

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

Valentino Štahan
Hrvoje Brezak
Dominik Sremić

**HODAJUĆI ROBOT POKRETAN
UMJETNIM PNEUMATSKIM MIŠIĆIMA**

Zagreb, 2015.

Ovaj rad izrađen je na Katedri za strojarsku automatiku, Zavoda za robotiku i automatizaciju proizvodnih sustava, pod mentorstvom prof. dr. sc. Željka Šituma i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2014./2015.

Sadržaj

1. Uvod	5
2. Mobilni roboti.....	7
2.1 Pneumatski mobilni roboti	8
3. Konstrukcija robota	9
3.1 Početni koncept	9
3.2 Konstrukcija noge.....	10
3.3 Konstrukcija trupa robota	14
4. Energetski sustav robota.....	17
4.1 Pneumatski mišić kao aktuator.....	17
4.2 Komponente sustava.....	19
4.3 Opis rada.....	20
5. Upravljanje robota.....	22
5.1 Elektroničke komponente.....	22
5.2 Tiskana pločica.....	23
5.3 Upravljanje robotom.....	25
6. Mobilnost i autonomija	26
6.1 Kompresor.....	26
6.2 Mobilnost.....	28
7. Rezultati.....	29
8. Budući planovi	30
Programski kod.....	31
Zahvala	36
Literatura	37
Sažetak	38
Summary	39
Životopis.....	40

Popis slika

Slika 1: Primjer ind. Robota [1]	6
Slika 2: Primjer mobilnog robota [2].....	6
Slika 3: Primjer kopnenog robota [3]	7
Slika 4: Primjer zračnog robota [4]	7
Slika 5: Primjer vodenog robota [5]	7
Slika 6: Primjer svemirskog robota [6]	7
Slika 7: Hodajući pneumatski robot Lucy [7]	8
Slika 8: Pneupard, trčeći pneumatski robot [8]	8
Slika 9: Početni koncept robota.....	9
Slika 10: Model profila cijevi.....	10
Slika 11: Početni koncept noge	11
Slika 12: Izrađena noga robota	12
Slika 13: Model odabrane izvedbe noge	13
Slika 14: Izrada trupa robota	14
Slika 15: Konstrukcija robota.....	15
Slika 16: Izgled konstrukcije robota.....	16
Slika 17: Primjer pneumatskog mišića [9]	17
Slika 18: Rubbertuator pneumatski mišić [10]	18
Slika 19: Pneumatski mišić s uzdužnom armaturom [11]	18
Slika 20: ROMAC pneumatski mišić [12]	18
Slika 21: Yarlottov pneumatski mišić [13].....	18
Slika 22: Akumulator zraka [14]	20
Slika 23: Ventilski blok [15]	20
Slika 24: Pripremna grupa [16]	20
Slika 25: Prigušno - nepovratni ventil [17]	20
Slika 26: Pneumatska shema za jedan aktuator robota.....	21
Slika 27: Arduino Mega 2560 [18].....	22
Slika 28: PCB shema za upravljanje ventilima	24
Slika 29: PCB shema za upravljanje kompresorom	24
Slika 30: Prikaz hoda konja [19]	25
Slika 31: Korišteni kompresori.....	27
Slika 32: Prikaz korištenog bluetooth modula [20].....	28
Slika 33: Funkcionalna shema kruga za uključivanje kompresora.....	28
Slika 34: Konačan izgled četveronožnog hodajućeg robota pokretanog umjetnim pneumatskim mišićima	29
Slika 35: Prikaz ultrazvučnog senzorskog modula [21]	30
Slika 36: Digitalni kompas [22]	30

1. Uvod

Robotika je široka grana inženjerske znanosti koja se bavi dizajniranjem, konstrukcijom te primjenama robota u znanosti, industriji i svakodnevnom životu. Objedinjava velik broj znanstvenih disciplina s njihovim specifičnim primjenama:

- strojarstvo - dizajniranje i izvedba mehaničke konstrukcije robota, prijenos gibanja,
- energetika - izvor energije sustava (električni, pneumatski, hidraulički),
- elektronika - elektronički sklopovi, senzori, mikrokontroleri
- računalstvo - programiranje, obrada slike i zvuka, digitalno upravljanje i regulacija,
- automatika - automatizacija proizvodnih sustava,
- umjetna inteligencija - donošenje odluka, inteligentno ponašanje
- medicina - biorobotika, biomehanika.

Roboti se mogu definirati kao reprogramabilni multifunkcionalni manipulatori, stvoreni da rukuju stvarima, dijelovima, alatima ili specijalnim uređajima, kroz niz različitih programiranih pokreta, u cilju izvođenja raznolikih zadataka.

Svaki robot sastoji se od četiri funkcionalne cjeline:

- mehanički sustav - konstrukcijski dijelovi robota, segmenti, uležištenja, prijenosnici gibanja,
- energetski sustav - izvor energije za pokretanje robota, može biti električni, pneumatski, hidraulički,
- mjerni sustav - skup senzora pomoću kojih robot očitava svoje unutarnje stanje te prima informacije o okolini u kojoj se nalazi,
- upravljački sustav - mozak robota, izvršava program pohranjen u memoriji, obrađuje podatke primljene sa senzora, komunicira s drugim jedinicama.

Razvoj robotike kao industrijske grane u zadnjih pola stoljeća bio je strelovit. U današnje vrijeme nagli razvoj predviđa se u području mobilne robotike, pogotovo u području humanoidne te uslužne mobilne robotike gdje se očekuje spajanje robota i ljudske svakodnevice. Unatoč naglom razvoju razlikujemo tri generacije robota:

- 1. generacija - upravljani roboti, automati bez povratne veze i regulacije koji zahtijevaju visoko organiziranu radnu okolinu i precizno definiran zadatak,
- 2. generacija - roboti s regulacijom po povratnoj vezi izlazne veličine. Sposobni za donošenje jednostavnih predprogramiranih logičkih odluka,
- 3. generacija - roboti koji će biti sposobni donositi vlastite odluke na temelju dostupnih informacija, inteligentni roboti.

Današnji roboti mogu se podijeliti prema stupnju samostalnosti na industrijske robote i mobilne robote.

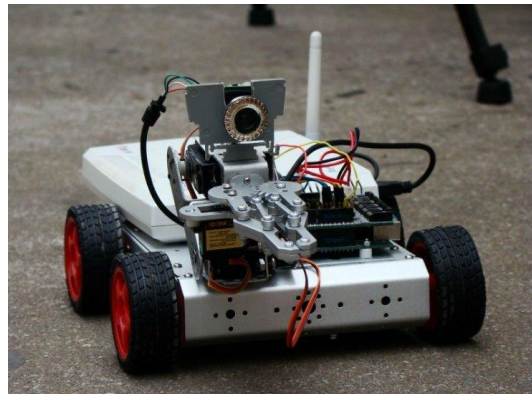
Industrijska robotika bavi se automatski upravljanim i reprogramljivim višenamjenskim manipulatorima koji se programiraju u tri ili više osi. Kreću se u skupu diskretnih lokacija unutar radnog prostora. Ovisno o zadatku oni mogu biti:

- manipulatori - namijenjeni izvršavanju složenih operacija s radnim objektima. Robot hvata objekt pomoću hvataljke koja se nalazi za kraju zadnjeg segmenta robota. Hvataljka je zamjenjiva i njen izbor ovisi o vrsti zadatka te obliku objekta kojim operira manipulator,
- operacijski roboti - izvršavaju specifične zadatke koji zahtijevaju specijalni alat poput zavarivanja ili bojenja. Također, eksperimentalnu primjenu imaju u medicini gdje bi u budućnosti mogli precizno izvoditi složene operacijske zahvate na pacijentima sami ili kao alat doktora,
- roboti za montažu - namijenjeni upotrebi u serijskoj proizvodnji za izvršavanje operacija sklapanja proizvoda,
- roboti za kontrolu i mjerenje - koriste se za kontrolu kvalitete dijelova i gotovih proizvoda, česti u industrijama kod kojih su greške nedopustive zbog ugrožavanja ljudskih života poput automobilske. Ovisno o zadatku mogu precizno mjeriti dimenzije radnih komada ili ispitivati njihovu mikro strukturu te izdržljivost.

Nagli razvoj i usavršavanje industrijskih robota nastao je zbog brojnih prednosti uvođenja robota u proizvodne procese: zamjena ljudi u zadacima koji su opasni po zdravlje i život, zamjena monotonog posla, visoka preciznost, brzina i kvaliteta, neograničeno radno vrijeme.



Slika 1: Primjer ind. Robota [1]



Slika 2: Primjer mobilnog robota [2]

Mobilna robotika, kojoj pripada i predmet ovog rada je višedisciplinarno područje tehnike koje se bavi razvojem i izvedbom autonomnih mobilnih robota koji su detaljnije opisani u idućem poglavlju.

2. Mobilni roboti

Mobilni roboti su pokretni i manipulativni fizički sustavi sposobni za autonomno gibanje kroz zadani prostor ostvarujući pritom interakciju s okolinom. Upravo zbog svoje pokretljivosti mobilni roboti imaju sve veću primjenu u istraživanju na i izvan našeg planeta, u industriji, uslužnim djelatnostima i svakodnevnom životu. Danas je mobilna robotika vrlo aktivno područje i predmet je brojnih istraživanja te inovacija.

Mobilne robote moguće je klasificirati po nizu kriterija.

Najčešća je prema vrsti prijenosnog medija gdje razlikujemo kopnene, zračne, vodene i svemirske robote:

Kopneni roboti najraširenija su vrsta mobilnih robota te su nama kao kopnenim bićima najintuitivniji za konstruiranje i upravljanje. Upotrebljavaju se za širok spektar radnji od edukacije, vojnih primjena (razminiranje) do uslužnih djelatnosti i osiguranja objekata.

Zračni roboti koriste različite aktuatora da bi postigli mogućnost letenja i lebdjenja u zraku. Raširena im je upotreba u vojne svrhe no mogu se koristiti za nadgledanje nekog područja, dostavu, procjenu šteta na usjevima ili lociranje žrtava prirodnih i drugih katastrofa.

Vodeni roboti namijenjeni su kretanju u kapljevinama. Intenzivno se koriste u istraživanju podmorja, arheoloških nalazišta, inspekciji nuklearnih elektrana i sličnih postrojenja, inspekciji stanja podmorskih objekata i trupa brodova.

Svemirski roboti namijenjeni su istraživanju drugih svemirskih tijela. Zbog vrlo visokih zahtjeva za robusnošću, izdržljivošću i pouzdanosti u radu u ekstremnim uvjetima oni predstavljaju vrhunac razvoja moderne mobilne robotike.



Slika 3: Primjer kopnenog robota [3]



Slika 4: Primjer zračnog robota [4]



Slika 5: Primjer vodenog robota [5]



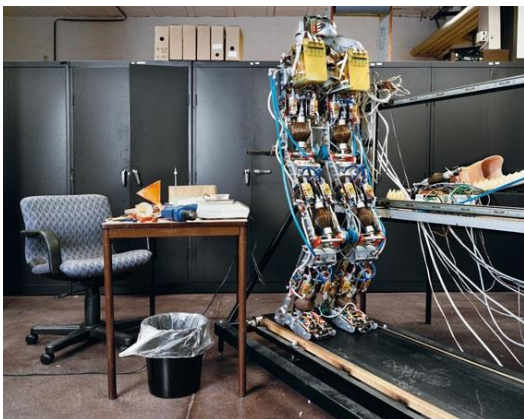
Slika 6: Primjer svemirskog robota [6]

S obzirom na lokomocijski mehanizam razlikujemo robote na kotače, gusjenice, noge, puzajuće mehanizme, itd. Prema namjeni razlikujemo uslužne, istraživačke, edukacijske, vojne robote, robote za rad te robote opće namjene.

2.1 Pneumatski mobilni roboti

Pneumatski mobilni roboti nisu česta pojava u robotici. Razloga za to je više. Pneumatski sustav ne može raditi potpuno autonomno jer uvijek zahtjeva dovod komprimiranog zraka za što je potreban električni kompresor koji nije zanemarivih dimenzija. Da bi se sustav mogao nositi s promjenama i zahtjevima za zrakom obično je potreban akumulator zraka koji opet nije zanemarivih dimenzija i mase.

Ipak, pneumatski sustavi imaju i svojih prednosti. Među ostalim tu su dostupnost medija, lak prijenos snage, mogućnost kompenzacije nedostataka kvalitetnim upravljačkim algoritmima, visoka brzina rada, lako održavanje te sigurnost u radu. Pošto je zrak kompresibilan, sustav nije krut što smanjuje opasnost od loma dijelova. Razvojem novih komponenti poput pneumatskih mišića moguće je adekvatno zamijeniti komponente veće mase i dimenzija poput cilindara u sustavu.



Slika 7: Hodajući pneumatski robot Lucy [7]



Slika 8: Pnepard, trčević pneumatski robot [8]

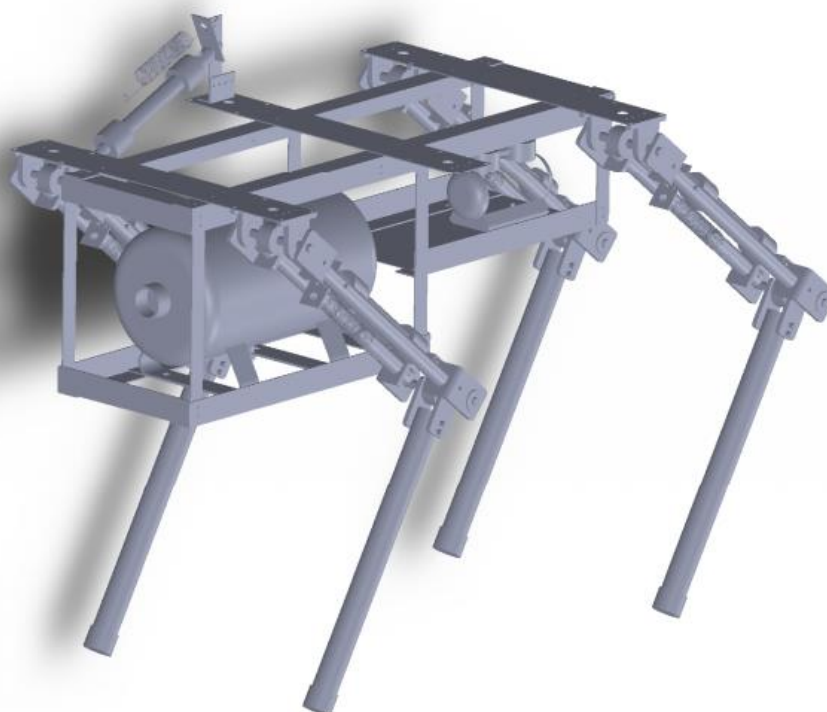
3. Konstrukcija robota

Faza projekta koja je zahtijevala najviše vremena te kreativnog razmišljanja zasigurno je konstrukcijska faza. Za svaki projekt faza planiranja od velike je važnosti jer kvalitetna priprema dugoročno daje bolje rezultate i kvalitetniju organizaciju rada. Tijekom planiranja konstrukcije predlagani su i razmatrani brojni prijedlozi i konstrukcijska rješenja no ipak brojne modifikacije morale su biti uvedene tijekom same izrade kao posljedica novostečenog iskustva.

Namjera za izradu prvog pneumatskog hodajućeg robota na Fakultetu strojarstva i brodogradnje bila je dodatno pojačana velikodušnom donacijom tvrtke Festo čime su dobiveni dijelovi potrebni za izradu ovakvog robota. Za robota koji bi bio pokretan njihovim pneumatskim mišićima pokazali su veliki interes jer se njime može pokazati kako je zrak i dalje moćan izvor energije, unatoč ubrzanom razvitku elektromotora koji imaju i mane i prednosti u odnosu na pneumatiku.

3.1 Početni koncept

Kao podloga za početak rada na projektu hodajućeg robota pokretanog umjetnim pneumatskim mišićima nazvanom W.R.A.P.A.M. (Walking Robot Actuated by Pneumatic Artificial Muscles) poslužio je završni rad kolege Vedrana Tatalovića "Konstrukcija hodajućeg robota pokretanog pneumatskim mišićima" u kojemu autor detaljno razrađuje koncept ovakvog hodajućeg robota kroz nekoliko varijanti te proučava način gibanja ovakvog robota. Tamo opisana konstrukcija poslužila je kao početni koncept i motivacija za izradu ovako složenog robota.



Slika 9: Početni koncept robota

3.2 Konstrukcija noge

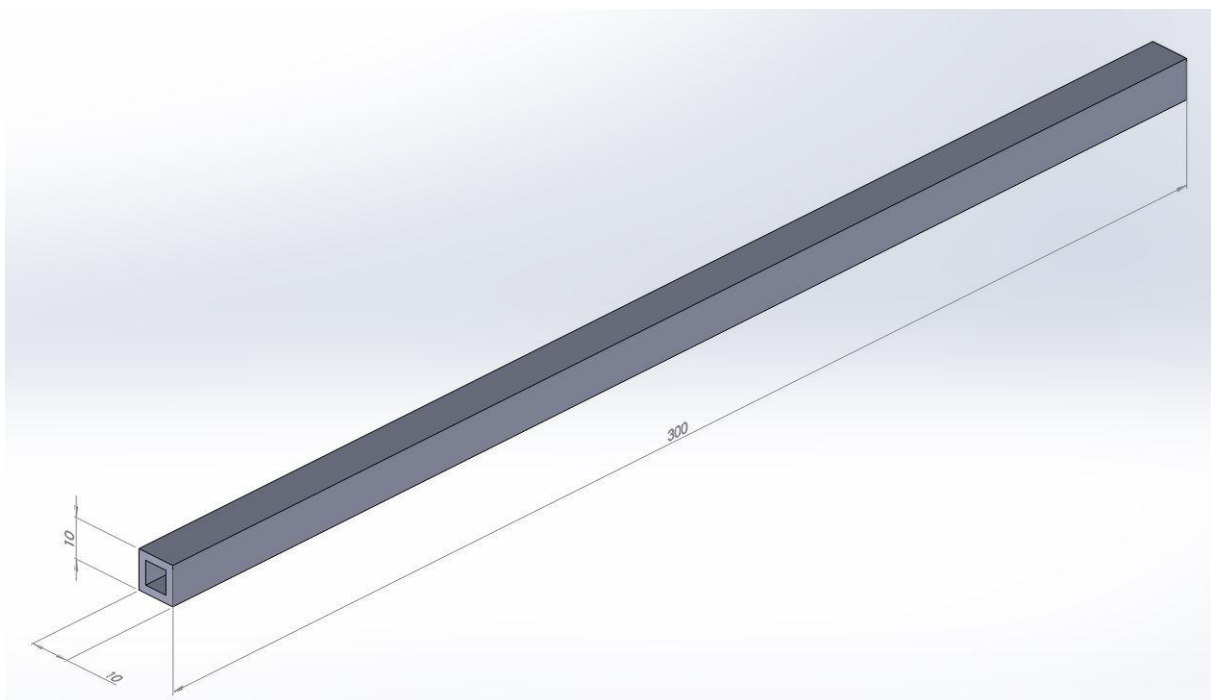
Jedno od prvih pitanja koje se postavilo bilo je kako izraditi nogu za robota. Za hodajućeg robota koncept noge je vrlo bitan. Noga je element koji preuzima na sebe težinu konstrukcije a njen dizajn diktira način gibanja.

Nakon razmatranja početnog koncepta zaključeno je da je početni koncept kolege Tatalovića prekomplikiran i da bi robota bilo vrlo teško izraditi po tom modelu.

Pristupilo se razvijanju novih ideja. Dizajn noge rađen je s ciljem da je pokreću dva pneumatska mišića pri čemu se stezanjem jednog dobiva odgurivanje robota a stezanjem drugog dizanje noge koje omogućava povratno gibanje.

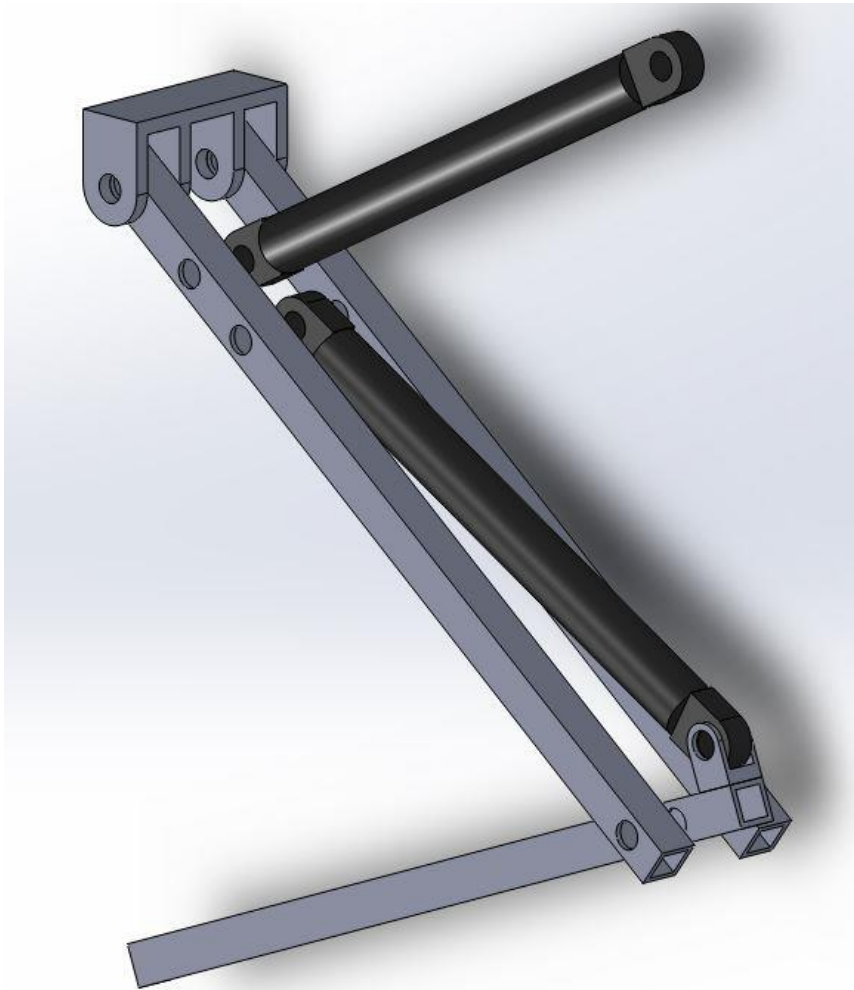
Inspiracija je crpljena iz anatomije ljudi i općenito iz prirode pošto mišići udova životinja dolaze u antagonističkom paru gdje jedan vrši glavno gibanje a drugi suprotno, povratno. Uz to noga je trebala biti što jednostavnija, sastavljena od što manje dijelova te dovoljno čvrsta da ne bi došlo do deformacija uslijed hoda.

Prvi model noge hodajućeg robota sastojao se od nekoliko aluminijskih cijevi kvadratnog profila dimenzija 10x10 mm s debljinom stijenke 2 mm.



Slika 10: Model profila cijevi

Pošto je aluminij relativno mekan materijal, bio je pogodan za obradu odvajanjem čestica u jednoj od zgrada fakulteta gdje su studenti osnovali udrugu studenata u kojoj se nalazio sav potreban alat za izradu ovakvog projekta.



Slika 11: Početni koncept noge

Na prikazanom modelu noge sivom bojom prikazani su aluminijski profili, a crnom bojom pneumatski mišići. Bilo je potrebno izračunati koliko želimo da se kraj noge pomakne kada je mišić pod tlakom u odnosu na opušteno stanje.

Uz poznat pomak pneumatskog mišića, koji je na tlaku od 3 bara 10 mm, dobiveno je da je za željenih 15 centimetara pomaka na kraju noge potrebno da omjer krakova od centra zakretanja donjeg djela noge pa do jednog i drugog kraja noge bude 1:15. Slično je napravljeno i sa gornjim dijelom noge koji se za vrijeme skupljanja mišića podigne za 10 cm.

Prikazan model sastoji se od samo 3 cijevi pravokutnog profila izbušenih na nekoliko mjesta, sa još nekim pomoćnim zglobovima, tako da je konstrukcija poprilično pojednostavljena. Nakon definiranog modela i kotiranih mjera na koje je potrebno odrezati cijevi i na kojim mjestima je potrebno izbušiti rupe, izrada je mogla započeti.

Prva verzija izrađene noge malo se razlikovala od početnog 3D modela po tome što su napravljeni malo drugačiji prihvat mišića i gornji zglobovi nogu. Nakon izrađene prve noge i montaže pneumatskog mišića na nju, konačno smo mogli ispitati pomak noge u realnim uvjetima. Rezultati su bili vrlo zadovoljavajući. Pomak noge proporcionalno je rastao sa porastom tlaka na mišiću. Bitno je bilo pronaći optimum između pomaka noge (tj. skupljanja mišića) i potrebnog tlaka zraka jer što je veći tlak potreban to je kompresor više opterećen i pneumatski akumulator se brže prazni.



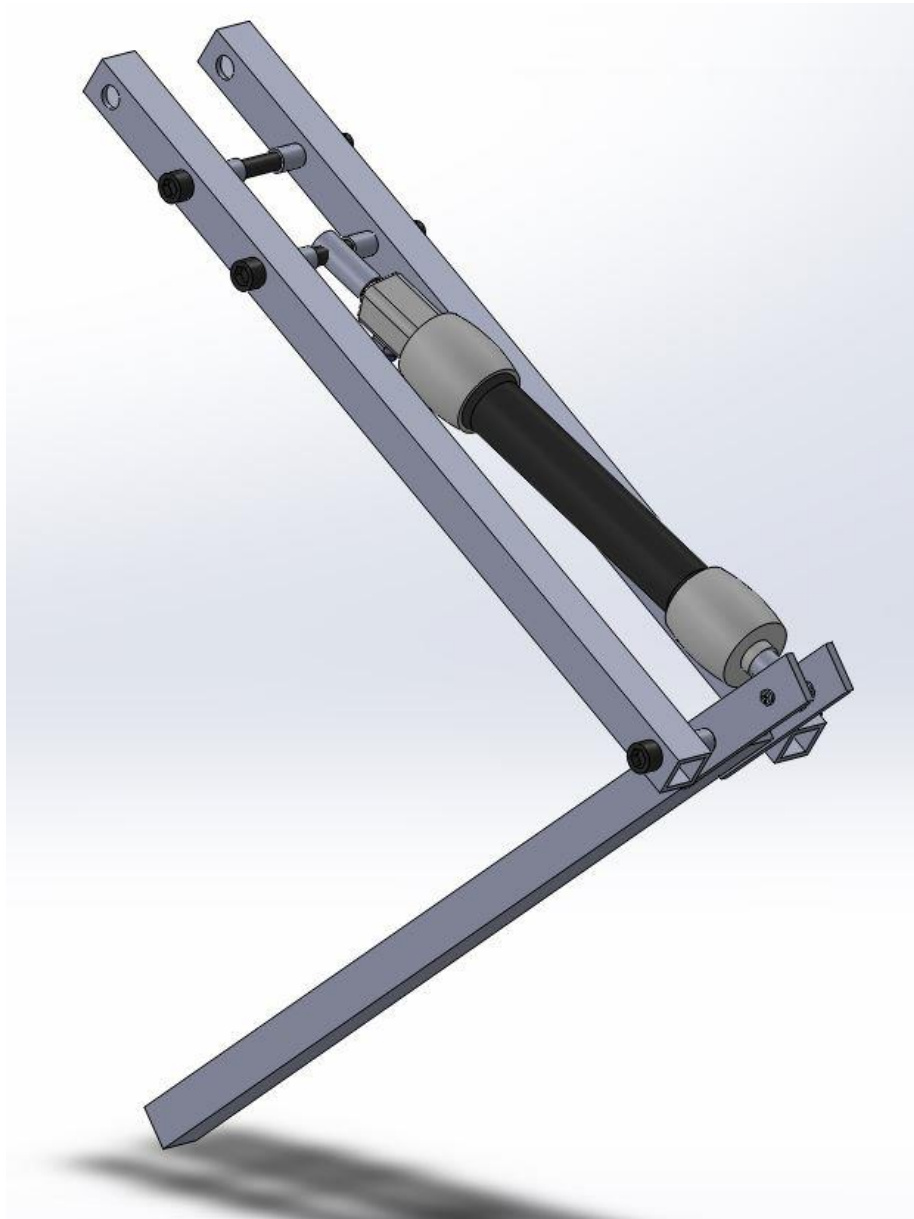
Slika 12: Izrađena noga robota

Najveći problemi kod izrade nogu bili su zglobovi. Njih, kako je sa slike vidljivo ima mnogo. Svaki mišić mora se moći okretati oko osovine s kojom je pričvršćen za nogu ili trup, a glavni zglobovi su na spoju trupa i gornjeg dijela noge te na spoju gornjeg i donjeg dijela noge.

Već iz same dimenzije nogu vidljivo je da će to biti malo veći robot. Svaka od 3 kvadratne cijevi na nozi dugačka je 300 mm. Iako u ovoj fazi još nismo znali kako ćemo napraviti trup robota, bilo je jasno da će on biti relativno velik i težak te samim time da će noge biti poprilično opterećene.

Iz tog razloga bilo je potrebno pronaći relativno jake ležajeve (bilo kuglične, valjkaste ili neke treće) koji će moći podnijeti opterećenje od 10 kilograma a da su vrlo malih dimenzija. U početku, kada se noga sastojala od cijevi pravokutnog presjeka 10x10 mm, unutarnja šupljina bila je samo 6 mm. Uz dosta pretraživanja, pronašli smo ležajeve koji bi možda mogli biti zadovoljavajući, no zbog njihovog vanjskog promjera od 8 mm bilo je potrebno oslabiti konstrukciju noge za dodatna 2 mm. Nakon što se takvi ležajevi nisu pokazali idealnim za rješenje problema, naručeni su valjkasti ležajevi istog vanjskog i unutarnjeg promjera. I sa novim ležajevima bilo je velikih problema sa njihovim ugrađivanjem u konstrukciju.

Na posljetku je odlučeno da će se aluminijski dijelovi nogu okretati oko čeličnih osovine, što se pokazalo kao najjednostavnije i najčvršće rješenje.



Slika 13: Model odabrane izvedbe noge

Na ovom modelu puno je vjernije sve prikazano, crnom bojom su obilježeni čelični vijci koji se u ovom sklopu ponašaju kao male osovine, a svi sivi dijelovi su aluminijske cijevi kvadratnog ili okruglog poprečnog presjeka.

Za izvedbu našeg robota bilo bi potrebno 16 mišića što je dvostruko više od broja koji smo imali, stoga smo morali smisliti drugo rješenje za povratno gibanje nogu. Početna pretpostavka je bila da će se noga vraćati u početni položaj uz pomoć gravitacije i težine konstrukcije no eksperimentalno to nismo uspjeli postići, noge se ne bi vraćale brzinom dostatnom za izvođenje hodanja. Rješenje tog problema našli smo u torzionim oprugama smještenim na koljenima robota. Ove opruge djeluju suprotno od mišića za odguravanje te njihovo djelovanje rezultira brzim povratom noge nakon odguravanja što omogućava gibanje.

3.3 Konstrukcija trupa robota

Nakon izrađene noge koja zadovoljava sve zadane uvjete (krutost, laka pokretljivost pomičnih dijelova, jednostavnost izrade) počeli smo razmišljati o izradi trupa. Na slijedećoj slici prikazana je na podu „sklopljena“ jedna strana robota, a na tom konceptu je kasnije i izrađen cijeli robot.



Slika 14: Izrada trupa robota

Zanimljivo je to da niti jedan dio na robotu, velik dio vremena uopće nije zavaren. Svi spojevi aluminijskih profila na trupu su spojeni čeličnim pločicama u obliku slova L sa po 4 vijaka.

Na konstrukciju je potrošeno otprilike 10 metara aluminijske cijevi pravokutnog profila 15x15 mm i debljine 2 mm koja se pokazala znatno bolja od prijašnjeg 10x10 mm profila zbog zahtjeva za veću čvrstoću, a masa 15x15mm profila dužine jednog metra je 230 grama.



Slika 15: Konstrukcija robota

Kada smo izrezali i obradili sve dijelove, te nakon njihovog sklapanja, ovako je izgledala gotova konstrukcija. Sada smo mogli testirati ručno jedan po jedan mišić kako se ponaša kada je spojen na kompresor, ali nismo još mogli dobiti osjećaj kako će se robot kretati i hoće li biti nekih problema.

Sljedeća faza bila je postavljanje prozirne plastične ploče na trup robota te montažu kompresora, ventila i ostale elektronike.



Slika 16: Izgled konstrukcije robota

4. Energetski sustav robota

Za pogon hodajućeg robota odabran je pneumatski pogon koji iz već navedenih razloga nije česti izbor kod mobilnih robota. Ipak, naš izbor se temeljio na želji za izradu hodajućeg robota u skladu s prirodom kao glavnom inspiracijom – bionički pristup, a to omogućavaju pneumatski mišići koji mogu vjernije od električnih aktuatora simulirati način na koji se gibaju četveronožna živa bića. Kod bioničkog pristupa nastoji se ostvariti konverzija konstrukcijskih principa i procesa prirodnih bioloških sustava s ciljem poboljšanja suvremenih tehnoloških rješenja.

4.1 Pneumatski mišić kao aktuator

Umjetni pneumatski mišići služe kao sve popularniji pneumatski aktuatori. Porast popularnosti posljedica je niza odličnih svojstava poput vrlo male mase koja omogućuje montiranje izravno na konstrukciju koju pogone, sposobnost prijenosa jednake količine energije kao znatno teži i složeniji pneumatski cilindri pri radu na istom tlaku s istim volumenom, lako održavanje, dugi vijek trajanja te jednostavna zamjena.

Umjetni pneumatski mišići stezljivi su pneumatski aktuatori linearnog gibanja pokretani tlakom zraka. Ključan element mišića je tanka i feksibilna membrana učvršćena na oba kraja mišića koja ovisno o izvedbi može biti izradena od silikonske gume, lateksa, najlonskih vlakna, itd.

Dovodnjem zraka pod tlakom u mišić membrana se puni i širi radialno istovremeno se stežući aksijalno pri čemu nastaje vučna sila na krajevima mišića. Sila i gibanje koji nastaju kao posljedica stezanja mišića linearni su i jednosmjerni.

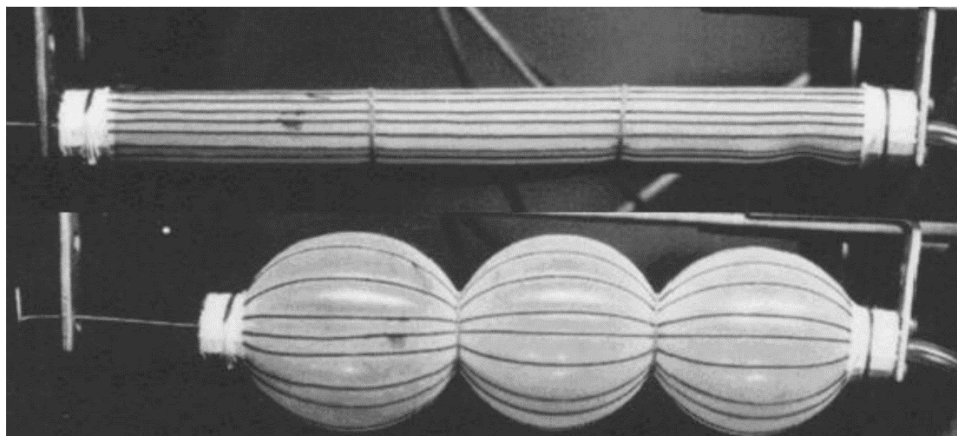


Slika 17: Primjer pneumatskog mišića [9]

Pneumatski mišići u industriji nalaze primjenu na mjestima gdje je potrebna mala masa aktuatora te izravno spajanje na pokretani dio, no također sve više zamjenjuju druge pneumatske aktuatore zbog svojih povoljnih svojstva za rad u pogonu poput otpornosti na vlagu, prašinu, vibracije i nečistoće. Najčešće se koriste u procesima sortiranja i manipulacije predmetima kao i pri dizanju i spužtanju tereta. Velik potencijal imaju i za primjenu u robotici, poglavito u bioničkim sustavima gdje mogu služiti za simuliranje pokreta i gibanja inspiriranih biološkim sustavima. Pneumatski mišići u paru mogu simulirati ponašanje mišića u udovima živih bića pa je moguća primjena u rehabilitaciji i oporavku od ozlijeđa mišića kod ljudi kao i u izradi ortopedskih pomagala.

Postoji više vrsta izvedbi pneumatskih mišića od kojih svi rade na sličnim principima a razlikuju se po obliku, materijalu i radnim tlakovima. Najpopularnija izvedba jest McKibbenov mišić zbog svoje jednostavnosti i niske cijene. Razlikujemo još ROMAC (RObotic Muscle ACtuator) pneumatski

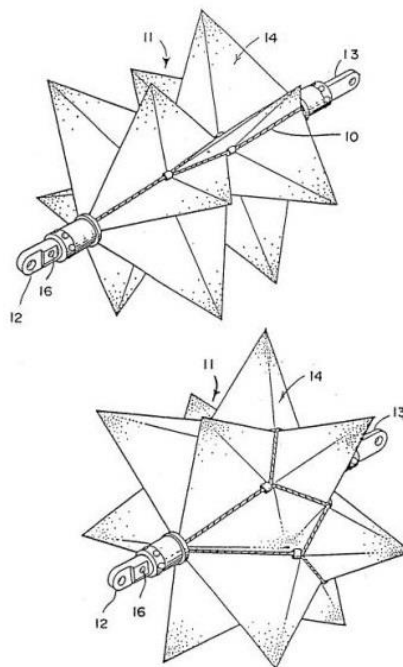
mišić, Rubbertuator pneumatski mišić s uzdužnom armaturom, Kukuljev pneumatski mišić, Yarllotov pneumatski mišić i druge.



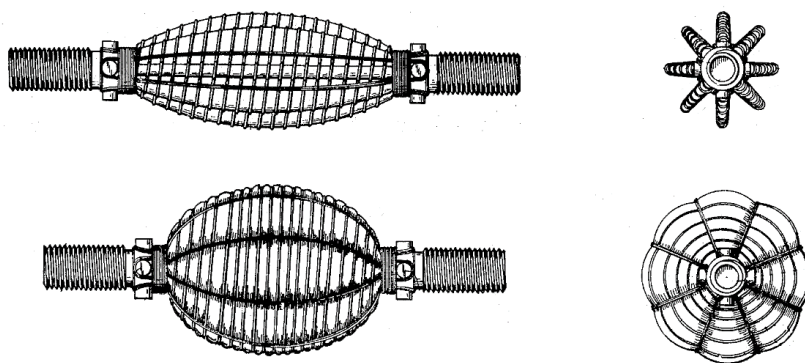
Slika 18: Rubbertuator pneumatski mišić [10]



Slika 19: Pneumatski mišić s uzdužnom armaturom [11]



Slika 20: ROMAC pneumatski mišić [12]



Slika 21: Yarllotov pneumatski mišić [13]

4.2 Komponente sustava

Sve komponente pogonskog sustava donirane su od strane tvrtke FESTO Hrvatska.

Spremnik zraka Kao spremnik zraka odabran je model CRZVS-5 spremnik koji ima kapacitet od 5 litara zraka komprimiranog u rasponu od 0 do maksimalnih 15 bara. Spremnik ima dva bočna otvora koji se koriste za dovod zraka iz kompresora te odvod zraka prema mišićima. Donji otvor spremnika služi za ispuštanje kondenzata nastalog tijekom rada. Spremnik od svih komponenti ima najveću masu te stoga zauzima centralno mjesto na robotu.

Pneumatski mišić Za aktuatorski element odabrani su pneumatski mišići DMSP-20-100N RM-CM tvrtke FESTO. Radni tlak ovog mišića je od 0 do 5 bara pri čemu njegova membrana promjera 20 mm može ostvariti vučne sile do 1500 N. Mišić radi vrlo dobro na tlakovima nižim od maksimalnog što je važno za produljenje vremena autonomije robota.

Ventilski blok Odabran je MPAL-VI ventilski blok koji se sastoji od 8 on-off elektromagnetskih ventila upravljivih putem mikroprocesora ili računala. Povezivanje s računalom ili mikrokontrolerom omogućava DB9 konektor. Komunikacija između računala i ventilskog bloka je serijska.

Prigušno-nepovratni ventil Model GR-QS-6 prigušno nepovratnog ventila služi za kontrolu protoka zraka. Smanjenjem protoka zraka smanjuje se i brzina punjenja mišića te se sprječavaju naglo punjenje i udarci koje ono uzrokuje. Svaki mišić ima zaseban prigušno nepovratni ventil koji se namješta ručno.

Filter i regulator tlaka Ova dva elementa spojena su u LFR-1/4-D-MINIKC pripremnom uređaju. Filter zraka uklanja čestice prašine i nečistoća iz stlačenog zraka prije njegovog ulaska u ventilski blok. Regulator tlaka služi za ograničavanje tlaka s tlaka spremnika na 3 bara za rad mišića čime se usporava pražnjenje zraka iz spremnika i produljuje vrijeme rada robota.

Kompresor Zamišljen je kao glavni dovod zraka u spremnik dok je robot u radu čime bi se produljilo vrijeme autonomije. Zahtjeva napajanje od 24 V.

Cijevi i utični spojevi Za povezivanje dijelova pneumatskog sustava korištene su PUN-6XI-BL savitljive pneumatske cijevi te pneumatski utični spojevi.



Slika 22: Akumulator zraka [14]



Slika 23: Ventilski blok [15]



Slika 24: Pripremna grupa [16]



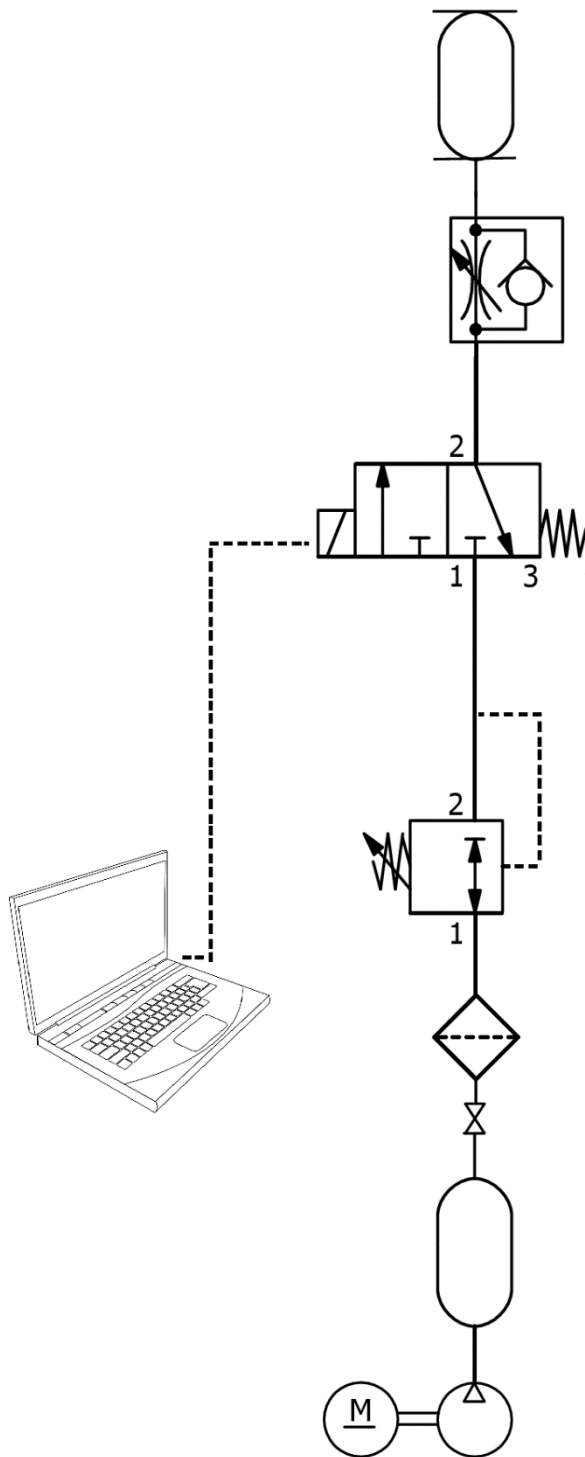
Slika 25: Prigušno - nepovratni ventil [17]

4.3 Opis rada

Spremnik stlačenog zraka pozicioniran je na robotu te spojen na kompresor za punjenje napajan preko baterije. Tijekom eksperimentalog rada uočeno je da nabavljeni kompresor ne može postići željeni početni tlak unutar spremnika od 12 bara te da isto tako nema dovoljno snage da bi značajno produžio vrijeme rada robota.

Stoga se spremnik početno puni na tlak od 12 bara pomoću vanjskog kompresora veće snage a tijekom rada nadopunjava kompresorom smještenim na konstrukciji. Sam spremnik je preko kugličnog ventila i cijevi spojen na filter zraka i regulator tlaka kojim se ograničava tlak spremnika na radni tlak mišića. Kuglični ventil služi za hitni prekid rada zatvaranjem dovoda zraka iz spremnika. Regulator tlaka je pomoću vodova izravno spojen na ventilski blok. Ventilskim blokom upravlja se preko serijske veze s mikrokontrolerom koji u memoriji sadrži upravljački kod. Uključivanjem pojedinog ventila zrak se propušta prema pripadnom mišiću kroz prigušno nepovratni ventil. Prigušni ventil određuje brzinu stezanja mišića. Konačno, ulaskom zraka u mišić on se steže te ostvaruje silu povlačenja koje omogućuje gibanje robota. Svaka noga ima gornji i donji mišić. Stezanjem donjeg mišića pripadna noga odguruje se prema naprijed dok stezanje gornjeg mišića diže nogu od površine da bi se omogućilo povratno gibanje.

Sa ventilima koji pokreću pneumatske mišiče upravlja mikrokontroler preko modula prikazanog na slici. Glavna komponenta je čip ULN2803A koji se najčešće koristi kao "drajver" step motora.



Slika 26: Pneumatska shema za jedan aktuator robota

5. Upravljanje robota

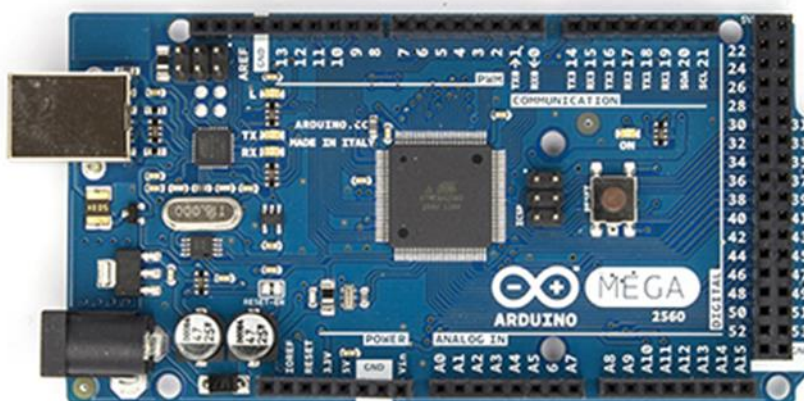
Cilj početne faze ovog projekta bila je konstruirati pneumatski mobilni robot koji može autonomno izvesti pravocrtno gibanje. Robotom se upravlja pomoću programa u mikrokontroleru, bez povratnih veza. U sklopu projekta dizajnirana je i izrađena elektronička upravljačka pločica pomoću koje se ventilski blok te kompresor spajaju na mikroprocesor koji njima upravlja.

5.1 Elektroničke komponente

Mikrokontroler - digitalna elektronička naprava u obliku integriranog čipa. Namjena mikrokontrolera je upravljanje uređajima i procesima. U sebi ima integriran mikroprocesor, memoriju, digitalne i analogne ulaze i izlaze, digitalne satove ("tajmere"), brojače, oscilatore, komunikacijske sklopove i druge dodatke za koje je nekad bio potreban niz integriranih čipova. Mikrokontroler normalno radi u zatvorenoj petlji, očitava ulaze i zatim podešava izlaze u skladu s svojim programom. Petlja se stalno ponavlja dok traje kontrola procesa.

Na robotu se nalazi mikrokontroler ATmega 2560 u hardverskom sučelju Arduino Mega 2560. Ima 54 digitalnih ulaza/izlaza, od kojih 15 mogu biti korišteni kao izlazi za pulsno širinsku modulaciju, 16 analognih ulaza, 4 serijska porta, 16 Mhz kristalni oscilator, USB komunikaciju sa računalom itd.

Ovaj mikrokontroler odabran je zbog svoje pristupačnosti i cijene, te velikog broja ulaza/izlaza koji su potrebni u budućem nadograđivanju robota.



Slika 27: Arduino Mega 2560 [18]

Upravljanje ventilima - Za upravljanje ventilima potreban je ULN2803A integrirani čip koji sadrži osam Darlington parova tranzistora. Ovaj čip služi za pojačavanje strujnih signala koje šalje mikrokontroler na razinu koju zahtijeva ventilski blok.

Upravljanje kompresorom - Kompresor za rad zahtijeva napon iznosa 24 V koji lako može uništiti mikrokontroler. Stoga se logički energetske krug mikrokontrolera i viši energetske krug kompresora odvajaju optičkim spreznikom (optocouplerom) PC817. Diodom optičkog spreznika upravlja mikrokontroler dok s druge strane optički spreznik spojen na bazu MOSFET tranzistor IFB3607PBF koji je sposoban podnijeti struju do 80 A. Pojavom priklanog signala na bazi ovaj tranzistor zatvara strujni krug kompresora i omogućava njegov rad. Na ovaj način mikrokontroler upravlja uključivanjem i isključivanjem kompresora iako se nalazi u fizički odvojenom krugu.

Programiranje Na pločici se nalazi 3x2 ISP konektor za spajanje AVR programatora. Programator se s druge strane spaja na USB port računala i na taj način omogućava direktno prebacivanje koda s računala u memoriju mikrokontrolera.

Bluetooth konektor Na pločici se također nalazi konektor za bluetooth modul koji će u idućoj fazi projekta omogućavati daljinsku kontrolu robota preko računala ili mobilnog uređaja.

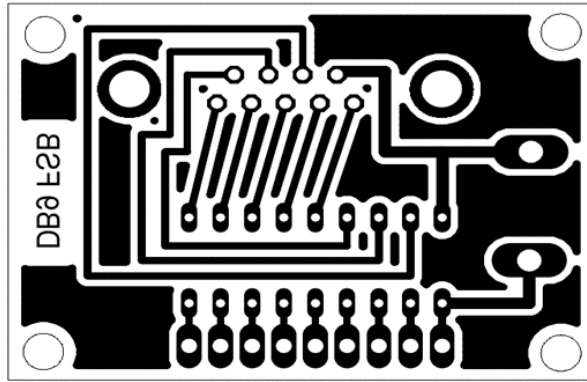
Napajanje Za napajanje električnih komponenti koristi se Turnigy 6S punjiva baterija kapaciteta 5000 mAh, nazivnog napona 22.2 V.

5.2 Tiskana pločica

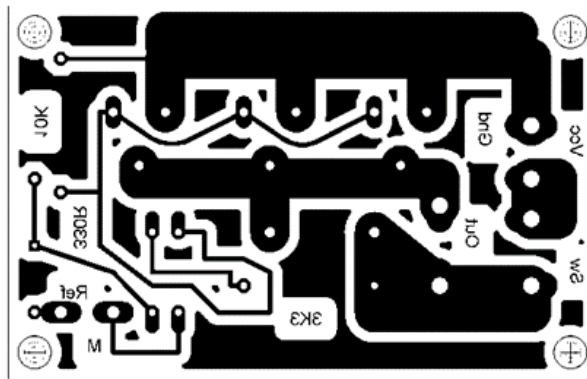
U sklopu projekta osmišljene su i izrađene tiskane pločice koje dovode u život fizički dio konstrukcije odnosno predstavljaju mozak i kontrolni dio sustava. U postupku izrade elektroničkih tiskanih pločica prvo se mora na temelju potrebnih funkcija osmisliti način funkcioniranja pločice i potrebne komponente.

Nakon što se komponente nabave potrebno je ispitati funkcionalnost privremenim spajanjem komponenti na prototipnim („breadboard“) pločama. Kada je funkcionalnost potvrđena, pristupa se izradi samih pločica. Tijekom našeg rada koristili smo softverske pakete Altium Designer i Eagle. Prvo se izrađuju funkcionalne sheme u softverskim paketima koje daju vizualnu predodžbu o načinu spajanja pojedinih komponenti. Na temelju funkcionalnih shema dizajnira se PCB pločica.

Pločice su izrađene foto postupkom na jednoslojnim pločicama načinjenim od vitroplasta. Postupak je slijedeći: PCB shema najprije je isprintana na paus papir te je položena na stranu vitroplast pločice s fotolakom i osvijetljena UV svjetlom. Za osvijetljavanje su korištene UV LED diode na uređaju za osvijetljavanje koji je napravljen u sklopu Udruge mehatroničara. Osvjetljavanje je trajalo približno 11 minuta. Kao razvijlač nakon osvijetljavanja korišten je natrijev hidroksid u trajanju od četiri minute. Nakon ispiranja vodom višak bakra na pločici maknut je postupkom jetkanja sa otopinom 19 %-tne solne kiseline i vodikovog peroksida. Vodljivi dijelovi konačne pločice premazani su slojem tinola kao zaštita od oksidacije.



Slika 28: PCB shema za upravljanje ventilima



Slika 29: PCB shema za upravljanje kompresorom

5.3 Upravljanje robotom

Robot se programira preko USB komunikacije pomoću računala a u novije vrijeme moguće je i mobitelom koji ima android operacijski sustav i mogućnost OTG funkcije. Za programiranje mikrokontrolera potreban je softverski paket Arduino ili neki drugi koji je u mogućnosti programirati AVR mikrokontroler.

Kao i skoro svaki uređaj kojeg naprave inženjeri, ovaj je robot također nadahnut idejama iz prirode. Kako bi se robot mogao kretati, isprogramiran je da oponaša hod konja ili neke druge četveronožne životinje.



Slika 30: Prikaz hoda konja [19]

Kako je vidljivo sa slike, noge uvijek dodiruju podlogu u paru. Dok su prednja desna i zadnja lijeva noga u zraku i kreću se prema naprijed, prednja lijeva i zadnja desna dodiruju podlogu i kreću se prema nazad. Na taj način konj gura svoju masu prema naprijed. Ovaj način kretanja mirniji je i stvara manje opterećenje na konstrukciju te je zbog toga postavljen kao primarni.

Druga vrsta hoda je da podigne prednje noge, povuče ih prema naprijed. Pomoću zadnjih pogurne cijelu svoju masu prema naprijed a potom prednje noge padaju na podlogu. Stražnje noge zatim se odvajaju od podloge i robot ih povuče prema naprijed koje simulira trčanje četveronožnih životinja.

Hodanje četveronožnog robota možda se ne čini kao zahtjevan posao međutim da bi robot prohodao potrebno je puno vremena uložiti u taj posao. Pneumatski mišići relativno su velikih dimenzija i potrebno je u njih ubrizgavati mnogo zraka u kratkom vremenu jer će inače robot skakati na mjestu dok se u krajnjem slučaju ne prevrne u stranu. Zbog toga je potrebno optimalna vremena punjenja i pražnjenja mišića dobro odabrati i uz pomoć prigušnih ventila uskladiti njihov rad.

6. Mobilnost i autonomija

Za mobilne robote mobilnost i vrijeme autonomije važni su pojmovi. Mobilnost je pojam koji označava u kojem je stupnju robot zaista mobilan odnosno nezavisan u smislu slobode gibanja, dometa gibanja, potrebne pomoćne opreme i slično. Tako bi za multirotor letjelicu mogli reći da je „mobilnija“ od ronilice povezane kabelom s kontrolnim računalom jer kabel kao takav ograničava domet i pokretljivost. Vrijeme autonomije označava kako dugo mobilni robot može funkcionirati s vlastitim izvorom energije. Kod većine mobilnih robota ovo vrijeme ovisi o kapacitetu baterije ili akumulatora. Naš robot koristi dva oblika energije – stlačeni zrak potreban je za gibanje a električna energija za napajanje elektroničkog dijela. Gibanje robota ove veličine i mase zahtijeva velike količine zraka zbog čega bi vrijeme autonomije samo s spremnikom zraka bilo vrlo malo. Stoga je velik trud uložen u osmišljavanje načina produljenja ovog vremena te pronalaska odgovarajuće opreme.

6.1 Kompresor

Kompresor zraka je pneumatski stroj koji služi za pretvorbu mehaničke energije u energiju stlačenog zraka, dok se u pneumatskim motorima obavlja pretvorba energije u suprotnom smjeru. Kompresori zraka i pneumatski motori se bitno ne razlikuju, a konstrukcijski se razlikuju samo u detaljima. Ako se npr. punjenje i pražnjenje cilindra klipnog motora ili kompresora vrši preko usisnih i ispušnih ventila, motor mora imati mehanizam za prisilno otvaranje/zatvaranje ventila (koljenčasto ili bregasto vratilo), dok je kod kompresora moguće samoradno pokretanje ventila (pomoću samog tlaka zraka u cilindru). Često isti stroj može raditi kao kompresor ili motor, zavisno od ugradnje, odnosno povezivanja u sustav.

Vrste kompresora zraka:

Osnovna podjela kompresora zraka je podjela na volumetričke kompresore i turbokompresore. U pneumatici se gotovo isključivo koriste volumetrički kompresori. Njihov način rada zasniva se na radnoj komori promjenljivog obujma (npr. cilindar s klipom). Smanjenjem obujma radne komore smanjuje se i volumen zraka u njoj, što uzrokuje odgovarajući prirast tlaka zraka.

Podjela volumetričkih kompresora:

- Klipni kompresori:
 - mehanizam: koljeničasti, radijalni, aksijalni ili kulisni,
 - jednostupanjski ili višestupanjski
 - jednoradni ili dvoradni
 - vertikalni ili vodoravni
 - mobilni ili stacionarni (za veće kapacitete)
- Rotacijski kompresori:
 - krilni,
 - vijčani,
 - zupčasti,
- Membranski kompresori.

Turbokompresori se dijele na radijalne i aksijalne turbokompresore. Općenito radijalni turbokompresori postižu veći tlak i manji protok nego aksijalni.

Klipni kompresor:

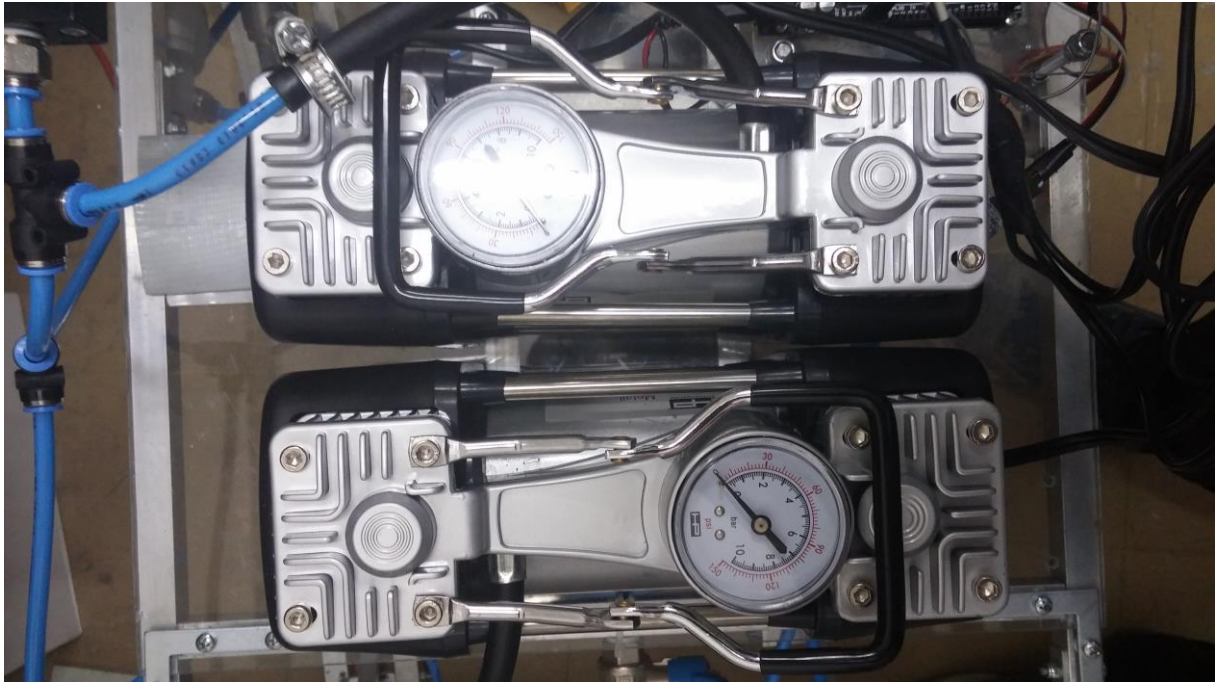
Cilindar jednoradnog klipnog kompresora puni se i prazni samo s jedne strane klipa. Pri hodu klipa prema dolje, cilindar se puni kroz usisni ventil (takt usisa), dok se pri kretanju u suprotnom smjeru zrak tlači kroz tlačni ventil (takt tlačenja). Klipni kompresor obično pretvara pravocrtnog gibanje klipa u

kružno gibanje pomoću mehanizma s koljenčastim vratilom. Dvoradni cilindri usisavaju i tlače zrak s obje strane klipa.

U višestupanjskim kompresorima zrak se uzastopno tlači u većem broju cilindara kroz koje prolazi (serijski spoj). Jednostupanjski kompresori koriste se za povećanje tlaka do 4 bar, dvostupanjski do 15 bar, a višestupanjski za veće tlakove. Zbog mogućnosti zapaljenja kompresorskog ulja, izlazna temperatura zraka ne smije prelaziti 200 °C.

Na robotu se nalaze dva jednoradna klipna kompresora. Radni napon jednog kompresora je 12 V DC, zbog čega su spojeni u seriju kako bi radili na nazivnom naponu baterije od približno 24 V.

Protok kompresora je 60 L/min, a kroz njih prolazi struja od 20A.



Slika 31: Korišteni kompresori

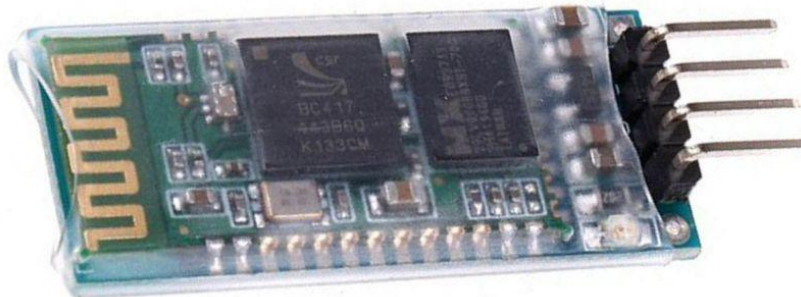
Ako se uzme u obzir baterija kapaciteta 5 Ah, napajat će kompresore otprilike 20 minuta neprekidnog rada.

6.2 Mobilnost

Mikrokontroler može biti programiran i upravljan preko USB komunikacije na računalu, međutim primarna komunikacija autonomnog robota vrši se preko bluetooth komunikacije mobitelom ili računalom. Praktički svaki uređaj koji posjeduje bluetooth komunikaciju može upravljati robotom. Zbog svoje opće raširenosti bluetooth komunikacija odlično je rješenje za ovakvu namjenu.

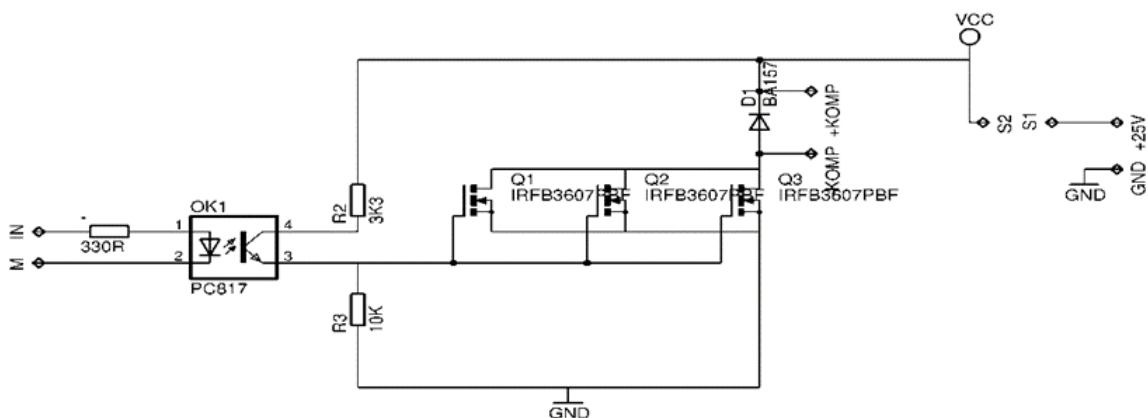
Bluetooth postiže doomet do 15 m što je dovoljno za potrebe testiranja i daljnji razvoj robota.

Robotom se upravlja preko mobilne aplikacije koja je dostupna na službenoj Android trgovini. Aplikacija sama po sebi ne nosi nikakve posebne specifikacije te je moguće ukoliko je to potrebno brzo i jednostavno prilagoditi robota za neke druge aplikacije dostupne za druge mobilne platforme poput iOS ili Windows phone. Osobno računalo ili laptop također je pogodno za upravljanje robotom ukoliko posjeduje bluetooth komunikaciju.



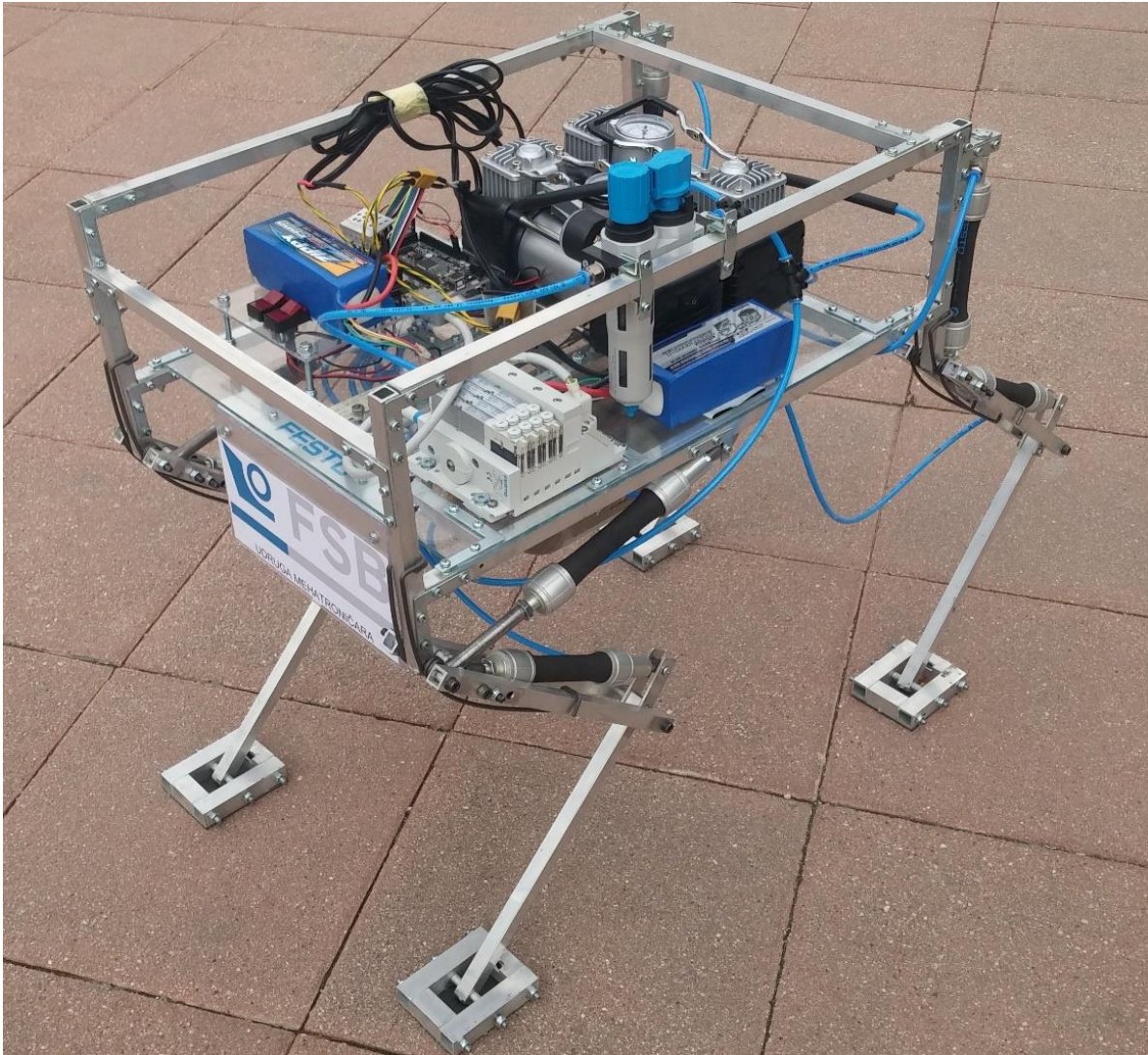
Slika 32: Prikaz korištenog bluetooth modula [20]

Paljenje i gašenje kompresora također je upravljivo preko mikrokontrolera odnosno preko bluetooth uređaja. Paljenje kompresora izvedeno je preko tranzistorske sklopke. Korištena su tri tranzistora tvrtke International Rectifier naziva IFB3607PBF.



Slika 33: Funkcionalna shema kruga za uključivanje kompresora

7.Rezultati



Slika 34: Konačan izgled četveronožnog hodajućeg robota pokretanog umjetnim pneumatskim mišićima

Robot trenutno postiže autonomiju od otprilike 20 minuta neprekidnog rada. Uspješno se kreće u sva četiri smjera kretanja. Brzina kretanja mu je 0.15 m/s. Ukoliko izgubi signal, robot stane i čeka na mjestu dok se komunikacija ponovo ne uspostavi.

Prikazan je i demonstriran na mnogim okupljanjima poput smotre sveučilišta u Zagrebu, dana Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, okupljanja robotičara Hrvatske na Fakultetu elektrotehnike i računalstva te mnogih drugih.

8. Budući planovi

Zbog relativno male financijske potpore, buduće planove također orijentiramo prema tome. Kako bi povećali autonomiju u planu je instalirati senzore blizine. Zamišljeno je da robot prilikom približavanja nekom predmetu, taj predmet i uoči te ga pokušava zaobići. U tu svrhu koristili bi se ultrazvučni senzori. Jedan od primjera je senzor HC-SR04 prikazan na slici.



Slika 35: Prikaz ultrazvučnog senzorskog modula [21]

Zamišljeno je i da se robot vrati na svoju putanju nakon zaobilaženja prepreke. Ovu ideju malo je teže ostvariti ali jedno od rješenja je dodavanje digitalnog kompasa kojim bi utvrdili orijentaciju robota.



Slika 36: Digitalni kompas [22]

Trenutačni kompresori nažalost nisu dovoljni da kontinuirano napajaju robota zrakom te je jedan od planova zamijeniti postojeće ili nadodati još kompresora zraka. Za ovaj problem još uvijek se traži optimalno rješenje.

Kao jedna od mogućnosti snalaženja robota u prostoru mogla bi biti i postavljanje vizijskog sustava. Vizijski sustav bio bi vrlo prikladan za ovakvu namjenu.

Na robotu se već sada nalazi senzor tlaka kojim bi robot trebao dobiti informaciju o tome koliki se tlak nalazi u spremniku. Prilikom dosta visokog tlaka u spremniku robot bi trebao sam isključiti kompresore. Trenutačni senzor tlaka ne mjeri tlak s potrebnom preciznošću te je potrebna njegova zamjena.

Programski kod

Kako je već spomenuto robot je programiran u softverskom paketu naziva Arduino.

```
// pinovi za pojedine mišiće
int N1 = 29; //zadnji desni donji
int N2 = 24; //zadnji desni gornji
int N3 = 27; //zadnji lijevi donji
int N4 = 28; //zadnji lijevi gornji
int N5 = 23; //prednji desni donji
int N6 = 22; //prednji desni gornji
int N7 = 25; //prednji lijevi donji
int N8 = 26; //prednji lijevi gornji
int t=225;
int r=200;
int v=200;
int n=205;
int s=200;
int brojac=0;
int poruka;
int prije;
int akcija=0;
int mirno=0;
int timer1_counter;
int komp= 0;
int kompresor= 35; // pin za paljenje kompresora

void setup(){
  pinMode(N1 , OUTPUT);
  pinMode(N2 , OUTPUT);
  pinMode(N3 , OUTPUT);
  pinMode(N4 , OUTPUT);
  pinMode(N5 , OUTPUT);
  pinMode(N6 , OUTPUT);
  pinMode(N7 , OUTPUT);
  pinMode(N8 , OUTPUT);
  pinMode(kompresor , OUTPUT);
  // inicijalizacija timer-a
  noInterrupts(); // onemogućavanje svih timera
  TCCR1A = 0;
  TCCR1B = 0;

  timer1_counter = 64186; // postavljanje timer-a

  TCNT1 = timer1_counter; // pokretanje timer-a
  TCCR1B |= (1 << CS12); // skaliranje timer-a
  TIMSK1 |= (1 << TOIE1);
  interrupts(); // pokretanje prekida
  Serial1.begin(9600);
  delay(2000);
}
ISR(TIMER1_OVF_vect) // rutina prekida
{
  TCNT1 = timer1_counter;
  if(Serial1.available())
  {
```

```

prije=poruka;
brojac=0;
poruka = Serial1.read();
if (prije!=poruka)
{
if (poruka==87) {mirno=1;}
if (poruka==119) {mirno=0;}
if (poruka==83){akcija=0;}
if (poruka==70){akcija=1;}
if (poruka==66){akcija=2;}
if (poruka==76){akcija=3;}
if (poruka==82){akcija=4;}
if (poruka==86) {komp=1;}
if (poruka==118) {komp=0;}

}
}
brojac=brojac+1;
if (brojac==100) {akcija=0;} // zaustavljanje robota ukoliko izgubi
// bluetooth komunikaciju
}

void naprijed() // funkcija za kretanje naprijed
{
digitalWrite(N1 , HIGH);
digitalWrite(N3 , HIGH);
digitalWrite(N2 , HIGH);
digitalWrite(N4 , HIGH);
digitalWrite(N6 , LOW);
digitalWrite(N8 , LOW);
digitalWrite(N5 , LOW);
digitalWrite(N7 , LOW);
delay(t);
digitalWrite(N1 , LOW);
digitalWrite(N3 , LOW);
digitalWrite(N2 , LOW);
digitalWrite(N4 , LOW);
digitalWrite(N6 , HIGH);
digitalWrite(N8 , HIGH);
digitalWrite(N5 , HIGH);
digitalWrite(N7 , HIGH);
delay(t);
}

void naprijedmirno() // funkcija za kretanje naprijed (dijagonalno
paljenje)
{
digitalWrite(N3 , HIGH);
digitalWrite(N4 , HIGH);
digitalWrite(N5 , HIGH);
digitalWrite(N6 , HIGH);
digitalWrite(N1 , LOW);
digitalWrite(N2 , LOW);
digitalWrite(N7 , LOW);
digitalWrite(N8 , LOW);
delay(n);
digitalWrite(N1 , HIGH);
digitalWrite(N2 , HIGH);
digitalWrite(N7 , HIGH);
digitalWrite(N8 , HIGH);
digitalWrite(N3 , LOW);

```



```

digitalWrite(N4 , LOW);
digitalWrite(N5 , LOW);
digitalWrite(N6 , LOW);
delay(n);
}

void natragmirno() // funkcija za kretanje natrag (dijagonalno paljenje)
{
digitalWrite(N3 , HIGH);
digitalWrite(N5 , HIGH);
digitalWrite(N2 , HIGH);
digitalWrite(N8 , HIGH);
digitalWrite(N1 , LOW);
digitalWrite(N4 , LOW);
digitalWrite(N6 , LOW);
digitalWrite(N7 , LOW);
delay(v);
digitalWrite(N1 , HIGH);
digitalWrite(N4 , HIGH);
digitalWrite(N6 , HIGH);
digitalWrite(N7 , HIGH);
digitalWrite(N3 , LOW);
digitalWrite(N5 , LOW);
digitalWrite(N2 , LOW);
digitalWrite(N8 , LOW);
delay(v);
}

void natrag() // funkcija za kretanje unatrag
{
digitalWrite(N1 , HIGH);
digitalWrite(N3 , HIGH);
digitalWrite(N6 , HIGH);
digitalWrite(N8 , HIGH);
digitalWrite(N2 , LOW);
digitalWrite(N4 , LOW);
digitalWrite(N5 , LOW);
digitalWrite(N7 , LOW);
delay(r);
digitalWrite(N2 , HIGH);
digitalWrite(N4 , HIGH);
digitalWrite(N5 , HIGH);
digitalWrite(N7 , HIGH);
digitalWrite(N1 , LOW);
digitalWrite(N3 , LOW);
digitalWrite(N6 , LOW);
digitalWrite(N8 , LOW);
delay(r);
}

void lijevo() // funkcija za kretanje ulijevo
{
digitalWrite(N1 , HIGH);
digitalWrite(N2 , HIGH);
digitalWrite(N5 , LOW);
digitalWrite(N6 , LOW);
digitalWrite(N4 , HIGH);
digitalWrite(N8 , LOW);
digitalWrite(N3 , LOW);
digitalWrite(N7 , HIGH);
delay(s);
}

```

```

digitalWrite(N3 , HIGH);
digitalWrite(N7 , LOW);
digitalWrite(N1 , LOW);
digitalWrite(N2 , LOW);
digitalWrite(N5 , HIGH);
digitalWrite(N6 , HIGH);
digitalWrite(N4 , LOW);
digitalWrite(N8 , HIGH);
delay(s);
}

void desno() // funkcija za kretanje udesno
{
digitalWrite(N3 , HIGH);
digitalWrite(N4 , HIGH);
digitalWrite(N7 , LOW);
digitalWrite(N8 , LOW);
digitalWrite(N2 , HIGH);
digitalWrite(N6 , LOW);
digitalWrite(N1 , LOW);
digitalWrite(N5 , HIGH);
delay(s);
digitalWrite(N1 , HIGH);
digitalWrite(N5 , LOW);
digitalWrite(N3 , LOW);
digitalWrite(N4 , LOW);
digitalWrite(N7 , HIGH);
digitalWrite(N8 , HIGH);
digitalWrite(N2 , LOW);
digitalWrite(N6 , HIGH);
delay(s);
}

void stani() // funkcija za gašenje svih mišića (robot stoji)
{
digitalWrite(N1 , LOW);
digitalWrite(N5 , LOW);
digitalWrite(N3 , LOW);
digitalWrite(N4 , LOW);
digitalWrite(N7 , LOW);
digitalWrite(N8 , LOW);
digitalWrite(N2 , LOW);
digitalWrite(N6 , LOW);
}

void loop(){ // glavna petlja

if (komp==1) {digitalWrite(kompresor,HIGH);}; // kompresori upaljeni
if (komp==0) {digitalWrite(kompresor,LOW);}; // kompresori ugašeni

if (akcija == 0) {stani();} // pozivanje funkcije za gašenje svih mišića
if (akcija == 1) { if (mirno == 1){naprijed();} // pozivanje funkcije za
kretanje

//naprijed
if (mirno == 0) {naprijedmirno();} //pozivanje funkcije za kretanje
// naprijed
(dijagonalno paljenje)
}
}

```

```
    if (akcija == 2) { if (mirno == 1){natrag();} // pozivanje funkcije za
kretanje
                                                                    //
natrag
                                                                    if (mirno == 0){natragmirno();} // pozivanje funkcije
za kretanje
                                                                    // natrag dijagonalno
paljenje
    }
    if (akcija == 3) {lijevo();} // pozivanje funkcije za skretanje ulijevo
    if (akcija == 4) {desno();} // pozivanje funkcije za skretanje udesno
}
```

Zahvala

Ovom prilikom htjeli bi se zahvaliti svom mentoru prof. dr. sc. Željku Šitumu na odličnoj suradnji i bezrezervnoj pomoći, zatim kolegama Vedranu Tataloviću, Viktoru Mandiću, Juraju Beniću, Jakovu Topiću i Klemenu Govediću na savjetima i pomoći pri izradi četveronožnog hodajućeg robota pokretanog umjetnim pneumatskim mišićima. Još bi se htjeli zahvaliti djelatnicima Laboratorija za alatne strojeve na izradi i tokarenju pojedinih dijelova za robota, a djelatnicima Laboratorija za zavarivanje na zavarivanju pojedinih aluminiskih dijelova.

Literatura

- [1] <http://www.ekroboter.com/es/equipos/robots-industriales/antropomorficos/soldadura.php>, 27.4.2015
- [2] <http://expreso.cl/diy-4wd-aluminum-mobile-smart-robot-car-platform-kit-for-arduino/>, 27.4.2015
- [3] http://www.digplanet.com/wiki/Remotec_ANDROS, 27.4.2015
- [4] <http://www.th-wildau.de/sbruntha/Material/VR/Websites-T10/vr/>, 27.4.2015
- [5] <https://blog.adafruit.com/2011/08/31/build-your-own-undersea-robot/>, 27.4.2015
- [6] http://orbiterchspaceneeds.blogspot.com/2015_03_01_archive.html, 27.4.2015
- [7] <http://www.baudoin-lebon.com/fr/artistes/oeuvres/824/yves-gellie>, 27.4.2015
- [8] <http://www.designboom.com/technology/pneupard-a-cheetah-robot-with-artificial-muscles/>, 27.4.2015
- [9] <https://seniordesign.engr.uidaho.edu/2011-2012/TensegrityRobot/concepts.html>, 27.4.2015
- [10] http://www.humanoid.waseda.ac.jp/booklet/kato_3.html, 27.4.2015
- [11] <https://sites.google.com/a/mrsuits.net/teresa/cyborg-technologies/mckibben-artificial-pneumatic-muscles>, 27.4.2015
- [12] <http://cyberneticzoo.com/bionics/1986-romac-pneumatic-actuator-guy-immega-and-mirko-kukolj-american/>, 27.4.2015
- [13] <https://bib.irb.hr/datoteka/428717.misic.pdf>, 27.4.2015
- [14] http://www.festo.com/cms/nl-be_be/9533.htm, 27.4.2015
- [15] http://www.festo.com/cat/hr_hr/search?query=mpal, 27.4.2015
- [16] http://www.zhhauto.com/Products_detail.aspx?id=167411516, 27.4.2015
- [17] <https://www.jautsch.de/Drucklufttechnik/Drosselrueckschlagventile/Festo-Drosselrueckschlagventil-4-mm.html>, 27.4.2015
- [18] <http://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>, 27.4.2015
- [19] <http://wallpercave.com/horse-wallpaper>, 27.4.2015
- [20] http://4tronix.co.uk/store/index.php?rt=product/product&product_id=263, 27.4.2015
- [21] <http://www.addicore.com/Ultrasonic-HC-SR04-Distance-Sensor-Module-p/133.htm>, 27.4.2015
- [22] <http://www.shopmania.es/accesorios-y-repuestos-electricos-y-electronicos/p-tres-ejes-campo-magnetico-modulo-electronico-compass-sensor-para-169131596>, 27.4.2015

Sažetak

Mobilna robotika je inženjerska grana koja se bavi projektiranjem, izradom i upravljanjem pokretnih robota te predstavlja spoj mehaničkog, elektroničkog i programerskog inženjerstva. Iz tog razloga predstavlja jedno od najkompleksnijih i najzanimljivijih inženjerskih disciplina, jer je javnost posebno fascinirana strojevima koji nastoje oponašati svoga izumitelja ili imitiraju metode i sustave iz prirode.

Inspiriran tim trendom i potaknut inicijativom Hrvatskog robotičkog saveza pokrenut je projekt izrade četveronožnog hodajućeg robota pokretanog umjetnim pneumatskim mišićima (engl. WRAPAM - Walking Robot Actuated by Pneumatic Artificial Muscles).

Pneumatski mišići imaju prirodnu elastičnost što ih čini pogodnim za primjenu u bioničkim sustavima, tj. biološki inspiriranim izvedbama tehničkih sustava, kod kojih se nastoji ostvariti konverzija konstrukcijskih principa i procesa prirodnih bioloških sustava s ciljem poboljšanja suvremenih tehnoloških rješenja.

Robot je potpuno autonoman sustav, opremljen bluetooth tehnologijom i USB vezom za komunikaciju s računalom, a upravljan je pomoću mobitela ili tablet računala.

Konstrukcija robota obuhvaća energetske dio sustava, koji služi za dobavu stlačenog zraka, izvršne komponente sustava, koje omogućuju pokretanje zglobova robota, upravljački i elektronički dio sustava te mjerne komponente.

Predloženi projekt izrazito je interdisciplinarnog karaktera, a rezultat je dvogodišnjeg rada i analize idejnih i izvedbenih rješenja, kao i načina izvedbe konstrukcijskog i upravljačkog dijela sustava.

Ključne riječi: mobilni robot, hodajući robot, pneumatski robot, pneumatika, pneumatski mišić.

Summary

Mobile Robotics is the engineering branch that deals with the design, development and control of mobile robots and represents a combination of mechanical, electronic and software engineering. For this reason, mobile robotics is one of the most complex and most interesting engineering disciplines, because the public is especially fascinated by machines that can emulate his inventor or imitate the methods and systems in nature.

Inspired by this trend and boosted initiative Croatian Robotics Alliance launched a project of creation a four-legged walking robot driven by pneumatic artificial muscles (WRAPAM - Walking Robot Actuated by Pneumatic Artificial Muscles).

Pneumatic muscles have a natural elasticity which makes them suitable for use in bionic systems, ie. Biologically inspired creations of technical systems, in which strives to achieve the conversion of design principles and processes of natural biological systems to improve the modern technological solutions.

This robot is a fully autonomous system, equipped with Bluetooth technology and USB connection for communication with a computer It is controlled by a cell phones or tablet computers.

Robot design includes energy system, which is used for supplying compressed air, executive components of the system, which allow the movement of joints in robot, controlling part and electronic part of the system with sensors.

This project is highly interdisciplinary, and it is the result of a two-year work and analysis and conceptual design solutions, as well as the way the structural and control part of the system.

Key words: mobile robot, walking robot, pneumatic robot, pneumatics, pneumatic artificial muscle.

Životopis

Valentino Štahan rođen je 21.01.1993. godine u Zaboku. U Zlataru završava formalno obrazovanje u Osnovnoj školi "Ante Kovačića" 2007. godine. Zatim se upisuje u Srednju školu Zlatar u smjer Tehničar za računalstvo. Od malih nogu obožava sve vezano uz tehnologiju zbog čega više ne posjeduje niti jednu igračku koja se dala rastaviti. Od osnovne škole bavi se glazbom i motociklima koje sam servisira i održava. U slobodno vrijeme izrađuje jednostavne elektroničke sklopove te kako stječe znanje na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu kojega upisuje 2011. godine proširuje područje mehanike, elektroničke i ostalih područja kojima obogaćuje svoje radove. Nakon druge godine odlučuje se za smjer Mehatronika i robotika. Član je Udruge mehatroničara koja djeluje na spomenutom sveučilištu. Trenutačno radi na projektu robota pokretanog pneumatskim mišićima i električnom motociklu.

Hrvoje Brezak rođen je 20.05.1991. godine u Zaboku. U Svetom Križu Začretju završava osnovnoškolsko obrazovanje u Osnovnoj školi „Sveti Križ Začretje“ 2006. godine. Iste godine upisuje se u prirodoslovno-matematički odijel Gimnazije Antuna Gustava Matoša u Zaboku. Za vrijeme školovanja sudjeluje na županijskim natjecanjima iz programiranja i biologije te pohađa ljetnu školu znanosti u Višnjaju (2009. i 2010. godine). U slobodno vrijeme trenira nogomet u mjesnom nogometnom klubu te djeluje unutar gimnazijskog volonterskog kluba. Nakon završene srednje škole upisuje sveučilišni preddiplomski studij strojarstva na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, a na drugoj godini upisuje se na smjer Mehatronike i robotike. Preddiplomski studij završava 2014. godine te stječe akademski naslov sveučilišni prvostupnik inženjer strojarstva (*univ. bacc. ing. mech.*) s velikom pohvalom (*magna cum laude*). Iste godine upisuje diplomski studij mehatronike i robotike na istom fakultetu. Član je studentskog zbora i fakultetskog vijeća Fakulteta strojarstva i brodogradnje. Od 2014. godine predsjednik je Udruge mehatroničara koja je jedna od 9 udruga na FSB-u.

Dominik Sremić rođen je 11.05.1991. u Zagrebu gdje završava formalno obrazovanje u Osnovnoj školi "Davorina Trstenjaka" 2006. godine. Iste godine upisuje se u opću gimnaziju u Zagrebu, u Gornjogradsku gimnaziju. Za vrijeme školovanja trenira tenis, a u slobodno vrijeme spaja jednostavne elektroničke komponente i od drveta izrađuje ventilatore, zvučnike, ručne svjetiljke itd. Nakon završene srednje škole upisuje sveučilišni preddiplomski studij strojarstva na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, a na drugoj godini se odlučuje na smjer Mehatronika i robotika. Jedan je od članova Udruge mehatroničara - studentska udruga koja djeluje u spomenutom visokom učilištu. Na fakultetu, stječe potrebna znanja iz elektronike, mehanike i ostalih područja, pa projekti na kojima radi postaju sve složeniji i bolji. 2015. godine završava preddiplomski dio studija i upisuje diplomski. Trenutačno radi na projektu razvoja kontrolera za brushless električni motor i na mnogo drugih, manjih projekata