

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Hrvoje Brezak

Zagreb, 2014.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada:
Prof.dr.sc. Željko Šitum

Student:
Hrvoje Brezak

Zagreb, 2014.

Pod moralnom i krivičnom odgovornošću izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja i vještine stečene tijekom studija te navedenu literaturu.

Ovim putem zahvaljujem se svome mentoru, prof.dr.sc. Željku Šitumu na radu i trudu uloženom u pokretanje ovog projekta i osiguravanju potrebnih sredstava. Zahvaljujem i na meni osobno pružanoj podršci, potpori i savjetima tijekom izrade ovog projekta i pisanja ovog rada.

Isto tako zahvaljujem se kolegama na projektu, Dominiku Sremiću, Vedranu Tataloviću te Viktoru Mandiću na njihovom vremenu i radu, podršci i predanosti ovom projektu.

Također se zahvaljujem firmi FESTO Hrvatska na njihovoj potpori i donaciji pneumatskih dijelova bez kojih ovaj projekt ne bi bio ostvariv.

Konačano, zahvaljujem se majci Zlati, ocu Ivici, sestri Kristini, bratu Tomislavu, djevojci Marini, prijateljima i kolegama na moralnoj podršci tijekom cijelog dosadašnjeg studija pa tako i tijekom izrade ovog završnog rada.

Hrvoje Brezak

Sažetak

Mobilna robotika je inženjerska grana koja se bavi projektiranjem, izradom i upravljanjem pokretnih robota te kao takva predstavlja spoj mehaničkog, elektroničkog i programerskog inženjerstva te je jedno od najkompleksnijih i najzanimljivijih inženjerskih područja.

Ovaj rad opisuje proces projektiranja i izrade četveronožnog hodajućeg robota pokretanog umjetnim pneumatskim mišićima te postignute rezultate. Prvo poglavlje općeniti je uvod u robotiku te robotske sustave. Drugo poglavlje daje pregled mobilnih robota s naglaskom na pneumatske robotske sustave. Treće poglavlje bavi se procesom izrade konstrukcije robota od početnog koncepta do fizičke realizacije. Četvrto poglavlje prikazuje pneumatski pogon kao korišteni energetska sustav robota te daje opis korištenih komponenti i način rada. Peto poglavlje opisuje izradu i način rada elektroničkog sustava za pokretanje robota. U šestom poglavlju opisani su postignuti rezultati dok sedmo poglavlje sadrži kratak pregled daljnjeg rada na ovom projektu.

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

Summary

Mobile robotics is a branch of engineering researching designing, construction and control of mobile robots and as such represents a combination of mechanical, electrical and program engineering. It is one of the most complex and most interesting engineering field today.

This paper describes the process of designing and building of a four-legged walking robot driven by pneumatic artificial muscles and presents the final results. First chapter serves as an introduction to the field of robotics and robots in general. Second chapter gives a general overview of mobile robots with emphasis on pneumatic robots. In third chapter the process of designing and making of the body of the robot is described. Fourth chapter describes the pneumatic system of the robot and its components. Fifth chapter is about electrical system of the robot and its components. Final results of the works are shown in chapter six and in chapter seven a brief overview of future work is given.

Keywords: mobile robot, walking robot, pneumatic robot, pneumatics, pneumatic artificial muscle.

Sadržaj

1	Uvod	1
2	Mobilni roboti	4
2.1	Pneumatski mobilni roboti	6
3	Konstrukcija robota	7
3.1	Početni koncept i modifikacije	7
3.2	Konstrukcija noge	8
3.3	Modifikacije	9
4	Energetski sustav robota	10
4.1	Pneumatski mišić kao aktuator	10
4.2	Komponente	13
4.3	Opis rada	15
5	Upravljanje robota	17
5.1	Elektroničke komponente	17
5.2	Tiskana pločica	18
5.3	Programski kod	20
6	Rezultati	22
6.1	Proces izrade	22
6.2	Poteškoće u radu	23
6.3	Izrađeni robot	23
7	Budući planovi	25
A	Prilog	27

Popis slika

1	Primjeri industrijskog i mobilnog robota	3
2	Kopneni robot	5
3	Zračni robot	5
4	Vodeni robot	5
5	Svemirski robot	5
6	Hodajući pneumatski robot Lucy	6
7	Pneupard, trčeći pneumatski robot	6
8	Početni koncept robota	7
9	Model noge robota	8
10	Model konačne izvedbe	9
11	Pneumatski mišić tvrtke FESTO	10
12	Rubbertuator pneumatski mišić	11
13	McKibbenov pneumatski mišić	12
14	ROMAC pneumatski mišić	12
15	Yarlottov pneumatski mišić	12
16	Akumulator zraka	14
17	Ventilski blok	14
18	Pripremna grupa	14
19	Prigušno-nepovratni ventil	14
20	Pneumatska shema za jedan aktuator	16
21	Nacrti pločice	18
22	Izrađena pločica	19
23	Proces izrade	22
24	Pneumatski robot	24
25	Pneumatski robot - pogled odozgo	24

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 sa 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 raznih 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 očitavanja 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 te pogotovo u području humanoidne te uslužne mobilne robotike gdje se očekuje spajanje robota i ljudske svakodnevice. Unatoč naglom razvoju razlikujemo tri generacije robota:

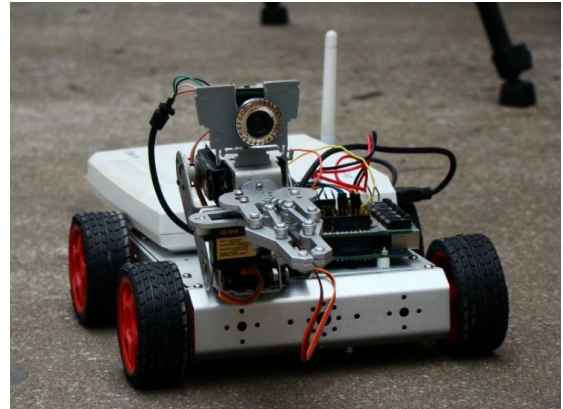
1. generacija - upravljani roboti, automati bez povratne veze i regulacije koji zahjevaju visoko organiziranu radnu okolinu i precizno definiran zadatak,
2. generacija - roboti s regulacijom po povratnoj vezi izlazne veličine. Sposobni za donošenje jednostavnih predprogramiranih logičkih odluka,
3. generacija - 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 - namjenjeni 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 zahtjevaju 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 - namjenjeni 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 mikrostrukturu 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: Primjeri industrijskog i mobilnog robota

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 ostvarajući 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 vojnih primjena (razminiravanje) do uslužnih djelatnosti i osiguranja objekata.

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

Vodeni roboti namjenjeni su kretanju u kapljevinama. Intenzivno se koriste u istraživanju podmorja, arheoloških nalazišta, inspekciji stanja podmorskih objekata i trupa brodova.

Svemirski roboti namjenjeni 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.

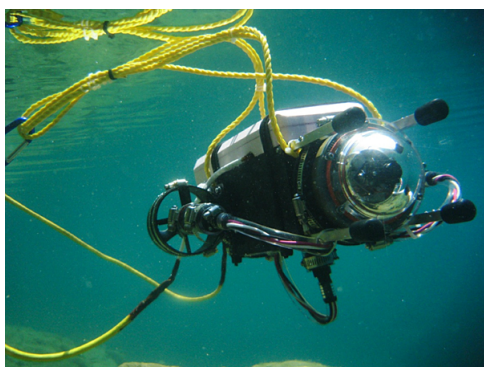
S obzirom na lokomocijski mehanizam razlikujemo robote na kotače, gusjenice, noge, puzajuće mehanizme, itd. Prema namjeni razlikujemo uslužne, istraživačke, edukacijske, vojne robote, robote za rad te robote opće namjene.



Slika 2: Kopneni robot



Slika 3: Zračni robot



Slika 4: Vodeni robot

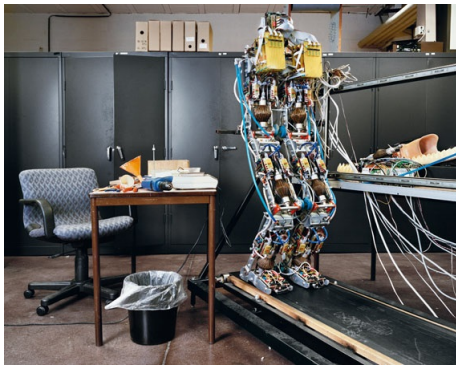


Slika 5: Svemirski robot

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 usto nije zanemarivih dimenzija. Da bi se sustav mogao nositi s promjenama u 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 zamjeniti komponente veće mase i dimenzija poput cilindara u sustavu.



Slika 6: Hodajući pneumatski robot Lucy



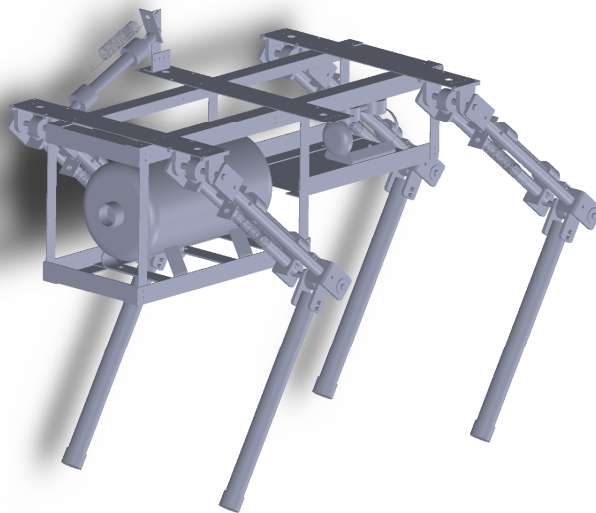
Slika 7: Pneupard, trčeci pneumatski robot

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.

3.1 Početni koncept i modifikacije

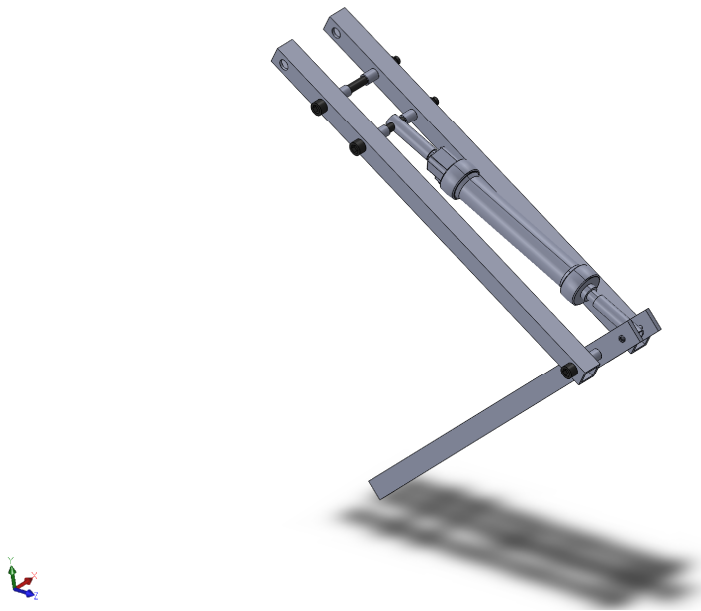
Kao podloga za početak rada na projektu hodajućeg robota pokretanog umjetnim pneumatskim mišićima nazvanom W.R.A.P.A.M. (Walking Robot Actuated by Pneumatic Artificial Muscles) poslužio je završni rad kolege Vedrana Tatalovića "Konstrukcija hodajućeg robota pokretanog penumatskim mišićima" u kojemu autor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



Slika 8: Početni koncept robota

3.2 Konstrukcija noge

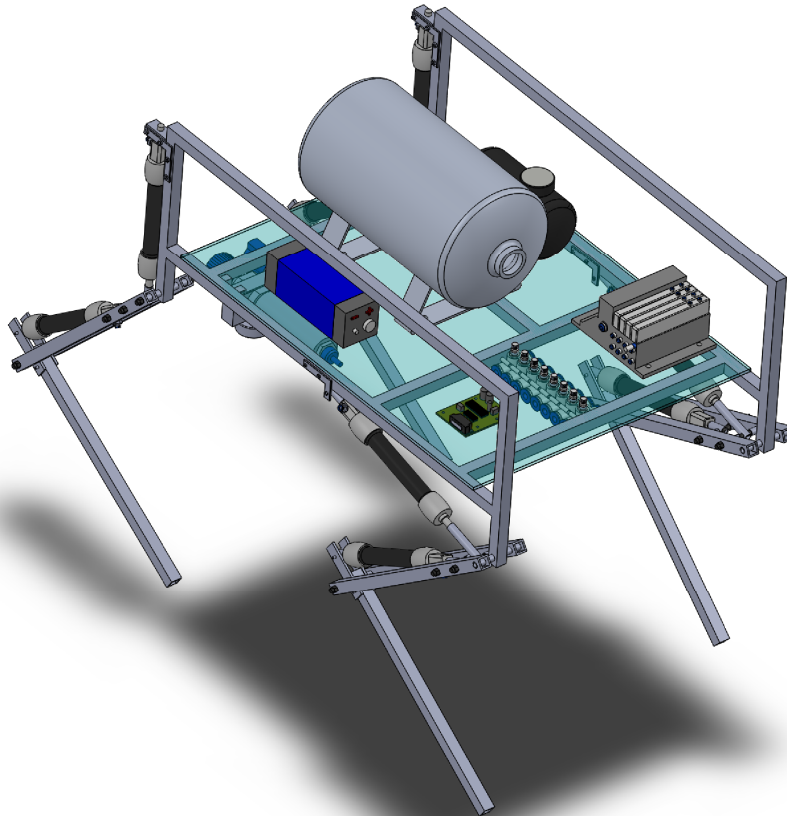
Za hodajućeg robota koncept noge je vrlo bitan. Noga je element koji preuzima na sebe težinu konstrukcije a njen dizajn diktira način gibanja. Dizajn noge rađen je s ciljem da je pokreću dva pneumatska mišića pri čemu se stezanjem jednog dobiva odgurivanje robota a stezanjem drugog dizanje noge koje omogućava povratno gibanje. Kod ljudi i općenito u prirodi mišići udova dolaze u paru gdje jedan vrši glavno gibanje a drugi suprotno, povratno. Za takvu 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 odgurivanje te njihovo djelovanje rezultira brzim povratom noge nakon odgurivanja što omogućava gibanje.



Slika 9: Model noge robota

3.3 Modifikacije

U fazi planiranja, a u znatnoj mjeri i u samoj fazi izrade konstrukcije uvedene su brojne promjene i optimizacije u skladu sa dostupnim financijskim i tehničkim mogućnostima te dostupnim dijelovima. Prelazi se na odgurivanje nogama kao način kretanja prema naprijed i sukladno tome redizajnira se noga robota. Zatim se zbog praktičnosti i dostupnosti te povoljnih svojstava prelazi na manje i kvadratne aluminijske profile kao glavni strukturni element. Hvatište noge smiješta se na donji dio konstrukcije a većina komponenti na gornju plohu robota. Za povezivanje aluminijskih profila koriste se kutne spojnice te M3 i M4 vijci. Odabiru se matice sa gumom protiv otpuštanja koje omogućuju preciznije pritezanje te osiguranje prilikom udara i vibracija robota u radu.



Slika 10: Model konačne izvedbe

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, a to omogućavaju pneumatski mišići koji mogu vjernije od električnih aktuatora simulirati način na koji se gibaju četveronožna živa bića.

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 te dugi vijek trajanja te jednostavna zamjena. Umjetni pneumatski mišići stezljivi su pneumatski aktuatori linearnog gibanja pokretani pritiskom zraka. Ključan element mišića je tanka i fleksibilna membrana učvršćena na oba kraja mišića koja ovisno o izvedbi može biti izrađena od silikonske gume, lateksa, najlonskih vlakna, itd. Dovodjenjem zraka pod tlakom u mišić membrana se puni i širi radijalno 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. Pneumatski mišići u industriji nalaze

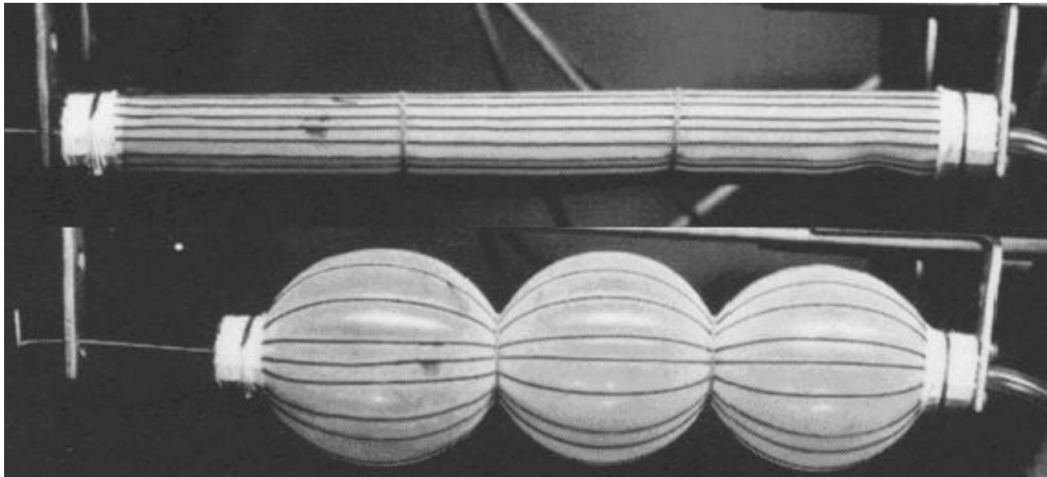


Slika 11: Pneumatski mišić tvrtke FESTO

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 spuštanju tereta. Velik potencijal imaju i za primjenu u robotici, poglavito u bioničkim sustavima gdje mogu služiti za simuliranje pokreta i gibanja inspiriranih biološkim sus-

tavima. Pneumatski mišići u paru mogu simulirati ponašanje mišića u udovima živih bića pa je moguća primjena u rehabilitaciji i oporavku od ozljeda mišića kod ljudi kao i u izradi ortopedskih pomagala.

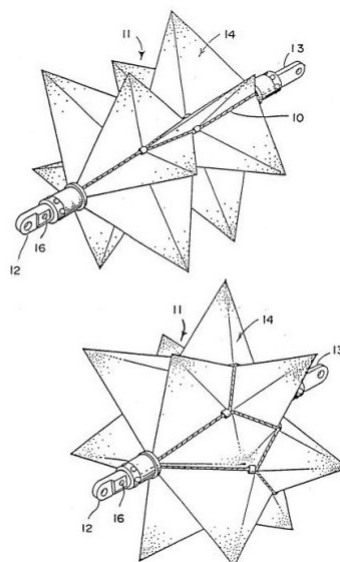
Postoji više vrsta izvedbi pneumatskih mišića od kojih svi rade na sličnim principima a razlikuju se po obliku, materijalu i radnim tlakovima. Najpopularnija izvedba jest McKibbenov mišić zbog svoje jednostavnosti i niske cijene. Razlikujemo još ROMAC (RObotic Muscle ACTuator) pneumatski mišić, Rubbertuator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



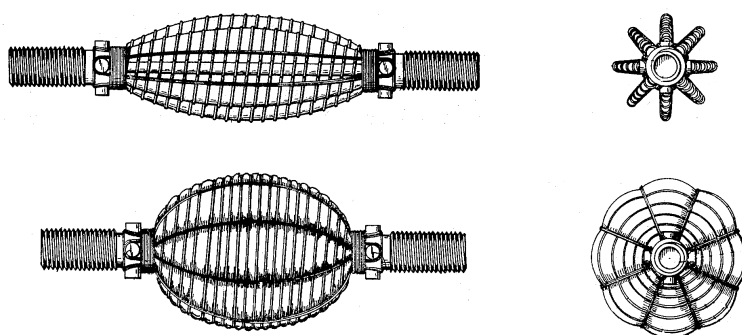
Slika 12: Rubbertuator pneumatski mišić



Slika 13: McKibbenov pneumatski mišić



Slika 14: ROMAC pneumatski mišić



Slika 15: Yarlottov pneumatski mišić

4.2 Komponente

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 ispušt kondenzata nastalog tokom 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-MINI-KC 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 16: Akumulator zraka



Slika 17: Ventilski blok



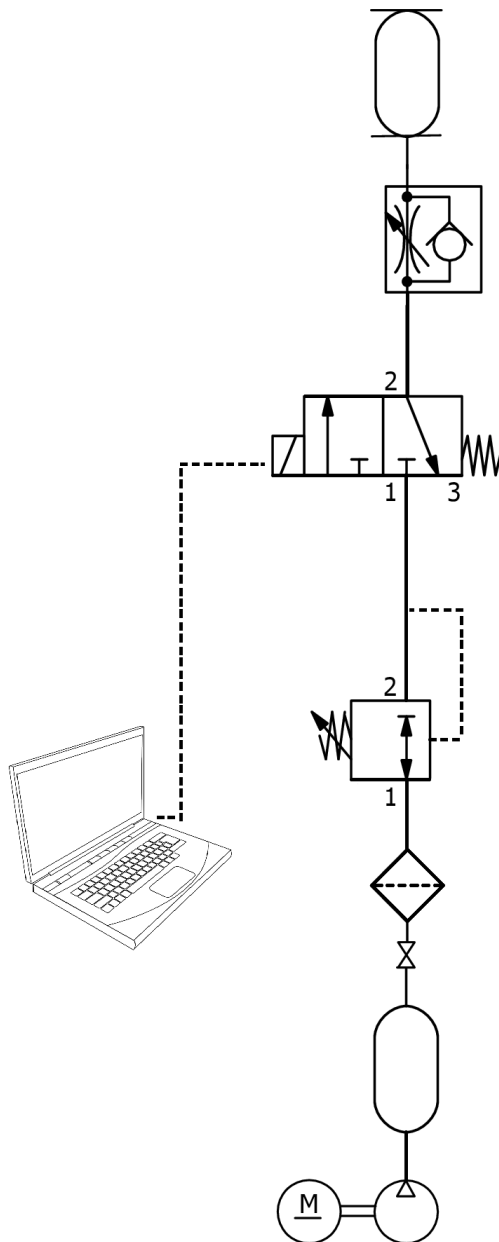
Slika 18: Pripremna grupa



Slika 19: Prigušno-nepovratni ventil

4.3 Opis rada

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



Slika 20: Pneumatska shema za jedan aktuator

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 Odabran je model AVR 328P tvrtke ATMEL. Napaja se iz baterije koja se nalazi na robotu a programira se pomoću AVR ISP (In-System Programmer) kontrolera spojenog na računalo pomoću serijske veze. Mikrokontroler upravlja s osam on-off ventila ventilskog bloka preko DB9 konektora putem RS232 serijske komunikacije.

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 zahtjeva ventilski blok.

Upravljanje kompresorom Kompresor za rad zahtjeva napon iznosa 24 V koji lako može uništiti mikrokontroler. Stoga se logički energetske krug mikrokontrolera i viši energetske krug kompresora odvajaju optičkim sprežnikom (optocouplerom) PC817. Diodom optičkog sprežnika upravlja mikrokontroler dok s druge strane optički sprežnik spojen na bazu MOSFET tranzistor IRFZ44 koji je sposoban podnijeti struju do 50 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.

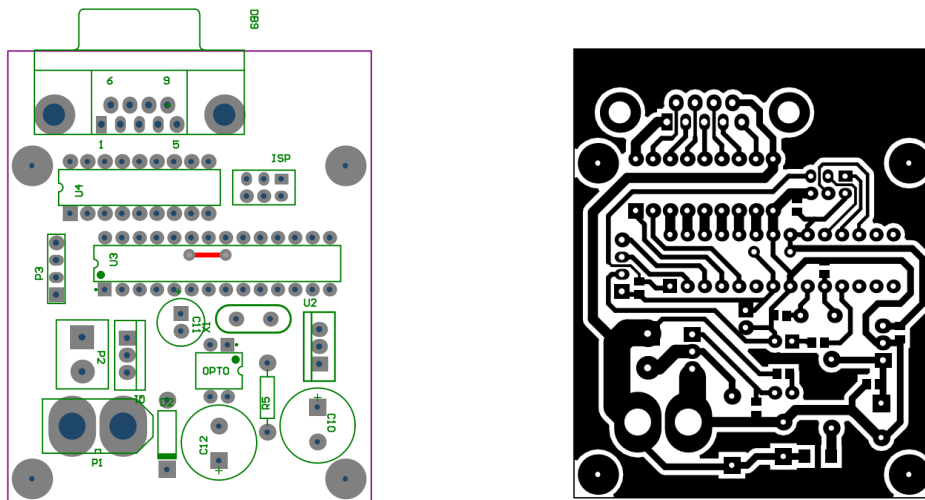
Bluetooth konektor Na pločici se također nalazi konektor za bluetooth modul koji će u idućoj fazi projekta omogućavati daljinsku kontrolu robota preko računala ili mobilnog uređaja.

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

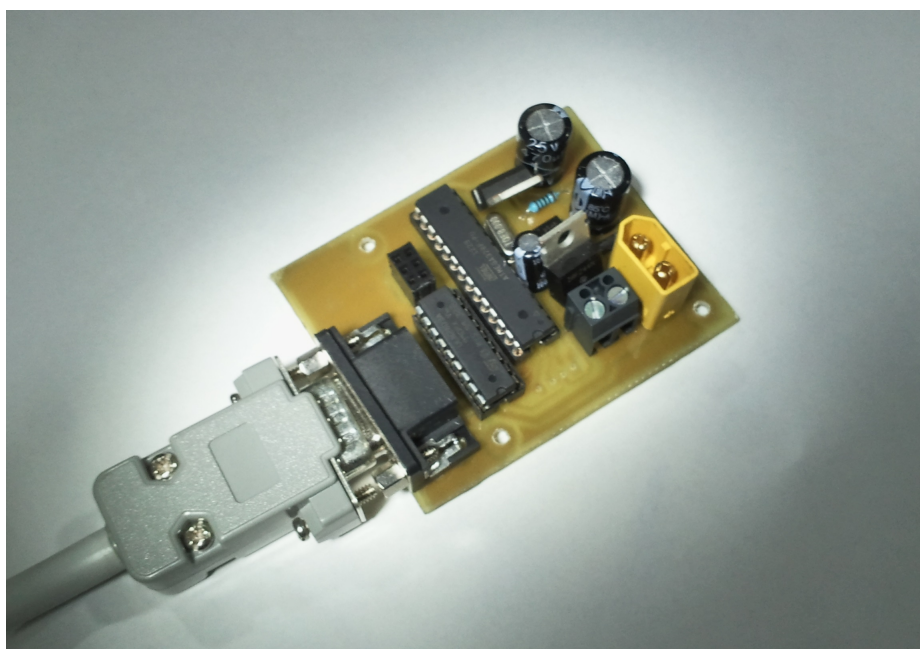
5.2 Tiskana pločica

U postupku izrade elektroničke tiskane pločice prvo su izabrane komponente potrebne za ispravan rad pločice. Zatim je izrađena funkcionalna shema u softverskom paketu Altium Designer koja vizualno daje predodžbu o načinu spajanja pojedinih komponenti. Konačno, na temelju funkcionalne sheme dizajnirana je PCB pločica dimenzija 70x55 mm.

Pločica je izrađena foto postupkom na jednoslojnoj pločici načinjenoj od vitroplasta. 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 3 i pol minute. Kao razvijatelj nakon osvijetljavanja korišten je natrijev hidroksid u trajanju od četiri minute. Nakon ispiranja vodom višak bakra na pločici maknut je postupkom jetkanja sa solnom kiselinom. Vodljivi dijelovi konačne pločice premazani su slojem tinola kao zaštita od oksidacije.



Slika 21: Nacrti pločice



Slika 22: Izrađena pločica

5.3 Programski kod

Cilj programa napisanog u ovoj fazi projekta je simuliranje pravocrtnog gibanja robota prema naprijed naizmjeničnim stezanjem i otpuštanjem mišića. Proučavanjem hoda četveronožnih životinja te ekperimentiranjem odlučeno je da se robot kreće pomičući istovremeno noge na dijagonali. Na temelju toga napisan je program hoda u programskom jeziku C koristeći mikroC programsko sučelje:

```
sbit N1 at PORTD0_bit;
sbit N2 at PORTD1_bit;
sbit N3 at PORTD2_bit;
sbit N4 at PORTD3_bit;
sbit N5 at PORTD4_bit;
sbit N6 at PORTD5_bit;
sbit N7 at PORTD6_bit;
sbit N8 at PORTD7_bit;

void cekaj()
{ Delay_ms(650);
}

void main() {
  DDRD=0xFF; //PORTD output
  DDRC=0xFF;

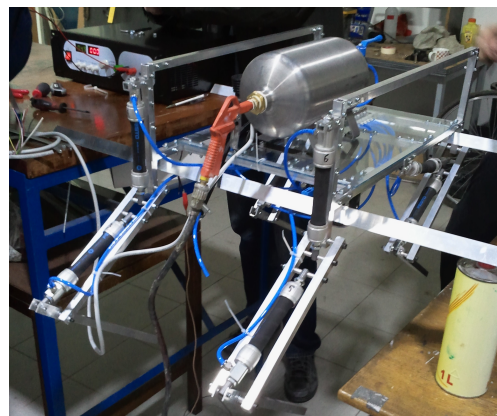
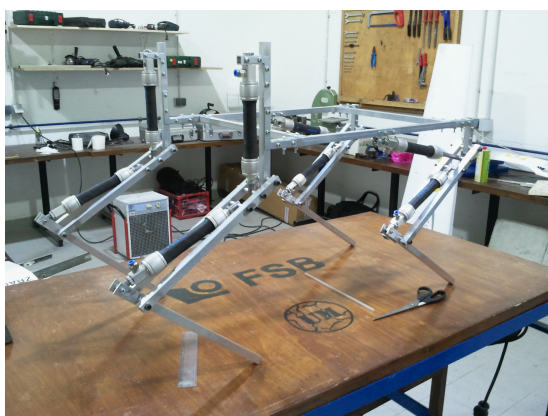
  while(1)
  { PORTC=0xFF;
    PORTD=0xFF;
    Delay_ms(1000);
    PORTC=0;
    PORTD=0;
    Delay_ms(1000);
  }
  while(1)
  { N4=1; N8=1; N7=1; N5=0;
    cekaj();
    N6=1; N2=1; N1=1; N4=0; N8=0; N7=0;
    cekaj();
    N5=1; N1 = 0; N2=0; N6=0;
    cekaj();
  }
}
```

U početnom dijelu koda inicijalizirani su serijski portovi koji upravljaju pojedinim ventilima. Nakon toga definirana je funkcija `cekaj()` koja se poziva između svakog skupa pokreta robota da bi se omogućilo pravilo izvršavanje gibanja te dovoljno vrijeme za povratna gibanja. Vrijeme čekanja stoga je vrlo važan parametar i u trenutnoj izvedbi nakon niza eksperimenata postavljen je na 650 milisekundi. Sekvenca aktiviranja i deaktiviranja mišića također je utvrđena eksperimentom. U danjem radu složenost programskog koda znatno će porasti.

6 Rezultati

6.1 Proces izrade

U prvom dijelu rada osmišljeno je i izrađeno nekoliko prototipova noge robota. Na temelju izvedbe koja je smatrana najpovoljnijom izrađene su ostale tri noge te započinje rad na nosivoj konstrukciji koji je potrajao zbog teškoća pri izradi identičnih dijelova uz prekide rada zbog studentskih obaveza. Po završetku konstrukcije na nju se montiraju ostale komponente robota i kreće se u izbor komponenti za tiskanu pločicu te njena izrada. Slijedilo je povezivanje svih komponenti, testiranje te konačno eksperimentiranje s ciljem dobivanja hoda robota.



Slika 23: Proces izrade

6.2 Poteškoće u radu

Tijekom dosadašnjeg rada na ovome projektu projektni tim susreo se s nizom izazova i teškoća.

Jedna od njih uslijedila je iz početnih pretpostavki da je važno dobiti pravilne pokrete noge prema naprijed dok će se povratno gibanje spontano dešavati pod utjecajem težine robota. Međutim, kao i živa bića, hodajući mobilni roboti obično nisu stabilni nakon dizanja noge što zahtjeva brze korake nogu. Posljedica ovog jest da robot nije stizao obaviti povratno gibanje i hod nije bio moguć. Stoga je uvedeno mehaničko rješenje povrata noge, pomoću opruga.

Jedan od problema ovog robota njegova je velika elastičnost. Ovo je posljedica ne samo pneumatskih aktuatora već i dizajna same noge koji se u primjeni s realnom masom robota nije pokazao kao najbolje rješenje jer tokom gibanja zbog manjka krutosti gube međusobnu paralelnost i iskrivljuju se što rezultira lošim gibanjem. Ovome problemu pokušano je doskočiti upotrebom matica s gumom koje se mogu precizno zategnuti. Ipak, problem još postoji.

Kompresor koji je nabavljen pokazao se preslabim za punjenje spremnika na dovoljan tlak te se stoga koristi samo kao pripomoć u radu.

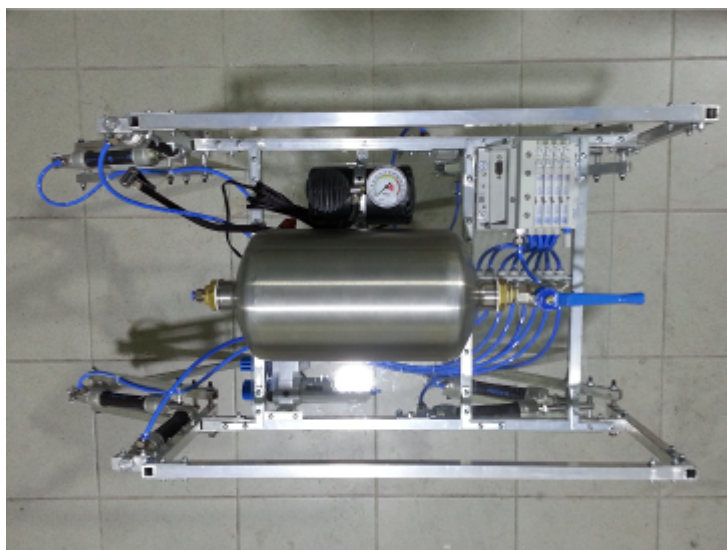
Neke od ovih pogreški zasigurno su posljedica manjka iskustva u izradi sličnih projekata. Unatoč tome projekt je shvaćen ozbiljno i mnogo je toga naučeno tijekom rada što će biti i iskorišteno u daljnjim fazama.

6.3 Izrađeni robot

Rezultat dosadašnjeg rada vidljiv je na slici. Robot je dimenzija 900x460x500 mm, mase oko 15 kilograma. Konstrukcija robota u potpunosti je završena, kao i energetske i upravljačke sustave. Robot je sposoban za autonomno gibanje prema naprijed stezanjem pojedinih mišića upravljanih pomoću programa u mikrokontroleru preko ventilskog bloka. Spremnik zraka puni se zrakom s vanjskog kompresora do tlaka od 12 bara a tijekom gibanja potrošnja zraka djelomično se nadoknađuje kompresorom na robotu. Regulirani tlak zraka prema mišićima iznosi oko 3 bara. Uz ove uvjete vrijeme autonomije robota iznosi oko 8 minuta.



Slika 24: Pneumatski robot



Slika 25: Pneumatski robot - pogled odozgo

7 Budući planovi

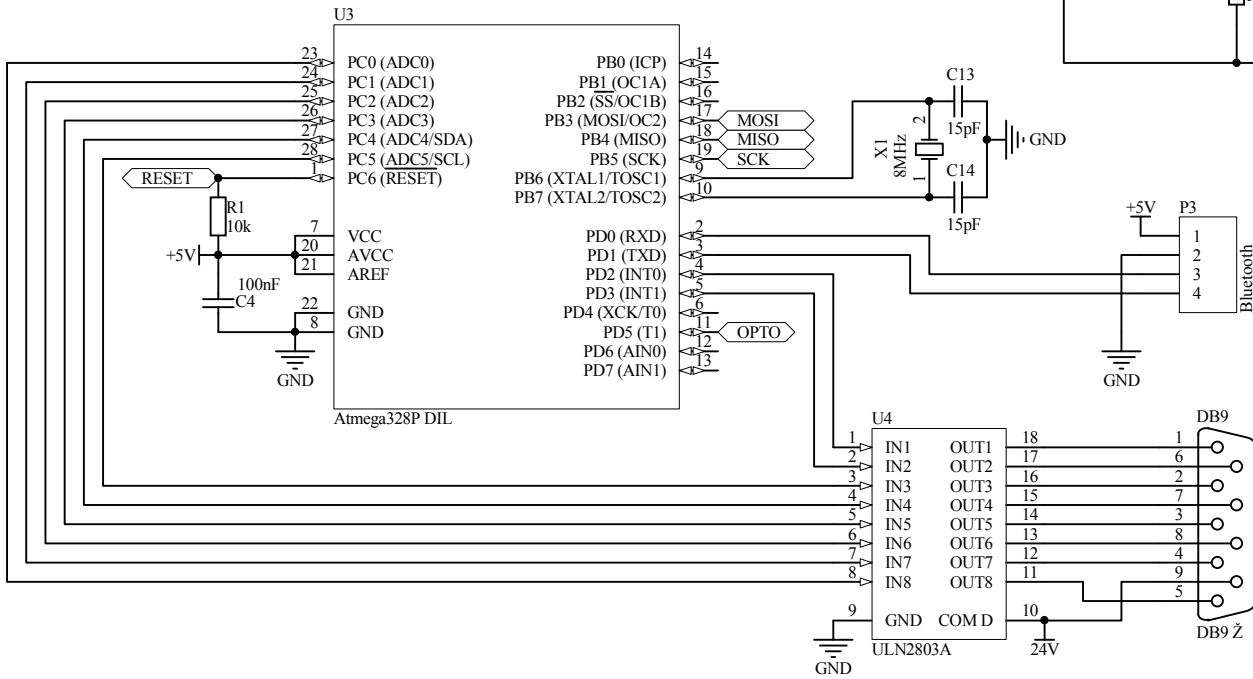
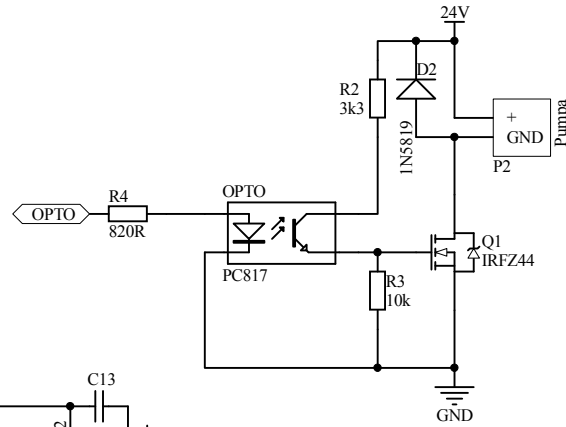
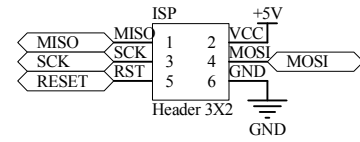
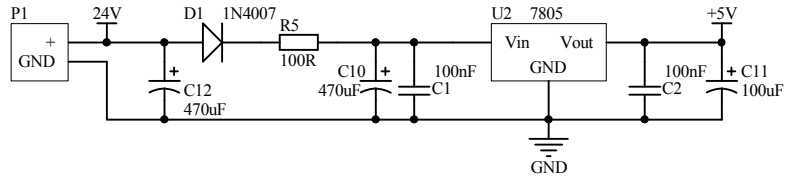
Nakon uspješne prve faze rada projekt uskoro kreće u drugu fazu. Neposredni ciljevi su ustabiliti rad robota i produžiti vrijeme autonomije što će zahtjevati promjene poput poboljšanja konstrukcije noge i zamjene kompresora te rada na boljim algoritmima kretanja. Osim toga, budući planovi uključuju uvođenje mogućnosti skretanja robota te daljinsko upravljanje robota preko laptopa i mobilne aplikacije. Isto tako namjera je projektnog tima s vremenom uvesti regulaciju robota pomoću povratnih veza od strane senzora te tako unaprijediti njegov rad.

Literatura

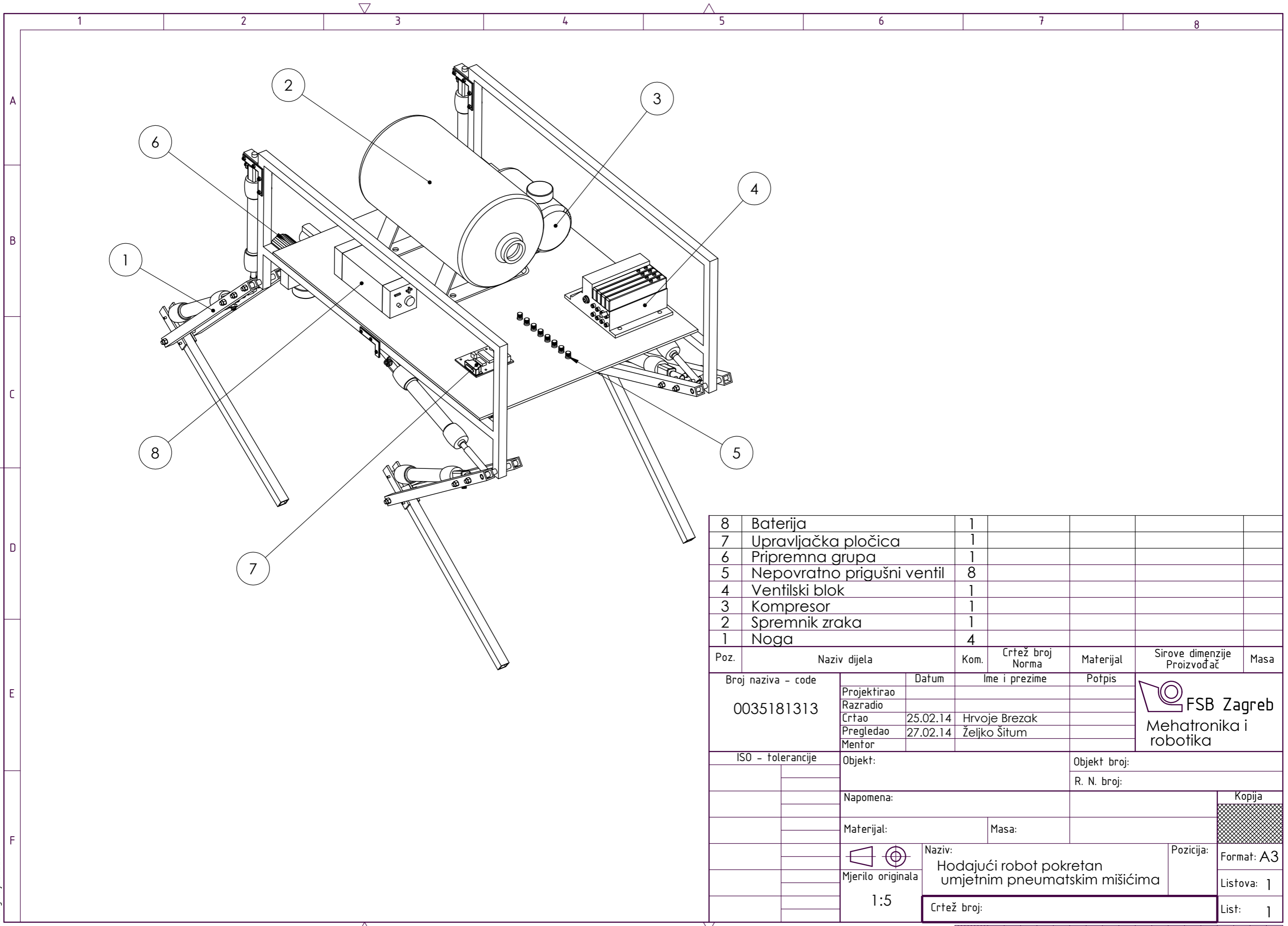
- [1] Mladen Crneković, *Industrijski i mobilni roboti*, predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2013.
- [2] Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh, *Introduction to Autonomous Mobile Robots*, Massachusetts Institute of Technology, 2004.
- [3] Ivan Petrović, *Mobilna robotika*, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2004.
- [4] Joško Petrić, Željko Šitum, *Pneumatika i hidraulika*, predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2012.
- [5] Željko Šitum, *Pneumatski mišić kao aktuator*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
- [6] Frank Daerden, Dirk Lefeber, *Pneumatic Artificial Muscles: actuators for robotics and automation*, Vrije Universiteit Brussel, Department of Mechanical Engineering
- [7] D. G. Caldwell, N. Tsagarakis, D. Badihi and G. A. Medrano-Cerda, *Pneumatic Muscle Actuator technology: a lightweight power system for a humanoid robot*, Dept. of Electronic Eng. University of Salford, 1998.

A Prilog

1. Shema tiskane pločice
2. Sklopni crtež konstrukcije mobilnog robota



Title		
Shema upravljačke pločice		
Size	Number	Revision
A4		1.0
Date:	29.1.2014.	Sheet of
File:		Drawn By:



8	Baterija	1				
7	Upravljačka pločica	1				
6	Pripremna grupa	1				
5	Nepovratno prigušni ventil	8				
4	Ventilski blok	1				
3	Kompresor	1				
2	Spremnik zraka	1				
1	Noga	4				

Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime		Potpis	 FSB Zagreb Mehatronika i robotika
0035181313		Projektirao				
		Razradio				
		Crtao	25.02.14	Hrvoje Brezak		
		Pregledao	27.02.14	Željko Šitum		
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
					R. N. broj:	
		Napomena:				
		Materijal:		Masa:		
		 Naziv:			Pozicija:	
		Mjerilo originala			Format: A3	
		1:5			Listova: 1	
		Crtež broj:			List: 1	



Design by CADLab