

# Pneumatski sustav za vježbanje brzine reakcije u borilačkim sportovima

---

Stanišak, Tin

Master's thesis / Diplomski rad

2021

*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:235:159846>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-12**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Tin Stanišak**

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Željko Šitum

Student:

Tin Stanišak

Zagreb, 2021.

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

Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Željku Šitumu na uloženom trudu i podršci pri izradi ovog rada. Posebno bih zahvalio svojoj obitelji na bezuvjetnoj podršci i pomoći, obrtu „Strojooobnova“ na savjetima, tvrtki „SMC“ na pomoći pri nabavci komponenti i taekwondo klubovima „Plamen Pušća“ i „Zaprešić“ na testiranju sustava.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	602-04/21-6/1
Ur. broj:	15-1703-21

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **TIN STANIŠAK** Mat. br.: 0035193914

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Pneumatski sustav za vježbanje brzine reakcije u borilačkim sportovima**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Pneumatic system for training reaction speed in combat sports**

Opis zadatka:

Začetci borilačkih vještina sežu u daleku prošlost i prvenstvena namjena im je bila samoobrana kroz primjenu tehnika goloruke borbe. Posljednjih desetljeća borilački sportovi su jako popularizirani zbog njihovog komercijalnog potencijala kroz natjecateljske oblike zabave za širu javnost. Poboljšanje motoričkih sposobnosti poput brzine, okretnosti, snage, preciznosti i izdržljivosti kod borilačkih sportova moguće je ostvariti pomoću različitih sprava koje vježbači koriste tijekom treniranja. Stoga bi bilo korisno osmisliti i izraditi sustav koji bi mogao pomoći vježbačima da smanje vrijeme reakcije na vizualni podražaj.

U radu je potrebno:


- predložiti idejno rješenje sprave za vježbanje motoričkih sposobnosti potrebnih u borilačkim sportovima koje se sastoji od nosive konstrukcije i pokretnih dijelova s udaračkim površinama
- razmotriti mogućnost korištenja pneumatskih pogonskih elemenata koji bi nosili različite površine za udaranje
- odabrati upravljačke komponente procesa kojima se mogu podešavati način i vrijeme aktiviranja pogonskih elemenata
- realizirati eksperimentalni sustav i provjeriti funkcionalnost sprave za vježbanje.

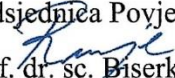
U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
30. rujna 2021.

Rok predaje rada:  
2. prosinca 2021.

Predviđeni datum obrane:  
13. prosinca do 17. prosinca 2021.

Zadatak zadao:   
prof. dr. sc. Željko Šitum

Predsjednica Povjerenstva:  
  
prof. dr. sc. Biserka Runje

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
POPIS KRATICA .....	VII
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY .....	IX
1 UVOD.....	1
1.1 Taekwondo.....	3
1.1.1 Povijest taekwondo.....	4
1.2 Pneumatika.....	11
1.2.1 Povijest pneumatike .....	12
1.2.2 Način rada pneumatskog sustava .....	14
1.2.3 Elementi pneumatskog sustava .....	15
2 OSMIŠLJENI PNEUMATSKI SUSTAV .....	22
2.1 Postolje i noseća konstrukcija .....	22
2.2 Cilindri .....	24
2.3 Ventili.....	25
2.4 Simulacija odabranih komponenti .....	26
2.5 Mikrokontroler za upravljanje .....	27
2.6 Ostale komponente.....	28
3 IZRADA KONSTRUKCIJE I SUSTAVA.....	30
3.1 Konstrukcija .....	30
3.2 Cilindri i ventili.....	35
3.3 Spajanje mikrokontrolera i elektronike.....	40
3.4 Programski kod za mikrokontroler .....	43

4	TESTIRANJE I PUŠTANJE U RAD .....	48
4.1	Testiranje cilindara i ventila .....	48
4.2	Testiranje koda i upravljačkog dijela .....	52
4.3	Spojeni sustav i puštanje u rad .....	55
5	ZAKLJUČAK .....	58
	LITERATURA .....	58

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Bruce Lee na snimanju filma „Enter the dragon“ [3].....	2
Slika 2.	Matea Jelić – olimpijska pobjednica [6].....	3
Slika 3.	Freska iz vremena dinastije Koguryo [7] .....	5
Slika 4.	General Choi Hong Hi [7] .....	7
Slika 5.	Ploča postavljena u spomen demonstraciji taekwondo iz 1968. godine [8].....	8
Slika 6.	Prikaz kružnog udarca [7] .....	9
Slika 7.	Prikaz udarca šakom iz jahaćeg stava [10].....	10
Slika 8.	Prikaz bočnog udarca [11].....	11
Slika 9.	Ktesibiosov katapult [12] .....	13
Slika 10.	Prikaz rasporeda zraka u cilindru .....	14
Slika 11.	Tanjurasta membrana (lijevo) i putujuća membrana (desno) [13] .....	17
Slika 12.	Cilindri posebne izvedbe [13] .....	18
Slika 13.	Način prikaza ventila simbolima [13].....	19
Slika 14.	Prikaz rada kompresora [13] .....	20
Slika 15.	Filtar s regulatorom protoka [14] .....	21
Slika 16.	Konstrukcija sprave za vježbanje izrađena u programu Catia .....	23
Slika 17.	Način montaže cilindra nacrtan u programu Catia .....	23
Slika 18.	Cilindri CP96 (iz SMC-a).....	25
Slika 19.	Elektromagnetni ventil SY5420.....	26
Slika 20.	Simulacija rada cilindra CP96 i ventila SY5420 u programu „Model selection software“ .....	27
Slika 21.	Mikrokontroler „Geekreit UNO R3“ .....	28
Slika 22.	Pretvarač AC/DC.....	29
Slika 23.	Izrađeno postolje konstrukcije.....	30
Slika 24.	Stupovi konstrukcije po kojima klize cilindri .....	31
Slika 25.	Upora za dodatnu stabilnost .....	32
Slika 26.	Izrađeni dodatni nosači za cilindre .....	33
Slika 27.	Vijci za montažu nosača cilindra na stupove.....	34
Slika 28.	Utezi stražnjih kotača traktora koji se koriste za dodatnu stabilnost .....	34
Slika 29.	Montaža prirubnice i nosača cilindra .....	36



---

Slika 30.	Ventili s pločicama za montažu.....	37
Slika 31.	Pneumatska shema napravljena u programu „PneuDraw“.....	38
Slika 32.	Materijali za izradu površine za udaranje.....	39
Slika 33.	Izrađene površine za udaranje .....	40
Slika 34.	Korišteni tranzistor „BDX53C“ .....	41
Slika 35.	Kutija za smještaj upravljačkog sustava i elektronike.....	42
Slika 36.	Definirane varijable u programskom kodu.....	43
Slika 37.	„Setup“ dio koda .....	44
Slika 38.	„Loop“ dio koda – prvi dio.....	45
Slika 39.	„Loop“ dio koda – drugi dio.....	46
Slika 40.	Test cilindra – izlaz klipnjače.....	48
Slika 41.	Test cilindra – vraćanje klipnjače.....	49
Slika 42.	Test ventila – pomoću gumbića.....	50
Slika 43.	Test ventila – reakcija na dovedenu struju .....	51
Slika 44.	Test ventila – doveden zrak i upravljački signal .....	51
Slika 45.	Testiranje upravljačkog dijela – samo lampice .....	52
Slika 46.	Testiranje upravljačkog dijela – aktivacija „X“ ventila .....	53
Slika 47.	Testiranje upravljačkog dijela – aktivacija „Y“ ventila .....	54
Slika 48.	Testiranje upravljačkog dijela – s ventilima.....	54
Slika 49.	Konačan izgled sprave za vježbanje.....	55
Slika 50.	Trening na spravi za vježbanje.....	56

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Komponente za konstrukciju i montažu .....	35
Tablica 2. Korištene pneumatske komponente.....	38
Tablica 3. Upravljačke komponente i komponente za električni sustav .....	47

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Mjerna jedinica</b>	<b>Opis oznake</b>
<i>B</i>	%	brzina
<i>A</i>	%	agilnost
<i>I</i>	%	izdržljivost
<i>S</i>	%	snaga
<i>F</i>	%	fleksibilnost
<i>P</i>	%	preciznost
<i>R</i>	%	ravnoteža
<i>D</i>	mm	promjer
<i>F</i>	N	sila
<i>k</i>		koeficijent pri proračunu promjera cilindra
<i>p</i>	bar	tlak
<i>U</i>	V	napon
<i>v</i>	m/s	brzina
<i>t</i>	s	vrijeme

**POPIS KRATICA**

<b>Kratika</b>	<b>Opis</b>
CAD	<i>Computer Aided Design – računalom potpomognuto oblikovanje</i>
ITF	<i>International Taekwondo Federation</i>
TKD	<i>Taekwondo</i>
WTF	<i>World Taekwondo Federation</i>

## **SAŽETAK**

Cilj ovog diplomskog rada bio je pronalazak rješenja sprave za vježbanje brzine reakcije na vizualni podražaj u borilačkim sportovima u vidu pneumatskog sustava. Kao mjerodavni borilački sport odabran je taekwondo. Rad je podijeljen na četiri dijela. Prvi dio rada uvod je u razvoj borilačkih sportova te поближе opisuje taekwondo kao borilačku vještinu i pneumatiku kao važnu granu inženjerstva i automatike. Drugo poglavlje prikazuje idejno rješenje postavljenog problema. Sljedeće poglavlje prikazuje tijek izrade cjelokupnog sustava. Četvrto poglavlje donosi konačne testove i puštanje sustava u rad.

Ključne riječi: pneumatski sustav, borilački sport, taekwondo, brzina reakcije

## **SUMMARY**

The main goal of this thesis was designing and constructing an exercise machine which is meant to improve reaction speed to visual stimulus in martial arts. The chosen technical solution was to use pneumatic system and the chosen martial art was taekwondo. This paper is divided in four parts. The first part is an introduction into martial arts, taekwondo and its development and it introduces pneumatics. The second chapter presents the chosen solution and design. Third chapter describes the building process. Fourth and final chapter shows the final tests and the fully operating pneumatic system at work.

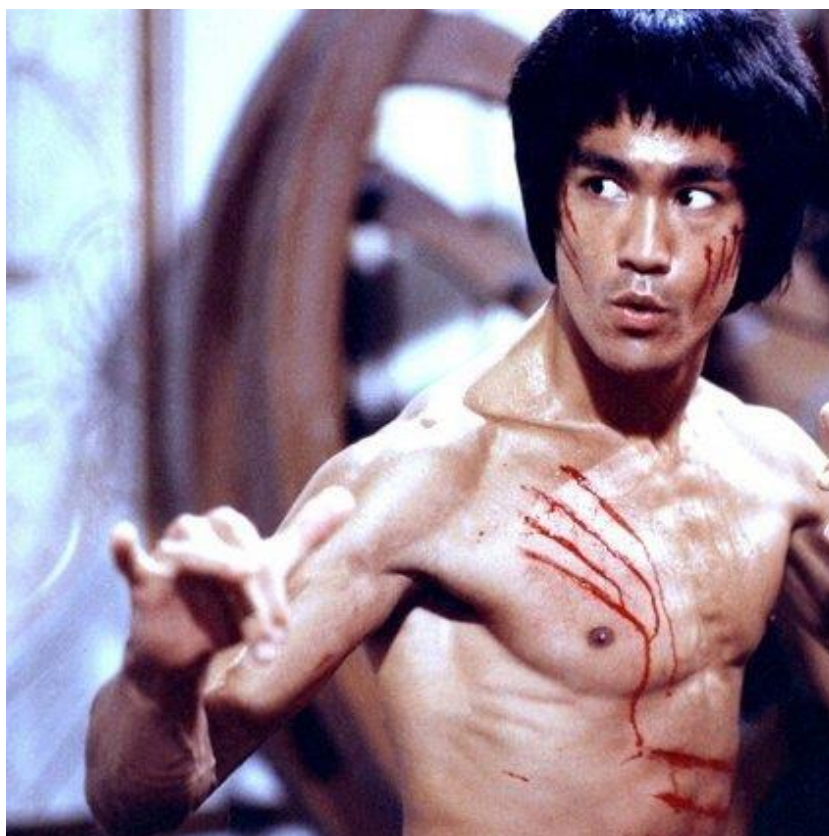
Key words: pneumatic system, martial arts, taekwondo, reaction speed

## 1 UVOD

Borilačke vještine svoje korijene vuku iz Azije i iako imaju dugu i bogatu povijest, svjetsku popularnost dosežu tek na prijelazu iz 19. u 20. stoljeće. Jedna od širih podjela je ona na borilačke vještine koje koriste oružje i na one koje podrazumijevaju goloruku borbu. One s oružjem podrazumijevaju streljaštvo lukom i strijelom, mačevanje i borbu kopljem, a tu bi spadali *kendo*, *kyudo* i slični. S druge strane, borilačke vještine bez oružja borbu baziraju na udarcima rukama i nogama, a među takve se ubrajaju *judo*, *sumo*, *karate*, *taekwondo*, *kung fu* i slične vještine.

Jedna od specifičnosti istočnjačkih borilačkih vještina je utjecaj koji je na njih ostvario taoizam i zen-budizam. Borilačke vještine su kroz taj utjecaj dobile naglasak na duhovno stanje vježbača i počela se javljati filozofija koja objedinjuje duhovno i fizičko stanje u jednu cjelinu. To bi u konačnici značilo da je vježbač uvijek u stanju unutarnjeg mira, da ima dobar pregled svog okruženja i da može djelovati smireno i odmjereno [1].

Osoba koja je iznimno zaslužna za popularizaciju istočnjačkih borilačkih vještina je svakako Bruce Lee. Iako je rođen 1940. godine u San Franciscu, odrastao je u Hong Kongu. U dobi od 13 godina postao je učenik poznatog majstora borilačkih vještina Ipa Mana. Bruce Lee se kasnije vratio u Sjedinjene Američke Države gdje je studirao, a potom i glumio u seriji „*Green Lantern*“. Nakon otkazivanja serije, vratio se u Hong Kong i tamo snimio tri filma jer je u Hollywoodu teško nalazio posao. Spomenuti filmovi donijeli su mu veliku slavu pa je u konačnici snimio i „*Enter the Dragon*“ [Slika 1] u suradnji s Hollywoodom, no preminuo je prije premijere filma [2].



**Slika 1. Bruce Lee na snimanju filma „Enter the dragon“ [3]**

Spomenute azijske borilačke vještine značajan porast popularnosti doživljavaju kada su i one dobile svoje mjesto na Olimpijskim igrama. Judo je postao olimpijski sport 1964. godine, a taekwondo 2000. godine [4].

Jedna od značajki gotovo svih borilačkih vještina je brzina reakcije na određeni vizualni podražaj. Najčešća vježba koja se izvodi kako bi se poboljšala brzina reakcije na vizualni podražaj je ta da jedna osoba drži jastuk za udaranje, a druga osoba udara u jastuk kada ga prva osoba pomakne. Postoje mnoge slične varijacije te vježbe, no većina ih zahtijeva aktivno sudjelovanje dviju ili više osoba. Kako bi se sportašu pružila prilika da može vježbati sam, potrebno je izraditi sustav ili uređaj koji bi mu to i omogućio. Izrada jednog takvog sustava bit će i zadatak ovog diplomskog rada, a borilačka vještina koja će se uzeti kao mjerodavna je taekwondo.



## 1.1 Taekwondo

Taekwondo je borilačka vještina koja korijene vuče iz Koreje, a zasniva se na udarcima rukama i nogama u borbi s jednim ili više protivnika. Sam naziv ove vještine zapravo je spoj tri korejske riječi:

*Tae* – udarac nogom

*Kwon* – udarac šakom

*Do* – put ili umijeće.

Povezivanjem ova tri pojma u cjelinu dobivamo riječ taekwondo koja se može prevesti kao umijeće udaranja nogama i rukama. Taj prijevod uistinu dobro opisuje taekwondo jer je to vještina koju ponajprije krasi atraktivne nožne tehnike. Današnji taekwondo, koji je razvijen u Koreji, jedna je od jako promoviranih borilačkih vještina u svijetu. Važno je napomenuti da postoje dvije inačice taekwondoa u svijetu, ITF i WTF. U ovom radu će se pod pojmom taekwondo podrazumijevati WTF inačica [5].

Taekwondo je kao sport postao popularniji kada je 2000. godine uvršten u Olimpijske igre, a naši osvajači medalja (Sandra Šarić, Lucija Zaninović, Martina Zubčić, Matea Jelić [Slika 2] i Toni Kanaet) samo su još i više doprinijeli popularnosti ove borilačke vještine u Hrvatskoj.



Slika 2. Matea Jelić – olimpijska pobjednica [6]

Jedna od najvažnijih motoričkih sposobnosti koja je prisutna u taekwondou je svakako brzina, a uz nju i brzinsko-snažne sposobnosti. Iza brzine u pravilu slijede agilnost, snaga i izdržljivost. Uz njih, bitne su i sposobnosti poput fleksibilnosti, preciznosti i ravnoteže. Općenita hipotetska jednadžba specifikacije taekwondoa prikazana je jednadžbom (1) [5].

$$TKD = 21\%B + 18\%A + 17\%I + 15\%S + 14\%F + 8\%P + 7\%R \quad (1)$$

Gdje je:

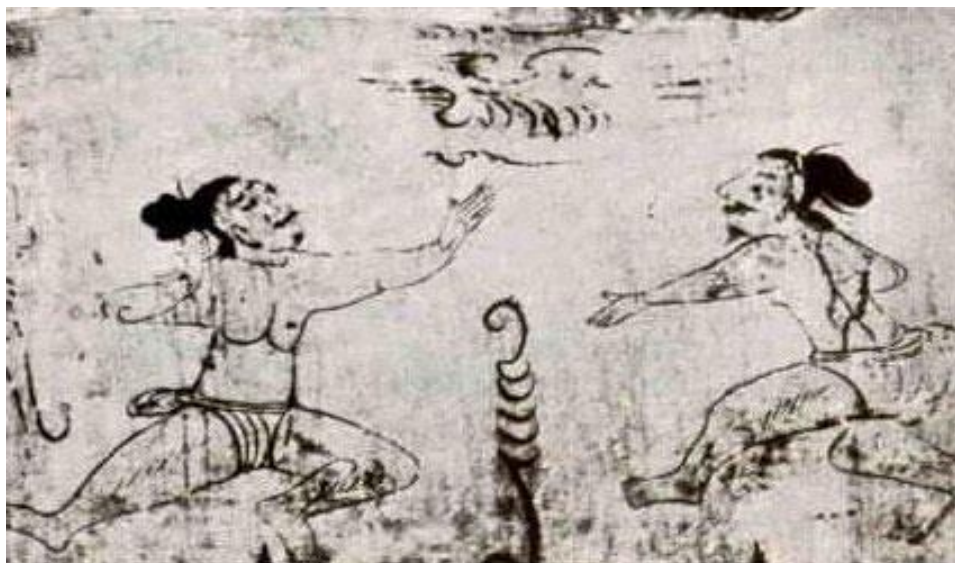
<i>TKD</i>	taekwondo
<i>B</i>	brzina
<i>A</i>	agilnost
<i>I</i>	izdržljivost
<i>S</i>	snaga
<i>F</i>	fleksibilnost
<i>P</i>	preciznost
<i>R</i>	ravnoteža

### 1.1.1 Povijest taekwondoa

Taekwondo je borilačka vještina čiji se razvoj može neprekidno pratiti nešto više od 2000 godina unazad. Taj razvoj najčešće se dijeli na stari i moderni taekwondo gdje doba modernog taekwondoa počinje početkom 20. stoljeća [7].

Tragovi taekwondoa mogu se vidjeti na freskama iz 3. godine prije naše ere dok je Korejom vladala dinastija Koguryo. Freske prikazuju kraljevske ratnike koji su prikazani u položajima koji izrazito podsjećaju na današnju taekwondo tehniku [Slika 3]. Postoji još mnogo materijalnih tragova od kojih su neki: dva kamena reljefa u gradu Kyongjuju, knjiga o borilačkim vještinama u kojoj se spominje tekyon i soo bak koji je preteča taekwondoa, slika

poznatog slikara Hong Do Kima iz dinastije Yi na kojoj se mogu vidjeti dva taekwondo borca itd. [7].



**Slika 3. Freska iz vremena dinastije Koguryo [7]**

*Tekyon* i *soo bak*, borilačka vještina koja se smatra pretečom taekwondoa, svoj uspon bilježi za vrijeme vladavine dinastije Silla (od 57. g.p.n.e. do 935. g.n.e.). Teritorij današnje Koreje u to je doba bio podijeljen na tri kraljevine od kojih je Silla bila najmanja i kao takva smještena na jugu poluotoka. Kako bi povećao šanse za obranu svoje kraljevine, 24. kralj Silla dinastije, Chin Heung, inicirao je osnivanje elitne škole boraca koja je dobila naziv Hwarang. U školi se podučavala borba s i bez oružja, a treninzi su bili intenzivni s mentalnog i fizičkog stajališta [7].

Glavni učitelj i osnivač škole, budistički svećenik Won Kwang Bopsa, zabilježio je kodeks časti od pet točaka:

- budi lojalan svojoj zemlji
- slušaj svoje roditelje
- vjeruj i budi pošten prema svojim prijateljima
- budi hrabar i nikada se ne povlači iz bitke
- ubij samo ako je to nužno

S vremenom su učitelji i sljedbenici Hwarang škole na neki način usavršili vještinu *soo bak* koja je postojala i prije osnivanja škole. Taj usavršeni oblik koji je sadržavao i mentalni aspekt borbe nazivao se *soo bak gi*. *So bak gi* bila je vještina u kojoj su se mladići dva puta godišnje nadmetali. Upravo se ta nadmetanja smatraju jednim od prvih sportskih natjecanja. Kasnije je *soo bak* uveden u Kinu kao *Kwon bup* i u Japan kao *jiu jitsu* [7].

Povijest modernog taekwonda vezana je uz život i djelovanje generala Choija Honga Hija (1918. – 2002.) [Slika 4]. U dobi od 12 godina, Choi Hong Hi bio je slabašno dijete pa ga je njegov učitelj Han Ill Dong odlučio podučiti vještini koja je tada već bila na rubu izumiranja. Ta vještina bila je *tekkyon* koja se bazirala na nožnim tehnikama. Kasnije, za vrijeme studija u Japanu, Choi Hong Hi trenirao je japanski karate koji je kasnije povezo s tehnikama *chuang fa* (kineski boks) i *tekkyon* kako bi stvorio bazičnu vještinu na kojoj se temelji moderan taekwondo. Za vrijeme Drugog svjetskog rata, Choi je organizirao Korejski studentski pokret za nezavisnost, no bio je otkriven i, kao posljedica toga, završio je u japanskom logoru. Nije dozvolio da ga to pokoleba i odmah je odlučio početi s treningom pa je s vremenom cijeli logor postao jedno veliko taekwondo vježbalište. Po završetku rata Choi biva oslobođen i vraća se u Koreju gdje nastavlja sa svojim radom i djelovanjem. Osniva svoju školu za borilačke vještine koju naziva „Oh Do Kwan“ što bi se moglo prevesti kao „Škola vježbanja na moj način“ i zajedno sa svojim pomoćnikom Namom Teom Hiemom dorađuje i usavršava novu borilačku vještinu [7].



**Slika 4. General Choi Hong Hi [7]**

Veliki dan za taekwondo bio je 11. travanj 1955. godine kada je on formalno priznat i utemeljen. S vremenom, taekwondo se polako počeo uvoditi u vojsku, škole i fakultete [7].

Taekwondo se kao borilačka vještina na našem području pojavio u razdoblju 1965. i 1966. godine kada je Dušan Kružić u Rijeci osnovao prvi taekwondo klub u bivšoj Jugoslaviji. Kada se on vratio u Njemačku, aktivnost taekwondoa je pomalo zamrla. Sljedećih godina, grupa omladinaca je na inicijativu Božidara Podhraškog pozvala taekwondo instruktora Parka Suna Jaea da posjeti Zagreb. Prva demonstracija održana je na Gornjem gradu 28. svibnja 1968. godine, no na spomen ploči je upisan 26. svibnja 1968 [Slika 5]. Razlika postoji jer je došlo do komplikacija u organizaciji, a upisan je datum na koji se demonstracija trebala održati. Nedugo nakon toga osnovana su dva taekwondo kluba od kojih prvi u Zagrebu, a drugi u Karlovcu. Park Sun Jae se vraćao na područje današnje Hrvatske i održavao seminare kako bi pomogao razvoju spomenute borilačke vještine [7].

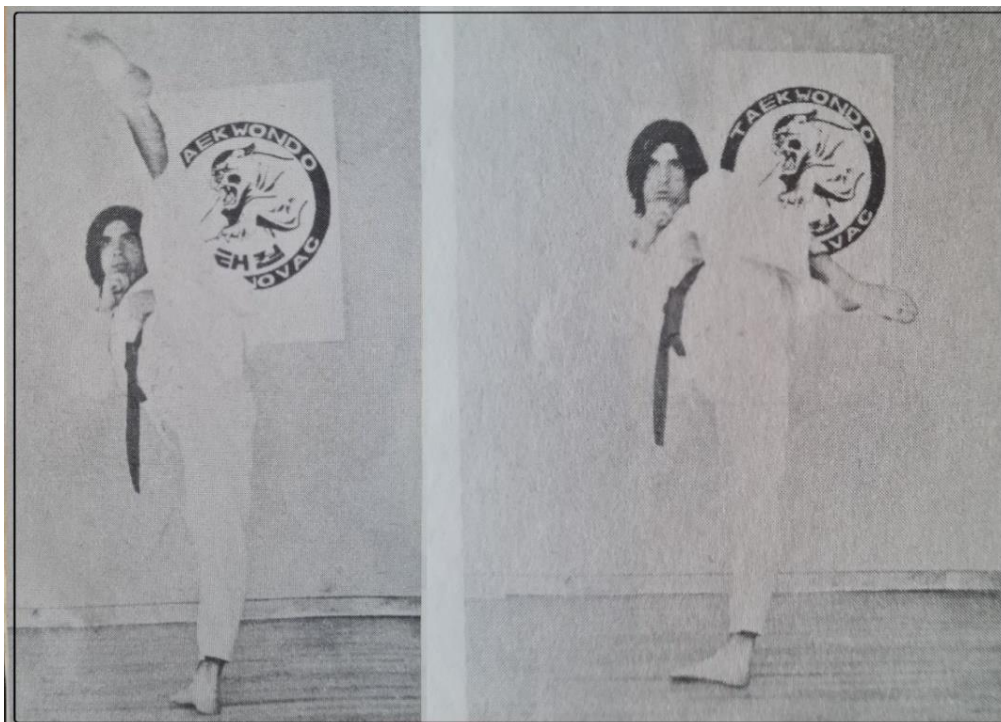


**Slika 5.** Ploča postavljena u spomen demonstraciji taekwondoa iz 1968. godine [8]

Hrvatski taekwondo savez danas broji 129 klubova članova [9].

U današnjem modernom taekwondou jedan od najčešće korištenih udaraca je svakako kružni udarac (dollyo chagi) [Slika 6] i upravo će se on izvoditi na spravi za vježbanje. Kako bi se lakše opisalo i demonstriralo pravilno izvođenje spomenutog udarca, možemo ga podijeliti na pet segmenata. Prvi segment podrazumijeva podizanje koljena noge kojom se udara na visinu iznad pojasa. Stojeća noga je ravna, a podignuta noga je skvrčena u koljenu tako da potkoljenica i bedro zatvaraju kut nešto manji od  $90^\circ$ , dok su prsti i stopalo te noge ispruženi prema dolje. U drugom dijelu udarca noga na kojoj se stoji okreće se za minimalno  $90^\circ$  (ako se stoji na lijevoj nozi ona se okreće tako da prsti gledaju lijevo, a ako se stoji na desnoj nozi onda se okreće tako da prsti gledaju desno), podignuta noga ostaje skvrčena i ona se okreće tako da stoji paralelno s podom. Treći segment je udarac nogom koja je podignuta. U trenutku udaranja u udarnu površinu noga mora biti ispružena, baš kao stopalo i prsti, a noga na kojoj se stoji je ravna i okrenuta kao u drugom segmentu. Četvrti dio udarca je vraćanje noge u koljenu u skvrčeni položaj u kojem je vježbač bio u prvom segmentu. Završni dio i kraj udarca je vraćanje cijelog tijela u položaj i stav u kojem je bilo prije udarca. Prema istraživanju koje je proveo „National

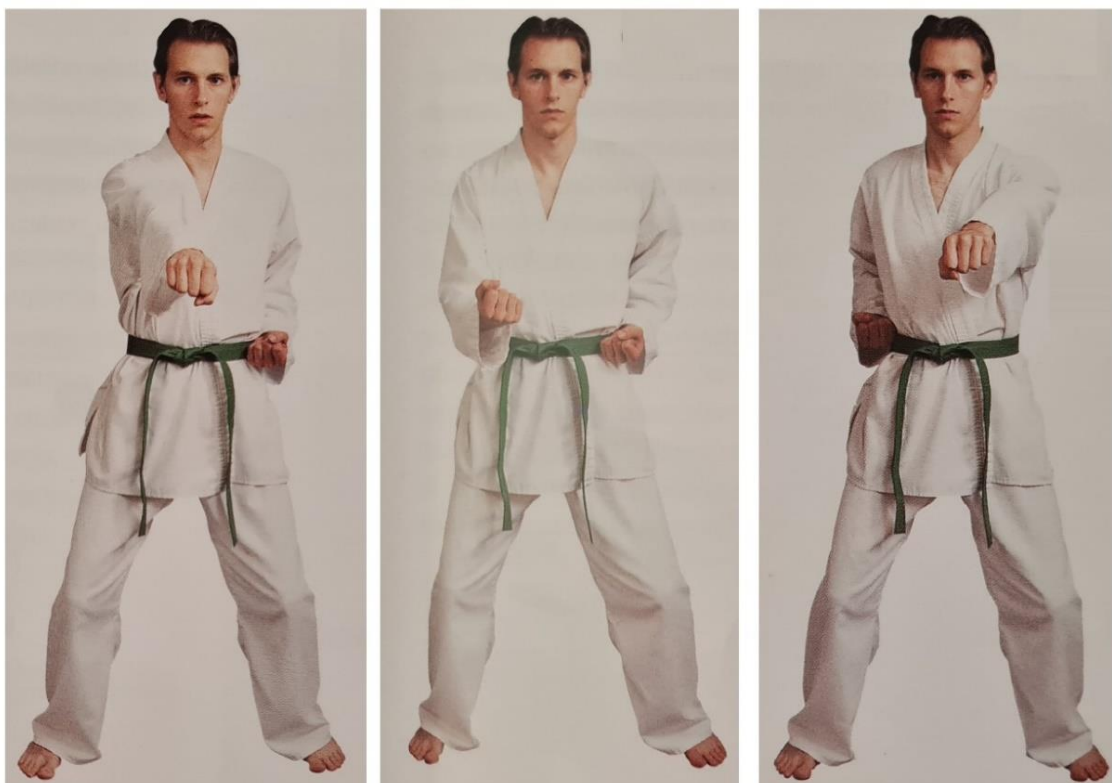
Geographic“, ovakav udarac može generirati udarnu snagu iznosa oko 1.000 kilograma pri brzini oko 220 kilometara na sat.



**Slika 6. Prikaz kružnog udarca [7]**

Iako je prvenstveno zamišljeno da će se vježbati brzina reakcije kružnog udarca, moguća je primjena i kod drugih udaraca dok god na udarnu površinu dolaze paralelno ili pod kutom koji je malog odstupanja. Razlog tome je taj što bi udarac koji dolazi pod većim kutom mogao dovesti do savijanja klipnjače i tako komprimirati rad cilindra što bi u konačnici moglo dovesti i do havarije sustava.

Jedan od takvih udaraca je i udarac šakom. Udarac šakom iz stava izvodi se tako da šaka koja je stisnuta uz kuk udara u pleksus prelazeći najkraći mogući put. U trenutku udarca šaka je stisnuta, a ruka ispružena [Slika 7]. Šaka ne smije biti savinuta u zglobu jer to povećava mogućnost ozljede, a palac stisnute šake obavezno mora biti skvrčen, stisnut uz savinute prste šake, a nipošto se ne smije nalaziti „unutar“ šake tako da je obavijen prstima jer to značajno povećava mogućnost prijeloma.



**Slika 7. Prikaz udarca šakom iz jahačeg stava [10]**

Još jedan udarac koji se može primijeniti ovdje je i bočni udarac [Slika 8]. Priprema za izvedbu bočnog udarca slična je onoj za kružni udarac. Podiže se koljeno noge koja udara i ona je skvrčena. Zatim slijedi rotacija u stranu na način da se stojeća noga sada okreće za  $180^\circ$  (ako se stoji na lijevoj nozi tada se noga okreće u lijevu stranu, odnosno ako se stoji na desnoj nozi tada se noga okreće u desnu stranu). Udarac se sada ispucava ravno tako da se noga potpuno ispruži, a meta se pogađa bridom stopala ili petom. Po završetku udarca, noga se vraća u prvotni položaj gdje je bila skvrčena i zatim slijedi vraćanje noge na podlogu i zauzimanje unaprijed određenog stava.





Slika 8. Prikaz bočnog udarca [11]

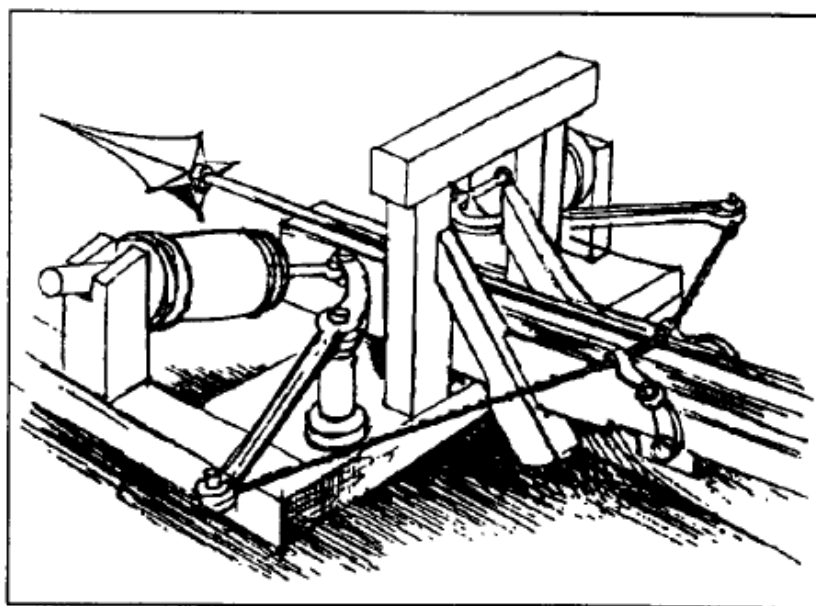
Iako su navedena samo tri udarca, moguća je izvedba mnoštva različitih udaraca pa čak i blokova koji se mogu izvoditi kako bi se vježbala brzina reakcije.

## 1.2 Pneumatika

Pneumatika se može promatrati kao mehanika stlačivih fluida jer ona za izvor energije koristi stlačeni plin. Iako se stlačeni zrak primjenjivao još u pretpovijesti, šira primjena postala je aktualna tek u drugoj polovici devetnaestog stoljeća kada je započeo nagli razvoj industrije [12].

### **1.2.1 Povijest pneumatike**

U početku se stlačeni zrak koristio u mjevovima kojima se raspuhivala vatra, a koristio se i u nekim puhačkim instrumentima. Prvi zapisi korištenja stlačenog zraka u tehničke svrhe pojavljuju se polovicom prvog stoljeća naše ere u djelu „De architectura“ koje je napisao rimski inženjer i arhitekt Vitruvius. U spomenutom djelu govori o Ktesibiosu, grčkom sinu brijčača, koji je napravio razne uređaje i sustave poput vodenih orgulja, crpke za vodu i pneumatskog katapulta [Slika 9] koji je možda i najzanimljiviji od spomenutih jer je to prvi uređaj koji je koristio prave pneumatske cilindre. Spomenuti katapult radio je na način da se preko aksijalno uleženih poluga nategnula tetiva. To natezanje bi rezultiralo tiskanjem dvaju klipova koji bi sabijali zrak u brončanim cilindrima. Kada bi se nategnuta tetiva otpustila zrak koji je bio stlačen bi ekspandirao te gurnuo klipove i poluge što bi u konačnici dovelo do izbacivanja koplja. Od tada pa do sedamnaestog stoljeća u kojem su djelovali Toricelli, Pascal i drugi, postoji vrlo malo zapisa o primjeni pneumatike [12].



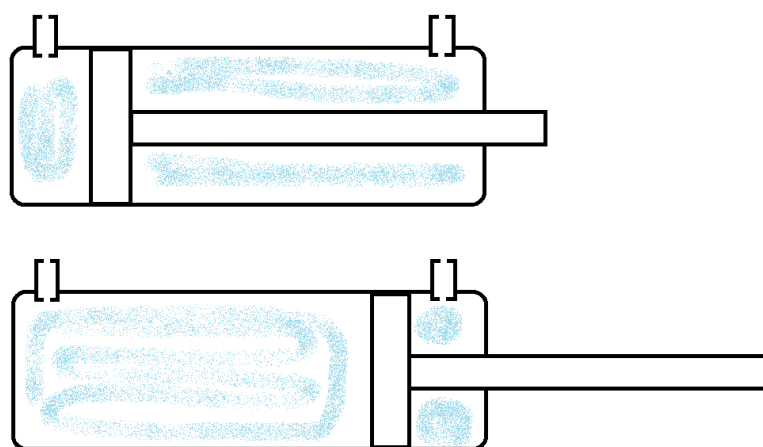
Slika 9. Ktesibiosov katapult [12]

Devetnaesto stoljeće sa sobom donosi nagli razvoj industrije i pneumatika se počinje sve više koristiti. Pojavljuju se pneumatski alati za sječenje, nabijači pijeska u ljevarskoj industriji, zračni čekići u građevini, postrojenja pošte koja su prenosila telegrame i mnogi drugi slični uređaji i sustavi. Kao jedan od značajnijih događaja, koji je takoreći proslavio pneumatiku, spominje se probijanje tunela Mont-Cenis kroz švicarske Alpe. Lokomotiva koja je na sebi nosila devet montiranih pneumatskih bušilica probila je tunel dužine 13,6 km u roku od četiri godine. Iako četiri godine danas možda zvuči puno, ukoliko bi se koristili prijašnji alati, utoliko bi za probijanje takvog tunela u to doba bilo potrebno oko trideset godina. Kada je počeo drugi svjetski rat, porasla je potreba za brzom i povećanom proizvodnjom. Muškarci koji su u to vrijeme činili većinu kvalificiranih radnika otišli su na bojište pa su njihovu ulogu u proizvodnji trebale preuzeti žene od kojih je tek šaćica bila kvalificirana za obavljanje nekih od poslova u industriji i proizvodnji. U svrhu nadopunjavanja deficita potrebnih radnika, sve više se počela razvijati i primjenjivati automatizacija i u sklopu nje pneumatika. U početku su se proizvodili cilindri i klipovi specifični za neki određeni posao ili zadatak, a to je značilo da je proizvodnja takoreći pojedinačna ili u malim serijama. Kada se 1962. godine uvela normizacija, došlo je do masovne proizvodnje i smanjenja cijena pa su tako pneumatski uređaji postali dostupniji [12].

### 1.2.2 Način rada pneumatskog sustava

Osnovni princip rada cjelokupnog pneumatskog sustava podrazumijeva pretvorbu mehaničke energije u energiju stlačenog zraka te potom pretvorbu dobivene energije stlačenog zraka u neki drugi oblik mehaničke energije. Najčešće se to izvodi pomoću cilindra u koji se dovodi zrak koji zatim pomiče klipnjaču [Slika 10]. Podjela elemenata pneumatskog sustava gledano prema njihovoj funkciji [13]:

- elementi za proizvodnju i razvod zraka
- elementi za pripremu zraka
- izvršni elementi
- upravljački elementi
- upravljačko-signalni elementi
- pomoćni elementi



Slika 10. Prikaz rasporeda zraka u cilindru

Prvi u sustavu su elementi za proizvodnju i razvod zraka. Njihov zadatak je osigurati zadovoljavajuću količinu stlačenog zraka i to unutar unaprijed određenih parametara. Ovdje se ubrajaju elementi poput kompresora, spremnika zraka, cjevovodnih mreža za razvod i slični. Slijede elementi za pripremu zraka koji izvršavaju funkciju čišćenja, podmazivanja i regulacije

zraka, a to bi bili razni filtri, mazalice i regulatori tlaka. Izvršni elementi su u pravilu cilindri i motori, a njihova zadaća je obavljanje željenih radnji, tj. mehaničkog rada. Pod upravljačke elemente spadaju ventili koji, kao što i naziv govori, upravljaju tokovima energije (zraka) i informacija (signala). Upravljanje je, iako može biti samo pneumatsko, najčešće kombinirano izvedeno s nekim drugim medijima (najčešće električnim). Pod pojmom upravljačko-signalnih elemenata, mogu se naći senzori i indikatori čija je zadaća dobavljanje informacija o stanju sustava. Konačno, pomoćni elementi su oni elementi koji izvršavaju razne dodatne funkcije i zadaće. Pod te elemente ubrajamo prigušivače buke, brojače, priključne ploče i slične [13].

Pneumatski sustavi i stlačeni zrak, koji je njihov radni medij, imaju mnoge prednosti, a jedna od očitih je dostupnost zraka koji je svuda oko nas. Uz to što je uvijek na raspolaganju, zrak se poprilično jednostavno može transportirati i skladištiti. Promjene temperature i razni ekstremni uvjeti nemaju nikakav ili gotovo nikakav utjecaj na njega kao ni radijacija ili magnetska i električna polja. Velika prednost je i čistoća zraka jer, za razliku od nekih drugih medija, on ne onečišćuje okoliš i pruža dodatnu sigurnost jer nije niti zapaljiv. Uređaji i elementi koji se koriste jednostavne su izvedbe i lako ih je održavati, a pružaju visok omjer snage i mase [13].

Iako su prednosti mnoge, postoje i neki nedostaci. Jedan od nedostataka je taj što su sile koje se ostvaruju relativno male, a energija koju stlačeni zrak pruža ima nešto višu cijenu u usporedbi s električnom strujom ili uljem. Još jedan nedostatak je taj što je teško ostvariti jednolične male brzine jer zrak ima svojstvo stlačivosti, a uz to se pri ekspanziji javlja i buka. Zbog spomenutih nedostataka pneumatski sustavi najčešće se izvode u kombinaciji s nekim drugim sustavima kao što su hidraulički koji može ostvarivati velike sile ili kao što je električni koji može prenositi i obrađivati signale [13].

### ***1.2.3 Elementi pneumatskog sustava***

Elementi koji čine samu srž pneumatskog sustava su izvršni elementi koji se mogu podijeliti na one s ograničenim kretanjem (translacijskim ili rotacijskim) i na pneumatske motore (rotacijski s kontinuiranim gibanjem) [13]. Najčešći izvršni element koji se koristi u pneumatskim

sustavima je svakako cilindar s translacijskim gibanjem i upravo se dva takva cilindra koriste i u sustavu koji se izrađuje u ovom diplomskom radu.

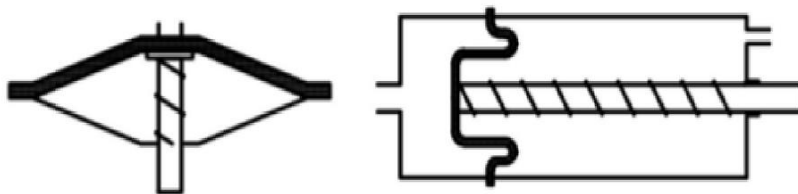
Cilindri se mogu podijeliti s obzirom na način djelovanja i prema izvedbi. Prema načinu djelovanja tako razlikujemo jednoradne, dvoradne i cilindre posebne izvedbe, a prema izvedbi razlikujemo klipne i membranske cilindre [13].

**Jednoradni cilindri** ostvaruju koristan rad samo u jednom smjeru pa priključak za zrak imaju samo na jednoj strani, a povratni hod ostvaruju pomoću opruge ili koristeći težinu tereta. Postoje i izvedbe kod kojih se povratni hod može postići i priključkom na regulacijski ventil ili na spremnik zraka. U tom slučaju stražnja komora nema otvor prema atmosferskom tlaku. Uobičajena primjena ovakvih cilindara je za dodavanje i pomicanje objekta, utiskivanje žigova, izbacivanje proizvoda i sličnih radnji koje nemaju poseban zahtjev na brzinu povratnog hoda [13].

**Dvoradni cilindri** odlikuju se sposobnošću izvršavanja korisnog rada u oba smjera, tj. oni mogu vući i gurati. Da bi mogli vršiti koristan rad u oba smjera, imaju priključke za zrak na prednjoj i stražnjoj strani cilindra. Kada zrak dolazi na jednu stranu cilindra i počne ispunjavati prostor, zrak koji se nalazi s druge strane mora izaći iz cilindra kako bi oslobodio komoru s druge strane i omogućio kretanje klipa u cilindru [13].

**Cilindri posebne izvedbe** mogu biti tandem cilindri, višepoložajni, teleskopski, bez klipnjače (najčešći su magnetni) i udarni [13].

**Klipni cilindri** su klasični cilindri s klipom koji se pokreće dovodom i odvodom zraka, a **membranski cilindri**, kao što i samo ime govori, umjesto uobičajenog klipa imaju membranu [Slika 11]. Membranski cilindri omogućavaju razvijanje veće sile pri manjem hodu (i nižoj frekvenciji rada) kada se usporede s klipnim cilindrima, a membrane mogu biti tanjuraste ili putujuće [13].



Slika 11. Tanjurasta membrana (lijevo) i putujuća membrana (desno) [13]

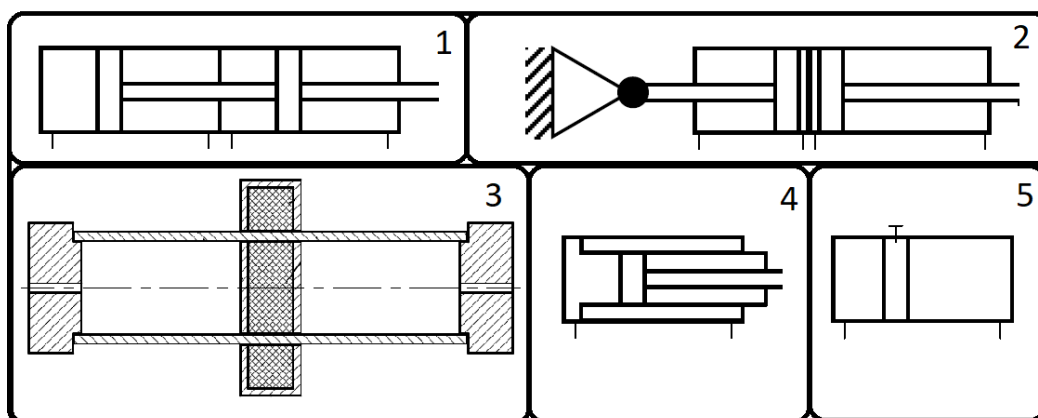
**Tandem cilindar** je zapravo spoj dvaju cilindara i dvaju klipova koji koriste istu klipnjaču. Posebnost ove izvedbe je povećana sila za isti hod i promjer cilindra, no to će onda zahtijevati nešto čvršću izvedbu klipnjače. Tandem cilindar prikazan je pod brojem 1 na [Slika 12] [13].

**Cilindar s više položaja** izvedba je koja podrazumijeva dva cilindra koji se dodiruju stražnjom stranom. Pri jednakom hodu moguća su tri različita položaja za ovaj cilindar. Cilindar s više položaja prikazan je pod brojem 2 na [Slika 12] [13].

**Teleskopski cilindar** sastoji se od više cilindara koji su jedan u drugome i izvlače se tako što klize jedan unutar drugoga. Oni se primjenjuju kada je potreban što duži hod klipnjače. Teleskopski cilindar prikazan je pod brojem 4 na [Slika 12] [13].

**Cilindri bez klipnjače** počinju se sve više koristiti zbog njihove kompaktnosti. Oni, naime, nemaju klasičnu klipnjaču koja izlazi iz cilindra i traži veći prostor za ugradnju, nego imaju vanjski klizač s nosačem ili nastavkom za obavljanje željenog rada. Ova izvedba omogućava izrazito dugi hod klipa pa se tako može postići i pomak od 12 metara. Cilindar bez klipnjače prikazan je pod brojem 5 na [Slika 12] [13].

**Magnetski cilindri** imaju vanjski klizač na koji se sila klipa prenosi preko trajnih magneta. Posebnost ovog sustava je ta što je cijeli pneumatski sustav zatvoren i kao takav je neosjetljiv na moguće nečistoće koje se mogu javiti u okolini. Opterećenje je u ovom slučaju ograničeno silom magneta, a ukoliko se ta sila prekorači, utoliko će klizač skliznuti pa preopterećenje nije dozvoljeno. Magnetski cilindar prikazan je pod brojem 3 na [Slika 12] [13].



Slika 12. Cilindri posebne izvedbe [13]

Odabir cilindra koji će odgovarati zahtjevima u pravilu se vrši prema kriterijima:

- sila
- hod
- brzina
- konstrukcija (način učvršćenja, mogući priključci, spoj na klipnjači i sl.) [13].

Na primjer, ako treba odabrati dvoradni cilindar koji na klipnjači mora imati snagu  $F = 400$  N pri nazivnom tlaku od  $p = 7$  bar, odabir će se raditi na sljedeći način:

Odabere se koeficijent  $k = 0,5$  i računa se promjer cilindra prema sljedećoj formuli:

$$D = \sqrt{\frac{4 F}{\pi k p}} = 38,15 \text{ mm [13].}$$

Prvi standardni cilindar koji se odabire je onaj promjera  $D = 40$  mm, no sada će trebati podesiti tlak napajanja jer je promjer odabranog cilindra veći od promjera izračunatog pri nazivnom tlaku. Tlak tada računamo prema formuli:

$$p = \frac{F}{k \pi D^2} = 6,37 \text{ bar [13].}$$

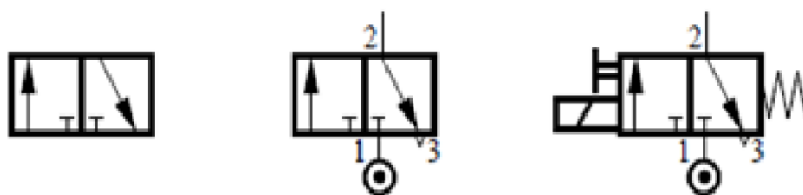
Da bi se sustavom moglo što bolje upravljati, koriste se razni ventili koji se iz tog razloga nazivaju i upravljačkim elementima. Njihova osnovna funkcija je regulacija i usmjeravanje zraka koji prolazi kroz sustav, a to ostvaruju kroz propuštanje, zaustavljanje i promjenu smjera



toka zraka. Uz spomenute radnje, reguliraju još protok i tlak zraka u sustavu. Osnovna podjela ventila je na [13]:

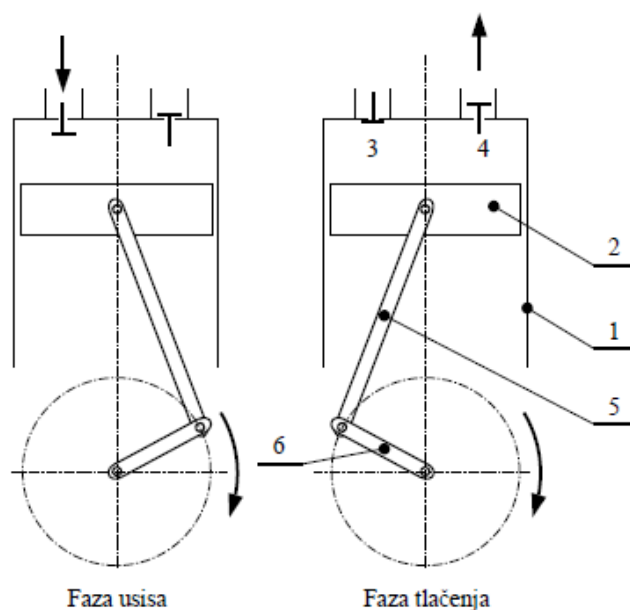
- razvodnike
- zaporne ventile
- tlačne ventile
- protočne ventile
- kombinirane ventile
- cijevne zatvarače.

Ventili se prikazuju simbolima koji imaju kvadratni oblik, a broj kvadrata govori koji je broj mogućih položaja ventila [Slika 13]. Unutar kvadrata nalaze se strelice i oznake koje prikazuju smjer protoka ili položaj u kojem nema protoka zraka [13].



Slika 13. Način prikaza ventila simbolima [13]

Za dobivanje stlačenog zraka koji će se koristiti u pneumatskom sustavu koriste se kompresori. Kompresori zapravo pretvaraju mehaničku energiju u energiju stlačenog zraka. Iako se kompresori mogu podijeliti na volumetričke kompresore i turbokompresore, u pneumatici se u pravilu isključivo koriste volumetrički. Oni se dalje mogu podijeliti na klipne, rotacijske i membranske kompresore. Princip rada kompresora objasnit će se na primjeru jednoradnog klipnog kompresora [Slika 14]. Takav kompresor ima cilindar koji se puni i prazni samo s jedne strane klipa na način da kada klip putuje prema dolje, zrak ulazi u cilindar. Kada klip započne kretanje u suprotnom smjeru, usisni ventil (kroz koji je zrak ušao) je zatvoren, a otvoren je tlačni ventil kroz koji klip sada pritišće zrak [13].



Slika 14. Prikaz rada kompresora [13]

Prije no što zrak uopće dođe do ventila i cilindra, bilo bi ga dobro filtrirati kako u sustav ne bi ušle nečistoće koje bi mogle oštetiti opremu. Nadalje, trebalo bi koristiti i regulator kojim će se moći kontrolirati tlak u sustavu. Upravo tome služi filter koji radi tako da zrak ulazi u njega, a eventualne nečistoće se zadržavaju u filtru jer ne mogu pratiti brzo strujanje zraka i njegovo uzdizanje. Za finije čestice koriste se dodatni ulošci kroz koje zrak prolazi, a finije nečistoće se na njima zadržavaju. Regulator služi za kontrolu tla koji će se propuštati u sustav i česta izvedba je ona gdje su filter i regulator izrađeni kao jedan uređaj [Slika 15] [13].



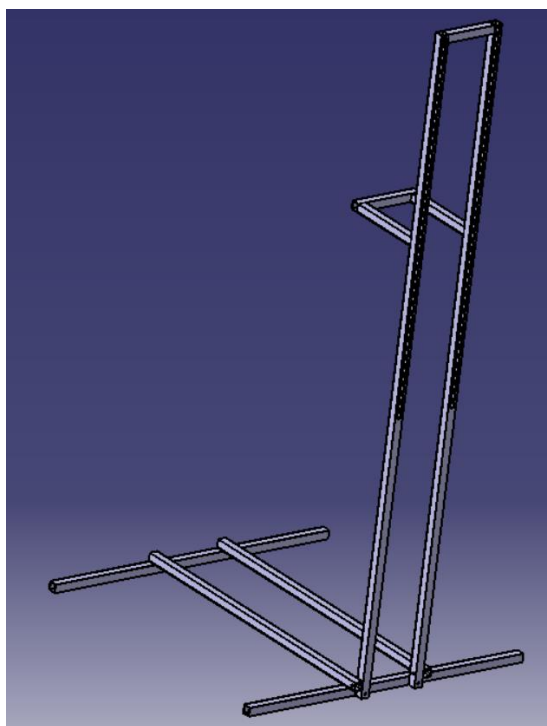
**Slika 15. Filtar s regulatorom protoka [14]**

## 2 OSMIŠLJENI PNEUMATSKI SUSTAV

Pneumatski sustav koji bi zadovoljio potrebe vježbanja brzine reakcije u borilačkim sportovima (u ovom slučaju taekwondo) osmišljen je kao sustav koji se sastoji od dvaju dvoradnih cilindara. Na vrhu klipa postaviti će se površina za udaranje, a rad svakog od spomenutih cilindara bit će reguliran pomoću ventila koji bi trebao biti u izvedbi 5/3, a ventilom će se upravljati mikrokontrolerom „Geekreit UNO R3“. Sve komponente pričvrstiti će se na metalnu konstrukciju koja mora biti dovoljno stabilna kako ne bi došlo do njenog prevrtanja prilikom udaraca.

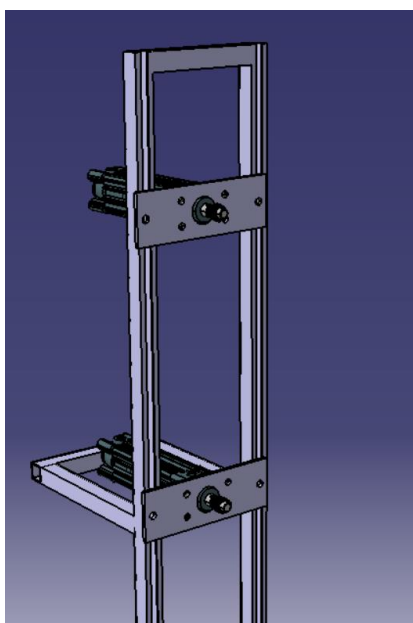
### 2.1 Postolje i noseća konstrukcija

Postolje i noseća konstrukcija bit će izrađeni od kvadratnih cijevi 25x25mm s debljinom stijenke 2 mm. Samo postolje sastoji se od četiriju cijevi čija bi duljina trebala biti 900 mm i one će se spojiti zajedno tako što će izgledom podsjećati na slovo „H“. Cilindri će se montirati na nosač koji će se učvrstiti na konstrukciju izrađenu od dvije iste cijevi duljine 1900 mm. U cijevima će se napraviti utori kroz koje će se cilindri na nosačima moći vertikalno pomicati kako bi se odabrala željena visina. Sama izrada i konačan izgled bit će opisani u trećem poglavlju, a osmišljena konstrukcija i njeni dijelovi izrađeni su u CAD programu Catia [Slika 16].



**Slika 16. Konstrukcija sprave za vježbanje izrađena u programu Catia**

Osmišljeni način montaže cilindra prikazan je na [Slika 17], a „U“ profil za pričvršćenje upore napravljen je tako da ne smeta pri podešavanju cilindra na željenu visinu.

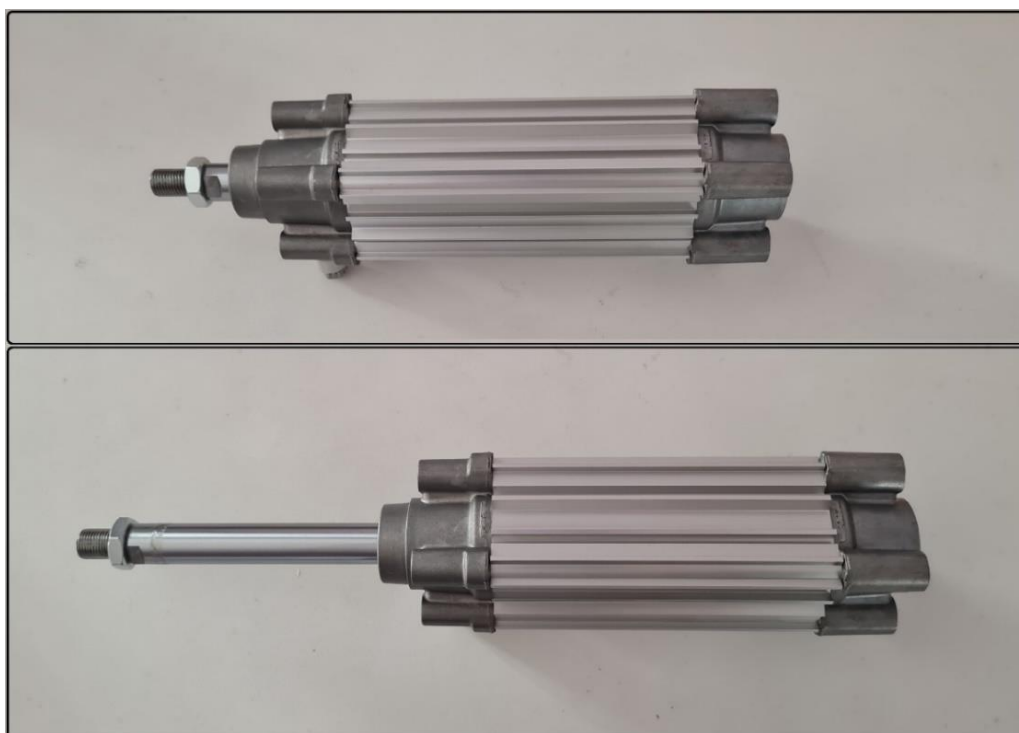


**Slika 17. Način montaže cilindra nacrtan u programu Catia**

## 2.2 Cilindri

Odabrani su dvoradni cilindri jer je njima lakše upravljati i odabirati njihov željeni položaj. Pri odabiru je bilo važno voditi računa o samoj namjeni cilindra. Cilindar izbacuje klipnjaču koja na sebi ima pričvršćenu površinu za udaranje što znači da cijeli cilindar s klipnjačom mora biti dovoljno robustan i čvrst kako ne bi došlo do oštećenja prilikom udaranja. Klipnjača se ne smije plastično deformirati jer bi se mogla narušiti efikasnost rada cilindra, ali i sigurnost zato što su brzine rada ovih uređaja izuzetno velike. Iz tog razloga radni hod klipa ne može biti prevelik jer veći hod sa sobom povlači i veću šansu da će se klipnjača saviti. Razmatrani hod je iz tog razloga bio od 50 mm do 150 mm. Još jedna bitna stavka pri odabiru cilindra bio je i promjer klipnjače. Zahtjev na dobro podnošenje udarnih opterećenja značio je da bi promjer klipnjače trebao biti dovoljno velik da podnese udarce bez da dođe do deformacije. Razmatrani promjer klipnjače je iz tog razloga bio od 10 mm do 20 mm. Konačno, zadnji zahtjev koji je bio postavljen je radna brzina cilindra. Osnovna namjena cijelog sustava je vježbanje brzine reakcije na vizualni podražaj, a to podrazumijeva da je brzina kojom će klipnjača izaći iz cilindra od izuzetne važnosti. Tražena radna brzina je iz tog razloga bila manja od 0,5 s.

U dogovoru s predstavnicima tvrtke SMC odabrani su cilindri CP96 [Slika 18] radnog hoda od 100 mm s promjerom klipnjače 16 mm.

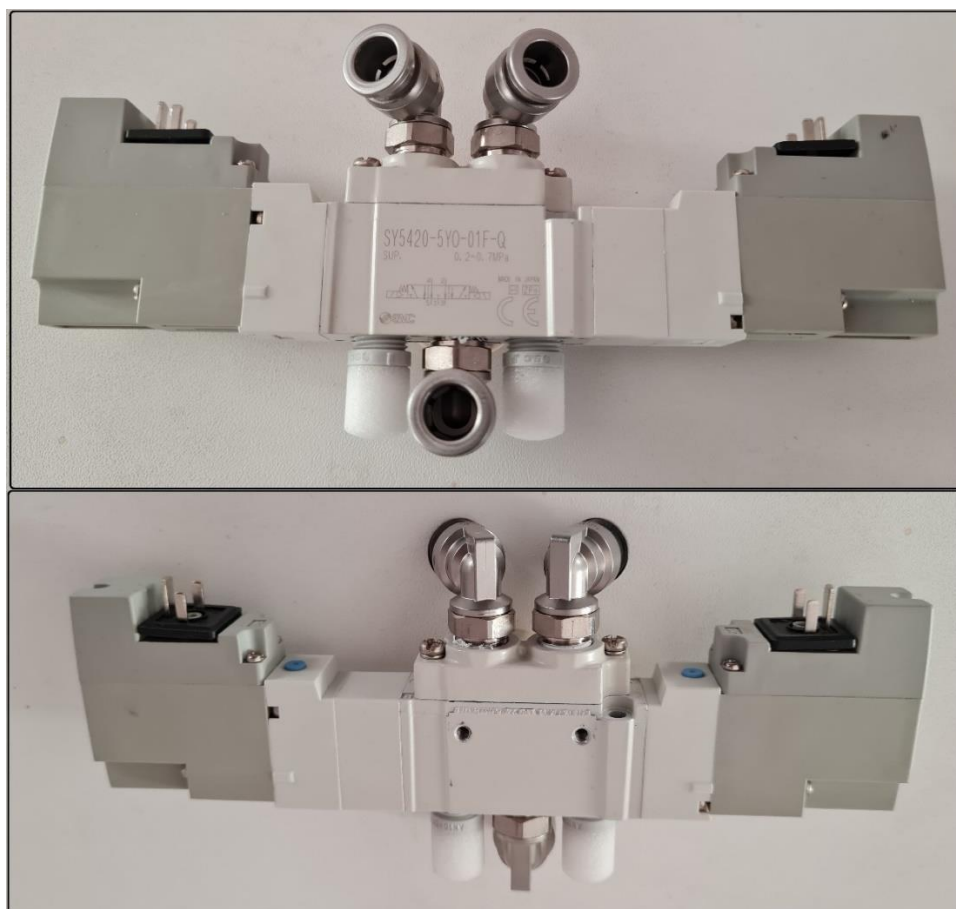


**Slika 18. Cilindri CP96 (iz SMC-a)**

### 2.3 Ventili

Za dva cilindra koji rade neovisno jedan o drugome potrebno je odabrati i dva ventila koji će omogućiti upravljanje gibanjem cilindara. Iako se na klipnjači nalazi površina za udaranje, klip pod tlakom je vrlo čvrst i jak bi udarac mogao biti bolan. Da se izbjegne mogućnost ozljede, predviđeno je da će se nakon što klipnjača izađe van, zrak iz cilindra ispustiti kako bi se ublažio otpor koji klip pruža vježbaču. Nakon udarca, potrebno je klip vratiti u početni položaj iz kojeg će sustav biti spreman za ponavljanje vježbe. Uzevši to u obzir, može se zaključiti da je najočitija opcija primijeniti ventil 5/3 koji će imati dovod zraka na jednom ulazu, odvod zraka na dva izlaza i još dva slobodna priključka kroz koje će se ispustiti zrak iz cilindra. Početni, odnosno nulti položaj bio bi onaj u kojem nema dotoka zraka u cilindre.

U dogovoru s predstavnicima tvrtke SMC odabran je elektromagnetski ventil serije SY5000 [Slika 19].

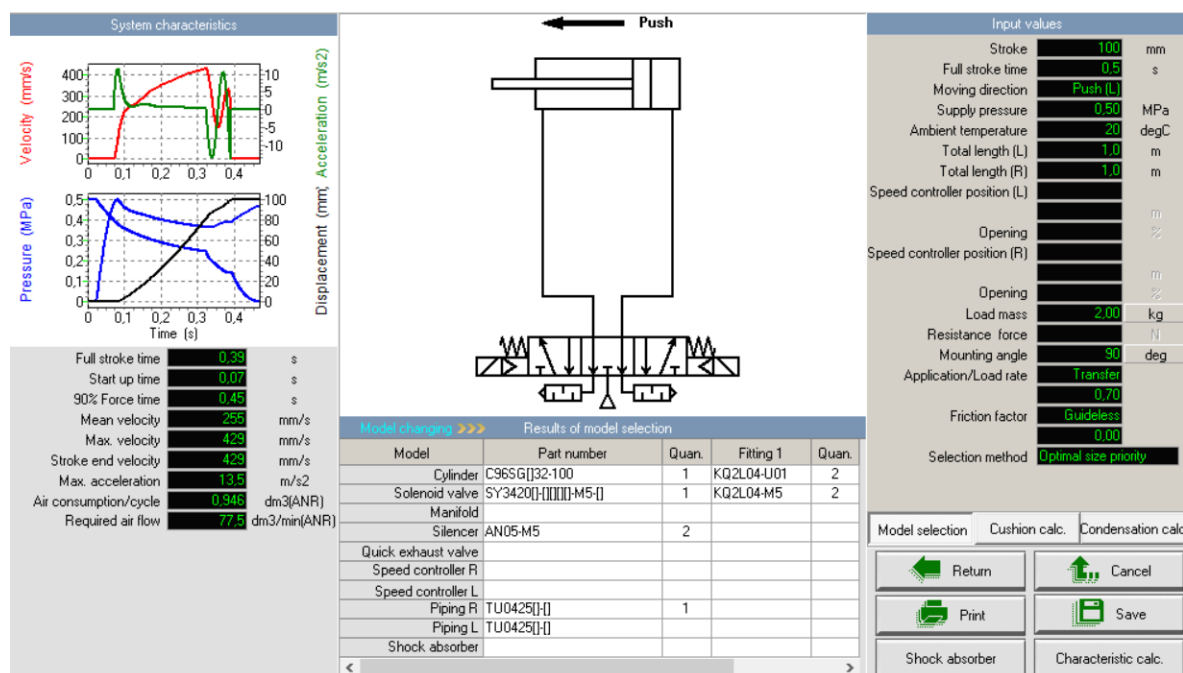


Slika 19. Elektromagnetni ventil SY5420

## 2.4 Simulacija odabranih komponenti

Tvrtka SMC, osim ponude raznih pneumatskih i električnih komponenti, nudi programe koji mogu pomoći pri projektiranju i planiranju izrade raznih sustava. Upravo je njihov alat „Model selection software“ korišten kako bi se dobilo vrijeme potrebno za izlazak klipnjače iz cilindra i potrošnja zraka [Slika 20]. Uz spomenuto, program pokazuje ubrzanje, najveću postignutu brzinu, dijagrame brzine, ubrzanja, mijenjanja tlaka i volumena. Proučivši rezultate, zaključeno je da je odabrani cilindar u kombinaciji s odabranim ventilima dobar izbor i da će te komponente zadovoljiti potrebe sustava koji se izrađuje.

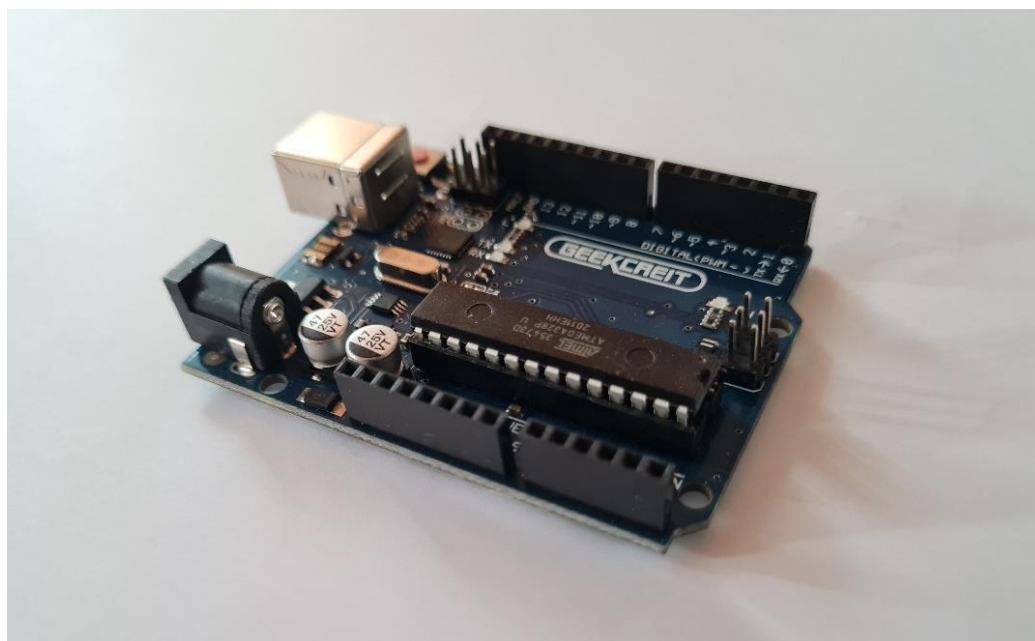




Slika 20. Simulacija rada cilindra CP96 i ventila SY5420 u programu „Model selection software“

## 2.5 Mikrokontroler za upravljanje

Za upravljanje ventilima koristi se mikrokontroler „Geekcreit UNO R3 ATmega328P“ [Slika 21] koji je napravljen po uzoru na „Arduino UNO R3“. Njegovo napajanje može biti izvedeno pomoću USB kabela i izvora od 5V ili pomoću nekog vanjskog napajanja koje daje napon od 7V do 12V. Na mikrokontroler se, pomoću računala, može prebaciti kod napisan u programu „Arduino IDE“ koji će sadržavati upute za rad.



**Slika 21. Mikrokontroler „Geekcreit UNO R3“**

## 2.6 Ostale komponente

Uz opisane komponente, potrebne su još razne druge kako bi cijeli sustav pravilno funkcionirao. Jedna od tih komponenti je i crijevo za zrak koje spaja spremnik zraka i filter s regulatorom. Odabrana je spiralna cijev od poliuretana vanjskog promjera 8 mm i unutarnjeg promjera 5 mm. Crijevo je sa spremnikom zraka i filtrom spojeno pomoću brzih spojnica. Za daljnji dovod zraka do komponenti korišteno je fleksibilno crijevo od poliuretana vanjskog promjera 8 mm, debljine stijenke 1,25 mm i radnog pritiska do 14 bar. Zrak je potrebno dovesti do dvaju ventila pa su korišteni i razvodnici s brzim spojnicama za lako spajanje sustava dovoda zraka [15].

Crijeva su s ventilima i cilindrima spojena preko spojnica, a spojnice na cilindrima imaju i mogućnost podešavanja protoka zraka. Na ventilima se također nalaze i prigušnici buke.

Bitna komponenta je i pretvarač struje koji se koristi za napajanje ventila. Odabran je pretvarač „LP 746201“ tvrtke „Schrack“ [Slika 22]. Ulazni napon izmjenične struje može biti od 100 V do 240 V, a izlazni napon jednosmjerne struje koji će se koristiti za napajanje ventila i led

lampica iznosi 24 V struje 1,5 A. Pretvarač ima dva ulaza (pozitivan i negativan) te četiri izlaza (dva pozitivna i dva negativna). Montira se na DIN nosač širine 35 mm [16].



Slika 22. Pretvarač AC/DC

### 3 IZRADA KONSTRUKCIJE I SUSTAVA

Kada su sve komponente potrebne za izradu sustava odabrane i nabavljene, može se krenuti u samo montiranje postava i spajanje svih dijelova. Prvi korak je, dakako, izrada i postavljanje postolja i noseće konstrukcije. Kada je postolje postavljeno i spremno za daljnje slaganje komponenti, stavljamo cilindre, ventile, kutiju s elektroničnim komponentama i ostale dijelove sustava.

#### 3.1 Konstrukcija

Kao što je spomenuto, korištene su kvadratne cijevi širine i visine 25 mm s debljinom stijenke 2 mm. Postolje je izrađeno od četiriju takvih cijevi duljine 900 mm koje su zavarene skupa [Slika 23].



**Slika 23. Izrađeno postolje konstrukcije**

Na postolje se zatim vijcima učvršćuje konstrukcija na koju dolaze cilindri. Ta konstrukcija izrađena je od dvije cijevi duljine 1900 mm. Cijevi su postavljene na razmak od 150 mm i dodatno učvršćene zavarenim poprečnim cijevima [Slika 24]. U cijevima na koje dolaze

cilindri, izrezani su zarezi širine 10 mm kako bi u njih mogli ući vijci na koje će se montirati nosač sa cilindrima. Ovakav način izrade omogućuje lako namještanje visine cilindra ovisno o visini vježbača. U daljnjem tekstu će izraz „stupovi“ podrazumijevati ovaj dio konstrukcije.



**Slika 24. Stupovi konstrukcije po kojima klize cilindri**

Kako bi se pridonijelo robusnosti i stabilnosti, izrađena je i uporišna cijev koja spaja stupove i postolje [Slika 25]. Ova upora izrađena je od cijevi istih dimenzija kao i postolje, no na njoj su s obje strane zavarene pločice kako bi se upora mogla lako montirati.



**Slika 25. Upora za dodatnu stabilnost**

Cilindri su isporučeni s prirubnicama za montažu, no kako su prirubnice bile preuske da bi se cilindri mogli nesmetano montirati, izrađeni su dodatni nosači koji će olakšati montažu. Nosači

su izrađeni od željezne ploče debljine 5 mm, širine 200 mm, dok je visina 68 mm [Slika 26]. Na nosačima su izbušene rupe za klipnjaču, prirubnicu i za vijke kojima se montira na cijevi.



**Slika 26. Izrađeni dodatni nosači za cilindre**

Vijci za montažu nosača cilindra su M10 i na njih su zavarene pločice izrezane od željezne ploče debljine 5 mm [Slika 27]. Pločice su dodane kako bi se onemogućilo okretanje vijka unutar cijevi i kako bi se spriječila mogućnost da vijak upadne u cijev.



**Slika 27. Vijci za montažu nosača cilindara na stupove**

Po potrebi, moguća je i montaža dodatnih utega koji će spriječiti moguće prevrtanje i pomicanje cijele konstrukcije [Slika 28]. Utezi koji se koriste zapravo su utezi za stražnje kotače traktora marke „Ursus“ (model C-335). Svaki uteg mase je 22 kg, a moguća je montaža jednog ili dvaju utega, ovisno o potrebi. Utezi su očišćeni i na njih je nanescena boja za metal.



**Slika 28. Utezi stražnjih kotača traktora koji se koriste za dodatnu stabilnost**



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

**Tablica 1. Komponente za konstrukciju i montažu**

Naziv komponente	Količina
Cijev 25x25x1900 mm	2 komada
Cijev 25x25x900 mm	4 komada
Cijev 25x25x230 mm	2 komada
Cijev 25x25x200 mm	1 komad
Cijev 25x25x150 mm	2 komada
Cijev 25x25x153	
Nosač za SY*/SX* (s vijcima)	2 komada
Prirubnica za CP96 (s vijcima)	2 komada
Pločica 200x68x5 mm	2 komada
Pločica	
Vijak M6 s maticom i podloškom	4 komada
Vijak M8 s maticom i podloškom	10 komada
Vijak M10 s maticama i podloškom	4 komada
Uteg od 22 kg	2 komada

### 3.2 Cilindri i ventili

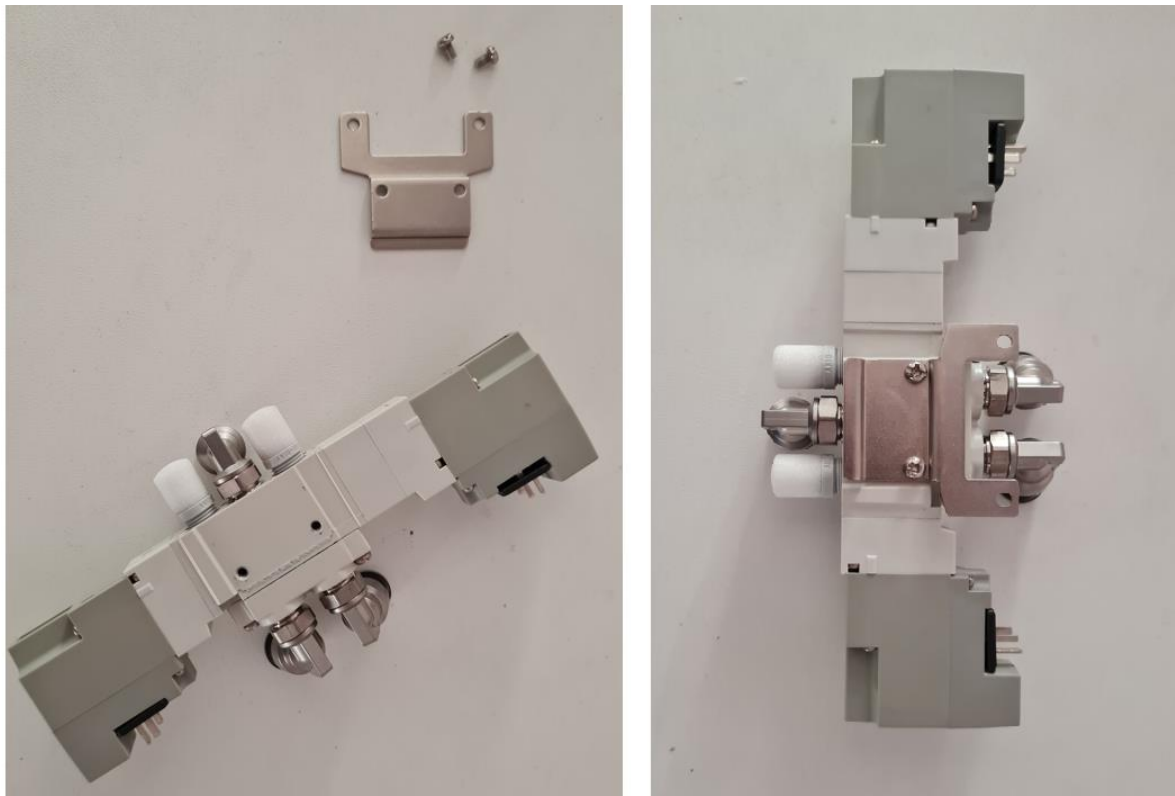
Cilindri su spojeni na prirubnice koje su dodatno spojene na nosače. Razlog dodavanja nosača je taj da se dobije više prostora za manevar i veći razmak između nosećih stupova što će u konačnici osigurati i veću stabilnost cijele konstrukcije. Montaža cilindara relativno je jednostavna. Prvo se na cilindre stavi prirubnica koja je učvršćena pomoću četiriju vijaka, zatim se na tu prirubnicu, pomoću još četiriju vijaka, učvrsti nosač i konačno se cijeli sklop montira na

dva vijka na stupovima [Slika 29]. Ovakva montaža omogućava vrlo jednostavnu prilagodbu visine cilindra stezanjem ili otpuštanjem samo dvaju vijaka.



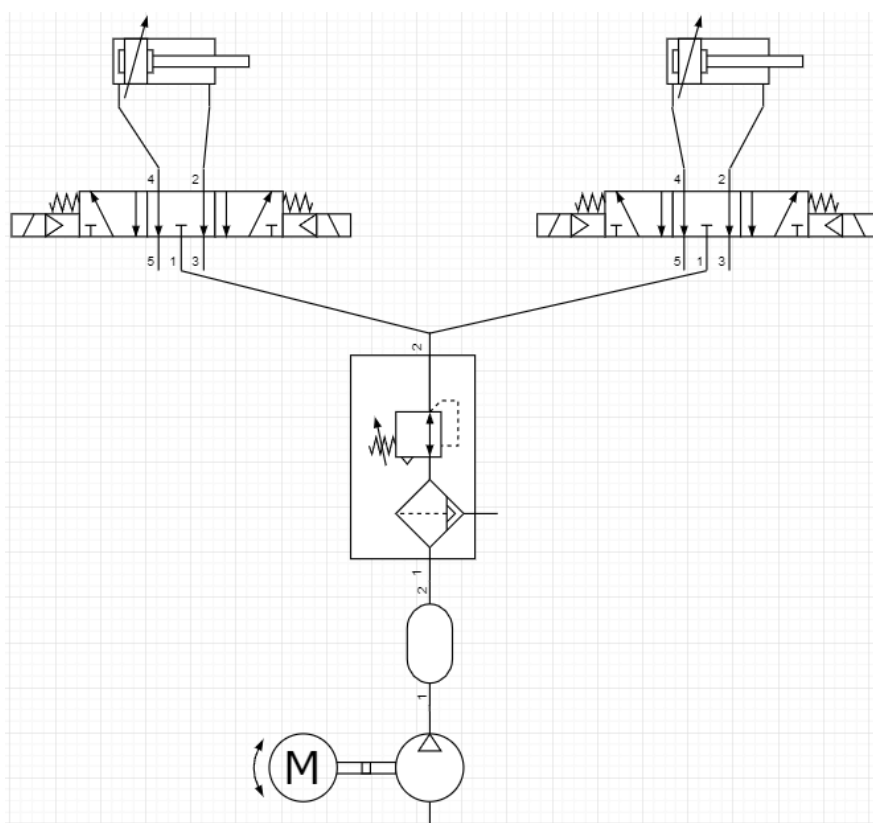
**Slika 29. Montaža prirubnice i nosača cilindra**

Ventili su isporučeni s pločicama za montažu koji se pričvršćuju na ventile s dvama vijcima, a cijeli sklop se s još dva dodatna vijka montira na za to predviđeno mjesto [Slika 30]. Ventili su smješteni na kutiji s elektronikom jer su na toj poziciji dovoljno zaštićeni od slučajnog udara, a dovoljno su blizu upravljačkom sustavu da nije potrebno provlačiti strujne kablove po cijeloj konstrukciji.



**Slika 30. Ventili s pločicama za montažu**

Prije samog spajanja, napravljena je i shema spajanja pneumatskih komponenti koja je prikazana na [Slika 31]. Shema je izrađenu u programu „PneuDraw“ koji nudi tvrtka „SMC“.



Slika 31. Pneumatska shema napravljena u programu „PneuDraw“

Korištene pneumatske komponente prikazane su u [Tablica 2].

Tablica 2. Korištene pneumatske komponente

Naziv komponente	Količina
Prigušno nepovratni ventil, R1/4, Ø8	4 komada
Cilindar CP96	2 komada
SY5420 – elektromagnetski razvodnik 5/3	2 komada
Konektor-EN K43-30	4 komada
Prigušnik buke AN10-01	4 komada
L metalni priključak, Ø8, R1/8	6 komada
Crijevo za zrak, Ø8	7 metara
Regulator pritiska s filtrom	1 komad

### 1.1. Površina za udaranje

Površina za udaranje mora biti izrađena dovoljno čvrsto da se ne savije ili da prilikom udaranja ne dođe do puknuća, no isto tako mora biti i dovoljno mekana da ne bi došlo do povrede vježbača. Iz spomenutih razloga odlučeno je koristiti lijepljenu dasku koja će dati potrebnu čvrstinu, a na nju će se zalijepiti meka podloga kakva se koristi u rekvizitima i opremi za taekwondo. Spomenuta daska izrezana je u obliku kotača, a debljine je 15 mm i promjera 200 mm [Slika 32].

Mekana podloga za udaranje koja se lijepi na dasku izrezana je iz borilačkog oklopa i fokusera za udaranje [Slika 32]. Materijal koji se nalazi u oklopu je čvrst, no mekan na udarac, a fokuser sadrži dodatnu spužvu koja je pridonijela ublažavanju udarca.



Slika 32. Materijali za izradu površine za udaranje

Montaža ove površine za udaranje bit će izvedena uz pomoć matice koja je utisnuta u dasku [Slika 33]. Matica se zatim montira na klipnjaču koja na sebi ima navoj M12, a da se spriječi odvrtanje matice, koristi se takozvana kontra-matica. To je zapravo samo dodatna matica koja se pritegne zajedno s maticom koja je uprešana u dasci i tako spojene i pritegnute tvore vijčani spoj koji se teško može slučajno odvinuti tijekom vježbanja.

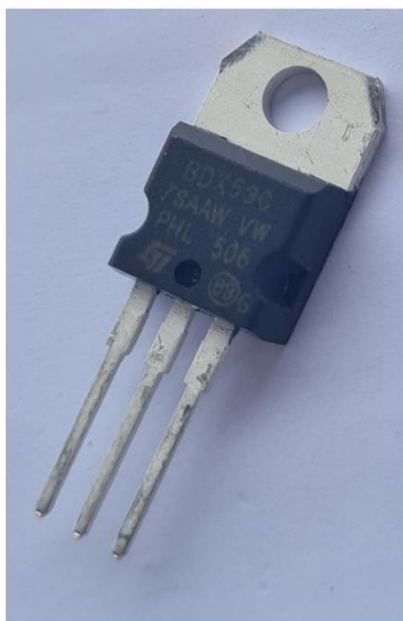


Slika 33. Izrađene površine za udaranje

### 3.3 Spajanje mikrokontrolera i elektronike

Kao što je već spomenuto, odabrani mikrokontroler radi na naponu od 5 V istosmjerne struje. Za njegovo napajanje odabrana je baterija napona 9 V koja je spojena na ulaz koji može primiti napon od 7 do 12 V, a mikrokontroler na sebi ima elemente koji će ulazni napon zatim spustiti na 5 V kako bi se uskladio rad.

S druge strane, ventili rade na naponu od 24 V istosmjerne struje. Njihovo napajanje izvedeno je pomoću pretvarača izmjenične struje u istosmjernu struju. Pretvarač ima ulaz na koji dolazi izmjenična struja iz utičnice napona 220 V koju on zatim spušta na 24 V i pretvara je u istosmjernu struju. Sve pozitivne žice ventila spojene su zajedno i na njih je dovedena pozitivna struja iz pretvarača. Minus koji dolazi iz pretvarača spojen je, preko ploče za spajanje, s minusom koji dolazi iz mikrokontrolera. Iz mikrokontrolera izlaze četiri žute žice koje su spojene na ploču za spajanje i preko nje su dalje spojene s tranzistorom [Slika 34].



**Slika 34. Korišteni tranzistor „BDX53C“**

Odabrani su tranzistori „BDX53C“ koji su zapravo bipolarni „NPN“ tranzistori. To znači da imaju negativnu – pozitivnu – negativnu konfiguraciju pinova. Na dva pina spojene su žice kroz koje želimo da struja teče, a na jedan pin spojena je žica koja će tranzistoru dati signal da propusti struju kroz druga dva pina. Ovakav tranzistor može raditi pri naponu od 100 V, a napon koji će se kroz njega puštati neće biti veći od 24 V [17].

Na prvi konektor tranzistora (engl. *base*) dolazi žica koja je na mikrokontroleru spojena na minus. Preko tog spoja, mikrokontroler poslat će signal tranzistoru da on može propustiti struju kroz žice koje su spojene na druga dva konektora. Glavni minus (onaj koji je na ploču za spajanje spojen s mikrokontrolerom i s pretvaračem) spojen je na treći konektor na tranzistoru (engl. *emitter*). Drugi konektor (engl. *collector*) je onaj kroz koji će struja poteći na ostale elemente nakon što mikrokontroler da signal tranzistoru da to učini. Na njega su spojeni ventili i led lampice i kada tranzistor propusti struju kroz taj spoj, strujni krug će se zatvoriti i elementi u tom strujnom krugu imat će struju potrebnu za ispravan rad. Minus žica je spojena direktno na ventile, a između led lampica i tranzistora stavljeni su otpornici iz razloga što su led lampice također spojene na napon od 24 V, a za rad im je potrebno do 3 V. Spojeni otpornici pružaju otpor toku električne struje od 2200  $\Omega$ .

Još jedan element koji se nalazi u čitavom krugu je i gumb za pokretanje programa. Taj gumb spojen je s mikrokontrolerom tako da su s jedne strane minus i plus koji dolaze s mikrokontrolera, a s druge strane je žica koja je spojena na mikrokontroler. Preko te žice mikrokontroler dobiva signal. Kada je gumb pritisnut, strujni krug je zatvoren i mikrokontroler dobiva signal, a kada gumb nije pritisnut, struja ne teče i mikrokontroler ne dobiva signal.

Sve spomenute komponente elektronike bit će smještene u plastičnoj kutiji dimenzija 300x250 mm [Slika 35]. Komponente će prvo biti učvršćene na plastičnu ploču koja će se montirati u kutiju. Ovakva montaža olakšava manipulaciju komponentama. Na kutiji je potrebno izbušiti dodatne rupe kroz koje će prolaziti žice i prekidači, a potrebno je i osmisliti način na koji će se mikrokontroler moći jednostavno uključiti u računalo kako bi se, ako će biti potrebno, programski kod mogao lakše promijeniti i doraditi.



**Slika 35. Kutija za smještaj upravljačkog sustava i elektronike**



### 3.4 Programski kod za mikrokontroler

Kod je napisan u programu „Arduino IDE“ i on mikrokontroleru daje upute za rad. Pisanje koda programskim jezikom koji koristi „Arduino IDE“ ne razlikuje se mnogo od pisanja programskim jezicima „Python“ ili „Java“.

U kodu su se prvo definirale varijable koje će se koristiti i pridodani su pinovi mikrokontrolera na koje će se te varijable referirati [Slika 36]. Korištene su dvije vrste varijabli:

- int
- long

Varijable koje su napisane uz „int“ su cijeli brojevi bez decimalnih mjesta (engl. *Integer*), a mogu se koristiti i za vrijednosti tipa 0 ili 1 ako želimo definirati stanje neke varijable. Često se umjesto 0 i 1 piše „LOW“ i „HIGH“ kao što je napisano za varijablu „stanje“. Veličina „int“ varijable kod korištenog mikrokontrolera je 16 bita (brojevi od -32.768 do 32.768). Varijable tipa „long“ koriste se za brojeve koje „int“ ne obuhvaća, a veličine su 32 bita (od -2.147.483.648 do 2.147.483.647) [18].

```
//za gumb
int gumb = 2;           // gumb je pin 2
int val = 0;           // početna vrijednost za gumb je 0
int stanje = LOW ;    // početno stanje je bez signala

// za ventile
int solxa = 10;        // cilindar x klip vani
int solxb = 11;        // cilindar x klip unutra
int solya = 12;        // cilindar y klip vani
int solyb = 13;        // cilindar y klip unutra
long n;                // za delay prije izbacivanja klipnjače
long randNumb;        // za random broj za delay prije izbacivanja klipnjače
long cilNumb;         // za random broj za odabir cilindra
int i;                // za for petlju, brojač
```

Slika 36. Definirane varijable u programskom kodu

Sljedeći dio koda nalazi se pod dijelom „setup“ [Slika 37]. Funkcija „setup“ koristi se za definiranje ulaznih i izlaznih varijabli pa je tako varijabla „gumb“ definirana kao ulazna varijabla. To bi značilo da će mikrokontroler očitavati stanje te varijable i djelovati sukladno očitanoj vrijednosti i uputama iz koda. S druge strane, varijabla „solxa“ definirana je kao izlazna varijabla pa mikrokontroler preko nje šalje signal i daje upute ostalim elektroničkim

elementima kako da postupe. Funkcija „setup“ pokreće se samo jednom nakon pokretanja mikrokontrolera ili nakon njegovog ponovnog pokretanja.

```
void setup() {  
  
    pinMode(gumb, INPUT);           // varijabla gumb na pinu 2 prima upute iz gumba, input je  
  
    pinMode(solxa, OUTPUT);         // varijabla solxa na pinu 10 daje upute tranzistoru, output je  
    pinMode(solxb, OUTPUT);         // varijabla solxb na pinu 11 daje upute tranzistoru, output je  
    pinMode(solya, OUTPUT);         // varijabla solya na pinu 12 daje upute tranzistoru, output je  
    pinMode(solyb, OUTPUT);         // varijabla solyb na pinu 13 daje upute tranzistoru, output je  
  
}
```

**Slika 37. „Setup“ dio koda**

Slijedi dio s funkcijom „loop“ koja sadrži glavni dio koda [Slika 38]. Kod koji je napisan ovdje iznova se pokreće sukladno uputama i preko njega se zapravo definira rad mikrokontrolera. U prvom dijelu funkcije varijabla „val“ poprimat će vrijednost koja je očitana iz pina „gumb“.

Ovo se radi pomoću funkcije „digitalRead“. Slijedi funkcija „if“ koja govori: ako je varijabla „val“ jednaka stanju „HIGH“, tj. ako je gumb pritisnut, nastavi dalje s izvršavanjem. Ukoliko je gumb pritisnut, utoliko će se u sljedećem redu varijabla „stanje“ promijeniti u suprotnu vrijednost pa više neće biti „LOW“ nego će postati „HIGH“. Ovako mikrokontroler ima zapamćeno stanje u kojem je gumb pritisnut i izvršit će cijeli kod do kraja prije nego ponovno očita vrijednost na pinu „gumb“ i shvati da gumb fizički nije pritisnut pa će izvršavanje koda stati. Linija nakon sadrži funkciju „delay“ kojom se odgađa daljnje izvođenje koda za zadani broj milisekundi. U ovom slučaju odabrano je odgađanje od 5000 ms, tj. 5 sekundi kako bi se vježbač mogao pripremiti za vježbu.

Sljedeći dio koda služi za vraćanje klipnjača u početni položaj u slučaju da se u njemu ne nalaze. To se radi tako da se ventilima šalje signal koji im govori u kojem položaju moraju biti da bi protok zraka vratio klipnjače u cilindre. Pinovi koji vraćaju klipnjače u cilindre su „solxb“ i „solyb“ pa se oni stavljaju u stanje „HIGH“ što znači da na njih dolazi struja. Takvo stanje zadržava se 450 milisekundi kako bi se osiguralo da su se klipnjače uistinu do kraja vratile.

Nakon toga se stanje „HIGH“ mijenja u stanje „LOW“ što će prekinuti tok struje i ventili će biti u nultom (početnom) položaju koji osigurava da cilindar nije pod tlakom.

Kada je osigurano da je sustav spreman za početak izvođenja vježbe, kreće funkcija „for“. Ova funkcija napisana je tako da se uzima varijabla „i“ čija je početna vrijednost 1 i petlja se vrti dok god je varijabla „i“ manja ili jednaka 10. Nakon svakog izvođenja petlje vrijednost varijable „i“ poveća se za 1. U ovom slučaju to bi značilo da se čitava „for“ petlja izvršava deset puta.

Sljedeći generiranje nasumičnog broja pomoću funkcije „random“. Dobiveni nasumični broj bit će jednak ili veći od 10 i manji od 50, a pohranit će se pod varijablom „randNumb“. Linija ispod definira varijablu „n“ kao umnožak prije dobivenog nasumičnog broja i broja 100. Tom operacijom dobit će se broj koji će biti jednak ili veći od 1000 i manji od 5000, a razmak između brojeva bit će stotica. Sljedeća linija koda je još jedno generiranje nasumičnog broja, ali ovaj put će taj broj biti 1 ili 2 i predstavljat će cilindar koji će biti radni u ovom slučaju. Ovih par linija koda osigurava nasumičan odabir cilindra i nasumično vrijeme izbacivanja klipnjača. Ovakvim pristupom se vježbač neće naviknuti na određene intervale i ponavljanja nego će svako izbacivanje klipnjače biti takoreći novo iskustvo.

```
void loop() {
  val = digitalRead(gumb);           // očitava vrijednost gumba, kad se gumb pritisne, program kreće
  if (val == HIGH) {                 // ako je pritisnut
    stanje = !stanje;                // ! znači da mijenja stanje u suprotno
    delay(5000);                     // delay od 5 sekundi da se vježbač pripremi

    digitalWrite(solxb, HIGH);       // vraća klipnjaču x unutra prije pokretanja programa ako je slučajno ostala vani
    digitalWrite(solyb, HIGH);       // vraća klipnjaču y unutra prije pokretanja programa ako je slučajno ostala vani
    delay(450);                       // čeka 0,45 sek da smo sigurni da su cilindri odradili
    digitalWrite(solxb, LOW);         // vraća ventil u multi položaj - nema pritiska
    digitalWrite(solyb, LOW);         // vraća ventil u multi položaj - nema pritiska

    for (int i=1; i<=10; i++) {      // kad se gumb pritisne, for se izvodi 10 puta

      randNumb = random(10,50);       // daje nasumičan broj od 10 do 49
      n = randNumb*100;               // množi taj broj sa 100 da se dobije vrijeme s korakom od desetinke sekunde- npr za 41 = 4100ms = 4,1 sek
      cilNumb = random(1,3);          // daje random broj od 1 do 2- 1 je cilindar x, 2 je cilindar y
    }
  }
}
```

**Slika 38. „Loop“ dio koda – prvi dio**

Nakon što se odabrao nasumičan broj cilindra, kreće daljnje izvođenje funkcija „if“ unutar „for“ petlje [Slika 39]. Struktura koda je ista za slučaj kada je odabran cilindar 1 kao i kada je odabran cilindar 2. Prva na red dolazi funkcija „delay“ za prije definiran broj milisekundi „n“. Nakon toga šalje se signal na ventil za izvlačenje klipnjače iz cilindra i čeka se 450 milisekundi kako

bi se osiguralo da je klipnjača do kraja izvučena. Nakon toga se signal prestaje slati i ventil se vraća u nulti položaj u kojem ostaje 3 sekunde. U cilindar sada ne dolazi zrak pod tlakom kako vježbač ne bi udario u tvrdu površinu. Spomenuto vrijeme od 3 sekunde je ono vrijeme koje vježbač ima za reakciju na udarnu površinu prije nego se pošalje signal na ventil da se klipnjača vrati nazad u cilindar. Ponovno se čeka 450 milisekundi da se osigura potpuno vraćanje klipnjače u cilindar, a nakon toga prestaje slanje signala i ventil se vraća u nulti položaj.

```
if (cilNumb == 1) { // ako je cilindar x onda
    delay(n); // čeka nasumičan broj sekundi
    digitalWrite(solxa, HIGH); // klipnjača x van
    delay(450); // čeka 0,45 sek da smo sigurni da je cilindar odradio
    digitalWrite(solxa, LOW); // vraća ventil u nulti položaj - nema pritiska
    delay(3000); // čeka 3 sek
    digitalWrite(solxb, HIGH); // vraća klipnjaču x unutra
    delay(450); // čeka 0,45 sek da smo sigurni da je cilindar odradio
    digitalWrite(solxb, LOW); // vraća ventil u nulti položaj - nema pritiska
    delay(1000); // čeka 1 sek
}

else { // ako nije cilindar 1 onda je cilindar 2, tj y
    delay(n); // čeka nasumičan broj sekundi
    digitalWrite(solya, HIGH); // klipnjača y ide van
    delay(450); // čeka 0,45 sek da smo sigurni da je cilindar odradio
    digitalWrite(solya, LOW); // vraća ventil u nulti položaj - nema pritiska
    delay(3000); // čeka 3 sek
    digitalWrite(solyb, HIGH); // vraća klipnjaču y unutra
    delay(450); // čeka 0,45 sek da smo sigurni da je cilindar odradio
    digitalWrite(solyb, LOW); // vraća ventil u nulti položaj - nema pritiska
    delay(1000); // čeka 1 sek
}
}
}
```

Slika 39. „Loop“ dio koda – drugi dio

Korištene komponente za upravljački sustav i sustav elektronike prikazane su u [Tablica 3].

**Tablica 3. Upravljačke komponente i komponente za električni sustav**

Naziv komponente	Količina
Ploča za spajanje	1 komad
Mikrokontroler „Geekcreit UNO R3“	1 komad
Žica za spajanje pinova	17 komada
Žica 0.75	2 m
Pretvarač AC/DC	1 komad
Kabel za spajanje ventila (s diodom i lampicom)	4 komada
Tranzistor BDX53C	4 komada
Led lampica	4 komada
Otpornik 2200 $\Omega$	4 komada
Kabel za dovod struje	2 m
Kutija za smještaj upravljačkog sustava i elektronike	1 komad
Prekidač za struju	2 komada
Gumb za aktivaciju koda	1 komad
Stopica za spajanje žice	12 komada

## 4 TESTIRANJE I PUŠTANJE U RAD

Prije sklapanja cijelog sustava bilo je potrebno provjeriti rade li sve komponente na zamišljeni način. S tom svrhom provedeno je testiranje ventila, cilindara i upravljačkog sustava. Cilindri su, kao i ventili, testirani direktnim spajanjem zraka, a sustav upravljanja testiran je pomoću led lampica. Ako svi provedeni testovi zadovolje, sustav će biti sklopljen i pušten u rad.

### 4.1 Testiranje cilindara i ventila

Kao što je spomenuto, cilindri su bili testirani direktnim spajanjem dovoda zraka naizmjenično prvo na jedan, a zatim na drugi ulaz. Cilindar radi pri tlaku zraka do 10 bar, a pri testiranju tlak je bio postavljen na 4 bar. Kada se spojio dovod zraka na prvi ulaz klipnjača je izašla van [Slika 40], a spajanjem dovoda zraka na drugi ulaz, klipnjača se vratila nazad u cilindar [Slika 41]. Test je proveden na oba cilindra koji su svojim radom zadovoljili test.



Slika 40. Test cilindra – izlaz klipnjače

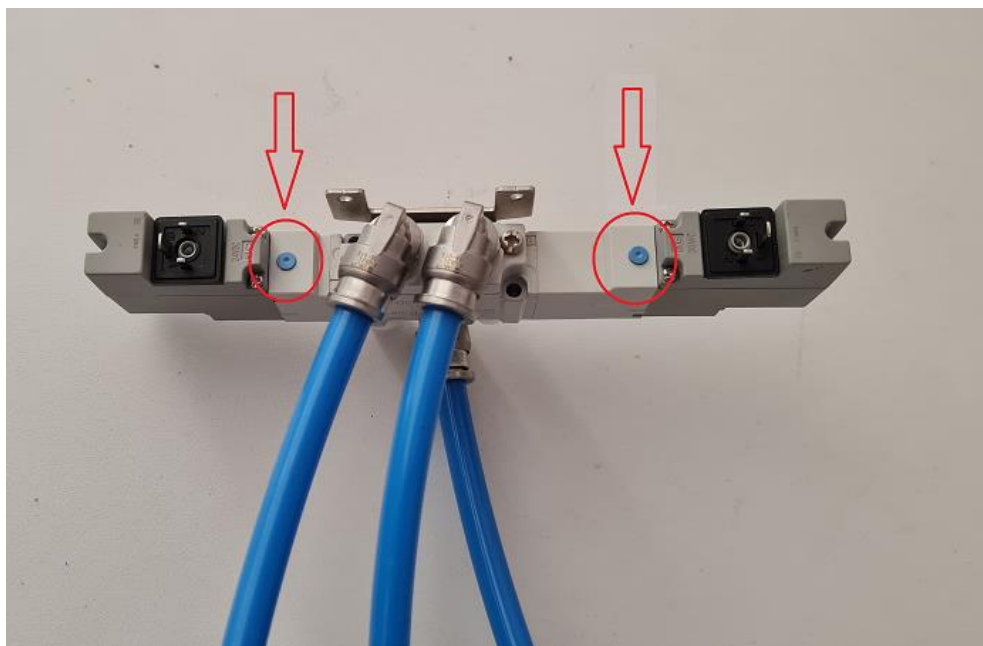


**Slika 41. Test cilindra – vraćanje klipnjače**

Nakon testa cilindra, uslijedilo je testiranje ventila. Ventili su testirani na tri načina:

- dovodom zraka bez dovoda električne struje
- dovodom električne struje bez dovoda zraka
- dovodom električne struje i dovodom zraka.

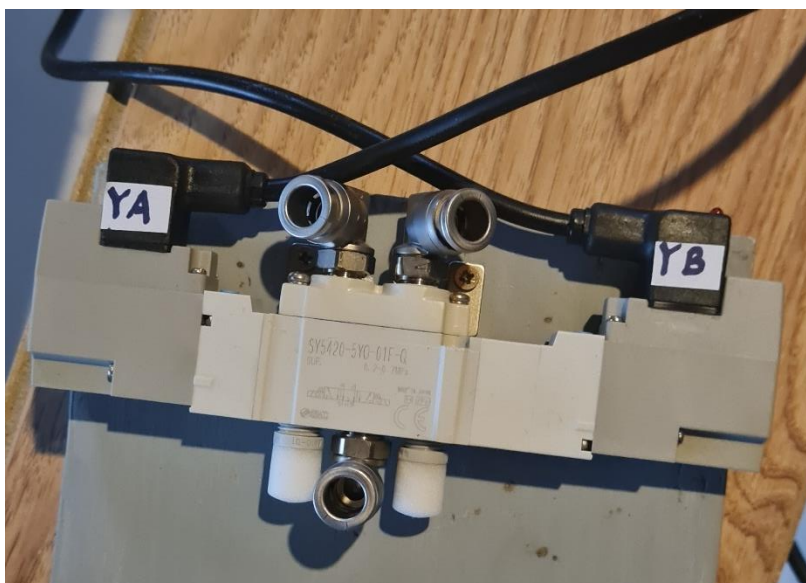
Prvi način proveden je pomoću gumbića za aktiviranje ventila. Zrak se spoji na ulaz i pritiskom na jedan od dvaju gumbića ventil se aktivira što uzrokuje propuštanje zraka na jedan od izlaza. Gumbići za aktivaciju prikazani su na [Slika 42]. Sukladno tome, pritiskom lijevog gumbića zrak putuje kroz lijevu cjevčicu, a pritiskom desnog gumbića zrak putuje kroz desnu cjevčicu. Ventil radi na tlaku od 2 bar do 7 bar, a radni tlak pri testiranju bio je 4 bar.



**Slika 42. Test ventila – pomoću gumbića**

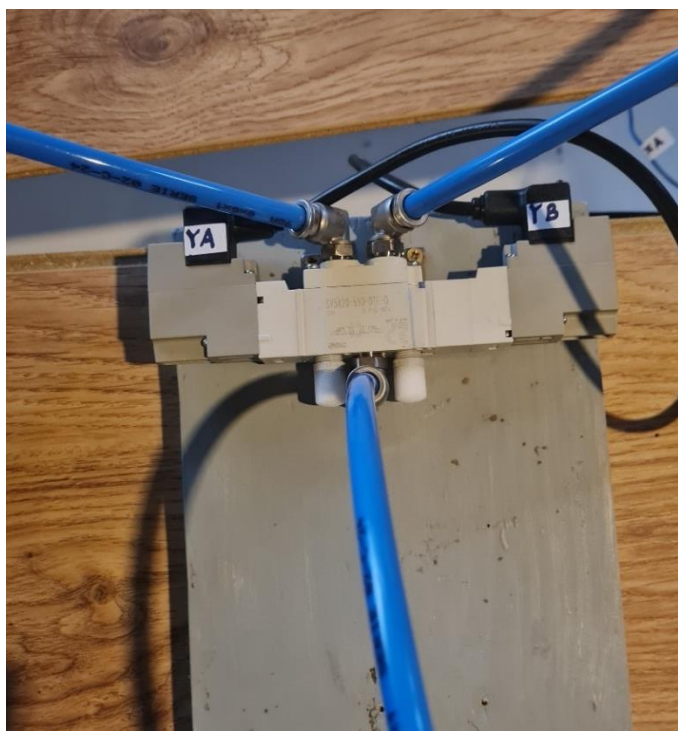
Drugi način bio je dovođenje električne struje ventilu. Ventili rade na istosmjernoj struji napona 24 V. Pri spajanju struje potrebno je paziti da se ne dovede prevelik napon i da se pravilno spoje pozitivni i negativni konektori. Kablovi za spajanje ventila u sebi sadrže diode kako ne bi došlo do povrata struje uzrokovane elektromagnetskim djelovanjem i imaju ugrađenu led lampicu kako bi se vidjelo kada je ventil aktiviran. Struja je prvo dovedena na jednu stranu ventila, lampica se upalila i čuo se zvuk aktiviranja ventila, kada je dovod struje prekinut, lampica se ugasila i čuo se zvuk vraćanja ventila u početni položaj [Slika 43]. Ovaj test proveden je na obje strane ventila i obje strane su reagirale sukladno očekivanju.





**Slika 43. Test ventila – reakcija na dovedenu struju**

Posljednji, treći način, podrazumijevao je spajanje ventila na dovod zraka i na električnu struju. Prvo je spojen zrak na ulazni priključak, a zatim se, dovođenjem struje naizmjenično na lijevi i desni kraj ventila, testirao rad [Slika 44]. Tlak zraka ponovno je bio 4 bar, a upravljački signal napona 24 V.



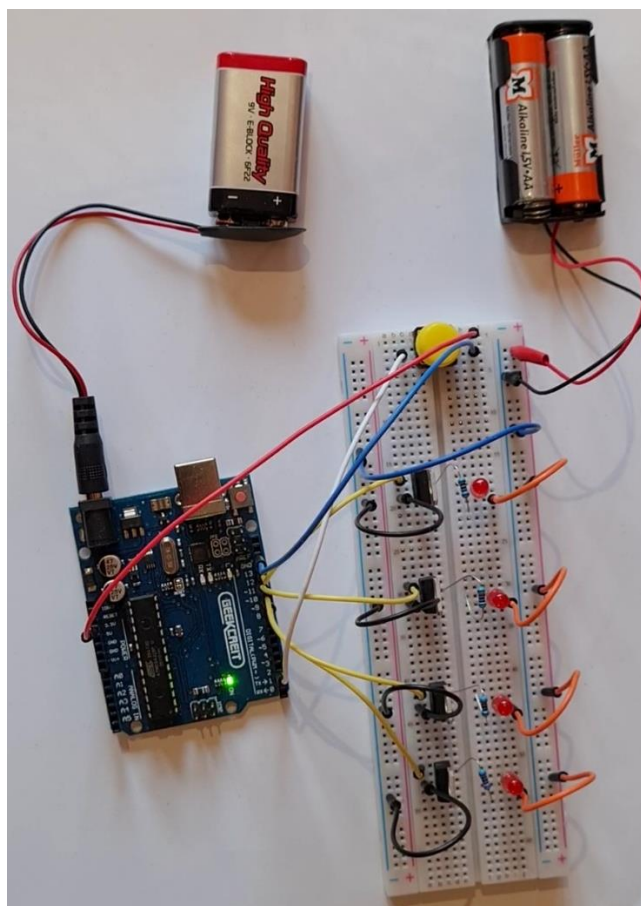
**Slika 44. Test ventila – doveden zrak i upravljački signal**

## 4.2 Testiranje koda i upravljačkog dijela

Nakon što je kod napisan i pohranjen na mikrokontroler, bilo je potrebno programski kod testirati u radu. Testiranje je provedeno u dva koraka:

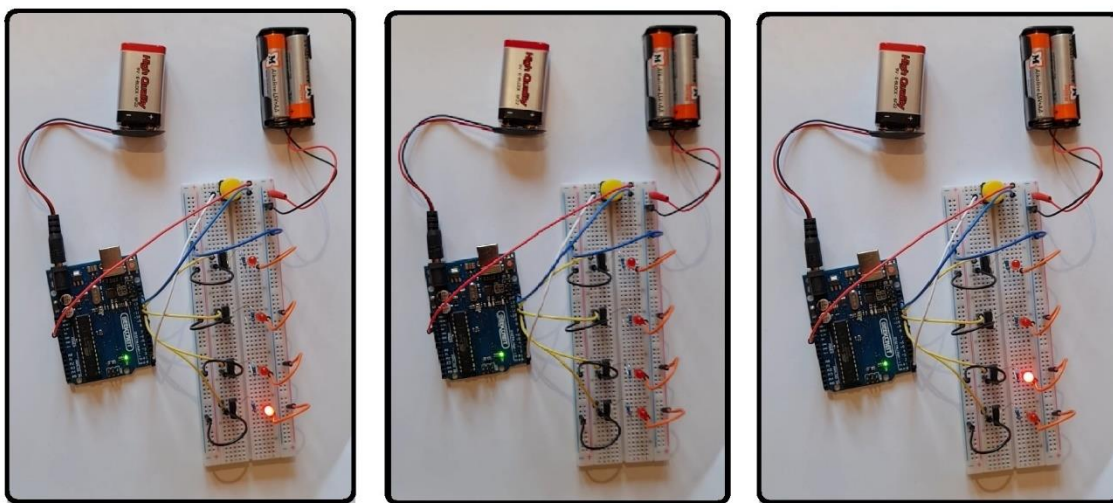
- testiranje s led lampicama
- testiranje s ventilima bez dovoda zraka.

Prvo testiranje provedeno je tako da su na ploču za spajanje spojeni tranzistori i led lampice na način na koji bi bili spojeni i ventili. Korištena su dva izvora napajanja, jedan napona od 3 V koji je bio spojen na led lampice i jedan od 9 V koji je pokretao mikrokontroler. Način spajanja vidljiv je na [Slika 45].

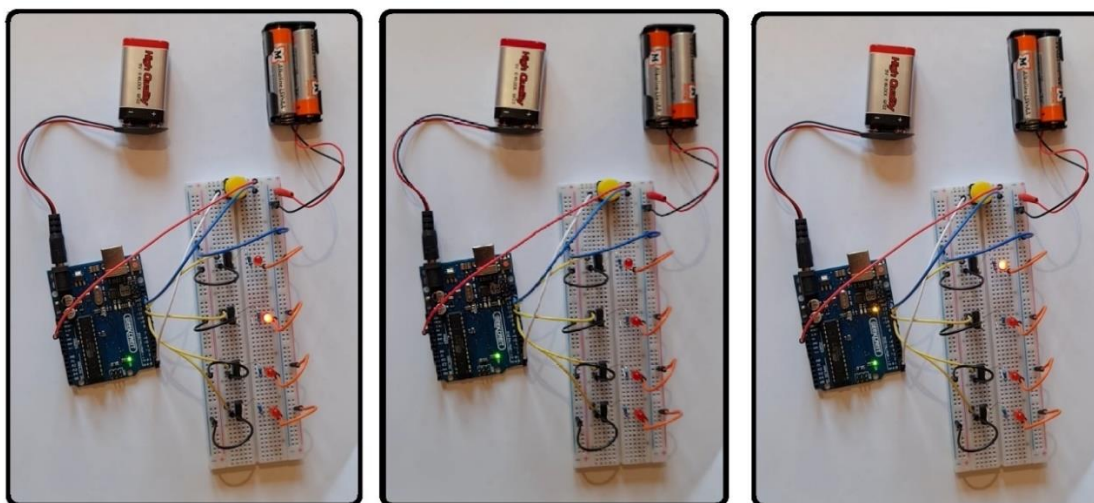


Slika 45. Testiranje upravljačkog dijela – samo lampice

Digitalni pinovi od 10 do 13 spojeni su svaki na svoj tranzistor. Tranzistori su spojeni na minus, a nakon što mikrokontroler određenom tranzistoru pošalje signal, on zatvara strujni krug s led lampicama koje tada zasvijetle. Lampice su s tranzistorom spojene preko minusa i otpornika, a plus im je spojen na odvojeni izvor struje. Na mikrokontroler je spojen i gumb koji pokreće izvršavanje koda. Gumb šalje signal mikrokontroleru na digitalni pin 2, a strujni krug se zatvara pomoću minusa i plusa koji na gumb dolaze s mikrokontrolera. [Slika 46] prikazuje način paljenja lampica za upravljanje prvim cilindrom. Pali se lampica koja predstavlja položaj ventila za izbacivanje klipnjače, zatim se lampica ugasi i nakon nekog vremena pali se lampica koja predstavlja vraćanje klipnjače u cilindar jedan, zatim se i ta lampica ugasi i zamišljeni ventil je u početnom položaju. Simulacija za cilindar dva ima isti princip rada kao i kod cilindra jedan [Slika 47].

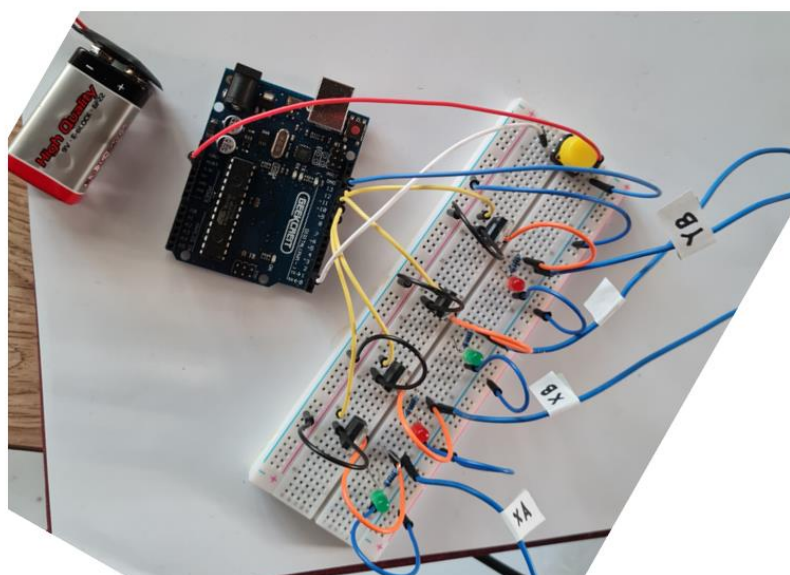


Slika 46. Testiranje upravljačkog dijela – aktivacija „X“ ventila



Slika 47. Testiranje upravljačkog dijela – aktivacija „Y“ ventila

Drugo testiranje uključivalo je dodatno spajanje ventila na postav iz prvog testa (uz par preinaka) [Slika 48]. Izvor struje za ventile i lampice sada je dolazio iz pretvarača i napon je bio 24 V pa su bili potrebni i jači otpornici za lampice. Ostale komponente bile su iste. Cilj ovog testa bio je vidjeti hoće li se ventili uključivati istim redom kao i lampice. Testiranje je bilo uspješno što se moglo vidjeti po led lampicama koje su se palile na kablovima koji spajaju ventile sa sustavom i po zvuku koji su ventili proizvodili prilikom uključivanja i isključivanja.



Slika 48. Testiranje upravljačkog dijela – s ventilima

### 4.3 Spojeni sustav i puštanje u rad

Nakon što su testovi uspješno provedeni, sustav je spojen i testiran kao cjelina [Slika 49]. Iako je ovo bio prvi put da je cjelokupni sustav pušten u rad kao cjelina, sve je proteklo prema planu i očekivanju pa tako nije bilo nikakvih problema. U prvom testu nije se reagiralo na izbačaj klipnjače, već je sustav pušten da sam prođe kroz cijeli kod i završi jedan proces od deset ponavljanja.



Slika 49. Konačan izgled sprave za vježbanje

Sljedeće testiranje obuhvaćalo je i reakciju na rad klipnjače. Sve je još jednom proteklo u redu i sustav je svoju zadaću odradio kao što je bilo i predviđeno. Jedine preinake koje su napravljene bile su podešavanje visine oba cilindra kako bi bolje odgovarali vježbaču.

Nakon što su prva dva testa uspješno provedena, bilo je vrijeme za isprobati sustav u taekwondo klubu. Stoga je treće testiranje provedeno u prostorijama taekwondo kluba „Plamen Pušća“ gdje su priliku za vježbanje na sustavu dobila djeca osnovnoškolskog uzrasta. Svi vježbači koji su dobili priliku isprobati sustav izrazili su svoje oduševljenje.

Četvrto i konačno testiranje provedeno je u prostorijama taekwondo kluba „Zaprešić“ [Slika 50]. Ovdje su sustav isprobali taekwondoaši i taekwondoašice juniorskog i seniorskog uzrasta koji aktivno sudjeluju na natjecanjima, a neki od njih nedavno su nastupili i na europskom taekwondo prvenstvu. Nakon odrađene vježbe na sustavu iskazali su zadovoljstvo, a organizirano je i malo natjecanje. Štopericom se mjerilo vrijeme koje je prošlo od izlaska klipnjače do udarca nogom pa su se rezultati kasnije usporedili.



**Slika 50. Trening na spravi za vježbanje**

S juniorima i seniorima su, osim samo vježbe kružnog udarca nogom, odrađene i vježbe bočnog udarca nogom i udarca šakom. Udarci šakom rađeni su samo na visini oklopa, a bočni udarac rađen je na visini oklopa i glave. Testiranje je prošlo bez poteškoća i svi su izrazili želju za ponovnim korištenjem ovog pneumatskog sustava za vježbanje brzine reakcije u borilačkim sportovima.

## 5 ZAKLJUČAK

Primarni cilj ovog rada bio je osmisliti pneumatski sustav koji bi se mogao koristiti za vježbanje brzine reakcije u borilačkim sportovima i, po mogućnosti, taj isti sustav realizirati. Nakon izrade grube skice i osmišljavanja cijelog sustava pristupilo se i izradi. Sama izrada konstrukcije i pisanje koda za mikrokontroler prošla je glatko i ubrzo je cijeli sustav realiziran u stvarnosti i izrađena je sprava za vježbanje.

Po završetku nekoliko testova, podešavanja radnog tlaka i vremena uključivanja ventila, sustav je doveden na razinu na kojoj se može primjenjivati u praksi i koristiti za vježbanje. Iako je sami cilj rada bio realizirati eksperimentalni sustav, realiziran je i konkretan inovativan proizvod.

Sustav je korišten na nekoliko treninga taekwondo i sve je funkcioniralo u skladu s očekivanjima. Vježbači su iskazali zadovoljstvo što su imali mogućnost isprobati nešto novo i nešto sa čime do sad nisu imali doticaja.

Uzevši iznad navedene činjenice izrada ovog rada bila je uspješna i veoma poučna. Od ideje na papiru došlo se do potpuno funkcionalnog automatiziranog pneumatskog sustava za vježbanje brzine reakcije u borilačkim sportovima. Programski kod može se lako mijenjati i podešavati, a to spravi za vježbanje daje dodatnu fleksibilnost pri radu i namjeni.

Jedna od preinaka koje bi se mogle napraviti je umetanje prekidača ili gumbića za ponovno pokretanje koda. Također, led lampice na ploči za spajanje, koje su trenutačno unutar kutije s elektroničkim komponentama, mogle bi se staviti na vidljivo mjesto (kroz dodatno izbušene rupe na kutiji).

Jedna od zahtjevnijih nadogradnji od prije spomenutih mogla bi biti ugradnja pločica koje reagiraju na udarac. Te pločice mogle bi se ugraditi u površinu za udaranje i pomoću njih bi se dobila precizna mjerenja koja bi pokazala kolika je brzina reakcije vježbača i ostvarila bi se prilika za sustavno praćenje napredovanja. Još jedna od mogućih nadogradnji je i postavljanje malenog monitora koji bi sve te dobivene vrijednosti i informacije ispisao kako ih mikrokontroler prikuplja. To bi dodatno olakšalo praćenje rezultata i napretka. Nadalje, iako je sustav prvenstveno osmišljen za vježbanje brzine reakcije, ugradnjom senzora u površinu za udaranje postalo bi moguće pratiti i preciznost udaraca.

Posebnost ovog sustava je ta što je glavna namjena ostvarena, ali je time ujedno stvorena i baza na koju je moguće nadograditi razne komponente i proširiti namjenu ovog uređaja.



## LITERATURA

- [1] <https://www.britannica.com/sports/martial-art>, Pristupljeno: 10. studenog 2021.
- [2] <https://brucelee.com/bruce-lee>, Pristupljeno: 10. studenog 2021.
- [3] <https://www.scmp.com/magazines/style/celebrity/article/3102595/why-bruce-lee-might-really-be-father-mma-ufc-president>, Pristupljeno: 10. studenog 2021.
- [4] <https://wayofmartialarts.com/which-martial-arts-are-at-the-olympics/>, Pristupljeno: 10. studenog 2021.
- [5] Horvat V, Jenko Miholić S. Taekwondo u predškolskoj dobi, Poreč, 2016.
- [6] <https://www.taekwondo.hr/olimpijske-igre-tokyo-matea-jelic-olimpijska-pobjednica/>, Pristupljeno: 10. studenog 2021.
- [7] Nobile T. Taekwondo. Beograd: Igro „Sportska knjiga“; 1987.
- [8] <http://www.zagrebackitaekwondosavez.hr/index.php?start=120>, Pristupljeno: 10. studenog 2021.
- [9] <http://www.taekwondo.hr/>, Pristupljeno: 10. studenog 2021.
- [10] Stepan CA. Taekwondo. Zagreb: Znanje; 2003.
- [11] <https://www.bluedragontkd.net/learn/chagikicking.html>, Pristupljeno: 10. studenog 2021.
- [12] Nikolić G. Pneumatika. Zagreb: Školske novine; 2008.
- [13] Korbar R. Pneumatika i hidraulika. Karlovac: Veleučilište u Karlovcu; 2007.
- [14] <https://www.smc.eu/en-eu/products/aw10-40-a-aw-filter-regulator-combination~89356~cfg>, Pristupljeno: 15. studenog 2021.
- [15] [http://www.torus-pneumatika.hr/cijevi\\_i\\_prikljucci.htm](http://www.torus-pneumatika.hr/cijevi_i_prikljucci.htm), Pristupljeno: 10. studenog 2021.
- [16] <https://www.schrack.hr/trgovina/ispravljac-1-fazni-230-24vdc-1-5a-montaza-na-din-nosac-lp746201.html>, Pristupljeno: 10. studenog 2021.
- [17] <https://alltransistors.com/transistor.php?transistor=26289>, Pristupljeno: 10. studenog 2021.
- [18] <https://www.arduino.cc/reference/en/>, Pristupljeno: 10. studenog 2021.