

Mehatronički sustav bejzbolskog udarača

Žalac, Petar

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:576283>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)/[Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-15**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Petar Žalac

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Željko Šitum

Student:

Petar Žalac

Zagreb, 2024.

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

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Željku Šitumu na pruženoj prilici te mentorstvu pri izradi ovog završnog rada.

Zahvaljujem se i svojoj obitelji, kolegama i prijateljima na potpori tijekom svih godina studiranja, a posebno igračima i prijateljima Baseball kluba Vindija iz Varaždina na potpori što se tiče fakulteta te ljubavi prema baseballu zbog koje se rodila i sama ideja završnog rada.

Petar Žalac



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: **Petar Žalac**

JMBAG: **0035225562**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Mehatronički sustav bejzbolskog udarača**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Mechatronic system of baseball batter**

Opis zadatka:

Bejzbol (eng. *baseball*, složenica je riječi *base* što znači baza i riječi *ball* što znači lopta) je igra između dvije momčadi od kojih svaka ima po devet igrača u igri, a u kojoj se loptica udara palicom. Osnovni cilj igre je da ekipa u napadu udari bačenu lopticu na način da prije nego što suparnička obrana uhvati lopticu, igrači napada 'osvoje' neku od četiri označene baze. Bejzbol je osebujan i zanimljiv sport koji uživa ogromnu popularnost u Sjevernoj Americi i Japanu, a osamdesetih godina prošlog stoljeća osnovani su bejzbol klubovi i u nekoliko hrvatskih gradova. Složenost izvedbe tehničkih elemenata (udaranje loptice, igra u obrani, bacanje loptice, trčanje po bazama) zahtijeva od igrača visoku razinu motoričkih sposobnosti kao što su brzina, okretnost, snaga, preciznost i izdržljivost. Kada bacač (eng. *pitcher*) pusti lopticu iz ruke, udarač (eng. *batter*) ima vrlo kratko vrijeme (oko 200 ms) da je locira te pretpostavi brzinu, rotaciju i putanju loptice kako bi izveo pravilan zamah i kvalitetan udarac palicom. Stoga bi bilo korisno osmisliti kinematiku konceptualnog mehanizma koji bi predstavljao trup stvarnog bejzbol udarača te izraditi mehatronički sustav koji bi mogao unaprijediti trening igrača.

U radu je potrebno:

- Predložiti tehničko rješenje kinematike mehanizma koji bi predstavljao trup bejzbolskog udarača. Mehanizam bi se sastojao od okretne baze, vertikalnog nosača koji predstavlja ljudsku kralježnicu, horizontalnog nosača koji predstavlja ramena na koji se nastavljaju pomične ruke sastavljene od nadlaktice, podlaktice i pseudo šake koja drži palicu.
- Razmotriti mogućnost korištenja pneumatskih pogonskih elemenata za ostvarenje pokreta udarača te odabrati upravljačke komponente mehatroničkog sustava kojima se mogu podešavati funkcionalni pokreti pogonskih elemenata.
- Izraditi simulaciju pokreta mehatroničkog sustava bejzbolskog udarača.
- Realizirati eksperimentalni sustav i provjeriti funkcionalnost konceptualnog mehanizma.

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

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predvideni datumi obrane:

30. 11. 2023.

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

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

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Željko Šitum

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Damir Godec

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
1.1. Povijest i razvoj baseballa.....	1
1.2. Baseball u Hrvatskoj	2
1.3. Pravila baseballa	3
2. KONCEPT I ANALIZA KINEMATIKA ZAMAHA.....	6
2.1. Opis koncepta baseball udarača	6
2.2. Analiza zamaha u baseballu	7
2.3. Kinematika mehanizma baseball udarača	10
3. KONSTRUKCIJA KONCEPTA.....	16
3.1. Postolje.....	16
3.2. Trup udarača	17
3.3. Spoj ramena i nadlaktice udarača.....	18
3.4. Podlaktica udarača	18
3.5. Šaka udarača	19
4. PNEUMATSKI SUSTAV	20
4.1. Pneumatska shema koncepta.....	21
4.2. Kompresor.....	21
4.3. Cijevi.....	22
4.4. Pneumatski ventili.....	23
4.5. Pneumatski cilindri	24
4.5.1. Prijedlog rješenja za cilindre.....	26
4.6. Regulatori tlaka i protoka.....	27
5. SUSTAV UPRAVLJANJA	29
5.1. Upravljački uređaj PLC	29
5.2. Senzori	31
6. ZAKLJUČAK.....	33
LITERATURA.....	34
PRILOZI.....	36

POPIS SLIKA

Slika 1. Logo Major League Baseball-a (MLB)[2].....	1
Slika 2. Igrač baseballa Babe Ruth[3].....	2
Slika 3. Igrač baseballa Jackie Robinson[3].....	2
Slika 4. Baseball utakmica na splitkom Starom placu 1934. godine[6].....	3
Slika 5. Standardno baseball igralište[7].....	4
Slika 6. Model koncepta baseball udarača	6
Slika 7. Faze zamaha u baseballu[8]	7
Slika 8. Zamah Ken Griffey Juniora[9].....	8
Slika 9. Faze zamaha prikazane na konceptu u Solidworksu.....	10
Slika 10. Desnokretni pravokutni koordinatni sustav	11
Slika 11. Prikaz pojednostavljenog modela s koordinatnim sustavima	12
Slika 12. Prikaz pojednostavljenog modela u konačnom položaju	15
Slika 13. Prikaz postolja u Solidworksu.....	16
Slika 14. Prikaz trupa udarača.....	17
Slika 15. Prikaz spoja ramena i nadlaktice.....	18
Slika 16. Prikaz podlaktice.....	19
Slika 17. Prikaz modela šake udarača	19
Slika 18. Princip rada pneumatskog sustava[13]	20
Slika 19. Pneumatska shema koncepta.....	21
Slika 20. Simbol kompresora[14].....	22
Slika 21. Izgled poliamidnih pneumatskih cijevi[15]	22
Slika 22. Simboli 2/2 i 3/2 pneumatskih ventila[16].....	23
Slika 23. Različite konfiguracije ventila sa 4 i 5 priključaka[16]	23
Slika 24. Simbol aktivacije gumbom[17].....	24
Slika 25. Simbol aktivacije elektromagnetom[17].....	24
Slika 26. Simbol aktivacije pneumatikom[17].....	24
Slika 27. Simbol dvoradnog linearnog cilindra[17]	25
Slika 28. Simbol dvoradnog rotacijskog aktuatora[17].....	25
Slika 29. Pneumatski cilindar proizvođača FESTO[18]	26
Slika 30. Simbol regulatora tlaka	27
Slika 31. Jednosmjerni ventil za kontrolu protoka proizvođača FESTO	28
Slika 32. PLC Siemens SIMATIC S7-1200[20]	29

Slika 33. Prikaz Ladder dijagrama u programu TIA Portal[21].....	30
Slika 34. Prikaz PLC strukturalnog koda/teksta[22].....	30
Slika 35. Prikaz PLC funkcijskih blokova[23].....	30
Slika 36. Prikaz Siemens SIMATIC HMI ekrana	31

POPIS TABLICA

Tablica 1. Opis naziva cilindra[18]	26
-------------------------------------------	----

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

PZ-1-000 Koncept baseball udarača

PZ-1-101 Šaka

PZ-1-102 Poklopac šake

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
ω	rad/s	Kutna brzina
α	rad/s ²	Kutno ubrzanje
T	Nm	Moment zamaha
I	kgm ²	Moment inercije palice
v	m/s	Linearna brzina palice prilikom zamaha
r	m	Radijus od osi rotacije
E_{Rot}	J	Kinetička energija palice
m_p	kg	Masa palice
v_p	m/s	Brzina palice neposredno prije udarca
m_b	kg	Masa baseball loptice
v_b	m/s	Brzina loptice neposredno prije udarca
v'_p	m/s	Brzina palice nakon udarca
v'_b	m/s	Brzina loptice nakon udarca
a	m	Pomak u smjeru osi x
b	m	Pomak u smjeru osi y
c	m	Pomak u smjeru osi z
α	rad	Kutni zakret oko osi x
β	rad	Kutni zakret oko osi y
γ	rad	Kutni zakret oko osi z
q_i	rad	Kutni zakret upravljačke varijable
L_i	m	Duljine segmenata
R	matrica	Matrica rotacije
p	matrica	Vektor položaja
Δq	rad	Promjena kuteva upravljačke varijable
F	N	Sila koju cilindar može proizvesti
p	Pa	Tlak zraka
A	m ²	Površina poprečnog presjeka klipa
d	m ²	Promjer klipa cilindra
W	J	Rad cilindra
s	m	Hod klipa
Q	m ³ /s	Protok zraka

SAŽETAK

Ovaj završni rad bavi se razvojem i implementacijom mehatroničkog sustava za koncept baseball udarača, s naglaskom na projektiranje pneumatskog sustava za oponašanje zamaha palicom. U uvodnom dijelu opisana je povijest kratka povijest i razvoj baseballa u svijetu i Hrvatskoj. Tehnički dio rada započinje detaljnom kinematskom analizom zamaha te izvodom kinematskom modela baseball udarača. Predstavljena je konstrukcija koncepta gdje su opisani dijelovi koncepta, a to su postolje, trup, ramena, nadlaktica, podlaktica te šaka u kojoj se nalazi palica. Opisana je implementacija pneumatskog sustava koji se sastoji od tri linearna cilindra koji omogućuju rotacijsko gibanje zglobova mehanizma kako bi se ostvario mehanički zamah konstrukcije baseball udarača. Upravljanje i kontrola pneumatskog sustava izvršavat će se preko upravljačke jedinice PLC-a preko senzora implementiranih na cilindrima.

Ključne riječi: baseballski zamah, koncept, kinematika sustava, pneumatski sustav, PLC

SUMMARY

This undergraduate thesis focuses on the development and implementation of mechatronic system for the concept of a baseball hitter, with an emphasis on designing a pneumatic system to simulate a bat swing. The introductory section provides a brief history and development of baseball globally and in Croatia. The technical part of the thesis begins with detailed kinematic analysis of the swing and derivation of a kinematic model of the baseball hitter. The design of the concept is presented, describing the components of the system, which include base, torso, shoulders, upper arm, forearm and fist which holds a bat. The implementation of the pneumatic system, which consists of three linear cylinders enabling rotational movement of the joints in the mechanism to achieve the mechanical swing of the baseball hitter, is described. The control and management of the pneumatic system will be executed through a PLC control unit via sensors implemented on the cylinders.

Key words: baseball swing, concept, system kinematics, pneumatic system, PLC

1. UVOD

1.1. Povijest i razvoj baseballa

Baseball, kao jedan od najpoznatijih američkih nacionalnih sportova, ima bogatu povijest koja se proteže preko gotovo dva stoljeća. Korijeni baseballa sežu u rane oblike igre koja se igrala u Engleskoj tijekom 18. stoljeća. Igre kao što su *rounders* i *stoolball* uključivale su palicu i lopticu, a igrači su trčali između baza što je u principu osnovna struktura današnjeg baseballa. Svoj razvoj u moderan sport kakav poznajemo danas baseball je doživio tek sredinom 19. stoljeća u Sjedinjenim Američkim Državama.

Svojim razvojem kao organizirani sport baseball je stekao popularnost u gradovima diljem istočne obale SAD-a. Davne 1869. godine nastao je prvi profesionalni baseball klub u američkom gradu Cincinnatiju u saveznoj državi Ohio te je nosio ime Cincinnati Red Stockings. Navedena godina smatra se početkom profesionalizacije baseball-a kao sporta jer je prva postava Red Stockingsa bila plaćena što je potaklo i ostale klubove da svojim igračima ponude ugovore što je rezultiralo osnivanjem profesionalnih liga.

Kako se sport razvijao duž istočne obale 1876. godine osnovana je National League (skraćeno NL), a kasnije tijekom 20. stoljeća i American League (skraćeno AL) kao konkurencija NL-u, što je dovelo do stvaranja prestižne profesionalne američke baseball lige, to jest Major League Baseball-a (skraćeno MLB). Svake godine na kraju sezone najbolja ekipa iz AL te najbolja ekipa NL bore se za naslov svjetskog prvaka u baseballu, poznatije kao World Series što je postala godišnja tradicija te drugi najgledaniji i najpraćeniji događaj u SAD-u odmah nakon Superbowl-a.

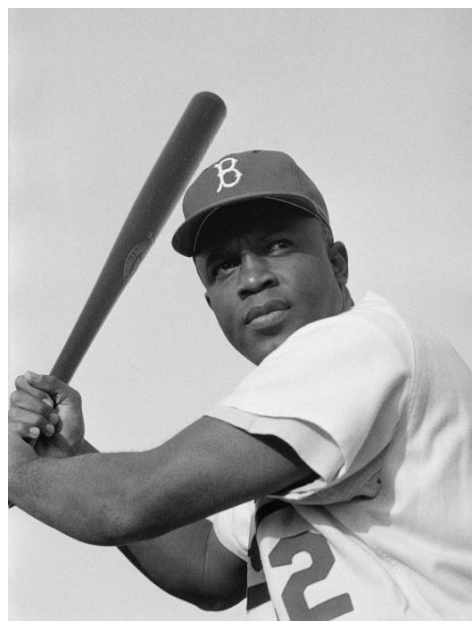


Slika 1. Logo Major League Baseball-a (MLB)[2]

Moderan baseball svoje „zlatno doba“ doživljava tijekom 20-ih godina prošlog stoljeća, gdje je stekao veliku popularnost širom cijelog američkog kontinenta. Tijekom ovog doba pojavljuju se značajna imena baseball-a kao što su Babe Ruth (Slika 2.) koji je postao simbol američkog sporta te Jackie Robinson (Slika 3.) koji se smatra prvim afroameričkim igračem koji je zaigrao u profesionalnoj baseball ligi u Americi.



Slika 2. Igrač baseballa Babe Ruth[3]



Slika 3. Igrač baseballa Jackie Robinson[3]

Naglim razvojem i stjecanjem popularnosti sport se proširio izvan granica Sjedinjenih Američkih Država postajući popularan u zemljama kao što su Japan i ostale azijske države, koje u današnje doba dominiraju u ovom sportu. Fascinantno je kako je povijest baseballa vrlo bogata i slojevita, razvitkom od skromnog početka igre s engleskih livada do postajanja globalne senzacije.

1.2. Baseball u Hrvatskoj

Baseball se u Hrvatskoj prvi puta pojavljuje u prosincu 1918. godine po završetku Prvog svjetskog rata kada u Split dolaze američki mornari. Kako su ratni brodovi Francuske, Italije Velike Britanije i SAD-a biti stacionirani u splitskoj luci, mornari su svraćali u grad tražeći zabavu i razonodu, a neki i razbibrigu u sportskim aktivnostima. Tako su na današnjem Starom placu, bivšem igralištu nogometnog kluba Hajduk iz Splita, mornari igrali svoju omiljenu igru to jest sport baseball. Baseball, u to vrijeme potpuna nepoznanica u Hrvatskoj, zainteresirao je sportske entuzijaste da se i oni okušaju u ovoj zanimljivoj i tada nepoznatoj igri. Veliki doprinos razvoju baseballa u Splitu dao je zapovjednik savezničke mornarice s broda Olympia, američki

admiral Philip Andrews koji je bio veliki zaljubljenik u sport posebice baseball. Došlo je do osnivanja manjih sekcija i društva u Splitu i okolici, ali nažalost trebalo je dugo vremena da se osnuje prvi klub. Nakon Drugog svjetskog rata, točnije 1975. . godine osnovan je baseball klub Nada u Splitu koji se smatra prvim baseball klubom na teritoriju bivše države Jugoslavije. 1980. godine osniva se baseball klub Donat u Zadru što je potaknulo i druge gradove Hrvatske da ovaj novi sport uvredu i predstave u svojim gradovima. Zagreb, kao glavni grad Hrvatske, svoj klub osniva 1982. godine, a svoje klubove osnivaju i gradovi poput Karlovca, Čakovca te Varaždina.



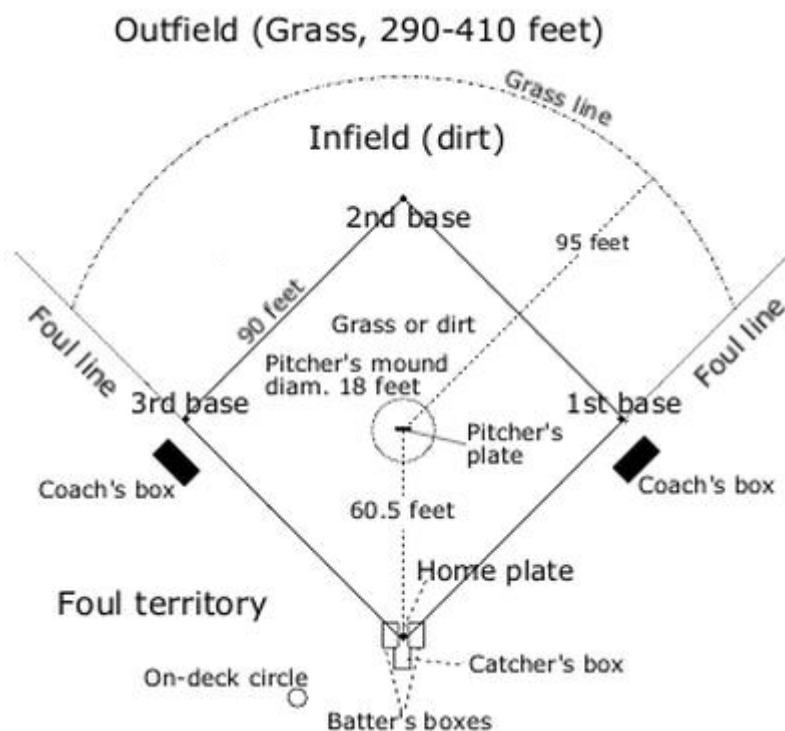
Slika 4. Baseball utakmica na splitskom Starom placu 1934. godine[6]

Važnim datumom za hrvatski baseball smatra se 7. ožujka 1986. godine kada se u Zagrebu osniva Hrvatski baseball savez (HBS) koji je i danas član CEB-e, najveće europske baseball konfederacije, te članom IBA-e, internacionalne baseball organizacije. Hrvatska baseball liga prvi je puta odigrana 1992. godine, a do sada najuspješniji klub s najviše naslova, točnije 18 naslova prvaka hrvatske lige jest Olimpija iz Karlovca. Hrvatski klubovi također se mogu pohvaliti uspjesima i na europskoj razini gdje u posljednjih nekoliko godina konkuriraju na dosta jakim europskim prvenstvima.

1.3. Pravila baseballa

Baseball je ekipni sport koji se igra između dvije ekipe, od kojih svaka u prvoj postavi ima devet igrača. Igra se na terenu koji oblikom podsjeća na dijamant, s četiri base postavljene u

uglovima kvadrata međusobno udaljene jedna od druge 27,43 metra. Slika 5. prikazuje izgled standardnog baseball igrališta.



Slika 5. Standardno baseball igralište[7]

Iako pravila baseballa, za nekog tko sport ne razumije, na prvi pogled mogu se činiti složenima, osmišljena su da omoguće konstantnu dinamičnu igru. Kako bi pravila bila bolje razumljiva, važno je krenuti od osnovnih elemenata baseballa, a to su igralište, ekipe i način kako se utakmica odvija. Baseball igralište sačinjeno je od četiri baze - prve, druge i treće baze te kućne baze (*eng. Home plate*) od koje sve kreće. Igralište je definirano linijama koje vode od kućne baze do prve i treće baze te se unutar tog dijela odvija igra. Ako tijekom igre loptica izađe iz tih linija, smatra se „*foul ball-om*“ odnosno nevažećom loptom. Kako je već spomenuto svaka ekipa u prvoj postavi sastoji se od devet igrača, a tijekom utakmice ekipe se izmjenjuju u napadu i obrani. Ekipa je u napadu kada s palicom pokušava udariti lopticu, a obrambena ekipa nalazi se u terenu s rukavicama s ciljem hvatanja te loptice. Cilj igrača koji je u napadu, to jest na palici, je udariti neuhvatljivu lopticu za igrače u obrani te zatim trčati po bazama kako bi osvojio bodove za svoju ekipu. Važno je napomenuti da ekipa može isključivo osvojiti bodove kada je u napadu.

U napadu, udarač (*eng. Hitter ili batter*) pokušava palicom udariti lopticu koju baca protivnički igrač, dok obrana nastoji izbaciti napadače na nekoliko načina: hvatanjem loptice u zraku (*eng.*

Flyout) bacanjem loptice prema prvoj bazi prije nego što trkač (*eng. Runner*, nakon udarca loptice palicom „*batter*“ ili „*hitter*“ postaje „*runner*“ (trkač)) stigne do baze (*eng. Groundout*) ili dodirrom trkača kada drže loptice (*eng. Tag out*).

Standardna baseball utakmica sastoji se od 9 izmjena (*eng. Innings*), a svaki *inning* ima dvije polovice. Što se tiče normalnih utakmica u profesionalnoj ligi, sport nema vremenskih ograničenja već je utakmica strukturirana baš na tih devet izmjena. U prvoj polovici jedna ekipa je u napadu dok se drugi brane, a zatim se zamjene u drugoj polovici te ekipa koja je bila u obrani sada napada, a druga se brani. Ekipa koja na kraju devete izmjene ima više osvojenih bodova pobjeđuje. U slučaju da se dogodi da je nakon tih odigranih devet izmjena rezultat izjednačen ide se u *extra inninge*. Bod se osvaja kada igrač koji je udario lopticu napravi cijeli krug oko prve, druge i treće baze te se vrati do mjesta s kojeg je udarao, preciznije kućne baze.

2. KONCEPT I ANALIZA KINEMATIKA ZAMAHA

2.1. Opis koncepta baseball udarača

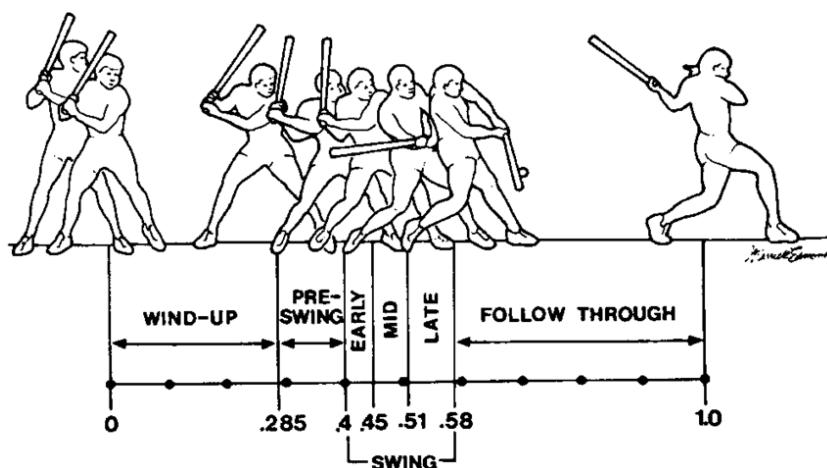
Koncept baseball udarača osmišljen je kao mehatronički sustav pogonjen pneumatikom. Konstrukcija baseball udarača sastoji se od čeličnog postolja na kojem se nalaze upravljačke te kontrolne komponente pneumatskog sustava, pseudo kralježnice(trupa), ramena, lijeve nadlaktice, podlaktice te pseudo šake u kojoj se nalazi baseball palica. Gibanje koje karakterizira baseballski zamah ostvareno je pomoću pokretnih zglobova. Pokretni zglobovi nalaze se na karakterističnim mjestima pseudo baseballaša. Prvi pokretni zglob nalazi se na spoju postolja i pseudo kralježnice te predstavlja zakret trupa. Drugi pokretni zglob nalazi se na spoju pseudo kralježnice i ramena te predstavlja zakret to jest spuštanje i dizanje lijevog ramena. Treći pokretni zglob nalazi se u pseudo laktu na spoju nadlaktice i podlaktice. Svaki od pokretnih zglobova gibanje ostvaruje izvlačenjem pneumatskih cilindara za određeni hod kako bi se ostvario ciljani kut u navedenim karakterističnim zglobovima konstrukcije. Kako je već spomenuto pneumatski sustav će biti upravljan pomoću ventila i PLC upravljačke jedinice. Slika 6. prikazuje model koncepta baseball udarača u njegovom nultom položaju.



Slika 6. Model koncepta baseball udarača

2.2. Analiza zamaha u baseballu

Kako je i navedeno u poglavlju 1.3. srž igre baseballa leži u sposobnosti pojedinca da udarcem palicom postigne kvalitetan pogodak koji će omogućiti njegovoj ekipi napredak po bazama, i što je u konačnici najbitnije, postizanju bodova. Zbog toga svaki zamah palicom (*eng. Swing*) ima potencijal promijeniti tijek igre te je potrebno razumjeti mnoge aspekte koji baš taj zamah čine kvalitetnim i učinkovitim. Kvalitetan zamah u baseballu nipošto nije slučajan pokret, kako na prvi pogled može izgledati, već rezultat precizne koordinacije cijelog tijela primjenjujući razne tehnike te snagu mišića. Svaki kvalitetan zamah u baseballu sastoji se od nekoliko ključnih faza. Prvom fazom smatra se dovođenje tijela u stabilan stav u pripremnoj poziciji prilikom čekanja loptice. Nakon toga dolazi do rotacije kukova i trupa, zamahom ruku te završnim prolaskom palice kroz zonu udara. Prilikom udarca tijelo udarača mora raditi kao jedinstvena cjelina kako bi udarac bio čim jači i kvalitetniji. Slika 7. prikazuje faze baseballskog zamaha.



Slika 7. Faze zamaha u baseballu[8]

Promatrajući zamah iz energetskeg aspekta, energija pohranjena u mišićima udarača kroz rotaciju kukova kroz trup prenosi energiju prema rukama te se energija mišića pretvara u energiju snažnog udarca loptice palicom. Analizirajući zamah iz aspekata anatomije, sam zamah zahtjeva sinkronizaciju svih mišićnih skupina. Za kvalitetan zamah također je potrebno razumijevanje i fizikalnih aspekata samog zamaha, gdje se može zaključiti da ključnu ulogu prilikom optimalnog zamaha ima kinetička energija pohranjena u palici, pri čemu brzina palice i lokacija kontakta s lopticom određuje putanju te udaljenost udarene loptice. Jedan od primjera kvalitetnog zamaha je Ken Griffey Junior koji se smatra vlasnikom titule najljepšeg zamaha u novijoj baseballskoj povijesti. Slika 8. prikazuje Ken Griffey Juniura prilikom zamaha.



Slika 8. Zamah Ken Griffey Juniora[9]

Zamah u baseballu također se može opisati i preko osnovnih zakona mehanike. Prilikom igračeva zamaha palicom, palica se rotira oko osi koja prolazi kroz ruke igrača određenom kutnom brzinom te kutnim ubrzanjem opisanih u izrazima (2.1.) i (2.2.)

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (2.1.)$$

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \quad (2.2.)$$

pri čemu su:

ω - kutna brzina palice izražena u [rad/s]

α – kutno ubrzanje palice izraženo u [rad/s²]

Palica s određenom kutnom brzinom i ubrzanjem ima određeni moment inercije koji ovisi o masi i obliku same palice. Rotacijom palice oko osi pri određenom ubrzanju razvija se zakretni moment zamaha. Izraz (2.3.) opisuje moment razvijen zamahom.

$$T = I \cdot \alpha \quad (2.3.)$$

pri čemu su:

T – moment zamaha izražen u [Nm]

I – moment inercije palice izražen u [kgm²]

Kako se palica nalazi na određenom kraku od osi rotacije moguće je izrazom (2.4.) prikazati i linearnu brzinu udarca prilikom kontakta s lopticom.

$$v = r \cdot \omega \quad (2.4.)$$

pri čemu su:

v – linearna brzina zamaha prilikom udarca

r – udaljenost od osi rotacije

Ključno je spomenuti i kinetičku energiju rotacije palice koja se prenosi na lopticu u trenutku udarca. Kinetička energija rotacije opisana je izrazom (2.5.).

$$E_{Rot} = \frac{I \cdot \omega^2}{2} \quad (2.5.)$$

pri čemu je:

E_{Rot} – kinetička energija rotacije izražena u [J].

Udarac loptice prilikom zamaha također se može i opisati pridržavajući se zakona očuvanja količine gibanja koji nam govori kako je količina gibanja u sustavu očuvana. Izrazom (2.6.) opisan je zakon očuvanja količine gibanja udarca loptice.

$$m_p v_p + m_b v_b = m_p v'_p + m_b v'_b \quad (2.6.)$$

pri čemu su:

m_p – masa palice izražena u [kg]

v_p – brzina palice neposredno prije udarca izražena u [m/s]

m_b – masa loptice izražena u [kg]

v_b – brzina loptice neposredno prije udarca izražena u [m/s]

v'_p - brzina palice nakon udarca izražena u [m/s]

v'_b - brzina loptice nakon udarca izražena u [m/s].

Navedene jednadžbe mogu se u određenoj mjeri primjenjivati na udarac. Bitno je napomenuti da zbog anatomije svaki pojedinac neće imati isti zamah to jest udarac te će svaki udarac imati svoju tehniku koja najbolje odgovara njegovoj fizionomiji i baš taj aspekt sport čini specifičnim te svakog pojedinca i njegov zamah posebnim i jedinstvenim.



Slika 9. Faze zamaha prikazane na konceptu u Solidworksu

2.3. Kinematika mehanizma baseball udarača

Kinematika je grana mehanike koja proučava gibanje tijela bez razmatranja sila i momenata koji to gibanje uzrokuju. Zadatak kinematike je opisati osnovne karakteristike gibanja određenog mehanizma. Za opisivanje položaja i orijentacije određenih elemenata u prostoru mehanizam mora biti podijeljen u segmente. Korištenjem matrica translacije i matrica rotacije može se opisati položaj određene točke u prostoru. Izrazi (2.7.), (2.8.), (2.9.) i (2.10.) prikazuju izgled matrica transformacije translacije i rotacije u sve 3 osi koordinatnog sustava. Bitno je napomenuti da prikazane matrice transformacije vrijede za desnokretni pravokutni koordinatni sustav (Slika 10.).

$$Tran(a, b, c) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.7.)$$

pri čemu su:

a – pomak u smjeru x osi

b – pomak u smjeru y osi

c – pomak u smjeru z osi

$$Rot(x, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.8.)$$

pri čemu je:

α – kutni zakret oko osi x

$$Rot(y, \beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9.)$$

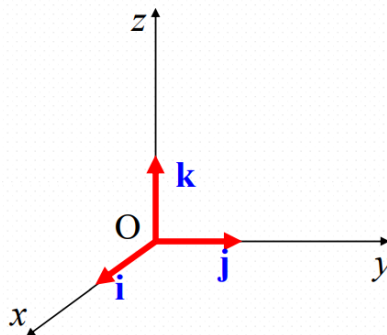
pri čemu je:

β – kutni zakret oko osi y

$$Rot(z, \gamma) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.10.)$$

pri čemu je:

γ – kutni zakret oko osi z



Slika 10. Desnokretni pravokutni koordinatni sustav

Sustav baseball udarača sastoji se od tri pokretna zgloba te analogno tome imamo tri upravljačke varijable koje ćemo označiti slovom q. Prva upravljačka varijabla smještena je u nultom koordinatnom sustavu koji se nalazi u donjem dijelu pseudo kralježnice baseball udarača te će varijabla biti označena oznakom q1. Druga upravljačka varijabla nalazi se na spoju pseudo kralježnice i ramena te će imati oznaku q2. Posljednja upravljačka varijabla smještena je u pseudo laktu baseball udarača te nosi oznaku q3. Sve tri upravljačke varijable odnose se na kutove između segmenata baseball udarača. Slika 10. prikazuje sustav u njegovom nultom položaju kada sve upravljačke varijable imaju vrijednost nula.



Slika 11. Prikaz pojednostavljenog modela s koordinatnim sustavima

Sada je potrebno izvesti matricu homogenih transformacija za kompletni sustav. Konačna točka sustava koja se promatra nalazi se na kraju palice gdje se ostvaruje kontakt s lopticom prilikom zamaha udarača. Opći oblik matrice homogenih transformacija izgleda ovako:

$$A = \begin{bmatrix} i_x & j_x & k_x & p_x \\ i_y & j_y & k_y & p_y \\ i_z & j_z & k_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & p \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.11.)$$

pri čemu je:

R – matrica rotacije

p – vektor prostornih koordinata.

Izvod konačne matrice homogenih transformacija sustava kreće s matricom rotacije te se nulti koordinatni sustav poklapa s koordinatnim sustavom prve upravljačke varijable. Izraz (2.12.) prikazuje matricu rotacije upravljačke koordinate q_1 .

$$A^1 = Rot(z, q_1) = \begin{bmatrix} \cos q_1 & -\sin q_1 & 0 & 0 \\ \sin q_1 & \cos q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.12.)$$

Sljedeći korak je translacija u smjeru osi z prvog koordinatnog sustava za duljinu L_1 s ciljem dolaska u koordinatni sustav druge upravljačke varijable q_2 . Matrica translacije u smjeru osi z za L_1 izgleda ovako:

$$A^2 = Tran(0,0,L_1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.13.)$$

Matrica A^4 prikazuje matricu transformacije koja je kombinacija matrica translacije i rotacije. Drugi koordinatni sustav transliran je u treći koordinatni sustav te je rotiran tako da se os y koordinatnog sustava poklapa s osi pseudo podlaktice, dok os z predstavlja rotacijsku os treće upravljačke varijable q_3 . Matrica A^4 izgleda ovako:

$$A^4 = Tran(-L_3, 0, L_2) \cdot Rot(x, -135^\circ) \cdot Tran(0, L_4, 0) \cdot Rot(y, -45^\circ) \quad (2.15.)$$

$$A^4 = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & 0 & \frac{\sqrt{2}}{2} & L_2 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{2}}{2}L_4 \\ \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}L_3 & \frac{\sqrt{2}}{2}L_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.16.)$$

Posljednja upravljačka varijabla q_3 predstavlja rotaciju oko z osi trećeg koordinatnog sustava smještenog u zglobu pseudo lakta. Matrica rotacije A^5 izgleda ovako:

$$A^5 = Rot(z, q_3) = \begin{bmatrix} \cos q_3 & -\sin q_3 & 0 & 0 \\ \sin q_3 & \cos q_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.17.)$$

Sljedeća matrica predstavlja translaciju u konačnu točku koju promatramo, a ta točka se nalazi na kraju palice gdje je očekivani kontakt palice s lopticom. Posljednja matrica translacije izgleda ovako:

$$A^6 = Tran(L_5, -L_6, 0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & L_5 \\ 0 & 1 & 0 & -L_6 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.18.)$$

Da bi se dobila konačna matrica homogenih transformacija za sustav baseball udarača potrebno je sve izvedene matrice transformacija pomnožiti na sljedeći način:

$$A = A^1 A^2 A^3 A^4 A^5 A^6 \quad (2.19.)$$

Nakon množenja matrica homogenih transformacija sustava baseball udarača izgleda ovako:

$$A = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & p_x \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & p_y \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.20.)$$

Zbog jednostavnosti prikaza $\cos(q_i)$ i $\sin(q_i)$ zamijenjujemo slovima c_i i s_i :

$$R_{11} = \frac{1}{2}(c_1c_{23}\sqrt{2} + c_3(c_1s_2 - s_1) - s_1s_3\sqrt{2}) \quad (2.21.)$$

$$R_{12} = \frac{1}{2}(-c_1s_{23}\sqrt{2} + s_3(s_1 - c_1s_2) - s_1c_3\sqrt{2}) \quad (2.22.)$$

$$R_{13} = \frac{1}{2}(-c_1c_2\sqrt{2} - s_1 + c_1s_2) \quad (2.23.)$$

$$R_{21} = \frac{1}{2}(s_1c_{23}\sqrt{2} + c_3(c_1 + s_1s_2) + c_1s_3\sqrt{2}) \quad (2.24.)$$

$$R_{22} = \frac{1}{2}(-s_1s_{23}\sqrt{2} - s_3(c_1 + s_1s_2) + c_1c_3\sqrt{2}) \quad (2.25.)$$

$$R_{23} = \frac{1}{2}(-s_1c_2\sqrt{2} + c_1 + s_1s_2) \quad (2.26.)$$

$$R_{31} = \frac{1}{2}(-s_{23}\sqrt{2} + c_2c_3) \quad (2.27.)$$

$$R_{32} = \frac{1}{2}(s_2s_3\sqrt{2} - c_2s_3 - c_2c_3\sqrt{2}) \quad (2.28.)$$

$$R_{33} = \frac{1}{2}(s_2\sqrt{2} + c_2) \quad (2.29.)$$

$$p = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} \quad (2.30.)$$

$$p_x = L_2c_1s_2 - L_3c_1c_2 + \frac{1}{2}(-L_4\sqrt{2}(s_1 + c_1s_2) + L_5(c_1c_{23}\sqrt{2} + c_3(c_1s_2 - s_1) - s_1s_3\sqrt{2}) + L_6(c_1s_{23}\sqrt{2} + s_3(c_1s_2 - s_1) + s_1c_3\sqrt{2})) \quad (2.31.)$$

$$p_y = L_2s_1s_2 - L_3s_1c_2 + \frac{1}{2}(L_4\sqrt{2}(c_1 - s_1s_2) + L_5(s_1c_{23}\sqrt{2} + c_3(c_1 + s_1s_2) + c_1s_3\sqrt{2}) + L_6(s_1s_{23}\sqrt{2} + s_3(c_1 + s_1s_2) - c_1c_3\sqrt{2})) \quad (2.22.)$$

$$p_z = L_1 + L_2c_2 + L_3s_2 + \frac{1}{2}(-L_4c_2\sqrt{2} + L_5(-s_{23}\sqrt{2} + c_2c_2) + L_6(c_{23}\sqrt{2} + c_2s_3)) \quad (2.23.)$$

Izrazi (2.31.), (2.32.) i (2.33.) predstavljaju koordinate kontakta palice i loptice u ovisnosti o upravljačkim koordinatama q_1 , q_2 i q_3 . Iz danih izraza vidljiva je kompleksnost kinematike samog sustava baseball udarača. Geometrijske veličine baseball udarača prikazane izrazom (2.34.) su sljedećih vrijednosti:

$$\begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \\ L_4 \\ L_5 \\ L_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 790 \\ 192,5 \\ 100 \\ 420 \\ 820 \\ 370 \end{bmatrix} mm \quad (2.34.)$$

Vrijedi napomenuti da prikazane vrijednosti sustava mogu varirati kao naprimjer duljina kraljeznice L_1 te vrijednosti L_5 i L_6 ovisno o duljini baseball palice. Nulti položaj baseball udarača dobiven je uvrštavanjem nulnih vrijednosti upravljačkih varijabli u gore navedene izraze.

$$q = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix} = 0^\circ \quad (2.35.)$$

Nulte koordinate udarača jesu:

$$p = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 479,73 \\ 445,36 \\ 1357,14 \end{bmatrix} mm \quad (2.36.)$$

Zbog kompleksnosti samog sustava postoje i mehanička ograničenja, a upravljačke varijable imaju određene limite. Kako bi se ostvario ciljani pokret to jest zamah baseball udarača promjena svih upravljačkih varijabli kreće u isto vrijeme s ciljem postizanja kontinuiranog gibanja. Upravljačke varijable to jest kutevi u zglobovima ograničeni su na sljedeće vrijednosti:

$$\Delta q = \begin{bmatrix} \Delta q_1 \\ \Delta q_2 \\ \Delta q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0^\circ \dots 45^\circ \\ 0^\circ \dots 60^\circ \\ 0^\circ \dots -60^\circ \end{bmatrix} \quad (2.37.)$$

Kako se ovdje radi o konceptu navedene veličine trebale bi se ispitati eksperimentalnim putem.

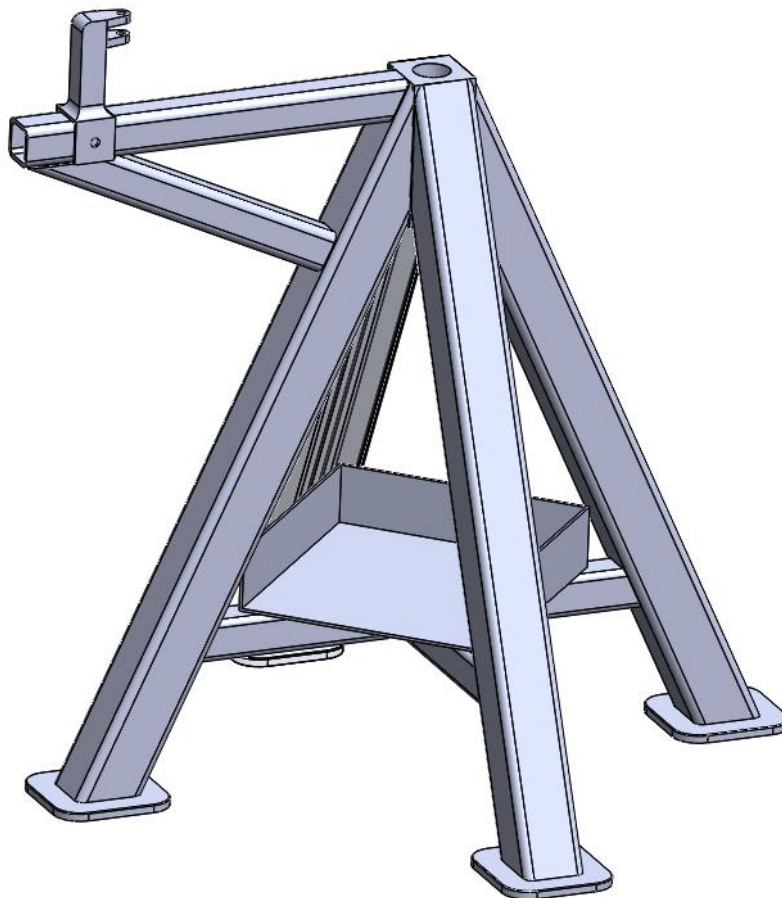


Slika 12. Prikaz pojednostavljenog modela u konačnom položaju

3. KONSTRUKCIJA KONCEPTA

3.1. Postolje

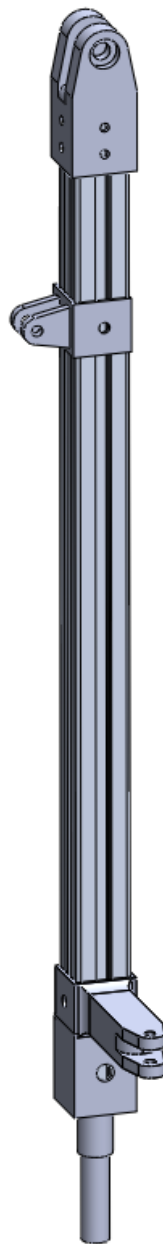
Kako bi se osigurala stabilnost cijele konstrukcije baseball udarača potrebno je dizajnirati postolje. Postolje je dizajnirano pomoću četiri noge to jest pomoću četiri hladno vučena kvadratna čelična profila 60 x 60 x 3mm koji svojom težinom doprinose stabilnosti. Radi još veće stabilnosti samih nogu pri dnu stalka nalazit će se zavareni spoj istih profila dimenzija 40 x 40 x 3mm. Slika 13. prikazuje izgled konceptnog postolja na kojem se također nalazi prostor gdje bi se nalazile kontrolne i upravljačke komponente pneumatskog sustava to jest pneumatski ventili te PLC. Kako bi se još više poboljšala stabilnost samog postolja krajevima nogu, to jest profila montirane su pločice koje osiguravaju nepomičnost postolja na tlu. Na vrhu postolja nalazi se kućište u kojem je ugrađen dvoradni aksijalni kuglični ležaj koji bi omogućio rotacijsko gibanje pseudo kralježnice te kompletnog sustava udarača. Na profilu lijevo do otvora prostora za upravljačke komponente zavarena su dva profila na kojima je postavljen držač prvog cilindra.



Slika 13. Prikaz postolja u Solidworksu

3.2. Trup udarača

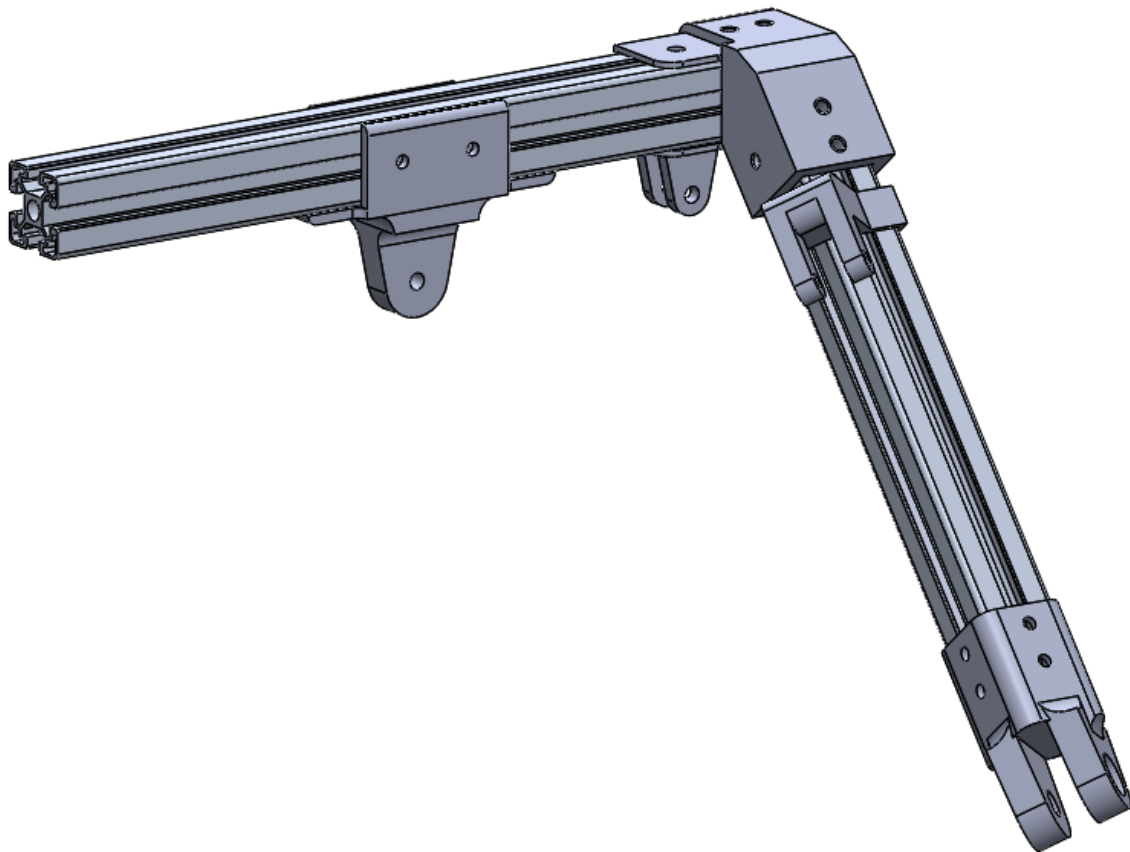
Trup udarača(kralježnica) izrađen je pomoću aluminijskih profila 40 x 40 U10 koji su karakteristični po svojoj izdržljivosti te što je najbitnije svojom lakoćom. Na donjem dijelu kralježnice montirana je glava koja sadrži osovinu koja se montira u dvosmjerni aksijalni kuglični ležaj koji se nalazi u postolju. Glava je za profil pseudo kralježnice pričvršćena pomoću vijaka. Na vrhu profila kralježnice također je montirana glava koja sadrži zglob te ostvaruje spoj s ramenima udarača. Slika 14. prikazuje izrađeni model kralježnice, odnosno model trupa udarača.



Slika 14. Prikaz trupa udarača

3.3. Spoj ramena i nadlaktice udarača

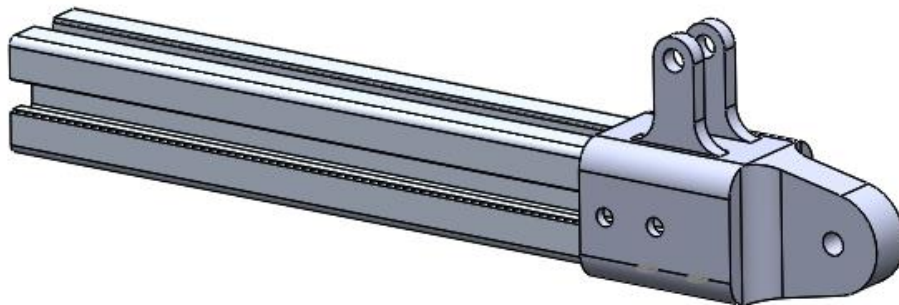
Ovaj dio konstrukcije sastavljen je od ramena i nadlaktice udarača koja je na profil ramena povezana pomoću fiksatora kako bi se održao konstantan kut između ramena i podlaktice. Na kraju nadlaktice nalazi se zglob koji tvori spoj s podlakticom to jest tvori pseudo lakat opisanog koncepta udarača. Za modele ramena te nadlaktice također su odabrani aluminijski profili 40 x 40mm zbog prethodno navedenih karakteristika. Navedeni fiksator ostvaruje spoj lijevog ramena i nadlaktice te je prikazan na slici 15. Ispod lijevog ramena na profilu je montirana ušica koja će biti povezana sa cilindrom koji će ostvarivati rotacijsko gibanje ramena. Na nadlaktici je potrebno konstruirati držače za pneumatski cilindar koji ostvaruje gibanje lakta udarača. Slika 15. prikazuje model spoja ramena i podlaktice.



Slika 15. Prikaz spoja ramena i nadlaktice

3.4. Podlaktica udarača

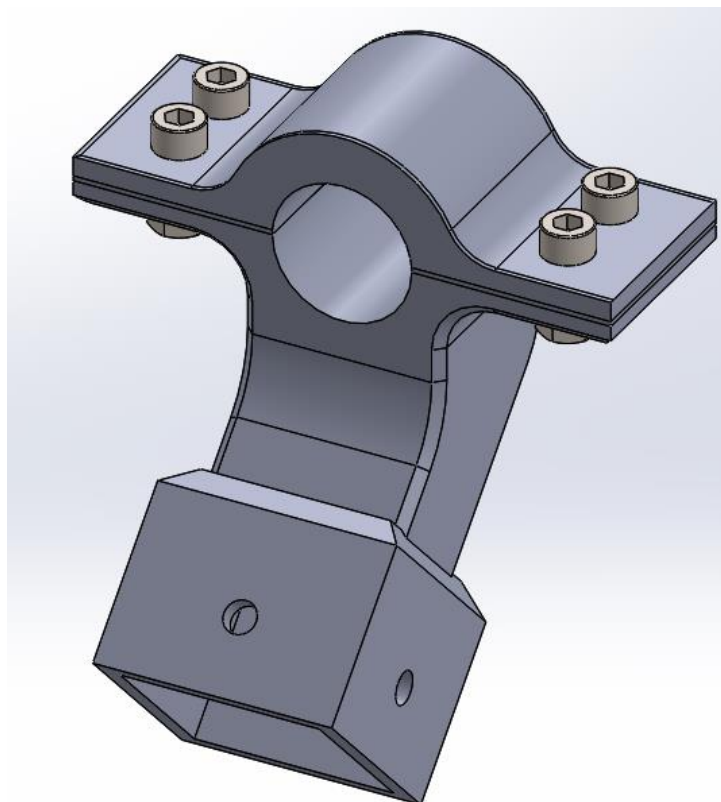
Podlaktica udarača također je izrađena od aluminijskih profila 40 x 40mm te s jedne strane ima montiran zglob koji tvori spoj pseudo lakta, dok je na drugoj strani montirana šaka udarača. Slika 16. prikazuje izgled podlaktice udarača.



Slika 16. Prikaz podlaktice

3.5. Šaka udarača

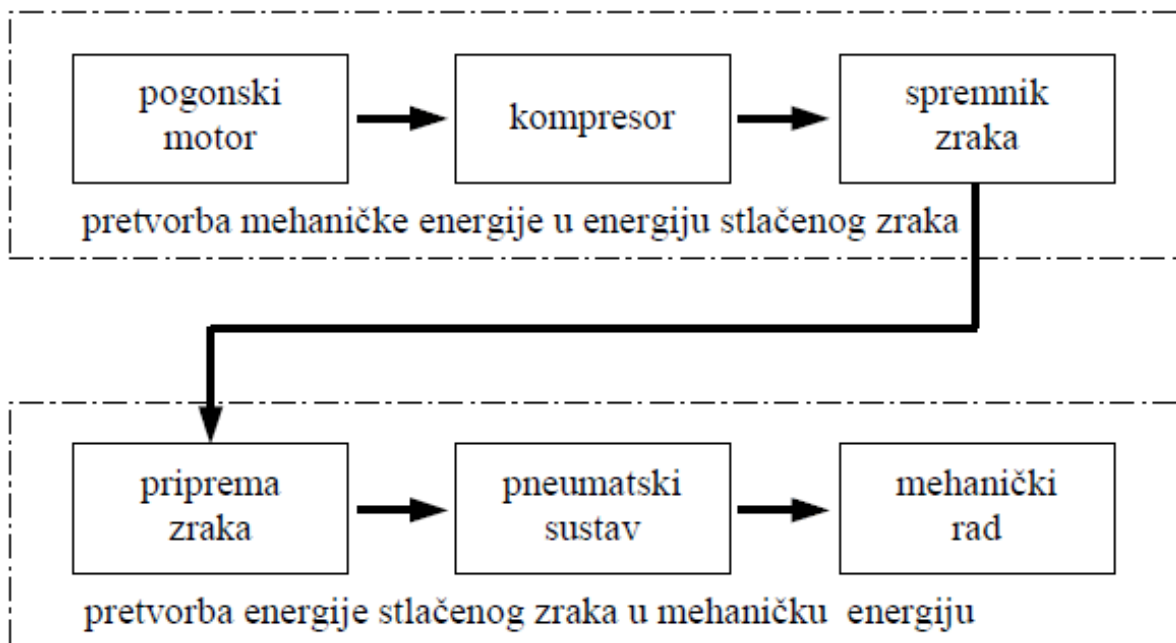
Kako je i opisano šaka udarača montirana je na kraju profila pseudo podlaktice te služi kao držač palice. Šaka udarača konstruirana je iz dva dijela koji se povezuju priteznim vijcima. Unutar provrta koji tvore ova dva dijela nalazila bi se baseball palica. Kako bi se osigurala čvrstoća i nepomičnost palice unutar navedenog provrta moguće je staviti tanak sloj gume kako palica ne bi „bježala“ iz šake. Slika 17. prikazuje izgled šake udarača.



Slika 17. Prikaz modela šake udarača

4. PNEUMATSKI SUSTAV

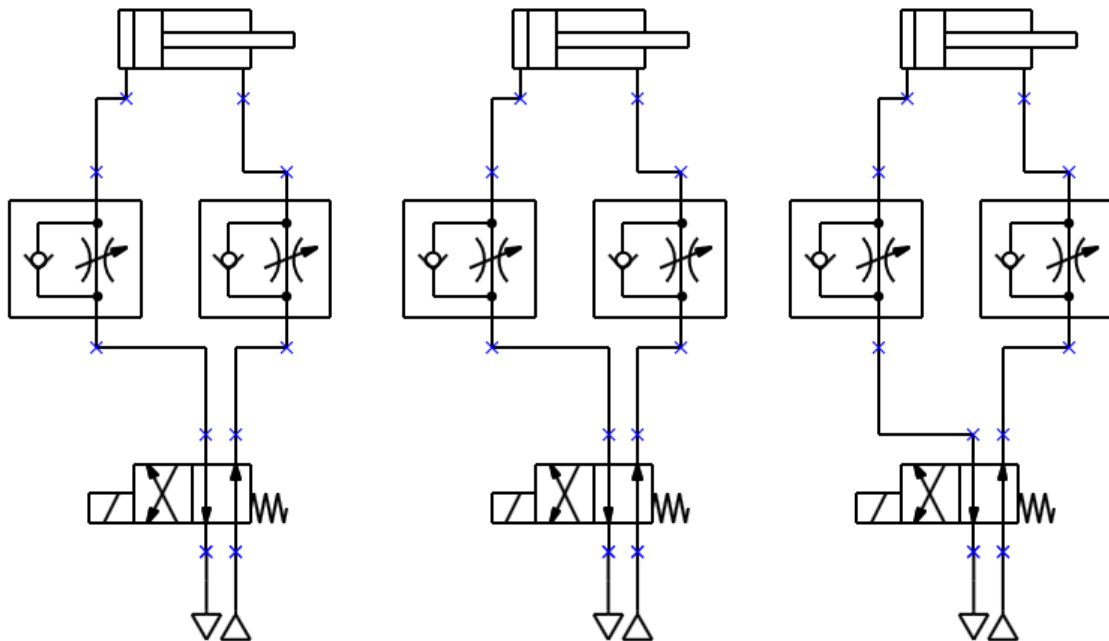
Pneumatika je tehnička disciplina koja se bavi primjenom i proučavanjem komprimiranih plinova, najčešće zraka, u prijenosu i pretvorbi energije za obavljanje određenog mehaničkog rada. U osnovi, koristi se za prijenos snage, kontrolu pokreta te za izvršavanje raznih radnji u industriji, medicini, automatizaciji i drugim područjima. Pneumatski sustav čine kompresor, kao izvor stlačenog zraka, cijevi koje taj stlačeni zrak transportiraju do ostalih komponenata sustava, ventili kao upravljački elementi te u konačnici pneumatski aktuatori koji ostvaruju određeno mehaničko gibanje. Glavna prednosti pneumatike to jest pneumatskih sustava je njihova jednostavnost. Sustavi su relativno jednostavni za projektiranje, instalaciju i održavanje što je velika prednost nad hidraulikom. Velika prednost jest i dostupnost radnog medija zraka u neograničenim količinama što nije stvar kod hidraulike koja zahtijeva određeno održavanje i skladištenje radnog fluida. Pneumatski sustavi su u globalu „čisti“ u smislu da minimaliziran rizik od onečišćenja radnog prostora. Zbog svoje jednostavnosti pneumatski sustavi zahtijevaju manje održavanja od hidrauličkih sustava jer ne sadrže pokretne dijelove u tekućinama koji su podložniji trošenju i curenju što direktno utječe na troškove održavanja. Slika 18. prikazuje princip rada osnovnog pneumatskog sustava. Zbog svih navedenih prednosti pneumatika je pogodna za koncept baseball udarača.



Slika 18. Princip rada pneumatskog sustava[13]

4.1. Pneumatska shema koncepta

Za pneumatski sustav baseball udarača izrađena je pneumatska shema prikazana na slici 19. Pneumatski sustav koncepta sastoji se od tri linearna cilindra, tri elektromagnetska ventila te šest regulatora protoka.

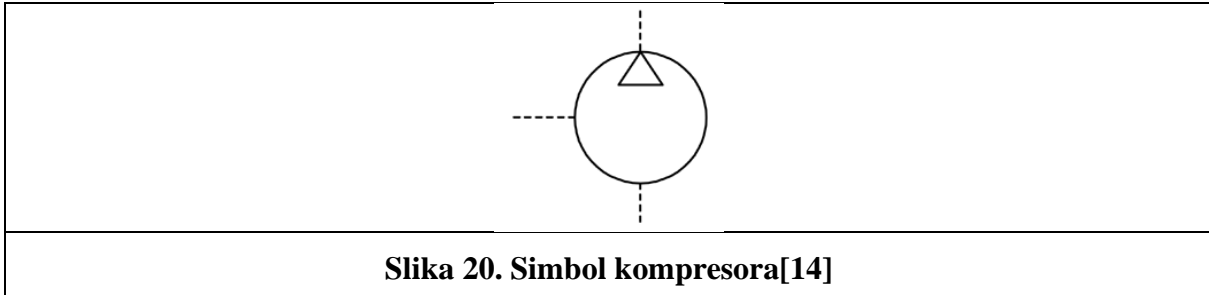


Slika 19. Pneumatska shema koncepta

4.2. Kompresor

U pneumatskom sustavu kompresori se smatraju ključnim elementom jer generiraju komprimirani zrak koji pokreće ostale pneumatske uređaje to jest pneumatske aktuatora. Glavna funkcija kompresora je pretvorba mehaničke energije u energiju komprimiranog zraka koja se kasnije koristi u procesu. Kompresor iz atmosfere usisava zrak, komprimira ga te ga skladišti u spremnik pod visokim pritiskom. Prema načinu kompresije kompresore dijelimo na klipne i rotacijske. Klipne kompresore dijelimo na jednoradne i dvoradne, dok rotacijske dijelimo na lamelaste, vijčane i Root izvedbe kompresora. Osnovni parametri koji karakteriziraju kompresor su tlak, protok zraka, snaga kompresora te kapacitet rezervoara to jest spremnika. Tipični radni tlakovi kompresora kreću se od 6 do 10 bara te se biraju ovisno o potrebama sustava. Protok zraka označava količinu zraka koju kompresor može isporučiti kroz ventile do aktuatora što je ključno u računanju brzine rada aktuatora. Kako su kompresori sastavni dio svakog pneumatskog procesa koriste se u širokom spektru industrija i aplikacija. Kako bi se osigurala dugotrajnost i sigurna uporaba kompresori zahtijevaju redovito održavanje

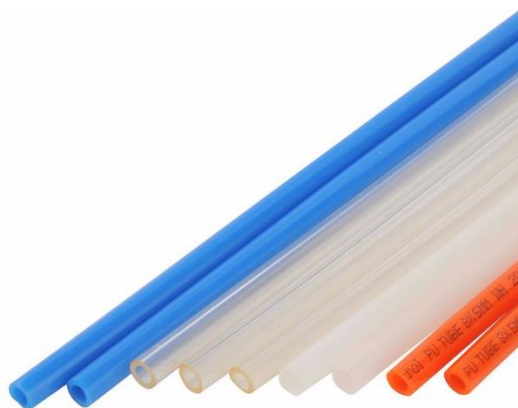
kao što je redovito mijenjanje ulja kako bi se spriječilo pregrijavanje i oštećenje komponenta unutar samog kompresora. U kompresoru je također ugrađen i filter koji sprečava nakupljanje nečistoća i prljavštine koje mogu utjecati na komprimirani zrak. Slika 20. prikazuje simbol kompresora.



Slika 20. Simbol kompresora[14]

4.3. Cijevi

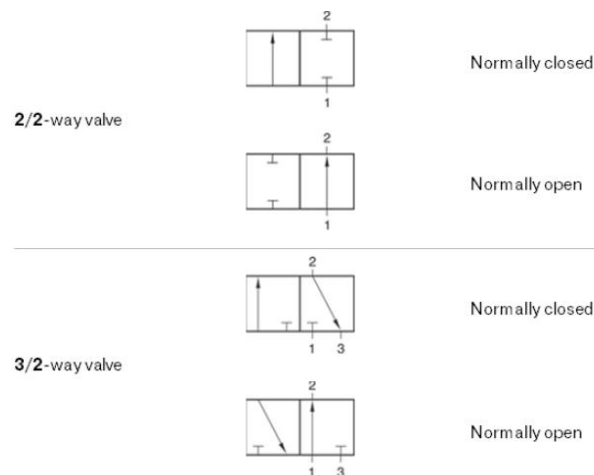
Pneumatske cijevi služe za transport komprimiranog zraka od kompresora ili spremnika komprimiranog zraka do krajnjih elemenata sustava kao što su ventili i pneumatski aktuatori to jest do cilindara. Najčešće su izrađene od laganog i fleksibilnog materijala kako bi se komprimirani zrak doveo do bilo kojeg elementa pneumatskog sustava. Materijali koji se koriste za izradu pneumatskih cijevi su: Poliuretan (PU), Poliamid (PA) te polietilen (PE) za aplikacije pri niskim tlakovima, dok se kod aplikacija s visokim tlakom koriste metalne cijevi izrađene od bakra, aluminija ili pak čelika. Promjer cijevi može varirati te ovisi o zahtjevima samog sustava, Manji promjeri cijevi pogodniji su kada sustav zahtijeva preciznu kontrolu protoka zraka te se promjer povećava ukoliko sustav zahtijeva velike protoke zraka. Odabirom odgovarajućeg promjera i materijala cijevi osigurava se optimalno funkcioniranje cijelog pneumatskog procesa.



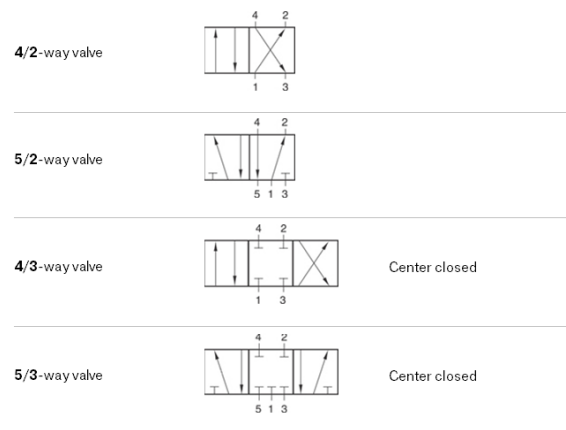
Slika 21. Izgled poliamidnih pneumatskih cijevi[15]

4.4. Pneumatski ventili

Pneumatski ventili su elementi koji služe za kontrolu i regulaciju pneumatskog procesa. Kroz ventile prolazi komprimirani zrak prema izvršnim dijelovima pneumatskog sustava poput cilindara i raznih aktuatora. Ovisno o vrsti ventila, ventili određuju smjer, količinu te tlak komprimiranog zraka unutar sustava te omogućuju precizno upravljanje radom pneumatskih uređaja. Pneumatske ventile se prema funkciji može podijeliti u pet grupa: usmjereni direktno upravljani ventili (*eng. Directional valves*), regulacijski ventili (*eng. Flow control valves*), ventili za zaustavljanje (*eng. Shut-off valves*), ventili za ispuštanje zraka (*eng. Exhaust valves*) te sigurnosni ventili (*eng. Safety valves*). Ključna komponenta svakog sustava su definitivno usmjereni ventili koji ovisno o potrebi mogu imati različite konfiguracije. Najčešće se u sustavima koriste 2/2, 3/2, 5/2 te 5/3 pneumatski ventili gdje prva brojka u oznaci označava broj priključaka, dok druga brojka označava broj mogućih stanja to jest položaja ventila. Slika 22. i slika 23. prikazuju osnovne navedene konfiguracije ventila.



Slika 22. Simboli 2/2 i 3/2 pneumatskih ventila[16]



Slika 23. Različite konfiguracije ventila sa 4 i 5 priključaka[16]

Kako bi se navedeni pneumatski ventili upravljali koriste se različite metode aktivacije ventila. Aktivacije ventila mogu se podijeliti u tri kategorije: ručno upravljani ventili (aktivacija fizičkim djelovanjem npr. gumb ili poluga), elektropneumatski ventili (aktivacija pomoću električnih signala koji djeluju na elektromagnete unutar samog ventila) i pneumatski upravljani ventili (aktivacija putem komprimiranog zraka, jedan ventil kontrolira drugi ventil). Ovisno o zahtjevima sustava moguće je izabrati različite konfiguracije aktivacije ventila. Slike 24. 25. i 26. prikazuju primjere za svaku kategoriju aktivacije ventila.



Slika 24. Simbol aktivacije gumbom[17]



Slika 25. Simbol aktivacije elektromagnetom[17]



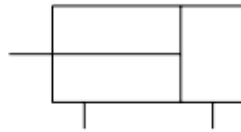
Slika 26. Simbol aktivacije pneumatikom[17]

Kako pneumatski sustav baseball udarača koristi tri pneumatska cilindra potrebno je izabrati tri pneumatska ventila. S obzirom na to da je sustav osmišljen da se upravlja pomoću PLC-a predlaže se korištenje elektromagnetskih ventila. Elektromagnetski ventil konfiguracije 4/2 bio bi adekvatno rješenje kako je i prikazano na slici 19.

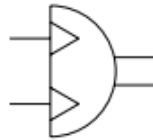
4.5. Pneumatski cilindri

Pneumatski cilindri (aktuatori) smatraju se izvršnim elementima svakog pneumatskog sustava. Koriste energiju stlačenog zraka za obavljanje određenog mehaničkog rada. Pneumatski aktuatori mogu se podijeliti prema različitim kriterijima. Prema tipu kretanja aktuatora je moguće podijeliti u dvije skupine: Linearni cilindri i rotacijski cilindri. Linearni cilindri ostvaruju pravocrtno gibanje klipa u jednom ili oba smjera ovisno o izvedbi te se koriste u aplikacijama gdje je potrebno ostvariti linearno gibanje. Rotacijski aktuatori ostvaruju

rotacijsko gibanje kako im i sam naziv govori. Slika 27. prikazuje simbol dvoradnog linearnog cilindra, dok slika 28. prikazuje simbol dvoradnog rotacijskog aktuatora.



Slika 27. Simbol dvoradnog linearnog cilindra[17]



Slika 28. Simbol dvoradnog rotacijskog aktuatora[17]

Postoji i podjela na jednoradne i dvoradne cilindre. Jednoradni cilindri imaju samo jedan priključak kako bi se klip izvukao, a povratno gibanje ostvareno je ili pomoću povratne opruge ili pak vanjske sile. S druge strane dvoradni cilindri imaju dva priključka što omogućava kontrolu kretanja klipa u oba smjera. Postoje i izvedbe cilindra s klipnjačom ili pak bez nje. Cilindri unutar same svoje konstrukcije mogu imati prigušivače kako bi se smanjili pneumatski udari te kako bi se minimalizirale vibracije u sustavu.

Kod izbora cilindra važno je poznavati osnovne parametre sustava kako bi odabrani cilindar bio pogodan za sustav. Stoga, potrebno je prikazati osnovne jednadžbe koje povezuju silu, pomak, rad te tlak zraka koji je doveden u cilindar.

Osnovna formula za izračunavanje sile koju pneumatski cilindar može proizvesti dana je izrazom (3.1.)

$$F = p \cdot A \quad (4.1.)$$

pri čemu su:

F – sile koju cilindar može pružiti izražena u [N]

p – tlak zraka izražen u [Pa]

A – površina klipa izražena u [m²].

Površina presjeka klipa, koji su najčešće kružnog presjeka, računa se prema:

$$A = \frac{d^2 \pi}{4} \quad (4.2.)$$

gdje je:

d – pomjer klipa izražen u [m].

Rad koji obavlja pneumatski cilindar tijekom hoda računa se prema izrazu (4.3.)

$$W = F \cdot s \quad (4.3.)$$

gdje je:

W – rad izražen u [J]

s – hod klipa izražen u [m].

Brzinu izvlačenja cilindra moguće je izračunati sljedećim izrazom:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (4.4.)$$

gdje su:

Q – protok zraka izražen u [m³/s]

v – brzina izvlačenja/uvlačenja cilindra izražena u [m/s].

4.5.1. Prijedlog rješenja za cilindre

Potrebno je izabrati tri pneumatske cilindra te se kao najadekvatnije rješenje odabrani su cilindri proizvođača FESTO serije DSNU. Za okretanje trupa te rotaciju ramena izabran je cilindar DSNU-25-100-P-A, dok je za rotaciju u katu odabran cilindar iste serije, ali kraćeg hoda, cilindar DSNU-20-80-P-A U tablici 1. opisana slova i brojevi u njihovom nazivu.



Slika 29. Pneumatski cilindar proizvođača FESTO[18]

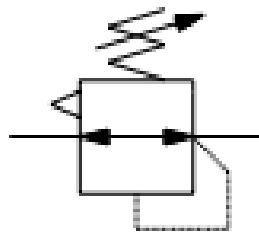
Tablica 1. Opis naziva cilindra[18]

Oznaka	Opis oznake
DSNU	Naziv serije
25/20	Radni promjer klipa u milimetrima
100/80	Hod klipa
P	Elastični prigušni prsteni/ploče, obostrano
A	Način očitavanja položaja

4.6. Regulatori tlaka i protoka

Regulatori tlaka i protoka pneumatske su komponente koje omogućuju kontrolu i održavanje optimalnih radnih uvjeta tijekom pneumatskog procesa.

Regulatori tlaka, u industriji poznatiji kao redukcijski ventili, koriste se za smanjenje i održavanje ciljanog tlaka komprimiranog zraka unutar pneumatskog sustava, a rade na sljedećem principu: Kada tlak zraka premaši odabrani zadani tlak, membrana unutar regulatora pomiče se prema gore smanjujući otpor ventila ograničavajući protok zraka. Kada je naprimjer tlak niži od zadanog, membrana se pomiče prema dolje otvarajući ventil povećavajući protok zraka. Slika 30. prikazuje simbol podesivog regulatora tlaka.



Slika 30. Simbol regulatora tlaka

Regulatori protoka, kako im i sam naziv govori, reguliraju protok koji dolazi do ostalih pneumatskih elemenata. Koriste se za kontrolu brzine protoka zraka kroz sustav čime se upravlja sama brzina gibanja pneumatskih aktuatora. Rade na principu ograničenja presjeka kroz koji zrak prolazi kako bi se kontrolirao i odabrao željeni protok. Postoje izvedbe kao što su ventili s igličastim regulatorom (*eng. Needle valves*) koji se koriste za finije regulacije protoka, a rade na principu pomicanja igle unutar ventila mijenjajući otvor kroz koji zrak prolazi. Također postoje i proporcionalni regulatori koji pružaju automatsku regulaciju protoka ukoliko se dogode promjene u sustavu. Proporcionalni regulatori upravljaju se pomoću električnih signala te su pogodniji za koncept baseball udarača pošto koristimo PLC. Regulator protoka prijeko je potreban u sustavu kako bi se postigle željene brzine izvlačenja cilindra to jest rotacijska gibanja pseudo zglobova udarača.

Za koncept baseball udarača izabrani su regulatori protoka s ciljem postizanja željene brzine izvlačenja i uvlačenja cilindara. Proizvođač FESTO kod izbora cilindara odmah nudi i regulatore protoka te je izabran jednosmjerni ventil za kontrolu protoka GRLA-1/8-QS-6-D prikazan na slici 31.



Slika 31. Jednosmjerni ventil za kontrolu protoka proizvođača FESTO

5. SUSTAV UPRAVLJANJA

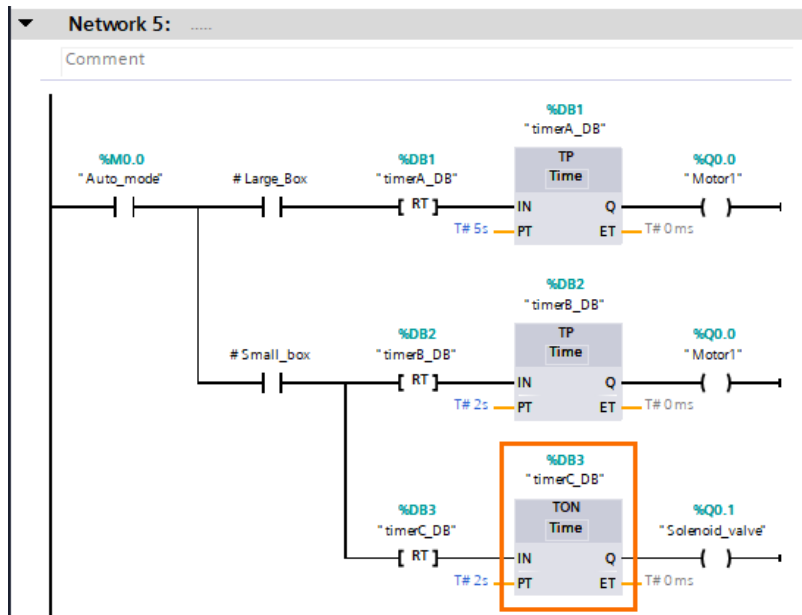
5.1. Upravljački uređaj PLC

PLC (eng. Programmable Logic Controller) je specijalno industrijsko računalo koje je dizajnirano za kontrolu i automatizaciju određenog procesa, a sastavljeno je od procesora (eng. CPU), programske memorije, ulazno-izlaznih jedinica (oznaka I/O), komunikacijskih portova te napajanja. Na slici 32. prikazan je PLC marke Siemens serije SIMATIC S7-1200 koji se najčešće koristi za izvršavanje osnovnih do srednje kompliciranih zadataka vezanih za automatizaciju procesa te je prikladan za koncept baseball udarača.



Slika 32. PLC Siemens SIMATIC S7-1200[20]

Procesor se smatra glavnim dijelom PLC-a koji je zadužen za obradu informacija i izvršavanje programskih uputa. Programske upute koje PLC izvršava smještene su u njegovoj programskoj memoriji. Upute to jest program PLC-a napisan je u nekom od specifičnih jezika za PLC. Programski jezici koje PLC koristi su ljestvičasti dijagram (Ladder Diagram), strukturalni tekst (eng. Structured Text) ili funkcijskim blokovima (eng. Function Block Diagram). Slike 33., 34. i 35. prikazuju izgled navedenih PLC programskih jezika.



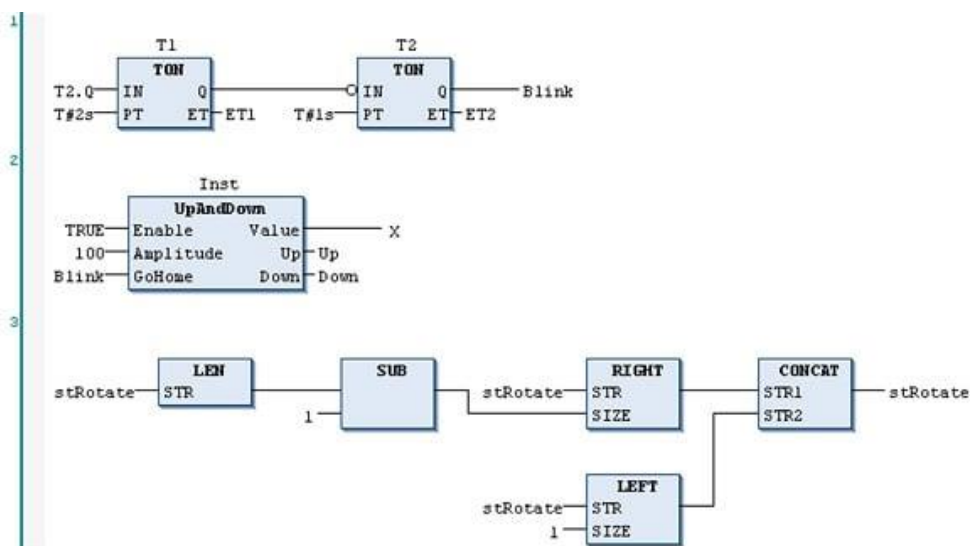
Slika 33. Prikaz Ladder dijagrama u programu TIA Portal[21]

```

1  PROGRAM POU
2  VAR
3  MotorOverload : ARRAY[1..3] OF BOOL;
4  MotorOverCurrent : ARRAY[1..3] OF BOOL;
5  MotorPBStart : ARRAY[1..3] OF BOOL;
6  MotorPBStop : ARRAY[1..3] OF BOOL;
7  MotorCoil : ARRAY[1..3] OF BOOL;
8  i : INT;
9
10 END_VAR
11
12 FOR i:=1 TO 3 BY 1 DO
13
14 IF MotorPBStop[i] OR MotorOverload[i] OR MotorOverCurrent[i] THEN
15     MotorCoil[i]:=0;
16 ELSIF MotorPBStart[i] THEN
17     MotorCoil[i]:=1;
18 END_IF
19 END_FOR

```

Slika 34. Prikaz PLC strukturalnog koda/teksta[22]



Slika 35. Prikaz PLC funkcijskih blokova[23]

U memoriji PLC-a pohranjuju se podaci tijekom njegovog rada, uključujući ulazne i izlazne signale, vrijednosti brojača (*eng. Counter*) i mjerača vremena (*eng. Timer*) te druge informacije o samom procesu. Ulazno-izlazna jedinica sastoji se od ulaznih signala očitanih preko raznih senzora i uređaja (*eng. Inputs*) koji se pohranjuju u memoriji te izlaznih signala (*eng. Outputs*) koji se šalju do izvršnih elemenata sustava to jest aktuatora. PLC također sadrži i komunikacijske portove kako bi se mogao povezati s vanjskim uređajima. Pod termin vanjski uređaji smatraju se druga računala i PLC-ovi, HMI (*eng. Human-machine Interface*) ili pak s industrijskom mrežom. Komunikacija između uređaja može se odvijati putem serijskih, Ethernet ili specijalnih industrijskih protokola kao što su Modbus ili Profibus. Slika 36. prikazuje HMI uređaj.



Slika 36. Prikaz Siemens SIMATIC HMI ekrana

Na prikazanom HMI-u mogu se prikazivati svi parametri sustava tijekom izvođenja pneumatskog procesa to jest zamaha. Pomoću ekrana mogu se kontrolirati cilindri preko elektropneumatskih ventila.

5.2. Senzori

Senzori su ključni elementi upravljačkog sustava te su odgovorni za prikupljanje podataka o različitim parametrima tijekom odvijanja procesa kao što su tlak i protok u sustavu te brzina i položaj klipa. Podaci prikupljeni pomoću senzora omogućuju upravljanje i nadzor nad procesom pomoću automatskog upravljanja putem PLC-a. U konceptu baseball udarača potrebni su senzori položaja kako bi se dobio uvid u kojem se položaju cilindri nalaze te indirektno tome poznat je i položaj samog udarača. Predloženi koncept zahtjeva šest senzora

položaja koji bi odredili kada se udarač nalazi u nultom položaju, a kada u konačnom položaju. Koristio bi se induktivni senzor koji ima sposobnost detekcije metalnih dijelova. Kada se taj metalni dio, točnije klip, približi senzoru, senzor generira signal te ga šalje u PLC. Kako bi imali uvid u tlakove unutar sustava potrebno je koristiti i manometre, idealno bi bilo digitalne kako bi se podaci direktno mogli preusmjeriti i analizirati na PLC-u. S ciljem regulacije brzine cilindara potrebno je ugraditi i senzor protoka koji bi mjerio količinu zraka u jedinici vremena.

6. ZAKLJUČAK

Inženjerima su oduvijek bili interesantni projekti koji uključuju sport i imitaciju ljudskih kretnji budući da kombinacija mehanike, biomehanike i kinematika može biti kompleksan i izazovan zadatak čak i za najuspješnije inženjere. Model baseball udarača razvijen i detaljno razrađen u sklopu ovog završnog rada predstavlja samo početni koncept na kojem je potrebno još mnogo raditi kako bi bio u potpunosti funkcionalan.

Trenutni koncept ima određena ograničenja poput mogućnosti udaranja loptice samo u jednoj specifičnoj lokaciji. Navedeno ograničenje upućuje na kompleksnost ljudskog pokreta te na složenost oponašanja ljudskih pokreta.

Kinematika koncepta izrazito je kompleksna jer je direktno povezana s ljudskom anatomijom. Ljudsko tijelo napravljeno je od brojnih mišića i zglobova koji omogućuju fleksibilnost i fluidne pokrete, dok mehanički sustavi zahtijevaju precizno programiranje i dizajn kako bi reproducirali samo osnovne kretnje.

Konceptualni pneumatski sustav dizajniran je koristeći pneumatske cilindre koji, ukoliko će to biti potrebno u budućem razvoju, mogu biti zamijenjeni rotacijskim aktuatorima ili pak motorima koji bi omogućili veću fleksibilnost samog sustava i veću kontrolu nad istim.

Isto kao što je i u stvarnom životu potrebno puno rada, truda i odricanja sportaša kako bi postigao željene rezultate i ostvario se u određenom sportu, tako je potrebno još mnogo rada i truda na predstavljenom sustavu kako bi u konačnici dobio neku konkretnu ulogu u treningu sportaša.

Stoga ovaj koncept služi samo kao temelj za daljnji razvoj ovog sporta koji se u današnje vrijeme sve više popularizira u Hrvatskoj.

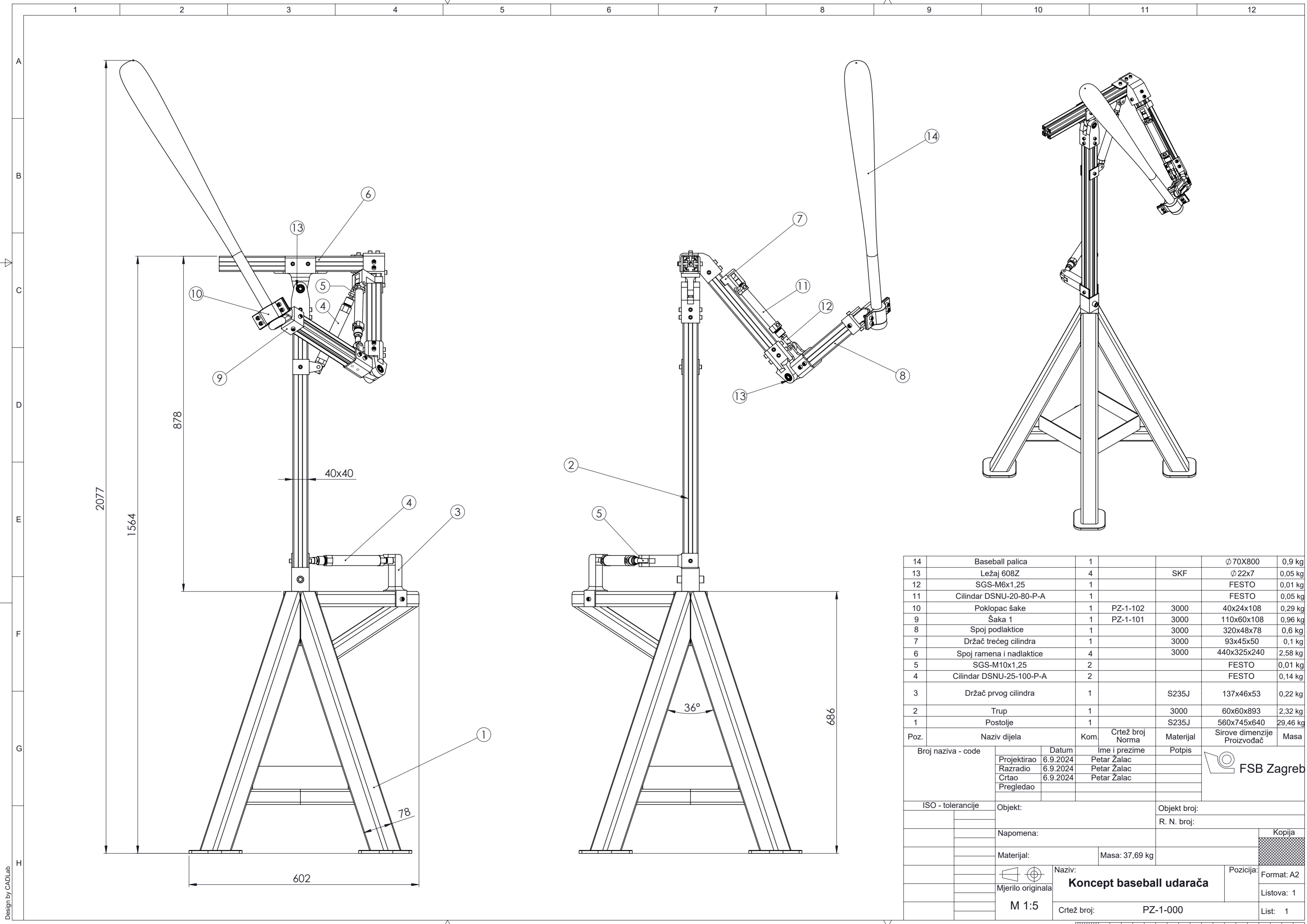
LITERATURA

- [1] Jerome Holtzman, Milton Jamail, history of baseball, dostupno na: <https://www.britannica.com/sports/history-of-baseball>, pristupljeno 22.8.2024.
- [2] <https://blog.boon.so/2024-mlb-logo-30-most-iconic-mlb-team-logos/>, pristupljeno 22.8.2024
- [3] <https://www.britannica.com/biography/Babe-Ruth>, pristupljeno 22.8.2024.
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Jackie_Robinson, pristupljeno 22.8.2024.
- [5] <https://www.baseball-cro.hr/index.php/baseball-kod-nas>, pristupljeno 22.8.2024.
- [6] https://www.muzejsporta-st.hr/povijest_sporta_baseball.html, pristupljeno 22.8.2024.
- [7] Gabriel Desjardins, How Do Baseball Stadium Dimensions Affect Batting Statistics, https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project-ideas/Math_p003/pure-mathematics/how-do-baseball-stadium-dimensions-affect-batting-statistics, pristupljeno 23.8.2024.
- [8] Rob Gray, Phases of baseball swing, https://www.researchgate.net/figure/Phases-of-a-baseball-swing-Values-are-proportions-of-the-total-swing-time-Modified-from_fig2_8646924, pristupljeno 23.8.2024.
- [9] Phil Tognetti, Squish the Bug?, <http://www.fullwindup.com/2010/11/squish-the-bug/>, pristupljeno 23.8.2024.
- [10] https://e-ucenje.fsb.hr/pluginfile.php/161563/mod_resource/content/2/Springer%20Handbook%20of%20Robotics%202nd%20ed%202016.pdf, pristupljeno 25.8.2024.
- [11] <http://www.b2bmetal.eu/en/pages/index/index/id/65/>, pristupljeno 25.8.2024.
- [12] <https://enciklopedija.hr/clanak/pneumatika>, pristupljeno 26.8.2024.
- [13] <https://www.mag-commerce.com/zastupnistva/industrijska-pneumatika/>, pristupljeno 26.8.2024.
- [14] <https://www.iso.org/obp/ui#iso:grs:14617-10:10.4.1.2:2402>, pristupljeno 26.8.2024.
- [15] <http://hr.eoplasticipipes.com/polyurethane-tubing/pu-tube/high-quality-pneumatic-air-pipe-blue-color.html>, pristupljeno 27.8.2024.
- [16] https://www.hafner-pneumatik.com/iso_schemes_of_directional__control_valves_?desktop=true, pristupljeno 27.8.2024.
- [17] https://www.smc.nu/drawings/2-D/pn_symbols_EU.pdf, pristupljeno 28.8.2024.

- [18] https://www.festo.com/us/en/p/round-cylinder-double-acting-id_DSNU_PUB/?q=%7E%3AsortByCoreRangeAndNewProduct%7E%3ACC_Piston_diameter_mm_C_FP_GLOBAL%7E%3A20.0, pristupljeno 30.8.2024.
- [19] <https://www.festo.com/hr/hr/a/193144/>, pristupljeno 2.9.2024.
- [20] <https://www.rs-online.vn/p/siemens-s7-1200-plc-cpu-14-digital-input-2-switch-as-analogue-input-inputs-10-digital-output-transistor-output/>, pristupljeno 2.9.2024.
- [21] Redouane, An Introduction to Basic Ladder Logic Instructions in Siemens Tia Portal, <https://www.solisplc.com/tutorials/siemens-tia-portal-programming-example-basic-ladder-logic-instructions>, pristupljeno 1.9.2024.
- [22] Mouhammad Hamsho, Structured Text (ST) in PLC- Why should you use it, <https://medium.com/@mouhammad.hamshoo/structured-text-st-in-plc-and-why-you-must-ditch-ladder-logic-595e38d4d9ad>, pristupljeno 1.9.2024.
- [23] <https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V2.0/en/SoMProg/SoMProg/D-SE-0083463.html>, pristupljeno 1.9.2024.

PRILOZI

I. Tehnička dokumentacija

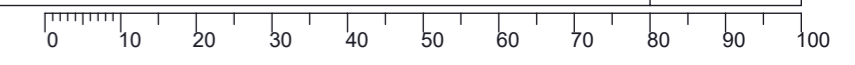


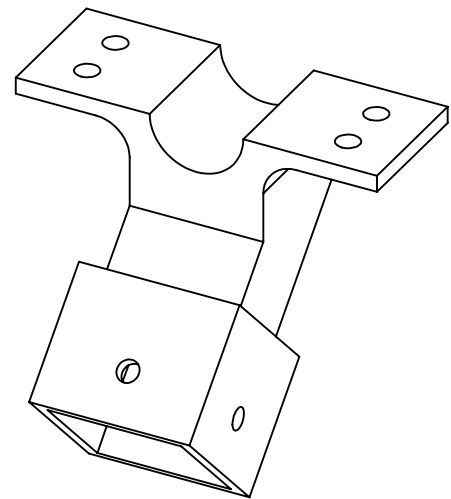
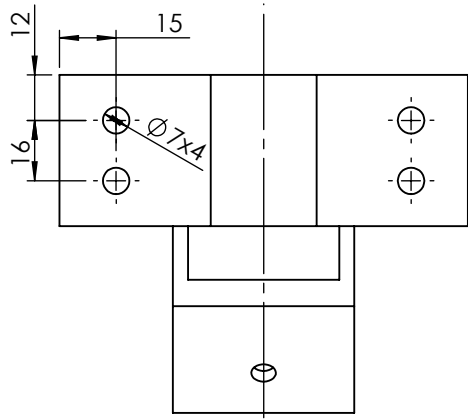
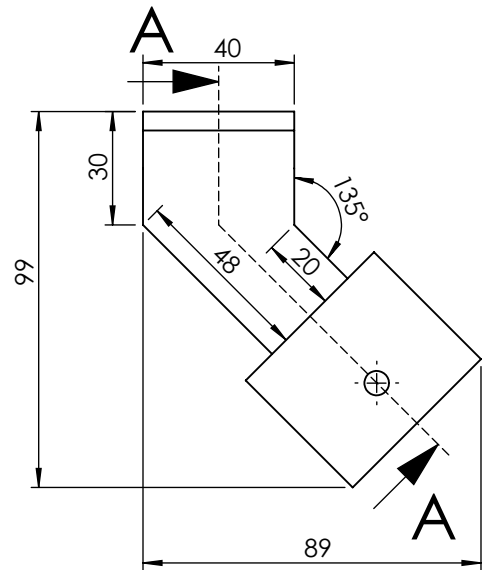
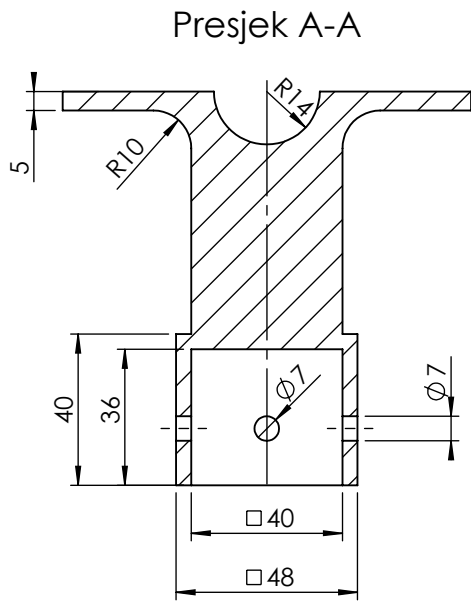
14	Baseball palica	1			Ø 70X800	0,9 kg
13	Ležaj 608Z	4		SKF	Ø 22x7	0,05 kg
12	SGS-M6x1,25	1		FESTO		0,01 kg
11	Cilindar DSNU-20-80-P-A	1		FESTO		0,05 kg
10	Poklopac šake	1	PZ-1-102	3000	40x24x108	0,29 kg
9	Šaka 1	1	PZ-1-101	3000	110x60x108	0,96 kg
8	Spoj podlaktice	1		3000	320x48x78	0,6 kg
7	Držać trećeg cilindra	1		3000	93x45x50	0,1 kg
6	Spoj ramena i nadlaktice	4		3000	440x325x240	2,58 kg
5	SGS-M10x1,25	2		FESTO		0,01 kg
4	Cilindar DSNU-25-100-P-A	2		FESTO		0,14 kg
3	Držać prvog cilindra	1		S235J	137x46x53	0,22 kg
2	Trup	1		3000	60x60x893	2,32 kg
1	Postolje	1		S235J	560x745x640	29,46 kg

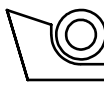
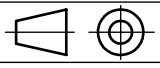
Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code		Datum		Ime i prezime		Potpis
	Projektirao	6.9.2024	Petar Žalac			
	Razradio	6.9.2024	Petar Žalac			
	Crtao	6.9.2024	Petar Žalac			
	Pregledao					
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
				R. N. broj:		
Napomena:				Kopija		
Materijal:		Masa: 37,69 kg				
Mjerilo originala		Naziv:		Pozicija:		Format: A2
M 1:5		Koncept baseball udarača				Listova: 1
		Crtež broj:		PZ-1-000		List: 1



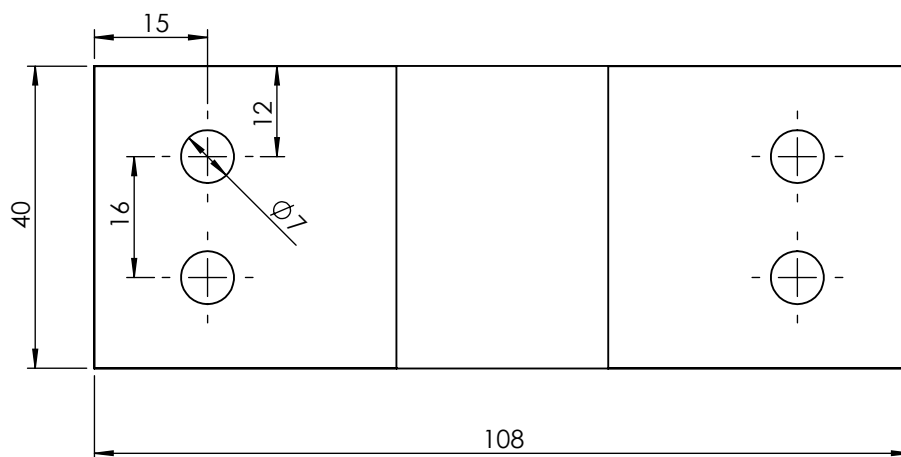
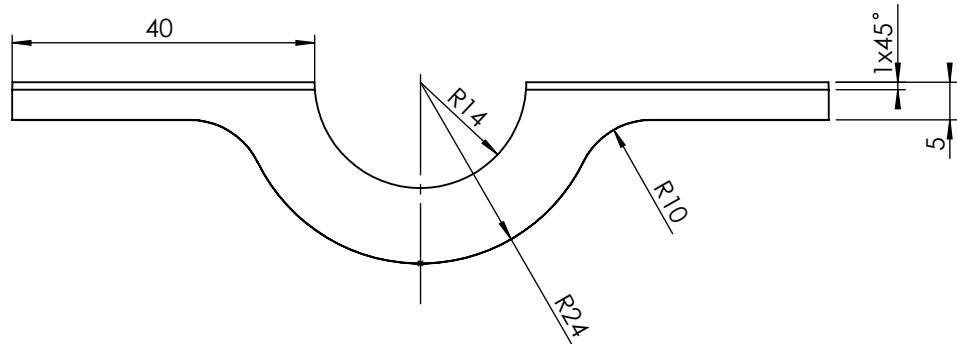
Design by CADLab

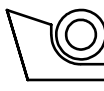
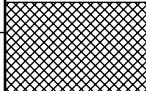






Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Razradio	6.9.2024	Petar Žalac		
	Crtao	6.9.2024	Petar Žalac		
	Pregledao				
ISO - tolerancije	Objekt:			Objekt broj:	
				R. N. broj:	
	Napomena:				Kopija
	Materijal: Alumijska legura	Masa: 0,96 kg			
	 Naziv: Šaka	Pozicija: 9		Format: A4	
	Mjerilo originala: 1:2	Crtež broj: PZ-1-101		Listova: 1	
				List: 1	

Design by CADLab



Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Razradio	6.9.2024	Petar Žalac		
	Crtao	6.9.2024	Petar Žalac		
	Pregledao				
ISO - tolerancije	Objekt:			Objekt broj:	
				R. N. broj:	
	Napomena:				Kopija
	Materijal: Alumijska legura		Masa: 0,28 kg		
	  Naziv: Poklopac šake			Pozicija: 8	
	Mjerilo originala				Format: A4
	1:2			Crtež broj: PZ-1-102	Listova: 1
					List: 1

Design by CADLab