

# Sprava za vježbanje tehnika obrane i brzine reakcije u boksu

---

Šarić, Dominik

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:740914>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-15**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Dominik Šarić**

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Željko Šitum

Student:

Dominik Šarić

Zagreb, 2024.

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

Zahvaljujem Bogu, svojoj obitelji na potpori i motivaciji, prijateljima i kolegama s kojima sam prošao ovaj put. Također, zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Željku Šitumu na pruženoj podršci i trudu tijekom izrade završnog rada.

Dominik Šarić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 24 – 06 / 01	
Ur.broj: 15 – 24 –	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Dominik Šarić** JMBAG: **0035228169**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Sprava za vježbanje tehnika obrane i brzine reakcije u boksu**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Device for training defense techniques and reaction speed in boxing**

Opis zadatka:

Borilački sportovi poput boksa imaju svoje korijene koji sežu u daleku prošlost. Unatoč tome što je njihova uloga kroz povijest bila ponešto drukčija, posljednjih desetljeća borilački sportovi su jako popularizirani zbog njihovog komercijalnog potencijala kroz različite natjecateljske oblike zabave za širu javnost. Danas je boks jedan od najpopularnijih borilačkih sportova, kao i elementarni dio većine mješovitih borilačkih vještina, jer predstavlja izvanrednu manifestaciju snage, vještine i taktičke genijalnosti. U boksačkoj borbi vrijeme reakcije, bez sumnje, ima ključnu ulogu u učinkovitom napadu i uspješnoj obrani u ringu. Pri tome je u boksačkoj tehnici iznimno važan rad nogu kojim se borac može brzo premještati u povoljniji položaj te obrambeno umijeće izbjegavanja udaraca poznato kao eskivaža. Poboljšanje motoričkih sposobnosti poput izdržljivosti, brzine, usklađenosti (koordinacije) te snage udaraca koje je u stanju zadati protivniku moguće je ostvariti pomoću različitih pomagala koje borci koriste tijekom treniranja. Stoga bi bilo korisno osmisliti i izraditi spravu koja bi mogla pomoći vježbačima da razvijaju svoje boksačke vještine.

U radu je potrebno:

- predložiti idejno rješenje sprave za vježbanje tehnika obrane i vremena reakcije potrebnih u borilačkim sportovima, koja se sastoji od nosive konstrukcije i pokretnih dijelova s pneumatskim pogonom
- realizirati gibanje pneumatskih aktuatora prema nasumičnom redoslijedu čime se zahtijeva pravilna i brza reakcija vježbača, koji se mora izmaknuti ili blokirati nadolazeći udarac
- odabrati upravljačke komponente procesa kojima se mogu podešavati način i vrijeme aktiviranja pogonskih elemenata
- realizirati eksperimentalni sustav i provjeriti funkcionalnost sprave za vježbanje.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2023.

Datum predaje rada:

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

Predvideni datumi obrane:

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

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Željko Šitum

Komentor: *Juraj Benić*

Dr. sc. Juraj Benić

Predsjednik Povjerenstva:

*Damir Godec*  
Prof. dr. sc. Damir Godec

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA.....	III
SAŽETAK.....	IV
SUMMARY .....	V
1. UVOD.....	1
1.1. Povijest boksa .....	1
1.2. Tehnika boksa .....	4
2. PROJEKTIRANJE I IZRADA MODELA.....	6
2.1. Projektiranje noseće konstrukcije .....	7
2.2. Projektiranje i izrada pneumatskog sustava.....	9
2.2.1. Pneumatski cilindar.....	9
2.2.2. Elektromagnetski ventil .....	10
2.2.3. Prigušno nepovratni ventil .....	13
2.2.4. Elektronički davač signala .....	15
2.2.5. Simulacija odabranih komponenti .....	16
2.3. Projektiranje kinematičkog sustava .....	17
2.4. Spoj dvaju sustava.....	19
2.5. Fokuseri.....	21
3. ELEKTRONIKA I UPRAVLJANJE .....	23
3.1. Upravljački uređaj Controllino MINI .....	23
3.2. Napajanje .....	24
3.3. Upravljačka kutija .....	26
3.4. Opis rada sustava .....	27
3.5. Programski kod za upravljački uređaj.....	28
4. TESTIRANJE EKSPERIMENTALNOG SUSTAVA.....	31
5. ZAKLJUČAK.....	33
LITERATURA.....	34

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Freska na otoku Santorini [2].....	1
Slika 2. Oleksandr Usyk sa svim pojasevima [5].....	3
Slika 3. Boksачki klub Herkules [6].....	4
Slika 4. Projektirani 3D model.....	6
Slika 5. Konstrukcija uređaja izrađena u programu SolidWorks.....	7
Slika 6. Konstrukcija napravljena prema 3D modelu.....	8
Slika 7. Pneumatski cilindar C(D)85N16-140C-B.....	9
Slika 8. Elektromagnetski ventil SY3120-5LOU-C6-Q.....	11
Slika 9. Razdjelnik SS5Y3-20-04-00F-Q s elektromagnetskim ventilima.....	12
Slika 10. Prigušno nepovratni ventil AS1201F-M5-06A.....	14
Slika 11. Elektronički davač signala D-M9PL.....	15
Slika 12. Simulacija rada cilindra.....	17
Slika 13. Stezna spojnica GN 196.....	18
Slika 14. Klizni ležaj PCMF 202311.5E.....	18
Slika 15. Spoj zgloba na konstrukciji.....	19
Slika 16. Uglavljeni zglob.....	19
Slika 17. Spoj cilindra i vijka.....	20
Slika 18. Fokuseri.....	21
Slika 19. Spoj pneumatskog cilindra i fokusera.....	22
Slika 20. Controllino MINI.....	23
Slika 21. Mean Well MDR-20-24.....	25
Slika 22. Upravljačke komponente na limu.....	26
Slika 23. Upravljačka kutija.....	27
Slika 24. Shema pneumatskog sustava.....	27
Slika 25. Varijable u programskom kodu.....	28
Slika 26. Uvodna petlja programskog koda.....	29
Slika 27. Glavna petlja programskog koda.....	30
Slika 28. Konačan izgled sustava za vježbanje.....	31
Slika 29. Trening na sustavu za vježbanje.....	32

**POPIS TABLICA**

Tablica 1 Komponente za konstrukciju i montažu .....	8
Tablica 2 Tehničke specifikacije cilindra C(D)85N16-140C-B .....	10
Tablica 3 Tehničke specifikacije elektromagnetskog ventila SY3120-5LOU-C6-Q.....	12
Tablica 4 Tehničke specifikacije prigušno nepovratnog ventila AS1201F-M5-06A .....	15
Tablica 5 Tehničke specifikacije električnog davača signala D-M9PL.....	16
Tablica 6 Popis komponenti za pneumatiku i kinematiku .....	20



## **SAŽETAK**

Cilj ovog završnog rada je pružiti rješenje za spravu namijenjenu vježbanju tehnike obrane i brzine reakcije u boksu. Ovo rješenje obuhvaća odabir odgovarajućih komponenata, 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 sensorima 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

## **SUMMARY**

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.

Keywords: boxing, defense technique, pneumatic cylinder, mechatronic system

## 1. UVOD

Boks ima svoje korijene u prapovijesnim vremenima, kada je primitivan čovjek koristio tu borilačku tehniku u izazovima života, bilo kao sredstvo obrane ili napada. No, tada boks nije bio formaliziran kao sport niti je posjedovao razvijene elemente vještine. Kroz vrijeme, evoluirao je kroz nadogradnje i istraživanja.

Ova vrsta borbe postepeno se transformirala, gubeći primitivne elemente, dok se istovremeno institucionalizirala i stjecala određenu formu s pravilima. Kasnije, borba šakama počela je služiti za iskazivanje snage, označavajući početak boksa kao sportske discipline. Tijekom tog razdoblja, boks je počeo dobivati karakteristike sportske aktivnosti.

### 1.1. Povijest boksa

Tragove boksa pronalazimo na području Mediterana oko 1500. g. pr. n. e. Kao jedan od mnogih dokaza pronalazimo na fresci na otoku Santorini koja prikazuje dvije osobe koje uspravno stoje te svojim rukama podsjećaju na današnju tehniku boksa [Slika 1.]. Od ostalih dokaza, spominju se i vaza s Knososa na Kreti, koje prethode vremenu 4000 g. pr. n. e. te crteže Benija Hasana, nastalih iz vremena 3000 g. pr. n. e. u starom Egiptu [1].



Slika 1. Freska na otoku Santorini [2]

Kasnije prihvaćen kao sport na drevnim Olimpijskim igrama 688. g. pr. n. e., gdje su natjecatelji trenirali na vreći za udaranje. U to vrijeme boks se drastično razlikovao od današnjeg, hrvanje, udaranje nogom su bili dozvoljeni, dok je jedino bilo zabranjeno iskapanje, odnosno izvlačenje očiju te ugrizi. Pobjednik bi bio dok jedan od boraca nije odustao ili izgubio svijest [3]. U Homerovoj „Ilijadi“, epu koji datira iz 8. stoljeća pr. n. e., boks se spominje kao dio natjecanja na pogrebnim igrama koje su se održavale u čast poginulim herojima. Ovo je jedan od najranijih zapisa koji svjedoči o popularnosti boksa u antičkoj Grčkoj.

U starom Rimu, borci su bili kriminalci i robovi te borba se odvijala do smrti jednog od boksača. Sport je postao toliko popularan do mjere gdje su i obični građani boksali, čak i pripadnici aristokracije. S padom Rimskog Carstva, boks je kao vrsta zabave prestajala postojati sve dok nije oživjelo ponovo u Engleskoj u 18. stoljeću pod nazivom *bare-knuckle* (engl. bare-knuckle, slobodan zglob prsta). Tu su uvedena prva pravila kako bi borci bili zaštićeni te se spriječile smrtne posljedice. [1]

Godine 1867. markiz od Queensberryja, John Graham Chambers uvodi dvanaest pravila od kojih su se četiri znatno razlikovala od prvih boksačkih pravila. Borci su bili obvezni nositi rukavice koje su štatile šake i zglobove prstiju boraca, runda je trajala tri minute s minutom odmora između, hrvanje nije bilo dozvoljeno te ukoliko borac nije bio u mogućnosti ustati, bio bi prozvan nokautiranim i borba je bila gotova. [4] Prihvaćanjem formalnih pravila nastaju dvije grane boksa: profesionalni i amaterski, kasnije zvan olimpijskim kao rezultat širenja na ostatak svijeta. [4] Boks u 20. stoljeću predstavlja razdoblje koje je obilježeno nevjerojatnim razvojem, velikim boksačkim imenima i dubokim kulturnim utjecajem. Tijekom ovog stoljeća, boks se transformirao iz lokalne borilačke aktivnosti u globalni fenomen koji je privlačio pažnju milijuna ljudi širom svijeta. Organizacija boksa postala je sve više koncipirana s formiranjem ključnih boksačkih organizacija poput WBA, *World Boxing Association* (engl. Svjetska boksačka asocijacija), WBC, *World Boxing Council* (engl. Svjetsko boksačko vijeće), WBO, *World Boxing Organization* (engl. Svjetska boksačka organizacija) i IBF, *International Boxing Federation* (engl. Međunarodna boksačka federacija) [Slika 2], koje su nadzirale svjetska prvenstva i rangirale boksače diljem svijeta. Istovremeno su se pojavile boksačke komisije koje su osiguravale poštivanje pravila i sigurnost sudionika. [4]



Slika 2. Oleksandr Usyk sa svim pojasevima [5]

Uz organizacijski napredak, 20. stoljeće bilo je dom mnogim nezaboravnim boksačima poput Jack Dempseya, Joe Louisa, Ray Robinsona, Muhammad Alija i Mike Tysona. Događaji poput *The Fight of the Century* između Joe Fraziera i Muhammad Alija ili *The Rumble in the Jungle* između Muhammad Alija i George Formana postali su dio kolektivne sportske uspomene. Ovi mečevi nisu samo bili borbe za titulu, već su bili događaji koji su definirali generacije i ostali zabilježeni kao ključni trenuci u povijesti boksa.

Boks u Hrvatskoj ima bogatu povijest i značajan utjecaj na sportsku i kulturnu scenu. Iako Hrvatska nije poznata po boksu kao neke druge države, sport je ipak imao značajan razvoj i prisutnost kroz povijest, osobito u 20. stoljeću. Njeni počeci sežu početkom 20. stoljeća kada se počinju formirati prvi boksački klubovi: Herkules, Croatia, Hajduk u Splitu, HAŠK, Građanski, Šparta, Policijski, Makabi itd. [6]

Velik broj boksača tada je nastupao pod zastavom Jugoslavije na Olimpijskim igrama, a jedni od najpoznatijih boksača su Mate Parlov, koji je osvojio zlatnu medalju 1972. u Münchenu, Anton Josipović 1984. u Los Angelesu te Damir Škaro 1988. godine u Seoulu. [1]



Slika 3. Boksачki klub Herkules [6]

## 1.2. Tehnika boksa

Tehnika boksa predstavlja ključni aspekt učinkovitog izvođenja. Boks se ne svodi samo na fizičku snagu, već i na vještinu, taktiku i preciznost u izvođenju. Ovaj sport zahtijeva temeljito poznavanje tehnike kako bi se postigla prednost nad protivnikom i rizici od ozljeda sveli na minimum.

Jedna od osnovnih tehnika u boksu je postavljanje stava, odnosno garda. Pravilno postavljen gard omogućava boksaču zaštitu od udaraca protivnika, dok istovremeno omogućava slobodno kretanje i brzo reagiranje. Tipičan gard u boksu uključuje podizanje šaka do visine lica kako bi se zaštitili glava i gornji dio tijela, dok su laktovi blago savijeni prema unutra. Ovisno što se želi postići, razlikujemo gard u bliskoj borbi, poludistanci i distanci.

Uz gard, važan dio tehnike boksa je kretanje po ringu. Boksač mora biti sposoban učinkovito se kretati kako bi izbjegao udarce protivnika i postaviti se za izvođenje vlastitih udaraca. Kretanje uključuje linearno, odnosno naprijed i nazad, bočno kretanje te kružno, a ključno je održavati ravnotežu i spremnost za brzu reakciju.

Napad u boksu sastoji se od različitih udaraca koji se izvode s ciljem da se pogodi protivnik i postignu bodovi. Udarcima ciljamo glavu, tijelo ili ruke protivnika.

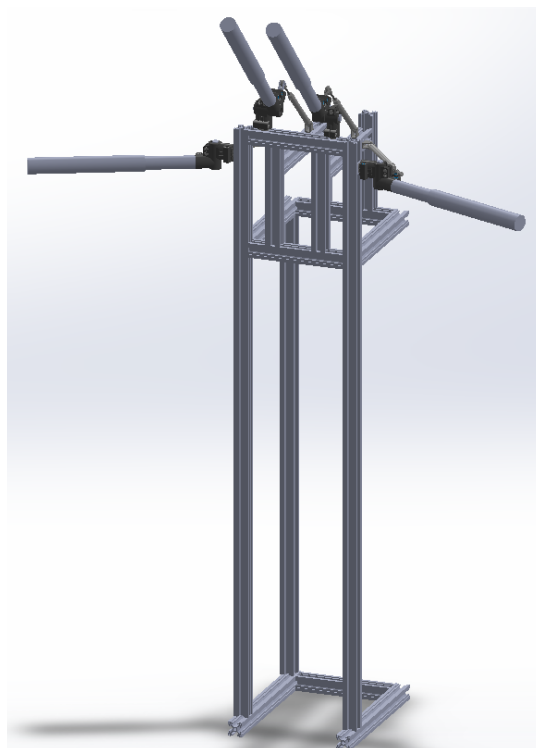
Klasični udarci uključuju direkt, kroše i aperkat. Izvode se iz stabilnog boksačkog stava (garda), što omogućava boksačima da pravilno amortiziraju povratni moment udarca te ostanu stabilni tijekom izvođenja udarca.

Održavanje boksačkog stava bitno je za zadržavanje položaja tijela i izbjegavanje nepotrebnog gubitka vremena (tzv. telefoniranje), koje bi omogućilo suparniku bržu reakciju i obranu, smanjujući učinkovitost udarca. Dok u boksačkom stavu, važno je djelomično opustiti mišiće kako bi se omogućilo njegovo pravilno izvođenje. U procesu izvođenja udarca, određeni dijelovi tijela sudjeluju u mehanizmu za izvođenje udarca. Rotacija tijela i odgurivanje noge od podloge stvaraju potreban okretni moment za udarac, dok ruka izvodi udarno kretanje te dobiva snagu. Nakon udarca, važno je zadržati ravnotežu i vratiti se u gard kako bi se očuvala borbena spremnost.

Osim udaraca, boksači se koriste raznim obrambenim tehnikama kako bi zaštitili sebe od udaraca protivnika. To uključuje blokiranje udaraca s rukama, izbjegavanje udaraca pomicanjem glave ili tijela te pomicanje nogama od opasnosti. Dobro izvedena obrana omogućava boksaču da minimalizira rizik od ozljeda i zadrži kontrolu u borbi.

## 2. PROJEKTIRANJE I IZRADA MODELA

Kako bi se izradio pneumatski sustav koji bi zadovoljavao potrebe vježbanja tehnike obrane te brzinu reakcije i njenog izvođenja, bilo je potrebno odabrati adekvatne pneumatske cilindre, projektirati konstrukciju koja će biti stabilna te odrediti razmještaj komponenti koja bi odgovarala visini sportaša koji ju koristi.



**Slika 4. Projektirani 3D model**

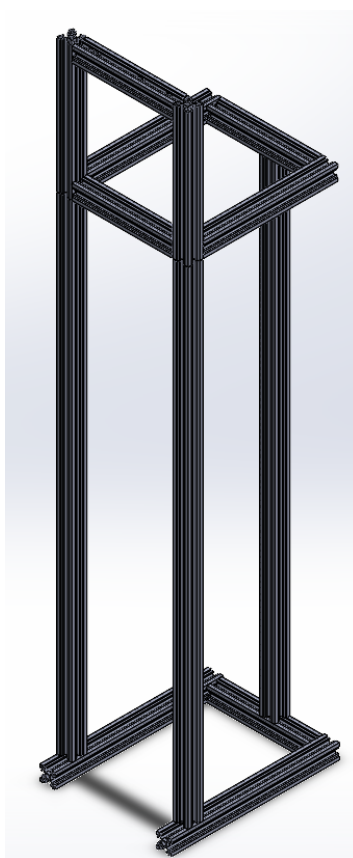
Konstrukcija je napravljena od aluminijskih profila, dok se kinematički sustav sastoji od kliznih ležajeva na nosačima, osovine i zglobova koji povezuju fokuser i pneumatske cilindre. Pneumatski cilindri su montirani na aluminijske profile kao i upravljačka kutija koja će biti opisana kasnije.

Zadatak ovog uređaja je nasumično aktiviranje pneumatskih cilindara koji će simulirati udarac. Signal će davati mikroračunalo, koje uz pomoć senzora blizine definira položaj cilindra i određuje je li udarac obavljen do kraja te su udarci raspoređeni fiksnim ili nasumičnim vremenskim intervalom. U narednim potpoglavljima su opisane komponente koje su bile potrebne kako bi se sustav izradio.



## 2.1. Projektiranje noseće konstrukcije

Noseća konstrukcija [Slika 5.] izrađena je od aluminijskih profila 45x45 mm izrezani po mjeri te kutnika pomoću kojih se profili spajaju. Postolje je napravljeno od tri profila spojena u slovo „U“, dva duljine 500 mm te jedan duljine 300 mm. Na nju spajamo tri profila, dva nosača koja su duljine 1850 mm te jedan duljine 1450 mm. Ove visine su odabrane kako bi se pneumatske cijevi mogle prilagođavati po visini. Dodani su dva profila duljine 400 mm i tri duljine 300 mm kako bi kasnije mogli montirati pneumatske cilindre.



**Slika 5. Konstrukcija uređaja izrađena u programu SolidWorks**

S profilima kraćih dimenzija napravljen je okvir na koji će se montirati pneumatski cilindri te zglobovi koji će pomicati fokusere. Isto tako dodana su dva kraća profila kako bi se mogla montirati upravljačka kutija koju ćemo u kasnijim poglavljima opisati. Na [Slika 6.] prikazana je konstrukcija napravljena prema 3D modelu.



**Slika 6. Konstrukcija napravljena prema 3D modelu**

Komponente korištene za izradu konstrukcije i montažu prikazane su u [Tablica 1].

**Tablica 1 Komponente za konstrukciju i montažu**

Naziv komponente	Količina
Aluminijski profil 45x45x60 mm	2
Aluminijski profil 45x45x300 mm	6
Aluminijski profil 45x45x310 mm	2
Aluminijski profil 45x45x355 mm	2
Aluminijski profil 45x45x400 mm	2
Aluminijski profil 45x45x500 mm	2
Aluminijski profil 45x45x1450 mm	1
Aluminijski profil 45x45x1850 mm	2
Kutnik 45° za 45x45	18
Kutnik 2x2 za 45x45	4
Vijak M5 s maticom	8
Vijak M6 s maticom	52

## 2.2. Projektiranje i izrada pneumatskog sustava

U navedenom pod poglavlju bit će prikazane sve komponente koje su povezane s pneumatskim sustavom. Govorit ćemo o odabiru pneumatskih cilindara, senzora, ventila te ostalih popratnih komponenti koji pripadaju sustavu. Upravljački dio sustava bit će opisan u idućem poglavlju.

### 2.2.1. Pneumatski cilindar

Zadatak uređaja je pomicanje fokusera s početne pozicije (ili početak udarca) do krajnje (kraj udarca). Za takav zadatak potrebni su nam dvoradni pneumatski cilindri. Izabrani su cilindri od japanske tvrtke SMC, model C(D)85N16-140C-B [Slika 7.].



Slika 7. Pneumatski cilindar C(D)85N16-140C-B

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
- C – zračni jastuk na obje strane cilindra
- B – nosač za davač signala

Tehničke specifikacije odabranog cilindra nalaze se u [Tablica 2] [7].

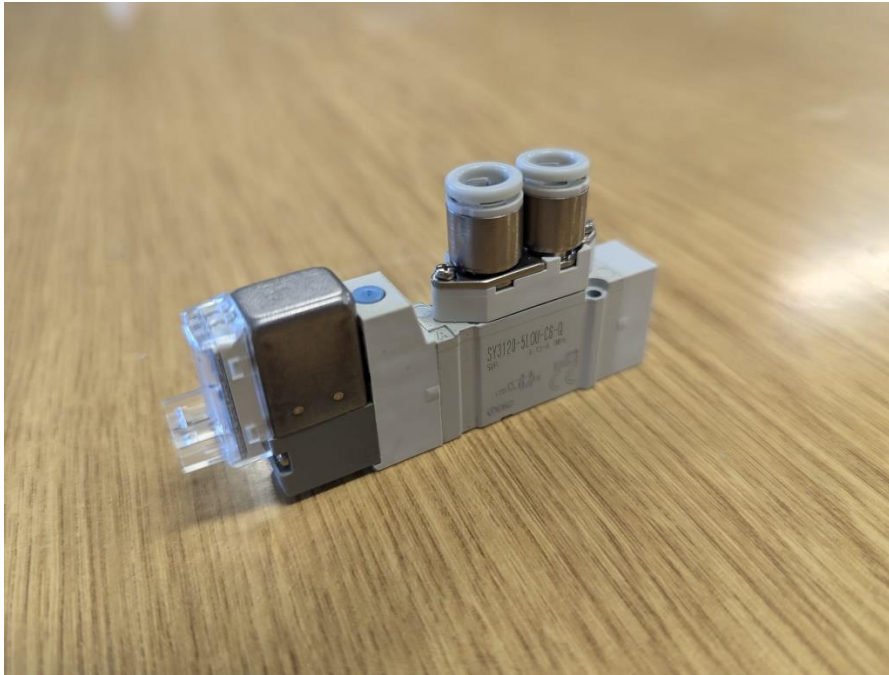
**Tablica 2 Tehničke specifikacije cilindra C(D)85N16-140C-B**

Radni medij	Zrak
Dopušteni unutarnji tlak	1,5 MPa
Maksimalni radni tlak	1,0 MPa
Minimalni radni tlak	0,05 MPa
Temperatura radnog okruženja	S ugrađenim magnetom: -10 do 60°C (bez zamrzavanja)
Podmazivanje	Nije potrebno
Brzina klipa	50 do 1500 mm/s
Tolerancija duljine hoda	+1,0 mm 0,0 mm
Dozvoljena kinetička energija	0,4 J

### 2.2.2. Elektromagnetski ventil

Elektromagnetski ventili koriste elektromagnetsko polje za upravljanje protokom fluida. Glavna komponenta je zavojnica, koja stvara magnetsko polje kada kroz nju teče struja. Ovo polje pomiče magnetsku kotvu povezanu s klipom, otvarajući ili zatvarajući prolaz za fluid. Kada se električni napon ukloni, opruga vraća kotvu i klip u početni položaj, zaustavljajući protok fluida.

Ventili se razlikuju prema vrsti struje ili napona koji koriste, mehanizmu regulacije fluida, jačini magnetskog polja i karakteristikama fluida kojim upravljaju. U industrijskim aplikacijama često se koriste zbog svoje preciznosti i pouzdanosti. U ovom slučaju koristit ćemo 5/2 elektromagnetski ventil za upravljanje pneumatskim cilindrom, odabran od istog proizvođača, SMC, model SY3120-5LOU-C6-Q [Slika 8.].



**Slika 8. Elektromagnetski ventil SY3120-5LOU-C6-Q**

Oznaka odabranog elektromagnetskog ventila SY3120-5LOU-C6-Q:

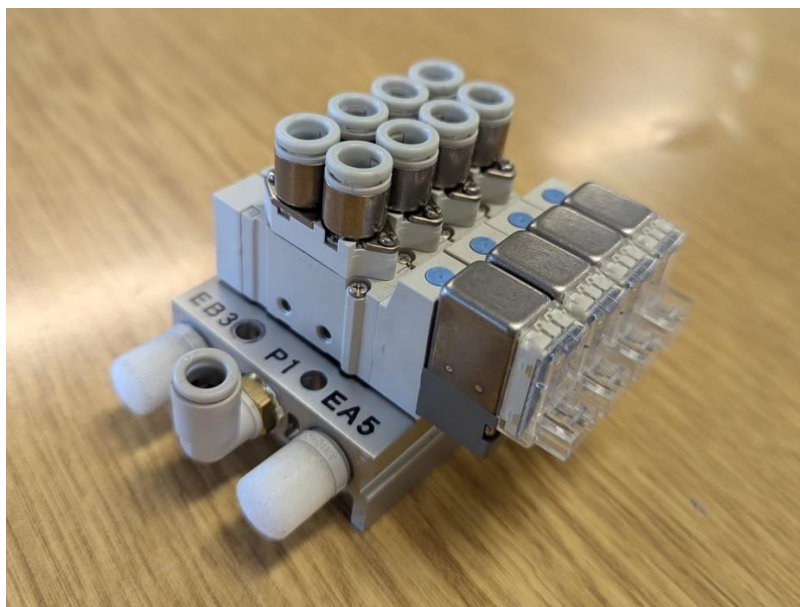
- SY3 – vrsta serijske proizvodnje
- 1 – vrsta aktivacije (jedan aktuator, dvije pozicije)
- 20 – vrsta izvedbe radnih priključaka (standardna)
- 5 – nazivni napon od 24VDC
- LO – vrsta upravljačkog priključka
- U – s prigušivačem udarnog napona (ne polarni tip)
- C6 – veličina priključka ( $\Phi 6$  priključak za tijelo)
- Q – oznaka CE

Tehničke specifikacije elektromagnetskog ventila SY3120-5LOU-C6-Q nalaze se u [Tablica 3] [7].

**Tablica 3 Tehničke specifikacije elektromagnetskog ventila SY3120-5LOU-C6-Q**

Radni medij	Zrak
Raspon unutarnjeg radnog tlaka	0,15 do 0,7 MPa
Radno temperaturno područje	-10 do 50°C (bez zamrzavanja)
Maksimalna radna frekvencija	10 Hz
Podmazivanje	Nije potrebno
Otpornost na udarce/vibracije	150/30 m/s <sup>2</sup>
Kućište	Otporno na prašinu (IP65)

Budući da imamo četiri pneumatska cilindra potrebno nam je i četiri ventila te razdjelnik kako bi ih mogli kompaktno organizirati. Korišten je razdjelnik SS5Y3-20-04-00F-Q [Slika 9.], isto od proizvođača SMC.



**Slika 9. Razdjelnik SS5Y3-20-04-00F-Q s elektromagnetskim ventilima**

Oznaka razdjelnika SS5Y3-20-04-00F-Q predstavlja:

- SS5Y – vrsta serijske proizvodnje
- 3 – namijenjen za ventile serijske proizvodnje SY3000
- 20 – vrsta izvedbe radnih priključaka
- 04 – broj ventila koji se mogu spojiti
- 00F – vrsta priključka
- Q – oznaka CE

Drugi način na koji smo mogli ovo napraviti je da smo umjesto dvoradnih pneumatskih cilindara uzeli jednoradne. Kako bi stlačeni zrak pomicao klip s početne u krajnju poziciju, ugrađena opruga bi vraćala klip u početnu poziciju. U tom slučaju bi koristili 3/2 elektromagnetski ventil. Razlog zašto nismo koristili jednostavnije modele je zbog manje mogućnosti upravljanja pneumatskih cilindara te zbog trajanja opruge nakon određenog broja korištenja.

### **2.2.3. Prigušno nepovratni ventil**

Prigušno nepovratni ventil je komponenta koji omogućava protok fluida u jednom smjeru uz istovremeno prigušivanje protoka. Koristi se za kontrolu brzine kretanja fluida i sprječavanje povratnog toka, što je važno u mnogim pneumatskim sustavima. Ovi ventili često sadrže regulacijski mehanizam koji omogućava podešavanje stupnja prigušenja kako bi se prilagodili specifičnim zahtjevima sustava.

Kao i prijašnje komponente, od SMC-a je odabran prigušno nepovratni ventil, model AS1201F-M5-06A [Slika 10.]. Ventil je praktičan zbog jednostavnog podešavanja brzine gibanja cilindra uz minimalni pad tlaka, njegove jednostavne montaže te push-lock mehanizmom kojim se podešava protok zraka.



**Slika 10. Prigušno nepovratni ventil AS1201F-M5-06A**

Oznaka AS1201F-M5-06A predstavlja:

- AS – vrsta serijske proizvodnje
- 1 – veličina ventila (M5 x 0,8)
- 2 – tip ventila (kutni)
- 0 – način upravljanja (meter-out)
- 1F – ručni način podešavanja
- M5 – veličina priključka (M5 x 0,8)
- 06 – primjenjivo spajanje cijevi ( $\Phi 6$ )
- A – vrsta zaključavanja na pritisak (push-lock)



Tehničke specifikacije prigušno nepovratnog ventila AS1201F-M5-06A nalaze se u [Tablica 4] [7].

**Tablica 4 Tehničke specifikacije prigušno nepovratnog ventila AS1201F-M5-06A**

Radni medij	Zrak
Veličina priključka	M5
Dopušteni unutarnji tlak	1,5 MPa
Maksimalni dopušteni radni tlak	1,0 MPa
Minimalni dopušteni unutarnji tlak	0,1 MPa
Temperaturno radno okruženje	-5 do 60°C (bez zamrzavanja)

#### 2.2.4. *Elektronički davač signala*

Elektronički davač signala je uređaj koji pretvara fizičke veličine, u ovom slučaju određeni položaj cilindra, u električni signal koji se može dalje obrađivati ili prenositi. Ovi signali su obično u obliku napona, struje, ili digitalnih impulsa. U ovom modelu koristi se elektronički davač signala D-M9PL [Slika 11.] kojeg proizvodi SMC.



**Slika 11. Elektronički davač signala D-M9PL**

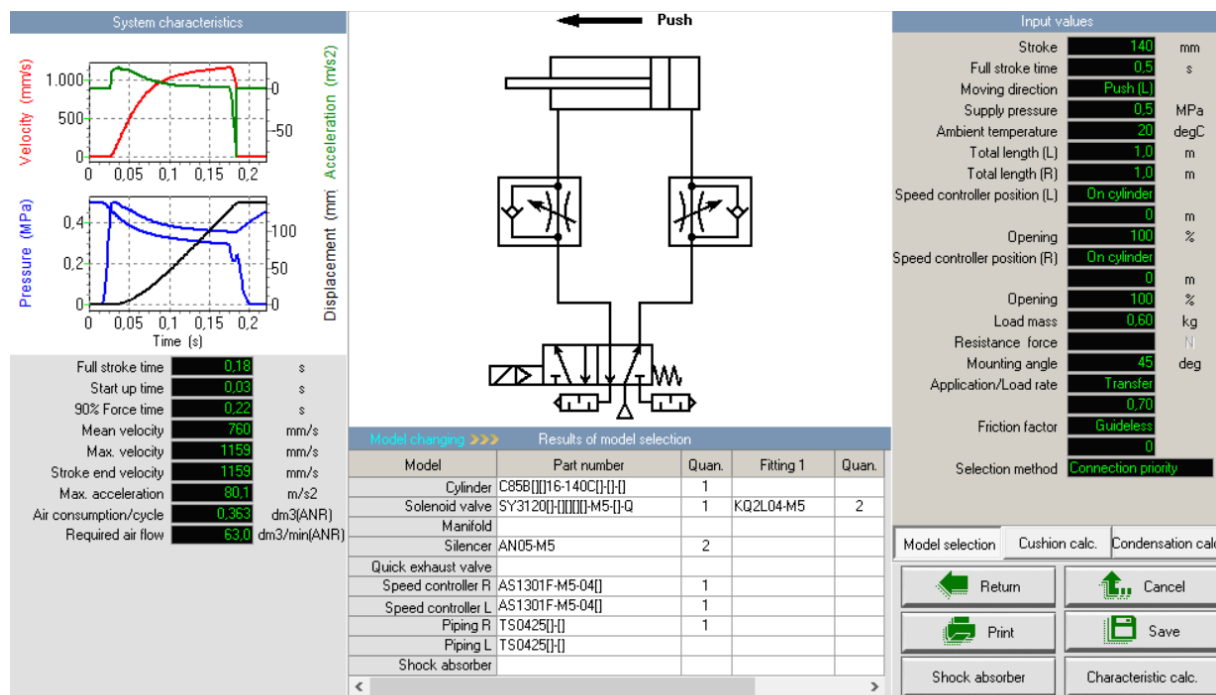
Tehničke specifikacije električnog davača signala D-M9PL nalaze se u [Tablica 5] [7].

**Tablica 5 Tehničke specifikacije električnog davača signala D-M9PL**

Vrsta ožičenja	3 žice
Primjena	24 VDC relej, PLC
Nazivni napon	24 VDC (10 do 28 VDC)
Nazivna struja	2,5 do 40 mA
Pad napona	4 V >
Struja „curenja“	0,8 mA >
Signalno svjetlo	Crveno

### 2.2.5. Simulacija odabranih komponenti

Japanska tvrtka SMC osim što ima visok izbor pneumatskih i električnih komponenti, nudi program koji pomaže pri projektiranju sustava. Uz pomoć njihovog alata *Model selection software* smo mogli napraviti simulaciju željenog sustava. Cilj je bio dobiti vrijeme koje je potrebno za potpuni izlazak klipnjače iz cilindra. Rezultati simulacije pokazuju dijagrame ubrzanja, brzine, promjene tlaka, volumena te najmanje vrijeme potrebno da pneumatski cilindar izvrši puni hod [Slika 12.]. U slučaju da je bilo potrebno previše vremena, uzeli bi samo klip većeg promjera kako bi mu povećali silu. Proučavajući rezultate simulacije možemo zaključiti da sustav zadovoljava uvjete te će se brzina klipa prilagođavati preko prigušno nepovratnih ventila.



Slika 12. Simulacija rada cilindra

### 2.3. Projektiranje kinematičkog sustava

Kinematički sustav sastoji se od kutnih spojnice čija je uloga povezivanje fokusera s pneumatskim cilindrom. Budući da imamo četiri fokusera i pneumatska cilindra, potrebna nam je jedna spojnica za svaki par. Te spojnice se slobodno rotiraju oko osovine. Uz spojnice i osovinu potrebni su nam klizni ležajevi kako bi se osovina mogla rotirati te nosače koji će držati sve na mjestu.

Odabrane spojnice [Slika 13.], je izradila tvrtka Eles+Ganter od nehrđajućeg čelika. Spojnice sadrže dva stezna otvora za montiranje daljnjih nastavaka i jedan u sredini kroz koji će prolaziti osovina. Na određenim mjestima nalaze se vijci koji smanjuju poprečni presjek provrta za stezanje.



**Slika 13. Stezna spojnica GN 196**

Osovine su projektirane prema dimenzijama provrta za stezanje, promjera 20 mm te duljine 50 mm kako bi bilo mjesta montirati klizne ležajeve i nosače.

Za uležištenje osovine korišteni su klizni ležajevi od proizvođača SKF, model PCMF 202311.5E [Slika 14.]. Ove kompozitne košuljice s prirubnicom su idealna rješenja za ovaj zadatak. Unatoč dizajnu s tankim stijenkama, mogu primiti velika radijalna i aksijalna opterećenja u jednom smjeru, omogućuju relativno velike brzine klizanja te su jeftinija opcija od kućišta s upetim ležajem.



**Slika 14. Klizni ležaj PCMF 202311.5E**

Osovina i nosači ležaja izrađeni su u tvrtki Ziegler d.o.o. Konačni spoj prikazan je na [Slika 15.].



**Slika 15. Spoj zgloba na konstrukciji**

#### **2.4. Spoj dvaju sustava**

Spoj između dva sustava ćemo ostvariti tako da spojimo vrh klipa pneumatskog cilindra sa steznom spojnicom, odnosno zglobovom. To ćemo ostvariti tako da na vrh klipa montiramo uglavljeni zglob [Slika 16.]. Na jednom kraju provrt je promjera M6 koji se montira na klip, dok je drugi kraj promjera M5. Budući da na drugom kraju nemamo vijak, potrebno je napraviti dio koji će odgovarati.



**Slika 16. Uglavljeni zglob**

Kako smo ranije spomenuli da stezna spojnica ima provrt promjera 20 mm, uzet ćemo aluminijsku šipku, narezati navoj na dubinu provrta i na jedan kraj izbušiti provrt promjera M5 i staviti vijak bez glave kako bi drugi kraj uglavljenog zgloba spojili [Slika 17.].



**Slika 17. Spoj cilindra i vijka**

Korištene komponente za pneumatski sustav i kinematiku su prikazane u [Tablica 6].

**Tablica 6 Popis komponenti za pneumatiku i kinematiku**

Naziv komponente	Količina
Pneumatski cilindar C(D)85N16-140C-B	4
Prigušno nepovratni ventil AS1201F-M5-06A	8
Zadnja vilica C85C16	4
Elektronički davač signala D-M9PL	4
Nosač davača signala BJ3-1	4
Elektromagnetski ventil SY3120-5LOU-C6-Q	4
Konektor s kablom SY100-68-A-20	4
Razdjelnik za elektromagnetski ventil SS5Y3-20-05-00F-Q	1
L priključak KQ2L06-01AS	1
Prigušnik buke AN10-01	2



Čep 1/8 s brtvilom BSF18A	2
Stezna spojnica GN 196	4
Osovina	4
Klizni ležaj PCMF 202311.5E	8
Uglavljeni zglob	4
Cilindar s vijkom	4

## 2.5. Fokuseri

Fokuseri moraju imati čvrstu jezgru kako bi zadržali oblik tokom udaranja i dovoljno mekanu površinu da ne bi došlo do ozljede boksača. Nakon razmatranja nekoliko opcija, 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 [Slika 18.].



**Slika 18. Fokuseri**

Montaža fokusera je jednostavna. Cijev i provrt spojnice su istog promjera, 20 mm. Cijev se umetne na drugi provrt spojnice te se zategne vijkom, smanji provrt i učvrsti spoj [Slika 19.].



**Slika 19. Spoj pneumatskog cilindra i fokusera**



### 3. ELEKTRONIKA I 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 ćemo ostvariti uz pomoć mikroračunala Controllino MINI.

#### 3.1. Upravljački uređaj Controllino MINI

Controllino MINI [Slika 20.] kompaktno je industrijsko mikroračunalo koje se temelji na Arduino platformi, dizajniran za primjenu u automatizaciji, kontroli procesa i drugim industrijskim okruženjima. Koristi ATmega328 procesor, što ga čini kompatibilnim s Arduino Uno platformom.

Podržava napajanje od 12V do 24V DC, što ga čini pogodnim za širok raspon industrijskih aplikacija. Ima osam ulaza, četiri analogno/digitalna te po dva pojedinačna, osam digitalnih izlaza i šest relejskih, odnosno galvanski izoliranih izlaza.

Zbog svoje kompaktnosti i ugrađenih releja čini ga odličnim izborom za upravljanje ovim sustavom.



Slika 20. Controllino MINI

Značajke mikroračunala Controllino MINI nalaze se u [Tablica 7] [8].

**Tablica 7 Značajke mikroračunala Controllino MINI**

Napon napajanja	12 ili 24 V
USB konektor (u svrhu programiranja)	USB-B, 2.0
Radno temperaturno područje	5 – 55 °C
Ulazi	
Bez galvanske izolacije	8
Analogno/digitalni	4
Analogni	2
Digitalni	2
Izlazi	
Bez galvanske izolacije	8
S galvanskom izolacijom (releji)	6
Analogni ulazi (5 V)	5
Logička „0“	0 – 1,5 V
Logička „1“	3 – 5,5 V

### 3.2. Napajanje

Napajanje se odnosi na uređaj koji osigurava električnu energiju potrebnu za rad drugih elektroničkih ili električnih uređaja. Može biti izvor energije poput baterije ili posebno dizajniranog uređaja poput ispravljača ili napojne jedinice koja pretvara električnu energiju iz jednog oblika ili naponske razine u drugu.

Odabran je uređaj Mean Well MDR-20-24 [Slika 21.], koji opskrbljuje Controllino MINI naponom od 24 V i strujom od 1 A.



Slika 21. Mean Well MDR-20-24

Tehničke specifikacije napajanja Mean Well MDR-20-24 nalaze se u [Tablica 8] [9].

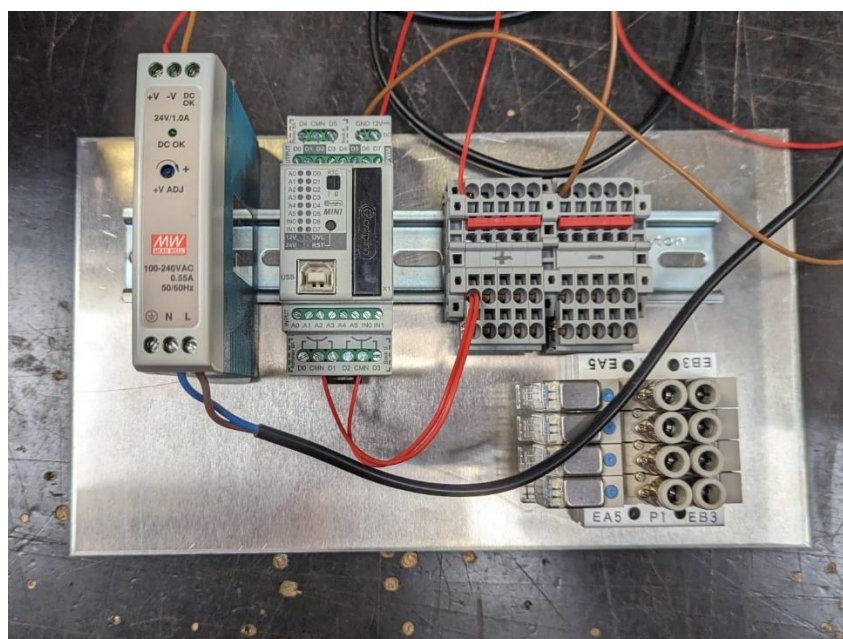
Tablica 8 Tehničke specifikacije napajanja Mean Well MDR-20-24

Raspon ulaznog napona	85 – 264 VAC 120 – 370 VDC
Nazivni izlazni napon	24 VDC
Raspon izlaznog napona	21,6 – 26,4 VDC
Ulazna struja	0,55 A/115 VAC 0,35 A/230 VAC
Izlazna struja	1 A
Izlazna snaga	24 W
Raspon ulazne frekvencije	47 – 63 Hz
Radno temperaturno područje	-20 – 70 °C
Učinkovitost	84%

### 3.3. Upravljačka kutija

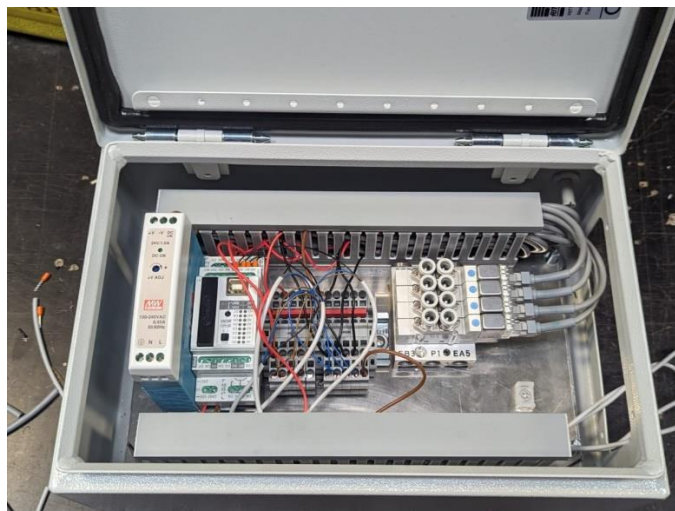
Sklapanje upravljačke kutije koje uključuje napajanje Mean Well MDR-20-24, Controllino MINI, elektromagnetske ventile i razdjelnik zahtijeva pažljivo planiranje i preciznu montažu kako bi se osigurala pouzdana funkcionalnost i sigurnost. Također su potrebne žice i priključci odgovarajućih specifikacija, kao i kutija u koju će se smjestiti svi ovi dijelovi.

Komponente će prvo biti učvršćene na aluminijski lim koji će se montirati u kutiju. Na taj način ćemo olakšati rukovanje komponentama [Slika 22.].



**Slika 22. Upravljačke komponente na limu**

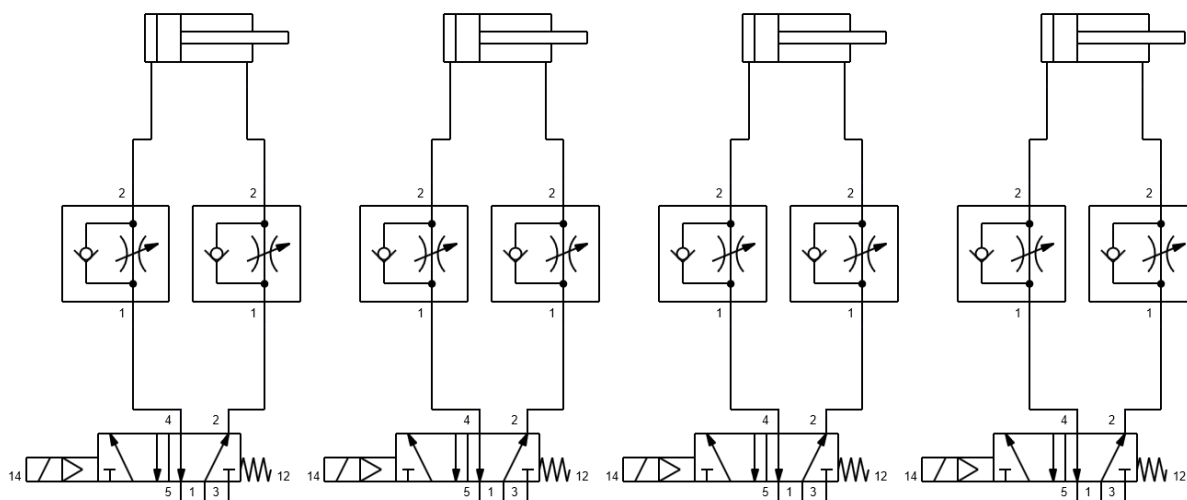
Kako su kućišta napajanja i mikroracunala dizajnirani za montažu na vodilicu, nju ćemo prvo ugraditi na aluminijski lim i pričvrstiti. Napajanje i mikroracunalo se samo ukopča na vodilicu, dok ćemo za razdjelnik izbušiti dvije koje će ju držati na mjestu. Na vodilicu ćemo ukopčati konektore kako bi lakše povezali napajanje i mikroracunalo s elektromagnetskim ventilima i sensorima. Radi organizacije i preglednosti ugradit ćemo dvije kanalice gdje će se nalaziti višak kablova i žica [Slika 23.].



Slika 23. Upravljačka kutija

### 3.4. Opis rada sustava

Kao izvor zraka koristimo kompresor koji može osigurati tlak do 10 bara. Preko cijevi zrak dolazi do razdjelnika i elektromagnetskih ventila. Controllino MINI sadrži programski kod koji šalje signal na nasumični elektromagnetski ventil. Aktivirani ventil propušta zrak i pomiče pneumatski cilindar te tako obavlja „udarac“. Na krajnjoj poziciji se nalazi ranije spomenuti davač signala koji Controllinu potvrđuje da je odabrani cilindar izvršio „udarac“ te zadani cilindar vraća u početnu poziciju. Kada se klip vrati u početnu poziciju, Controllino ponovo daje signal nasumičnom ventilu te se postupak ponavlja. Pneumatska shema sustava je prikazana na [Slika 24.].



Slika 24. Shema pneumatskog sustava

### 3.5. Programski kod za upravljački uređaj

Kako bi uređaj stavili u funkciju, potrebno je napisati programski kod koji će upravljačkom uređaju davati naredbe. Za ovu svrhu koristit ćemo program „Arduino IDE“ koji podržava jednostavan programski jezik (C++) i nudi intuitivno sučelje za razvoj projekata.

Programiranje u „Arduino IDE-u“ započinje obično deklaracijom potrebnih biblioteka, definiranjem varijabli i funkcija [Slika 25].

Direktiva `#include <Controllino.h>` uključuje biblioteku specifičnu za rad s Controllino uređajem. Omogućava korištenje specifičnih funkcionalnosti i pinova koje nudi Controllino.

Varijabla `int` koristi se za deklaraciju cijelih brojeva. Zauzima 2 bajta (16 bita) memorije, što znači da mogu pohraniti cijele brojeve u rasponu od -32,768 do 32,767. U Arduino programima `int` se često koristi za brojače, senzorske vrijednosti ili za kontrolu ulaza i izlaza. U našem slučaju smo definirali ventile i senzore te vremena koja će biti potrebna za definiranje vremenskih intervala između udaraca. Varijabla `char` koristi se za deklaraciju varijabli koje pohranjuju pojedinačne znakove (npr. slovo, broj ili simbol). Zauzima 1 bajt (8 bita) memorije, odnosno može pohraniti vrijednosti u rasponu od -128 do 127.

```
#include <Controllino.h>

int out1 = CONTROLLINO_D0; // ventil 1
int out2 = CONTROLLINO_D1; // ventil 2
int out3 = CONTROLLINO_D2; // ventil 3
int out4 = CONTROLLINO_D3; // ventil 4

int in1 = CONTROLLINO_A0; // senzor pozicije 1 cilindra
int in2 = CONTROLLINO_A1; // senzor pozicije 2 cilindra
int in3 = CONTROLLINO_A2; // senzor pozicije 3 cilindra
int in4 = CONTROLLINO_A3; // senzor pozicije 4 cilindra

int aktivna_pozicija = 500; // brzo 500-600; srednje 700; sporo 800
int razmak_udarca_min = 1300;
int razmak_udarca_max = 1800;
int prekid_rada = 99999;

char nasumicni_okidac;
```

#### Slika 25. Varijable u programskom kodu

Funkcija `setup()` koristi se za inicijalizaciju, odnosno postavljanje početnih parametara i konfiguraciju uređaja. Izvršava se samo jednom odmah nakon što se mikroracunalo uključi ili nakon što se resetira. Varijable `out` su definirane kao izlazne varijable gdje mikroracunalo šalje signal elektroničkim elementima i daje upute kako postupiti, dok su varijable `in` definirane kao ulazne varijable gdje mikroracunalo očitava signal koji mu se dovodi preko elektroničkog uređaja i postupi prema daljnjim uputama u kodu. Na [Slika 26.] prikazan je `setup()` dio koda.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(out1, OUTPUT); // varijabla out1 na pinu CONTROLLINO_D0 daje uputu
  pinMode(out2, OUTPUT); // varijabla out2 na pinu CONTROLLINO_D1 daje uputu
  pinMode(out3, OUTPUT); // varijabla out3 na pinu CONTROLLINO_D2 daje uputu
  pinMode(out4, OUTPUT); // varijabla out4 na pinu CONTROLLINO_D3 daje uputu

  pinMode(in1, INPUT); // varijabla in1 na pinu CONTROLLINO_A0 prima uputu
  pinMode(in2, INPUT); // varijabla in2 na pinu CONTROLLINO_A1 prima uputu
  pinMode(in3, INPUT); // varijabla in3 na pinu CONTROLLINO_A2 prima uputu
  pinMode(in4, INPUT); // varijabla in4 na pinu CONTROLLINO_A3 prima uputu
}
```

### Slika 26. Uvodna petlja programskog koda

Nakon što je kod u *setup()* završen, prelazi se na funkciju *loop()* koja se ponavlja beskonačno. Ona je srce programa u kojoj se obavlja glavni rad.

U ovom projektu nasumičnost nam je bitna zato što svaki udarac koji uređaj zadaje zahtijeva od boksača da u kratkom vremenu adekvatno reagira na udarac koji je u tom trenutku zadan. Funkcija *random()* igra ulogu u dodavanju navedenog elementa nasumičnosti u projekt. Kako imamo četiri pneumatska cilindra, generirat ćemo brojeve unutar specifičnog raspona. Pozivom *random(1, 5)*, vraća nam se broj između 1 i 4.

Idućom funkcijom *switch()* [Slika 27.] omogućujemo da se na temelju zadane vrijednosti preko funkcije *random()* izvrši odgovarajući blok koda. Omogućava nam jednostavno i linearno razvrstavanje različitih slučajeva (eng. *case*), gdje se svaki slučaj odnosi na specifičnu vrijednost varijable. Imamo četiri slučaja za četiri pneumatska cilindra. Svaki je slučaj isti, samo su drugi pneumatski cilindar i senzor odabrani. Za svaki *case* imamo *if* funkciju koja ovisi o položaju klipa. Ako je ulazna varijabla *in* u stanju *HIGH*, tj. ako senzor koji se nalazi na početku klipa šalje signal mikroračunalu koji očitava signal i šalje signal ventilu (varijabla *out*), odnosno stavlja ga u stanje *HIGH*. Slučaj sadrži funkciju *delay()* koja odgađa daljnje izvođenje koda za zadano vrijeme. Ovo omogućava da klip na kratki period zadrži krajnju poziciju prije nego mikroračunalu stavi zadani ventil u stanje *LOW* i vrati klip u početnu poziciju. U slučaju da senzor ne prepozna klip u početnoj poziciji (stanje *LOW*), funkcijom *delay()* ćemo „zaustaviti“ sve i riješiti problem koji je moguće nastao.

Sada kada uređaj može izbacivati udarce, dodat ćemo još jedan element nasumičnosti, a to je vremenski interval u kojemu će naredni udarac biti zadan. Ostvarit ćemo tako što dodamo varijablu *long* koja ima istu ulogu kao *int*, samo što sadrži 4 bajta memorije (32 bita) što omogućava rad s većim brojevima. Nasumični vremenski interval dobijemo tako da u novu funkciju *random()* ubacimo minimalno i maksimalno vrijeme. Funkcija će odabrati vrijeme



između zadanog vremenskog intervala te funkcijom *delay()* ćemo iskoristiti dobiveno vrijeme da zaustavimo sustav.

```
void loop() {  
  
    nasumicni_okidac = random(1, 5);  
  
    switch (nasumicni_okidac) {  
        case 1:  
            if (digitalRead(in1) == HIGH) {  
                digitalWrite(out1, HIGH);  
                delay(aktivna_pozicija);  
                digitalWrite(out1, LOW);  
            }  
            else if (digitalRead(in1) == LOW) {  
                delay(prekid_rada);  
            }  
            break;  
        case 2:  
            if (digitalRead(in2) == HIGH) {  
                digitalWrite(out2, HIGH);  
                delay(aktivna_pozicija);  
                digitalWrite(out2, LOW);  
            }  
            else if (digitalRead(in2) == LOW) {  
                delay(prekid_rada);  
            }  
            break;  
        case 3:  
            if (digitalRead(in3) == HIGH) {  
                digitalWrite(out3, HIGH);  
                delay(aktivna_pozicija);  
                digitalWrite(out3, LOW);  
            }  
            else if (digitalRead(in3) == LOW) {  
                delay(prekid_rada);  
            }  
            break;  
        case 4:  
            if (digitalRead(in4) == HIGH) {  
                digitalWrite(out4, HIGH);  
                delay(aktivna_pozicija);  
                digitalWrite(out4, LOW);  
            }  
            else if (digitalRead(in4) == LOW) {  
                delay(prekid_rada);  
            }  
            break;  
    }  
  
    long nasumicno_vrijeme = random(razmak_udarca_min, razmak_udarca_max);  
    delay(nasumicno_vrijeme);  
}
```

Slika 27. Glavna petlja programskog koda



#### 4. TESTIRANJE EKSPERIMENTALNOG SUSTAVA

Nakon što smo spojili sve komponente u jednu cjelinu, sustav je testiran [Slika 28.]. Prije puštanja u pogon, ručno su izvučeni i provjereni pneumatski cilindri odgovaraju li smjeru kojem će udarci biti zadani. Uz male prilagodbe kako bi fokuseri došli do boksača, sustav je pušten prvo na prazno za provjeru je li sve dobro spojeno.



**Slika 28. Konačan izgled sustava za vježbanje**

Nakon rada u praznom hodu, bilo je vrijeme za testiranje sustava među boksačima u klubu. Testiranje je provedeno u boksačkom klubu „Omega Zagreb“ gdje su djeca osnovnih i srednjih škola, ali i natjecatelji imali priliku za korištenje [Slika 29.].



**Slika 29. Trening na sustavu za vježbanje**

S djecom su odrađeni sporiji intervali i s manjom brzinom udaraca kako bi uspjela savladati osnovne tehnike obrane, dok je među natjecateljima smanjeno vrijeme između udaraca i brzina samih udaraca je povećana kako bi vježbali reflekse za realistične uvjete unutar sparringa i mečeva.

Testiranje je prošlo uspješno i za vrijeme testiranja bilo je rasprave za moguće promjene i nadogradnje koje bi im pomoglo za vježbanje specifičnih refleksa u ne samo boksu, nego u svim borilačkim sportovima.

## 5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je osmisliti uređaj koji će se koristiti u praksi, pomagati boksačima u usavršavanju svojih borilačkih vještina te poboljšavanju fizičkih sposobnosti kao što su brzina, refleksi te koordinacija.

Samo osmišljavanje ideje i projekta je išlo intuitivno s obzirom na vrijeme koje sam proveo u sportu te znanje koje sam stekao tokom studiranja. Na početku je bio osmišljen samo kao eksperimentalni model koji je na kraju bio realiziran i može se koristiti kao gotov proizvod koji se može prilagoditi korisniku. Sustav za vježbanje možemo fizički podešavati tako što mijenjamo visinu i brzinu ispucavanja udaraca ili prilagoditi programski kod što ovoj spravi daje veliku fleksibilnost.

Gledajući unazad, neke stvari su se mogle drugačije napraviti. Aluminijski profili mogli su se drugačije izrezati i spojiti kako bi se povećao raspon visine koja se može koristiti.

Isto tako ima dosta prostora za nadogradnju. Prikladno bi bilo ugraditi prekidač koji pokreće i gasi uređaj i posebnu tipku za ponovno pokretanje koda. Ugrađivanje ploče s tipkama bi omogućilo lakše podešavanje parametara u kodu te monitor ili LED lampice koje će prikazivati te parametre.

Uređaj je donesen u klub i isproban na treninzima. Boksačima je bilo zanimljivo i zabavno iskustvo isprobati uređaj koji je specifičan za njihove potrebe i koji im može pomoći u usavršavanju vještina.

Uz ovaj rad su proširena znanja iz projektiranja, konstruiranja, pneumatskih sustava i upravljanja. Teoretsko znanje koje je stečeno tokom studiranja je usavršeno praktičnim radom. Stečena su dobra iskustva kako idu faze izrade proizvoda te kako se prilagoditi eventualnim problemima u procesu izrade konkretnog mehatroničkog sustava.

Sustav nije gotov proizvod, dok je glavni cilj ostvaren, ovo je samo temelj i jedan mali dio potencijala koji može ostvariti. Svakako se u budućnosti planira nadograditi kako bi se proširila namjena.

Ovaj rad potvrđuje znanje koje je stečeno na fakultetu, probuđena je ideja i zainteresiranost za stvaranjem novih projekata koji povezuju strojarstvo sa sportom.

## LITERATURA

- [1] Didić, E. i Krznarić, D.: Boks, LMK international d.o.o., 2008.
- [2] *Origins of boxing - ancient boxing*, dostupno na: <https://au.onwardathletics.com/blogs/onwardu/origins-of-boxing-ancient-boxing>, pristupljeno 19. siječnja 2024.
- [3] *Ancient Olympic Games*, dostupno na: <https://www.britannica.com/sports/ancient-Olympic-Games>, pristupljeno 19. siječnja 2024.
- [4] *The Queensberry rules*, E.C. Wallenfeldt, M. Poliakoff, dostupno na: <https://www.britannica.com/sports/boxing/The-Queensberry-rules>, pristupljeno 13. veljače 2024.
- [5] *Oleksandr Usyk knocks out Tony Bellew in eight round as Englishman's last fight ends in tears at Manchester Arena*, J. Powell, dostupno na: <https://www.dailymail.co.uk/sport/boxing/article-6375847/Oleksandr-Usyk-knocks-Tony-Bellew-eighth-round.html>, pristupljeno 13. veljače 2024.
- [6] *Povijest hrvatskog boksa*, dostupno na: <http://www.boks-sv-duje.hr/povijest-boksa/povijest-hrvatskog-boksa>, pristupljeno 13. veljače 2024.
- [7] Katalog proizvođača SMC Industrijska automatika d.o.o., dostupan na: <https://www.smc.eu/hr-hr>, pristupljeno 20.8.2024.
- [8] Katalog proizvođača Controllino GmbH, dostupan na <https://www.controllino.com/>, pristupljeno 21.8.2024.
- [9] Katalog proizvođača Mean Well Enterprises Co., <https://www.meanwell.com/>, pristupljeno 21.8.2024.