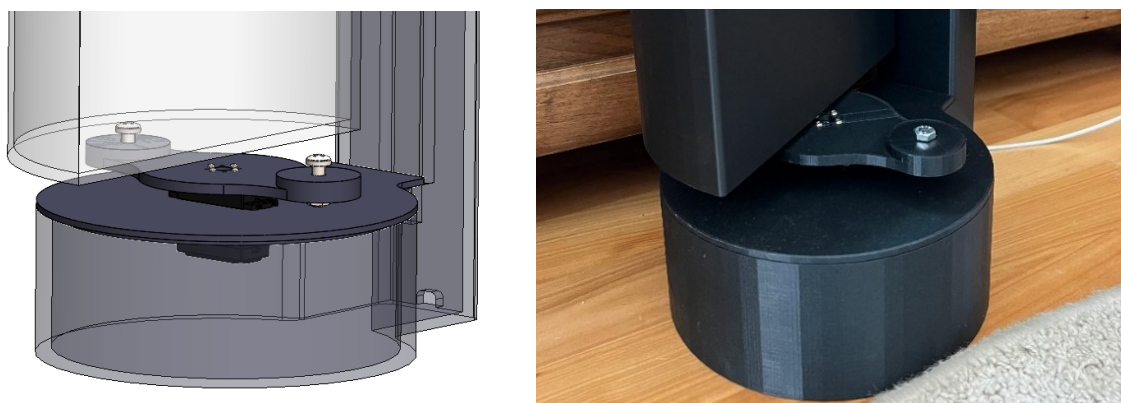
Slika 72. a) Držać spremnika; b) Kutijica za senzore

5.3.1. Spajanje 3D printanih komponenti

Nakon modeliranja i 3D printanja svih komponenti uređaja, slijedi proces njihove montaže, pri čemu je važno pažljivo spajanje svih dijelova pomoću odabranih matica i vijaka. Na slikama 73. i 74. prikazana su rješenja spajanja pojedinih dijelova.



Slika 73. Rješenje držača lijevka za ubacivanje predmeta



Slika 74. Princip spajanja držača posuda i poklopca s tijelom uređaja

5.4. Konačan izgled i princip rada uređaja

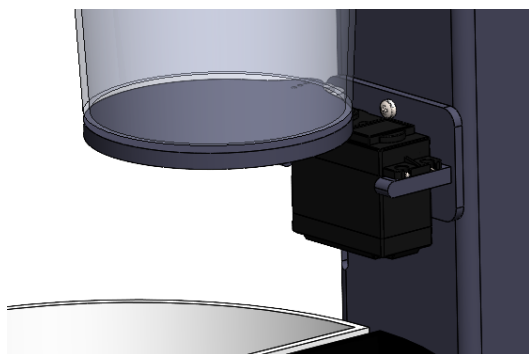
Nakon spajanja svih elektroničkih komponenti i montaže 3D printanih dijelova, uređaj poprima svoj završni oblik. U ovoj je fazi uređaj spreman za testiranje i praktičnu primjenu. Na slici 75. prikazan je konačan izgled uređaja, s jasno vidljivim rasporedom svih dijelova, uključujući senzore, pogonske mehanizme i druge ključne komponente. Ovaj završni dizajn prikazuje optimalan raspored dijelova kako bi uređaj bio funkcionalan, stabilan i efikasan u radu.



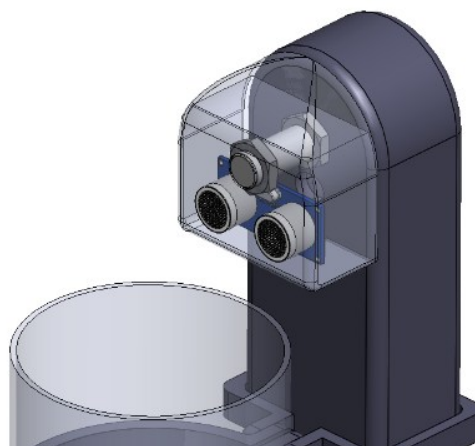
Slika 75. Sklopljeni uređaj

5.4.1. Princip rada

Princip rada uređaja je sljedeći: korisnik uzima predmet i stavlja ga u lijevak, koji je s donje strane zatvoren poklopcem upravljanim putem servo motora 1.[Slika 76.] Prilikom postavljanja predmeta u lijevak aktivira se ultrazvučni senzor koji detektira prisutnost predmeta.[Slika 77.]



Slika 76. Servo motor 1



Slika 77. Induktivni i ultrazvučni senzor

U slučaju da je ubačeni predmet plastičan, induktivni senzor neće reagirati, pa će servo motor 2 [Slika 78.] okrenuti posudu namijenjenu za plastiku (bijela posuda), dok će servo motor 1

otvoriti poklopac i tako omogućiti da predmet padne u odgovarajuću posudu te se nakon toga posude vraćaju u neutralni položaj.[Slika 79.]



Slika 78. Servo motor 2



Slika 79. Umetanje plastičnog predmeta, rotiranje bijele posude, neutralni položaj

Međutim, ako je predmet metalni, induktivni senzor će se aktivirati.[Slika 77.] U tom slučaju, servo motor 2 će okrenuti posudu za metal (crna posuda), dok će servo motor 1 ponovno otvoriti poklopac, dopuštajući da metalni predmet padne u odgovarajuću posudu.[Slika 80.] Ovim postupkom uređaj efikasno razvrstava metalne i nemetalne predmete.



Slika 80. Umetanje metalnog predmeta, rotiranje crne posude, neutralni položaj

Radni ciklus uređaja se ponavlja svaki put kada korisnik ubaci novi predmet. Nakon završetka svakog ciklusa, bez obzira na to je li predmet bio metalni ili plastični, uređaj automatski vraća sve komponente u njihov početni, neutralni položaj. To podrazumijeva da se servo motori, koji kontroliraju poklopac i posude, vraćaju u osnovnu poziciju kako bi bili spremni za sljedeći ciklus.

6. AUTOMATIZIRANI SUSTAV ZA HIDROPONSKI UZGOJ BILJAKA

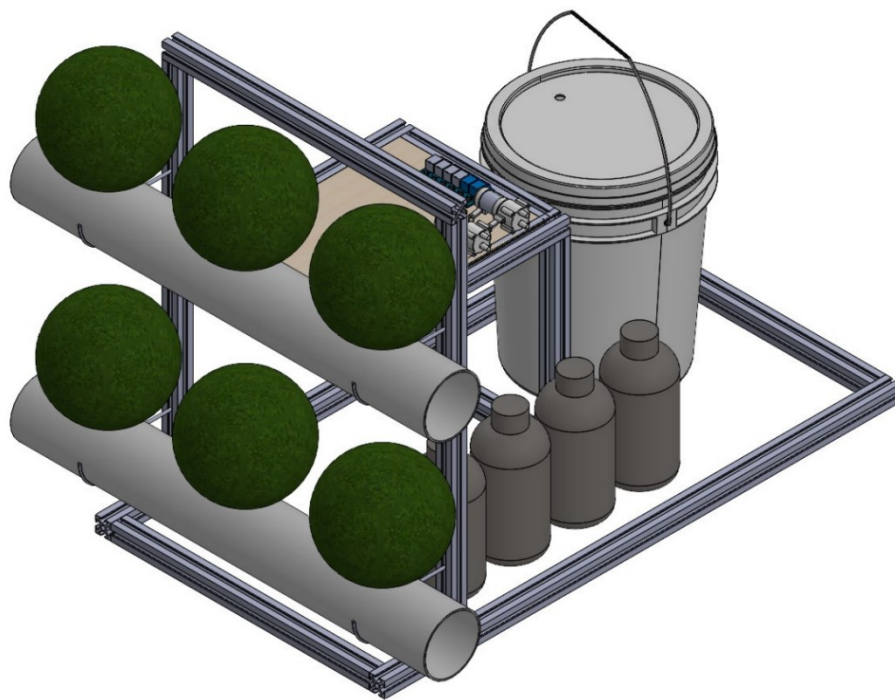
Hidroponika je način uzgoja biljaka bez tla. U takvom načinu uzgoja korijenje ne raste u zemlji iz koje inače dobivaju hranjive tvari, nego u vodi koja u sebi sadrži hranjive tvari. Umjesto zemlje, za pridržavanje biljke u uspravnom stanju koriste se podloge organskog ili mineralnog porijekla kao što su kamena vuna, topljeni škrljac, glinene pelete, kokosov supstrat, granitni komadići, perlit i spužva [44].

Hidroponski uzgoj nudi brojne prednosti u odnosu na tradicionalni uzgoj u tlu, omogućujući biljkama lakši pristup vodi, kisiku i hranjivim tvarima, uz precizno doziranje hranjivih otopina prilagođenih njihovim potrebama u pravom trenutku. Osim toga, omogućava potpunu kontrolu nad količinom i vrstom svjetlosti (valne duljine) koju biljke primaju, dok se pH razine mogu kontinuirano pratiti i podešavati, što rezultira bržim rastom i većim prinosima. Hidroponika također osigurava visoku učinkovitost korištenja resursa, jer troši znatno manje vode i hranjivih tvari u usporedbi s klasičnim vrtlarstvom. Voda i hranjive otopine se recikliraju, a biljke uzimaju isključivo ono što im je potrebno, bez gubitaka u tlo. Dodatna prednost je i optimizacija prostora, jer se hidroponski sustavi mogu postaviti na manjim površinama te omogućuju uzgoj većeg broja biljaka čak i u urbanim sredinama s ograničenim prostorom. Budući da se tlo ne koristi, značajno su smanjeni problemi sa štetočinama i bolestima, čime se minimizira potreba za pesticidima i drugim kemikalijama, a u mnogim slučajevima biljke se uopće ne moraju kemijski tretirati. Osim toga, hidroponski uzgoj omogućuje kontinuiranu proizvodnju tijekom cijele godine, neovisno o vremenskim uvjetima, čime se osigurava stalna dostupnost svježih proizvoda [44].

Kako bi se postigla maksimalna učinkovitost i precizna kontrola uvjeta rasta, ključan element hidroponskih sustava je automatizacija. Automatizirani hidroponski sustavi koriste senzore, mikroupravljače i upravljačke algoritme za kontinuirano praćenje i regulaciju parametara poput pH vrijednosti, električne vodljivosti (EC), temperature, vlažnosti zraka i koncentracije CO₂. Time se omogućava optimalan rast biljaka uz minimalnu potrebu za ručnim intervencijama.

6.1. Projektiranje sustava

Projektiranje automatiziranog hidroponskog sustava uključuje definiranje ključnih komponenti sustava, odabir senzora i aktuatora, razvoj algoritama za regulaciju, te integraciju s pametnim upravljačkim platformama. Prilikom dizajna potrebno je uzeti u obzir specifične zahtjeve uzgoja, vrstu biljaka te dostupne resurse. Na slici 81. prikazano je inicijalno idejno rješenje izvedbe automatiziranog sustava za hidroponski uzgoj biljaka izrađeno u CAD programu *SolidWorks*.



Slika 81. CAD model inicijalne ideje rješenja

Konstrukcija je izrađena od čeličnih profila koji su međusobno zavareni, osiguravajući stabilnost i čvrstoću sustava. Za uzgoj je odabrana zelena salata zbog brzog rasta, kratkog ciklusa uzgoja i jednostavnih uvjeta potrebnih za njen razvoj. Uzgoj se odvija u NFT sustavu, gdje voda kontinuirano cirkulira kroz sustav, osiguravajući optimalnu opskrbu hranjivim tvarima.

Na konstrukciji je smještena upravljačka ploča koja upravlja radom pumpi za doziranje tvari i za regulaciju pH i EC vrijednosti u spremniku s hranjivom otopinom. Mikroprocesor ESP32 prikuplja podatke sa senzora i automatski regulira rad pumpi, kontrolirajući doziranje hranjivih tvari i protok vode kroz NFT sustav.

6.2. Opis komponenti sustava

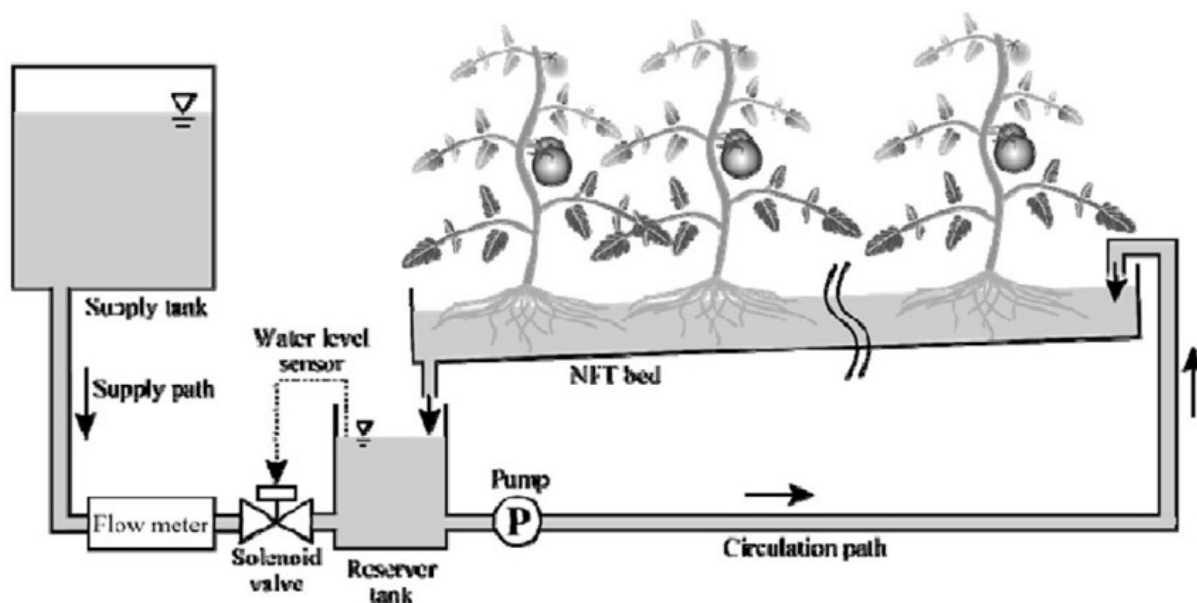
6.2.1. Sustav za dovod hranjivih tvari

Sustav za dovod hranjivih tvari sastoji se od spremnika hranjivih tvari iz kojeg električna pumpa crpi tekućine te ju kroz gumene cijevi promjera $\Phi 6$ mm dovodi do NFT sustava s PVC cijevima promjera $\Phi 90$ mm u kojima je probušena rupa za smještanje plastičnih posuda za sadnju u kojoj se nalazi sjemenka zelene salate u kamenjnoj vuni. Nakon što tekućina izađe kroz PVC cijevi ona se vraća u spremnik hranjivih tvari kroz gumene cijevi promjera $\Phi 6$.

6.2.1.1. NFT sustav

NFT (Nutrient Film Technique) je hidroponska metoda uzgoja biljaka u kojoj se korijenje nalazi u plitkom sloju hranjive otopine koja neprekidno cirkulira kroz sustav. Ova tehnika omogućuje biljkama stalni pristup vodi, hranjivim tvarima i kisiku, što rezultira bržim rastom i većim prinositima u kontroliranim uvjetima [45].

Jedna od prednosti NFT sustava je učinkovito korištenje vode i hranjivih tvari, jer se otopina recirkulira, smanjujući otpad i optimizirajući resurse. Međutim, nedostatak ovog sustava je slaba otpornost na prekide u protoku, poput nestanka struje, što može brzo dovesti do isušivanja korijena i oštećenja biljaka [45].



Slika 82. NFT sustav

6.2.1.2. Električna pumpa

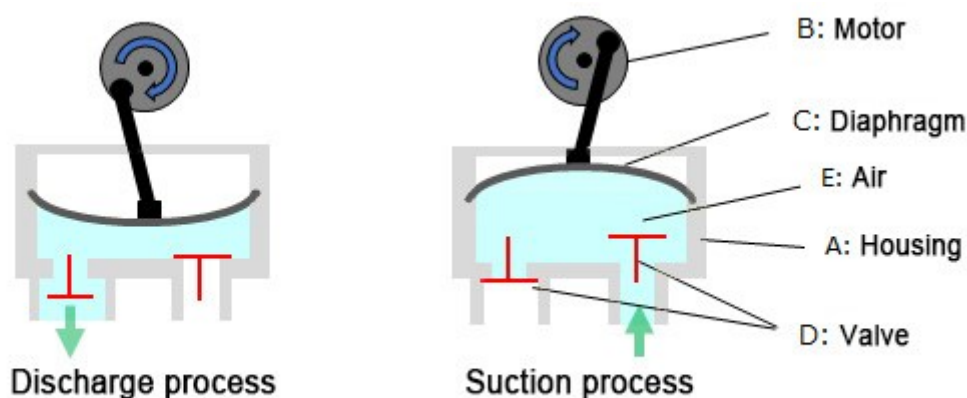
Za izradu sustava odabrana je membranska pumpa proizvođača *Elecrow*, model *R385* prikazana na slici 83.



Slika 83. Membranska pumpa

Membranska pumpa je vrsta pumpe koja koristi fleksibilnu membranu za pomicanje tekućine ili plina. Rad membranske pumpe temelji se na izmjeničnom pomicanju membrane koja stvara promjene tlaka unutar komore pumpe, omogućujući usisavanje i istiskivanje medija kroz ventile. Ove pumpe mogu biti pogonjene električno, pneumatski ili ručno, ovisno o namjeni i primjeni [46].

Zbog svoje konstrukcije, membranske pumpe su vrlo otporne na korozivne i abrazivne tekućine te se često koriste u kemijskoj industriji, farmaciji, prehrambenoj industriji i sustavima za pročišćavanje vode. Osim toga, popularne su u hidroponskim sustavima i sustavima za doziranje hranjivih tvari jer omogućuju precizno i pouzdano doziranje bez kontaminacije medija. Njihova glavna prednost je rad bez potrebe za podmazivanjem, čime se smanjuje rizik od onečišćenja tekućine koju transportiraju.



Slika 84. Princip rada membranske pumpe R385 koja koristi zrak kao medij

6.2.2. Mjerni dio sustava

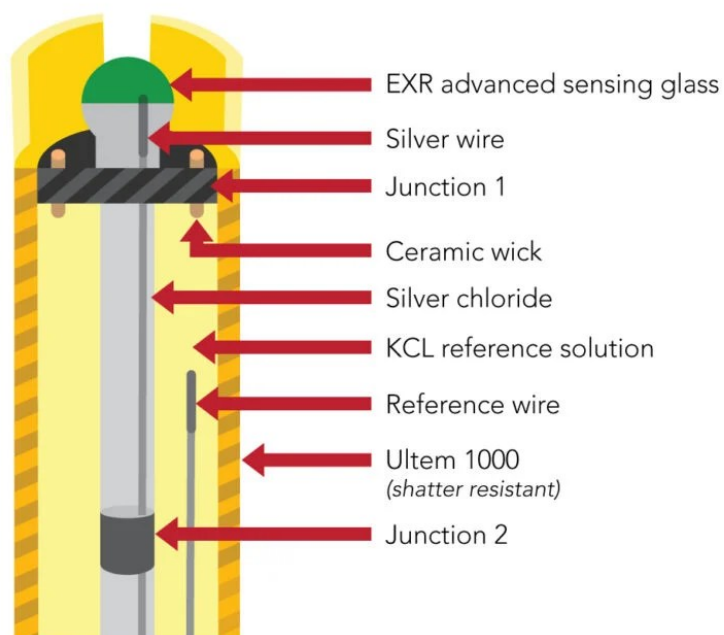
Mjerni dio sustava sastoji se od pH i EC senzora koji su smješteni u spremniku hranjive otopine te su spojeni na mikroupravljač.

6.2.2.1. pH senzor

pH, što označava "potencijal vodika", mjeri interakciju između vodikovih (H^+) i hidroksidnih (OH^-) iona u vodenoj otopini. Otopina s visokim sadržajem H^+ iona smatra se kiselim, dok je otopina s visokim sadržajem OH^- iona bazna.

Kada se pH sonda uroni u otopinu, H^+ ioni iz otopine uzorka difundiraju kroz selektivnu staklenu membranu. Ova difuzija događa se zato što je staklena membrana propusna za H^+ ione, ali ne i za druge ione. Selektivna difuzija H^+ iona kroz staklenu membranu stvara

elektrokemijsku potencijalnu razliku između unutrašnjosti staklene elektrode (koja sadrži referentnu otopinu) i otopine uzorka. [47]



Slika 85. Unutrašnjost pH sonde

U sustav je ugrađen pH senzor koji je kompatibilan s *Arduino* platformom te je bilo potrebno prilagoditi logiku senzora s 5V na napon *ESP32* mikroupravljača od 3.3V. To je postignuto upotrebom naponskog djelila. Korišteni pH senzor prikazan je na slici 86.

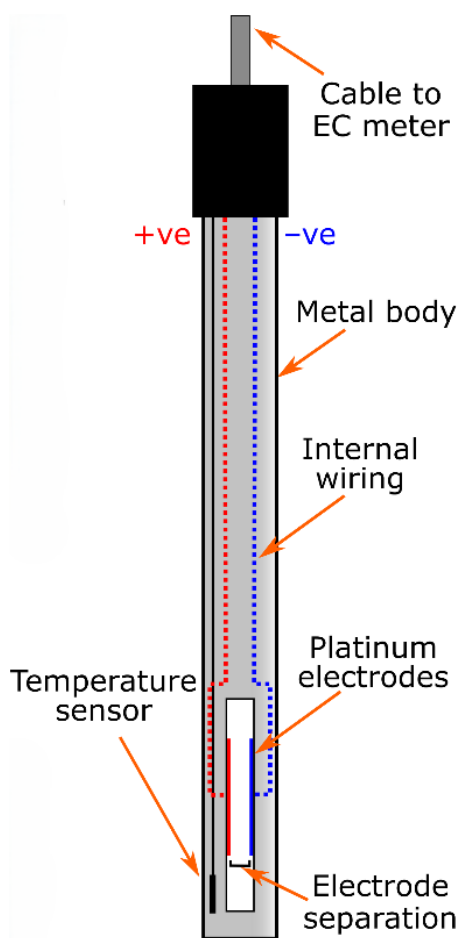


Slika 86. pH senzor

6.2.2.2. EC senzor

Električna vodljivost (EC), koja označava sposobnost otopine da provodi električnu struju, izravno ovisi o koncentraciji otopljenih iona u vodi. Što je veća koncentracija iona, to je električna vodljivost veća.

EC senzor mjeri ovu vodljivost pomoću dvije ili više elektroda uronjenih u otopinu. Kada se na elektrode primijeni napon, otopljeni ioni u vodi omogućuju prolazak električne struje. Mjerenjem protoka struje i poznavajući udaljenost između elektroda, moguće je izračunati vodljivost otopine. Budući da temperatura značajno utječe na vodljivost, većina EC senzora ima ugrađeni temperaturni kompenzacijski mehanizam kako bi osigurala točna očitavanja [48].



Slika 87. Unutrašnjost EC sonde

U sustav je ugrađen EC senzor koji je kompatibilan s *Arduino* platformom te je bilo potrebno prilagoditi logiku senzora s 5V na napon *ESP32* mikroupravljača od 3.3V. To je postignuto upotrebom naponskog djelila. Korišteni EC senzor prikazan je na slici 88.



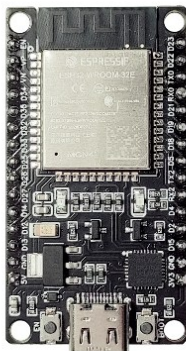
Slika 88. EC senzor

6.2.3. Upravljački dio sustava

6.2.3.1. Upravljački uređaj ESP32

Za upravljanje sustavom koristi se mikroupravljač *ESP32-DevKitC* proizvođača *Espressif*, ESP32 je 2,4 GHz Wi-Fi i Bluetooth kombinirani čip dizajniran pomoću TSMC-ove 40 nm tehnologije niske potrošnje energije. Dizajniran je za postizanje najbolje energetske i RF izvedbe, pokazujući otpornost, svestranost i pouzdanost u širokom rasponu primjena i energetske scenarija [49].

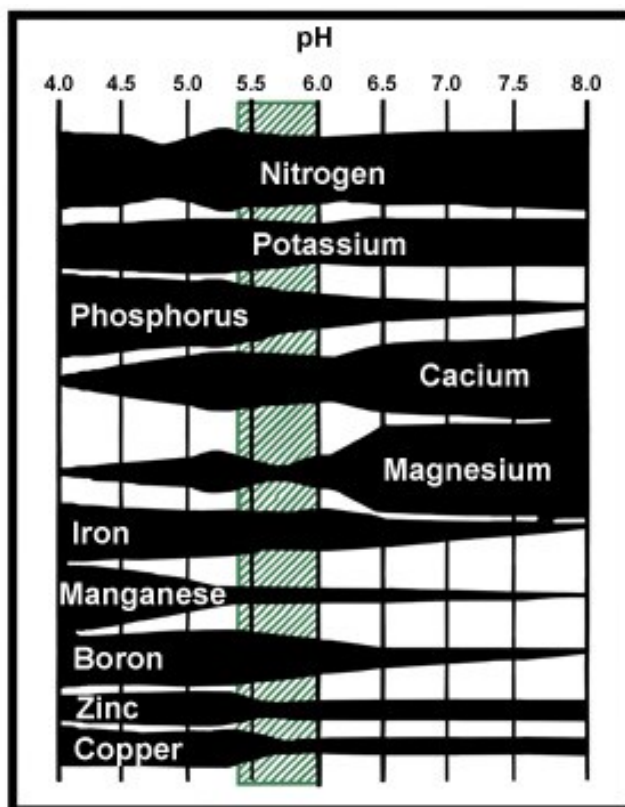
ESP32 je svestran mikroupravljač koji se koristi u širokom spektru aplikacija, uključujući IoT uređaje, pametne kuće, nosivu tehnologiju, industrijsku automatizaciju i bežičnu komunikaciju. Posebno je koristan u sustavima automatizacije gdje omogućuje nadzor i upravljanje različitim procesima. Zahvaljujući podršci za Wi-Fi, Bluetooth i brojne komunikacijske protokole (SPI, I2C, UART), ESP32 se lako povezuje s raznim senzorima i aktuatorima, omogućujući učinkovit i fleksibilan nadzor automatiziranih sustava. Mikroupravljač je prikazan na slici 89.



Slika 89. ESP32 mikroupravljač

6.2.3.2. Upravljanje pH vrijednošću

Kontrola pH vrijednosti ključna je u hidroponskom uzgoju, jer pH vrijednost izravno utječe na sposobnost biljaka da apsorbiraju hranjive tvari. Većina biljaka preferira blago kisele uvjete, s pH vrijednostima između 5,5 i 6,5. Ako je pH izvan ovog raspona, određeni nutrijenti postaju manje dostupni, što može dovesti do usporenog rasta ili nutritivnih deficita. Primjerice, kod previsokog ili preniskog pH, hranjive tvari mogu se izdvojiti iz otopine i postati nedostupne biljkama, što može uzrokovati stagnaciju rasta ili čak odumiranje biljke. [50]

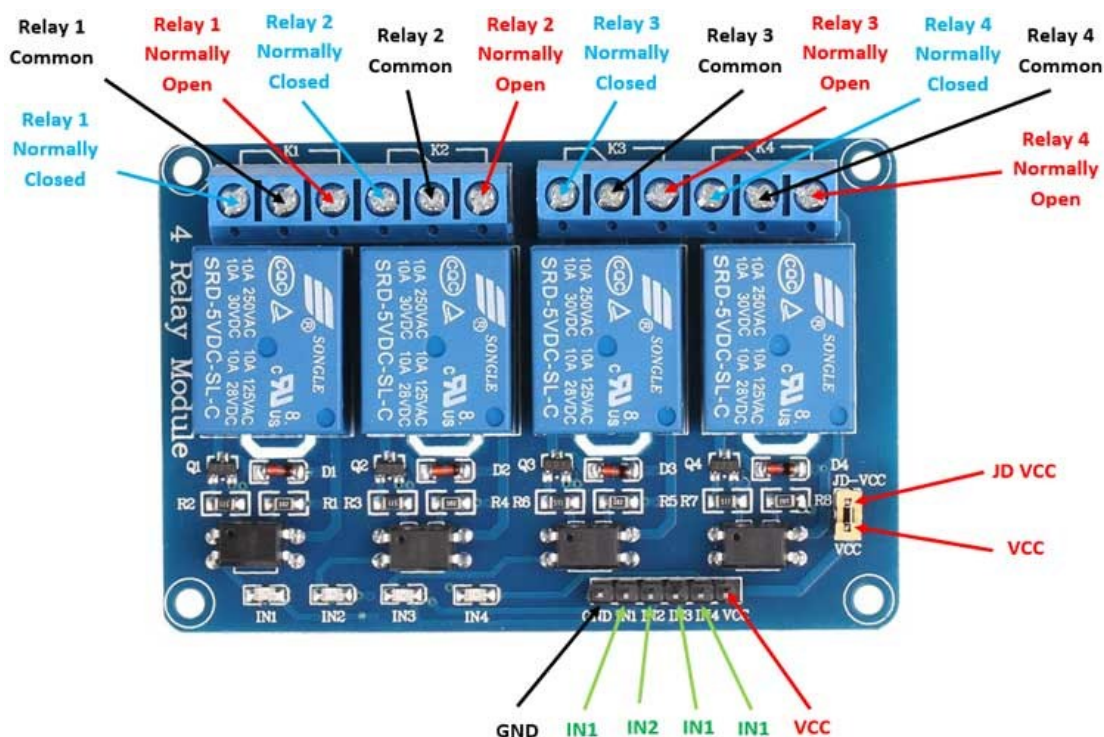


Slika 90. pH dijagram apsorpcije nutrijenata

Upravljanje se obavlja pomoću dviju pumpi koje su upravljane preko releja. Mikroupravljač šalje signal releju za uključivanje pumpe za povećanje pH vrijednosti ukoliko senzor očitava vrijednost manju od 5,5. Ako senzor očitava vrijednost veću od 6,5 on šalje signal releju za uključivanje pumpe koja cirkulira otopinu za smanjivanje pH vrijednosti.

6.2.3.3. Upravljanje EC vrijednošću

U hidroponskom uzgoju, EC vrijednost pomaže u određivanju koncentracije hranjivih tvari u otopini. Ova vrijednost pokazuje količinu otopljenih soli, a time i dostupnost esencijalnih elemenata potrebnih za rast biljaka. Ako je EC prenizak, biljke neće dobiti dovoljno hranjivih tvari, što može usporiti njihov razvoj. S druge strane, previsok EC može dovesti do prekomjernog nakupljanja soli, otežane apsorpcije vode i nutritivnog stresa. Održavanje optimalne EC vrijednosti osigurava pravilnu prehranu biljaka i maksimalan prinos. Ukoliko senzor očitava vrijednost veću od gornje granice, mikroupravljač šalje signal releju za uključivanje pumpe za smanjenje EC vrijednosti. Za smanjenje EC vrijednosti koristi se destilirana voda koja se promiješa s hranjivom otopinom. Ako senzor očitava vrijednost manju od donje granice, mikroupravljač šalje signal releju za uključivanje pumpe za povećanje EC vrijednosti. Za povećanje EC vrijednosti koristi se hranjiva otopina veće koncentracije od one u spremniku hranjive otopine. Na slici 91. prikazan je relejni modul sa četiri upravljačka modula.



Slika 91. Primjer relejnog modula

6.3. Izrada eksperimentalnog postava

6.3.1. Izrada eksperimentalnog postava

Prvi korak izrade eksperimentalnog postava bio je zavarivanje metalne konstrukcije te njezino bojanje, nakon toga montirane su PVC cijevi koje su pod nagibom da omoguće protok vode. Na PVC cijevima su probušene rupe tako da se može staviti teglica sa glavicom zelene salate koja je proklijala u posebnim uvjetima. Na stražnji dio konstrukcije montirana je ploča sa elektronikom koja sadrži pumpe za vodu, releje te mikroupravljač. Mikroupravljač se povezuje na Wi-Fi mrežu te je moguće pratiti podatke sa senzora i kontrolirati rad sustava preko mobilnog uređaja. Izrađeni eksperimentalni postav prikazan je na slici 92.



Slika 92. Izrađeni eksperimentalni postav

6.3.2. Izrada elektroničkog sustava

U elektroničkom sustavu mikroupravljač kontrolira pumpe pomoću releja kao i EC senzor, jer dolazi do pojave šuma ukoliko se istovremeno mjeri EC i pH vrijednost pošto EC sonda šalje elektrone kroz vodu koje pH sonda detektira i očitava pogrešne rezultate. Da bi se to izbjeglo EC senzor je spojen na relej te se uključuje samo kada je potrebno mjeriti pH vrijednost. Na slici 91. prikazan je kod glavne petlje. Funkcija `timer.run()` određuje da se kod glavne petlje izvršava svakih 30 minuta pošto je potrebno neko vrijeme da se koncentracije za regulaciju pH i EC vrijednosti izmiješaju s vodenom otopinom te da se same vrijednosti stabiliziraju. Prilikom regulacije EC vrijednosti može doći do promjene pH vrijednosti te se radi toga prvo regulira

EC vrijednost pa se nakon toga regulira pH vrijednost. Ukoliko neka vrijednost nije unutar zadanog intervala vrši se regulacija vrijednosti pozivom odgovarajuće funkcije koja uključuje pumpu za potrebnu koncentraciju.

```

395 void loop()
396 {
397
398   if(IzmjerenEC == false && ReguliranEC == false) MjeriEC();
399   else if(IzmjerenEC == true && ReguliranEC == false)
400   {
401     if(EC_Final < 0.8) PovecajEC();
402     else if(EC_Final > 1.2) SmanjiEC();
403     ReguliranEC = true;
404     IzmjerenEC = false;
405     ReguliranpH = false;
406     EC_brojac = 0;
407     Serial.println("Reguliram EC");
408   }
409   else if(IzmjerenpH == false && ReguliranEC == true) MjeripH();
410   else if(IzmjerenpH == true && ReguliranpH == false)
411   {
412     if(pH_Value_Final < 5.4) PovecajPH();
413     else if (pH_Value_Final > 6.5) SmanjiPH();
414     IzmjerenpH = false;
415     ReguliranpH = true;
416     ReguliranEC = false;
417     pH_Brojac = 0;
418     Serial.println("Reguliram pH");
419   }
420
421   Blynk.run();
422   timer.run();
423
424 }

```

Slika 93. Glavna petlja

```

void MjeripH()
{
  if(pH_state == false)
  {
    digitalWrite(EC_Relay, HIGH);
    digitalWrite(pH_Relay1, LOW);
    digitalWrite(pH_Relay2, LOW);
    pH_state = true;
    //delay(100);
  }
  if(pH_Brojac < broj_uzoraka)
  {
    for(int i=0;i<10;i++)
    {
      buffer_arr1[i]=analogRead(pH_pin1);
      buffer_arr2[i]=analogRead(pH_pin2);
    }
    for(int i=0;i<9;i++)
    {
      for(int j=i+1;j<10;j++)
      {
        if(buffer_arr1[i]>buffer_arr1[j])
        {
          temp=buffer_arr1[i];
          buffer_arr1[i]=buffer_arr1[j];
          buffer_arr1[j]=temp;
        }
        if(buffer_arr2[i]>buffer_arr2[j])
        {
          temp=buffer_arr2[i];
          buffer_arr2[i]=buffer_arr2[j];
          buffer_arr2[j]=temp;
        }
      }
    }
    avgval1 = 0;
    avgval2 = 0;
    suma1 = 0;
    suma2 = 0;

    for(int i=2;i<8;i++)
    {
      suma1+=buffer_arr1[i];
      suma2+=buffer_arr2[i];
    }

    avgval1 = suma1 / 6;
    float Voltage1=(float)avgval1*3.3/1024/6;
    pH_Value1 = (-5.70 * Voltage1 + calibration_value1) * confVal + (1-confVal) * pH_Value1;

    avgval2 = suma2 / 6;
    float Voltage2=(float)avgval2*3.3/1024/6;
    pH_Value2 = (-5.70 * Voltage2 + calibration_value2) * confVal + (1-confVal) * pH_Value2;

    pH_Value = (pH_Value1 + pH_Value2) / 2;

    pH_Brojac++;
  }
  if(pH_Brojac >= broj_uzoraka)
  {
    Serial.print("pH Val1: ");
    Serial.print(pH_Value1);
    Serial.print(" pH Val2: ");
    Serial.print(pH_Value2);
    Serial.print(" | Voltage pin1: ");
    Serial.print(float((analogRead(pH_pin1)*3.3/1024.0/6)));
    Serial.print(" Voltage pin2: ");
    Serial.print(float((analogRead(pH_pin2)*3.3/1024.0/6)));
    Serial.print(" | pH Val: ");
    Serial.println(pH_Value);

    pH_Value_Final = pH_Value;

    IzmjerenpH =true;
  }
}

```

Slika 94. Funkcija za mjerenje pH vrijednosti

Na slici 94. prikazana je funkcija za mjerenje pH vrijednosti, pošto je pH senzor podložan šumovima koriste se dva senzora te se uzima više rezultata mjerenja koji zatim prolaze kroz niskopropusni filter te se kao očitana vrijednost uzima srednja vrijednost izmjerenih rezultata. Funkcija pretvara ulazni napon u rasponu od 0V do 3,3V u pH vrijednost u rasponu od 1 do 14. Na slici 95. prikazana je funkcija za EC vrijednost koja nije toliko opširna pošto nije podložna šumovima kao pH vrijednost. Funkcija također uzima više vrijednost te se kao očitana vrijednost uzima srednja vrijednost izmjerenih rezultata. Postoji i mogućnost približnog očitavanja TDS vrijednost koja predstavlja količinu otopljenih krutih tvari u vodi.

```
void MjeriEC()
{
    if(pH_state == true)
    {
        digitalWrite(pH_Relay1, HIGH);
        digitalWrite(pH_Relay2, HIGH);
        digitalWrite(EC_Relay, LOW);
        pH_state = false;
        //delay(100);
    }

    if(EC_brojac < broj_uzoraka*10)
    {
        rawEc = analogRead(tds_sensor) * aref / 1024.0;
        ec = ConfValEC * (rawEc * ecCalibration) + (1 - ConfValEC) * ec; //
        tds = (133.42 * pow(ec, 3) - 255.86 * ec * ec + 857.39 * ec) * 0.5;
        EC_brojac++;
    }

    if(EC_brojac >= broj_uzoraka*10)
    {
        Serial.print(F("TDS:")); Serial.print(tds);
        Serial.print(F(" EC: ")); Serial.println(ec, 2);
        EC_Final = ec;
        TDS_Final = tds;

        IzmjerenEC = true;
    }
}
```

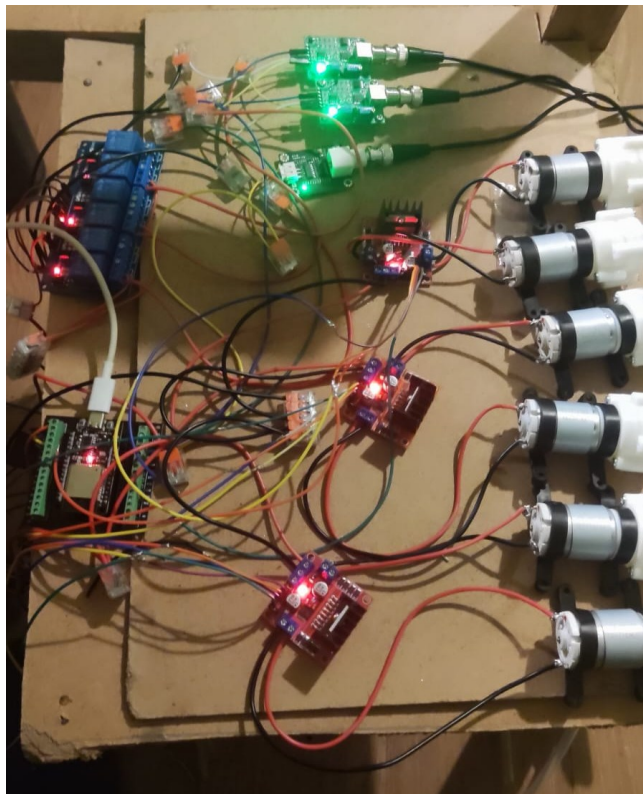
Slika 95. Funkcija za mjerenje EC vrijednosti

Na slici 96. prikazana je funkcija za povećanje pH vrijednosti koja uključuje pumpu za cirkulaciju otopine koja povećava pH vrijednost te se dodaje u spremnik hranjivih tvari. Ostale funkcije koje služe za regulaciju pH i EC vrijednosti su slične ovoj funkciji.

```
void PovecajPH()
{
    digitalWrite(Pumpa1, LOW);
    delay(PumpaON);
    digitalWrite(Pumpa1, HIGH);
    Serial.println("pH +");
}
```

Slika 96. Funkcija za povećanje pH vrijednosti

Nakon izrade programa slijedilo je ispitivanje programa na stvarnom postavu. Na slici 97. prikazan je spoj svih komponenti na ploči koja se montira na stražnji dio metalne konstrukcije sustava. Elektronski sklop sadrži pumpe, senzore za EC i pH vrijednost, releje te *drivere* za motore.



Slika 97. Elektronički sklop

6.3.3. Rezultati

Nakon izrade sustava slijedilo je testiranje uz uzgoj dvije glavice zelene salate, sjemenke salate su prvo proklijale te su nakon toga premještene u NFT sustav gdje su bile uzgajane. Na slici 98. prikazana je veličina salata kada je premještena u NFT sustav.



Slika 98. Veličina salate prije premještanja

Na slici 99. prikazana je salata nakon četiri tjedna provedenih u NFT sustavu. Ukoliko bi sustav bio smješten u prostoru s kontroliranom klimom poput automatiziranog staklenika te bi se koristile metode za ubrzanje rasta poput ispuhivanja CO₂ po biljci te osiguranja optimalnog osvjetljenja, ukupno vrijeme uzgoja od sjemenke do berbe iznosio bi oko tridesetak dana [51].



Slika 99. Zelena salata nakon tri tjedna u NFT sustavu

7. SPRAVA ZA VJEŽBANJE TEHNIKA OBRANE I BRZINE REAKCIJE U BOKSU

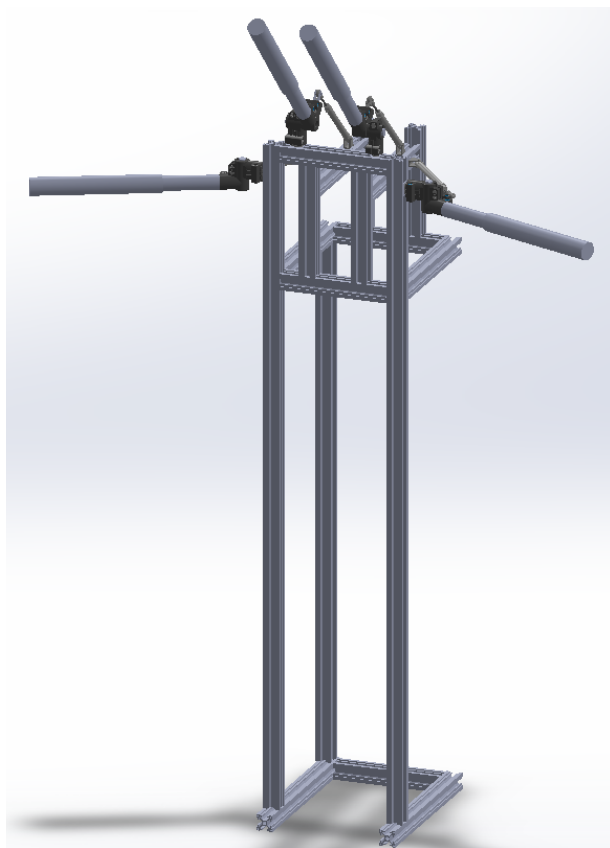
U ovom poglavlju bit će prikazan uređaj namijenjen vježbanju tehnike obrane i brzine reakcije u boksu. Uređaj koristi pneumatske cilindre za simulaciju protivničkih udaraca, čime se boksača potiče na pravilnu i pravovremenu reakciju.

Kako bi se osigurala pravilna funkcionalnost, uređaj pomoću senzora i programskog upravljanja detektira kada je jedan od cilindara izbačen. Nakon toga, sprava čeka njegov povratak u početni položaj prije nego što omogući aktivaciju sljedećeg cilindra.

Rad detaljno opisuje konstrukciju i komponente uređaja uz programski kod koji omogućuje funkcionalnost sprave. Izrađen je na temelju znanja iz različitih područja strojarstva.

7.1. Projektiranje i izrada modela

Za početak je potrebno projektirati 3D model koji sadrži sve komponente pneumatskog sustava, kao i njegovu konstrukciju, a nalazi se na slici 100. Konstrukciju čine aluminijski profili koji su spojeni kutnicima, a pneumatski cilindri su spojeni na pločice koje su dalje vezane na aluminijske profile.



Slika 100. Projektirani 3D model

7.1.1. Projektiranje pneumatskog sustava

U navedenom poglavlju bit će prikazane sve komponente koje su povezane s pneumatskim sustavom. Također, bit će objašnjen izbor pneumatskih cilindara, senzora te ostalih popratnih komponenti koji pripadaju sustavu.

Zadatak uređaja je pomicanje fokusera s početne pozicije (ili početak udarca) do krajnje pozicije (kraj udarca). Za takav zadatak su potrebni dvoradni pneumatski cilindri. Hod cilindra je odabran na način da se u CAD programu eksperimentiralo s raznim dimenzijama sve dok nije pronađen hod koji bi zadovoljavao. Zato su izabrani cilindri od japanske tvrtke SMC, model C(D)85N16-140C-B. Cilindar je prikazan na slici 101.



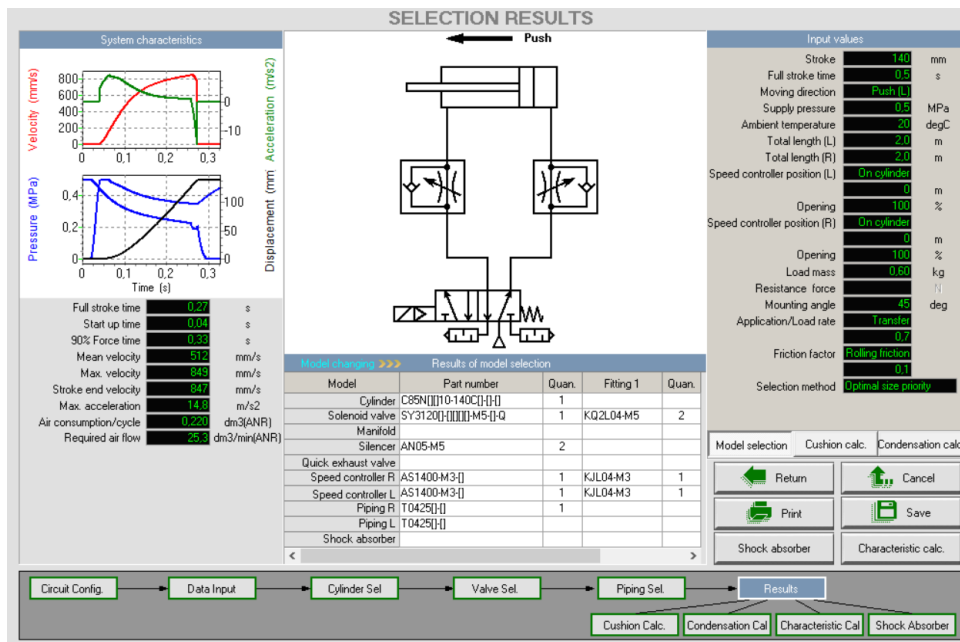
Slika 101. Odabrani pneumatski cilindar

Oznaka pneumatskog cilindra je C(D)85N16-140C-B:

- C85 – vrsta serijske proizvodnje
- D – s ugrađenim magnetom
- N – osnovna kuka
- 16 – promjer klipnjače
- 140 – hod cilindra od početne do krajnje pozicije
- B – nosač za davač signala

Kako bi se provjerilo hoće li cilindar zadovoljiti zadatak, SMC nudi program koji pomaže pri odabiru i prikazu svih podataka cilindra. Uz pomoć alata *Model selection software* mogla se napraviti simulacija željenog sustava. Glavni cilj je bio dobiti vrijeme koje je potrebno za potpuni izlazak klipnjače iz cilindra. To vrijeme bi predstavljalo realističan pokret udarca. Rezultati simulacije pokazuju dijagrame ubrzanja, brzine, promjene tlaka, volumena te najmanje vrijeme potrebno da pneumatski cilindar izvrši puni hod. U slučaju da je bilo potrebno previše vremena, uzeo bi se samo klip većeg promjera kako bi mu se povećala sila. Proučavajući

rezultate simulacije zaključuje se da sustav zadovoljava uvjete te će se brzina klipa prilagođavati preko prigušno nepovratnih ventila.



Slika 102. Simulacija sustava

7.1.2. Projektiranje noseće konstrukcije

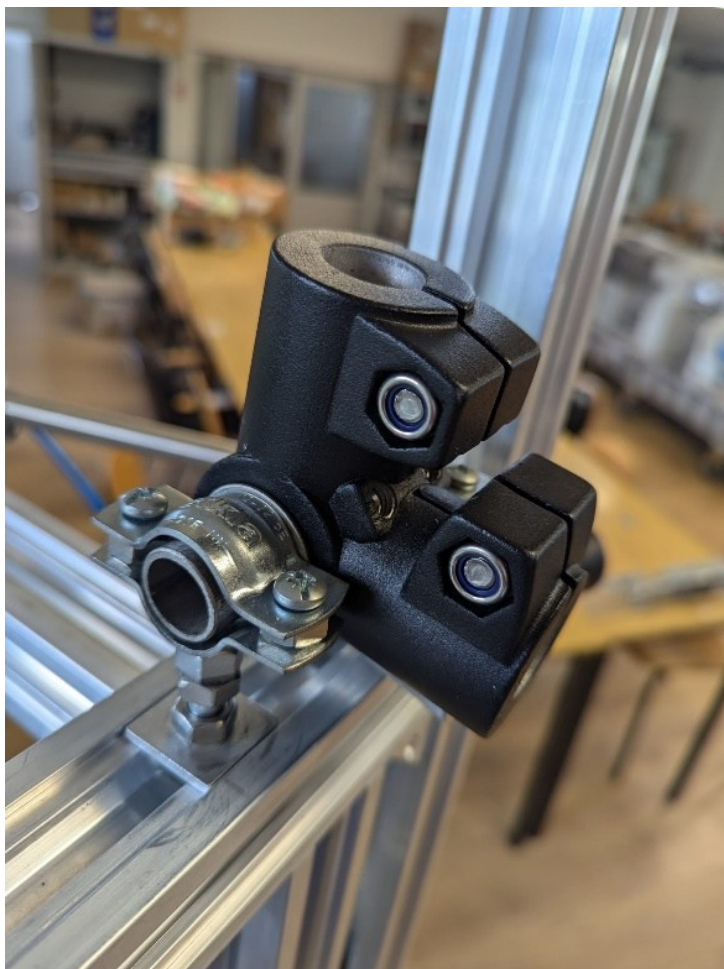
Za pneumatski sustav potrebno je projektirati konstrukciju na koju će se montirati. Konstrukcija je napravljena od aluminijskih profila izrezanih po mjeri te kutnika koji te profile spajaju. Prikaz konstrukcije je na slici 103. Za pneumatske cilindre su napravljene pločice s provrtima za M6 vijak. Pločica se nalazi između zgloba cilindra i aluminijskog profila, a sve je vezano vijcima i maticama.



Slika 103. Prikaz konstrukcije

7.1.3. Projektiranje kinematičkog sustava

Kinematički sustav sastoji se od kutnih spojnica čila je glavna uloga povezivanje fokusera s pneumatskim cilindrom. Budući da se u sustavu nalaze četiri fokusera i četiri pneumatska cilindra, za svaki par predviđena je po jedna spojnica. Te spojnice se stežu za osovinu te se s njom rotiraju oko kliznih ležajeva. Spoj zgloba je prikazan na slici 104.



Slika 104. Spoj zgloba na konstrukciji

7.1.4. Fokuseri

Fokuseri moraju imati čvrstu jezgru kako bi zadržali oblik tokom udaranja i dovoljno mekanu površinu da ne bi došlo do ozljede boksača. Za jezgru su izabrane PPR cijevi zbog čvrste strukture, lakog rezanja na odgovarajuće duljine te cijene. Za mekanu površinu su izabrane termoizolacijske cijevi koje su dovoljno mekane. Nema potrebe za ikakvim rezanjem već su dizajnirane tako da se samo na cijev nataknu. Promjer cijevi i provrt spojnice su istog promjera, 20 mm, tako da umetanjem cijevi u provrt i stezanjem vijka dobiva čvrsti spoj fokusera. Na slici 105. je prikazan krajnji spoj pneumatskog cilindra i fokusera.



Slika 105. Spoj pneumatskog cilindra i senzora

7.2. Upravljanje

Za pneumatski sustav potrebno je postići nasumično aktiviranje pneumatskih cilindara uz pomoć signala koji daju senzori, uz ograničenje da se iduća aktivacija dogodi nakon što se prethodno aktivirani cilindar vrati u početnu poziciju. Taj uvjet će se ostvariti uz pomoć mikroračunala Controllino MINI.

7.2.1. Upravljački uređaj Controllino MINI s napajanjem

Controllino MINI, prikazan na slici 106. a), kompaktno je industrijsko mikroračunalo koje se temelji na mikroračunalu ATmega328 i Arduino platformi. Dizajniran je za primjenu u automatizaciji, kontroli procesa i drugim industrijskim okruženjima.

Napajanje se osigurava električnim uređajem koji pretvara električnu struju iz izbora u traženi napon. Uređaj osigurava električnu energiju potrebnu za rad drugih komponenti. Controllino MINI biti će spojen na izvor napajanja od 24 V, što omogućava upravljanje ventilima. Za taj izvor napajanja koristi se uređaj Mean Well MDR-20-24, prikazan na slici 106. b). Opskrbljuje Controllino MINI s naponom od 24 V i strujom od 1 A.

a)



b)

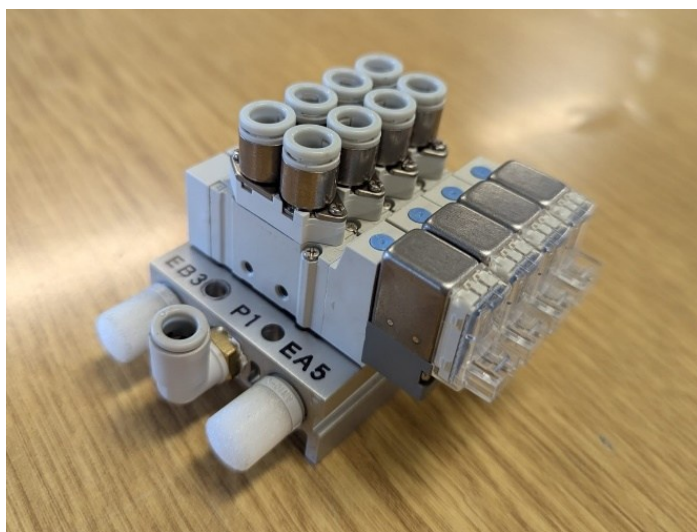


Slika 106. a) Controllino MINI; b) Napajanje Mean Well MDR-20-24

7.2.2. Upravljanje pneumatskim sustavom

Controllino MINI pojednostavljuje sklopovlje upravljačkog sustava. Sadrži unaprijed ugrađene releje koji se koriste za upravljanje ventilima. Ventili su uređaji koji se koriste za upravljanje ili regulaciju protoka i tlaka fluida. U ovom modelu koristit će se elektromagnetski razvodnici te prigušno-nepovratni ventili.

Releji se koriste u svrhu upravljanja elektromagnetskih razvodnika. Kada se dovede napon na zadani elektromagnetski razvodnik, magnetska kotva se pomiče te omogućuje protok fluida. Kada se napon oduzme, magnetska kotva se vraća u početni položaj pomoću opruge i zatvara protok fluida. Za opis ovog razvodnika koristit će se 5/2 model, odnosno razvodnik s pet priključaka i dva takva ventila. Budući da u sustavu ima četiri pneumatska cilindra, potrebna su i četiri takva razvodnika. Odabran je razvodnik model SMC SY3120-5LOU-C6-Q. Kako bi se ostvarila kompaktna struktura razvodnika, korišten je razdjelnik namijenjen za elektromagnetske razvodnike serije SY300, model SS5Y3-20-04-004-Q. Razdjelnik s elektromagnetskim ventilima prikazan je na slici 107.



Slika 107. Elektromagnetski razvodnici spojeni na razdjelnik

Nadalje, prigušno-nepovratni ventil je komponenta koja omogućava protok fluida u jednom smjeru uz istovremeno prigušivanje protoka. Koristi se za kontrolu brzine kretanja fluida i sprječavanje povratnog toka. Sadrži regulacijski mehanizam koji omogućava podešavanje stupnja prigušenja kako bi se prilagodilo zahtjevima sustava. Odabran je ventil, model AS1201F-M5-06A, prikazan na slici 108. Zahvaljujući jednostavnoj montaži i regulatoru sa zaključavanjem (*push-lock* mehanizmom) predstavlja izuzetno praktično rješenje.



Slika 108. Prigušno-nepovratni ventil

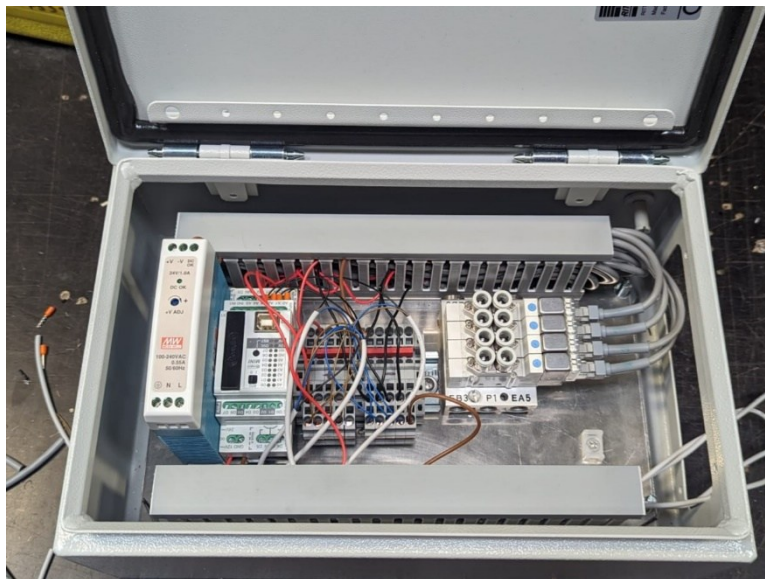
Controllino MINI dolazi s unutarnjim napajanjem od 5 V. Na to napajanje će biti spojeni elektronički davači signala koji pretvaraju fizičke veličine, u ovom slučaju položaj cilindra, u električni signal koji se dalje obrađuje ili prenosi. Na slici 109. prikazan je elektronički davač signala D-M9PL.



Slika 109. Elektronički davač signala

7.2.3. Upravljačka kutija

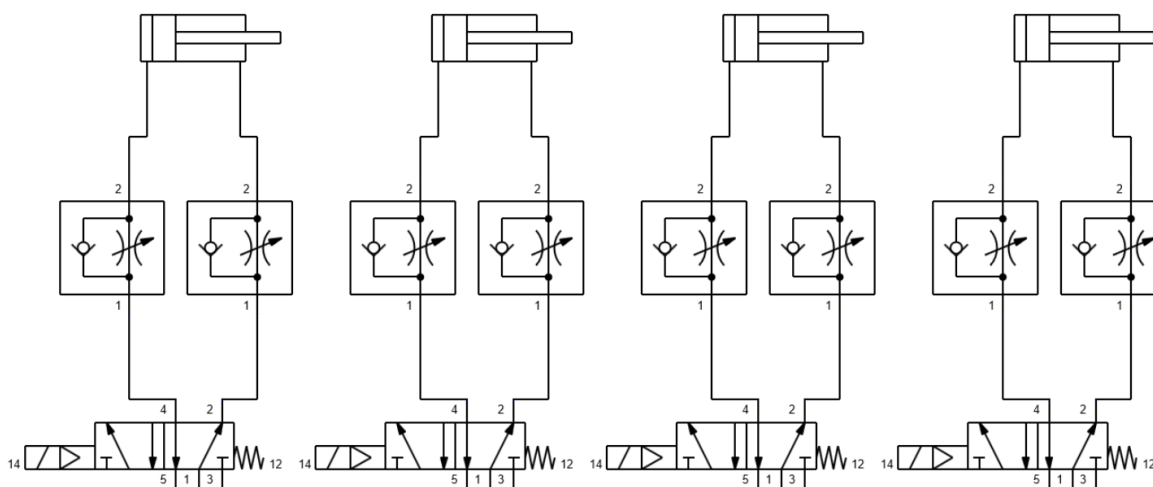
Kako bi se stvorila kompaktna funkcionalna jedinica, potrebno je planirati pravilan raspored i preciznu montažu komponenti za osiguravanje pouzdane funkcionalnosti i sigurnosti. Također su potrebne žice i priključci odgovarajućih specifikacija, kao i kutija u kojoj će se smjestiti sve komponente. Na slici 110. prikazana je upravljačka kutija sa svim komponentama.



Slika 110. Upravljačka kutija

7.2.4. Pneumatska shema sustava

Za izvor zraka koristit će se kompresor koji može osigurati tlak do 10 bara. U ovom radu se neće obrađivati komponente za dobavu i pripremu zraka, stoga taj dio nije prikazan na pneumatskoj shemi. Preko cijevi zrak dolazi do razdjelnika i elektromagnetskih ventila, koji su upravljani pomoću Controllino MINI mikroračunala. Controllino MINI sadrži upravljački kod koji šalje signal na nasumični elektromagnetski ventil. Aktivirani ventil propušta zrak i pomiče pneumatski cilindar koji simulira udarac. Na krajnjoj poziciji nalazi se davač signala koji Controllinu potvrđuje da je odabrani cilindar izvršio udarac te se zadani cilindar vraća u početnu poziciju. Kada se klip vrati nazad, Controllino nasumično odabire ventil te se postupak ponavlja. Pneumatska shema sustava prikazana je na slici 111.



Slika 111. Shema pneumatskog sustava

7.2.5. Opis rada sustava

Zadatak izrađenog eksperimentalnog modela je nasumično aktivirati pneumatske cilindre kako bi simulirali udarce koje protivnik može zadati.

Za početak se na kompresoru podešavaju zadani tlak te na prigušno-nepovratnim ventilima protok zraka. O njima ovisi koliko brzo će se cilindri ispucavati, odnosno koliko brzo će se udarci izvoditi. Oni se ručno podešavaju na kompresoru i ventilima. Drugi skup parametara definira se preko Arduinovog sučelja. Njih čine frekvencija izvođenja, odnosno vremenski raspon u kojem se novi udarac mora zadati.

Nakon što je korisnik postavio zadane parametre, prvi dio obavlja Controllino MINI. Upravljačkom petljom *switch* očitava pozicije pneumatskih cilindara. Očitava ih putem *if* petlje tako da Controllino provjerava nalazi li se nasumično odabrani cilindar u početnom položaju. Ako Controllino dobiva signal od davača, šalje signal odgovarajućem razvodniku te zrak potiskuje klip i izbacuje udarac. Radi pojednostavljenja upravljačkog sustava, Controllino daje signal određeni period prije nego što povuče udarac nazad. Nakon što se udarac povuče, Controllino čeka za vremenski interval koji mu je zadan te nakon što istekne, ponovo provjerava je li odabrani cilindar u početnoj poziciji. U slučaju da senzor ne daje signal, sustav se zamrzava kako bi se izbjegli nepoželjni kontakti dok se provjerava što se dogodilo unutar sustava. Na slikama 112. i 113. pokazan je konačni mehatronički sustav.



Slika 112. Uređaj u trenutku bez zadanog udarca



Slika 113. Uređaj u trenutku zadanog udarca

Izradom ovog uređaja spojeni su mehatronički sustavi i sport na inovativan način, otvarajući nove mogućnosti za povezivanje ovih dvaju područja.

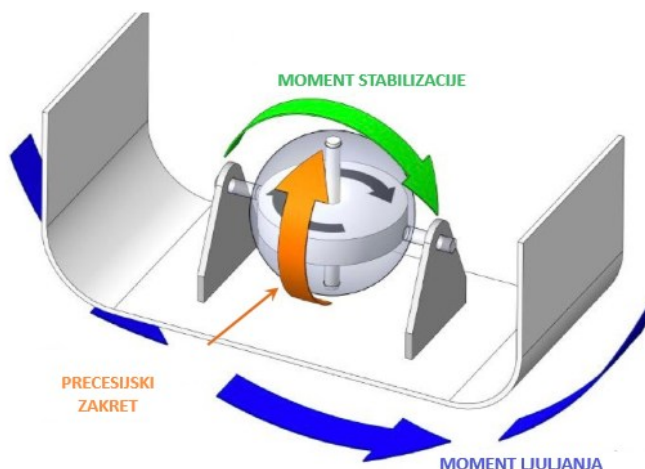
8. PROJEKTIRANJE UREĐAJA ZA STABILIZACIJU BRODA

U ovom radu cilj je razviti učinkovit sustav stabilizacije plovila, koji koristi giroskopski uređaj za smanjenje nagiba broda uzrokovano valovima ili bočnim silama. Sustav stabilizacije dizajniran je na način da ispuni dva zahtjeva. Prvi zahtjev je da se amplituda kuta ljuljanja pri vanjskoj pobudi smanji za barem 50 %, a drugi da se broj oscilacija ljuljanja broda od puštanja s određenog nagiba do amplitude ljuljanja od 2 stupnja također smanji za 50 %.

8.1. Giroskopski stabilizatori

Tradicionalno, jedini faktor u stabilnosti broda bio je dizajn trupa broda. Iako je to bilo zadovoljavajuće stoljećima, razvojem tehnologije su se pojavili sustavi dodatnog stabiliteta broda. Stabilizacija brodova na valovima ključan je aspekt modernog pomorskog inženjeringa, posebno u kontekstu poboljšanja sigurnosti, udobnosti putnika i učinkovitosti plovidbe. Ljuljanje, tj. bočno njihanje broda uzrokovano morskim valovima, može značajno utjecati na sigurnost, operativne sposobnosti broda, performanse posade i ukupno iskustvo putovanja. Kako bi se smanjili ovi negativni učinci, razvijeni su različiti sustavi za stabilizaciju brodova. Ovi sustavi kombiniraju mehaničke, hidrauličke i elektroničke komponente kako bi osigurali optimalne performanse u raznim uvjetima na moru. Danas postoji širok spektar stabilizacijskih sustava koji se mogu primijeniti na različitim vrstama plovila, od malih rekreativnih brodova do velikih komercijalnih i luksuznih jahti.

Giroskopski stabilizatori su sofisticirani uređaji koji koriste principe inercije i precesije kako bi generirali sile koje se suprotstavljaju valjanju broda. Giroskopski stabilizatori se sastoje od rotora (zamašnjaka), kućišta, motora i aktuatora, senzora i upravljačke jedinice. Stupnjevi slobode i princip rada giroskopa su prikazani na slici 114.



Slika 114. Stupnjevi slobode gibanja giroskopa

Rotor je teški disk ili cilindar (objekt s velikim momentom tromosti) koji se vrti velikom brzinom. Ono što je zajedničko svakom rotoru je da je on glavni izvor inercije u sustavu. Rotor je smješten unutar kućišta koje ga štiti, omogućuje njegovo pričvršćenje na brod i dozvoljava da se rotor istovremeno vrti oko svoje vertikalne i horizontalne osi okomite na uzdužnu os broda. Stabilnost giroskopa se ogleda u tome što se snažno suprotstavlja svim vanjskim utjecajima koji teže da mu promjene položaj osi. Precesija je ključni koncept u razumijevanju kako giroskopski stabilizatori rade na smanjenju ljuljanja broda. Pod precesijom podrazumijevamo osobinu giroskopa da pri nasilnoj promjeni položaja jedne njegove osi skreće oko druge, njoj okomite osi. Precesija je bolje rečeno rezultat pokušaja giroskopa da očuva svoj kutni moment, što rezultira stvaranjem sile okomite na smjer primijenjene sile.

Preneseno na stvarni model, uslijed naginjanja broda zbog vala, senzor to očitava i preko upravljačke jedinice se generira signal za potrebni precesijski zakret kako bi se stvorio potrebni moment za stabilizaciju. Potom aktuator rotira zamašnjak oko horizontalne osi okomite na uzdužnu os broda stvarajući precesijski pokret koji generira silu okomitu na smjer ljuljanja te se tako brod stabilizira. Što je veći uzbudni moment aktuatora, veća je i sila otpora giroskopa prema vanjskom utjecaju, a u ovom slučaju i veća mogućnost smanjenja ljuljanja. Na slici 115. se vidi primjer giroskopskog stabilizatora proizvođača Seakeeper.



Slika 115. Primjer giroskopskog stabilizatora marke Seakeeper

Veličina giroskopskog stabilizatora (zamašnjaka) se određuje preko potrebnog momenta koji stabilizator mora moći stvoriti kako bi ublažio ljuljanje. Valovi stvaraju moment koji djeluje na trup broda i uzrokuje ljuljanje. Upravo taj moment se uzima kao minimalni moment koji giroskopski stabilizator mora stvoriti. Iz tog podatka, uz brzinu vrtnje zamašnjaka i brzinu precesijskog zakreta, može se odrediti potrebna veličina zamašnjaka.

8.2. Matematički model i simulacija sustava

U stvarnosti je gibanje broda vrlo složeno za modeliranje, a u nekim slučajevima zahtijeva skup od šest povezanih diferencijalnih jednadžbi koje i dalje počivaju na pojednostavljenim pretpostavkama. Za ovaj projekt je bilo potrebno analizirati samo gibanje ljuľanja, pa je to uveliko olakšalo postupak.

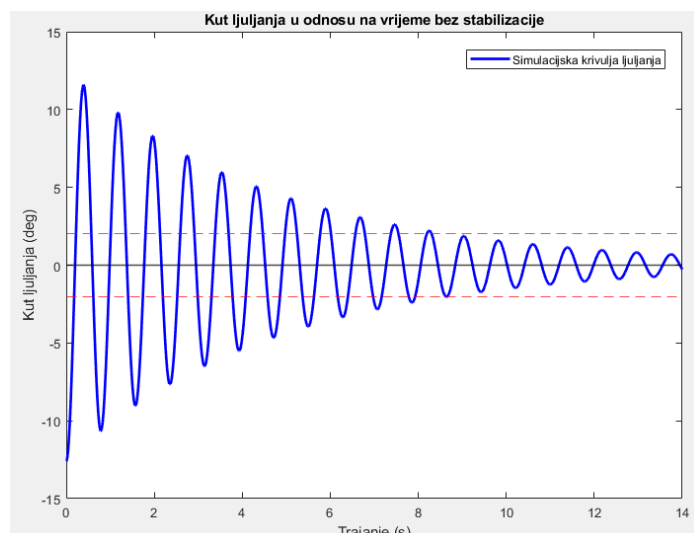
Iz razloga što se maketa testira u običnoj posudi s vodom, bez uređaja za stvaranje pravilnih valova, sustav se simulira za slučaj kada brod slobodno pluta u mirnoj vodi pri čemu ga iznenada uznemiri neki poremećaj odnosno kada ga rukom nagnemo na željeni kut te pustimo da se stabilizira.

Primjenjivanjem specifičnih pojednostavljenja, koeficijenata i zakona na jednadžbe gibanja broda, dobije se konačna pojednostavljena jednadžba nagnjanja broda:

$$I_{\text{broda}}\ddot{\varphi} + B\dot{\varphi} + k\varphi = 0 \quad (8.1)$$

gdje I_{broda} označava moment tromosti broda oko osi nagnjanja, B označava konstantu prigušjenja, k označava koeficijent krutosti ili povratnog momenta, a φ označava bočni nagib broda.

Nakon što se ta diferencijalna jednadžba unese u Matlab i simulira, dobije se krivulja koja oponaša smirivanje ljuľanja broda od 13 stupnjeva nagiba. Krivulja se može vidjeti na slici 116.



Slika 116. Prikaz kuta ljuľanja broda u odnosu na vrijeme bez stabilizacije

Sa slike je vidljivo kako je potrebno 11 oscilacija broda prije nego li se amplituda ljuľanja smiri ispod 2 stupnja. Ova činjenica je korisna za usporedbu sa stvarnim modelom.

Dodavajući jednadžbe dinamike giroskopa u jednadžbu naginjanja broda, dobiju se jednadžbe koje opisuju dinamiku cjelokupnog sustava.

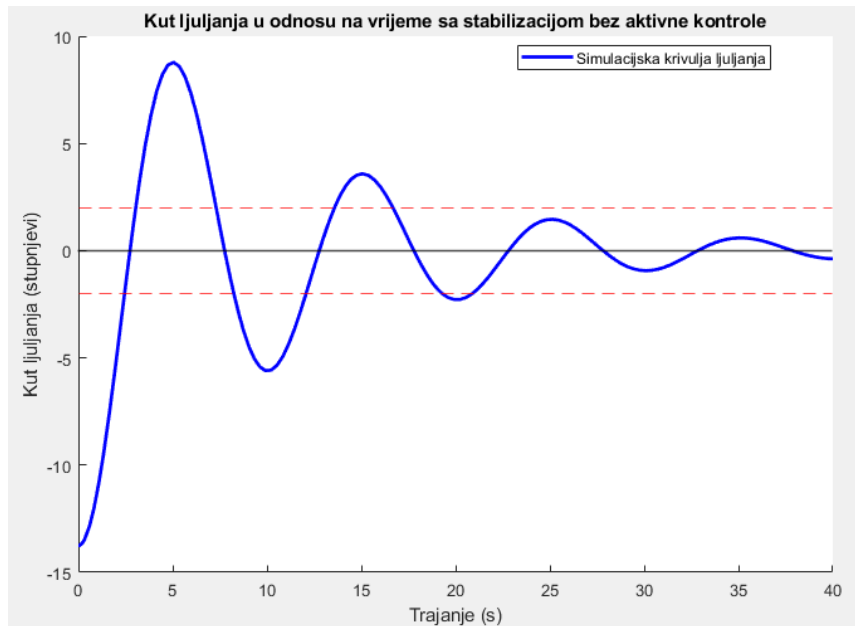
Diferencijalna jednadžba sustava sa stabilizacijom bez aktivne kontrole se može zapisati kao:

$$I_{broda}\ddot{\varphi} + (B + I_{zam}\omega_{zam})\dot{\varphi} + k\varphi = 0, \quad (8.2)$$

a u slučaju aktivne kontrole, jednadžba sustava glasi:

$$I_{broda}\ddot{\varphi} + B\dot{\varphi} + k\varphi = -I_{zam}\omega_{zam}\dot{\alpha}. \quad (8.3)$$

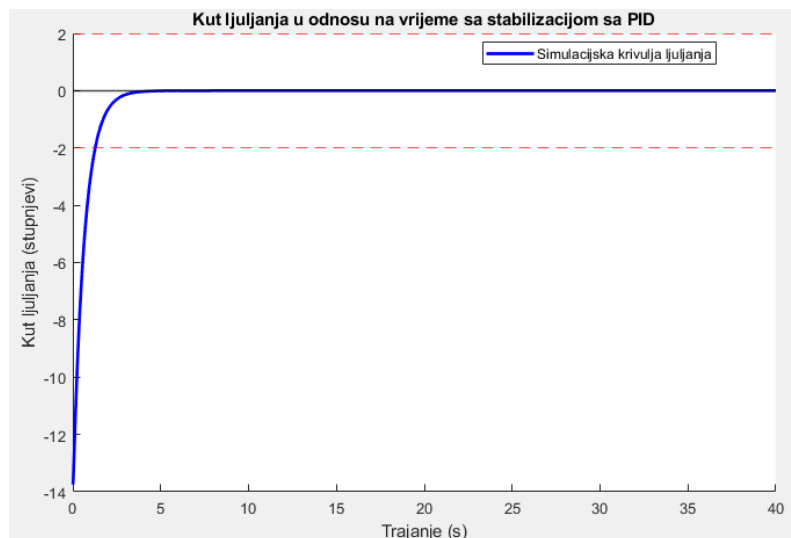
Simuliranjem sustava sa giroskopskim stabilizatorom bez aktivne kontrole (8.2), dobije se krivulja smirivanja kuta ljuljanja koja je prikazana na slici 117.



Slika 117. Prikaz kuta ljuljanja broda u odnosu na vrijeme sa stabilizacijom bez aktivne kontrole

Iz slike je vidljivo da se već s giroskopskim stabilizatorom bez aktivne kontrole broj oscilacija smanjio na svega 2 što već zadovoljava cilj ovoga rada.

U slučaju da se koristi giroskopski stabilizator s aktivnom kontrolom kuta precesijskog zakreta koji je reguliran PID regulatorom, krivulja smirivanja kuta ljuljanja broda bi trebala izgledati kako je prikazano na slici 118.



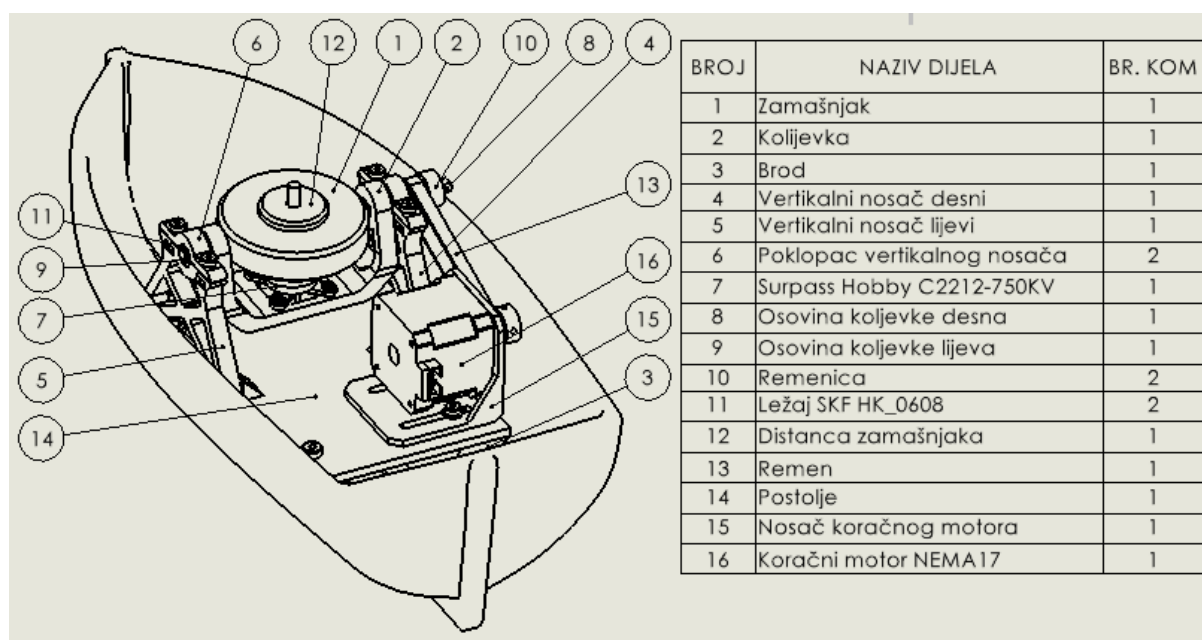
Slika 118. Prikaz kuta ljuljanja broda u odnosu na vrijeme sa stabilizacijom s aktivnom kontrolom

Ovakva krivulja je najpoželjnija za stabilizaciju broda jer je dovoljno brza, a ne dozvoljava nikakve oscilacije što puno znači za udobnost putnika.

8.3. Konstruiranje i izrada umanjenog modela

Konstruiranje započinje odabirom glavnih kupovnih komponenata. Kao „mozak“ sustava je odabran Dasduino CORE mikrokontroler koji upravlja motorom zamašnjaka i motorom za zakretanje stabilizatora obrađujući podatke koje prima sa senzora zakreta broda. Motor za vrtnju zamašnjaka zajedno sa svojim upravljačkim modulom je preuzet iz daljinsko upravljano modela aviona zbog svojih malih dimenzija, male mase, a velike snage. Kao aktuator za zakret stabilizatora je izabran koračni motor NEMA 17 koji se često koristi za precizne i kontrolirane pokrete u raznim mehatroničkim sustavima. Senzor koji se koristi za određivanje kuta ljuljanja nije direktno senzor nagiba već se koristi senzor koji mjeri ubrzanje i kutnu brzinu u 6 osi, pa se iz toga računski određuje kut zakreta.

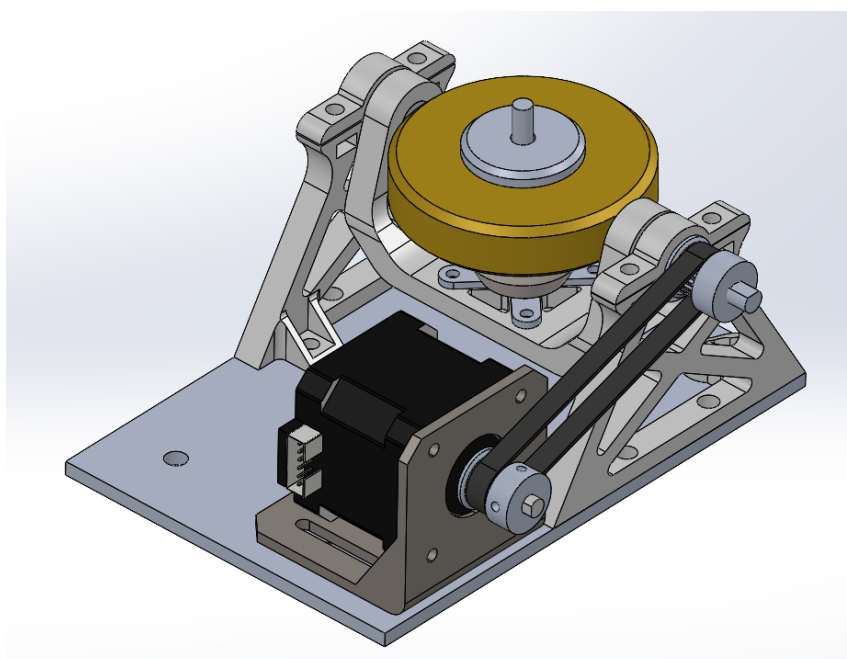
Model giroskopskog stabilizatora je konstruiran pomoću alata SolidWorks. Model je sastavljen od više dijelova, a na slici 119. vide se osnovni dijelovi mehaničke konstrukcije sklopa. Dijelovi sustava označeni su brojevima od jedan do šesnaest.



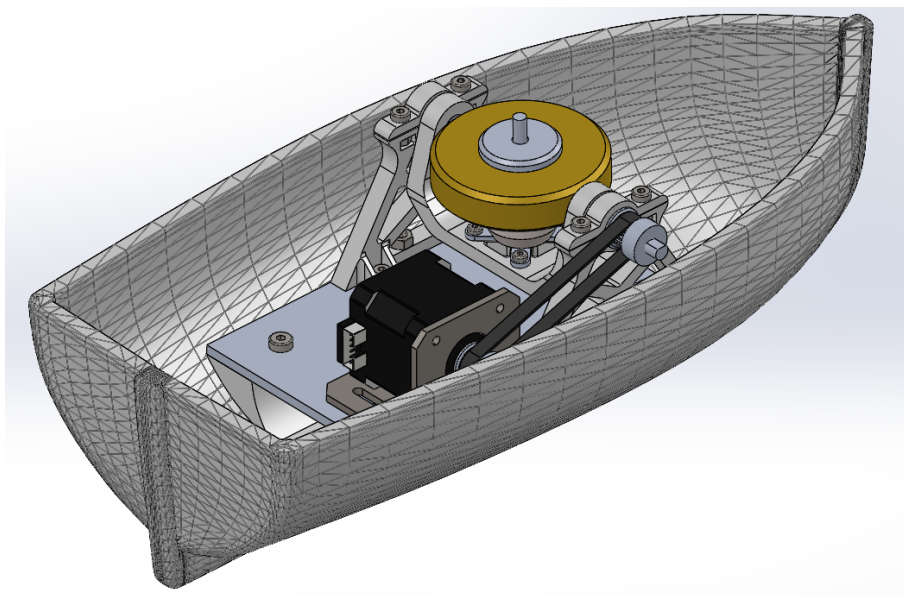
Slika 119. Prikaz glavnih dijelova modela giroskopskog stabilizatora

Konstruiranje je započelo od zamašnjaka budući da je on srž cijelog sustava stabilizacije, te se sve prilagođavalo njemu. Konstruiran je jako kompaktan sustav koji unatoč svojoj veličini ima veliku moć stabilizacije.

Slika 120. prikazuje raspored svih dijelova stabilizatora na svojem postolju, dok se na slici 121. može vidjeti kako izgleda cijeli model stabilizatora u maketi brodice.

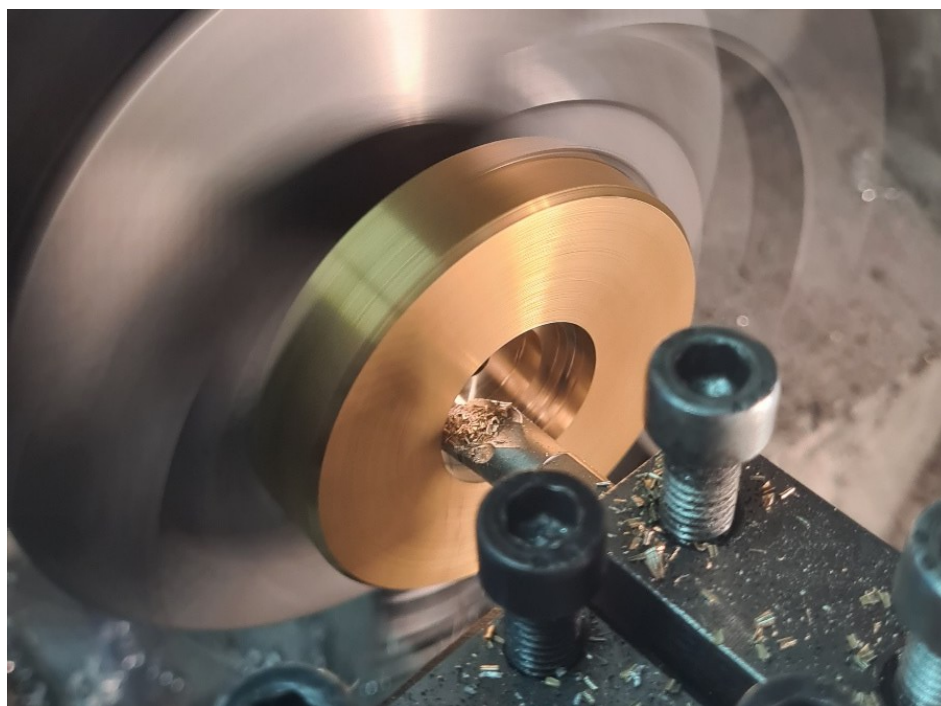


Slika 120. Raspored svih dijelova stabilizatora na postolju

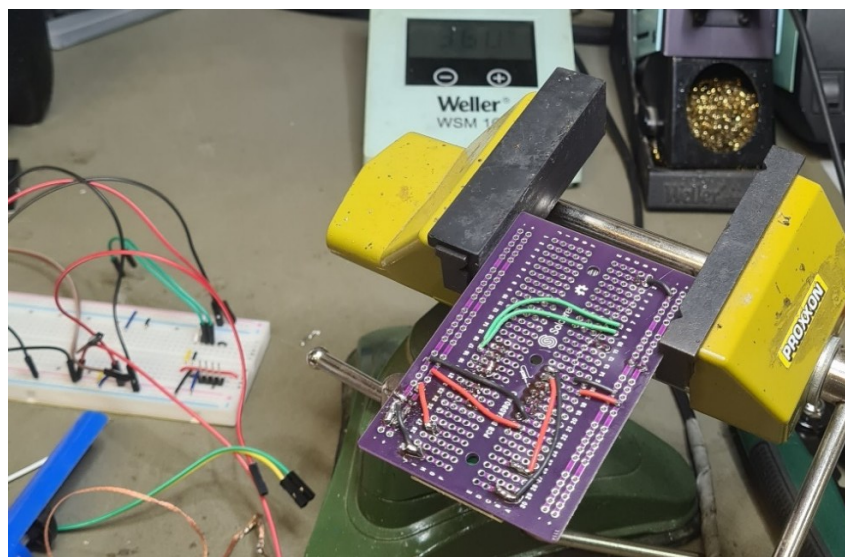


Slika 121. Model giroskopskog stabilizatora unutar modela broda

Dostupne proizvodne tehnologije u vrijeme projektiranja rada bile su glodanje, tokarenje, FDM printanje i SLA printanje. Izrada je zahtijevala tokarenje i glodanje, ali se većina dijelova ipak izradila 3D printanjem zbog jednostavnosti, brzine proizvodnje i mogućnosti za ostvarivanje složenih geometrija. Dio procesa tokarenja zamašnjaka je vidljiv na slici 122., a proces lemljenja pločice na slici 123.



Slika 122. Tokarenje zamašnjaka



Slika 123. Proces proizvodnje pločice

Sastavljeni model u usporedbi sa CAD modelom se može vidjeti na slici 124.



Slika 124. Sastavljeni model giroskopskog stabilizatora u maketi broda

8.4. Eksperimentalni rezultati i usporedba sa simulacijom

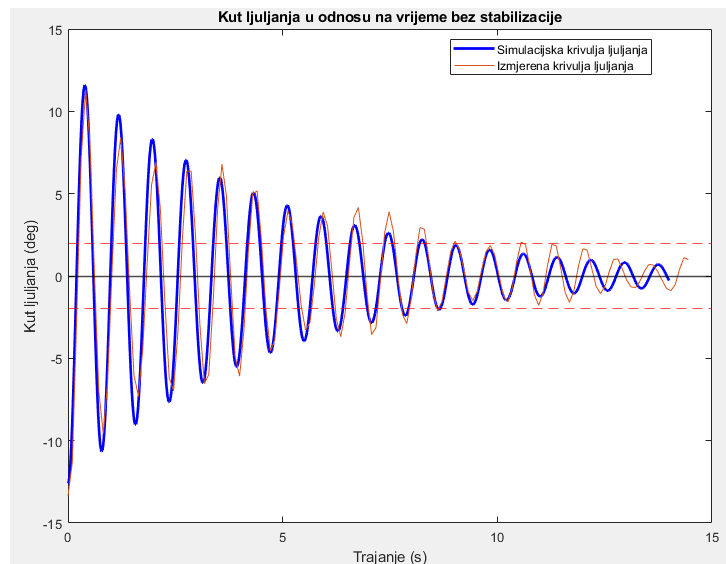
Usporedba simulacija s izmjerenim vrijednostima ključna je za svaki projekt, jer omogućuje validaciju predviđanja koja su napravljena u fazi planiranja i konstruiranja. Simulacije koriste matematičke modele i algoritme za predviđanje ponašanja sustava pod različitim uvjetima, no ove predikcije trebaju biti potvrđene stvarnim podacima kako bi se osigurala njihova točnost i pouzdanost. Usporedba rezultata simulacija sa stvarnim mjerenjima pomaže u identifikaciji bilo kakvih odstupanja, omogućava prilagodbu modela i optimizaciju dizajna, te poboljšava ukupnu kvalitetu i izvedbu projekta.

Kako je rečeno u uvodu, cilj ovoga rada je bio razviti giroskopski sustav stabilizacije tako da se amplituda kuta ljuljanja pri vanjskoj pobudi smanji za barem 50 % te da se broj oscilacija ljuljanja broda od puštanja s određenog nagiba do amplitude ljuljanja od 2 stupnja također smanji za 50 %.

Budući da je nezgodno u stvarnom svijetu replicirati vanjsku pobudu kao na simulaciji, a i zbog činjenice da je prvi zahtjev dosta povezan s drugim zahtjevom, validacije su se radile samo za drugi zahtjev i to na jednostavan način, a to je da se brod nagne na određeni kut ljuljanja te prepusti samom sebi do smirivanja.

Testiranja su rađena u posudi s vodom, a podaci su bilježeni u stvarnom vremenu. Skupljanje podataka u stvarnom vremenu ostvareno je s pomoću „Data Streamer“ funkcije u programu Excel koja očitava signale koji kabelom ulaze kroz određeni konektor u laptopu i zapisuje ih u tablicu. Za obradu podataka se koristio Matlab zbog mogućnosti prikaza izmjerenih i simuliranih podataka na istom grafu.

Prvo testiranje je bilo snimanje smirivanja ljuljanja broda bez ikakvog sustava stabilizacije, kao što je prikazano u simulaciji na slici 118. Izmjereni podaci zajedno sa simuliranim podacima su prikazani na slici 125.

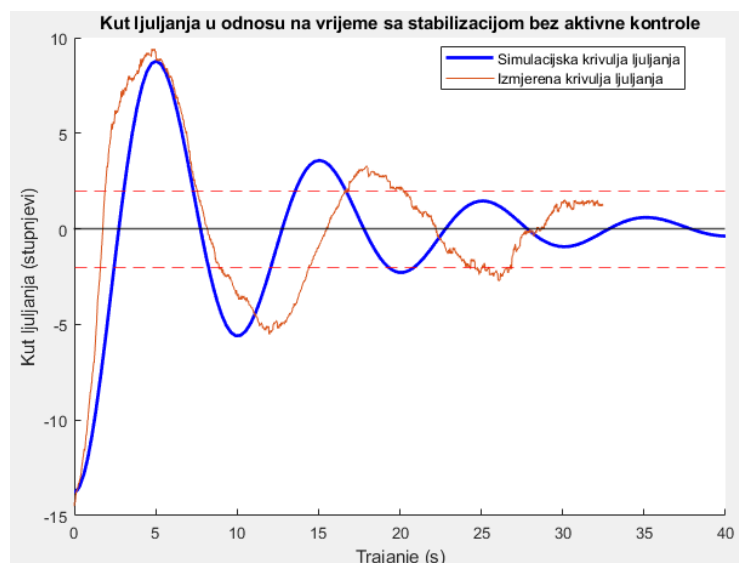


Slika 125. Prikaz izmjerenih i simulacijskih odziva kuta ljujanja u odnosu na vrijeme bez stabilizacije

Može se primijetiti da jednađba (8.1) jako dobro opisuje ponašanje makete te da je poklapanje rezultata izvrsno.

Vrijednosti kuta ljujanja manji od 2 stupnja se nekad mogu čudno ponašati zbog šuma u senzoru pa se zbog toga sve promatra do tog kuta, a dodatno pomaže što nagibi ljujanja manji od 2 stupnja nisu problem u stvarnom svijetu i sustav stabilizacije primarno služi sa smanjenje većih nagiba.

Sljedeće testiranje je za validaciju simulacije ljujanja broda s girokopskim stabilizatorom bez aktivne kontrole (slika 117.). Izmjereni podaci zajedno sa simuliranim podacima su prikazani na slici 126.



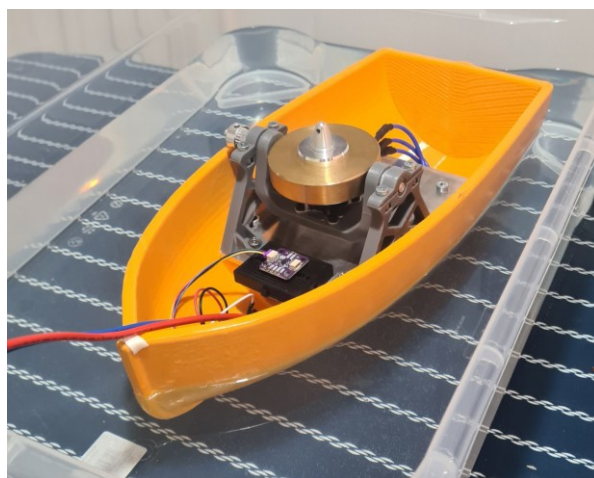
Slika 126. Prikaz izmjerenih i simulacijskih odziva kuta ljujanja u odnosu na vrijeme sa stabilizacijom bez aktivne kontrole

Može se primijetiti da je poklapanje rezultata vrlo dobro, te da je broj oscilacija točan, a upravo taj podatak je potreban za provjeravanje ispunjavanja ciljeva rada. Broj oscilacija ljuľanja broda od pušćanja s nagiba od 13 stupnjeva do amplitude ljuľanja manje od 2 stupnja je jednak i na simuliranoj i na izmjerenoj krivulji. Kod sustava bez stabilizacije taj broj iznosi 11, a kod sustava sa stabilizacijom bez aktivne kontrole broj oscilacija je svega 2. To znači da je giroskopski sustav za stabilizaciju bez aktivnog upravljanja napravio smanjenje broja oscilacija za oko 82 %, što je višestruko bolje nego što je bio cilj samog rada. S aktivnom kontrolom se sustav još bolje ponaša, međutim radi prevelike mase stabilizatora za ovu maketu broda se to ne može validirati na ovaj način.

U radu je prikazan postupak projektiranja, simuliranja, izrade, montaže, programiranja i testiranja modela cjelokupnog sustava. Ovaj projekt predstavlja složen inženjerski izazov koji zahtijeva interdisciplinarni pristup i integraciju znanja iz razlićitih područja. Uspješna realizacija uključuje ne samo duboko razumijevanje temeljnih inženjerskih principa, već i primjenu stručnosti iz domena poput znanosti materijala, mehanike, računalnog modeliranja i simulacija, te naprednih tehnoloških procesa. Kroz ovaj proces, razvijena je sposobnost brzog usvajanja novih informacija, kritićkog razmišľjanja i rješavanja problema, što je uvelike doprinijelo uspješnom završetku projekta.

Sustav je uspješno simuliran, konstruiran i izrađen, te ne samo da učinkovito ispunjava svoju svrhu stabilizacije broda, već znaćajno nadmašuje zadane ciljeve.

Iako se kompletna maketa s aktivnom kontrolom ne može testirati u vodi, rad aktivne kontrole je dokazan pokusom na stolu te savršeno obavlja svoju svrhu. Bez obzira na to, model bez aktivne kontrole je testiran u vodi te već on nadmašuje zadane ciljeve tako da je svrha ovog rada u potpunosti ispunjena. Model prilikom testiranja u vodi je vidljiv na slici 127.

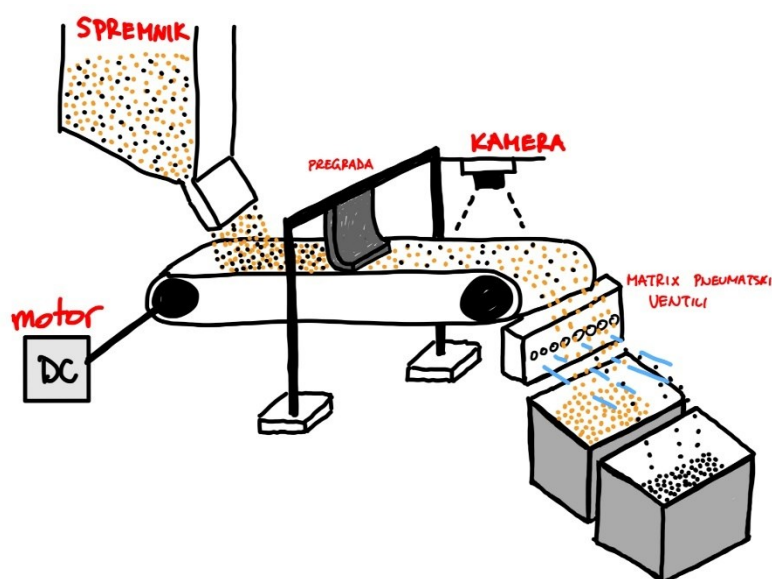


Slika 127. Model brodice prilikom testiranja u vodi

9. STROJ ZA UKLANJANJE LOŠIH ZRNA GRAHA

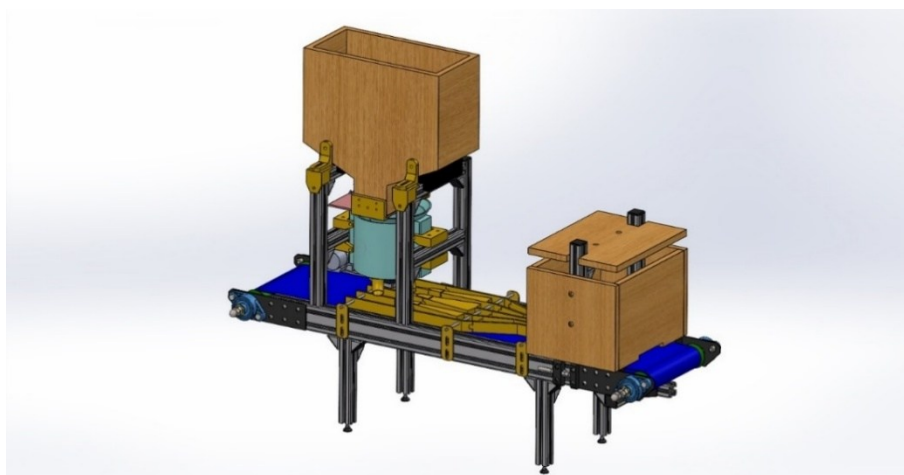
9.1. 3D model konstrukcije

Prototipiranje i iteriranje kroz modele omogućili su kontinuirano poboljšavanje konstrukcije sustava kroz testiranje ideja, kreativne prilagodbe i analizu povratnih informacija, što je dovelo do kvalitetnije konačne realizacije. Na slici 128. se može vidjeti skica koj predstavlja jednu od iteracija kroz modele konstrukcije tijekom faze projektiranja.



Slika 128. Prvi model konstrukcije

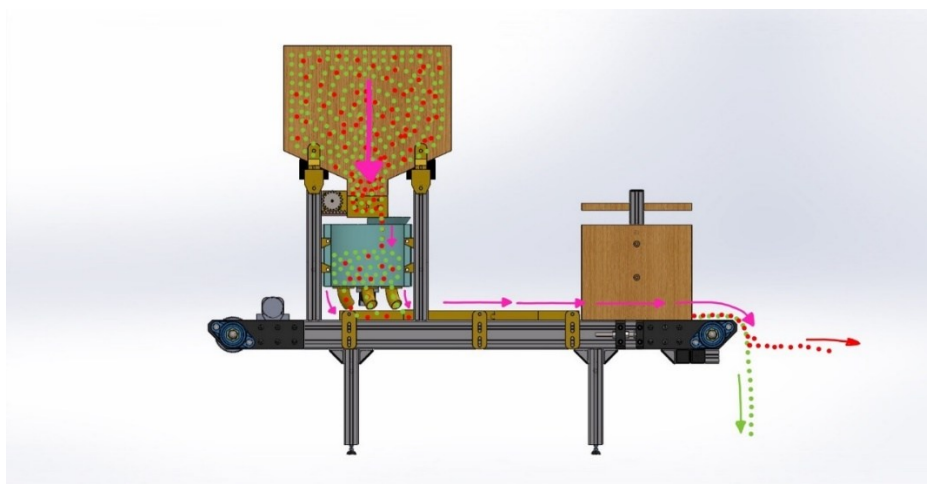
Nakon par iteracija modela konstrukcije odabran je konačan model konstrukcije koji je prikazan na slici 129.



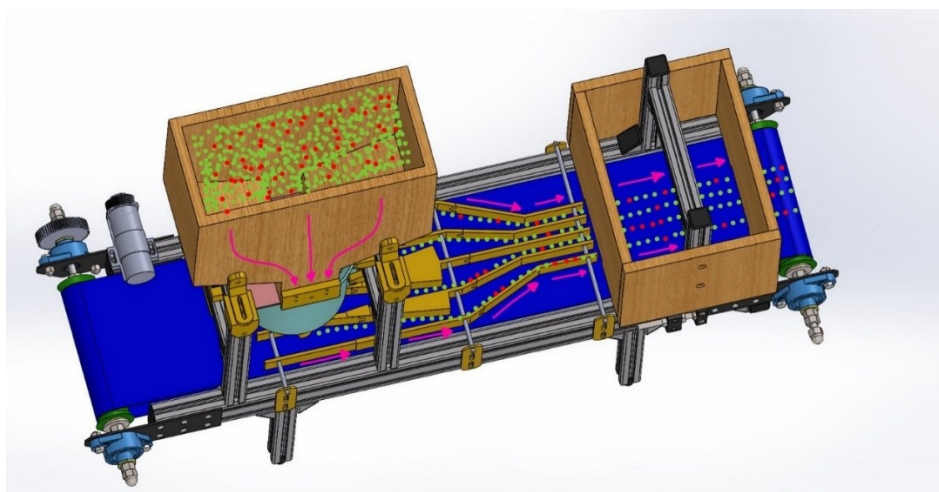
Slika 129. Konačan model konstrukcije

9.2. Planiranje trajektorije i putanje zrna

Ovaj projekt bavi se klasifikacijom dobrih i loših zrna graha, pri čemu je ključno osigurati organizirani dolazak zrna ispred kamere kako bi se pojednostavio algoritam detekcije i mehanizam izbacivanja loših zrna. Strukturiran raspored zrna omogućuje precizniju detekciju, smanjuje računalno opterećenje i povećava pouzdanost sortiranja. Stoga je dio rada posvećen projektiranju optimalne putanje i trajektorije zrna kako bi se osigurala učinkovitost i točnost procesa. Na slikama 130. i 131. su prikazane putanje zrna graha.



Slika 130. Putanja zrna graha – bočni pogled

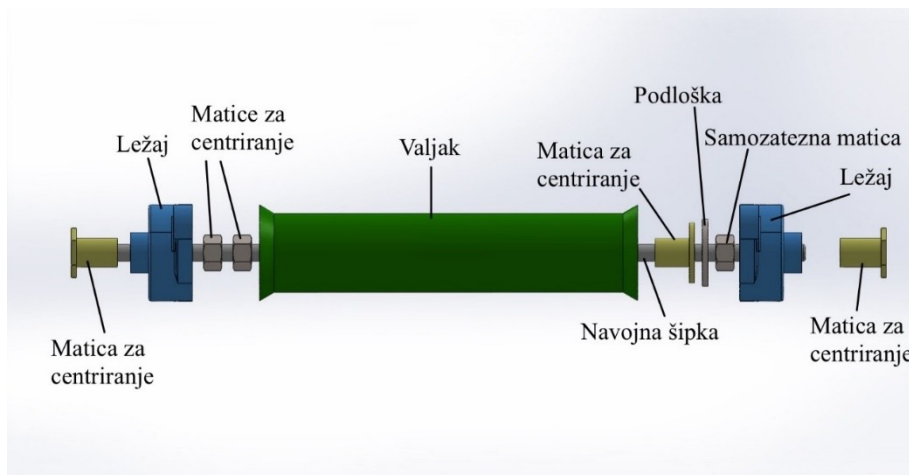


Slika 131. Putanja zrna graha - pogled odozgo

Zelenim točkicama prikana su dobra zrna graha, a crvenim su prikazana zrnca graha koje je nužno izbaciti na kraju procesa.

9.3. Izrada modela

Za ovaj rad odabrana je jednostavna transportna traka s valjcima izrađenima 3D printanjem od PLA materijala. Moment s motora prenosi se putem navojne šipke, dok matice za centriranje, također izrađene aditivnom proizvodnjom, osiguravaju pravilnu os rotacije valjka i sprječavaju odvrtanje spoja, čime se postiže stabilan rad trake. Na slici 132. jasno se vide svi dijelovi koji se nalaze na vratilu odnosno u ovom slučaju navojnoj šipci kojom će se prenositi moment s motora na transportnu traku.

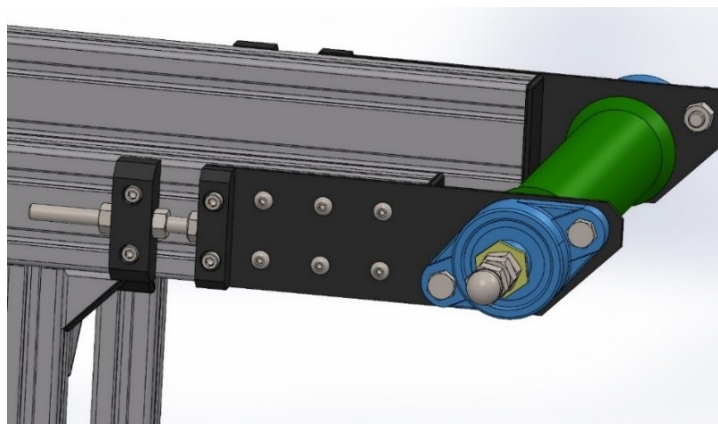


Slika 132. Sklapanje i centriranje valjka

Ležajevi se koriste za smanjenje trenja i omogućavanje rotacije ili linearnog kretanja mehaničkih dijelova, uključujući osovine, vratila, kotače, valjke i druge rotacijske dijelove. Odabrani ležaj serije UCFL 203 se nalazi na slici 133. Mehanizam pritezanja trake je prikazan na slici 134.



Slika 133. Ležaj UCFL 203



Slika 134. Mehanizam pritezanja trake

Spremnik i komora u kojoj se nalazi kamera za detekciju su izrađene od drveta. Drvo je odabrano jer je dovoljno čvrsto da podnese unesenu količinu zrna u spremnik i neprozirno je, što rješava pitanje vanjske neujednačene svjetlosti. Spremnik ima volumen da u njega stane oko 14 kilograma zrna graha. Na slici 135. je vidljiv spremnik zrna graha.

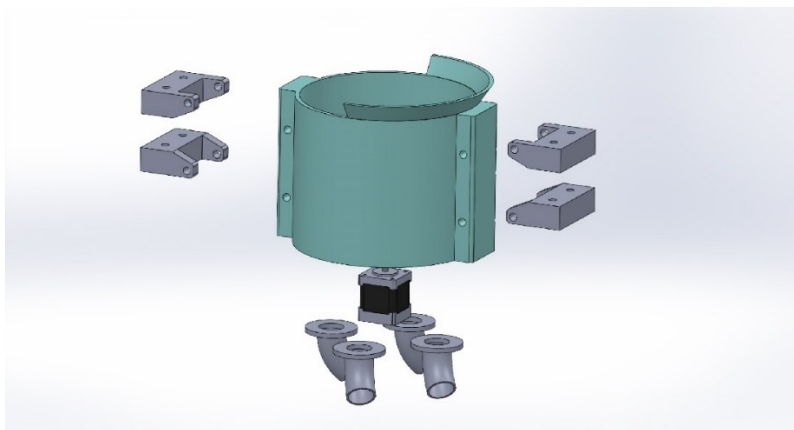


Slika 135. Spremnik zrna



Slika 136. Komora

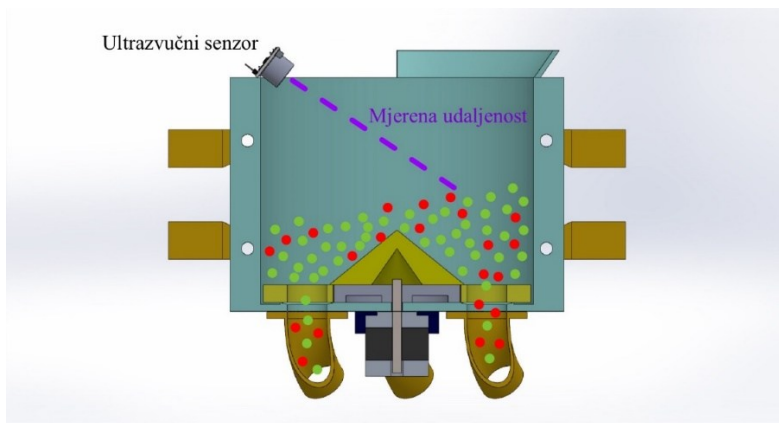
Što se tiče komore sa slike 136., u kojoj je kamera za detekciju, potrebno je obratiti pozornost na konstantno homogeno osvjjetljenje tijekom detekcije i klasifikacije zrna. Nakon što se spremnik popuni željenom količinom zrna, potrebno je ta zrna dovesti do komore u kojoj se nalazi kamera gdje se klasificiraju zrna. Prvi sljedeći korak nakon spremnika je dovesti zrna do dozatora koji je prikazan na slici 137. u raširenom pogledu s nosačima i tuljcima za usmjeravanje zrna.



Slika 137. Dozator sa priključnim dijelovima

Zrna prolaze kroz četiri cilindrična provrta i dalje se preusmjeravaju uz pomoć tuljaca. Brzina izlaska zrna je regulirana brzinom rotacije koračnog motora.

Dozatorom se zrna šalju na transportnu traku u isprekidanim ciklusima, čime se sprječava nagomilavanje zrna na pojedinim mjestima na traci. Dolaskom zrna na transportnu traku, manipulacija zrna se obavlja pregradama koje usmjeravaju i pripremaju zrna u četiri reda. Nakon što su formirana četiri reda, zrna odlaze u komoru kamere gdje su klasificirana na dobre i loše, te loša bivaju ispuhana stlačenim zrakom na kraju transportne trake. Regulacija količine zrna u dozatoru će se realizirati uz pomoć ultrazvučnog senzora koji će mjeriti udaljenost između njega samog i gornje razine zrna koja raste punjenjem dozatora. Na slici 138. se može vidjeti udaljenost koju senzor mjeri i njegovo mjesto montaže, u polovičnom presjeku dozatora.



Slika 138. Pozicioniranje senzora

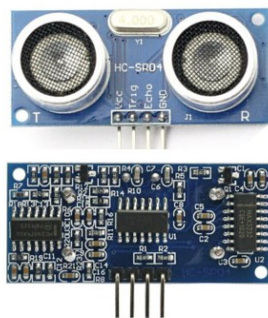
Konačan izgled sastavljene konstrukcije, iz različitih pogleda, se može vidjeti na slici 139.



Slika 139. Konačan izgled sustava

9.4. Senzori

Ultrazvučni senzor, prikazan na slici 140., koristi princip emitiranja i prijema ultrazvučnih valova za određivanje udaljenosti do objekta.



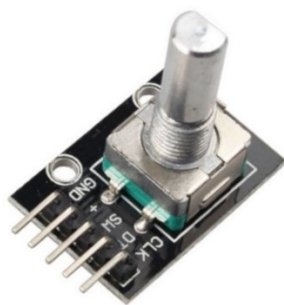
Slika 140. Ultrazvučni senzor [63]

Senzor šalje kratke pulseve ultrazvuka u okolinu, a zatim mjeri vrijeme koje je potrebno da se ti signali reflektiraju od objekta i vrate do senzora. Na temelju vremena odaslanih i primljenih signala, senzor izračunava udaljenost do objekta s pomoću brzine zvuka u mediju. Upravljaajući brzinom istosmjernog motora, potrebno je imati povratnu informaciju kojom se brzinom motor trenutno vrti. Mjerenje brzine motora se može realizirati infracrvenim senzorom, sa slike 141.



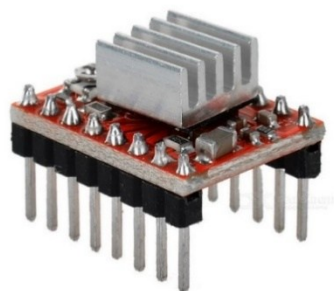
Slika 141. Infracrveni senzor [64]

Inkrementalni enkoder korišten u radu prikazan na slici 142. oznake KY-040, generira impulsne signale koji se koriste za praćenje promjene položaja ili brzine. U radu se koriste enkoderi za upravljanje brzinom istosmjernog motora, koračnog motora kod dozatora i pozicije koračnog motora na spremniku.



Slika 142. Enkoder KY-040

Kako bi se pravilno upravljalo otvaranjem i zatvaranjem spremnika te brzinom rotacije dozatora potrebno je na pravilan način upravljati koračnim motorima. Upravljanje koračnih motora se realizira odgovarajućim driverom. U radu je korišten driver oznake A4988 prikazan na slici 143.



Slika 143. Driver za koračni motor A4988

Driver A4988 za koračne motore koristi PWM signal, za upravljanje rotacijom motora. Arducam modul CMOS AR0134 je kamera s globalnim okidačem koja pruža visoku rezoluciju i dinamički raspon, idealna za primjene u nadzoru i sigurnosti, visokoj dinamičkoj rasvjeti, strojnom vidu i automatizaciji. Pruža 12-bitne sirove podatke i omogućuje programiranje za veličinu okvira, ekspoziciju, pojačanje i druge parametre, pružajući fleksibilnost u prilagodbi različitim potrebama primjene. Kamera se nalazi na slici 144.



Slika 144. Arducam CMOS AR0134

9.5. Aktuatori i upravljanje sustava

Pogon transportne trake je realiziran istosmjernim motorom koji prenosi okretni moment s pomoću remenskog prijenosa. Brzina istosmjernog motora je kontrolirana infracrvenim senzorom. U sljedećim poglavljima su detaljno opisani svaki od segmenata pogona. Za potrebe rada transportne trake odabran je istosmjerni motor oznake IG420004-15271R, slika 145.



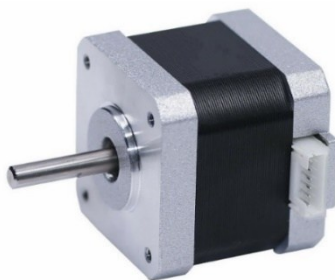
Slika 145. Istosmjerni motor[65]



Slika 146. Modul drivera BTS7960

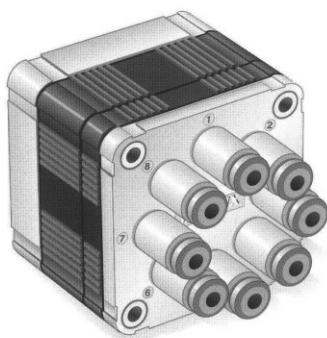
Odabir istosmjernog motora u svrhe ovog rada je bio ovisan o željenoj brzini trake koja je iznosila oko 0,4 m/s. Bitno je naglasiti da pravilnim upravljanjem motora, broj okretaja motora, se može smanjiti odgovarajućim driverom čak do 5% nazivne vrtnje. Za upravljanje brzine DC motora se koristi modul oznake BTS7960, vidljiv na slici 146. Modul BTS7960 je potpuno integrirani modul H-mosta visokih struja namijenjen primjeni pogona motora.

Koračni motor, koji je prikazan na slici 147., je vrsta električnog motora koji se koristi za precizno pozicioniranje i kontrolu rotacije mehaničkih sustava. Radi na principu digitalnih impulsa koji pokreću rotaciju motora u diskretnim koracima. Svaki impuls rezultira preciznim pomakom motora za određeni kut, što omogućuje preciznu kontrolu položaja i brzine rotacije. Za potrebe završnog rada koristi se koračni motor Nema 17.



Slika 147. Koračni motor Nema 17

Za potrebe završnog rada odabran je Matrix ventil oznake HX758.8E2C324, prikazan na slici 148., kojemu je primjena moguća u uređajima za kontrolu tlaka i protoka, sustavima s naglaskom na pozicioniranje, industrijskoj automatizaciji, sustavima za precizno pozicioniranje itd. U ovom završnom radu, uloga Matrix ventila će biti izbacivanje loših zrna graha na kraju transportne trake, kada je već zrno prošlo kroz proces detekcije i prepoznavanja nesavršenosti.



Slika 148. Brzi MATRIX ventil [66]

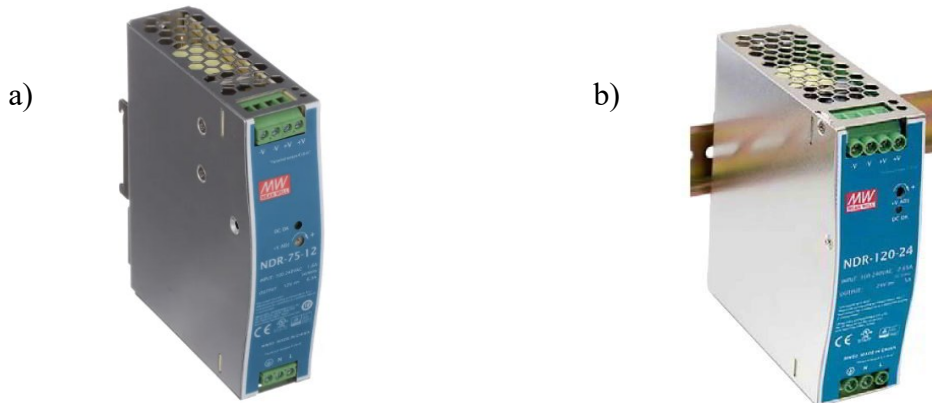
Controllino Maxi, prikazan na slici 149., je programabilni PLC koji je kompatibilan sa softverom Arduino. Controllino se programira s pomoću Arduino IDE, otvorenog razvojnog okruženja koje olakšava programiranje u programskom jeziku C zahvaljujući unaprijed implementiranim funkcijama i brojnim bibliotekama. Controllino Maxi koristi mikrokontroler ATmega328P na 20MHz i omogućuje lakšu implementaciju različitih projekata uz visoku razinu fleksibilnosti.



Slika 149. Controllino MAXI [67]

Napajanje je ključni dio svakog elektroničkog sustava jer omogućava da uređaj radi ispravno. Neke od komponenata će imati zasebno napajanje dok se recimo većina senzora napaja direktno

iz Controllino uređaja. Odabrana su napajanja od proizvođača Mean Well, oznaka NDR-75-24 i NDR-120-24, koja su prikazana na slici 150.



Slika 150. a) Napajanje Mean Well NDR-75-12; b) Napajanje Mean Well NDR-120-24

Remenski prijenos okretnog momenta je sustav prijenosa snage koji se koristi za prijenos rotacijskog pokreta između dva vratila s pomoću remena koji se proteže između njih. Ovaj sustav koristi remen i remenice kako bi prenio okretni moment s jednog vratila na drugo. Važno je odabrati prikladan prijenosni omjer kako bi se postigle željene performanse stroja ili uređaja. Već spomenuta, brzina transportne trake, iznosi 0,4 m/s te će se s tom vrijednosti ući u proračun za potrebni prijenosni omjer remenica.

Izraz 9.1 prikazuje oznaku i iznos željene brzine trake:

$$v_z = 0,4 \frac{m}{s}. \quad (9.1)$$

Promjer valjka iznosa $d_v = 46$ mm ulazi u izraz 9.2 za računanje njegovog opsega:

$$O_v = d_v \pi [mm]. \quad (9.2)$$

Brzina trake se računa izrazom 9.3, gdje je n_v broj okretaja u minuti valjka:

$$v_t = O_v \times \frac{n_v}{60} \left[\frac{m}{s} \right]. \quad (9.3)$$

Stoga nakon prebacivanja izraza 9.3 dobiva se izraz 9.4 kojim se dobiva potrebni broj okretaja u minuti valjka:

$$n_v = \frac{v_t \times 60}{O_v} [broj okretaja u minuti, o/min]. \quad (9.4)$$

Izjednačavanjem $v_t = v_z = 0,4 \frac{m}{s}$ i ubacivanjem u izraz 9.4 sa pripadajućim opsegom valjka izračunatog u izrazu 9.2, dobiva se potrebni broj okretaja valjka:

$$n_v = 166 o/min. \quad (9.5)$$

Nazivni broj okretaja istosmjernog motora je $n_m = 1440 \text{ o/min}$, imajući to na umu, potrebni prijenosni omjer remenica je izračunat u izrazu 9.6:

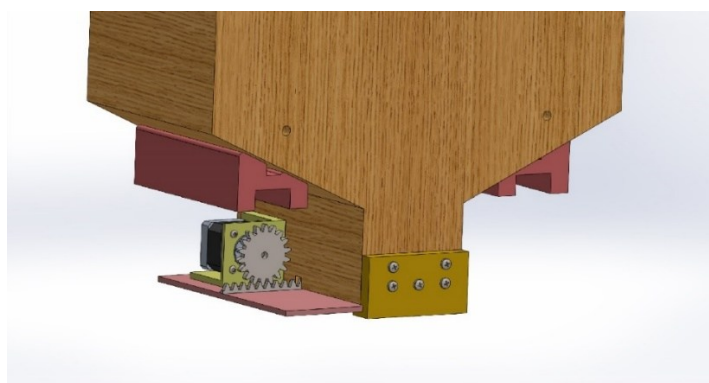
$$i = \frac{n_m}{n_v} = \frac{1440}{166} = 8,67 \sim 9. \quad (9.6)$$

Remenice će biti konfigurirane s prijenosnim omjerom iznosa 2, dok će smanjenje brzine trake biti postignuto putem upravljanja driverom motora, omogućavajući smanjenje brzine motora do 5% nazivne. Nakon proračuna prijenosnog omjera, odabrane su zupčaste remenice, na slici 151., oznaka PM21T5/24 i PM21T5/48, uz zupčasti remen oznake EU390T5/10.



Slika 151. Zupčasti remen i remenice[68]

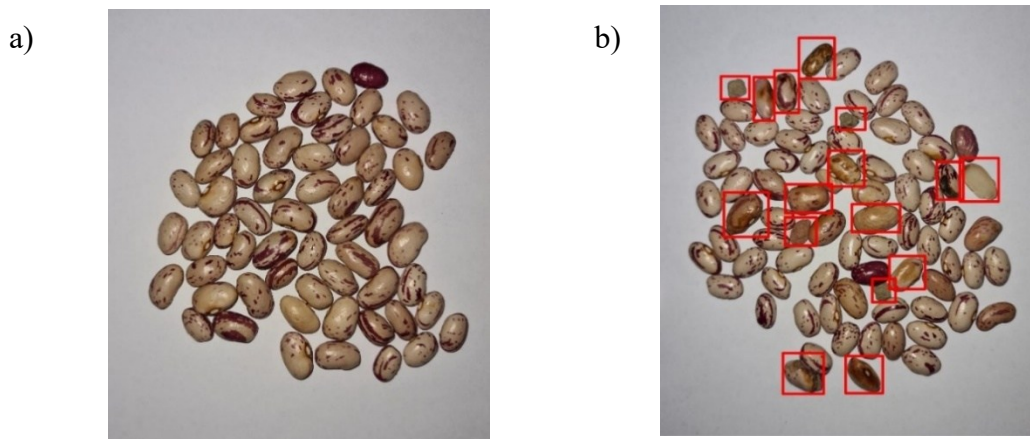
Koračnim motorom i zupčastim prijenosom postiže se regulirani dovod zrna graha u dozator, prikazanim na slici 152. Zupčastim prijenosom se postiže linearno gibanje ploče koja otvara prolaz prema dozatoru.



Slika 152. Mehanizam otvaranja spremnika

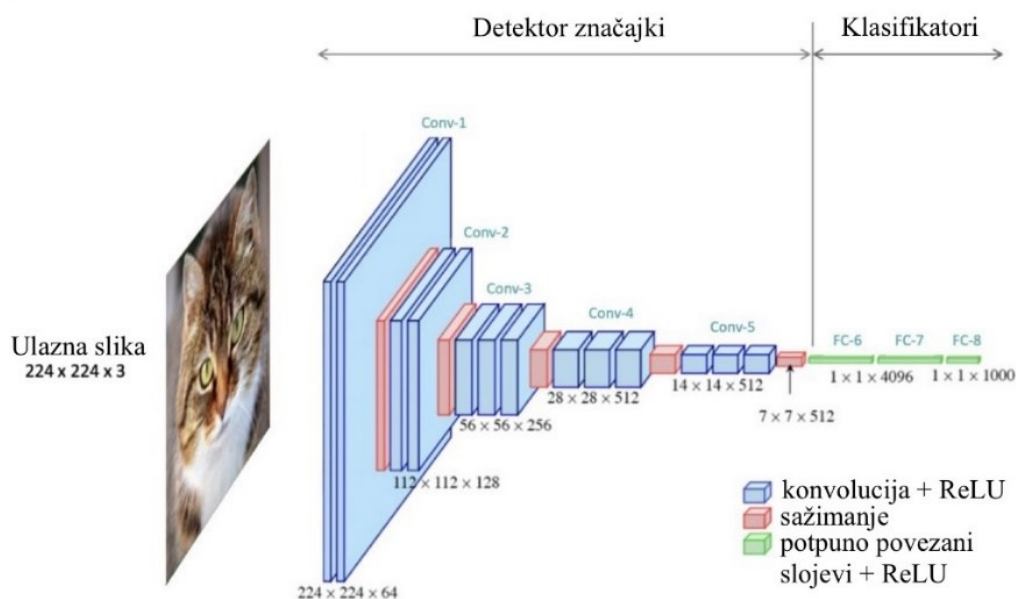
9.6. Klasifikacija zrna

Glavni problemi s kojima se suočavamo pri prepoznavanju kvalitete zrna graha uključuju varijabilnost u boji, veličini, obliku i teksturi zrna, kao i prisutnost nečistoća poput pijeska, kamenčića ili oštećenih zrna. Na slici 153. a) su prikazana dobra zrna dok na slici 153. b) mješavina dobrih i loših zrna, gdje su vidljive nečistoće i nepravilnosti zrna.



Slika 153. a) Zrna graha klase: dobra; b) Detekcija loših zrna graha

Konvolucijske neuronske mreže su specifična vrsta neuronskih mreža koje su posebno dizajnirane za obradu vizualnih podataka poput slika i videozapisa, jedna od struktura je prikazana na slici 154. One su se pokazale izuzetno uspješnim u zadacima računalnog vida, uključujući klasifikaciju objekata, klasifikaciju slika, detekciju lica i segmentaciju slika.



Slika 154. Jedna od mogućih struktura konvolucijskih mreža[69]

10. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su postupci razvoja i implementacije devet različitih mehatroničkih sustava, s naglaskom na primjenu suvremenih metoda upravljanja i automatizacije u konkretnim tehničkim i društveno korisnim kontekstima. Projekti pokrivaju širok spektar područja počevši od podvodne i mobilne robotike, sustava za industrijsku automatizaciju i reciklažu, do rješenja za poljoprivredu, borilačkih sportova i pomorsku tehnologiju.

Tijekom izrade svih sustava korištena su znanja iz različitih područja strojarstva, elektrotehnike, elektronike, programiranja i senzorske tehnologije. Poseban naglasak bio je na integraciji mehaničkih i elektroničkih komponenti, razvoju upravljačkih algoritama te korištenju 3D modeliranja i izrade prototipova.

Svaki projekt nudi funkcionalno rješenje stvarnog problema, a takvi sustavi mogu poslužiti kao obrazovni alati u području mehatronike i robotike, omogućujući studentima razvoj praktičnih vještina kroz rad na stvarnim inženjerskim izazovima. Zahvaljujući modularnosti i cjenovnoj pristupačnosti, sustave je moguće nadograđivati i prilagoditi različitim eksperimentalnim potrebama.

ZAHVALE

Zahvaljujemo prof. dr. sc. Željku Šitumu na kontinuiranoj podršci, povjerenju, stručnim savjetima i pomoći tijekom izrade svih radova. Također, zahvaljujemo na pomoći u pribavljanju potrebnih komponenti i opreme bez kojih realizacija radova ne bi bila moguća.

Zahvaljujemo tvrtki Orka-Inox na dosadašnjoj i budućoj suradnji, korisnim prijedlozima te nabavi i izradi potrebnih komponenti.

Zahvaljujemo tvrtkama Festo Hrvatska d.o.o. i SMC Industrijska automatika d.o.o. zbog pomoći pri odabiru odgovarajućih komponenti.

Zahvaljujemo tvrtki XYLON d.o.o. na ustupljenoj radioni i alatima za izradu radova.

Zahvaljujemo studentskoj udruzi HSA-SF na ustupanju radionice i strojeva za potrebe izrade radova.

POPIS LITERATURE

- [1] *Wikipedia*, Archimedes' principle, dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes%27_principle, pristupljeno 6.11.2024.
- [2] *Arduino.cc*, Programming/Arduino Documentation, dostupno na: <https://docs.arduino.cc/programming/>, pristupljeno 18.9.2024.
- [3] Virag Z, Šavar M, Džijan I. Mehanika fluida I – Predavanja. Zagreb: ITD d.o.o.; 2021.
- [4] Halasz B. Uvod u termodinamiku. Zagreb: ITG d.o.o.; 2019.
- [5] Kraut B. Krautov strojarski priručnik. Zagreb: Sajema; 2009.
- [6] Decker KH. Elementi strojeva. Zagreb: Golden Marketing – Tehnička knjiga; 2006.
- [7] *Micromax*, Brushless motor, dostupno na: <https://www.miromax.lt/en/bldc--pmsm-brushless-motor-hpm-3000b---nominal-power-3kw5kw----4hp67hp---250-cm3#tog104>, pristupljeno 11.9.2024.
- [8] *Hennlich*, Klizni ležaj, dostupno na: <https://www.hennlich.hr/proizvodi/sustavi-za-li-nearna-kretanja-klizni-lezajevi-klizni-lezaj-43.html>, pristupljeno 11.9.2024.
- [9] *Bibus*, Plinske opruge, dostupno na: <https://www.bibus.hr/proizvodi-i-rjesenja/mehatronika/plinske-opruge/>, pristupljeno 11.9.2024.
- [10] *TRGO-AGENCIJA*, Lanci i lančanici, dostupno na: <https://www.trgo-agencija.hr/lanci-i-lancanici/lancanici/5-8-x3-8-10b/lancanik-5-8-x3-8-z-44-s-glavcinom-sati.html>, pristupljeno 11.9.2024.
- [11] Vučković K. Vratila, podloge s predavanja iz kolegija „Elementi konstrukcija IIA, B i C“. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2022.
- [12] Herold Z. Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.
- [13] *Vevor*, Brushed DC motor, dostupno na: https://eur.vevor.com/brushed-dc-motor-c_11226/brushed-electric-motor24v-350w-3000rpm-gear-reduction-motor-for-bicycle-e-bikep_010642901057, pristupljeno 16.5.2024.
- [14] *Raspberry Pi*, Raspberry Pi 4 Tech Specs, dostupno na: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>, pristupljeno 27.5.2024.
- [15] *DishanTech*, BTS7960 Motor Driver Module, dostupno na: <https://dishan-tech.com/product/bts7960-motor-driver-module/>, pristupljeno 4.6.2024.
- [16] *Hardwarelibre*, Nema 17: sve o koračnom motoru kompatibilnom s Arduinoom, dostupno na: <https://www.hwlibre.com/hr/nema-17/>, pristupljeno 26.5.2024.
- [17] *Joy-it*, TB6600 STEPPER MOTOR DRIVER, dostupno na: <https://joy-it.net/en/products/SBC-MD-TB6600>, pristupljeno 4.4.2024.

- [18] *Gram Conveyor*, Parts of Belt Conveyor Sytem: Types, Functions, Materials, dostupno na: <https://www.gramconveyor.com/parts-of-belt-conveyor-system/>, pristupljeno: 15.08.2024.
- [19] *Century Conveyor Systems Inc.*, A Guide to the Parts and Components Of A Conveyor, dostupno na: <https://www.centuryconveyor.com/a-guide-to-the-parts-of-a-conveyor/>, pristupljeno: 15.08.2024.
- [20] *Electric Linear Actuators*, The working principle of electric linear actuator, dostupno na: <https://www.electric-linear-actuators.com/blogs/news-1/the-working-principle-of-electric-linear-actuator>, pristupljeno: 16.08.2024.
- [21] *Hrvatska tehnička enciklopedija*, Pneumatika, dostupno na: <https://tehnika.lzmk.hr/pneumatika/>, pristupljeno 16.08.2024.
- [22] Vučković K. Osovine, podloge s predavanja iz kolegija „Elementi konstrukcija IIA, B i C“. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2022.
- [23] Vučković K. Ležajevi, podloge s predavanja iz kolegija „Elementi konstrukcija IIA, B i C“. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2022.
- [24] *STEM*, Istosmjerni (DC) motor, dostupno na: <https://www.stem.ba/arduino-elektronika/tutorijali/item/299-istosmjerni-dc-motor>, pristupljeno: 18.08.2024.
- [25] *Farnell* „DC Geared Motors“, dostupno na: https://uk.farnell.com/dfrobot/fit0186/dc-motor-12vdc251rpm/dp/3974138?srsId=AfmBOorJ67F4nMoln4SByrxFQdYaqvqHRncr6aQ_sVP49oZ8X1abTfAg, pristupljeno: 18.08.2024.
- [26] Vučković K. Remenski prijenos, podloge s predavanja iz kolegija „Elementi konstrukcija IIA, B i C“. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2022.
- [27] *SKY HIGH eLearn*, Flat belt conveyor design calculations with practical application, dostupno na: <https://skyhighlearn.com/flat-belt-conveyor-design-calculations/>, pristupljeno: 19.08.2024. *Amazon.de*, Linear Motion Actuators, dostupno na: https://www.amazon.de/-/en/Justech-Linear-Actuator/dp/B09V7CVFY3/ref=bx_dp_ej2linln_d_sccl_3_4/259-1279437-3917257?pd_rd_w=5qxdd&=undefined&content-id=amzn1.sym.744c8eeb-2fd6-418e-b756-dbd0058faf03&pf_rd_p=744c8eeb-2fd6-418e-b756-dbd0058faf03&pf_rd_r=WVEJTH837WHV2Z49KX7W&pd_rd_wg=cl2YA&pd_rd_r=56445236-1fb5-4b1d-b8eb-b3cf8513e894&pd_rd_i=B07PFS33PM&th=1, pristupljeno: 20.08.2024.

- [28] *FESTO*, Okrugli cilindar, dostupno na: https://www.festo.com/hr/hr/a/5211905/?q=%7E%3AasortByCoreRangeAndSp2020%7E%3ACC_Stroke_combined_mm_C_FP_GLOBAL%7E%3A80.0, pristupljeno: 20.08.2024.
- [29] *CONTROLLINO*, CONTROLLINO MAXI, dostupno na: <https://www.controllino.com/product/controllino-maxi/>, pristupljeno: 20.08.2024.
- [30] *AliExpress*, Photoelectric sensors, dostupno na: <https://www.aliexpress.com/item/1005003929382413.html>, pristupljeno: 20.08.2024.
- [31] *MRO Electric and Supply*, A Complete Guide to Relays: What They Are & How They Work, dostupno na: <https://www.mroelectric.com/blog/how-does-a-relay-work/>, pristupljeno: 20.08.2024.
- [32] *MOUSER ELECTRONICS*, General Purpose Relays, dostupno na: https://hr.mouser.com/ProductDetail/TE-Connectivity-Schrack/RT424012?qs=7QomnyYyMCL3B7QGz7i9xg%3D%3D&utm_id=20109199385&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwi5q3BhCiARIsAJCfuZnxum9T3Be_x4TNa_00z6enhuIGlaQx0n2glmfgrL9xqVB3II24yS4aAgoCEALw_wcB&_gl=1*c54yl*_ga*MTk1NzEyMjI5Ny4xNzI2NDIxNTU1*_ga_15W4STQT4T*MTcyNjQyMTU1NC4xLjAuMTcyNjQyMTU1NS41OS4wLjA., pristupljeno: 20.08.2024.
- [33] *ZEBRA.HR*, Pumpe za vodu: Sve što trebate znati, dostupno na: <https://zebra.hr/inspiracija-i-novosti/dom/pumpe-za-vodu-sve-sto-trebate-znati>, pristupljeno: 20.08.2024.
- [34] *AliExpress*, Water pump 12V, dostupno na: https://www.aliexpress.com/item/1005005489175847.html?spm=a2g0o.productlist.main.1.22fd149dDf74k5&algo_pvid=be902062-562d-410a-9b81-b42c3efcb408&algo_exp_id=be902062-562d-410a-9b81-b42c3efcb408-0&pdp_npi=4%40dis%21HRK%2136.29%2135.20%21%21%2137.75%2136.62%21%402103872a17264316151157314e67d6%2112000033282882213%21sea%21HR%214200396019%21X&curPageLogUid=mHsXfTDRJ7nG&utparam-url=scene%3Asearch%7Cquery_from%3A, pristupljeno: 20.08.2024.
- [35] *TAMESON*, A Complete Solenoid Valve Overview, dostupno na: <https://tameson.com/pages/solenoid-valve-types>, pristupljeno: 21.08.2024.
- [36] *FESTO*, Elektromagnetski ventili, dostupno na: <https://www.festo.com/hr/hr/a/8043215/?q=%7E%3AasortByCoreRangeAndSp2020>, pristupljeno: 21.08.2024.
- [37] *FESTO*, Jednomsjerni ventili za regulaciju protoka, dostupno na: https://www.festo.com/hr/hr/p/prigusni-nepovratni-ventil-id_VFOE/?q=VFOE-LS-T-M5-Q6%7E%3AfestoSortOrderScored, pristupljeno: 21.08.2024.

- [38] *Last Minute Engineers*, How Servo Motor Works & Interface It With Arduino, dostupno na: <https://lastminuteengineers.com/servo-motor-arduino-tutorial/>, pristup: 15.08.2024.
- [39] *FIERCE Electronics*, Jost, D.: What is an Ultrasonic Sensor?, dostupno na: <https://www.fierceelectronics.com/sensors/what-ultrasonic-sensor>, 16.08. 2024.
- [40] Pavković D. Senzori i prihvati signala, podloge s predavanja iz kolegija „Mikroprocesorsko upravljanje“. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2023.
- [41] Katalog tvrtke Soldered, Dasduino CORE (ATmega328), dostupno na: <https://soldered.com/hr/proizvod/dasduino-core/>, pristupljeno: 19.08.2024.
- [42] Katalog tvrtke Soldered, Dasduino LITE (ATTiny1604), dostupno na: https://soldered.com/hr/proizvod/dasduino-lite/?attribute_pa_headers=zenski-headeri pristupljeno: 19.08.2024.
- [43] *Artemis grow*, Što je hidroponski uzgoj?, dostupno na: <https://artemisgrow.hr/2023/02/20/sto-je-hidroponski-uzgoj-2/> , pristupljeno 28.2.2025.
- [44] *Wikipedia*, Nutrient film technique, dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Nutrient_film_technique , pristupljeno 28.2.2025.
- [45] *Verder Liquids*, Diaphragm Pumps, dostupno na: <https://www.verderliquids.com/int/en/technologies/how-are-diaphragm-pumps-used>, pristupljeno 28.2.2025.
- [46] *Spectra scientific*, What is a pH probe and how does a pH probe work, dostupno na: <https://www.spectrascientific.com/blogs/ph-guides/what-is-a-ph-probe-how-does-a-ph-probe-work> , pristupljeno: 28.2.2025.
- [47] *ICON Process controls*, Understanding how conductivity sensors work, dostupno na: <https://iconprocon.com/blog-post/understanding-how-conductivity-sensors-work/> , pristupljeno 29.2.2025.
- [48] ESP32 Series Datasheet Version 4.8, dostupno na: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf , pristupljeno 29.2.2025.
- [49] *Botanika*, Što je pH i kako utječe na rast biljaka?, dostupno na: <https://www.botanika.hr/botanopedija/sto-je-ph-i-kako-utjece-na-rast-biljaka> , pristupljeno 29.2.2025.
- [50] *MIILKIIA*, Vodič korak po korak za hidroponski uzgoj salate, dostupno na: <https://www.miilkiigrow.com/hr/news/step-by-step-guide-to-growing-lettuce-hydroponically/> , pristupljeno 4.3.2025.
- [51] Katalog proizvođača SMC Industrijska automatika d.o.o., dostupan na: <https://www.smc.eu/hr-hr>, pristupljeno 20.8.2024.

- [52] Katalog proizvođača Controllino GmbH, dostupan na: <https://www.controllino.com/> , pristupljeno 20.8. 2024.
- [53] Katalog proizvođača Mean Well Enterprises Co., dostupan na: <https://www.meanwell.com/> , pristupljeno 21.8.2024.
- [54] *Tehnički leksikon*, Njihanje broda, dostupno na: <https://tehnicki.lzmk.hr/clanak/njihanje-broda> , pristupljeno: 11.9.2024.
- [55] Molland AF. The Maritime Engineering Reference Book: A Guide to Ship Design, Construction and Operation. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2008.
- [56] Veemmarine. How Gyros Create Stabilizing Torque. 2014
- [57] Veemmarine. How Gyrostabilizers Work. 2014.
- [58] Talha M, Asghar F, Kim SH. Design of Fuzzy Tuned PID Controller for Anti Rolling Gyro (ARG) Stabilizer in Ships. 2017.
- [59] *Tipteh*, Koračni motori, dostupno na: <https://tipteh.com/hr/koracni-motori/> , pristupljeno: 11.9.2024.
- [60] *Powerdrives*, What is an esc, dostupno na: <https://powerdrives.net/blog/what-is-an-esc> pristupljeno: 11.9.2024.
- [61] Perez T, Steinmann PD. Analysis of Ship Roll Gyrostabiliser Control. 2009.
- [62] *Random Nerd Tutorials*, Complete Guide for Ultrasonic Sensor HC-SR04 with Arduino, dostupno na: <https://randomnerdtutorials.com/complete-guide-for-ultrasonic-sensor-hc-sr04/>, pristupljeno 15.01.2024.
- [63] *Vayuyaan*, IR Sensor Working Principle and Applications, dostupno na: <https://www.linkedin.com/pulse/ir-sensor-working-principle-applications-vayuyaan-pltyf/> , pristupljeno 16.01.2024.
- [64] *Stem*, Istosmjerni (DC) motor, dostupno na: <https://www.stem.ba/arduino-elektronika/tutorijali/item/299-istosmjerni-dc-motor> , pristupljeno 15.01.2024.
- [65] *Bibus*, Matrix super brzi ventili, dostupno na: <https://technology.bibus.com/hr/hr/proizvodi/Pneumatika-procesna-i-vakuum-tehnika/Pneumatski-ventili/> , pristupljeno 15.01.2024.
- [66] *Controllino*, Controllino Maxi, dostupno na: <https://www.controllino.com/product-category/controllers/maxi/> , pristupljeno 16.01.2024.
- [67] *Unizd*, Remenski prijenos, dostupno na: https://www.unizd.hr/Portals/1/nastmat/%20S_Elementi/REMENSKI%20PRIJENOS%20Read-Only.pdf, pristup 16.01.2024.
- [68] *AWS Amazon* , What is a Neural Network?, dostupno na: <https://aws.amazon.com/what-is/neural-network/> , pristupljeno 19.01.2024.

SAŽETAK

Daljinski upravljano podvodno vozilo je rad koji je izradila **Magdalena Antolković**. Projektiranje daljinski upravljane podmornice zahtijeva kombinaciju različitih inženjerskih disciplina. U ovom radu izrađena je podmornica koja koristi akrilni trup, sustav balastnih tankova i istosmjerni motor za pogon. Upravlja se daljinskim kontrolerom temeljenim na PCB dizajnu, koji koristi mikrokontroler i bežičnu komunikaciju. Problemi poput brtvljenja i stabilne komunikacije bit će analizirani i razmatrani u budućim poboljšanjima.

Ključne riječi: podvodno vozilo, daljinsko upravljanje, mikrokontroler, bežična komunikacija

Robotska kosilica je rad koji je izradio **Fabijan Ereiz**. U radu je opisan razvoj robotske kosilice na gusjenicama za teško pristupačne terene i velike površine. Opisani su uvjeti rada, odnosno terena na kojima je takva oprema potrebna, a uz to proveden je pregled tržišta i uvid u postojeće proizvode te njihovu mogućnost modularnosti. Nakon toga provedeni su proračuni i sukladno njima odabrane odgovarajuće komponente za izradu uređaja. U nastavku je provedena konstrukcijska razrada u kojoj su prikazane tri verzije uređaja izrađene u programskom paketu Solidworks te opisane modifikacije kao rješenja na istaknute probleme. Na kraju, izrađena je tehnička dokumentacija pojedinih dijelova proizvoda.

Ključne riječi: robot, kosilica, baterija, električna energija, gusjenice

Mobilni robot za gašenje požara je rad kojeg je izradio **Fran Hruškar**. Glavni cilj ovog rada je projektiranje i konstruiranje te izrada mobilnog vatrogasnog robota. Kroz rad se suočava sa realnim inženjerskim problemima pomoću znanja iz prethodnog dijela studija uz dodatno istraživanje. Vatrogasna služba je rizičan posao pri kojem se vatrogasci svakodnevno suočavaju sa različitim opasnostima, stoga je potrebno te opasnosti svesti na minimum. U tu svrhu sve više se koriste mobilni vatrogasni roboti koji su najčešće skupi i velikih dimenzija. Za omogućavanje široke primjene vatrogasnih mobilnih robota u svim aspektima vatrogastva potrebno je projektirati mobilni vatrogasni robot manjih dimenzija, a samim time i drastično manje cijene. U ovom radu će biti opisan cjelokupni proces projektiranja, konstruiranja i izrade takvog prototipnog mobilnog robota, te će se dati opis korištenih komponenti za ostvarivanje zadaće sustava. Dan je i primjer programiranja upravljačkog sustava takvog mobilnog robota kao i slijedni tijek rješenja od CAD modela prema gotovom prototipu. Nadalje, opisan je i sam

proces sastavljanja i spajanja komponenata u jednu smislenu cjelinu. Na kraju samog rada dane su smjernice na koji način se sustav može dodatno unaprijediti.

Ključne riječi: mobilni vatrogasni robot, mehatronički sustav, konstruiranje robota

Sustav za automatsko punjenje i zatvaranje boca je rad kojeg je izradila **Mia Prgomet**. U ovom radu prikazana je realizacija sustava za automatsko punjenje i zatvaranje boca s mogućnošću punjenja različitih visina boca, čime se osigurava fleksibilnost i prilagodljivost sustava za širok spektar industrijskih potreba. Kroz rad je dan detaljan pregled implementiranih sustava u svrhu što preciznijeg prikaza njihove funkcionalnosti. Opisane su korištene komponente, uključujući specifične funkcije i uloge tih komponenata u radu sustava. Upotrebom raznih slika i shema, nastoji se dodatno olakšati razumijevanje strukture samog sustava te dati jasniji uvid u tehničke detalje što će omogućiti lakše shvaćanje sustava u cjelini. Cilj rada je izrada kompaktnog i ekonomičnog sustava koji omogućava automatsko upravljanje bez potrebe za ljudskom intervencijom. Takvi sustavi poželjni su u manjim proizvodnim pogonima i tvornicama gdje se zahtijeva efikasnost i smanjenje operativnih troškova uz istovremeno održavanje kvalitete i brzine proizvodnje.

Ključne riječi: transportna traka, linearni aktuator, pneumatika, releji, elektromotor

Uređaj za odvajanje metala u procesu recikliranja plastike je rad koji je izradila **Anastazia Puhalo**vić. U okviru ovog rada prikazan je proces izrade uređaja za sortiranje metalnih od nemetalnih predmeta. Cilj rada bio je izrada uređaja koji će uspješno odvajati metal od plastike koristeći senzore kao glavne komponente, kako bi se olakšao i poboljšao proces recikliranja. Rad može poslužiti u edukacijske svrhe, a s ciljem implementacije izrađenog sustava u realnom okruženju poput domaćinstva. Kroz poglavlja, rad prati tijek razvoja proizvoda, od početne ideje i izgleda, odabira potrebnih komponenti, 3D printanja dijelova, do njegove konačne realizacije. Predočene slike, tehnička dokumentacija, kao i Arduino kod omogućuju lakšu vizualizaciju konstrukcije uređaja te olakšavaju razumijevanje složenih tehničkih detalja. Naposljetku, navedena su moguća poboljšanja uređaja i predloženi načini za njihovu implementaciju u budućnosti.

Ključne riječi: odvajanje, senzor, polimeri, razvoj proizvoda, mehatronički sustav

Automatizirani sustav za hidroponski uzgoj biljaka je rad koji je izradio **Denis Sinković**. Hidroponski uzgoj biljaka je tehnika uzgoja bez zemlje gdje biljke primaju hranjive tvari iz otopine, čime se omogućuje uzgoj biljaka tijekom cijele godine. Ovaj rad opisuje projektiranje i izradu automatiziranog sustava za hidroponski uzgoj biljaka. Cilj rada je automatizirati hidroponski uzgoj biljaka na način da hranjiva otopina bude uvijek u idealnom rasponu za uzgoj povrća te da hranjiva otopina kontinuirano teče kroz zatvoreni sustav. Sastav hranjive otopine saznaje se očitanjem senzora za pH i EC vrijednost, dok se regulacija izvršava pomoću membranskih pumpi koje upumpavaju potrebnu regulacijsku koncentraciju u hranjivu otopinu. Prvo je opisano projektiranje sustava te je prikazan idejni CAD model. Zatim su opisane zasebne komponente sustava dok je na kraju izrađen eksperimentalni postav te su prikazani rezultati uzgoja zelene salate.

Ključne riječi: mehatronički sustav, hidroponika, automatizacija

Sprava za vježbanje tehnika obrane i brzine reakcije u boksu je rad koji je izradio **Dominik Šarić**. Cilj ovog rada je pružiti rješenje za spravu namijenjenu vježbanju tehnike obrane i brzine reakcije u boksu. Ovo rješenje obuhvaća odabir odgovarajućih komponenti, konstrukciju te montažu i povezivanje dijelova s upravljačkim uređajem. Svrha sprave je potaknuti boksača da pravilno reagira na simulirani „udarac“ putem nasumične aktivacije pneumatskih cilindara. Da bi se zadovoljio zahtjev, programiranjem te adekvatnim senzorima sprava prepoznaje kada je jedan od cilindara izbačen. Nakon toga, sprava čeka da se cilindar vrati u početni položaj prije nego što bude spremna za aktivaciju drugog cilindra. Rad detaljno opisuje konstrukciju sprave, sve ključne dijelove sustava te programski kod koji omogućuje njenu funkcionalnost. Izrađena sprava ima potencijal za nadogradnju, što bi uključivalo potreban udarac kako bi se cilindri aktivirali. Ovo bi omogućilo vježbu kombinacije napada i obrane te poboljšanje brzine reakcije. Razvijeni uređaj napravljen je stečenim znanjem iz raznih područja strojarstva te ga zato možemo klasificirati kao mehatronički sustav.

Ključne riječi: boks, tehnika obrane, pneumatski cilindar, mehatronički sustav

Projektiranje uređaja za stabilizaciju broda je rad koji je izradio **Mateo Šego**. Cilj ovog rada je razviti učinkovit sustav stabilizacije plovila, koji koristi giroskopski uređaj za smanjenje nagiba broda uzrokovano valovima ili bočnim silama. Zahtjevi koje stabilizator treba ispuniti su da se amplituda kuta ljuljanja pri vanjskoj pobudi smanji za barem 50 % te da se broj oscilacija ljuljanja broda od puštanja s određenog nagiba do amplitude ljuljanja od 2 stupnja

također smanji za 50 %. Ideja rada je obuhvatiti postupak projektiranja, izrade dinamičkog modela, simulacije, izrade, montaže, programiranja i testiranja giroskopskog stabilizatora smještenog u maketu broda. U uvodu će se dati teoretske osnove pomorstvenosti broda i teoretske osnove giroskopa, a potom će se izvesti dinamički model sustava za simulaciju i provest će se simulacija u programu Matlab. Nakon toga će se opisati korištene komponente stabilizatora. Zatim slijedi prikaz tijeka konstruiranja dijelova modela u programu SolidWorks. Sama izrada modela će se prikazati u zasebnom poglavlju, isto kao i testiranja gotove makete i usporedba sa simulacijama na kraju.

Ključne riječi: giroskopski stabilizator, maketa plovila, mehatronički sustav, simulacija

Stroj za uklanjanje loših zrna graha je rad koji je izradio **Antonio Varović**. Ovaj rad predstavlja detaljnu realizaciju stroja za sortiranje loših zrna graha s ciljem postizanja iste funkcionalnosti kao i skupih industrijskih sortirnica, ali po pristupačnoj cijeni. Kroz opis svake komponente i njenog principa rada, omogućuje se razumijevanje kompletnog sustava. Uključujući skice i slike, nastoji se dodatno pojasniti složeniji dijelovi za potrošače. Na kraju, ističu se potencijalna poboljšanja sustava i načini za njihovu realizaciju. Cilj je stvoriti stroj koji će biti financijski pristupačan, visoko precizan te koji će u potpunosti zamijeniti ljudski rad. S obzirom na to da su industrijske sortirnice skupe i nedostupne za mnoge male proizvođače, ovaj projekt otvara mogućnost da mala i srednja poduzeća ili čak poljoprivrednici imaju pristup ovoj tehnologiji. Uz to, automatizacija procesa osigurava povećanje učinkovitosti i smanjenje grešaka koje bi mogle biti uzrokovane ljudskim faktorom.

Ključne riječi: sortiranje zrna graha, pneumatika, transportna traka, konvolucijske neuronske mreže, strojno učenje

SUMMARY

Remotely operated submarine is a project created by **Magdalena Antolković**. Designing a remotely operated submarine requires multiple engineering disciplines. This project features a submarine with an acrylic hull, a ballast tank system, and a DC motor for propulsion. It is controlled via a custom PCB-based remote controller, utilizing a microcontroller and wireless communication. Issues such as sealing and stable communication were analyzed and considered for future improvements.

Key words: underwater vehicle, remote control, microcontroller, wireless communication

Robotic lawnmower is a project developed by **Fabijan Ereiz**. The paper describes the development of a tracked robotic lawnmower for difficult-to-reach terrains and large areas. The working conditions, i.e., the terrains where such equipment is needed, are described, and a market review was conducted along with an overview of existing products and their modularity options. Following that, calculations were performed, and suitable components for the device were selected accordingly. Next, a design elaboration was carried out, in which three versions of the device were created in the Solidworks software package, and modifications were described as solutions to highlighted problems. Finally, technical documentation for individual product parts was prepared.

Key words: robot, lawn mower, battery, electrical energy, rubber tracks

Mobile firefighting robot is a project made by **Fran Hruškar**. The main goal of this paper is the design, construction, and development of a mobile firefighting robot. The work involves addressing real engineering problems using knowledge from the previous part of the studies, along with additional research. Firefighting is a risky job where firefighters face various dangers daily, and therefore, it is necessary to minimize these risks. For this purpose, mobile firefighting robots, which are often expensive and large in size, are increasingly being used. To enable the widespread use of mobile firefighting robots in all aspects of firefighting, it is necessary to design a smaller mobile firefighting robot, which would significantly reduce the cost. This paper will describe the entire process of designing, constructing, and developing such a prototype mobile robot, as well as provide a description of the components used to achieve the system's tasks. An example of programming the control system for such a mobile robot will also be provided, along with the sequential process of moving from a CAD model to a finished

prototype. Furthermore, the process of assembling and connecting components into a coherent whole will be described. At the end of the paper, guidelines will be provided on how the system can be further improved.

Key words: mobile firefighting robot, mechatronic system, robot construction

Automatic bottle filling and capping system is a project created by **Mia Prgomet**. This thesis provides a detailed implementation of an automatic bottle filling and capping system, designed to handle bottles of varying heights, offering flexibility and adaptability for various industrial applications. The thesis provides a thorough review of the implemented systems in order to understand their functionality better. The components used are described in detail, along with their specific functions and roles within the system. By incorporating various images and diagrams, the system's structure is made easier to comprehend, giving a clearer view of the technical aspects, and thus facilitating a better overall understanding of the system. This thesis aims to develop a compact, cost-effective system that enables automatic control without human intervention. Such systems are desirable in smaller production plants and factories where efficiency and reduction of operational costs are required, while simultaneously maintaining quality and production speed.

Key words: conveyor belt, linear actuator, pneumatics, relays, electric motor

Device for separating metals in the plastic recycling process is a project developed by **Anastazia Puhalo**vić. The process of making a device for sorting metallic from non-metallic objects is presented in this thesis. The goal of the thesis was to create a device that will successfully separate metal from plastic using sensors as the main components, in order to facilitate and improve the recycling process. The device can be used for educational purposes, with the aim of implementation in a real environment such as a household. Through the chapters, the thesis follows the course of product development, from the initial idea and appearance, selection of necessary components, 3D printing of parts, to its final realization. Attached images, technical documentation, as well as the Arduino code allow easier visualization of the device's construction and facilitate the understanding of complex technical details. Finally, possible improvements to the device and suggested ways to implement them in the future are listed.

Key words: separation, sensor, polymers, product development, mechatronic system

Automated system for hydroponic plant cultivation is a project created by **Denis Sinković**. Hydroponic plant cultivation is a soil-free growing technique in which plants receive nutrients from a solution, enabling year-round cultivation. This work describes the design and development of an automated system for hydroponic plant cultivation. The goal of the project is to automate hydroponic cultivation in a way that ensures the nutrient solution remains within the ideal range for vegetable growth and continuously flows through a closed system. The composition of the nutrient solution is determined by readings from pH and EC sensors, while regulation is carried out using membrane pumps that inject the necessary concentration adjustments into the nutrient solution. The project first details the system design and presents a conceptual CAD model. Then, the individual system components are described, followed by the construction of an experimental setup and an analysis of lettuce cultivation results.

Key words: mechatronic system, hydroponics, automation

Device for training defense techniques and reaction speed in boxing is a project made by **Dominik Šarić**. The goal of this final thesis is to provide a solution for a device designed for practicing defensive techniques and reaction speed in boxing. This solution involves the selection of appropriate components, construction, assembly, and the connection of parts with the control device. The purpose of the device is to prompt the boxer to react correctly to a simulated "strike" through the random activation of pneumatic cylinders. To meet this requirement, through programming and suitable sensors, the device recognizes when one of the cylinders has been ejected. Subsequently, the device waits for the cylinder to return to its initial position before it is ready for the activation of another cylinder. The paper thoroughly describes the construction of the device, all key components of the system, and the source code that enables its functionality. The created device has the potential for upgrades, which would involve the requirement of a strike to activate the cylinders. This would allow for the practice of a combination of attack and defense, as well as the improvement of reaction speed. The developed device is made with acquired knowledge from various fields of mechanical engineering, thus classifying it as a mechatronic system.

Key words: boxing, defense technique, pneumatic cylinder, mechatronic system

Design of a vessel stabilization device is a project created by **Mateo Šego**. The goal of this work is to develop an efficient vessel stabilization system that utilizes a gyroscopic device to reduce the ship's roll caused by waves or lateral forces. The requirements for the stabilizer are that the amplitude of the roll angle under external excitation is reduced by at least 50 %, and that the number of roll oscillations from a specific tilt angle to an amplitude of 2 degrees is also reduced by 50 %. The concept of the project encompasses the design process, dynamic model development, simulation, production, assembly, programming, and testing of the gyroscopic stabilizer installed in a ship model. The introduction will provide the theoretical foundations of ship seakeeping and the principles of the gyroscopic stabilization, followed by the development of the dynamic model for system simulation, and the simulation will be conducted using Matlab software. After that, the components used in the stabilizer system will be described. Next, the design process for the model parts in SolidWorks will be presented step by step.. The model fabrication will be detailed in a separate chapter, as will the testing of the completed model and the final comparison with the simulations.

Key words: gyroscopic stabilizer, ship model, mechatronic system, simulation

Machine for sorting defective beans is a project made by **Antonio Varović**. This thesis represents a detailed realization of a machine for sorting defective beans, with the aim of achieving the same functionality as expensive industrial sorting machines, but at an affordable price. Through the description of each component and its working principle, it is possible to understand the complete system. By including sketches and pictures, it tries to further clarify the more complex parts for consumers. Finally, potential system improvements and ways to implement them are highlighted. The goal is to create a machine that will be financially accessible, highly precise and that will completely replace human work. Considering that industrial sorters are expensive and inaccessible to many, this project opens up the possibility for small and medium-sized enterprises or even farmers to have access to this technology. In addition, process automation ensures an increase in efficiency and a reduction in errors that could be caused by the human factor.

Key words: bean sorting, pneumatics, conveyor belt, convolutional neural networks, machine learning

ŽIVOTOPIS

Magdalena Antolković rođena je 9.8.1998. u Zagrebu, gdje je pohađala Osnovnu školu Sesvetska Sela, gdje razvija interes za tehničke znanosti, te pohađa izložbe i natjecanja. Po završetku osnovne škole upisuje XVI. gimnaziju, te za vrijeme školovanja sudjeluje u web grupama i razvija interes za programiranje. Upisuje preddiplomski studij strojarstva na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, a na drugoj godini upisuje smjer Mehatronika i robotika. Preddiplomski studij završava 2025. i odmah potom upisuje diplomski studij. U slobodno vrijeme se, osim izrade podvodnog vozila, bavi čitanjem i umjetnošću, a osim engleskog se služi talijanskim i ruskim jezikom.

Fabijan Ereiz rođen je u Požegi 6. srpnja 2001. godine, gdje pohađa Osnovnu školu Dobriša Cesarić te po završetku upisuje Prirodoslovno matematičku gimnaziju u Požegi. Studij strojarstva na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu započinje 2020. godine te se na drugoj godini opredjeljuje za smjer Mehatronika i robotika. Na trećoj godini 2022. postaje demonstrator na Katedri za tjelesnu i zdravstvenu kulturu te se priljučuje Sportskoj udruzi Omega. Nakon industrijske prakse, 2024. zapošljava se kao projektant za španjolsku tvrtku Metrolec, gdje se bavi projektiranjem robotskih ćelija za koncern Renault. Preddiplomski studij završava 2024. te upisuje diplomski studij na istom fakultetu.

Fran Hruškar rođen je 24. lipnja 2002. godine u Zagrebu. Osnovno-školsko obrazovanje stječe u OŠ Konjščina, a srednje-školsko u SŠ Zlatar, smjer opća gimnazija. Poslije srednješkolskog obrazovanja upisuje Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, studij Mehatronika i robotika. Preddiplomski studij završava 2024. Godine, te nastavlja diplomski studij na istom fakultetu, usmjerenje Automatika. Tijekom studija sudjelovao je u brojnim akcijama i projektima, među kojima je i njegov završni rad – Mobilni vatrogasni robot, koji je nagrađen srebrnom medaljom na izložbi inovacija EUROINVENT u gradu Iasi, Rumunjska, zlatnom medaljom na International fair of inovation and creative education for youth u gradu Suceava. Rumunjska, te zlatnim medaljama na INOVA-mladi I INOVA 2024. izložbama inovacija. Aktivno se bavi projektiranjem i programiranjem automatskih sustava, a iskustvo je stekao kroz rad u tvrtci PHB Automatizacija d.o.o. U slobodno vrijeme bavi se razvojem novih proizvoda, 3D printanjem, restauracijom oldtimer automobila i aktivni je interventni član Dobrovoljnog vatrogasnog društva Konjščina.

Mia Prgomet rođena je 11. listopada 2001. u Zagrebu. Završila je Osnovnu školu Žitnjak nakon koje upisuje Prvu gimnaziju u Zagrebu. Po završetku srednje škole upisuje strojarstvo na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, a nakon prve godine studija se opredjeljuje za smjer Mehatronika i robotika. Prediplomski studij završava 2024. godine sa završnim radom koji osvaja srebrnu medalju na izložbi IPITEX u Bangkok-u i još jednu srebrnu medalju na izložbi inovacija INOVA. Nastavlja diplomski studij na istom fakultetu. Od 2024. zaposlena je u tvrtki Xylon gdje se bavi 3D konstruiranjem, termalnim simulacijama i 3D printanjem.

Anastazia Puhalo rođena je 8. listopada 2001. u Zadru. Po završetku Osnovne škole Petra Preradovića upisuje opću Gimnaziju Jurja Barakovića. Prediplomski studij strojarstva na Fakultetu strojarstva i brodogradnje upisuje 2020. godine te se na drugoj godini opredjeljuje za smjer Mehatronika i robotika. Prediplomski studij završava 2024. godine te iste godine nastavlja diplomski studij na istom smjeru.

Denis Sinković rođen je 10. listopada 2002. u Zaboku. Završio je osnovnu školu „Ksavera Šandora Gjalskog“ u Zaboku, nakon osnovne škole upisuje Srednju školu Krapina gdje stječe zvanje tehničar za računalstvo. Tijekom ljetnih praznika u srednjoj školi radio je u lokalnoj tvornici obrade metala gdje je razvio veliki interes prema strojarstvu. Po završetku srednje škole upisuje studij Mehatronike i robotike na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Tijekom studiranja natjecao se na prvim borbama robota u Hrvatskoj s Udrugom mehatroničara gdje je osvojio 4. mjesto. Operativni je član DVD-a Gubaševo te je aktivan član streljačkog društva Veliko Trgovišće.

Dominik Šarić rođen je 05.05.2000. u Zagrebu. Pohađao je Osnovnu školu Dobriše Cesarića. Završetkom iste upisuje XIII. gimnaziju Zagreb, opći smjer, kako bi postigao širi spektar znanja te područje kojim bi se kasnije bavio. U isto vrijeme bio je aktivni natjecatelj u boksu s mnogim postignućima, uključujući status viceprvaka Hrvatske. Tokom završetka srednje škole upisuje Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Nakon završetka prve godine, opredjeljuje se za smjer Mehatronika i robotika koji nastavlja studirati sada na diplomskom studiju. Uz obaveze fakulteta, radi kao trener boksa te iza sebe ima brojne državne prvake.

Mateo Šego rođen je 30.01.2001. u Zadru, a odrastao je u Veloj Luci na otoku Korčuli, gdje je pohađao osnovnu školu Vela Luka. Završetkom iste upisuje srednju školu Ivo Padovan u Blatu na otoku Korčuli, smjer računalni tehničar za strojarstvo. Nakon završene srednje škole upisuje

Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, te na drugoj godini izabire smjer Mehatronika i robotika. U slobodno vrijeme se bavi automobilskim utrkaма gdje sudjeluje u projektiranju, izradi i vožnji trkaćih vozila.

Antonio Varović rođen je 30. srpnja 2001. godine u Koprivnici. Po završetku Obrtničke škole u Koprivnici, gdje je stekao zvanje elektrotehničara, upisuje Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, smjer Mehatronika i robotika. Preddiplomski studij završava 2024. godine s najvišim priznanjem (*summa cum laude*) te nastavlja diplomski studij na istom fakultetu. Tijekom studija istaknuo se kroz brojne projekte, među kojima je i njegov završni rad – automatizirana sortirnica graha, koji je nagrađen srebrnom medaljom na DIS EXPO u Dubaiju i zlatnom medaljom na Inova-mladi izložbi inovacija. Aktivno se bavi embedded sustavima, strojnim učenjem i računalnim vidom, a iskustvo je stekao kroz Erasmus praksu u Španjolskoj i rad u Ericsson Nikola Tesla. Također je demonstrator na fakultetu. U slobodno vrijeme bavi se razvojem inovativnih tehnoloških rješenja, 3D printanjem i nogometom.